

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE ENXEÑARÍA



Escola
Técnica
Superior
de Enxeñaría

TRABAJO DE FIN DE GRADO

– Grado en Ingeniería Química –

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CIANHÍDRICO

Jorge González Rodríguez

Septiembre 2017

ÍNDICE GENERAL

1. DOCUMENTO I. MEMORIA

1.1. Anexo I. Balances de materia y energía

1.2. Anexo II. Cálculos justificativos

1.3. Anexo III. Fichas de seguridad

1.4. Anexo IV. Códigos empleados

2. DOCUMENTO II. PLANOS

3. DOCUMENTO III. PLIEGO DE CONDICIONES

4. DOCUMENTO IV. PRESUPUESTO

5. DOCUMENTO V. ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

5.1. Estudio de impacto ambiental

5.2. Estudio de seguridad y salud

DOCUMENTO I

MEMORIA

0. ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 0. Índice..... | 1 |
| 1. Objeto..... | 5 |
| 2. Alcance..... | 6 |
| 3. Antecedentes | 7 |
| 4. Normas y referencias..... | 8 |
| 4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas..... | 8 |
| 4.1.1. Normas de construcción | 8 |
| 4.1.2. Normas de electricidad..... | 8 |
| 4.1.3. Normas de seguridad y salud..... | 8 |
| 4.2. Legislación | 9 |
| 4.2.1. Referente a construcción | 9 |
| 4.2.2. Referente a electricidad | 9 |
| 4.2.3. Referente a seguridad e higiene..... | 9 |
| 4.2.4. Referente al medio ambiente..... | 11 |
| 4.3. Códigos de diseño | 13 |
| 4.3.1. Códigos generales | 13 |
| 4.4. Programas de cálculo | 14 |
| 4.5. Bibliografía..... | 15 |
| 5. abreviaturas | 19 |
| 5.1. Abreviaturas | 19 |
| 6. Análisis de alternativas..... | 23 |
| 6.1. Proceso Sohio (subproducto)..... | 23 |
| 6.2. Proceso Shawinigan | 24 |
| 6.3. Proceso BMA..... | 26 |
| 6.4. Proceso Andrussow | 28 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.5. | Procesos en desarrollo..... | 31 |
| 6.6. | Producción en laboratorio | 31 |
| 6.7. | Elección del proceso..... | 32 |
| 7. | Descripción del proceso | 35 |
| 8. | Emplazamiento..... | 36 |
| 8.1. | Requisitos del emplazamiento..... | 36 |
| 8.2. | Obtención de metano..... | 36 |
| 8.3. | Obtención de amoníaco..... | 37 |
| 8.4. | Venta de ácido cianhídrico | 38 |
| 8.5. | Venta de sulfato de amonio | 38 |
| 8.6. | Selección de localización | 39 |
| 8.7. | Polígono industrial | 39 |
| 8.8. | Parcela..... | 41 |
| 8.9. | Meteorología | 41 |
| 8.10. | Sismicidad | 43 |
| 9. | Estudio de mercado | 44 |
| 9.1. | Adiponitrilo | 45 |
| 9.2. | Cianohidrina de acetona | 46 |
| 9.3. | Metionina | 47 |
| 9.4. | Cianuros | 48 |
| 9.5. | Producción mundial de HCN | 49 |
| 10. | Descripción de la instalación..... | 50 |
| 10.1. | A-100: Área de acondicionamiento de materias primas..... | 50 |
| 10.2. | A-200: Área de reacción..... | 51 |
| 10.3. | A-300: Área de separación | 51 |
| 11. | Materias..... | 58 |
| 11.1. | Materias primas | 58 |

| | | |
|---------|--|----|
| 11.1.1. | Amoníaco | 58 |
| 11.1.2. | Gas natural..... | 61 |
| 11.1.3. | Aire..... | 63 |
| 11.2. | Productos | 65 |
| 11.2.1. | Cianuro de hidrógeno (HCN)..... | 65 |
| 12. | Estudio de viabilidad técnica..... | 69 |
| 12.1. | Viabilidad de la tecnología seleccionada | 69 |
| 12.2. | Disponibilidad de materias primas y venta de productos | 70 |
| 12.3. | Disponibilidad de utilidades | 71 |
| 12.4. | Disponibilidad de equipos | 72 |
| 12.5. | Seguridad en la instalación..... | 72 |
| 12.6. | Capacidad productiva y requisitos del producto | 72 |
| 13. | Estudio de viabilidad económica..... | 73 |
| 13.1. | Flujos de caja..... | 73 |
| 13.2. | Valor actual neto (VAN) | 78 |
| 13.3. | Tasa interna de retorno (TIR)..... | 78 |
| 13.4. | Período de retorno (“Payback”) | 79 |
| 14. | Análisis de sensibilidad | 80 |
| 14.1. | Variación del coste de la inversión inicial..... | 80 |
| 14.2. | Variación de los ingresos por venta anuales..... | 81 |
| 15. | Control e instrumentación | 82 |
| 15.1. | Introducción | 82 |
| 15.2. | Objetivos del sistema de control | 82 |
| 15.3. | Terminología empleada..... | 83 |
| 15.4. | Tipos de control..... | 83 |
| 15.5. | Nomenclatura | 84 |
| 15.6. | Instrumentación de los lazos | 85 |
| 15.6.1. | Medidores y transmisores..... | 85 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 15.6.2. | Interruptores | 87 |
| 15.6.3. | Controladores | 87 |
| 15.6.4. | Relés convertidores de señal (-Y) | 88 |
| 15.6.5. | Válvulas de seguridad (PSV) | 88 |
| 15.6.6. | Elementos finales de control | 89 |
| 15.7. | Lazos de control | 89 |
| 15.7.1. | Sección de acondicionamiento (A-100) | 89 |
| 15.7.2. | Sección de reacción (A-200) | 91 |
| 15.7.3. | Sección de separación (A-300)..... | 94 |
| 15.8. | Corrientes auxiliares..... | 96 |
| 16. | Seguridad en diseño y en la operación | 97 |
| 16.1. | Introducción | 97 |
| 16.2. | Inventario de sustancias..... | 97 |
| 16.3. | Estudio de afectación..... | 98 |
| 16.4. | Clasificación según la Directiva Seveso..... | 101 |
| 16.5. | Distancias de seguridad entre equipos..... | 102 |
| 16.6. | Estudio de reactividad química descontrolada | 105 |
| 16.6.1. | Método basado en la estructura molecular de los compuestos..... | 105 |
| 16.6.2. | Clasificación de productos según NFPA..... | 107 |
| 16.6.3. | Matriz de compatibilidad química..... | 108 |
| 16.6.4. | Cálculo de índice de riesgo para reacciones fuera de control | 110 |
| 16.7. | Índice DOW de incendio y explosión | 112 |
| 16.7.1. | Determinación del factor material..... | 112 |
| 16.7.2. | Consideraciones para la determinación de los riesgos generales del proceso 112 | |
| 16.7.3. | Riesgos especiales del proceso..... | 113 |
| 16.8. | Dimensionamiento de válvula de alivio | 115 |
| 16.9. | HAZID | 115 |

1. OBJETO

El objeto de este proyecto es el diseño de una planta de obtención de ácido cianhídrico, a partir de amoníaco, metano y aire mediante el proceso desarrollado por L. Andrussow.

Se ha realizado el diseño de la planta teniendo en cuenta:

- Capacidad de producción de 10.000 t/año.
- Funcionamiento de la planta: 8.000 h/año.
- Producto obtenido: ácido cianhídrico estabilizado con un 99,5% de pureza.

2. ALCANCE

Los objetivos principales del proyecto son los siguientes:

- Seleccionar el proceso productivo que se llevará a cabo en la planta, definiendo los equipos necesarios y las condiciones de operación.
- Seleccionar el emplazamiento de la instalación teniendo en cuenta criterios de costes, así como de seguridad y medioambientales.
- Diseñar un equipo en profundidad, siguiendo métodos rigurosos.
- Realizar balances de materia y energía a todo el proceso.
- Comprobar la viabilidad del proyecto, en los ámbitos de la seguridad, medioambiente, técnico y económico.

Los objetivos secundarios tenidos en cuenta en la realización de este proyecto se reflejan a continuación:

- Optimizar la producción en el reactor mediante la resolución rigurosa de las ecuaciones cinéticas, seleccionando la mejor superficie de catalizador mediante el análisis de diferentes parámetros.
- Minimizar los gastos de energía en el proceso.

3. ANTECEDENTES

La elección del tema del proyecto proviene tanto de la inexistencia de proyectos académicos relacionados con el ácido cianhídrico como del incremento de la demanda de este producto en la actualidad.

La causa principal es la sustitución de diversos componentes mecánicos del automóvil hasta ahora fabricados con aleaciones ferrosas por componentes fabricados con nylon. Este compuesto disminuye la masa de los automóviles y reduce el rozamiento, por lo que minimiza las pérdidas energéticas. En el proceso de fabricación del nylon, se emplea como intermediario el ácido cianhídrico, por lo que el repunte en el sector automovilístico y la búsqueda de nuevos materiales provoca un aumento en la demanda.

Otro de los compuestos derivados del ácido cianhídrico empleado en la fabricación de automóviles es el metacrilato, para los recubrimientos de los focos. Además, a partir del ácido cianhídrico se puede producir el aminoácido metionina de forma sintética. Este aminoácido se emplea en el sector primario como suplemento alimenticio para el ganado.

Por todas las razones presentadas anteriormente, se considera una alternativa interesante la elección de la temática para elaborar este proyecto básico. En relación a la elección de alternativas, como se presenta en el apartado análisis de alternativas, se siguen criterios económicos, medioambientales y de seguridad.

4. NORMAS Y REFERENCIAS

4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

4.1.1. Normas de construcción

N.B.E. – N.T.E.: Normas Básicas de Edificación – Normas Tecnológicas de Edificación. Real Decreto 3565/1972 (B.O.E. de 15/01/1973) corregido por R.D. 1650/1977 (B.O.E. 9/07/1977):

- NBE–CPI/97: Condiciones de Protección contra Incendios.
- NBE–EA: Estructuras de Acero.
- NBE–MV 102: Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación.
- NBE–MV 103: Acero laminado para estructuras de edificación.
- NTE–CSS: Cimentaciones Superficiales Corridas.
- NTE–CSZ: Cimentaciones Superficiales. Zapatas.
- NTE–EH: Estructuras de Hormigón.
- NTE–EME: Estructuras de Madera. Encofrados.
- NTE–IEI: Iluminación Interior.
- NTE–IEP: Puesta a Tierra.
- NTE–IER: Instalaciones Eléctricas. Red Exterior.
- NTE–IIE: Iluminación Exterior.

4.1.2. Normas de electricidad

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) e Instrucciones técnicas Complementarias (ITC MIBT) aprobado por Decreto 842/2002, de 18 de septiembre.

4.1.3. Normas de seguridad y salud

R.A.M.I.N.P.: Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.

E.B.S.: Estudio Básico de Seguridad y Salud.

4.2. Legislación

4.2.1. Referente a construcción

Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

RESOLUCIÓN de 8 de abril de 1999, de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas, sobre delegación de facultades en materia de seguridad y salud en las obras de construcción.

Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la edificación.

4.2.2. Referente a electricidad

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. (B.O.E. nº 224 18/09/2004)

4.2.3. Referente a seguridad e higiene

4.2.3.1. Generales

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. (B.O.E. de 10 de noviembre.)

Real Decreto Ley 2/2015, de 23 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.

4.2.3.2. Prevención

Real Decreto 899/2015, de 9 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. (B.O.E. nº 243 10/10/2015)

4.2.3.3. Seguridad y salud

Real Decreto 1879/1996, de 2 de agosto, por el que se regula la composición de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (B.O E. nº 27 31/01/1997)

Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. (B.O.E. nº 140 12/06/1997)

Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. (B.O.E. nº 188 07/08/1997)

Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. (B.O.E. nº 97 23/04/1997)

Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. (B.O.E. nº 97 23/04/1997)

Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores. (B.O.E. nº 97 23/04/1997).

Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. (B.O.E. nº 97 23/04/1997)

Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. (B.O.E. nº 148 21/06/2001)

Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. (B.O.E. nº 104 01/05/2001)

Real Decreto 330/2009 de 13 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. (B.O.E. nº 73 26/03/2009).

Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (B.O.E. nº 303 17/12/2004).

Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

4.2.3.4. Higiene

Orden de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba el Plan de Higiene y Seguridad del Trabajo. (B.O.E. nº 60 11/03/1971)

Real Decreto 577/1982, de 17 de marzo, por el que se regulan la estructura y competencias del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (B.O.E. nº 69 22/03/1982)

4.2.4. Referente al medio ambiente

4.2.4.1. Impacto ambiental

Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero. (B.O.E. nº 73 25/03/2010)

Decisión del Consejo, de 20 de octubre de 2008 (2008/871/CE), relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo sobre evaluación estratégica del medio ambiente de la Convención de Espoo de 1991 de la CEPE/ONU sobre la evaluación del impacto ambiental en un contexto transfronterizo.

Directiva 97/11/CE del Consejo, de 3 de marzo de 1997, por el que se modifica la Directiva 85/337/CEE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

Reglamento 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo del 18 de enero, relativo al establecimiento de un registro de emisiones y transferencia de contaminantes.

4.2.4.2. Emisiones atmosféricas

Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. (B.O.E. nº296 21/11/1996)

Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de protección del ambiente atmosférico. (B.O.E. nº96 22/04/1975)

Real Decreto 547/1979, de 20 de febrero, sobre modificación del anexo IV del Decreto 833/1975, de 8 de febrero, por el que se desarrolla la Ley de Protección del Ambiente Atmosférico. (B.O.E. nº 71 23/03/1979)

Real Decreto-ley 5/2004, de 27 de agosto, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. (B.O.E. nº 208 28/08/2004)

Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. (B.O.E. nº275 16/11/2007)

Real Decreto Legislativo 1/2016 de 16 de diciembre por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Prevención y Control Integrados de la Contaminación. (B.O.E. nº 157 02/08/2002)

Directiva 2004/101/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad con respecto a los mecanismos de proyectos del Protocolo de Kioto.

4.2.4.3. Efluentes líquidos

Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. (B.O.E. nº 312 30/12/1995)

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. (B.O.E. nº 176 24/08/2001)

Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. (B.O.E. nº 77 29/03/1996)

4.2.4.4. Gestión de residuos

Directiva 94/31/CE del Consejo, de 27 de junio de 1994, por la que se modifica la Directiva 91/689/CEE relativa a los residuos peligrosos.

Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos. (B.O.E. nº 182 30/07/1988)

Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. (B.O.E. nº 181 29/07/2011).

4.2.4.5. Contaminación acústica

Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. (B.O.E. nº 276 18/11/2003)

Real Decreto 286/2006, del 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

4.3. Códigos de diseño

4.3.1. Códigos generales

U.N.E. (Una Norma Española).

A.S.M.E. (*American Society of Mechanical Engineers*).

T.E.M.A. (*American Tubular Exchanger Manufacturers Association*).

DIN (*Deutsches Institut für Normung, Alemania*).

BS (*British Standards, Gran Bretaña*).

4.4. Programas de cálculo

Los programas de cálculo empleados para la realización de este proyecto se presentan a continuación:

- Matlab®: los códigos empleados se presentan en el anexo IV, y en este programa se realizó la integración numérica de las ecuaciones cinéticas en el diseño del reactor, además de desarrollar programas para el cálculo de la entalpía de las corrientes y de viscosidades.
- Excel: hoja de cálculo empleada para la realización de todas las operaciones matemáticas presentadas en este proyecto.

4.5. Bibliografía

Adisseo. (2017). *Adisseo Burgos - España*. Consultado el 4 de Mayo de 2017, de <http://www.adisseo.com/es/sitios/adisseo-burgos-espana/#>

AEMET - Agencia Española de Meteorología. (Histórico 1981-2010). *Valores climatológicos normales. Zaragoza Aeropuerto*. Consultado el 8 de Mayo de 2017, de <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=9434&k=arn>

ANFAC. (17 de enero de 2017). *España supera los objetivos de producción de vehículos para 2016 con 2,88 millones de unidades fabricadas*. Consultado el 2 de febrero de 2017, de http://www.anfac.com/estadisticas.action?accion=estad_produccion

Bodke, A., Olschki, D., & Schmidt, L. (2000). Hydrogen addition to the Andrussow process for HCN synthesis. *Applied Catalysis A: General*, 201, 13-22.

Crowl, D., & Louvar, J. (2011). *Chemical Process Safety*. Michigan: Prentice Hall.

Delagrange, S., & Schuurman, Y. (2007). HCN synthesis from methane and ammonia over platinum. *Catalysis Today*, 121, 204-209.

Dietz, A., & Schmidt, L. (1999). Conditions for HCN synthesis and catalyst activation over Pt-Rh gauzes. *Applied Catalysis A: General*, 180, 287-298.

Gail, E., Gos, S., Kulzer, R., Lorösch, J., Rubo, A., Sauer, M., . . . Hasenpusch, W. (2012). Cyano Compounds, Inorganic. En *Ullmann's. Encyclopedia of Industrial Chemistry*: (págs. 673-679). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Google. (2017). *Google Maps*. Consultado el 4 de Mayo de 2017, de <https://www.google.es/maps/>

Hasenberg, D., & Schmidt, L. (1987). HCN Synthesis from CH₄, NH₃ and O₂ on Clean Pt. *Journal of Catalysis*, 104, 441-453.

Higgs, R. (19 de Octubre de 2016). *Japan's UBE Industries to expand nylon output in Spain*. Consultado el 4 de Mayo de 2017, de *Plastics News Europe*: <http://www.plasticsnewseurope.com/article/20161019/PNE/161019792/japans-ube-industries-to-expand-nylon-output-in-spain>

ICIS. (10 de enero de 2005). *Chemical Profile Hydrogen Cyanide (HCN)*. Consultado el 9 de febrero de 2017, de <https://www.icis.com/resources/news/2005/12/14/642136/chemical-profile-hydrogen-cyanide-hcn/>

IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2016). *Atlas eólico*. Consultado el 8 de Mayo de 2017, de <http://atlaseolico.idae.es/meteosim/>

IGE - Instituto Geográfico Nacional. (2015). *Mapas de sismicidad y peligrosidad*. Consultado el 8 de Mayo de 2017, de <http://www.ign.es/web/ign/portal/mapas-sismicidad>

IHS Markit. (julio de 2016). *Chemical Economics Handbook. Aminoacids*. Consultado el 20 de febrero de 2017, de <https://www.ihs.com/products/major-amino-acids-chemical-economics-handbook.html>

IHS Markit. (octubre de 2016). *Chemical Economics Handbook. Hydrogen Cyanide*. Consultado el 9 de febrero de 2017, de <https://www.ihs.com/products/hydrogen-cyanide-chemical-economics-handbook.html>

IHS Markit. (septiembre de 2016). *Chemical Economics Handbook. Sodium Cyanide*. Consultado el 22 de febrero de 2017, de <https://www.ihs.com/products/sodium-cyanide-chemical-economics-handbook.html>

Inman, B. (Febrero de 1957). *United States Patente n° 2.782.107*.

Instituto Nacional del Cáncer. (s.f.). *Diccionario del cáncer. EDTA*. Consultado el 9 de febrero de 2017, de <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario?cdrid=674696>

Juez, I. (18 de Abril de 2013). *España cuenta con 14 plantas de fertilizantes similares a la de Texas*. Consultado el 4 de Mayo de 2017, de El Correo: <http://www.elcorreo.com/vizcaya/20130418/mas-actualidad/sociedad/espana-cuenta-plantas-fertilizantes-201304181806.html>

Kirk-Othmer. (1993). Cyanides. Hydrogen Cyanide. En *Encyclopedia of Chemical Technology* (Cuarta ed., Vol. 7, págs. 753-765). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Kirk-Othmer. (1993). Oxygen. En *Encyclopedia of Chemical Technology* (Vol. 17, pág. 924). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Kondratenko, V. (2010). Mechanistic aspects of the Andrussov process over Pt-Rh gauzes. Pathways of formation and consumption of HCN. *Applied Catalysis A: General*, 381, 74-82.

Kondratenko, V., Weinberg, G., Pohl, M.-M., & Su, D. (2010). Mechanistic aspects of the Andrussow process over Pt-Rh gauzes. Effect of gauze morphology and oxygen coverage on primary O₂-NH₃-CH₄ interactions. *Applied Catalysis A: General*, 381, 66-73.

Levenspiel, O. (2011). *Ingeniería de las reacciones químicas*. (J. Conesa, Trad.) México: Limusa Wiley.

McKetta, J. (1988). Hydrogen Cyanide. En *Encyclopedia of Chemical Processing and Design* (Vol. 27). New York: Marcel Dekker, Inc.

Methacrylate Producers Association Inc. (2017). *About Methacrylates*. Consultado el 10 de febrero de 2017, de <http://www.mpausa.org/>

Ministerio de Fomento. (2017). *Precio medio del metro cuadrado de suelo urbano por comunidades autónomas y provincias*. Consultado el 4 de Mayo de 2017, de Estadística de precios de suelo urbano: <http://www.fomento.gob.es/BE2/?nivel=2&orden=36000000>

National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database. (20 de febrero de 2017). *L-methionine*. Obtenido de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/L-methionine#section=Metabolite-Description>

Nurel, S.A. (2017). *Nurel*. Consultado el 5 de Mayo de 2017, de <http://nurel.com/nurel.do>

Pignet, T., & Schmidt, L. (1974). Selectivity of NH₃ oxidation on platinum. *Chemical Engineering Science*, 29, 1123-1131.

Professional Plastics. (2017). *Sustitución de metal con los plásticos*. Consultado el 10 de febrero de 2017, de <http://www.professionalplastics.com/es/ReplacingMetalWithPlastics.html>

QuimiNet. (12 de enero de 2006). *El nylon y sus diferentes aplicaciones*. Consultado el 22 de febrero de 2017, de <https://www.quiminet.com/articulos/el-nylon-y-sus-diferentes-aplicaciones-2561039.htm>

Rayner-Canham, G. (2000). *Química Inorgánica Descriptiva* (Segunda ed.). México: Pearson Educación.

Sánchez Vicente, T. (9 de Septiembre de 2014). *El mapa de la fabricación de coches en España*. Consultado el 4 de Mayo de 2017, de ABC Economía: <http://www.abc.es/economia/20141109/abci-coches-mapa-produccion-201411051004.html>

Scott Fogler, H. (2008). *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas* (Cuarta edición ed.). Naucalpan de Juárez, Estado de México: Pearson Educación.

Sinnott, R. (2005). Chemical Engineering. En C. & Richardson's, *Chemical Engineering Design* (Vol. 6). Oxford: Elsevier.

Taifan, W., & Baltrusaitis, J. (2016). CH₄ conversion to value added products: Potential, limitations and extensions of a single step heterogeneous catalysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 198, 525-547.

The European Chemical Industry Council - CEFIC. (septiembre de 2002). *Cyanides*. Consultado el 28 de marzo de 2017, de <http://www.cefic.org/About-us/How-Cefic-is-organised/Speciality-Chemicals/Cyanides/>

Waletzko, N., & Schmidt, L. (Julio de 1988). Modeling Catalytic Gauze Reactors: HCN Synthesis. *AIChE Journal*, 34(7), 1146-1156.

5. ABREVIATURAS

5.1. Abreviaturas

Fórmula química

| | |
|---|---|
| CH ₃ | Metano |
| HCN | Ácido cianhídrico/ cianuro de hidrógeno |
| H ₂ | Hidrógeno |
| H ₂ O | Agua |
| O ₂ | Oxígeno |
| NH ₃ | Amoníaco |
| N ₂ | Nitrógeno |
| CO | Monóxido de carbono |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| H ₂ SO ₄ | Ácido sulfúrico |
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | Sulfato de amonio |

Abreviaturas y símbolos latinos

| | |
|------------------|--|
| % v/v | Porcentaje en volumen |
| a _g | Relación superficie/volumen del catalizador |
| C _p | Calor específico a presión constante |
| d _g | Diámetro del hilo de la malla de catalizador |
| F _{0,i} | Flujo molar del compuesto i a la entrada |
| F _i | Flujo molar del compuesto i |
| h _{tc} | Altura del cabezal troncocónico |
| m _g | Masa de catalizador |
| M _i | Masa molecular del compuesto i |
| N ₀ | Número de Avogadro (N ₀ = 6,022 · 10 ²³ moléculas/mol) |
| N _g | Número Mesh de la malla de catalizador |
| n _g | Número de mallas de catalizador |
| N _t | Número de tubos (intercambiador de calor) |

| | |
|-----------|--|
| P_c | Presión crítica |
| P_{dis} | Presión de diseño |
| P_g | Presión manométrica |
| P_i | Presión parcial del compuesto i en la mezcla |
| P_{op} | Presión de operación |
| P_r | Presión reducida ($P_r = P/P_c$) |
| P_T | Presión total de una mezcla |
| S_g | Superficie de catalizador |
| S_i | Selectividad del compuesto i en la mezcla |
| S_I | Sección total de paso por tubos (intercambiador de calor) |
| SN_1 | Sustitución nucleófila unimolecular |
| SN_2 | Sustitución nucleófila bimolecular |
| S_R | Sección del reactor |
| S_t | Sección transversal de un tubo (intercambiador de calor) |
| T_c | Temperatura crítica |
| T_{dis} | Temperatura de diseño |
| T_{op} | Temperatura de operación |
| T_r | Temperatura reducida ($T_r = T/T_c$) |
| V_g | Volumen de catalizador |
| V_m | Volumen molar |
| V_R | Volumen de reactor |
| x_i | Fracción molar del compuesto i en la mezcla |
| APA | Gas natural de alta presión ($4 < P_g \leq 16$ bar) |
| AT | Red eléctrica de alta tensión |
| BB | Beneficio bruto |
| BMA | Blausäure aus Methan und Amoniak (Ácido cianhídrico a partir de metano y amoníaco) |
| BT | Red eléctrica de baja tensión |
| C | Capacidad calorífica |
| C.N. | Condiciones normales ($P = 1$ atm; $T = 298$ K) |

| | |
|-------------|--|
| -CN | Grupo nitrilo |
| DAP | Fosfato diamónico - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ |
| E. D. A. R. | Estación de depuración de aguas residuales |
| E. T. A. P. | Estación de tratamiento de aguas potables |
| EDTA | Ácido etildiaminotetraacético |
| EFC | Elemento final de control |
| GLP | Gas licuado de petróleo |
| HC | Hidrocarburo |
| HDMA | Hexametildiamina |
| LNG | Liquefied natural gas (Gas licuado de petróleo) |
| MAP | Fosfato monoamónico - $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ |
| MMA | Metacrilato de metilo monómero |
| MPA | Gas natural de media presión A ($0,04 < P_g \leq 0,4$ bar) |
| MPB | Gas natural de media presión B ($0,4 < P_g \leq 4$ bar) |
| MT | Red eléctrica de media tensión |
| NFPA | Asociación nacional de protección contra el fuego – EEUU (National Fire Protection Association) |
| P | Presión absoluta |
| PGM | Metales del grupo del platino (Platinum Group Metals) |
| PID | Control proporcional-integral-derivativo |
| PMMA | Polimetacrilato de metilo |
| Q | Caudal volumétrico |
| R | Constante de los gases ideales ($8,314 \text{ J/molK}$) |
| T | Temperatura |
| UV | Ultravioleta |
| v | Velocidad |
| VC | Variable controlada |
| VM | Variable manipulada |

Abreviaturas y símbolos griegos

| | |
|-------------|--|
| Φ_{ij} | Parámetro de interacción de viscosidad |
|-------------|--|

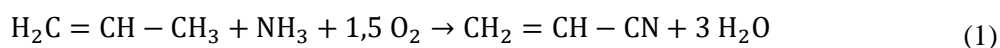
| | |
|--------------------|---|
| μ_i | Viscosidad del compuesto i |
| ρ_g | Densidad del catalizador |
| $\Delta H_{R,j}$ | Entalpía de la reacción j |
| α_{tc} | Ángulo de apertura del cabezal troncocónico |
| ρ_m | Densidad molar |
| \varnothing_R | Diámetro del reactor |
| $\Delta H_{f,i}^0$ | Entalpía de formación estándar del compuesto i |
| $\Delta H_{R,j}^0$ | Entalpía de la reacción j en C.N. |
| ν_{ij} | Coefficiente estequiométrico del compuesto i en la reacción j |
| ϵ_g | Porosidad de la malla |
| Subíndices | |
| g | Referido al catalizador |
| tc | Referido al cabezal troncocónico |
| i | Compuesto químico |
| j | Reacción química |
| k | Capa de catalizador |
| R | Referido al reactor |
| I | Referido al intercambiador de calor |

6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

6.1. Proceso Sohio (subproducto)

El ácido cianhídrico constituye uno de los principales subproductos del proceso Sohio, en el que se obtiene acrilonitrilo como producto principal. No obstante, la cantidad de HCN producido es significativa, lo que hace rentable su separación del producto principal y posterior comercialización. La producción de ácido cianhídrico por esta vía constituye alrededor de un 30% de la producción mundial total.

Actualmente el 90% de la producción de acrilonitrilo se realiza mediante el proceso Sohio. Este consiste en la amoxidación (oxidación en presencia de amoníaco) de propeno, con un catalizador de Bi-Mo-O. La reacción que tiene lugar en este proceso es la siguiente:



Se lleva a cabo en un reactor de lecho fluidizado con intercambio de calor debido a la exotermicidad de la reacción. Las condiciones óptimas de selectividad se localizan en el intervalo de temperaturas entre 400 – 500 °C y con presiones de 0,3 – 2 bar. La conversión del propeno es elevada, cercana al 98%, sin embargo, la selectividad de la reacción hacia el producto principal se localiza en torno a valores del 50 – 60%. Se trata de un sistema reactivo complejo en el que se generan diversos subproductos como agua, monóxido y dióxido de carbono, ácido cianhídrico, acroleína y acetonitrilo.

En una primera separación se elimina el amoníaco no convertido mediante una absorción reactiva con ácido sulfúrico. Esta separación se lleva a cabo en la etapa inmediatamente posterior a la reacción y se trata de una etapa común en los procesos en los que se forma HCN, bien sea como producto o subproducto. De no realizarse esta separación, el carácter básico del amoníaco dificultaría la separación de los otros subproductos de carácter ácido, entre los que se encuentra el ácido cianhídrico.

Posteriormente, en una destilación flash se separan el monóxido y el dióxido de carbono por cabezas. La salida de colas de este separador contiene una gran cantidad de agua, junto con el producto principal y HCN mayoritariamente, ya que la acroleína y el acetonitrilo se producen en pequeña cantidad. Esta se trata de una etapa común con los procesos para la obtención directa de ácido cianhídrico. En la corriente de colas del flash, el HCN se corresponde con el componente más volátil de la mezcla y presenta una diferencia de volatilidad notable con respecto al resto, por lo que se consigue separar con una pureza elevada. La baja selectividad de la reacción principal

ocasiona que la cantidad de subproductos obtenida sea considerable, haciendo rentable su aprovechamiento.

El diagrama de bloques del proceso Sohio se presenta a continuación:

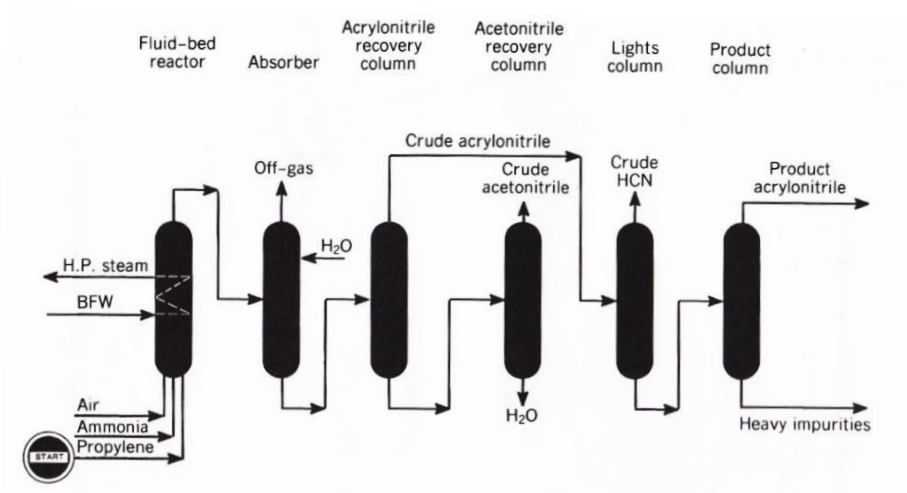


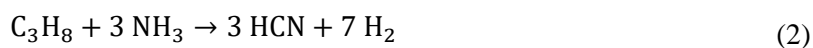
Figura 1. Diagrama de bloques del proceso Sohio

La principal ventaja de este proceso es la formación de HCN como subproducto con valor en el mercado. La valorización de los subproductos permite aumentar el aprovechamiento de las materias primas utilizadas, además de reducir costes en el tratamiento de efluentes. Todo esto conlleva un mayor beneficio del proceso tanto a nivel económico, con mayores ingresos, como medioambiental, con menores emisiones.

El principal inconveniente de ser un subproducto es que la producción de ácido cianhídrico está ligada a la del acrilonitrilo. La producción de HCN por este proceso no es suficiente para satisfacer la demanda mundial, por lo que se necesitan otros procesos alternativos con los que se consiga suplir la demanda de este producto.

6.2. Proceso Shawinigan

Se trata de un proceso desarrollado por Shawinigan Chemicals Ltd. utilizado en Canadá en los años 60 en el que se produce HCN a partir de amoníaco y un hidrocarburo ligero (preferiblemente propano) en una reacción no catalítica en ausencia de oxígeno. Se lleva a cabo en un reactor de lecho fluidizado que contiene partículas de carbón de coque y que trabaja a temperaturas entre 1300 y 1600°C. Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:





La temperatura a la que se lleva a cabo la reacción se consigue haciendo circular corriente eléctrica a través de las partículas de carbón. Este mecanismo de calentamiento permite alcanzar las altas temperaturas necesarias para que transcurra la reacción. El lecho fluidizado se emplea para conseguir una distribución uniforme de la temperatura en el reactor, evitando la formación de puntos calientes.

Este proceso proporciona rendimientos mayores que los procesos convencionales (Andrussow y Degussa) con valores cercanos al 85%. La concentración de amoníaco en la corriente de salida del reactor es muy baja, además se alcanzan altas concentraciones del producto deseado, minimizando la formación de subproductos. En la zona de purificación se debe realizar una separación flash para separar el hidrógeno del ácido cianhídrico. Este hidrógeno se puede emplear para la síntesis de otros productos.

Las principales ventajas de este método en comparación con los tradicionales son:

- Ausencia de agua en el producto: esto evita problemas de polimerización del HCN en las secciones posteriores al reactor, correspondientes a las etapas de enfriamiento y acondicionamiento del producto y separación de subproductos.
- Reducción considerable de la cantidad de amoníaco a la salida, alcanzando valores de concentración de 500 ppm, lo que permite prescindir de un sistema de separación de amoníaco.
- La ausencia de catalizadores en el proceso permite relajar las condiciones de pureza de la alimentación. El metano utilizado como materia prima en los procesos tradicionales, puede contener azufre en cantidades suficientes como para envenenar los catalizadores empleados. En este proceso, al no existir catalizador, no se requiere un contenido máximo en azufre para el metano, por lo que se puede reducir el precio de adquisición de las materias primas.
- El hidrógeno obtenido se puede emplear para la síntesis de otros compuestos, aunque una parte se recicla para inhibir la formación de hollín en el reactor.

Como inconvenientes se pueden citar los siguientes:

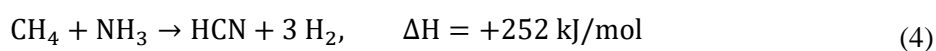
- En las reacciones se genera gran cantidad de moles en fase gas, lo que supone un problema de controlabilidad y seguridad para la planta, además el gas producido (hidrógeno) es altamente inflamable. En el caso del ácido cianhídrico, también se

trata de un gas inflamable, sin embargo, en los procesos tradicionales se somete a un enfriamiento quench a la salida del reactor y el tratamiento posterior se lleva a cabo como líquido, por lo que se evita este problema.

- Este proceso consume gran cantidad de electricidad, entorno a 6,5 kWh por cada kg de HCN producido. Ésta supone la principal desventaja respecto a los otros procesos, ya que eleva los costes de producción en caso de no disponer de una fuente de energía barata. Es por ello que el proceso Shawinigan sólo es rentable en lugares en los que se puede obtener energía eléctrica a un coste muy bajo.

6.3. Proceso BMA

El proceso BMA¹ fue desarrollado por la compañía Degussa en Alemania. En este proceso se lleva a cabo la síntesis de HCN a partir de amoníaco y metano. Se trata de un sistema reactivo similar al del proceso Shawinigan con la particularidad de que en el proceso BMA se emplea catalizador. La principal diferencia con el proceso Andrusow es la ausencia de oxígeno en la corriente de alimentación. La reacción principal del proceso se presenta a continuación:



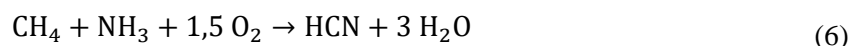
Las condiciones de reacción óptimas tienen lugar a 1200 °C y 1 atm. La conversión obtenida con estas condiciones es de un 80 – 87 % para el amoníaco y un 90 – 94 % para el metano. El resto del amoníaco se descompone en nitrógeno e hidrógeno, lo que constituye la principal reacción secundaria no deseada del proceso.

Se trata de una reacción endotérmica, por lo tanto, se debe aportar energía externa para que la reacción transcurra a la temperatura deseada. Para ello, se emplea un reactor compuesto de un haz de tubos de alúmina recubiertos en su interior con una capa de platino, que actúa como catalizador. El aporte energético tiene lugar en el interior de los tubos, los cuales se localizan en el interior de un horno en el que se emplea gas natural como combustible, además del hidrógeno generado por la reacción, que reacciona según la estequiometría siguiente:



¹ BMA: Blausäure aus Methan und Ammoniak (Ácido cianhídrico a partir de metano y amoníaco)

No se puede aprovechar el hidrógeno para su venta por la cantidad de impurezas que contiene, por lo tanto, todo el hidrógeno generado se emplea para aporte energético. La reacción general del proceso, obtenida de la suma de las dos anteriores, es la siguiente:



Los tubos en los que transcurre la reacción se dividen en tres partes según la etapa que se lleve a cabo. En la primera zona, correspondiente a un 25% de su longitud, se precalientan los gases hasta la temperatura deseada. En la segunda zona la velocidad de reacción se incrementa rápidamente hasta que se ve limitada por la transferencia de materia. El tramo final de los tubos está refrigerado y en él cesa la reacción.

A la salida del reactor, los gases se enfrían rápidamente hasta 300 °C para evitar la polimerización del HCN. Este enfriamiento se realiza haciendo pasar la corriente de salida por una cámara de aluminio refrigerada con agua. El siguiente paso es la separación de amoníaco en una etapa de absorción con reacción química en la que se hace reaccionar con ácido sulfúrico para formar sulfato de amonio, que constituye un subproducto del proceso. Para la separación de los gases generados se absorbe el HCN en agua, obteniéndose una corriente de cabezas del absorbedor rica en hidrógeno. La corriente de colas se incorpora en una columna de destilación para obtener el producto deseado, con una pureza del 99,5 %. El diagrama de bloques se presenta a continuación:

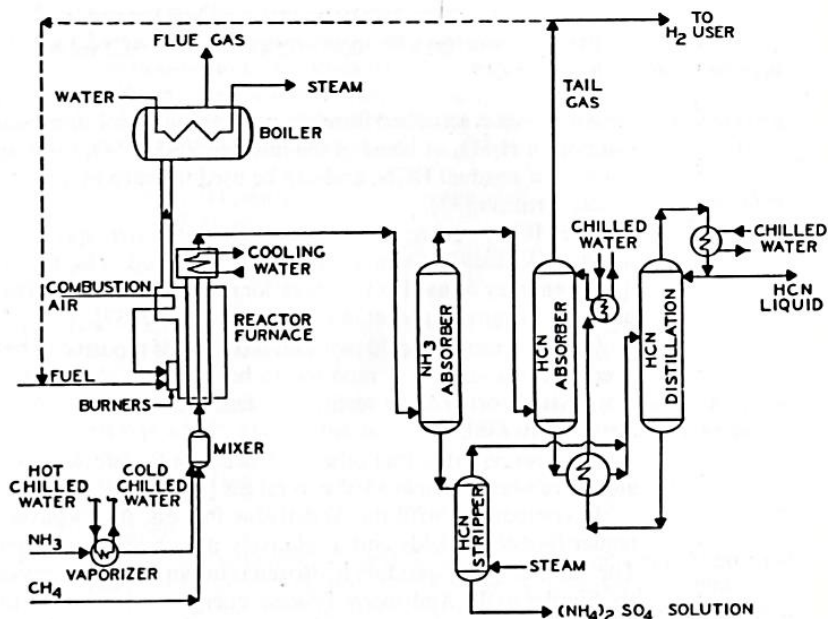


Figura 2. Diagrama de bloques del proceso BMA

Las ventajas de este proceso se resumen a continuación:

- Como la conversión obtenida es mayor que la del proceso Andrussow, la cantidad de amoníaco a la salida del reactor es menor, por lo que se reducen tanto los costes de equipos como los de operación.
- El gas obtenido como subproducto es hidrógeno, que se puede utilizar como combustible en el horno en el que se produce la reacción o como materia prima para la síntesis de otros compuestos.
- Si el suministro de metano es limitado, se pueden emplear como materias primas hidrocarburos ligeros y etanol. También se puede utilizar como reactivo metanol, pero mediante una reacción en tres etapas.
- Se puede recuperar la energía de calentamiento utilizándola para precalentar el aire de la alimentación o para generación de vapor en la planta

Las desventajas se presentan a continuación:

- La principal desventaja es la inversión inicial que se debe realizar, así como los costes de operación, que son mayores que para el proceso Andrussow, que no utiliza un horno para aportar energía al reactor.
- El consumo de energía en el reactor debido a la endotermicidad de la reacción es de 11,1 kWh/kg HCN producido. Para el aporte de energía se utiliza un horno que emplea como combustible gas natural. Por tratarse de un intercambio de calor indirecto, la energía aprovechada es menor que en el caso de un contacto directo. En cambio, en el proceso Andrussow la energía la aporta la reacción de síntesis de agua a partir del hidrógeno formado en la primera reacción y el oxígeno introducido con la corriente de aire, lo que supone un intercambio directo y consecuentemente un mayor aprovechamiento de la energía.

6.4. Proceso Andrussow

El proceso Andrussow constituye la primera vía de producción de ácido cianhídrico a nivel mundial. Éste se produce a partir de amoníaco y metano en una reacción catalizada por Pt y Rh, en un reactor adiabático en el que se alcanza una temperatura de 1200 – 1400 °C y a una presión comprendida en el intervalo 1 – 2 bar.

Este proceso ha sido desarrollado entorno al 1930 por L. Andrussow, en la empresa I. G. Farben, y es el proceso más utilizado en la actualidad para la producción de ácido cianhídrico. La capacidad de las plantas que utilizan esta tecnología varía entre 5.000 y 30.000 t/año. Entre las plantas que emplean este proceso se encuentran DuPont, Cyanco y Rohm and Hass en Estados Unidos, ICI o Röhm en Europa occidental y Mitsubishi Gas en Japón.

En el proceso tienen lugar diversas reacciones serie/paralelo descritas en posteriores apartados. No obstante, la reacción global del proceso se corresponde con la siguiente expresión:



A diferencia de los procesos descritos anteriormente, se trata de una reacción global exotérmica que no necesita aporte energético externo, por lo que no se requiere la instalación de un horno o el aporte de corriente eléctrica para proporcionar energía. La mezcla de amoníaco-metano-aire se hace pasar por una malla de catalizador de Pt-10%Rh. Con el fin de evitar la polimerización del HCN, los gases de salida del reactor se deben enfriar rápidamente, por lo que se realiza un enfriamiento tipo quench a la salida del reactor. La energía retirada se puede utilizar para producir vapor a utilizar en el resto de la planta.

La separación de productos y subproductos que se realiza aguas abajo del reactor se trata de la misma descrita para el proceso BMA comentado anteriormente. Según la separación de amoníaco permita su posterior recuperación y recirculación se diferencian dos procesos de separación:

- Absorción reactiva utilizando fosfato monoamónico (MAP): se emplea una reacción de equilibrio, que se ve favorecida hacia el producto a bajas temperaturas, por lo que la desorción se consigue elevando la temperatura con inyección de vapor. La reacción es la siguiente:



- Absorción reactiva utilizando ácido sulfúrico: en este caso se trata de una reacción irreversible en la que el producto obtenido es sulfato de amonio, un producto utilizado como intermediario en la producción de fertilizantes con valor en el mercado. La reacción que tiene lugar posee la siguiente estequiometría:



El diagrama de bloques del proceso Andrussow es el siguiente:

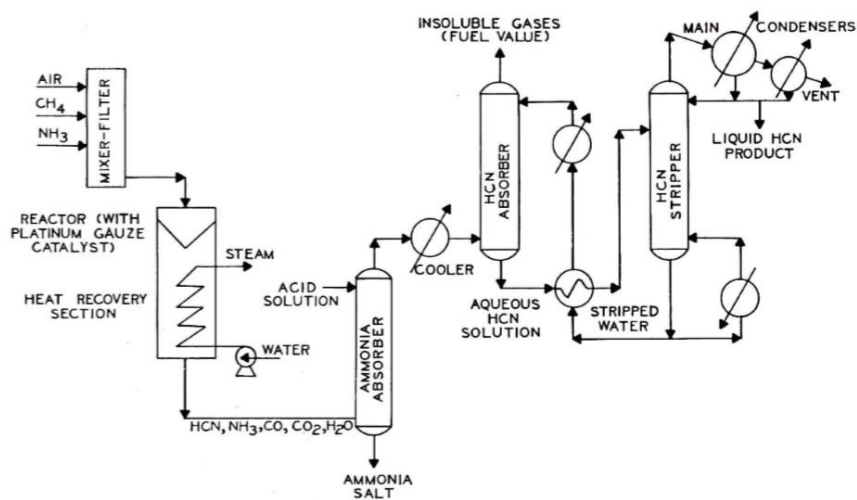


Figura 3. Diagrama de bloques del proceso Andrussow (McKetta, 1988)

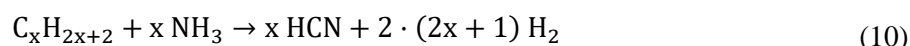
Las ventajas de este proceso son las siguientes:

- Vida del catalizador elevada: el catalizador utilizado tiene una vida útil de más de 10.000 h, cifra elevada comparada con las otras alternativas.
- Tecnología desarrollada, con un sistema reactivo seguro, trabajando fuera de los límites de explosividad de la mezcla.
- Se consigue alta pureza de producto, además de contar con separaciones de los subproductos asequibles económicamente.

El principal inconveniente de este proceso es que requiere una alimentación con alto contenido en metano para evitar la deposición de carbón sobre el catalizador. Otro inconveniente es el envenenamiento del catalizador que se produce a causa de los compuestos de azufre y fósforo contenidos en el gas natural.

6.5. Procesos en desarrollo

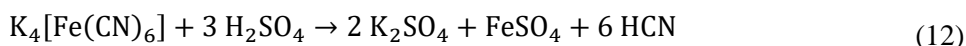
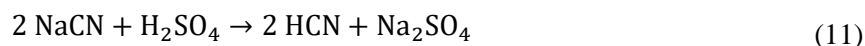
Existen procesos de producción relativamente nuevos, como la producción a partir de formamida, llevada a cabo en una planta en Ludwigshafen. Alemania y desde 1997 en una planta en Niigata, Japón. Se están buscando materias primas alternativas como metanol, carbón o monóxido de carbono. Existe otra planta de producción de HCN a partir de la amoxidación de metanol en Japón. Todas son tecnologías basadas en reacciones de hidrocarburos ligeros con amoníaco, siguiendo la siguiente reacción general:



Estas reacciones son endotérmicas y requieren de aporte energético externo. El proceso BMA descrito anteriormente sigue este mecanismo de reacción, por lo que las ventajas y los inconvenientes de estos métodos son similares, con la desventaja añadida de que son sistemas sobre los que no se conocen completamente los mecanismos de reacción.

6.6. Producción en laboratorio

Una de las alternativas de producción es la utilización de la ruta de reacción utilizada en laboratorio para la producción industrial de ácido cianhídrico. A escala laboratorio se puede producir HCN mediante la reacción entre ferrocianuro potásico y ácido sulfúrico o cianuro de sodio y ácido sulfúrico. De forma general llevando a cabo una reacción entre una sal de cianuro y un ácido fuerte. La estequiometría de las reacciones es la siguiente:



Se trata de una reacción ácido base en la que un ácido fuerte (ácido sulfúrico) reacciona con una base conjugada de un ácido débil (HCN) para dar lugar al ácido débil y a la base conjugada del ácido fuerte.

6.7. Elección del proceso

De todas las alternativas propuestas en los anteriores apartados, se debe seleccionar la más adecuada para llevar a cabo su diseño. Las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas se presentan al final de cada uno de los apartados, y en base a toda la información presentada se descartan en principio las siguientes alternativas por sus desventajas:

- Proceso Sohio: el ácido cianhídrico constituye un subproducto, por lo tanto, no se trata de un mecanismo de producción de este compuesto sino de un aprovechamiento de un producto secundario producido en grandes cantidades.
- Procesos en desarrollo: se trata de procesos que aún están en fase de investigación y son susceptibles de mejoras sustanciales en la tecnología, por lo tanto, no se contempla el diseño de una planta basado en un proceso aún no desarrollado por completo.

Por cuestiones de seguridad, se descarta el empleo del proceso Shawinigan, por la generación de grandes cantidades de moles en fase gas. Además, la elevada proporción de hidrógeno en la corriente de salida del reactor puede ocasionar problemas de seguridad de la instalación por ser un gas muy inflamable. Atendiendo a criterios medioambientales, los subproductos de todas las alternativas presentan propiedades similares, por lo que no se descarta ningún proceso según estos criterios.

Del resto de alternativas posibles, se realiza el cálculo del beneficio bruto de cada una de ellas para comprobar cuál o cuáles no resultan rentables. Tanto para el proceso Andrussow como BMA, la ecuación estequiométrica general del proceso es la misma, por lo que el valor del beneficio bruto es coincidente.

Para este cálculo se emplean los precios de reactivos y productos presentados en la siguiente tabla, así como la masa molecular de cada compuesto. No se consideran los precios del oxígeno por provenir del aire y tampoco del agua.

Tabla 1. Precios de los compuestos

| Compuesto | Precio (€/kg) | Masa molecular (g/mol) |
|---|---------------|------------------------|
| HCN | 1,184 | 27,03 |
| NaCN | 1,658 | 49,01 |
| Na ₂ SO ₄ | 0,110 | 142,04 |
| FeSO ₄ · 7 H ₂ O ² | 0,011 | 295,92 |
| K ₂ SO ₄ | 0,175 | 174,26 |
| NH ₃ | 0,539 | 17,03 |
| CH ₄ | 0,170 | 16,04 |
| H ₂ SO ₄ | 0,084 | 98,08 |
| K ₄ [Fe(CN) ₆] | 1,283 | 290,13 |

Se evalúan los dos procesos industriales de BMA y Andrussow, además de las dos rutas de reacción más comunes empleadas a escala laboratorio, y para ello se considera la estequiometría de la reacción principal, de forma que el beneficio bruto de cada una de ellas se calcula como:

$$BB_i = M_{\text{HCN}} \sum_{i=1}^n v_{ij} \frac{C_i}{M_i} \quad (13)$$

En la expresión anterior, M_i son las masas moleculares de los compuestos, C_i sus precios y los v_{ij} los coeficientes estequiométricos de los compuestos i en la reacción j . Los resultados del cálculo del beneficio bruto se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resultados de beneficio bruto

| Proceso | Beneficio bruto (€/kg _{HCN}) |
|---|--|
| BMA | 0,743 |
| Andrussow | 0,743 |
| Laboratorio NaCN | -3,373 |
| Laboratorio K ₄ [Fe(CN) ₆] | -5,209 |

De la tabla anterior, se extrae que las dos reacciones empleadas en laboratorio para la producción de ácido cianhídrico no resultan rentables, por lo tanto, queda la elección entre el

² Se toma el precio del FeSO₄ · 7 H₂O, ya que es la fórmula comercial del sulfato de hierro.

proceso BMA y Andrussow. Analizando ventajas y desventajas de cada uno de ellos, el proceso BMA proporciona una mayor conversión, sin embargo, requiere el empleo de un horno en el que ocurre la reacción.

De entre las dos alternativas, se selecciona el proceso Andrussow porque tanto los costes de instalación como de mantenimiento del reactor son menores. Además, el aprovechamiento energético es mayor por realizarse un intercambio de calor directo. Por otra parte, en el enfriamiento que sigue al reactor, se genera vapor a alta presión que puede ser utilizado en cualquier lugar de la planta.

7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso seleccionado es el proceso Andrussow, en el que se produce ácido cianhídrico a partir de amoníaco y metano en presencia de oxígeno. Las condiciones de alimentación al reactor son de 200°C y entre 1 – 2 bar de presión, junto con una relación molar de $\text{NH}_3 : \text{CH}_4 : \text{O}_2$ de 1: 1: 1,3. Dado que la alimentación no se incorpora al proceso en estas condiciones, se requiere un acondicionamiento previo de las materias primas tanto de presión como de temperatura.

El reactor en el que se lleva a cabo es un reactor catalítico de lecho fijo, en el que se emplea como catalizador una serie de mallas de PtRh. Con el fin de obtener las condiciones óptimas de reacción, ésta se debe llevar a cabo de forma adiabática, sin embargo, una vez los productos abandonan el lecho, se deben enfriar de forma instantánea para minimizar la formación de subproductos y evitar la polimerización del producto principal. Por lo tanto, el reactor se compone de una primera zona adiabática y una segunda zona con intercambio de calor tipo quench en un intercambiador de carcasa y tubos. Las dos partes están separadas por un aislante térmico para evitar que las altas temperaturas alcanzadas en el reactor (1500 – 1700 K) afecten a los tubos del intercambiador de calor.

De la corriente de salida del reactor se deben separar los reactivos sin reaccionar y los subproductos. La primera etapa implica la separación de amoníaco mediante una absorción reactiva. Esta absorción puede variar según se desee recircular el amoníaco al proceso o no. Si se desea recircular se utiliza una disolución de fosfato de monoamonio que se convierte en fosfato de diamonio, y la desorción se produce elevando la temperatura del compuesto formado. En caso de no recircular se emplea como absorbente una disolución de ácido sulfúrico, que reacciona con el amoníaco formando sulfato de amonio. Se trata de un subproducto empleado en la producción de fertilizantes y diversas sales de amonio, por lo que tiene valor en el mercado.

La corriente que abandona el absorbedor por cabezas es una mezcla de subproductos (principalmente agua y monóxido de carbono) junto con el metano no reaccionante y el producto principal. Dada la baja solubilidad tanto del monóxido de carbono como del metano en agua, se realiza una separación consistente en una etapa de absorción física del ácido cianhídrico en agua. La corriente de cabezas contiene combustibles que pueden ser aprovechados para la producción de vapor en un horno, o simplemente ser enviados a una antorcha para evitar la emisión a la atmósfera de compuestos tóxicos perjudiciales para el medio ambiente además de minimizar la emisión de gases de efecto invernadero. La corriente de colas del absorbedor pasa a un stripper que reduce la cantidad de agua del producto hasta los límites establecidos por la legislación además de cumplir los requerimientos de los clientes.

8. EMPLAZAMIENTO

8.1. Requisitos del emplazamiento

Dado que la planta necesita suministro continuo tanto de amoníaco como de gas natural (fuente de metano), se debe encontrar un emplazamiento adecuado de manera que se minimice la distancia a las plantas de producción de amoníaco como a las plantas regasificadoras. De esta forma se minimizan los costes asociados al transporte de materias primas. Asimismo, sería conveniente de disponer de un lugar de consumo de ácido cianhídrico cerca de la planta para minimizar los riesgos asociados al transporte de este compuesto y minimizar el coste de transporte del producto final.

Como requerimiento adicional, se debe disponer de mercado cercano de los subproductos con valor en el mercado para minimizar los gastos de transporte. En este proceso, el subproducto generado es el sulfato de amonio, empleado por las plantas de producción de fertilizantes como materia prima. Por tanto, la localización de la planta debe contemplar la cercanía de las siguientes plantas:

- Planta de producción de amoníaco.
- Conexión a la red nacional de gasoductos.
- Plantas que utilicen ácido cianhídrico como materia prima
- Planta de producción de fertilizantes cercana.

8.2. Obtención de metano

El suministro de metano a las instalaciones se realiza mediante GLP (gas licuado de petróleo), un conjunto de gases cuyo componente mayoritario es metano. El gas natural se transporta a lo largo del territorio español a través de gasoductos, por lo que la planta puede estar ubicada en cualquier zona en la que se pueda disponer de conexión directa a un gasoducto de la red.

En el siguiente mapa se puede observar la red de gasoductos en España:



Figura 4. Red de gasoductos en España

A la vista de la figura anterior, el suministro de gas natural no es un factor limitante en la localización de la planta.

8.3. Obtención de amoníaco

Debido a la peligrosidad de transporte de amoníaco sería recomendable un emplazamiento en el que se disponga de suministro de amoníaco cercano. Las principales plantas de amoníaco en España son:

- Palos de la Frontera: propiedad de Fertiberia, S.A., tiene una capacidad de producción de 1.130 toneladas diarias.
- Puertollano: propiedad de Fertiberia, S.A., dispone de una capacidad de 600 toneladas diarias.
- Sabiñánigo: propiedad de Energía e Industrias Aragonesas, con una capacidad de producción de 40 t/día.

El transporte de amoníaco se realiza en tanques cilíndricos sobre camiones o trenes. En el caso de no disponer de suministro cercano, el transporte se puede realizar por carretera o por

ferrocarril, por lo que el polígono industrial debe disponer de buenas comunicaciones con estos medios de transporte.

8.4. Venta de ácido cianhídrico

El HCN se utiliza mayoritariamente como intermediario en la industria petroquímica secundaria y su transporte presenta problemas por su peligrosidad, por lo que se debe buscar un emplazamiento cercano a los lugares de venta de este producto.

Se analizan las plantas de producción de los principales derivados tratados en el estudio de mercado en el territorio español. Para el caso del metacrilato, no se dispone de plantas de producción en la península, sin embargo, se podría plantear un emplazamiento cercano a las zonas de consumo. Como la demanda de este producto está estrechamente ligada con el mercado del automóvil, la mejor localización sería en las comunidades autónomas de Madrid, País Vasco y Barcelona (mayor importancia del sector automovilístico). (Sánchez Vicente, 2014)

En el caso del Nylon 66, existen dos plantas en España en las que se produce y a las que se podría vender el ácido cianhídrico. Estas plantas se localizan en:

- Zaragoza: propiedad de la compañía NUREL, produce 27.000 t/año de polímeros y 7.000 t/año de fibras poliméricas.
- Castellón: planta propiedad de la multinacional japonesa UBE, con una capacidad de producción de nylon 6 y nylon 66 de 40.000 t/año. Está prevista una ampliación de esta capacidad hasta llegar a las 70.000 t/año en el 2018. (Nurel, S.A., 2017; Higgs, 2016)

En relación a la producción de metionina, en España se encuentra la única planta de producción de este aminoácido de toda la Unión Europea, propiedad de Adisseo y localizada en Burgos. En los últimos 10 años, ha experimentado un crecimiento en las ventas de un 60%, con una tasa de actual de producción anual de 150.000 t/año, centrandose sus exportaciones hacia el mercado estadounidense. (Adisseo, 2017; Juez, 2013)

8.5. Venta de sulfato de amonio

El principal subproducto del proceso con valor en el mercado es el sulfato de amonio. Se trata de un compuesto ampliamente utilizado como producto de partida para la síntesis de fertilizantes. El sector de los fertilizantes en España cuenta con 14 plantas de producción distribuidas a lo largo de todo el territorio.

Las localidades en las que se encuentran son Avilés (Asturias), Salamanca, Puertollano, Huelva, Palos de la Frontera (Cádiz), Granada, Bilbao, Lodosa (Navarra), Huesca, Teruel, Suria-Sallent (Barcelona), Tarragona, Castellón y Sagunto (Valencia). Por lo tanto, la venta de subproductos no supone una limitación para la localización de la planta.

8.6. Selección de localización

En vista de los requisitos presentados al comienzo y considerando la información aportada en anteriores apartados, los posibles emplazamientos para la planta son Castellón, Zaragoza (por la cercanía de las plantas de producción de Nylon) o Burgos (cercanía a la planta de metionina). En la siguiente tabla se analizan las alternativas factibles:

Tabla 3. Comparativa entre emplazamientos. Elaboración propia a partir de datos de Google (2017) y Ministerio de Fomento (2017)

| | Burgos | Castellón | Zaragoza |
|---------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Gasoducto | Si | Si | Si |
| Amoníaco, km | 350 – Sabiñánigo | 400 – Puertollano | 130 – Sabiñánigo |
| Subproductos, km | 160 – Bilbao | In situ | 75 – Huesca |
| Precio, €/m² (2016) | 49,40 | 128,90 | 136,30 |

De todas las alternativas anteriores se escoge Zaragoza atendiendo a criterios de minimización de los costes de transporte de las materias primas. Se selecciona esta variable porque los costes de transporte de los subproductos poseen menos influencia por tener un volumen de producción menor. Aunque el precio del suelo industrial sea sensiblemente menor en el caso de Burgos, los costes derivados del desarrollo de la actividad productiva se verían incrementados por el transporte de las materias primas y subproductos. Por último, las tres localizaciones posibles disponen de conexión con la red de gasoductos, por lo que ésta no supone un criterio a seguir en la selección del emplazamiento.

8.7. Polígono industrial

De todos los polígonos industriales libres en la provincia de Zaragoza, se busca el más cercano a la planta de producción de Nylon que disponga de suelo apto para uso industrial. El polígono seleccionado es “El Espartal II”, localizado en el ayuntamiento de El Burgo de Ebro. Se trata de un polígono que consta de cuatro manzanas. Las tres primeras se dividen en parcelas de media superficie y la cuarta en parcelas de gran superficie.

En la siguiente tabla se presentan los servicios de los que dispone el polígono de “El Espartal II”, en relación a las comunicaciones directas, instalaciones, servicios y distancias a puntos de interés.

Tabla 4. Características del polígono de "El Espartal II"

| | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Comunicaciones | |
| Acceso principal | N-232 |
| Acceso alternativo (en construcción) | Enlace con A-2 |
| Viales | 16 m de ancho |
| Instalaciones | |
| Agua potable | Si (Dispone de E.T.A.P.) |
| Red contraincendios | Si |
| Iluminación | Si |
| Red de saneamiento | Si (Conexión con E.D.A.R) |
| Red eléctrica | Si (AT/MT/BT) |
| Red telefónica | Si |
| Red de gas natural | Si (APA/MPB) |
| Servicios | |
| Aparcamiento | Si |
| Bomberos | Si |
| Distancias | |
| Zaragoza | 20 km |
| Huesca | 75 km |
| Ferrocarril más próximo | Zaragoza (20 km) |
| Aeropuerto | Zaragoza (35 km) |
| Puerto | Tarragona (250 km) |

8.8. Parcela

De todo el polígono se selecciona la parcela P4-04, localizada en la cuarta manzana (sombreada de color naranja en la Figura 5), una parcela catalogada como de gran superficie habilitada para edificación aislada.

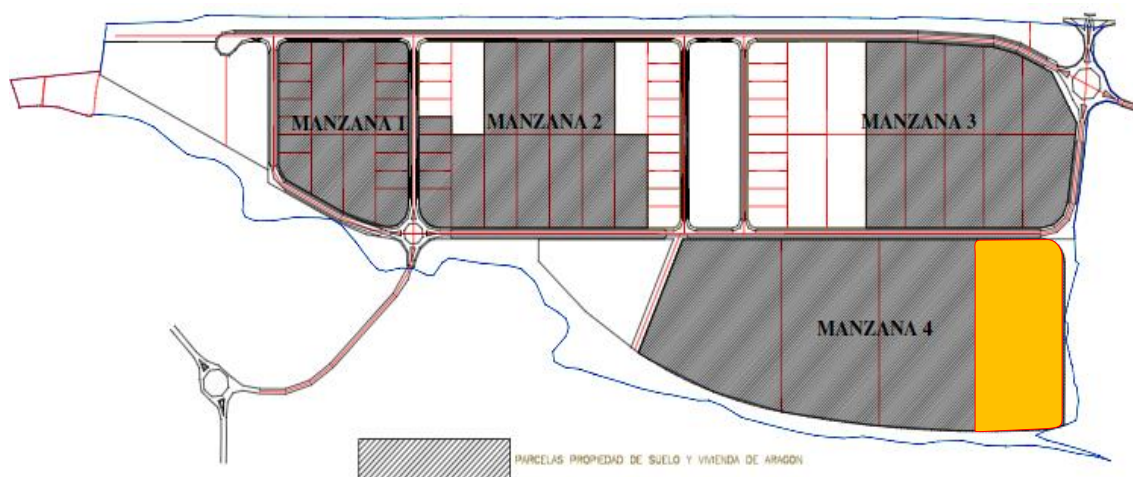


Figura 5. Distribución por parcelas del polígono de El Espartal II

8.9. Meteorología

No se dispone de datos meteorológicos medidos en la localización del polígono, por lo tanto, se analiza la información proporcionada por la estación meteorológica del aeropuerto de Zaragoza, localizado a 35 km de la localización prevista para la planta. Se trata de una serie de datos proporcionados por la AEMET (Agencia Española de Meteorología) que recopilan valores promedio de diferentes parámetros agrupados por meses y teniendo en cuenta un histórico en el período 1981-2010.

Tabla 5. Datos meteorológicos del emplazamiento seleccionado

| Mes | \bar{T} | $\bar{T}_{máx}$ | $\bar{T}_{mín}$ | P | H | DP | DN | DT | DF | DH | DD | I |
|-------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----|----|------|-----|------|------|------|------|-----|
| Enero | 6,6 | 10,5 | 2,7 | 21 | 75 | 4 | 0,7 | 0 | 6,5 | 7,6 | 4,6 | 131 |
| Febrero | 8,2 | 13,1 | 3,3 | 22 | 67 | 3,9 | 0,4 | 0,1 | 2,9 | 5,2 | 5,1 | 165 |
| Marzo | 11,6 | 17,3 | 5,8 | 19 | 59 | 3,7 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 1,4 | 6,7 | 217 |
| Abril | 13,8 | 19,6 | 7,9 | 39 | 57 | 5,7 | 0 | 1,4 | 0,2 | 0,1 | 4,6 | 226 |
| Mayo | 18 | 24,1 | 11,8 | 44 | 54 | 6,4 | 0 | 4,1 | 0,3 | 0 | 4,5 | 274 |
| Junio | 22,6 | 29,3 | 15,8 | 26 | 49 | 4 | 0 | 3,9 | 0,1 | 0 | 8,2 | 307 |
| Julio | 25,3 | 32,4 | 18,3 | 17 | 47 | 2,6 | 0 | 3,8 | 0 | 0 | 14,6 | 348 |
| Agosto | 25 | 31,7 | 18,3 | 17 | 51 | 2,3 | 0 | 3,7 | 0 | 0 | 10,9 | 315 |
| Septiembre | 21,2 | 27,1 | 15,2 | 30 | 57 | 3,2 | 0 | 2,8 | 0,2 | 0 | 8 | 243 |
| Octubre | 16,2 | 21,4 | 11 | 36 | 67 | 5,4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5,4 | 195 |
| Noviembre | 10,6 | 14,8 | 6,3 | 30 | 73 | 5,1 | 0,1 | 0,1 | 3,9 | 1,9 | 4 | 148 |
| Diciembre | 7 | 10,8 | 3,2 | 21 | 76 | 4,8 | 0,5 | 0,1 | 7,1 | 6,5 | 4,3 | 124 |
| Año | 15,5 | 21 | 10 | 322 | 61 | 51,1 | 2,4 | 21,3 | 22,5 | 23,1 | 81,6 | - |

En la tabla anterior, \bar{T} son temperaturas medias en grados centígrados, P precipitaciones medias en mm, H humedades relativas, N nieve, T tormenta, F niebla, H heladas y D días despejados. Que las letras estén precedidas por D implica que es el número de días que se produce el fenómeno por mes.

De la tabla anterior se puede extraer que la temperatura media anual se localiza en torno a los 15,5°C alcanzándose las temperaturas máximas en el mes de julio. Las temperaturas máximas diarias también alcanzan los valores más altos en ese mismo mes, llegando a los 32,4°C. Las mínimas se registran en el mes de enero con temperaturas medias de 6,6°C y mínimas de 2,7°C.

En cuanto a la pluviometría, la precipitación anual media es de 322 mm/año, registrándose el máximo en el mes de mayo con 44 mm. La humedad relativa media de la zona es del 61 %. El fenómeno meteorológico más común es la lluvia, con un valor medio de 51,1 días lluviosos al año. Por el contrario, las precipitaciones en forma de nieve sólo alcanzan un valor de 2,4 días al año. Tanto los días de niebla como tormentas y heladas se producen alrededor de 20 días al año cada una. El climograma de la zona se presenta a continuación y se corresponde con un clima mediterráneo continentalizado. (AEMET - Agencia Española de Meteorología, Histórico 1981-2010)

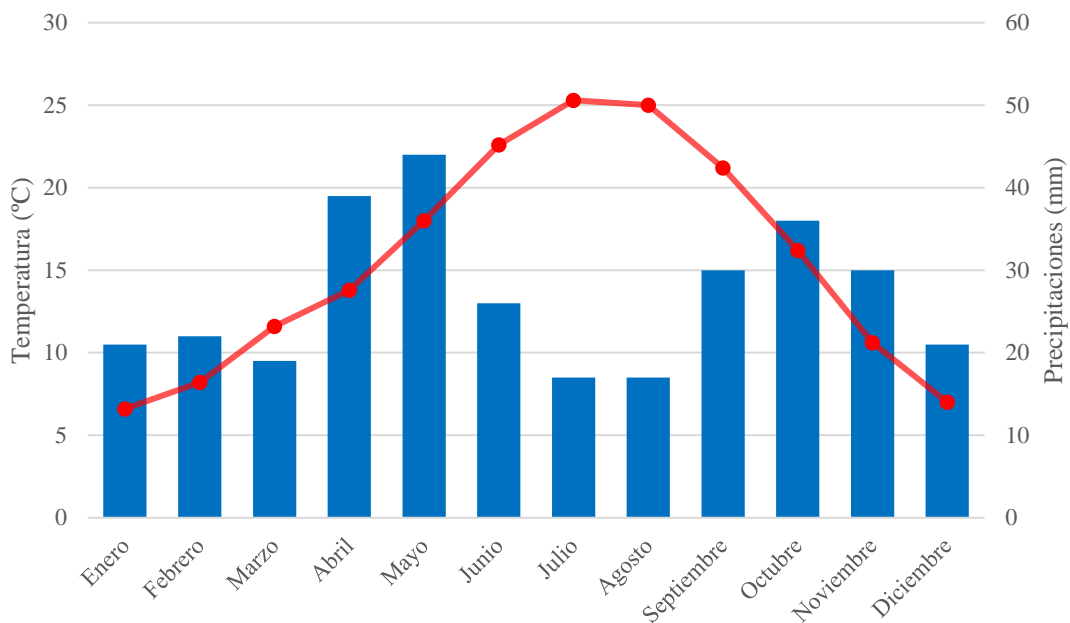
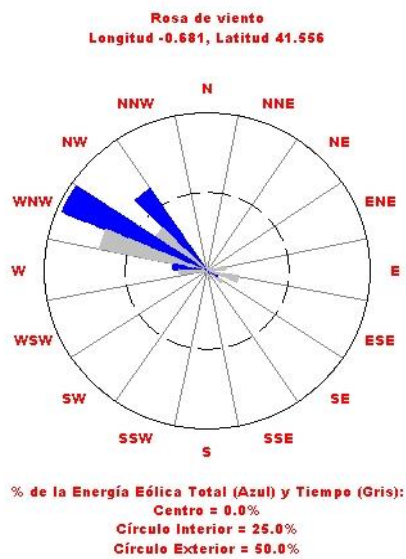


Figura 6. Climograma del emplazamiento seleccionado



Predomina el viento de componente oeste-noroeste (ONO/WNW), seguido de viento de componente noroeste (NO/NW), con frecuencias de 33,28% y 20,05% respectivamente, según datos del IDAE (Instituto para el Desarrollo de Actividades Económicas). La velocidad media del viento en esta zona alcanza un valor promedio de 8,5 m/s. En la siguiente figura se presenta la rosa de los vientos del emplazamiento seleccionado. (IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2016)

Figura 7. Rosa de los vientos

8.10. Sismicidad

Otro de los parámetros importantes a considerar para el emplazamiento de la planta es el riesgo sísmico de la zona, ya que puede comprometer la integridad de las estructuras en caso de que no se tomasen las medidas de protección oportunas. El mapa de peligrosidad sísmica del territorio español elaborado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) estipula para la zona en la que se encuentra el polígono seleccionado riesgo bajo, por lo que no se contemplan medidas adicionales de protección, y este aspecto no es determinante en la localización de la planta. (IGE - Instituto Geográfico Nacional, 2015)

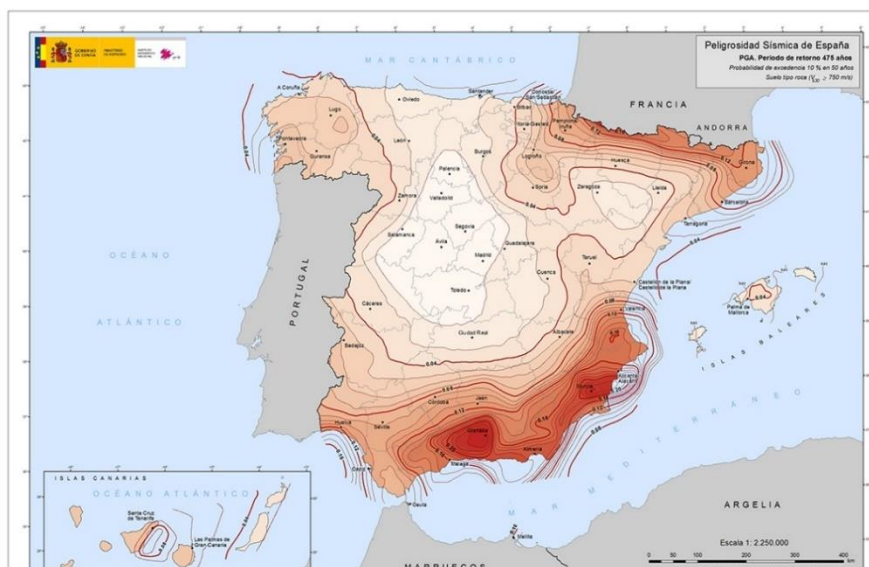


Figura 8. Mapa de riesgo sísmico en España

9. ESTUDIO DE MERCADO

Según datos proporcionados por IHS Markit en octubre del 2016, la demanda de ácido cianhídrico en el mundo crecerá entre un 1% y un 2% anual hasta 2020. Con respecto a Europa, este crecimiento apunta porcentajes sensiblemente inferiores, localizados en torno al 0,5%.

El HCN se trata de un compuesto químico englobado dentro de la química base, por lo que se emplea como punto de partida en la síntesis de otros compuestos. Esta relación implica que su demanda sea directamente proporcional a los requerimientos de mercado de los productos finales obtenidos en los que se utiliza como intermediario. Los principales usos del HCN se reflejan en la Figura 9.

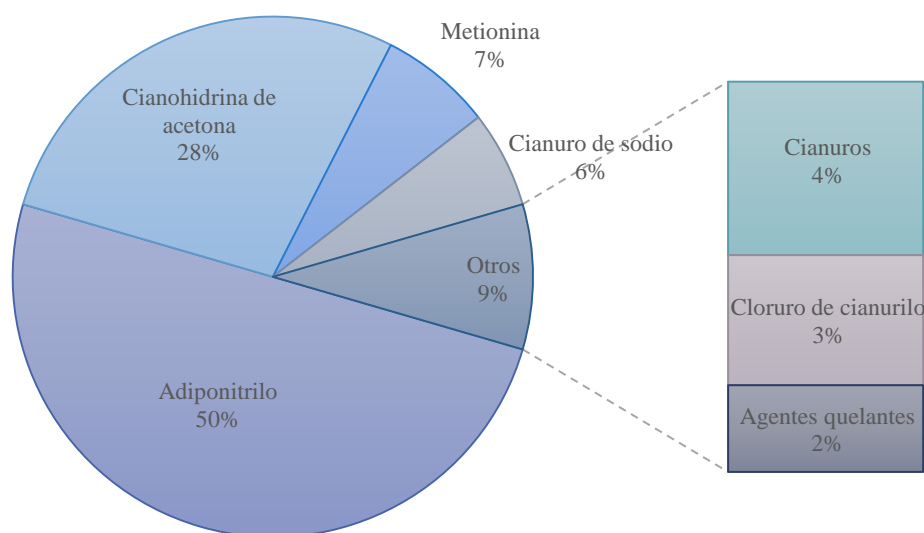


Figura 9. Usos del HCN a nivel mundial (Elaboración propia a partir de datos de ICIS, 2005)

De la figura anterior se extrae que la producción de HCN se destina a la fabricación de adiponitrilo, una materia prima empleada en la síntesis del Nylon 66. El siguiente uso mayoritario se corresponde con la producción de cianhidrina de acetona, un intermediario en la síntesis de metacrilato de metilo (MMA). Ya con menos importancia, y por su naturaleza contaminante, se encuentra la producción de sales de cianuro, y de entre ellas la más utilizada es el cianuro de sodio, empleado por la industria minera para la extracción de oro.

Como usos minoritarios, el ácido cianhídrico se utiliza como producto de partida en el ámbito de la medicina para la producción del aminoácido metionina (Met) y del agente quelante

EDTA³. Se emplea también como materia prima en el proceso de síntesis de cloruro de cianurilo, un intermediario en la producción de pesticidas.

Dado que la demanda del HCN se ve influenciada por todos los productos derivados comentados anteriormente, a continuación, se realiza un análisis en detalle de cada uno de los compuestos producidos a partir de él.

9.1. Adiponitrilo

El adiponitrilo (1,4-dicianobutano) es un compuesto líquido a temperatura ambiente obtenido principalmente mediante dos sistemas reactivos diferentes. El primero se basa en una reacción de hidrodimerización del acrilonitrilo en presencia de HCN. En la segunda vía se lleva a cabo una reacción de hidrocianación del butadieno. Presenta usos como intermediario en la producción de fluidos funcionales tanto para sistemas abiertos como cerrados, sin embargo, su mayor uso reside en su empleo como intermediario en el proceso de síntesis de hexametildiamina (HMDA).

A su vez, este monómero se hace reaccionar con ácido adípico en el proceso de producción de Nylon 66. Como producto final, la HMDA presenta usos como inhibidor de la corrosión, disolvente y acelerador de la vulcanización en la industria del caucho.

Dado que el principal destino de la producción de adiponitrilo es la producción de nylon, se analiza el mercado de este producto, cuya demanda se ha visto incrementada en los últimos años en Norteamérica y Europa se ve favorecido por la utilización del nylon como sustituto de ciertos metales en la industria del automóvil. Según datos de IHS Markit publicados en junio de 2015, el crecimiento del consumo mundial de adiponitrilo se localiza en el 3% anual llegando a alcanzar el 13-14% en China y Taiwán.

Las propiedades físicas del Nylon que lo hacen adecuado son su elevada resistencia a la tracción, coeficiente de rozamiento muy bajo y resistencia a temperaturas de hasta 1200°C. Además, es químicamente inerte, presenta baja densidad, resistencia al impacto, al desgaste y a la abrasión, así como excelentes propiedades dieléctricas, características que lo hacen óptimo tanto para elementos exteriores como para componentes mecánicos de automóviles. Además, este compuesto presenta aplicaciones dentro de la electrónica, películas y recubrimientos plásticos por extrusión. (Professional Plastics, 2017; QuimiNet, 2006)

³ EDTA (Ácido etilendiaminetetraacético): tipo de quelante empleado para la extracción de calcio y plomo del cuerpo humano, también utilizado para prevenir la formación coágulos de sangre (Instituto Nacional del Cáncer, s.f.)

9.2. Cianohidrina de acetona

Otro de los productos derivados del ácido cianhídrico es la cianohidrina de acetona (2-hidroxi-2-metilpropanonitrilo). Aunque presente usos como disolvente de laboratorio para estudios cinéticos, su principal uso reside en la utilización como reactivo para la producción de metacrilato de metilo—MMA.

Este monómero goza de múltiples aplicaciones en ámbitos tan variados como la electrónica, medicina, pinturas, adhesivos o tratamientos superficiales. Como uso principal cabe destacar la producción de su homopolímero correspondiente (polimetacrilato de metilo—PMMA) así como en la síntesis de copolímeros entre los que destaca el MMA-butadieno-estireno—MBS. Según datos de IHS Markit de agosto de 2016, la tasa de crecimiento del consumo mundial del MMA se localiza en torno a un 3% anual, valor que se prevé que continúe hasta el año 2020. (Methacrylate Producers Association Inc., 2017)

Dado que entorno al 80-85% de la síntesis de MMA se emplea en la producción de PMMA se analiza su mercado y los factores de los que depende la demanda. Todas las aplicaciones de este polímero nacen por ser una alternativa ligera, económica y resistente al vidrio. Las principales propiedades que permiten su uso como sustitutivo son la resistencia a la radiación UV, a los rasguños además de su mayor transparencia y rigidez.

Su uso mayoritario reside en la fabricación de los focos de los automóviles por las propiedades comentadas anteriormente que proporcionan al PMMA menor fragilidad que el vidrio y resistencia a condiciones climatológicas adversas. Como usos secundarios destacan la construcción, artículos sanitarios, así como la fabricación de utensilios del hogar.

La utilización de este polímero en sectores como la construcción o la automoción provocan que la demanda se vea bastante influenciada por la situación económica del país. Así, en España, la producción del PMMA se ha visto afectada por la crisis del automóvil, como se puede extraer de la información proporcionada por ICIS (2012). El crecimiento del sector de la automoción desde el año 2012 es notable hasta llegar en la actualidad a recuperar los niveles existentes antes de la crisis.

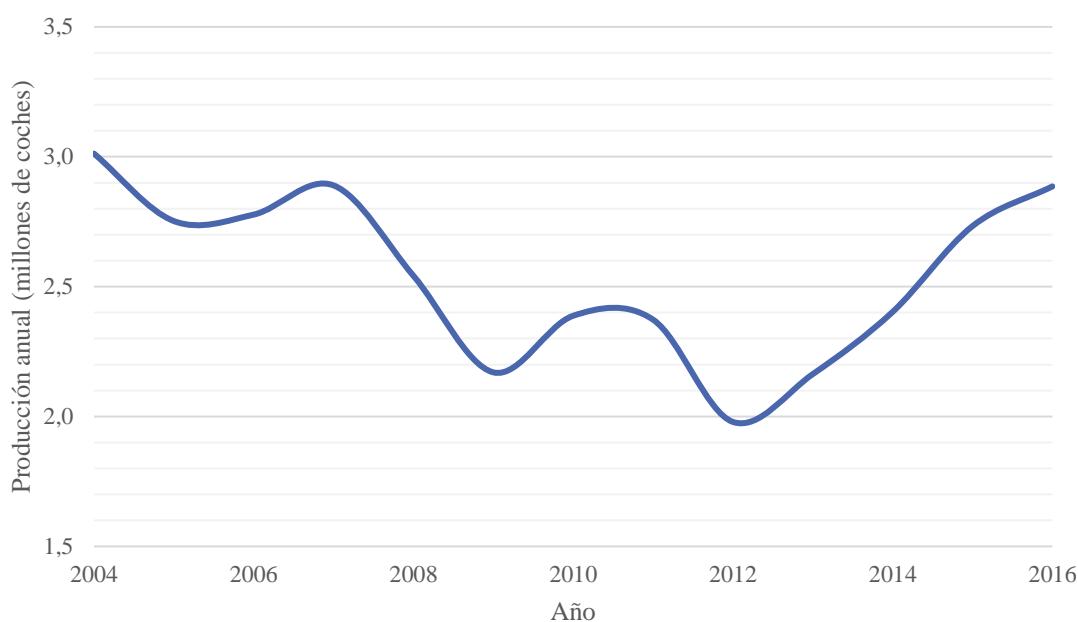


Figura 10. Producción anual de coches en España (Elaboración propia a partir de datos de ANFAC, 2017)

A partir de este año se prevé una disminución en la tasa de crecimiento por las políticas proteccionistas de los países demandantes de automóviles, siendo uno de los más significativos Reino Unido. (ANFAC, 2017)

9.3. Metionina

La producción de metionina constituye el tercer destino de la producción de HCN en cuanto a cantidad consumida, encontrándose en una posición mucho más modesta con respecto a los dos consumos comentados anteriormente (en torno a un 7% de la producción total se destina a este fin).

La metionina es uno de los nueve aminoácidos esenciales en humanos, y junto con la treonina, lisina y triptófano, son los más utilizados en dietas de aves de corral y porcinos. La metionina permite el crecimiento y la regeneración del tejido celular. Su modo de producción más económico es a partir del proceso basado en la acroleína, metil mercaptano, ácido cianhídrico y carbonato de amonio, proceso en el que se obtiene un rendimiento del 95%. (National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database, 2017)

El crecimiento del consumo de metionina se localiza en torno al 3% anual, siendo Europa Occidental y Estados Unidos las mayores regiones productoras y exportadoras. El aumento del consumo de este aminoácido se produce derivado del aumento de la demanda por parte de Asia (principalmente China), América del Sur y Central, así como Europa del Este. En la siguiente

figura se observa el consumo mundial de metionina desglosado en las diferentes regiones económicas. (IHS Markit, 2016)

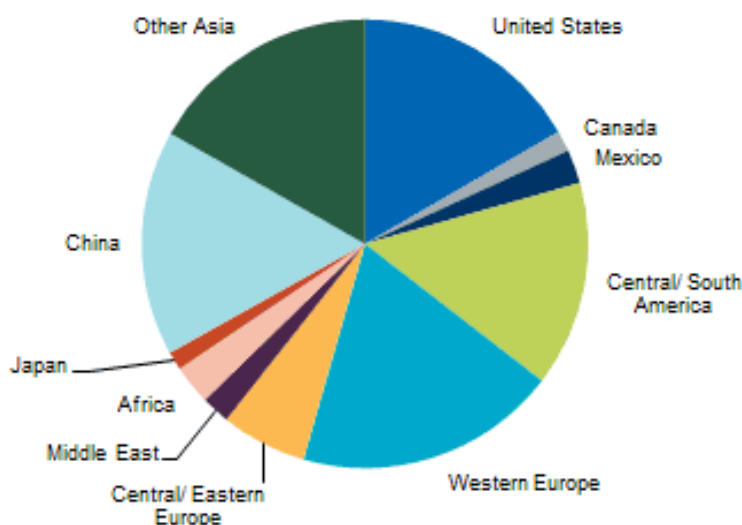


Figura 11. Consumo mundial de metionina en 2015 (IHS Markit, 2016)

9.4. Cianuros

Los cianuros juegan un papel muy importante en numerosas industrias alrededor del mundo, que incluyen la producción de químicos, productos farmacéuticos, explotación minera de oro y tratamientos superficiales. Son las sales derivadas de la reacción de ácido cianhídrico con compuestos de carácter básico. En disolución acuosa presentan carácter básico, por lo que también se denominan cianuros alcalinos. Los más importantes son el cianuro de sodio (NaCN) y el de potasio (KCN), que presentan el mayor volumen de producción. Tanto el NaCN como el KCN son sólidos cristalinos de color blanco, inodoros en ambientes secos y con un ligero olor a almendras en presencia de humedad.

La industria minera es la principal demandante de estas sales. El cianuro de sodio es el agente complejante más importante. Permite la separación selectiva de metales como plomo, zinc, cobre, molibdeno, así como hierro, y se utiliza principalmente en la extracción de oro. El cianuro de sodio forma una sal insoluble con los metales anteriormente citados permitiendo separarlos por precipitación. Sin embargo, se trata de un compuesto extremadamente contaminante, por lo que se está evitando su utilización en la minería.

Se utiliza en síntesis de compuestos orgánicos como intermediario para la introducción del grupo $-CN$. Constituye la base para el desarrollo de multitud de productos en la industria farmacéutica y en la química de los polímeros. Además, los cianuros alcalinos reaccionan con los

compuestos halogenados orgánicos para formar nitrilos que pueden ser procesados para producir ácidos carboxílicos, aminas, ésteres y amidas.

Otro de los principales usos reside en el ámbito de la galvanoplastia. En este sector se utilizan para producir complejos de metales pesados para la electrodeposición de plata, oro, cobre, zinc o latón. Además de formar parte de los complejos, se utilizan en la formulación de los propios electrolitos utilizados en esta industria. Se utilizan también para el endurecimiento del acero. Los cianuros liberan carbono sobre la superficie del material a tratar a relativamente baja temperatura y los compuestos son lo suficientemente estables como para permitir un control del proceso sencillo. Todo esto permite obtener piezas con resistencia a la abrasión y resistencia mecánica altas, utilizadas por ejemplo en motores de coches.

El consumo de cianuro de sodio en Europa y Japón se rige principalmente por estos sectores comentados anteriormente. En el año 2007, su producción mundial se situaba en 50.000 toneladas al año (base seca), según datos de la Comisión Europea. (IHS Markit, 2016; The European Chemical Industry Council - CEFIC, 2002)

9.5. Producción mundial de HCN

La producción de ácido cianhídrico, según datos de 1983 recogidos por la enciclopedia McKetta, era de 280.000 t/año en Europa, 86.000 t/año en Japón y 600.000 t/año en Estados Unidos. La producción en el año 1998, según la enciclopedia Ullmann's, era de 530.000 t/año en Europa (de las cuales 130.000 t/año como subproducto), 95.000 t/año en Japón (60.000 t/año como subproducto) y 830.000 t/año en Estados Unidos (180.000 t/año como subproducto). Debido a su utilización como intermediario y no como producto final, no se dispone de datos más actualizados de producción mundial. Los principales productores en el mundo se presentan en la siguiente tabla agrupados por regiones:

Tabla 6. Principales productores de HCN (Gail, y otros, 2012; Kirk-Othmer, Cyanides. Hydrogen Cyanide, 1993; The European Chemical Industry Council - CEFIC, 2002)

| Estados Unidos | Europa | Japón |
|---------------------------|---|----------------|
| American Cyanamid | Aragonesas Industrias Energía S.A. (España) | Mitsubishi Gas |
| BP Chemicals | Degussa A.G. (Alemania) | |
| Ciba Geigy Corp. | DOW Europe (Suiza) | |
| Degussa Cor. | DSM Acrylonitrile B.V. (Países Bajos) | |
| DOW Chemical U.S.A. | LUCITE International (Reino Unido) | |
| Rohm and Haas & Co., Inc. | | |
| Sterling Chemical | | |

10. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

10.1. A-100: Área de acondicionamiento de materias primas

En el A-100 se localizan los equipos encargados de modificar las condiciones de presión y la temperatura de las corrientes de entrada al proceso para llevarlas a las condiciones de entrada al reactor. Además, en esta zona se produce la mezcla de los compuestos reaccionantes.

El amoníaco se suministra al proceso mediante camiones cisterna, en los que se transporta como líquido a presión. Se almacena como líquido presurizado a temperatura atmosférica en depósitos esféricos localizados en el A-400, de almacenamiento de materias primas. Por lo tanto, la alimentación al proceso se produce a temperatura ambiente y a una presión de 10 bar (presión de vapor a temperatura ambiente).

Esta corriente se hace pasar por el evaporador E-101 para realizar el cambio de fase en estado gas evitando problemas de cavitación en la válvula. Además, se eleva su temperatura hasta 200°C mediante el intercambiador de carcasa y tubos E-102. La corriente pasa posteriormente por una válvula de expansión en la que tiene lugar una despresurización hasta una presión de 2 bar, a la que opera el reactor.

El metano se suministra al proceso como gas presurizado a temperatura ambiente, por lo tanto, se debe realizar un cambio tanto de presión como de temperatura. Se realiza primero el cambio de presión para evitar costes de construcción del intercambiador en una válvula de expansión para pasar de 15 bar (presión de suministro) a 2 bar (presión de operación). A continuación, esta corriente pasa por el intercambiador E-103, de carcasa y tubos, en el que se eleva la temperatura desde la de salida de la válvula a la temperatura de reacción.

Para la corriente de aire, se debe elevar tanto la presión como la temperatura. Dado que la compresión se considera adiabática, eleva la temperatura de la corriente, por lo tanto, el intercambiador se instala en segundo lugar. Antes de la compresión, el aire se hace pasar por un filtro para evitar cualquier impureza que pueda dañar la soplante K-101, en la que se eleva la presión de 1 a 2 bar. Una vez sale del compresor, se incorpora en el intercambiador de carcasa y tubos E-104, en el que se eleva la presión hasta los 200°C.

Las tres corrientes se mezclan en el tanque de mezcla V-101. A la salida de este tanque se instala un analizador de composición que permite, mediante válvulas de regulación de flujo, controlar la composición de la mezcla final para que se adecue a la composición de entrada óptima al reactor.

10.2. A-200: Área de reacción

Esta área se compone del reactor R-201, en la que entra la corriente a 2 bar y una relación molar 1: 1: 1,2 de $\text{NH}_3:\text{CH}_4:\text{O}_2$. La reacción tiene lugar adiabáticamente, y los gases de salida son enfriados rápidamente por un intercambiador de calor que forma parte de la unidad y genera vapor de agua a alta presión. La corriente saliente de este reactor pasa al área A-300 para su posterior tratamiento y separación del producto principal.

10.3. A-300: Área de separación

Al área de separación entra la corriente de salida del reactor R-201 a 300°C y en primer lugar se elimina el amoníaco haciendo circular ácido sulfúrico a contracorriente. Esta absorción se lleva a cabo a 80°C y para realizar el acondicionamiento de la alimentación, se hace pasar por un intercambiador de calor (E-301) que emplea agua de refrigeración para hacer descender la temperatura de la corriente.

En la torre T-301, la corriente de gases se hace circular a contracorriente con ácido sulfúrico en disolución acuosa. Se produce la reacción entre el amoníaco en estado gas y el ácido en estado líquido formándose sulfato de amonio, que, por su densidad, se elimina por la parte inferior de la columna en disolución acuosa. La corriente que abandona el absorbedor por la parte superior contiene un porcentaje menor de agua que la entrante, el producto principal y subproductos no condensables.

Para llevar a cabo la separación del ácido cianhídrico, se absorbe en agua en la columna de absorción T-302 previo acondicionamiento de la temperatura de entrada hasta los 25°C en el intercambiador E-302. La corriente de gases contiene compuestos tóxicos que deben ser eliminados antes de ser emitidos al medio ambiente, por lo que se hacen pasar previamente por una antorcha.

La corriente de colas que abandona el absorbedor se calienta hasta la temperatura de ebullición en el intercambiador E-303 que emplea vapor a media presión. Esta corriente entra en la columna T-303 en la que se produce la separación entre el producto principal y el agua restante, que se elimina por colas de la columna y se recircula al proceso minimizando las emisiones líquidas. Se emplea para la absorción de ácido cianhídrico en el absorbedor T-302. Los datos del dimensionamiento de los equipos de proceso, se reflejan en las tablas presentadas a continuación:

Tabla 7. Especificaciones E-101

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 1304,33 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 25 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 25 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | -497,83 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 0,12 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 0 (evaporación) |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 200 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 200 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 175 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 497,95 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,257 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 600 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 4,75 |

Tabla 8. Especificaciones E-102

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 1304,33 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 25 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 200 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 0,33 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 527,95 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 175 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 250 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 250 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 137,5 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 191,16 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,11 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 13,90 |

Tabla 9. Especificaciones E-103

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 1358,38 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 25 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 200 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 0,31 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 554,75 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 175 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 250 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 250 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 137,5 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 209,20 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,12 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 15,21 |

Tabla 10. Especificaciones E-104

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 13610,08 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 90,3 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 200 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 66,59 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 232,35 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 109,70 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 250 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 250 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 104,85 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 626,66 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,37 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 59,76 |

Tabla 11. Especificaciones K-101

| | |
|--|----------|
| Presión admisión, P_a (bar) | 1,0 |
| Presión descarga, P_d (bar) | 2,1 |
| Caudal másico, \dot{m}_{aire} (kg/h) | 13610,08 |
| Densidad admisión, ρ_a (kg/m ³) | 1,18 |
| Temperatura admisión, T_a (°C) | 25 |
| Relación de capacidades caloríficas, γ | 1,394 |
| Temperatura descarga, T_d (°C) | 90,3 |
| Trabajo teórico, W_{teo} (kJ/kg) | 18,45 |
| Potencia teórica, P_{teo} (kW) | 251,18 |
| Cambio presión requerido, ΔP (bar) | 1,1 |

Tabla 12. Especificaciones V-101

| | |
|--|--------|
| Flujo molar de entrada (kmol/h) | 624,16 |
| Tiempo de residencia, t_r (s) | 15 |
| Volumen necesario, V_t (m ³) | 51,15 |

Tabla 13. Especificaciones R-201

| | |
|--|----------------------|
| Corriente de entrada | |
| Flujo molar de entrada, F_T (mol/s) | 173,38 |
| Presión, P (Pa) | $2 \cdot 10^5$ |
| Temperatura, T (K) | 473 |
| Volumen molar, V_m (m ³ /mol) | $1,97 \cdot 10^{-2}$ |
| Caudal volumétrico, Q (m ³ /s) | 3,41 |
| Catalizador | |
| Relación superficie/volumen, a_g (cm ⁻¹) | 101,76 |
| Porosidad, ϵ | 0,806 |
| Volumen catalizador, V_g (cm ³) | 1741,3 |
| Volumen zona de reacción, V_R (cm ₃) | 8982,8 |
| Altura de catalizador, z_g (mm) | 3,43 |
| Número de capas, n_g | 42 |
| Masa de catalizador, m_g (kg) | 29,6 |

| Relleno de bolas | | | |
|---|------------------|-------------------|--------|
| | Capa 1 | Capa 2 | Capa 3 |
| Altura, z_B (mm) | 50 | 75 | 100 |
| Diámetro de bolas, d_B (in) | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 |
| Densidad aparente, ρ_{ap} (kg/m ³) | | | |
| Mínima | 1850 | 1850 | 1760 |
| Media | 1950 | 1950 | 1905 |
| Máxima | 2050 | 2050 | 2050 |
| Volumen ocupado, V_B (m ³) | 0,141 | 0,211 | 0,282 |
| Masa, m_B (kg) | 275 | 412 | 537 |
| Plato de soporte | | | |
| Fabricante | Bilfinger | | |
| Número de malla | 63 | | |
| Anchura de las ranuras (cm) | 1,52 | | |
| Altura de malla (in) | 1 | | |
| Ángulo de descarga | 13° | | |
| Aislante | <i>Interior</i> | <i>Exterior</i> | |
| Tipo de aislante | PECO LW-1600 | Perlita Expandida | |
| Tª máxima de servicio (°C) | 1600 | 1000 | |
| Instalación | Hidráulica | | |
| Densidad (kg/m ³) | 2100 | | |
| Composición (Al ₂ O ₃ /SiO ₂) | 43/57 | | |
| Conductividad (W/m ² K) | 0,4 | 0,042 | |
| Vida media (meses) | 12 | 12 | |
| Grosor (m) | 0,3 | 0,18 | |
| Área exterior (m ²) | 1,66 | 2,56 | |
| Área interior (m ²) | 2,19 | 2,24 | |
| Área media logarítmica (m ²) | 1,91 | 2,37 | |
| Temperatura pared interna (°C) | 1440,7 | 850 | |
| Temperatura pared externa (°C) | 850 | 25 | |
| Calor perdido (W) | 1506,64 | 1506,64 | |
| Intercambiador de calor | | | |
| Material de tubos | Acero al carbono | | |
| Diámetro nominal (in) | 0,75 (BWG12) | | |
| Diámetro externo (mm) | 13,5 | | |

| | |
|--|---------------|
| Diámetro interno (mm) | 14,3 |
| Sección de paso por tubo (mm ²) | 143,41 |
| Pitch (mm) | 23,81 |
| Fluido carcasa | Agua/vapor |
| Fluido tubos | Gas |
| Velocidad por tubo, v (m/s) | 15 |
| Flujo volumétrico, Q_v (m ³ /s) | 5,22 |
| Sección necesaria, S (m ²) | 0,348 |
| Número de tubos, N_t | 2428 |
| Longitud de tubos, L_t (m) | 121,92 (4 ft) |
| Diseño mecánico (espesores en in) | |
| Cabezal superior | 1,25 |
| Cabezal inferior | 0,5 |
| Cuerpo reactor | 1,25 |
| Cuerpo intercambiador | 1,25 |
| Placas de soporte de tubos | 6 |

Tabla 14. Especificaciones E-301

| | |
|--|----------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 16272,79 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 80 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 25 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 363,94 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 70,72 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 55 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 5 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 15 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 10 |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 38,18 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 1325,41 |
| Caudal de agua necesaria, q_v (kg/s) | 31,70 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 347,14 |

Tabla 15. Especificaciones E-302

| | |
|--|----------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 13632,84 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 60 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 25 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 31,25 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 0,17 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 35 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 5 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 15 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 10 |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 30,83 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 118,33 |
| Caudal de agua necesaria, q_v (kg/s) | 2,82 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 38,38 |

Tabla 16. Especificaciones E-303

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 9019,25 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 30 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 60 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | -2213,75 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | -2094,79 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 30 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 200 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 200 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 155 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 298,02 |
| Caudal de agua necesaria, q_v (kg/s) | 0,154 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 750 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 2,56 |

11. MATERIAS

11.1. Materias primas

11.1.1. Amoníaco

El amoníaco (NH_3) es un gas incoloro alcalino, más ligero que el aire que posee un olor penetrante. La preparación de las sales de amonio data de la civilización egipcia, en el siglo IV a.C., de la cual también procede el nombre del compuesto. Sin embargo, no fue hasta 1774 cuando J.B. Priestley llevo a cabo la síntesis de amoníaco gas como compuesto puro. De manera natural se puede encontrar en las emisiones gaseosas durante erupciones volcánicas y como producto de la descomposición de materia orgánica con contenido en nitrógeno.

Fue en 1840 cuando Liebig descubrió que el nitrógeno constituía un elemento imprescindible para el crecimiento vegetal, y que su incorporación al suelo en forma de sales permitía aumentar la productividad de los cultivos. A partir de ese momento se empiezan a utilizar los compuestos nitrogenados como fertilizantes agrícolas. Como consecuencia, la demanda de estas sales se incrementó en grandes cantidades. Este aumento en el mercado de fertilizantes tuvo como principal repercusión el aumento de la demanda de amoníaco, principal materia prima a partir de la cual se sintetizaban estas sales.

La síntesis del amoníaco a escala industrial ha sido posible gracias al desarrollo del proceso de obtención de amoníaco a partir de hidrógeno y nitrógeno ideado por Haber y Bosch en 1913. Se trata de una reacción que transcurre a 200 bar y 400°C sobre un catalizador de óxidos de hierro. Tal fue la repercusión de esta investigación que fueron condecorados con un premio Nobel. Actualmente el amoníaco posee múltiples aplicaciones en la industria tales como la producción de:

- Plásticos y pigmentos (derivados del HCN)
- Plásticos y fertilizantes (derivados de $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$)
- Fertilizantes y explosivos (a partir del HNO_3)
- Fertilizantes (a partir de sulfatos y fosfatos de amonio)

11.1.1.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del amoníaco vienen determinadas por su estructura molecular. El nitrógeno es un elemento que posee siete electrones: cuatro de ellos se encuentran apareados en los niveles 1s y 2s, y los tres restantes están desapareados en los orbitales $2p_x$, $2p_y$ y $2p_z$. En

estos orbitales se produce el enlace con los tres átomos de hidrógeno, quedando la molécula con geometría triangular, con un ángulo H – N – H de 107°. La electronegatividad del nitrógeno hace que la molécula adquiera un momento dipolar de 1,5 Debye.

Debido a que el amoníaco y el agua poseen estructura similar (ángulo de 105° y momento de 1,84 Debye) muchas de las reacciones en las que intervienen son similares. El par de electrones libre del nitrógeno se puede combinar con un protón dando lugar a la formación de las diversas sales de amonio.

Tabla 17. Propiedades físicas del amoníaco

| Propiedad | Valor |
|--|--------------|
| Peso molecular | 17,03 |
| Punto de ebullición, °C | -33,35 |
| Punto de congelación, °C | -77,7 |
| Temperatura crítica, °C | 133,0 |
| Presión crítica, kPa | 11,425 |
| Calor específico, J/(kg K) | |
| 0°C | 2097,2 |
| 100°C | 2226,2 |
| 200°C | 2105,6 |
| Entalpía de formación del gas, ΔH_f , kJ/mol | |
| 0 K | -39,222 |
| 298 K | -46,222 |
| Solubilidad en agua | |
| 0°C | 42,8 |
| 20°C | 33,1 |
| 40°C | 23,4 |
| 60°C | 14,1 |
| Gravedad específica | |
| -40°C | 0,690 |
| 0°C | 0,639 |
| 40°C | 0,580 |
| Densidad (% g/g), g/L | |
| 8 | 0,970 |
| 16 | 0,947 |
| 32 | 0,889 |
| 50 | 0,832 |
| 75 | 0,733 |
| 100 | 0,618 |

11.1.1.2. Propiedades químicas

La reactividad química del amoníaco se debe principalmente a que se trata de una base de Brönsted-Lowry, por lo que en las reacciones de ácido-base actúa como aceptor de protones. Frente al agua se trata de una base débil. La reactividad del amoníaco se resume en el siguiente diagrama:

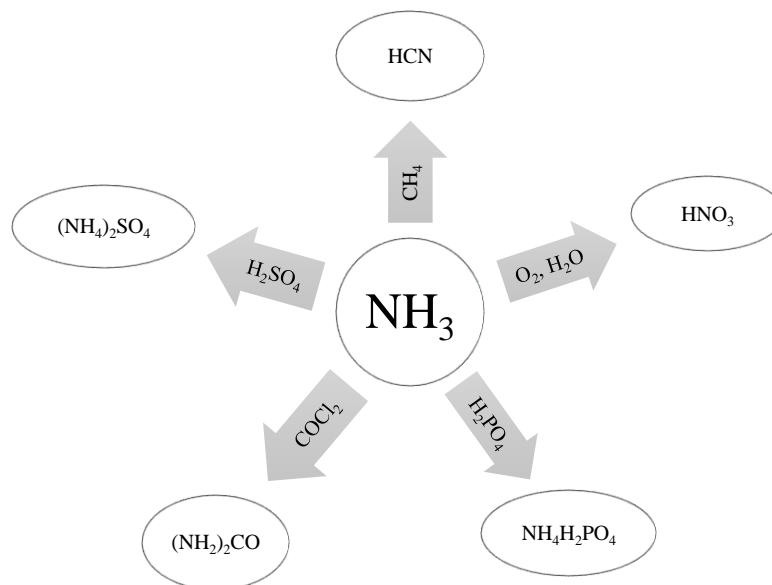


Figura 12. Reactividad del amoníaco. Elaboración propia a partir de Rayner-Canham (2000)

11.1.2. Gas natural

Se denomina gas natural a una mezcla de diferentes hidrocarburos ligeros, de composición variable, procedentes de la descomposición de materia orgánica bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. Su formación tiene lugar a lo largo de diferentes períodos geológicos y se acumula en depósitos del subsuelo, en capas porosas o fracturadas de la litosfera. La extracción se lleva a cabo mediante pozos que perforan los depósitos.

La composición típica del gas natural es principalmente metano, etano, propano y butano. Puede contener además hidrocarburos más pesados y generalmente se encuentra mezclado con impurezas (no hidrocarburos). Entre las más importantes, ya que determinan el posterior transporte y tratamiento del gas, se encuentran:

- Dióxido de carbono (CO₂): debido a que los depósitos y los lugares de consumo se encuentran alejados, el transporte del gas natural se lleva a cabo en fase líquida (LNG). El contenido elevado en esta impureza aumenta los costes de licuefacción y disminuye la calidad de la combustión. Además, bajo ciertas condiciones puede resultar corrosivo.
- Sulfuro de hidrógeno (H₂S): se trata de la principal impureza del gas natural. Según su contenido en este compuesto se denomina amargo/ácido, con alto contenido y dulce, con bajo contenido. La cantidad de este ácido se debe reducir a menos de 3 ppm para evitar problemas de toxicidad, corrosión y producción de óxidos de azufre (SO_x) tras la combustión. En el caso de utilizar el gas natural en un proceso catalítico, se puede producir el envenenamiento del catalizador, como ocurre en este proceso.

Tabla 18. Composición típica del gas natural (Kirk-Othmer, 1993)

| Compuesto | Fracción molar |
|--------------------------|----------------|
| <i>Hidrocarburos</i> | |
| Metano | 0,75 – 0,99 |
| Etano | 0,01 – 0,15 |
| Propano | 0,01 – 0,10 |
| n-Butano | 0,00 – 0,02 |
| Isobutano | 0,00 – 0,01 |
| n-Pentano | 0,00 – 0,01 |
| Isopentano | 0,00 – 0,01 |
| Hexano | 0,00 – 0,01 |
| Heptano + HC más pesados | 0,00 – 0,001 |

| No hidrocarburos | |
|-------------------------|-------------|
| Nitrógeno | 0,00 – 0,15 |
| Dióxido de carbono | 0,00 – 0,10 |
| Sulfuro de hidrógeno | 0,00 – 0,30 |
| Helio | 0,00 – 0,05 |

La composición típica del gas natural se presenta en la tabla anterior. A continuación, se hace referencia al compuesto mayoritario del gas natural, el metano, ya que constituye la materia prima del proceso.

11.1.2.1. Metano

El metano es un gas incoloro que arde con llama azul. Es soluble en disolventes orgánicos y ligeramente soluble en agua. La mayor parte del metano consumido actualmente tiene origen natural (como componente mayoritario del gas natural). Se forma a partir de la dismutación de materia orgánica. Se trata de la última etapa de reducción del carbono, por lo que en presencia de un oxidante se produce una reacción de combustión altamente exotérmica (de gran interés en este proceso).

Según su origen, se clasifica en: metano fósil: localizado en depósitos del subsuelo como componente mayoritario del gas natural; producido a partir de carbón e hidrocarburos y como producto en la destilación fraccionada del petróleo (gas de refinería). A nivel biológico, se forma por la descomposición anaerobia de materia orgánica que llevan a cabo ciertos microorganismos. Este proceso se denomina metanogénesis y a partir de él se puede obtener biogás, una mezcla de metano y dióxido de carbono.

11.1.2.2. Propiedades químicas

El metano se trata de una molécula orgánica englobada dentro del grupo de los alcanos (compuestos formados por carbono e hidrógeno saturados). Los alcanos son compuestos químicos muy poco reactivos, y las reacciones en las que participan implican rotura homolítica de enlaces C-C o H-H que generan radicales libres.

Los alcanos sufren tres tipos principales de reacciones:

- Halogenación: sustitución de hidrógenos por elementos del grupo de los halógenos.
- Pirólisis: rotura térmica de los alcanos para producir compuestos de menor peso molecular.
- Combustión: reacción de oxidación en la que se produce agua y dióxido de carbono.

11.1.3. Aire

El aire es una mezcla de diferentes gases que constituyen la atmósfera terrestre. Está compuesto mayoritariamente por nitrógeno y oxígeno, aunque contiene otros componentes minoritarios como vapor de agua o dióxido de carbono. En la siguiente tabla se presentan los compuestos constituyentes del aire junto a su proporción:

Tabla 19. Composición del aire (Kirk-Othmer, Oxygen, 1993)

| Constituyente | % v/v |
|---|-----------------------------------|
| <i>Componentes fijos</i> | |
| Nitrógeno | $78,084 \pm 0,004$ |
| Oxígeno | $20,946 \pm 0,02$ |
| Argón | $0,934 \pm 0,001$ |
| Dióxido de carbono | $0,033 \pm 0,003$ |
| Neón | $(1,821 \pm 0,004) \cdot 10^{-3}$ |
| Helio | $(5,239 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$ |
| Kriptón | $(1,14 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ |
| Xenón | $(8,7 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$ |
| Hidrógeno | $5 \cdot 10^{-5}$ |
| <i>Impurezas</i> | |
| Vapor de agua, metano, monóxido de carbono, dióxido de azufre, monóxido de nitrógeno, ozono, dióxido de nitrógeno, radón, óxido nítrico | |

De todos los componentes presentados anteriormente, los más importantes son el nitrógeno y el oxígeno. Debido a la poca reactividad del nitrógeno, en la mayoría de las reacciones que emplean aire actúa como inerte, siendo el elemento reaccionante el oxígeno. Por ello, en el siguiente apartado se trata el oxígeno por separado.

11.1.3.1. Oxígeno

Elemento incoloro, inodoro e insípido no metálico del grupo XVI. En condiciones normales se encuentra como gas diatómico que forma el 20,946 % en volumen de la atmósfera terrestre. Además, se trata del elemento más abundante en la corteza terrestre, constituyendo el 23% de la atmósfera (gas diatómico, vapor de agua y diversos óxidos), el 85,8 % de la hidrosfera y el 46,6 % de la corteza terrestre. Se produce de forma natural mediante el proceso de la fotosíntesis, llevado a cabo por los organismos vegetales. Actúa como comburente en las combustiones que tienen lugar en aire.

Su descubrimiento tuvo lugar en 1772 por Scheele y Priestley, como el gas liberado al calentar una mezcla de nitrato potásico y óxido de mercurio (II). En 1775 Lavoisier describió el aire como una mezcla de dos elementos principales: un elemento vital y otro inerte. El nombre proviene del griego *oxis* (sabor ácido) + *genes* (generación) por su capacidad para generar ácidos. No sería hasta el siglo 20 cuando Linde y Claude proponen la obtención de oxígeno puro mediante licuefacción y destilación del aire, proceso a partir del cual se obtiene actualmente.

Como usos principales se pueden destacar el incremento del nivel de oxígeno en procesos de síntesis que utilicen como materia prima el aire y en el ámbito sanitario el tratamiento de problemas respiratorios en los hospitales. El transporte se lleva a cabo en fase líquida, mediante compresión, ya sea en barco o en camiones con tanque cilíndrico.

11.1.3.2. Propiedades físicas

Tabla 20. Propiedades físicas del oxígeno diatómico

| Propiedad | Valor |
|--|----------------|
| Punto triple | |
| Temperatura, K | 54,359 ± 0,002 |
| Presión, Pa | 146,4 |
| Densidad, kg/m ³ | |
| Gas | 0,0108 |
| Líquido | 1306,5 |
| Sólido | 1300 |
| Punto de fusión, K | 54,22 |
| Punto de ebullición (1 atm), K | 90,118 |
| Punto crítico | |
| Temperatura, K | 154,581 |
| Presión, MPa | 5,043 |
| Volumen, m ³ /kg | 2293 |
| Densidad (21°C), kg/m ³ | 1,429 |
| Capacidad calorífica (gas, 25°C), J/(molK) | 29,4 |
| Calor de fusión, J/mol | 444,5 |
| Calor latente de vaporización, J/mol | 6820 |
| Conductividad térmica (0°C), mW/mK | 2,448 |
| Viscosidad dinámica (25 °C), μPa · s | 20,639 |
| Constante dieléctrica (25 °C) | 1,0004947 |

11.1.3.3. Propiedades químicas

Se trata de un elemento muy reactivo, que reacciona con todos los compuestos excepto con los gases nobles ligeros (He, Ne, Ar), llevando a cabo reacciones de oxidación. Por lo general, las reacciones requieren un aporte de energía inicial para superar la energía de activación, si bien una vez activados suelen ser autosostenibles. Con algunos metales alcalinos, la energía de activación es tan baja que puede provenir del ambiente.

11.2. Productos

11.2.1. Cianuro de hidrógeno (HCN)

También llamado ácido cianhídrico, ácido prúsico, formonitrilo es un líquido incoloro con olor a almendras amargas. Fue sintetizado por primera vez en disolución acuosa por Scheele en 1782 y como compuesto puro por Gay-Lussac en 1815. En 1791 se llevó a cabo la primera síntesis industrial desarrollada por Clouet, haciendo pasar amoníaco sobre un lecho de carbón. En 1930, L. Andrussow ideó el proceso de síntesis más empleado en la actualidad, que permitía una capacidad de plantas de 5.000 a 30.000 t/año. Otros procesos desarrollados posteriormente fueron los de las compañías Degussa y Shawinigan Chemicals, en 1953 y 1960 respectivamente. Todas las reacciones se basan en la reacción directa de alcanos con amoníaco.

El ácido cianhídrico se considera una de las moléculas precursoras de la vida, ya que reacciona con amoníaco y metano produciendo aminoácidos, las unidades fundamentales de las proteínas. En la naturaleza se encuentra de manera natural y en bajas concentraciones asociado a algunos glucósidos, como la amigdalina. En la sangre humana se encuentra en concentraciones de 0,02 – 0,04 mg/ml, viéndose aumentada esta concentración por el consumo de tabaco y verduras. Se metaboliza dando lugar a tiocianato y se elimina por vía urinaria. Se produce en pequeñas cantidades por la quema de hidrocarburos con baja presencia de oxígeno.

Actualmente su producción está ligada a la de otros productos finales (utilización como intermediario). Tiene aplicación directa para la fumigación, sin embargo, se encuentra en desuso por su alta toxicidad y peligrosidad. Como intermediario, se emplea, por orden de importancia, para la producción de adiponitrilo, metil metacrilato, cloruro cianico, agentes quelantes, cianuro de sodio, así como metiona y sus análogos hidroxilados, ácido nitrilacético y otros como complejos ferrosos.

11.2.1.1. Propiedades físicas

A continuación, se presenta una tabla con las principales propiedades físicas del ácido cianhídrico.

Tabla 21. Propiedades físicas del ácido cianhídrico (Gail, y otros, 2012)

| Propiedad | Valor |
|---|--------------|
| Punto de fusión, °C | -13,24 |
| Punto de ebullición, °C | 25,70 |
| Presión de vapor, kPa | |
| 0 °C | 35 |
| 20 °C | 83 |
| 50 °C | 250 |
| Entalpía de formación del líquido, ΔH_f , kJ/kg | 3910 |
| Punto crítico | |
| Temperatura, °C | 183,5 |
| Presión, MPa | 5 |
| Volumen, m ³ /kg | 5 |
| Densidad (20°C), kg/m ³ | 0,687 |
| Calor específico (líquido, 20°C), J/(kgK) | 2630 |
| Calor específico (gas, 25°C), J/(kgK) | 1630 |
| Calor de fusión, kJ/kg | 310 |
| Calor latente de vaporización, kJ/kg | 935 |
| Calor de polimerización, kJ/kg | -1580 |
| Límites de explosividad, % v/v en aire | 5,5 – 46,5 |
| Punto flash, °C | -17,8 |
| Temperatura de autoignición, °C | 535 |
| Viscosidad dinámica (20 °C), mPa · s | 0,192 |
| Tensión superficial (20 °C), mN/m | 18,33 |
| Constante dieléctrica | |
| 0 °C | 158,1 |
| 20 °C | 114,9 |
| Constante de disociación | |
| Disolución acuosa, <i>pK</i> (20°C) | 9,36 |

11.2.1.2. Propiedades químicas

Existe un isómero del HCN sin propiedades ácidas detectado como componente existente en algunas estrellas de fórmula HNC, sin embargo, aún no se ha podido aislar este compuesto en la tierra. Las reacciones del ácido cianhídrico derivan de la actuación del grupo nitrilo (-CN) como nucleófilo:

- Sustitución nucleófila bimolecular (SN_2): se produce una reacción entre el nucleófilo y el sustrato en la que se produce una sustitución de nucleófilos. Se trata de una reacción irreversible en la que la velocidad depende tanto de la concentración de sustrato como la de disolvente. La afinidad del nucleófilo depende de su electronegatividad y de su carga. Se trata de una reacción ampliamente utilizada en la industria para la síntesis de compuestos con el grupo nitrilo.
- Sustitución nucleófila unimolecular (SN_1): reacción de equilibrio entre un sustrato y un disolvente prótico. Se trata de una reacción más lenta que SN_2 en la que se intercambian los nucleófilos del sustrato y del disolvente.

La mayor parte de las reacciones en las que participa el ácido cianhídrico lo hace en forma de nitrilo. Se hidroliza en presencia de ácido sulfúrico diluido dando lugar a ácido fórmico, y mediante una reacción de hidrogenación produce metilamina. Reacciona con el grupo carbonilo de aldehídos y cetonas para formar cianohidrinas, de gran interés industrial como intermediarios en la producción de ácidos carboxílicos.

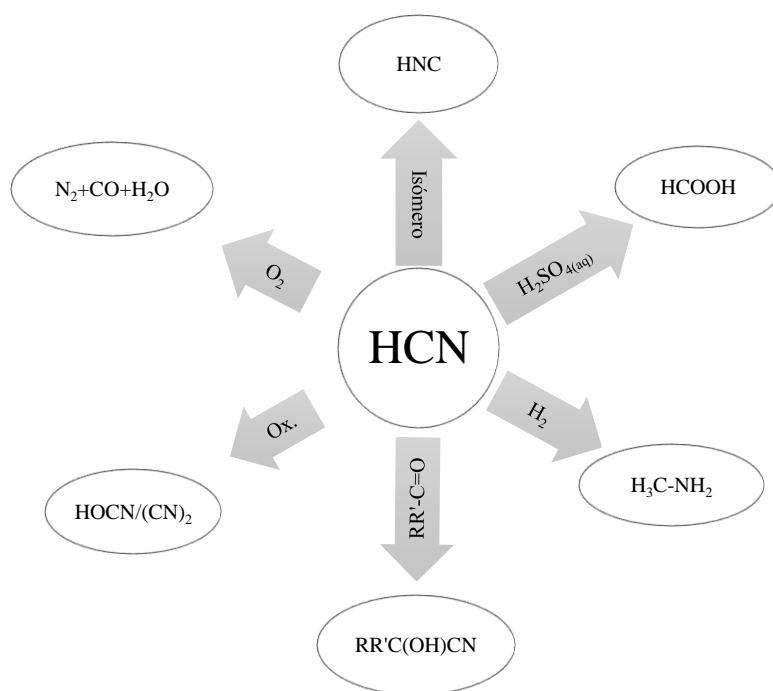


Figura 13. Reactividad del HCN. Elaboración propia a partir de Gail et al. (2012)

En cuanto a las reacciones de oxidación-reducción, puede oxidarse en presencia de un catalizador de plata u oro para producir ácido ciánico y cianógeno, en una proporción aproximada de 2:1. En presencia de oxígeno arde en una reacción altamente exotérmica en la que se alcanzan temperaturas de llama elevadas. En la Figura 13 se presenta un esquema de la reactividad del ácido cianhídrico.

12. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA

Por todo lo comentado a lo largo del proyecto, el objetivo es la producción de ácido cianhídrico con un 99,5% de pureza. Se escoge como proceso productivo el proceso Andrussow, además de realizar el emplazamiento de la instalación en el polígono del Espartal II, en el ayuntamiento de Burgo de Ebro, provincia de Zaragoza.

12.1. Viabilidad de la tecnología seleccionada

Las posibles tecnologías existentes para la fabricación de este producto se presentan en el apartado de análisis de alternativas, junto con una breve descripción del proceso, así como sus ventajas e inconvenientes principales. En primer lugar, de todas ellas se descarta el proceso Sohio por ser el producto deseado un subproducto y por lo tanto su producción ser dependiente de la de producto principal. En segundo lugar, se descarta el empleo de los métodos desarrollados en los últimos años por no tener suficiente información sobre el sistema reactivo y el equipamiento necesario para que se produzca la reacción.

Descartadas las alternativas anteriores, se prosigue con el proceso de selección realizando una evaluación del beneficio bruto de cada uno de los procesos de los que aún se dispone, con el fin de descartar los que no resulten rentables. Los métodos utilizados en laboratorio no resultan rentables porque el precio de las materias primas supera al de los productos. Por tanto, de todas las alternativas de las que se disponía, aplicando los criterios anteriores, resultan rentables en una primera aproximación el proceso Andrussow y el proceso BMA-Degussa.

Se trata de los dos procesos más utilizados en las plantas de todo el mundo para la producción de ácido cianhídrico. El criterio de selección utilizado para la elección de la alternativa pasa por analizar ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos. En cuanto al aprovechamiento de la energía en el reactor, en el proceso Andrussow se produce intercambio de calor directo, mientras que en el proceso BMA se lleva a cabo un intercambio indirecto mediante la incorporación de un reactor tubular en el interior de un horno. En relación con el catalizador, la vida útil del catalizador de Andrussow es mayor, así como la facilidad de instalación en el reactor. Por todo lo comentado anteriormente, el proceso seleccionado para la producción de ácido cianhídrico es el proceso Andrussow. Que se corresponda con el proceso más ampliamente utilizado en la industria, avala su elección e indica que se trata de una alternativa viable para la producción de ácido cianhídrico.

12.2. Disponibilidad de materias primas y venta de productos

Otro de los requisitos que se deben cumplir para que una planta sea viable técnicamente es la disponibilidad de las materias primas necesarias en la calidad/cantidad deseadas. Además, en este caso, y debido a la peligrosidad del producto principal, se requiere un centro de consumo de ácido cianhídrico cercano a la planta. En este proceso, las materias primas empleadas son el metano, amoníaco y oxígeno.

Para el metano, la fuente de suministro seleccionada es la red de gas natural, por lo que el emplazamiento debe disponer de conexión directa a esta red. El emplazamiento seleccionado dispone de conexión a esta red contando además con una línea de alta presión y dos de media presión según los requerimientos del proceso. Por lo tanto, la disponibilidad de metano no afecta a la viabilidad del proyecto.

El amoníaco es otra de las materias primas utilizadas en la producción de ácido cianhídrico. Los criterios de selección de emplazamiento seguidos son en primer lugar la cercanía a un lugar de venta del producto por la peligrosidad que presenta en el transporte y el segundo criterio es la cercanía a una planta de suministro de amoníaco. De entre todas las alternativas de emplazamiento, se selecciona la más cercana a la planta de producción de amoníaco de Sabiñánigo, y el suministro se puede realizar mediante carretera o ferrocarril, por lo tanto, desde el punto de vista del amoníaco, la planta es viable técnicamente.

El oxígeno necesario para la reacción no se requiere que sea puro, además el nitrógeno actúa en el reactor como un inerte. Tratándose de una reacción exotérmica, no se contempla la introducción de oxígeno puro al proceso por la peligrosidad que podría entrañar con respecto a la controlabilidad. Como el oxígeno se puede obtener directamente del aire sin afectar al proceso se selecciona esta alternativa, y por consiguiente la disponibilidad de esta materia prima es independiente de la localización y no compromete la viabilidad técnica del proyecto.

Otro de los aspectos a analizar es la disponibilidad de lugares de venta cercanos del producto principal para minimizar los riesgos asociados a su transporte. Como se trata de un criterio de seguridad, se ha seleccionado en primer lugar para tener en cuenta el emplazamiento de la instalación y esta alternativa resulta viable técnicamente porque se encuentra muy cercana a una planta de producción de nylon en la que emplean el ácido cianhídrico como materia prima para llevar a cabo su producción.

Por todo lo presentado anteriormente, se concluye que, con respecto a la disponibilidad de suministro de materias primas, así como la venta de productos, la planta es viable técnicamente.

12.3. Disponibilidad de utilidades

La planta requiere de las siguientes utilidades para su correcto funcionamiento:

- Energía eléctrica: suministrada directamente de la red eléctrica, a la que la planta tiene acceso directo desde el polígono. Se dispone de conexiones de alta y baja tensión, por lo que se puede emplear un transformador del polígono o si fuera necesario, un transformador en la planta.
- Vapor: se dispone de una generación de vapor en el reactor que se puede aprovechar para llevar a cabo el calentamiento de diferentes corrientes a lo largo del proceso. Además, se plantea la instalación de una unidad de generación de vapor adicional para suplir la demanda de este tipo de energía, que funcionaría con gas natural.
- Gas natural: la planta necesita suministro de gas natural, además de como materia prima, como utilidad para llevar a cabo la generación de vapor. Actualmente se trata del combustible más utilizado para este fin debido a que es el que proporciona una menor tasa de contaminación.
- Aire comprimido: las instalaciones neumáticas son necesarias para el correcto funcionamiento de las válvulas de control, por lo que la planta dispone de una estación de compresión en la que se genera este aire comprimido. El funcionamiento de los compresores tiene lugar mediante la energía eléctrica.
- Agua de proceso: el polígono goza de suministro de agua mediante el canal imperial de Aragón. Este suministro permite abastecer a la planta del agua de proceso necesaria para su correcto funcionamiento.
- Agua contra incendios: al igual que el agua de proceso, ésta se obtiene a partir del canal, sin embargo, para suplir posibles faltas de agua en caso de emergencia, se debe instalar un depósito para disponer de ella independientemente del nivel del canal.
- Inerte: en la planta se emplea nitrógeno como inerte para realizar la purga de los equipos, ya que se trabaja con materiales inflamables. Se debe instalar un tanque de almacenamiento de nitrógeno para disponer de él en caso de limpieza de equipos.
- Tratamiento de efluentes: la planta debe disponer de una estación de tratamiento de aguas residuales (EDAR) para tratar los efluentes líquidos derivados del proceso. Existen todas las tecnologías necesarias como para llevar a cabo este proceso.

12.4. Disponibilidad de equipos

Este proceso además del reactor, requiere de soplantes, intercambiadores de calor, un absorbedor con reacción química, un absorbedor sin reacción química y una columna de destilación. Además, son necesarios tanques para el almacenamiento de las materias primas, los productos y subproductos generados.

Se dispone de la información suficiente para llevar a cabo el diseño de todos y cada uno de los equipos reflejados anteriormente, y se trata de equipos comunes de los que se dispone de métodos rigurosos a seguir para realizar su diseño. Por lo tanto, desde el punto de vista de los equipos necesarios para el proceso, éste es viable técnicamente.

12.5. Seguridad en la instalación

Además de lo comentado anteriormente, la seguridad es un aspecto imprescindible a la hora de la elección del proceso productivo en una planta. Cualquiera de los dos procesos productivos presentados al final del apartado de selección de alternativas puede ser un proceso seguro, porque existen plantas que emplean esta tecnología de las que se dispone de información suficiente como para controlar el proceso de manera segura.

Por otra parte, las condiciones de operación no requieren de elevadas presiones de trabajo. Estas condiciones de operación aumentan el riesgo de que se produzcan pérdidas de contención o situaciones de descontrol de la planta. Como altas temperaturas sólo se registran las que tienen lugar en el reactor, sin embargo, se instalan lazos de control que permiten controlarla además de mecanismos de alivio que reducen la presión en caso de que se pueda superar la presión de diseño del equipo. Por lo tanto, con respecto a la seguridad de la planta, ésta es viable técnicamente.

12.6. Capacidad productiva y requisitos del producto

La capacidad productiva de la planta estipulada para la realización del diseño es de 10.000 t/año de producción de ácido cianhídrico con una pureza del 99,5%.

En cuanto a la capacidad, las plantas que emplean esta tecnología suelen tener una capacidad de producción entre 5.000 y 20.000 t/año, por lo que la capacidad de producción escogida se encuentra dentro de un rango de valores normal. La pureza requerida del producto es del 99,5% en peso. Dado que no se forma azeótropo entre el ácido cianhídrico y el agua, la separación para conseguir este grado de pureza es relativamente sencilla, y se puede realizar en una única columna de destilación.

Por todo lo comentado anteriormente, la construcción y funcionamiento de la planta son viables técnicamente.

13. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Para el análisis de rentabilidad de la planta, se analizan dos indicadores financieros que permiten, teniendo en cuenta los flujos de caja previstos, evaluar la viabilidad económica del proyecto. Los indicadores calculados en este apartado son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

13.1. Flujos de caja

Para evaluar el VAN y el TIR, se deben tener en cuenta los ingresos y gastos previstos para cada uno de los años de operación de la planta. En este caso se supone un período de operación de la planta de 20 años, así como un período de amortización de 5, teniendo en cuenta una tasa de inflación prevista del 1,5%.

El cálculo de los flujos de caja tiene en cuenta los ingresos por ventas, los costes de explotación y la dotación de la amortización anual. Para el cálculo del beneficio neto se deben descontar los impuestos teniendo en cuenta la amortización, sin embargo, para el flujo neto de caja se vuelve a sumar. Así, cada una de las filas presentadas en la siguiente tabla se calcula de la siguiente manera:

- Ingresos por ventas: se corresponden con el beneficio generado por la venta de productos y subproductos.
- Costes de explotación: tienen en cuenta el precio de las materias primas y reactivos, así como las utilidades empleadas.
- Amortización: se corresponde con la depreciación del inmovilizado debida al paso del tiempo. La amortización anual se calcula mediante el sistema alemán, en la que la cuota anual es fija (amortización constante) según la siguiente expresión:

$$[\text{Amortización anual}] = \frac{[\text{Precio de adquisición}]}{[\text{Vida útil del inmovilizado}]} \quad (14)$$

- Beneficio antes de impuestos (BAI): se calcula como la suma de los parámetros obtenidos anteriormente, teniendo en cuenta los gastos negativos y los ingresos positivos.
- Impuestos: se calculan como un porcentaje del beneficio antes de impuestos.
- Beneficio neto (BN): se corresponde con el BAI menos los gastos derivados del pago de impuestos.

- Flujo neto de caja: al beneficio neto se le suma la cuota calculada anteriormente para la amortización.
- Flujo de caja acumulado: para cada año, se corresponde con la suma del flujo de caja acumulado anterior sumado al flujo neto de caja de cada año. El valor inicial de este parámetro se corresponde con el de la inversión inicial.

La estimación para los costes de operación anuales es la siguiente, y se realiza mediante una estimación por factores, al igual que el presupuesto:

Tabla 22. Costes de producción anuales

| (1) Costes variables | |
|-----------------------------------|------------------------|
| 1. Materias primas | 5.858.869,30 € |
| 2. Materiales (0,1·1) | 585.886,93 € |
| 3. Catalizador | 1.783.786,20 € |
| 4. Envío y embalaje | Despreciables |
| SUBTOTAL A | 8.228.542,43 € |
| B. Costes fijos | |
| 5. Mantenimiento (0,05·A) | 411.427,12 € |
| 6. Operarios | 560.000,00 € |
| 7. Laboratorio (0,2·6) | 112.000,00 € |
| 8. Cargos de capital (0,1·A) | 822.854,24 € |
| 9. Seguro (0,01·A) | 82.285,42 € |
| SUBTOTAL B | 1.988.566,79 € |
| COSTES DE PRODUCCIÓN (A+B) | 10.217.109,22 € |

Para los costes de materias primas se tiene en cuenta los precios de mercado utilizados en la memoria para el cálculo del beneficio bruto. El precio del catalizador se estima como la compra de 60 kg de platino al año (correspondiente con dos cargas del reactor anuales de 30 kg cada una).

El coste de los operarios se estima teniendo en cuenta que se dispone de 20 operarios en plantilla fija con un sueldo bruto medio de 2.500 € mensuales (35.000 € anuales por trabajador). El resto de los factores aparecen reflejados junto con el valor al que se aplican (en negrita).

Las consideraciones tenidas en cuenta para el cálculo de los flujos netos de caja, se reflejan en la tabla presentada a continuación:

Tabla 23. Consideraciones para el cálculo de flujos de caja

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Vida útil planta | 20 |
| Inversión inicial | 45.547.175,40 € |
| Capital inicial amortizable | 39.606.239,48 € |
| Vida útil equipos | 10 |
| Inflación | 2,0% |
| Ingresos por ventas anuales | 14.964.019,20 € |
| Coste venta anual | 10.385.109,22 € |
| Impuestos | 25% |
| Tasa descuento | 6% |

Los valores de los flujos de caja para los diferentes años de explotación son los siguientes:

Tabla 24. Flujos de caja de la planta

| AÑO | 0 | 1 | 2 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ingresos por ventas | | 14.964.019,20 € | 15.263.299,58 € |
| (Costes de explotación) | | 10.385.109,22 € | 10.592.811,41 € |
| (Amortización) | | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € |
| BAI | | 618.286,03 € | 709.864,23 € |
| (Impuestos) | | 154.571,51 € | 177.466,06 € |
| BN | | 463.714,52 € | 532.398,17 € |
| Amortización | | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € |
| FLUJO DE CAJA | -45.547.175,40 € | 4.424.338,47 € | 4.493.022,12 € |
| FLUJO ACUMULADO | -45.547.175,40 € | -41.122.836,94 € | -36.629.814,82 € |

| AÑO | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ingresos por ventas | 15.568.565,58 € | 15.879.936,89 € | 16.197.535,62 € |
| (Costes de explotación) | 10.804.667,64 € | 11.020.760,99 € | 11.241.176,21 € |
| (Amortización) | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € |
| BAI | 803.273,99 € | 898.551,95 € | 995.735,47 € |
| (Impuestos) | 200.818,50 € | 224.637,99 € | 248.933,87 € |
| BN | 602.455,49 € | 673.913,96 € | 746.801,60 € |
| Amortización | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € |
| FLUJO DE CAJA | 4.563.079,44 € | 4.634.537,91 € | 4.707.425,55 € |
| FLUJO ACUMULADO | -32.066.735,38 € | -27.432.197,46 € | -22.724.771,92 € |

| AÑO | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Ingresos por ventas | 16.521.486,34 € | 16.851.916,06 € | 17.188.954,39 € |
| (Costes de explotación) | 11.465.999,73 € | 11.695.319,73 € | 11.929.226,12 € |
| (Amortización) | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € |
| BAI | 1.094.862,66 € | 1.195.972,39 € | 1.299.104,31 € |
| (Impuestos) | 273.715,66 € | 298.993,10 € | 324.776,08 € |
| BN | 821.146,99 € | 896.979,29 € | 974.328,24 € |
| Amortización | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € |
| FLUJO DE CAJA | 4.781.770,94 € | 4.857.603,24 € | 4.934.952,18 € |
| FLUJO ACUMULADO | -17.943.000,98 € | -13.085.397,74 € | -8.150.445,55 € |

| AÑO | 9 | 10 | 11 |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ingresos por ventas | 17.532.733,47 € | 17.883.388,14 € | 18.241.055,91 € |
| (Costes de explotación) | 12.167.810,64 € | 12.411.166,86 € | 12.659.390,19 € |
| (Amortización) | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € | 0,00 € |
| BAI | 1.404.298,88 € | 1.511.597,34 € | 5.581.665,71 € |
| (Impuestos) | 351.074,72 € | 377.899,33 € | 1.395.416,43 € |
| BN | 1.053.224,16 € | 1.133.698,00 € | 4.186.249,28 € |
| Amortización | 3.960.623,95 € | 3.960.623,95 € | 0,00 € |
| FLUJO DE CAJA | 5.013.848,11 € | 5.094.321,95 € | 4.186.249,28 € |
| FLUJO ACUMULADO | -3.136.597,44 € | 1.957.724,51 € | 6.143.973,79 € |

| AÑO | 12 | 13 | 14 |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Ingresos por ventas | 18.605.877,02 € | 18.977.994,56 € | 19.357.554,46 € |
| (Costes de explotación) | 12.912.578,00 € | 13.170.829,56 € | 13.434.246,15 € |
| (Amortización) | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| BAI | 5.693.299,02 € | 5.807.165,01 € | 5.923.308,31 € |
| (Impuestos) | 1.423.324,76 € | 1.451.791,25 € | 1.480.827,08 € |
| BN | 4.269.974,27 € | 4.355.373,75 € | 4.442.481,23 € |
| Amortización | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| FLUJO DE CAJA | 4.269.974,27 € | 4.355.373,75 € | 4.442.481,23 € |
| FLUJO ACUMULADO | 10.413.948,06 € | 14.769.321,81 € | 19.211.803,04 € |

| AÑO | 15 | 16 | 17 |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Ingresos por ventas | 19.744.705,54 € | 20.139.599,66 € | 20.542.391,65 € |
| (Costes de explotación) | 13.702.931,07 € | 13.976.989,69 € | 14.256.529,49 € |
| (Amortización) | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| BAI | 6.041.774,47 € | 6.162.609,96 € | 6.285.862,16 € |
| (Impuestos) | 1.510.443,62 € | 1.540.652,49 € | 1.571.465,54 € |
| BN | 4.531.330,85 € | 4.621.957,47 € | 4.714.396,62 € |
| Amortización | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| FLUJO DE CAJA | 4.531.330,85 € | 4.621.957,47 € | 4.714.396,62 € |
| FLUJO ACUMULADO | 23.743.133,89 € | 28.365.091,37 € | 33.079.487,99 € |

| AÑO | 18 | 19 | 20 |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Ingresos por ventas | 20.953.239,48 € | 21.372.304,27 € | 21.799.750,36 € |
| (Costes de explotación) | 14.541.660,08 € | 14.832.493,28 € | 15.129.143,15 € |
| (Amortización) | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| BAI | 6.411.579,40 € | 6.539.810,99 € | 6.670.607,21 € |
| (Impuestos) | 1.602.894,85 € | 1.634.952,75 € | 1.667.651,80 € |
| BN | 4.808.684,55 € | 4.904.858,24 € | 5.002.955,41 € |
| Amortización | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| FLUJO DE CAJA | 4.808.684,55 € | 4.904.858,24 € | 5.002.955,41 € |
| FLUJO ACUMULADO | 37.888.172,54 € | 42.793.030,78 € | 47.795.986,19 € |

13.2. Valor actual neto (VAN)

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y gastos que se van a producir en un proyecto, con el fin de determinar, si descontando la inversión inicial, quedaría algún beneficio. El criterio de admisión de viabilidad de un proyecto es un valor actual neto positivo. Cuanto mayor sea, mayor será el valor de la instalación y presentará mayor interés para los inversores.

La fórmula empleada para el cálculo de este indicador tiene en cuenta la inversión inicial como un término negativo y como contribuyentes positivos los flujos de caja de los diferentes años actualizados a través de una tasa de descuento (TD), que corrige el cambio de valor del capital con respecto al tiempo. La expresión utilizada se presenta a continuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{(1+d)^i} \quad (15)$$

En la expresión anterior, I_0 representa la inversión inicial, n el número de años que se prevén de funcionamiento de la planta, q_i cada uno de los flujos de caja correspondientes al año i y d la tasa de descuento comentada en el párrafo anterior. La tasa de descuento estimada en base a las inversiones actuales, se fija en un 6 %.

Evaluando la expresión anterior con los flujos de caja correspondiente, el resultado obtenido para el VAN es de:

$$VAN = 20.518.517,99 \text{ €}$$

Por lo tanto, como se obtiene un VAN positivo, la instalación presenta ganancias por encima de la rentabilidad exigida por la tasa de descuento. Desde el punto de vista de este indicador financiero, el proyecto es rentable.

13.3. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno se define como el tipo de actualización de capital que hace nulo el valor actual neto para el tiempo de funcionamiento previsto. Es por tanto la tasa de descuento máxima a la cual no se producen pérdidas. Cuando el TIR es superior a esta tasa de descuento, la instalación es rentable. Cuando son iguales, la construcción de la planta no supone beneficio alguno y cuanto mayor sea el TIR con respecto a la TD más rentable será la instalación. Aplicando la expresión anterior del valor actual neto e igualándola a cero, se obtiene la fórmula de cálculo del TIR.

$$I_0 = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{(1 + TIR)^i} \quad (16)$$

La nomenclatura empleada es la misma que para los apartados anteriores. Aplicando la ecuación, se obtiene un valor de tasa interna de retorno de:

$$TIR = 9,75 \%$$

Por lo tanto, como es superior a la tasa de descuento (TD) considerada, según este indicador financiero, la planta es rentable.

13.4. Período de retorno (“Payback”)

Este indicador calcula el plazo que ha de transcurrir hasta que la suma de los flujos de caja actualizados se hace igual a la suma de las inversiones realizadas. Es decir, indica el momento a partir del cual la instalación recupera toda la inversión inicial y empieza a generar beneficios.

Por lo tanto, considerando la definición de VAN, el período de retorno se produce cuando el valor actual neto se hace nulo. Cuanto más bajo sea el valor de este indicador, más rápido se recuperará la inversión, sin embargo, este criterio no se suele emplear para elegir alternativas sino para descartar las que presenten un “*payback*” más grande. Para esta instalación, el período de retorno es de nueve años y seis meses.

14. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Un análisis de sensibilidad y de riesgo es un estudio realizado al presupuesto de un proyecto que permite examinar los efectos de las incertidumbres sobre la viabilidad del proyecto. Proporciona una idea sobre el grado de riesgo involucrado en la toma de juicios sobre el valor del pronóstico del proyecto. El objetivo es la identificación de parámetros que tengan un impacto significativo en la viabilidad del proyecto.

En este apartado realiza un análisis de sensibilidad con respecto a los flujos de caja y a la inversión inicial. Se consideran variaciones entorno al 20%, tanto positivas como negativas. Estas fluctuaciones se deben a la incertidumbre en esta fase del proyecto además de los siguientes factores:

- Precios de venta.
- Volumen de producción.
- Coste de materias primas.
- Coste de energía.
- Costes fijos.
- Capital de inversión inicial.
- Tiempo de construcción.

14.1. Variación del coste de la inversión inicial

Se presentan en la siguiente tabla los indicadores financieros correspondientes con una variación de $\pm 20\%$ en el coste de la inversión inicial además de un incremento del 50%. Se considera en este caso este incremento debido a que el presupuesto de la planta, por realizarse en etapas tempranas del proyecto, puede presentar un error cercano a este valor:

Tabla 25. Sensibilidad frente al coste de la inversión inicial

| | +50% | +20% | -20% |
|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| VAN | 1.388.747,41 € | 12.866.609,76 € | 28.170.426,21 € |
| TIR | 6,19% | 8,05% | 12,11% |
| Payback (años) | 12,84 | 10,98 | 8,14 |

Por lo tanto, la rentabilidad de la planta está asegurada aun considerando el caso en el que el presupuesto previsto en esta etapa se incremente en un 50 % de su valor. La variación en el coste de la inversión inicial por lo tanto es un factor que afecta poco a la rentabilidad de la planta.

14.2. Variación de los ingresos por venta anuales

Se prevé una variación del 20% de los ingresos por venta previstos. Esta variación puede deberse a fluctuaciones en los mercados, bajada o subida de demanda de los productos o cambios en el precio de las materias primas. La tabla en la cual se recogen los resultados obtenidos se presenta a continuación.

Tabla 26. Sensibilidad frente al precio de venta de los productos

| | +20% | -20% | -10% |
|-----------------------|-----------------|------------------|----------------|
| VAN | 58.936.220,45 € | -17.899.184,48 € | 1.309.666,75 € |
| TIR | 15,63% | 1,72% | 6,26% |
| Payback (años) | 6,59 | 19,38 | 12,75 |

En comparación con la variación en el coste de inversión inicial, este es un factor que afecta más a la rentabilidad de la planta. Un aumento del 20% en los ingresos de venta provoca que se reduzca el payback a 6 años, sin embargo, un incremento del 20 % provoca que, para el tiempo de funcionamiento previsto de la planta de 20 años, no se recupere la inversión inicial.

Una disminución del 10 % (se considera una disminución que no produzca pérdidas) presentaría una tasa interna de retorno de 6,26 %, muy cercana a la tasa de descuento supuesta, por lo tanto, a partir de un 10 % de disminución del precio de venta, considerando el precio de las materias primas constante, la planta dejaría de ser rentable.

15. CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

15.1. Introducción

La implantación de un sistema de control e instrumentación en un proceso nace de la necesidad de reducir los efectos de las perturbaciones que se puedan producir manteniendo el valor de la variable controlada entorno al punto de consigna. Además, también permite llevar al sistema a un nuevo estado estacionario en caso de que se cambie el valor del punto de consigna. Como bibliografía base de esta sección se emplea *Chemical Process Control, an introduction to Theory and Practice*, de G. Stephanopoulos.

15.2. Objetivos del sistema de control

A continuación, se presentan los objetivos que debe cumplir el sistema de control de un proceso, que justifican la instalación de los lazos de control presentados en este apartado:

- Seguridad: el principal objetivo de un sistema de control es mantener las variables del proceso (como temperatura, presión y composición) dentro de los rangos establecidos para evitar cualquier riesgo para las personas o instalaciones.
- Medio ambiente: los requerimientos ambientales hacen que se deban controlar las emisiones de productos contaminantes al medio, por lo que se debe llevar a cabo un control de las emisiones del proceso para comprobar si se cumplen los límites establecidos por la legislación, que no sean perjudiciales para el medio ambiente.
- Especificaciones de producción: una planta se diseña para proporcionar un producto con unas especificaciones determinadas relacionadas con la composición final de éste. Los sistemas de control sirven para mantener estas especificaciones dentro de los rangos admisibles.
- Restricciones de operación: el sistema de control debe mantener en el punto de consigna todas las variables que afecten al normal funcionamiento de los equipos. Por ejemplo, en el caso de los tanques de almacenamiento y base de columnas, mantener el nivel dentro de los límites establecidos, controlar la presión en una columna de destilación, la temperatura del reactor...
- Optimización de producción: el establecimiento de sistemas de control que permitan controlar una determinada variable, hace que se puedan optimizar los procesos consumiendo menor cantidad de materias primas, reactivos o gastando menos energía.

15.3. Terminología empleada

La terminología empleada en este apartado de la memoria se presenta a continuación:

- Elemento primario de control (EPC): instrumento empleado para medir el valor de una variable de proceso, que puede ser la variable controlada (medida directa) u otra variable que se relacione con ella (medida indirecta).
- Elemento final de control (EFC): elemento que se encarga de actuar sobre la variable manipulada atendiendo las instrucciones del controlador.
- Variable controlada (VC): variable seleccionada para llevar a cabo su control por ser representativa de alguna magnitud que se desea controlar.
- Variable manipulada (VM): variable sobre la que actúa el elemento final de control y sobre la que se va a actuar para cambiar el valor de la variable controlada.
- Set point (SP): valor en el que se desea establecer la variable controlada
- Error (ϵ): diferencia entre el valor del punto de consigna y la variable controlada. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\epsilon = SP - VC \quad (17)$$

- Transmisor: elemento que transforma la señal del sensor en una señal estandarizada apta para su transmisión hasta el controlador. Esta señal puede ser de diferente naturaleza:
 - o Analógica: señal eléctrica de intensidad variable que presenta valores en el rango de 4 – 20 mA.
 - o Neumática: señal de 3 – 15 psi
- Controlador: elemento del lazo que recibe la señal de la variable de entrada (VC), la compara con el set point (SP), calcula el error (ϵ) y a partir de él calcula el valor que debe tomar la variable manipulada (VM) para corregir la perturbación.

15.4. Tipos de control

En este apartado se comentan las diferentes soluciones que se pueden adoptar a la hora de controlar una variable de proceso, junto con sus ventajas e inconvenientes, de forma que la elección de cada lazo de control se base en estas premisas.

Para llevar a cabo el control de la planta, según la localización de los elementos del lazo de control y según se actúe antes o después de que se produzca la perturbación, se pueden distinguir tres tipos básicos de estrategias de control:

- Control feedback: este tipo de control actúa sobre la variable manipulada para corregir la perturbación una vez que se ha producido. Se trata de una disposición de control que tiene en cuenta el valor de la variable controlada y actúa en consecuencia. Presenta problemas en sistemas que tienen un elevado tiempo de respuesta, porque desde que se produce la perturbación hasta que el sistema de control la detecta puede transcurrir demasiado tiempo.
- Control feedforward: se trata de un tipo de control anticipativo que mide la variable de entrada al sistema, y calcula mediante correlaciones matemáticas el valor de la variable manipulada para corregir la perturbación antes de que se produzca. Este tipo de control presenta buenos resultados en sistemas para los que se disponga de información suficiente del proceso para predecir el valor necesario para la variable manipulada, sin embargo, no tiene en cuenta el valor de la variable controlada, por lo que se puede estar cometiendo un error y no verse corregido por el lazo de control.
- Control feedforward-feedback: tipo de control basado en la combinación de las dos estrategias anteriores, en el que el control se anticipa a la perturbación en un primer momento y el sistema feedback corrige el error que permanece tras la primera corrección.

15.5. Nomenclatura

Para designar los lazos de control, se emplea la nomenclatura definida por la norma ISA-5.1: “Instrumentation symbols and identification”. Esta norma establece una manera uniforme y homogénea en los medios de representación y en la identificación de instrumentos y dispositivos asociados, así como en sus funciones propias, sistemas de instrumentación y lógica de aplicación de software utilizada para la medición, indicación y control, presentando un sistema de designación que incluye sistemas de identificación y símbolos gráficos. Para su identificación a lo largo del proyecto se utiliza la siguiente nomenclatura:

XY – ABB

En esta nomenclatura, la X es una letra que representa la variable controlada del lazo de control, y la Y identifica el tipo de elemento del lazo. En conjunto, esta primera parte es un identificador funcional de la unidad (indica lo que realiza dentro del lazo). La segunda parte, se corresponde con tres números, de los cuales el primero de ellos A indica la zona de la planta en

la que se localiza, y los dos siguientes identifican el número de lazo. En el diagrama la representación de los elementos se realiza en círculos, en los que se representa el indicador funcional en la parte superior y el número de lazo en la parte inferior.

Las letras empleadas en el proceso se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 27. Nomenclatura empleada en los lazos de control

| Letra | Primera posición | Función secundaria |
|--------------|-------------------------|---------------------------|
| A | Composición | Alarma |
| C | - | Controlador |
| D | Densidad | Diferencial |
| F | Caudal | - |
| H | - | Alto |
| I | - | Indicador |
| L | Nivel | Bajo |
| P | Presión | - |
| S | - | Interruptor |
| T | Temperatura | Transmisor |
| V | - | Válvula |

Para la tabla anterior, una letra en primera posición indica la variable controlada del proceso, y las funciones secundarias identifican los diferentes elementos del lazo de control. En el caso de las alarmas, la repetición de la segunda letra implica el extremo de control, por ejemplo, LAH es una alarma de alto nivel, y LAHH es una alarma de muy alto nivel.

15.6. Instrumentación de los lazos

Los instrumentos se emplean para medir fenómenos físicos de las corrientes que se puedan relacionar directa o indirectamente con la propiedad que se desea medir. En función de la variable que se desee controlar, existen diferentes tipos de medidores. Los más empleados se presentan a continuación:

15.6.1. Medidores y transmisores

Se trata del primer elemento del lazo de control. Mide la propiedad física (medidor) y la transforma en una señal que pueda interpretar el controlador (transmisor). Ambos elementos en el P&ID se suelen representar mediante un único símbolo.

15.6.1.1. Medidores de caudal (FE/FT)

Para medir el caudal existen multitud de instrumentos disponibles, que miden diferentes parámetros. Los más empleados son los que relacionan la caída de presión en un estrechamiento con la cantidad de fluido que circula por él (miden presión diferencial). Entre ellos destacan las toberas, los medidores de orificio, el medidor de Venturi y el tubo de Pitot. Todos ellos provocan una pérdida de presión permanente en el fluido, sin embargo, se suelen emplear por los bajos costes de instalación y mantenimiento, además de la fiabilidad.

Como medidores no invasivos se pueden destacar los medidores de caudal ultrasónicos, que emplean este tipo de ondas para determinar el caudal o caudalímetros electromagnéticos, basados en la Ley de Faraday y utilizados para medir el flujo de líquidos conductores.

15.6.1.2. Medidores de presión (PE/PT)

Para medir la presión se denominan manómetros, y su principio de funcionamiento es variado. Pueden emplear una columna de líquido, materiales cuya conductividad varíe en función de la presión (piezoeléctricos) o elementos elásticos cuyo desplazamiento se transmita a un medidor por medio de un sistema de engranajes.

15.6.1.3. Medidores de temperatura (TE/TT)

Para la medición de la temperatura, a nivel industrial, se emplean termopares y RTD (Detector de temperatura resistivo, por sus siglas en inglés).

El principio de funcionamiento de un termopar se basa en el efecto *Seebeck*. Se emplean dos conductores diferentes, unidos por un extremo que se localiza en el punto de medida de la temperatura. Los otros extremos, si se mantienen a la misma temperatura, entre ellos se genera una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperaturas entre la unión de los conductores y ese punto. Los RDT se basan en la variación de la resistencia de un conductor con respecto a la temperatura.

15.6.1.4. Medidores de nivel (LE/LT)

Presentan utilidad para medir niveles de líquido en tanques de almacenamiento, tanques de reflujo o calderas de columnas. Esta variable se puede relacionar con diversos parámetros físicos. Se puede realizar medida de nivel mediante un medidor de vidrio en el que se realiza la lectura de forma visual. Para automatizar procesos, se emplean medidores de flotador, de presión diferencial, ópticos o medidores de ultrasonidos.

Con el fin de evitar influencias en el proceso, los controladores de nivel se localizan en tuberías anexas a la unidad denominadas *stand pipe*. Se trata de una instalación auxiliar anexa a

un equipo en la que se colocan los elementos de control. Están separados del proceso mediante válvulas de corte y contienen drenajes con reducción de tubería.

15.6.2. Interruptores

Se emplean para llevar a cabo una acción al alcanzar la variable medida un valor determinado por el usuario. Generalmente se emplean para poner en marcha equipos en paralelo o para activar las alarmas. Se identifican en el diagrama porque presentan como letra secundaria la S, además de representarse por una tercera letra que indica cuando se pone en marcha el interruptor. Esta tercera letra puede indicar nivel de la variable bajo (L) o alto (H).

15.6.3. Controladores

Se emplean para proporcionar una salida al sistema de control a partir de unos datos de entrada y un punto de consigna. Este elemento calcula la diferencia entre la variable controlada y el punto de consigna (error). En base a eso elabora una respuesta para intentar contrarrestar la perturbación del sistema. Según el tratamiento del error para calcular la respuesta, se distinguen entre tres tipos de control:

- Control proporcional (P): la salida del sistema de control es directamente proporcional al error, y la constante de proporcionalidad se denomina ganancia proporcional del sistema. La ecuación que rige el comportamiento de un sistema de control proporcional es la siguiente:

$$u(t) = K_p e(t) + u_0 \quad (18)$$

en donde $u(t)$ es la salida del sistema y $e(t)$ el error. El término independiente refleja la salida del sistema cuando el error es nulo. Este sistema de control es económico y permite el control de plantas estables, sin embargo, posee error permanente, denominado *off-set*, para escenarios diferentes al del punto inicial.

- Control integral (I): la salida del controlador es proporcional al error acumulado, por lo que se trata de un sistema que controla perturbaciones pasadas. Es por ello por lo que posee una acción lenta. El parámetro que lo define es el tiempo integral (T_i), que se define como el tiempo que tarda la acción integral en igualar a la acción proporcional. Como depende del error acumulado, no necesita término independiente. La ecuación que define su comportamiento es la siguiente:

$$u(t) = \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (19)$$

Se trata de una acción de control muy raramente empleada sola, sin embargo, si permite, combinada con la acción proporcional, eliminar el *off-set* permanente que se producía en esta última.

- Control derivativo (D): actúa sobre los cambios del error, por lo tanto, permite anticiparse a ellos antes de que sean mayores. Se trata por tanto de un control que actúa sobre los cambios futuros. Posee una acción agresiva y se emplea sobre todo para controlar sistemas con elevada capacitancia. El parámetro de control es el tiempo derivativo (T_d) y la expresión de salida en función del error es la siguiente:

$$u(t) = K_p T_d \frac{d e(t)}{dt} \quad (20)$$

No se emplea sólo sino combinado con el proporcional o con proporcional e integral.

Combinando todas las expresiones anteriores, se obtiene la expresión que define la salida de un control proporcional-integral-derivativo (PID), el más empleado actualmente por ser el más completo, ya que la acción derivativa proporciona el impulso inicial, la proporcional lleva al sistema hacia el nuevo punto y el integral corrige el *off-set*. La expresión resultante es la siguiente:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{d e(t)}{dt} \right] \quad (21)$$

A no ser que se indique lo contrario en la definición de los lazos de control, todos los controladores disponen de un mecanismo de acción PID.

15.6.4. Relés convertidores de señal (-Y)

Convierten la señal estandarizada de transmisión, eléctrica o neumática, dependiendo del tipo de controlador, en un impulso neumático que controle la posición de la válvula de control. En el caso de las electroválvulas, convertiría la señal en una corriente eléctrica que localizara la válvula en la posición deseada. En este proceso sólo se emplean convertidores de intensidad a señal neumática, caracterizados por las letras I/P en la parte superior derecha.

15.6.5. Válvulas de seguridad (PSV)

Las válvulas de seguridad se representan en el diagrama como PSV, y constituyen elementos de control numerados independientes. Su finalidad es reducir la presión del equipo en

caso de fallo de los sistemas de control, para evitar que se supere la presión máxima de diseño y se comprometa la integridad de la planta.

La salida de las válvulas de seguridad contiene un número en el que se especifica el tratamiento que se debe realizar a esa corriente, además para cada una de las válvulas se adjunta un cuadro en el que se especifica la presión de diseño y la apertura.

15.6.6. Elementos finales de control

Los elementos finales de control son válvulas de control que permiten manipular alguna corriente que guarde relación con la variable medida. Según su posición en caso de fallo pueden ser:

Las válvulas de control presentan en la parte inferior dos letras que pueden ser FO, que significa que, en caso de fallo de suministro, la válvula permanece abierta; y FC, que, en caso de fallo de suministro, permanece cerrada. La determinación de este parámetro, para todas las válvulas, se establece en base a criterios de seguridad. Por tanto, como norma general, y mientras no se indique lo contrario, permanecerán abiertas las válvulas encargadas de la refrigeración de alguna corriente o equipo y permanecerán cerradas las válvulas para calentamiento de corrientes. Además, las válvulas responsables de la alimentación del proceso, también permanecerán cerradas en caso de fallo.

Todas las válvulas de control se instalan con un sistema de bypass, para que, en caso de fallo de esta válvula, no se tenga que detener toda la producción. Además, en este sistema hay reducciones de diámetro de tubería ya que generalmente estas válvulas emplean diámetros menores que los de las conducciones. Por último, en este sistema se localizan drenajes para aliviar la presión del conducto antes de la sustitución de la válvula.

15.7. Lazos de control

15.7.1. Sección de acondicionamiento (A-100)

El objetivo de los lazos de control de la sección de acondicionamiento de materias primas es obtener a la salida una corriente que se encuentre a 2 bar, 200°C y con la ratio de alimentación óptimo. Para ello, se debe controlar presión, temperatura y mezcla de los reactivos. Además, teniendo en cuenta, las condiciones a las que puede trabajar cada uno de los equipos, se debe controlar una recirculación en la soplante para evitar problemas de operación. La nomenclatura de los lazos se realiza en serie, por lo tanto, cada número de identificación se refiere a un lazo diferente. En caso de existir elementos iguales en un mismo lazo, se añade una letra identificativa.

15.7.1.1. Lazos de control TIC-101, TIC-102, TIC-103 y TIC-104

Con el fin de mantener las condiciones de operación en el reactor en el punto óptimo, se debe controlar la temperatura de alimentación de las corrientes al reactor. Para ello, se establecen lazos de control en cada uno de los intercambiadores E-101, E-102, E-103 y E-104 que controlen el caudal de entrada del vapor al intercambiador para controlar la temperatura de salida de las corrientes. El punto de consigna de estos lazos es de mantener una temperatura de salida de cada una de las corrientes de alimentación al reactor en 200 °C y se colocan de forma que se lleve a cabo un control *feedback*.

Los elementos de los que constan estos lazos son los sensores de temperatura TE (termopares o RTD), los transmisores de señal TT, los controladores/indicadores TIC localizados en el panel de control, los relés convertidores de señal TY y las válvulas que manipulan el caudal de refrigerante TV.

15.7.1.2. Lazo de control FIC-105

Este lazo se emplea para el control del flujo que atraviesa la soplante K-101. Este tipo de equipos presentan funcionamiento defectuoso al trabajar con bajos caudales de gas, por lo que en caso de que el proceso requiera baja alimentación de aire, el equipo debe disponer de un sistema de control que permita trabajar en las condiciones adecuadas.

Para el control de equipos rotativos de compresión de aire, se emplean lazos de control de flujo que regulan una corriente de recirculación en la soplante, de forma que, si la salida a proceso es muy pequeña o incluso nula, se recircule la mayor parte del aire para que la soplante disponga de caudal suficiente. El punto de consigna viene proporcionado por el fabricante de la soplante, correspondiéndose con el caudal mínimo al que puede trabajar.

El caudal de aire se controla mediante un medidor de orificio FE. Esta señal se transmite al controlador FIC mediante el transmisor FT. La señal se envía al relé PY, que la transforma para actuar sobre la válvula FV.

15.7.1.3. Lazos de control PIC-106 y PIC-107

Ambos lazos se emplean para el control de la presión a la entrada del reactor. Se trata de lazos en configuración *feedback*. Debido a que puede haber perturbaciones en el proceso debidas a la presión de entrada de los diferentes reactivos y la pérdida de presión en los intercambiadores de la zona de acondicionamiento (E-101, E-102 y E-103), se deben instalar dos lazos que varíen la apertura de la válvula de expansión. El punto de consigna de este lazo es conseguir una presión de salida de 2 bar. Contiene los elementos citados para anteriores lazos.

15.7.1.4. Lazo de control AIC-108

Este lazo de control se emplea para controlar la proporción de cada uno de los reactivos de entrada, con el fin de trabajar en las condiciones óptimas de reacción. Para ello se emplea una configuración feedback de control de ratio, en la que analiza la composición de la mezcla final y actúa sobre las válvulas que controlan el flujo de cada uno de los reactivos. El objetivo de este lazo de control es conseguir una ratio de alimentación de 1: 1: 1,2 de NH_3 : CH_4 : O_2 .

La variable medida es la composición de la corriente de entrada al reactor. Esto se realiza mediante el sensor AE, que proporciona una lectura de las proporciones de los tres componentes reactivos. El elemento transmisor AT hace llegar la señal al controlador AIC, que compara los valores de las composiciones con los valores estipulados por el set point. Elabora una respuesta para apertura o cierre de cada una de las válvulas de entrada (AV-A/B/C).

Las válvulas de control no coinciden con las válvulas de expansión porque el control se debe realizar con válvulas precisas, que dispongan de un rango pequeño de operación. En el caso de controlar el flujo con una válvula en la que tiene lugar una caída de presión de 8 bar, no se conseguiría la exactitud requerida por el proceso.

15.7.1.5. Válvulas de alivio PSV-109/110/111/112 /113

Las válvulas de seguridad de alivio de presión deben instalarse en todos aquellos equipos o sistemas que trabajen a una presión mayor que la atmosférica, con el fin de protegerlos ante sobrepresiones debidas a condiciones anormales de operación como reacciones incontroladas, elevación de temperatura o incendios externos. Las cuatro primeras válvulas de alivio se localizan en los intercambiadores E-101, E-102, E-103 y E-104 en la carcasa, ya que emplean como medio calefactor vapor de agua a presión. La última se localiza en el tanque de mezcla V-101.

15.7.1.6. Alarma PSH-114

Se emplea en el tanque de mezcla V-101 para alertar a los operarios de algún problema en las conducciones aguas abajo que haga aumentar la presión de esta unidad. Además de esta alarma, está equipada de un dispositivo de alivio que protege al equipo contra sobrepresiones.

15.7.2. Sección de reacción (A-200)

En la sección de reacción es necesario controlar la conversión obtenida además de la temperatura a la salida del reactor para evitar problemas de polimerización del producto principal y formación de subproductos. Además, puesto que la cantidad de catalizador del reactor no se puede modificar durante la operación, se debe manipular el flujo de entrada al reactor para conseguir la conversión requerida.

15.7.2.1. Lazo de control AIC-201

Con este lazo se controla la composición a la salida del reactor y se actúa sobre una válvula de control localizada antes de la entrada de la alimentación. Debido a que la cantidad de catalizador no se puede modificar una vez el proceso se encuentra en continuo, la única forma de modificar la conversión es modificando el flujo de entrada, por lo que el control del grado de avance de las reacciones en el reactor R-201 se realiza de esta forma. Los componentes del sistema de control son los mismos que los explicados en apartados anteriores.

15.7.2.2. Lazo de control PIC-202

La temperatura a la salida del reactor es una variable a controlar por cuestiones de seguridad. Una reacción de polimerización puede desencadenar reacciones fuera de control que comprometan la integridad de la planta, por lo que se trata de una cuestión fundamental. Para su control se analiza la presión de camisa del intercambiador y se actúa sobre la válvula de salida del vapor para controlarla.

A mayor presión en el intercambiador, el intercambio de calor es menor ya que disminuye la diferencia de temperaturas. Al disminuir la presión se debe aumentar el caudal de agua de alimentación, sin embargo, el intercambio de calor es mayor. El punto de consigna de este sistema de control es alcanzar una temperatura de salida de la corriente de proceso de 300 °C o inferior.

15.7.2.3. Lazo de control LIC-203

El lazo de control LIC-203 se emplea para controlar el nivel de líquido en la camisa del intercambiador de calor, para garantizar el correcto funcionamiento de éste. Como variable manipulada se selecciona la corriente de entrada de líquido de refrigeración. El objetivo de este sistema de control es mantener la superficie de intercambio de calor (haz de tubos) sumergida en el agua de refrigeración. Como punto de consigna se selecciona este nivel.

15.7.2.4. Lazo de control PDIC-204

El lazo PDIC-204 se trata de un lazo de control de presión diferencial que permite medir la diferencia de presiones entre la entrada y la salida del catalizador. La instalación de este lazo se realiza por motivos de seguridad, para evitar cualquier anomalía en el catalizador que impida el paso de la alimentación y consecuentemente el incremento de la presión en la entrada. Este lazo dispone de sistemas de alarma que alertan sobre anomalías en el lecho y permiten a los operarios tomar las medidas oportunas.

15.7.2.5. Lazo de control PI-205

Este lazo abierto permite a los operadores controlar la presión a la entrada del reactor para comprobar si puede existir algún problema en la unidad. A este elemento de control se conecta una alarma de alta presión y otra de baja presión. Ambas alarmas las pueden utilizar los operarios para identificar el problema y solucionarlo. A este lazo se puede conectar un enclavamiento para evitar superar la presión de diseño de los equipos.

15.7.2.6. Alarmas LAH-206 y LAL-207

Son dos alarmas de alto y bajo nivel de líquido de refrigeración. Se instalan sobre controladores independientes del controlador principal de nivel para garantizar la seguridad del equipo. En caso de fallo del controlador principal, los controladores de las alarmas siguen funcionando.

Un bajo nivel de líquido puede provocar refrigeración insuficiente y un alto nivel de líquido puede ocasionar que se introduzca líquido en una tubería de vapor, lo que supone un problema de cavitación que puede dañar las conducciones.

15.7.2.7. Lazo de control TIC-108⁴

Este lazo se localiza a la salida del catalizador, antes de la entrada a la zona de enfriamiento, y permite controlar la temperatura a la cual la alimentación abandona el reactor. Es importante controlar esta variable ya que tanto el material refractario como la aleación de la que se compone el reactor presentan limitación de temperatura, por lo que si se supera la temperatura límite se puede producir una situación de riesgo.

Acudiendo al sistema reactivo, y por lo comentado en otras secciones, las dos reacciones principales se complementan, de forma que la de combustión es exotérmica y la de formación de ácido cianhídrico endotérmica. Atendiendo a esto, la temperatura del reactor se puede controlar modificando la cantidad de oxígeno disponible en la mezcla reaccionante. Por lo tanto, este sistema de control actúa sobre el controlador de ratio correspondiente al lazo AIC-108.

Se trata de una configuración de control en cascada, con rango partido, en el que el controlador de ratio AIC-108 (lazo interno) tiene en cuenta el punto de consigna mientras no se supere la temperatura máxima de operación y cuando esta se supere, el punto de consigna lo determina el dato de temperatura proporcionado por el elemento TT-108 (lazo externo).

⁴ Numeración procedente de la sección anterior. Se trata de un lazo cuyo controlador se localiza en la zona de acondicionamiento, por lo que se mantiene la misma nomenclatura del lazo.

15.7.2.8. Válvulas de alivio PSV-208 y PSV-209

Se localizan válvulas de alivio de presión tanto en la carcasa del intercambiador como en la entrada al reactor. En el caso de la carcasa del intercambiador, si aumenta la presión, además de peligrar la integridad del equipo, aumenta la temperatura del agua de refrigeración, lo que puede provocar que la corriente principal polimerice por alta temperatura, lo que supone un escenario de riesgo. Para ello se instala una válvula de alivio que, en caso de fallar el sistema de control, permite mantener la temperatura de la corriente de proceso por debajo del límite.

Para la instalación de la válvula de alivio en la entrada del reactor, se considera la existencia de algún problema en la sección de paso del catalizador que pueda provocar un aumento de la presión de entrada. Además, se contemplan escenarios de reacciones fuera de control con generación de gases, por lo que con la instalación de la válvula se evita la presurización del sistema, que compromete la integridad de la planta.

15.7.3. Sección de separación (A-300)

15.7.3.1. Lazos de control TIC-301 y TIC-303

Se emplean estos lazos para el control de la temperatura de entrada a las unidades T-301 y T-302 mediante la manipulación de la cantidad de refrigerante suministrada al intercambiador. El objetivo de estos lazos es mantener las condiciones óptimas de operación en los absorbedores con el fin de minimizar la pérdida de producto por las corrientes de subproductos. Para controlar los caudales de entrada se instalan válvulas en las corrientes de refrigerante.

15.7.3.2. Lazos de control FIC-302 y FIC-304

Se emplean para el control del flujo de líquido en la torre. Para el primer caso, se controla la cantidad de ácido sulfúrico suministrada, correspondiente con cantidad necesaria de ácido para eliminar de la corriente principal el amoníaco. En el segundo caso, se controla la recirculación de agua en la columna para reutilizarla. Para el control de los flujos de líquido se instalan medidores de orificio en las conducciones y se manipula la válvula en función del valor medido.

15.7.3.3. Lazo de control TIC-305

Al igual que los lazos TIC-301 y TIC-303, sirve para controlar la temperatura de entrada de la corriente a la columna de recuperación de ácido cianhídrico. El control se realiza según lo comentado anteriormente.

15.7.3.4. Alarmas LAH-306, LAL-307 y LAL-308

Son alarmas de nivel, las dos primeras referidas a alto y bajo nivel de líquido en el calderín de la columna T-303 y la última referida al bajo nivel del tanque de reflujo. Permiten avisar a los operarios de que el sistema de control de nivel no está funcionando correctamente. Es importante que se encuentren colocadas con controladores separados del controlador de nivel, porque en caso de fallo, hay sistemas redundantes que puedan advertirlo.

15.7.3.5. Lazos de control LIC-309 y LIC-310

Controlan el nivel del calderín de la columna y del tambor de reflujo respectivamente. Para ello, manipulan las corrientes de salida del proceso, tanto la de cabezas para el tanque de reflujo como la de colas para el control del nivel del calderín.

15.7.3.6. Lazo de control FIC-311

Este lazo controla la corriente de recirculación de la columna. Para ello dispone de un medidor de orificio que controla el caudal. El flujo se controla mediante una válvula de control localizada sobre el circuito de recirculación. El punto de consigna de este lazo vendrá dado por la pureza a la que se requiera la alimentación.

15.7.3.7. Lazo de control TIC-312

Se localiza sobre la corriente de salida del reboiler, y controla el caudal de vapor de agua necesario para el calentamiento y correcto funcionamiento de la columna. Si la temperatura es alta, se puede producir cantidad suficiente de vapor como para inundar la columna, por lo que este lazo es necesario.

15.7.3.8. Válvula de alivio PSV-313

Permite aliviar la presión de la columna en caso de que se produzca algún fallo en el sistema de control. Al igual que las demás válvulas, protege al equipo frente a sobrepresiones.

15.7.3.9. Lazo de control PIC-314

Mediante este lazo de control se puede manipular la presión de la columna. Manipula un lazo de control en la salida de gases del tambor de reflujo. De esta forma, controlando la cantidad de no condensables en este recipiente, se puede variar la presión de la columna.

15.7.3.10. Indicador de temperatura TI-315

Se instala en el primer plato de la columna T-303 y sirve para controlar la presión de salida de los vapores del calderín, pudiendo calcular indirectamente su composición. Permite obtener información sobre el correcto funcionamiento de la columna.

15.7.3.11. Válvulas de alivio PSV-316 y PSV-317

Elementos de seguridad que permiten aliviar la presión en los intercambiadores de calor de la zona de separación (E-304 y E-305) que trabajan con vapor de agua en la carcasa.

15.8. Corrientes auxiliares

Los drenajes se envían a una estación depuradora de aguas residuales [1] y los venteos de todas las unidades, junto con las salidas de las válvulas de alivio de los equipos principales, se envían a antorcha [2]. Para las válvulas de alivio de los intercambiadores, se condensa el vapor y se envía a una EDAR [3].

En el diagrama de instrumentación y tuberías presentado en el documento de planos, se referencian algunas corrientes de las cuales se explica el significado a continuación:

- *hps (high pressure steam)*: vapor de alta presión empleado como medio calefactor del cual se dispone a una temperatura de 250°C
- *mps (medium pressure steam)*: vapor de media presión empleado como medio calefactor, que se encuentra a una temperatura de 180°C.
- *lps (low pressure steam)*: vapor de baja presión empleado como medio calefactor, que se encuentra a una temperatura de 130°C.
- *bwh (boiled water high pressure)*: retorno de los intercambiadores de calor que emplean como fluido calefactor vapor de agua a alta presión.
- *bwm (boiled water medium pressure)*: retorno de los intercambiadores de calor que emplean como fluido calefactor vapor de agua a media presión.
- *bwl (boiled water low pressure)*: retorno de los intercambiadores de calor que emplean como fluido calefactor vapor de agua a baja presión.
- *cws (cooling water supply)*: suministro de agua de refrigeración a 30°C.
- *cwr (cooling water return)*: retorno del agua de refrigeración como máximo a 45°C.
- *rws (refrigerated water supply)*: suministro de agua refrigerada a 5°C.
- *rwr (refrigerated water return)*: retorno de agua refrigerada a 15°C.

16. SEGURIDAD EN DISEÑO Y EN LA OPERACIÓN

16.1. Introducción

En este apartado, se elabora un inventario de todas las sustancias presentes en el proceso productivo, cuantificando las cantidades de las que se dispone además de recopilar información sobre parámetros de inflamabilidad y peligrosidad de éstas. Por otra parte, se calculan las distancias de seguridad a la que se deben emplazar los equipos, se realiza un estudio de reactividad química descontrolada mediante métodos simples, se realizan los cálculos para el dimensionamiento de una válvula de alivio, se calcula el índice de fuego y explosión para el reactor y se elabora un HAZID de éste.

16.2. Inventario de sustancias

Para la realización de inventario, se deben tener en cuenta todas las sustancias presentes en el proceso recopilando las propiedades relacionadas con su inflamabilidad. Los términos empleados en este apartado se definen a continuación:

- Temperatura de autoignición: temperatura a partir de la cual una sustancia se puede incendiar sin necesidad de una fuente de ignición.
- Punto flash: la más baja temperatura a la cual los vapores formados a partir de un líquido pueden arder.
- Límite inferior de inflamabilidad/explosividad: la más baja concentración de vapor o gas (como % en volumen de la sustancia en aire) que produce un incendio flash en presencia de una fuente de ignición (llama, calor, chispa eléctrica).
- Límite superior de inflamabilidad/explosividad: la más alta concentración de vapor o gas (como % en volumen de la sustancia en aire) que produce un incendio flash en presencia de una fuente de ignición (llama, calor, chispa eléctrica).

Además, para cada una de las sustancias, se refleja la clasificación según el reglamento CLP.

Tabla 28. Inventario de sustancias según CLP

| Compuesto | N.º CAS | Propiedades | Categoría |
|---|-----------|-----------------------|-----------|
| HCN | 74-90-8 | Líquido inflamable 1 | P5a |
| | | Toxicidad aguda 2 | H2 |
| | | Acuático agudo 1 | E1 |
| | | Acuático crónico 1 | E1 |
| NH₃ | 231-635-3 | Gas inflamable 2 | P2 |
| | | Toxicidad aguda 3 | H2 |
| | | Irritación cutánea 1B | - |
| H₂ | 1333-74-0 | Acuático agudo 1 | E1 |
| O₂ | 231-956-9 | Gas inflamable 1 | P2 |
| N₂ | 7727-37-9 | Gas comburente 1 | P4 |
| CH₄ | 74-82-8 | No clasificado | - |
| CO | 630-08-0 | Gas inflamable 1 | P2 |
| | | Gas inflamable 1 | P2 |
| | | Reproducción 1A | H2 |
| H₂O | 7732-18-5 | Toxicidad aguda 3 | H3 |
| | | STOT RE 1 | - |
| CO₂ | 124-38-9 | No clasificado | - |
| H₂SO₄ | 7664-93-9 | No clasificado | - |
| (NH₄)₂SO₄ | 7783-20-2 | Irritación cutánea 1A | - |
| | | No clasificado | - |

16.3. Estudio de afectación

En este apartado se clasifica la instalación según la normativa referente a instalaciones industriales localizadas en el territorio español. Para ello, se consulta esta normativa y se comprueba para cada uno de los textos legales si la instalación cumple alguno de los requisitos reflejados en el apartado correspondiente al ámbito de aplicación. A continuación, se presentan los ámbitos de aplicación de cada una de las normativas y se analiza si la legislación es aplicable a la planta para cada uno de los casos.

El Reglamento de Distribución y Utilización de Combustibles Gaseosos (RD 919/2006) se debe aplicar a la instalación de acuerdo con el artículo 2, apartado h, en el que se engloban las instalaciones receptoras de combustibles gaseosos. Este reglamento es aplicable al conjunto de tuberías y accesorios comprendidos entre la llave de acometida (no incluida) y las llaves de conexión a equipos (incluidas). El Reglamento de Redes y Acometidas de combustibles gaseosos (OM 18/11/1974) también aplica puesto que el ámbito de aplicación es el mismo que para el Reglamento de Distribución y Utilización de Combustibles Gaseosos.

No se debe aplicar la normativa referente a las plantas de llenado y trasvase de GLP (OM 01/12/1964) ya que según el artículo 1 de esta orden, esta legislación sólo es aplicable a plantas e instalaciones que dispongan de almacenamientos de gases licuados de petróleo. No aplica el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas (RD 2085/1994) por no encontrarse esta instalación reflejada en ninguno de los puntos del artículo 2 referido al campo de aplicación. Al igual que en los casos anteriores, en el Reglamento para el Almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico (RD 888/2006) no se recoge en el artículo 2 ningún epígrafe que haga referencia a la instalación. No aplica el Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas, así como sus ITCs (RD 138/2011) por no encontrarse ninguna instalación de este tipo en la planta.

Asimismo, no aplica el Real Decreto sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio (RD 2102/1996) ya que la instalación no se recoge en el artículo 2 correspondiente del Real Decreto. No aplica el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión junto con sus ITCs (RD 223/2008) por no disponer de redes de alta tensión en el interior de la planta (artículo 2 del Reglamento). Por no encontrarse recogida la planta dentro del campo de aplicación, tampoco aplica el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (RD 1890/2008). No aplica a esta instalación el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (RD 513/2017), ya que el ámbito de aplicación recogido en el artículo 2, contempla que están sujetos al Reglamento las empresas instaladoras como las empresas mantenedoras de instalaciones de protección contra incendios. Por no tratarse de una empresa de ninguno de los dos tipos, no aplica la legislación.

El Reglamento sobre el Almacenamiento de Productos Químicos (RD 379/2001 modificado por RD 105/2010) contempla en los artículos 1 y 2 que todas las instalaciones que contengan almacenamientos, carga, descarga y/o trasiego de productos químicos peligrosos (según clasificación CLP) deben tener en cuenta la normativa recogida en este reglamento. Además, el almacenamiento de amoníaco se recoge en la instrucción técnica complementaria MIE APQ-4, que también aplica a esta instalación.

Aplica el Reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT) recogido en el RD 842/2002 y modificado por RD 1053/2014 y RD 560/2010 porque según el artículo 2 referido al campo de aplicación, se debe aplicar a instalaciones que distribuyan la energía eléctrica, a las generadoras de electricidad para consumo propio y a las receptoras, con una tensión nominal igual o inferior a 1.000 V en corriente alterna o 1.500 V en corriente continua. La planta se alimenta con una línea de tensión menor de 1.000 V y se trata de una instalación receptora, por lo que se debe aplicar este reglamento.

Se debe aplicar el Reglamento de equipos a presión (RD 2060/2008) por disponer en la planta de equipos a presión sometidos a una presión máxima admisible superior a 0,5 bar, según lo recogido en el apartado 2 del artículo 1 de este reglamento. Además, aplica el Reglamento sobre seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RD 2267/2004 modificado por RD 560/2010) ya que en el artículo 2 se recoge la aplicación de este Reglamento a los establecimientos industriales, entendiendo como tales las industrias, tal y como se definen en el artículo 3.1 de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.

A continuación, se presenta una tabla que recoge la información contenida en el texto anterior:

Tabla 29. Aplicación de la legislación relativa a instalaciones industriales a la planta

| Legislación | Aplica |
|---|---------------|
| Instalaciones de Combustibles Gaseosos | |
| Reglamento de Distribución y Utilización de Combustibles Gaseosos (RD 919/2006) | Si |
| Normas de seguridad para plantas de llenado y trasvase de gases licuados de petróleo – GLP (OM 01/12/1964) | No |
| Reglamento de Redes y Acometidas de combustibles gaseosos (OM 18/11/1974 derogada parcialmente por RD 919/2006) | Si |
| Reglamento de Instalaciones Petrolíferas (RD 2085/1994) | No |
| Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (RD 379/2001) | Si |
| Reglamento sobre almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico (RD 888/2006) | No |
| Reglamento sobre Plantas e Instalaciones Frigoríficas (RD 138/2011) | No |
| Real Decreto sobre el control de emisiones de COVs resultantes de almacenamiento y distribución de la gasolina (RD 2102/1996) | No |
| Reglamento sobre líneas eléctricas de alta tensión (RD 223/2008) | No |
| Reglamento electrotécnico para baja tensión (RD 842/2002) | Si |
| Reglamento de eficiencia energética para instalaciones de alumbrado exterior (RD 1890/2008) | No |
| Reglamento de equipos a presión (RD 2060/2008) | Si |
| Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RD 2267/2004) | Si |
| Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (RD 513/2017) | No |

En relación con la legislación española, en la clasificación CNAE, esta planta está clasificada en el apartado de industria manufacturera, subapartado de fabricación de otros productos básicos de la química inorgánica (C-2013)

16.4. Clasificación según la Directiva Seveso

Según el Real Decreto 840/2015, se deben de tomar medidas de precaución adecuadas para asegurar un alto nivel de protección para los ciudadanos, poblaciones y medio ambiente frente a accidentes graves relacionados con actividades industriales. A través de este RD se traspone al ordenamiento jurídico español la Directiva 2012/18/UE, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

En el artículo 2 del Real Decreto, se define el ámbito de aplicación además de una serie de excepciones de cumplimiento. Dado que esta planta no se encuentra reflejada entre las excepciones, se acude al artículo 3 para clasificar el tipo de establecimiento. En este artículo se definen dos tipos de emplazamientos según la cantidad de sustancias peligrosas:

- Emplazamiento de nivel inferior: un emplazamiento en el que haya presentes sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores al umbral inferior pero inferiores al umbral superior.
- Emplazamiento de nivel superior: un emplazamiento en el que haya presentes sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores al umbral superior.

Tanto el umbral inferior como superior aparecen respectivamente en las columnas 2 y 3 del anexo I del Real Decreto. Además, cuando ninguna de las sustancias supere los umbrales, se debe valorar la instalación según lo descrito en la nota 4 del anexo I.

Para cada una de las sustancias presentes en el proceso se presenta la cantidad existente en el emplazamiento, así como los umbrales inferior y superior obtenidos del anexo I del Real Decreto. Este umbral se relaciona con las categorías en las que se encuentra clasificada la sustancia en el reglamento CLP, que aparecen en la tabla anterior. En esta tabla sólo se reflejan las sustancias que están clasificadas en este reglamento como peligrosas, ya que el resto no dispone de umbrales.

Tabla 30. Cantidad de sustancias peligrosas en proceso y umbrales Seveso

| Compuesto | Categoría límite | Umbral inferior (t) | Umbral superior (t) | Cantidad en proceso (t) | Clasificado |
|-----------------|------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------|
| HCN | P5a | 10 | 50 | 60 | Si (superior) |
| NH ₃ | P2 | 10 | 50 | 62,6 | Si (superior) |
| H ₂ | P2 | 10 | 50 | Proceso | - |
| O ₂ | P4 | 50 | 200 | Proceso | - |
| CH ₄ | P2 | 10 | 50 | 65,2 | Si (superior) |
| CO | P2 | 10 | 50 | Proceso | - |

Se considera para los reactivos y productos, el almacenamiento de dos días de producción como cantidad existente en la planta. La cantidad de hidrógeno no se estima porque la instalación ya se encuentra clasificada tanto por el amoníaco y metano como por el ácido cianhídrico. Independientemente de la cantidad de estos otros compuestos, la instalación está clasificada.

16.5. Distancias de seguridad entre equipos

Para el cálculo de las distancias de seguridad necesarias entre equipos, se emplean las recomendaciones proporcionadas por GAPS para plantas de refino de petróleo y químicos.

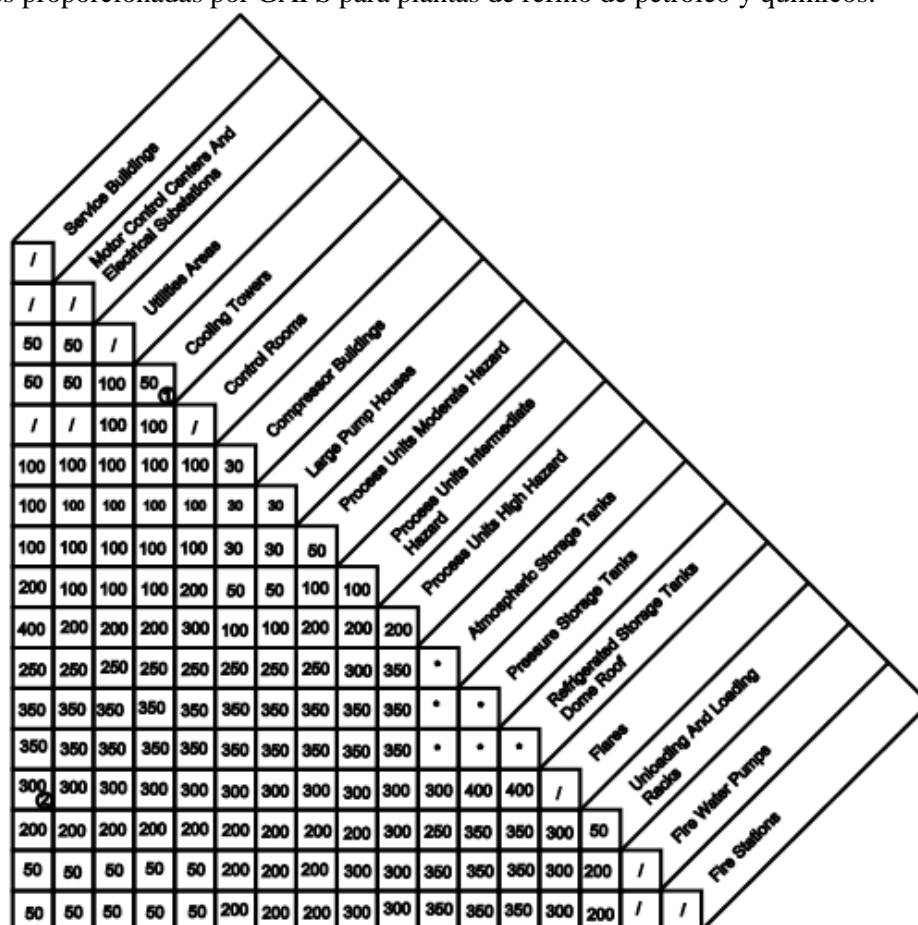


Figura 14. Distancias recomendadas de seguridad entre bloques (en ft)

En la figura anterior se presentan las distancias que deben existir entre los diferentes bloques de la planta. Se considera que la planta diseñada dispone de los siguientes bloques:

- Edificios de servicios: en ellos se localizan las oficinas, así como comedores y vestuarios para el personal de la planta.
- Área de utilidades: en ella se localizan los equipos encargados de la generación de vapor y aire comprimido que emplea la planta.
- Sala de control: desde ella se monitoriza todo el proceso de producción y se comprueba el correcto funcionamiento de la planta.
- Unidades de proceso de riesgo intermedio: según la evaluación del riesgo de la planta por métodos simples presentada posteriormente, la planta presenta un riesgo intermedio, por lo que la batería de equipos se considera de riesgo intermedio.
- Tanques de almacenamiento a presión: en esta área se localiza el almacenamiento tanto de amoníaco como del ácido cianhídrico producido.

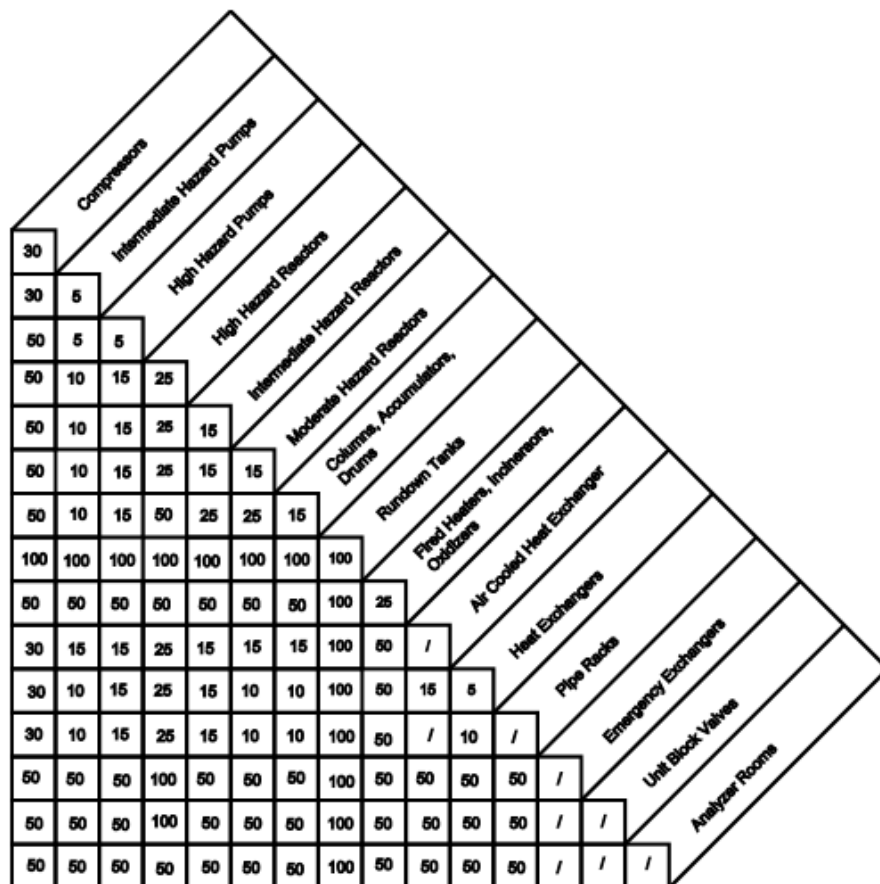


Figura 15. Distancias recomendadas de seguridad entre equipos (en ft)

- Tanques de almacenamiento a presión atmosférica: contienen los almacenamientos de ácido sulfúrico y sulfato de amonio acuoso.
- Antorcha: se emplea para la quema de los gases procedentes del absorbedor T-302 así como de las emisiones puntuales debidas a venteos de equipos.
- Servicios de protección contra-incendios.

Además, tanto para el caso del almacenamiento de ácido cianhídrico como para el de amoníaco anhidro, se deben tener en cuenta las distancias de seguridad contempladas en el Real Decreto 379/2001 relativo al Almacenamiento de Productos Químicos, y en concreto en las instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1 de almacenamiento de líquidos combustibles para el ácido cianhídrico y la ITC MIE-APQ-4 relativa al almacenamiento de amoníaco anhidro. Dentro de los límites de batería, las distancias de seguridad recomendadas entre equipos se presentan en la figura anterior. Teniendo en cuenta todo lo anterior, las distancias que debe haber entre los equipos se presentan en el siguiente diagrama:

Tabla 31. Distancias de seguridad en la planta (en m)

| | E-101 | E-102 | E-103 | E-104 | K-101 | V-101 | R-201 | E-301 | T-301 | P-301A/B | E-302 | T-302 | P-302A/B | E-303 | T-303 | P-303A/B | P-304A/B | V-301 | E-304 | P-305A/B | P-306A/B | E-305 | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|--|
| E-101 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E-102 | 1,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E-103 | 1,5 | 1,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E-104 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K-101 | 9,1 | 9,1 | 9,1 | 9,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V-101 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 15,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R-201 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 15,2 | 7,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E-301 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 9,1 | 3,0 | 4,6 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T-301 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 15,2 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| P-301A/B | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 9,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | | | | | | | | | | | | | |
| E-302 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 9,1 | 3,0 | 4,6 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | | | | | | | | | | | | | |
| T-302 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 15,2 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | 3,0 | | | | | | | | | | | | |
| P-302A/B | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 9,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | | | | | | | | | | |
| E-303 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 9,1 | 3,0 | 4,6 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | | | | | | | | | | |
| T-303 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 15,2 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | 3,0 | | | | | | | | | |
| P-303A/B | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 9,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | | | | | | | |
| P-304A/B | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 9,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | | | | | | |
| V-301 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 15,2 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | 3,0 | 7,6 | 3,0 | 3,0 | | | | | | |
| E-304 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 9,1 | 3,0 | 4,6 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | | | | | |
| P-305A/B | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 9,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | | |
| P-306A/B | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 9,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | |
| E-305 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 9,1 | 3,0 | 4,6 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | |

16.6. Estudio de reactividad química descontrolada

En este apartado se realiza un estudio preliminar mediante métodos simples sobre el sistema reactivo y la posibilidad de que se desarrollen reacciones fuera de control que pongan en peligro la integridad de la instalación y constituyan un riesgo para instalaciones, personal y/o medio ambiente. Las reacciones fuera de control se caracterizan por liberación de gran cantidad de energía en un corto período de tiempo, emisión de sustancias corrosivas o tóxicas, producción de gran cantidad de gases o sobrepresión en el sistema, o una combinación de diversos factores.

Las causas por la que se desencadenan estas reacciones pueden ser de diversos tipos, entre los que se encuentra contaminación por alguna sustancia, cargas electrostáticas, pérdida de refrigeración o deficiencias en la agitación del sistema que permitan la formación de puntos calientes. Los episodios relacionados con reactividad química descontrolada, se engloban dentro de los siguientes casos:

- Reacciones violentas con el agua
- Reacciones violentas con el aire
- Incompatibilidad química
- Descomposición
- Polimerización

Los dos principales parámetros utilizados para un estudio preliminar de la reactividad química son las entalpías de reacción y de descomposición de cada uno de los compuestos.

16.6.1. Método basado en la estructura molecular de los compuestos

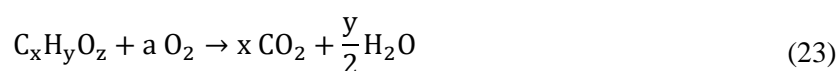
Se trata de un criterio desarrollado por Lathropy Handrick utilizado para cuantificar el riesgo basado en el cálculo mediante la fórmula estequiométrica del aporte de oxígeno externo necesario para que la sustancia pueda oxidarse completamente. Cuanto mayor sea la cantidad de oxígeno disponible en la molécula mayor será el riesgo, pues no necesita aporte de oxígeno externo para que se produzca la combustión.

Este método se aplica a moléculas de la forma $C_xH_yO_z$, y debe tenerse en cuenta que el aporte externo de oxígeno debe realizarse a partir de una forma reactiva, por ejemplo, en forma de oxígeno diatómico. En el caso de tratarse de agua o dióxido de carbono, aunque son moléculas

que contienen oxígeno, no se considera por tratarse de compuestos estables. La fórmula que permite evaluar el riesgo mediante este criterio es la siguiente.

$$BO (\%) = \left(z - 2x - \frac{y}{2} \right) \frac{16}{M} \cdot 100\% \quad (22)$$

En esta ecuación, M representa la masa molecular de la sustancia. Esta ecuación se origina del balance de materia realizado a la reacción de combustión:



Si se realiza el balance, se obtiene que $a = 0,5 (z - 2x - 0,5y)$, y refiriéndolo a fracción másica, se obtiene la expresión del balance de oxígeno presentada como fundamento de este método. Por definición, si la molécula dispone de menos oxígeno del necesario el BO es negativo, y si posee más es positivo. La zona de peligro se encuentra cuando no se requiere de aporte externo de oxígeno. Tanto si hay exceso como defecto de oxígeno en la molécula, disminuye el riesgo. La tabla de evaluación es la siguiente:

Tabla 32. Niveles para la cuantificación del riesgo según balance de oxígeno

| Balance de oxígeno, BO (%) | Riesgo |
|--|--------|
| $BO \in (-\infty, -240) \cup (160, +\infty)$ | Bajo |
| $BO \in [-240, -120) \cup (80, 160]$ | Medio |
| $BO \in [-120, 80]$ | Alto |

Aplicando este criterio a las moléculas orgánicas presentes en el proceso se obtienen los siguientes resultados. No se considera el dióxido de carbono por ser estable.

Tabla 33. Resultados de la evaluación de riesgo mediante método de balance d oxígeno

| Molécula | BO (%) | Riesgo |
|-----------------------|--------|--------|
| HCN | -148% | Medio |
| CH₄ | -399% | Bajo |
| CO | -57% | Alto |

Teniendo en cuenta que el monóxido de carbono se presenta en concentraciones muy bajas a lo largo de todo el proceso, la clasificación del sistema reactivo según la peligrosidad se lleva a cabo a partir de la clasificación del ácido cianhídrico. Por lo tanto, el sistema reactivo del proceso presenta un riesgo medio según el método basado en la estructura molecular de los compuestos.

16.6.2. Clasificación de productos según NFPA

La NFPA es una organización estadounidense encargada de crear y mantener normas y requisitos necesarios para la prevención contra incendios. En relación a las sustancias químicas, las clasifica en función de su inflamabilidad, toxicidad, reactividad además de presentar de forma gráfica las características más representativas. El pictograma para la identificación de las sustancias es el siguiente.



Figura 16. Cuadro de identificación NFPA

Teniendo en cuenta el cuadro anterior, la clasificación de todas las sustancias del proceso mediante este método se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 34. Clasificación NFPA de las sustancias del proceso

| Compuesto | Riesgo para la salud | Inflamabilidad | Reactividad | Específicos |
|---|----------------------|----------------|-------------|-------------|
| HCN | 4 | 4 | 1 | |
| NH ₃ | 3 | 1 | 0 | |
| H ₂ | 0 | 4 | 0 | |
| O ₂ | 3 | 0 | 0 | Ox |
| N ₂ | 1 | 0 | 0 | |
| CH ₄ | 2 | 4 | 0 | |
| CO | 3 | 4 | 0 | |
| H ₂ O | 0 | 0 | 0 | |
| CO ₂ | 2 | 0 | 0 | |
| H ₂ SO ₄ | 3 | 0 | 2 | W |
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | 2 | 1 | 0 | |

16.6.3. Matriz de compatibilidad química

La matriz de compatibilidad química permite visualizar de forma gráfica las interacciones que pueden tener lugar entre los compuestos, así como su peligrosidad. Para su elaboración se tienen en cuenta los parámetros de reactividad, inflamabilidad y salud de la clasificación de las sustancias NFPA. Esta matriz se ha desarrollado mediante el programa Chemical Reactivity Worksheet. A continuación, se presenta la matriz de reactividad química de todas las sustancias presentes en el proceso.

Los datos obtenidos de esta matriz, indican una serie de incompatibilidades comentadas

| NFPA | | | Reactor Compatibility Chart | AMMONIA, ANHYDROUS | AMMONIUM SULFATE | CARBON MONOXIDE | HYDROGEN | HYDROGEN CYANIDE, ANHYDROUS, STABILIZED | METHANE | NITRIC OXIDE | NITROGEN | OXYGEN | SULFURIC ACID | WATER |
|--------|--------------|-------------|-----------------------------|--------------------|------------------|-----------------|----------|---|---------|--------------|----------|--------|---------------|-------|
| Health | Flammability | Instability | | Special | | | | | | | | | | |
| 3 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | 0 | | N | | | | | | | | | | |
| 3 | 4 | 0 | | Y | Y | | | | | | | | | |
| 0 | 4 | 0 | | Y | Y | Y | | | | | | | | |
| 4 | 4 | 1 | | N | N | N | N | SR | | | | | | |
| 2 | 4 | 0 | | Y | Y | Y | Y | C | | | | | | |
| 3 | 0 | 0 | Δ | N | N | N | N | N | N | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | | Y | Y | Y | Y | C | Y | Y | | | | |
| 3 | 0 | 0 | Δ | N | N | N | N | N | N | C | Y | | | |
| 3 | 0 | 2 | Δ | N | C | N | N | N | N | N | Y | N | | |
| 0 | 0 | 0 | | C | C | Y | Y | C | Y | N | Y | N | C | |

Figura 17. Matriz de compatibilidad química

- Amoníaco anhidro + sulfato de amonio (incompatible): se trata de una reacción exotérmica que ocurre a temperatura ambiente, sin embargo, se trata de una reacción deseada que se emplea para la eliminación de amoníaco de la corriente principal, por lo que se establecen mecanismos para su control, además el amoníaco de la corriente

se encuentra en disolución acuosa, por lo que no desarrolla una reacción fuera de control.

- Ácido cianhídrico + amoníaco anhidro (incompatible): se trata de una reacción exotérmica de polimerización, que conlleva una liberación súbita de compuestos gaseosos que provoquen presurización del sistema. Esta reacción tiene lugar en el reactor y ha sido tomada en cuenta para el dimensionamiento del sistema de refrigeración, el cual permite disminuir la temperatura hasta menos de 300 °C para que la polimerización no tenga lugar de forma instantánea. Además, la etapa posterior a la de reacción es la eliminación de amoníaco de la corriente para evitar polimerización del producto en etapas posteriores.
- Ácido cianhídrico + sulfato de amonio (incompatible): reacción que libera productos tóxicos, que pueden ser inflamables, y en estado gas, lo que puede ocasionar presurización. Estos compuestos entran en contacto en el absorbedor, sin embargo, esta reacción se ve favorecida en medio básico, y en el absorbedor se trabaja en medio ácido, por lo que el avance de esta reacción es mínimo.
- Ácido cianhídrico + monóxido de carbono (incompatible): reacción con liberación de gases y exotérmica, que puede provocar polimerización. El monóxido de carbono se encuentra en la corriente de salida del reactor con una composición muy pequeña, y la estabilización del ácido cianhídrico se produce reduciendo el pH en el absorbedor, por lo que no tienen lugar reacciones de polimerización.
- Ácido cianhídrico + hidrógeno (incompatible): al igual que en el caso anterior, con el medio ácido se estabiliza el ácido cianhídrico evitando la polimerización. Por otra parte, la cantidad de hidrógeno en la salida del reactor es muy pequeña.
- Ácido cianhídrico (autorreactivo): altamente inflamable y polimerizable. La inflamabilidad justifica su tratamiento posterior como líquido, y la polimerización se inhibe con pH inferior a 4 y altas concentraciones de compuesto. Es por esta razón por la cual el almacenamiento se realiza con un 99,5% de pureza estabilizado con ácido sulfúrico.
- Metano + ácido cianhídrico (precaución): puede provocar una reacción exotérmica en presencia de un catalizador, como es el caso del reactor. Para esta unidad, ya se tiene en cuenta el avance de la reacción y para el resto de las unidades de la planta, la reacción no tiene lugar.

- Óxido nítrico (incompatibilidad): por ser un oxidante, presenta incompatibilidad con todos los productos susceptibles de ser oxidados, ya que provoca una reacción exotérmica. La reacción produce trazas de este compuesto, por lo que no compromete la seguridad del proceso.
- Oxígeno (incompatibilidad): al igual que el óxido nítrico, es un oxidante, por lo que reacciona de forma exotérmica con sustancias susceptibles a la oxidación. Presenta reacciones extremadamente violentas con el hidrógeno y el sulfato de amonio, sin embargo, para el caso del hidrógeno se encuentra en cantidades muy reducidas y para el sulfato de amonio, la corriente de proceso contiene también cantidades muy reducidas de oxígeno. En cuanto a la reacción con el metano, es altamente exotérmica, sin embargo, es una de las reacciones principales del proceso y se encuentra controlada.
- Ácido sulfúrico (incompatibilidad): presenta reacciones exotérmicas con amoníaco y sulfato de amonio, que se trata de reacciones deseadas para la eliminación de amoníaco de la corriente principal, en el absorbedor. Con oxígeno, hidrógeno y óxido nítrico no se produce reacción por encontrarse estos elementos en niveles bajos de concentración. Reacciona con ácido cianhídrico a altas temperaturas, lo que supone una justificación para trabajar a bajas temperaturas en las unidades posteriores al reactor, cuando se ponen en contacto estas sustancias. Es corrosivo, por lo que se debe tener en cuenta en la elección del material de construcción de las unidades de proceso, almacenamientos y conducciones.

16.6.4. Cálculo de índice de riesgo para reacciones fuera de control

Este índice propuesto por Vílchez y Casal en 1992, permite identificar posibles escenarios de reacciones fuera de control mediante el cálculo de un índice que tiene en cuenta la naturaleza exotérmica de la reacción, factores de riesgo y factores bonificadores, que se combinan de la siguiente forma.

$$IP = IE \frac{1 + \sum FR}{1 + \sum FB} \quad (24)$$

En la expresión anterior, *IP* representa el índice de riesgo (con una escala aproximada de 0 – 100, teniendo en cuenta los escenarios límite), *IE* es un índice energético, que cuantifica la

exotermicidad de la reacción, *FR* son los factores de riesgo y *FB* los factores bonificadores. Todos los valores se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 35. Factores para el cálculo del índice de riesgo del reactor

| Reacción | IE |
|---|-----------|
| Muy exotérmica | 10 |
| Exotérmica | 8 |
| Moderadamente exotérmica | 6 |
| Poco exotérmica | 4 |
| Muy poco exotérmica | 2 |
| Condición | FR |
| Proceso discontinuo | 3,2 |
| Planta multiproducto | 1 |
| Equipos | 0 |
| Reactor | 3,2 |
| Depósito | 1,2 |
| Otros | 0,6 |
| Condición | FB |
| Sistema de refrigeración fiable | 0,11 |
| Sistema automático para control de caudal | 0,08 |
| Información de ingeniería | 0,07 |
| Manuales de operación | 0,06 |
| Energía de emergencia para control | 0,06 |
| Refrigeración de emergencia física | 0,02 |

Se utiliza para la determinación del índice de riesgo la reacción de combustión del metano, porque la reacción principal no entraña riesgo por reacciones fuera de control por no ser exotérmica. Para los factores anteriormente presentados, se considera una reacción muy exotérmica, por englobarse dentro de una oxidación. Como factores de riesgo, se considera su ocurrencia en un reactor y la planta multiproducto. Como factores de bonificación un sistema de refrigeración fiable, control de caudal automático, además de disponer de información de ingeniería y manuales de operación. Además, se dispone de una fuente de energía alternativa para el control del proceso.

El resultado del índice de riesgo es de $IR = 37,68$. Teniendo en cuenta la escala de 0 – 100 se trata de un riesgo medio-bajo para esta reacción, por lo tanto, una clasificación coincidente con la del método basado en la estructura molecular de los compuestos.

16.7. Índice DOW de incendio y explosión

En este apartado se realiza el cálculo del índice DOW de incendio y explosión para el reactor.

16.7.1. Determinación del factor material

Para la determinación del factor material es necesario conocer los índices de inflamabilidad y reactividad de los compuestos, y en el caso de una mezcla, el de la mezcla. Para ello se deben utilizar estudios termodinámicos del sistema que permitan conocer para cada caso el punto de inflamación o la energía liberada por la combustión, y a partir de estos parámetros calcular los índices de reactividad e inflamabilidad. Debido a que éste se trata de un método para desarrollar en etapas posteriores del proceso, como primera aproximación se realiza una media ponderada (en % en peso) de los compuestos de la mezcla. Por tratarse de un reactor, la composición de las corrientes de entrada y de salida es diferente, por lo que se calculan los parámetros para las dos situaciones eligiendo las más desfavorables para calcular el factor material.

16.7.2. Consideraciones para la determinación de los riesgos generales del proceso

Dependen de la unidad para la cual se realicen los cálculos, y permite tener en cuenta el aumento de la magnitud de un accidente. Las consideraciones que se tienen en cuenta para estimar los parámetros son las siguientes:

- Reacciones exotérmicas: para la determinación de este índice se tiene en cuenta la reacción principal del proceso, y por tratarse de una reacción endotérmica, no se aplica este factor de penalización.
- Reacciones endotérmicas: la reacción principal del proceso es endotérmica, y se encuentra dentro de uno de los casos propuestos por la guía, en la que se produzca el suministro de energía mediante otra reacción exotérmica. La penalización aplicada es de 0,40.

- Manejo y transferencia de materiales: no se realiza mezcla, carga, descarga ni almacenamiento de materiales en la unidad para la que se realiza el estudio, por lo que no se aplica penalización.
- Unidades de proceso en locales cerrados: se dispone de una instalación al aire libre, por lo que no se añade penalización ninguna.
- Acceso: se dispone de acceso por al menos dos lados de la unidad.
- Drenajes: el reactor trabaja en fase gas, por lo que no son necesarios drenajes. No se considera ninguna penalización a aplicar.

16.7.3. Riesgos especiales del proceso

Se refieren a las condiciones de operación a las que trabaja la unidad, compuestos químicos y posibles interacciones con otros equipos. Se refiere a la probabilidad de que se produzca un incendio o explosión. Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones para el cálculo del factor:

- Temperatura de proceso: se trabaja en condiciones de inflamabilidad del metano, y además por encima de su temperatura de autoignición, por lo que se consideran penalizaciones de 0,30 por superar el límite de inflamabilidad y 0,75 por superar la temperatura de autoignición.
- Presión baja: en la unidad no se trabaja a presiones inferiores a la atmosférica.
- Operación en condiciones de inflamabilidad: proceso que por naturaleza se halla en condiciones de inflamabilidad añade una penalización de 0,8.
- No se considera explosión de polvo por no haber material particulado en suspensión.
- Presión de alivio: se dispone de una válvula de alivio de presión para el reactor con una presión de diseño de 2,2 bar.
- Baja temperatura: no se considera penalización por baja temperatura.
- Cantidad de material inflamable: se estima a partir del tiempo de residencia en el reactor.

En la siguiente página se presenta la tabla relativa a la evaluación de la planta mediante el índice DOW.

El radio de afectación obtenido tras la evaluación del equipo es de 18,87 m, por lo que cualquier incendio o explosión en esta unidad podría afectar al tanque de mezcla V-101.

Tabla 36. Evaluación del índice DOW del reactor R-201

| | | |
|---|--------------|-----------------------|
| Planta: Planta de producción de ácido cianhídrico | | Unidad: Reactor R-201 |
| MATERIALES Y PROCESOS | | |
| Material: Hastelloy C-316 | | |
| Catalizador: 90%Pt-10%Rh | | |
| FACTOR MATERIAL | | 14 |
| 1. RIESGOS GENERALES DEL PROCESO | Penalización | |
| FACTOR BASE | 1 | |
| A. Reacciones exotérmicas | 0 | |
| B. Reacciones endotérmicas | 0,4 | |
| C. Transferencia y manejo de materiales | 0 | |
| D. Unidades de proceso cerradas | 0 | |
| E. Acceso | 0 | |
| F. Desagües | 0 | |
| FACTOR DE RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1) | 1,4 | |
| 2. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO | | |
| FACTOR BASE | 1 | |
| A. Temperatura del proceso | | |
| 1. Superior al punto de inflamación | 0,3 | |
| 2. Superior al punto de ebullición | 0 | |
| 3. Superior al punto de autoignición | 0,75 | |
| B. Presión baja | 0 | |
| C. Operación en o cerca de condiciones de inflamabilidad | | |
| 1. Líquidos inflamables almacenados en tanques en el exterior | 0 | |
| 2. Alteración del proceso o fallo de purga | 0 | |
| 3. Siempre en condiciones de inflamabilidad | 0,8 | |
| D. Explosión de polvo | 0 | |
| E. Presión | 0,2 | |
| F. Temperatura baja | 0 | |
| G. Cantidad de material inflamable | | |
| 1. Líquidos o gases en procesos | | |
| 2. Líquidos o gases almacenados | 0 | |
| 3. Sólidos combustibles almacenados | 0 | |
| H. Corrosión y erosión | 0,5 | |
| J. Fugas por uniones y empaquetaduras | 0,3 | |
| K. Uso de calentadores con llama abierta | 0 | |
| L. Sistema de intercambio térmico con aceite caliente | 0 | |
| M. Compresores, bombas y equipos rotativos | 0 | |
| FACTOR DE RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (F2) | 3,85 | |
| FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD (F1 x F2 = F3) | 5,39 | |
| ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN (F3 x MF = IIE) | | 75,46 |

16.8. Dimensionamiento de válvula de alivio

En este proyecto, se dimensiona la válvula de alivio correspondiente al reactor R-201, considerando un incremento en la presión derivado de la dificultad de paso de la alimentación bien sea por el catalizador, por el relleno posterior o por los tubos del intercambiador.

La realización del HAZID al reactor, proporciona un posible escenario de incremento de presión debido a dificultades de paso de la corriente a través del relleno. Es por ello por lo que se realiza este dimensionamiento.

Para el control de la caída de presión a lo largo del reactor, se instala un medidor de presión diferencial conectado con un sistema de alarma que permite comprobar a los empleados el correcto funcionamiento de la unidad. Además, se instalan lazos de control de presión en las alimentaciones de los reactivos. Considerando el fallo de alguno de estos lazos, se dimensiona la válvula de alivio para aliviar una cantidad de gases correspondientes al 50% de los entrantes en el reactor. Los cálculos se realizan en el apartado de cálculos justificativos, en el que también se presentan los resultados obtenidos.

16.9. HAZID

El HAZID es un método de identificación de peligros en la etapa de operación de una planta. Las etapas seguidas para la realización HAZID, propuestas por el IChemE, se muestran a continuación:

1. Estudio previo del sistema
 - a. Analizar el sistema
 - b. Identificar los bloques y su función
 - c. Identificar los elementos de seguridad
 - d. Escribir las palabras guía que permitan describir incumplimiento de los objetivos de seguridad e identificar posibles escenarios
2. Durante el estudio
 - a. Definir un bloque en el sistema
 - b. Identificar los elementos
 - c. Anotar la función, contenido y naturaleza de los fluidos del sistema
 - d. Describir las interacciones de los elementos
 - i. Utilizar las palabras guía para construir violaciones de los objetivos de seguridad

- ii. Definir los elementos que pueden ser dañados o los que permitan mantener el proceso en condiciones seguras, así como las causas de fallo.
- e. Analizar el fallo y las posibles consecuencias
- f. Identificar los mecanismos que influyeron en la creación del escenario
- g. Anotar la palabra guía, la causa, la naturaleza del evento, las consecuencias, las medidas preventivas o correctoras y observaciones
- h. Seleccionar otra palabra guía y volver al paso d
- i. Cuando todas las palabras guía se terminen elegir otro sistema
- j. Llevar a cabo el mismo procedimiento

Se plantea el estudio considerando las siguientes palabras guía aplicadas al reactor R-201:

- Más flujo
- Más presión
- Alto/bajo nivel
- Mayor/menor conversión

Tabla 37. HAZID del reactor R-201

| # | Palabra guía | Naturaleza del evento | Causa | Consecuencia | Medidas preventivas |
|---|--------------------------|---|-----------------------------|--|---|
| 1 | Más flujo alimentación | Incremento del flujo de entrada al reactor | Fallo en el lazo de control | 1. Disminuye temperatura de salida del reactor | Mantenimiento correcto del lazo y controles periódicos |
| | | | | 2. Disminuye la selectividad y conversión | |
| 2 | Menos flujo alimentación | Disminución del flujo de entrada al reactor | Fallo en el lazo de control | 1. Aumenta la temperatura de salida del reactor | Medir la temperatura de salida del reactor controlando la entrada |
| | | | | 2. Disminuye la selectividad | |
| | | | | 3. Superación de temperatura máxima de materiales | |
| 3 | Más flujo refrigerante | Aumenta el flujo de refrigerante | Fallo en el lazo de control | 1. Disminuye la temperatura de salida del intercambiador | Mantenimiento correcto del lazo y controles periódicos |
| | | | | 2. Menor eficacia de integración energética | |

| | | | | | |
|-----------|----------------------------|--|---|---|---|
| 4 | Menos flujo refrigerante | Disminuye el flujo de refrigerante | Fallo en el lazo de control | 1. Aumenta la temperatura de salida del intercambiador 2. Polimerización del producto principal | |
| 5 | Más presión en reactor | Aumenta la presión en el reactor | 1. Fallo en el lazo de control | 1. Pérdida de contención | Alarma por alta presión en reactor R-201 e instalación de válvula de alivio |
| 6 | Menos presión en reactor | Disminuye la presión del reactor | Fallo en el lazo de control | 1. Disminución de la conversión y selectividad | Alarma por baja presión en reactor R-201 |
| 7 | Más presión en camisa | Aumenta la presión en la camisa del intercambiador | Fallo en el lazo de control | 1. Pérdida de contención 2. Polimerización del producto principal por pérdida de la refrigeración | Alarma por alta presión en el intercambiador e instalación de válvula de alivio |
| 8 | Alto nivel de refrigerante | El nivel de refrigerante es superior al límite establecido | Fallo en el lazo de control de nivel | 1. Flujo bifásico en línea de vapor | Alarma por alto nivel de líquido en la camisa |
| 9 | Bajo nivel de refrigerante | El nivel de refrigerante es inferior al límite establecido | Fallo en el lazo de control de nivel | 1. Refrigeración deficiente 2. Polimerización del producto | Alarma por bajo nivel de líquido en la camisa |
| 10 | Aislamiento defectuoso | El aislamiento del reactor se encuentra en mal estado | Fallo en instalación o control de calidad | 1. Superación de la temperatura máxima de la pared del reactor 2. Disminución de selectividad y conversión | Planes de mantenimiento adecuados |
| 11 | Corrosión de la pared | Se forma un orificio en la pared | Corrosión | 1. Pérdida de contención | Dimensionamiento de escenario de fuga |

Anexo I: Balances de materia y energía

1. ÍNDICE

| | |
|---------------------------------------|----|
| 0. Índice..... | 1 |
| 1. Ecuaciones empleadas..... | 2 |
| 1.1. Balances de materia..... | 2 |
| 1.2. Balances de energía..... | 3 |
| 2. Intercambiador E-101..... | 4 |
| 3. Intercambiador E-102..... | 5 |
| 4. Intercambiador E-103..... | 6 |
| 5. Compresor K-101..... | 7 |
| 6. Intercambiador E-104..... | 9 |
| 7. Tanque de mezcla V-101..... | 10 |
| 8. Reactor R-201..... | 12 |
| 9. Intercambiador E-301..... | 14 |
| 10. Columna de absorción T-301..... | 15 |
| 11. Intercambiador E-302..... | 17 |
| 12. Columna de absorción T-302..... | 18 |
| 13. Intercambiador E-303..... | 20 |
| 14. Columna de destilación T-303..... | 21 |

2. ECUACIONES EMPLEADAS

2.1. Balances de materia

La ecuación general de balance utilizada a lo largo del anexo para la realización de los cálculos es la siguiente:

$$S - E + A = G \quad (1)$$

En donde S es la salida del sistema, E la entrada, A la acumulación (nula en estado estacionario) y G la generación (sólo existente en etapas de reacción química). Por lo tanto para todas las unidades a excepción del reactor, se empleará la ecuación simplificada sin generación ni acumulación, y para el reactor se añade el término de generación.

Este balance se puede aplicar también a cada uno de los componentes de la mezcla. Teniendo en cuenta que la acumulación es nula en todos los casos, la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$Sx_{i,S} = Ex_{i,E} + S_c(r_i''), \quad \text{para } i \in [0, N] \quad (2)$$

En la expresión anterior, los flujos S y E están en unidades molares, las x se corresponden con fracciones molares, S_c es la superficie de catalizador y r_i'' es la velocidad de generación/desaparición del compuesto i referida a la superficie de catalizador.

Para N componentes se dispone de N ecuaciones linealmente independientes, por lo tanto una de los balances de materia se puede expresar como combinación lineal de los otros. Sin embargo, en este caso, para comprobar que los cálculos están realizados correctamente se calculan las N+1 ecuaciones y se emplea la expresión de balance global (1) como parámetro de comprobación. Para el cálculo del cierre del balance, se debe comprobar que el balance de materia global se cumple. De esta forma se comprueba que la suma aritmética de todos los términos sea nula.

Se realiza el balance de materia a todas aquellas unidades en las que se produzcan cambios en la composición de las corrientes, ya que en las corrientes en las que no hay cambios ni mezclas, la corriente de entrada se corresponde con la corriente de salida. Por lo tanto, se aplica el balance de materia al mezclador V-101, al reactor R-202 y a las columnas T-301, T-302 y T-303.

2.2. Balances de energía

Para realizar el balance de energía, se debe comprobar que la energía total del sistema se conserva. La magnitud empleada para realizar el balance es la entalpía. Dado que es una función de estado, su valor no depende del camino seguido sino de los estados inicial y final. Teniendo esto en cuenta, se establece como punto de referencia de energía nula del proceso los compuestos a 1 bar, 25°C y en estado gas, dado que en la mayoría del proceso se trabaja en esta fase.

El cálculo de cambio de entalpía por calentamiento se calcula a partir de los calores específicos de cada una de las mezclas, siguiendo el procedimiento indicado en el Anexo II. Cálculos justificativos, en el apartado correspondiente al reactor.

Se realiza balance de energía para todas las unidades de proceso, y se emplea la ecuación (1) de este anexo utilizando términos de energía. Para las unidades en las que se produzca reacción química, se debe tener en cuenta el cambio de energía debido a la reacción, por lo que en estas unidades se debe considerar el término de generación.

Para los intercambiadores de calor, se tienen en cuenta las dos corrientes implicadas, considerando que no se producen pérdidas de calor al exterior por convección ni radiación, y que toda la energía suministrada por la corriente caliente pasa a la corriente fría. Aunque en el reactor se consideren pérdidas de calor para el dimensionamiento del aislante, para realizar el balance de energía, se supone un equipo perfectamente aislado. Por tanto, se considera que la reacción transcurre adiabáticamente y todo el calor liberado pasa a la corriente de proceso.

Los cálculos de las entalpías de las corrientes se realizan en Matlab® a partir de un código desarrollado para este fin. Este código se presenta en el Anexo III, junto con los empleados para el diseño del reactor.

Los cálculos de los cierres de balances de energía de los intercambiadores, bombas y compresores no se calculan ya que los parámetros de estos equipos se calculan a partir de las entalpías de cada corriente, y, por tanto, sería realizar el paso a la inversa por lo que el error de balance sería nulo.

3. INTERCAMBIADOR E-101

En este intercambiador tiene lugar un cambio de fase del amoníaco, por lo que el calor intercambiado se corresponde con el calor latente de vaporización de este compuesto. Los datos de entrada y salida de las corrientes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Corrientes de E-101

| CORRIENTE | 1 | 2 |
|----------------------------|-----------------|----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | 1297,81 | 1297,81 |
| Hidrógeno | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 0 | 0 |
| Metano | 0 | 0 |
| Oxígeno | 0 | 0 |
| Agua | 6,52 | 6,52 |
| Monóxido de carbono | 0 | 0 |
| Dióxido de carbono | 0 | 0 |
| Ácido cianhídrico | 0 | 0 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 1304,33 | 1304,33 |
| Presión (bar) | 10 | 9,8 |
| Temperatura (°C) | 25 | 25 |
| Entalpía (kJ/kg) | -1374,04 | 0,33 |

Los datos correspondientes a la utilidad empleada se presentan a continuación:

Tabla 2. Utilidades de E-101

| Utilidad empleada | mps |
|-------------------------------------|---------------|
| Temperatura, °C | 200 |
| Presión, bar | 15,5 |
| Entalpía vaporización, kJ/kg | 1938,6 |
| Flujo másico, kg/s | 0,257 |

Teniendo en cuenta lo anterior, el cierre del balance de energía no proporciona ningún error, ya que el flujo de fluido calefactor se ha calculado a partir de las entalpías de los compuestos.

4. INTERCAMBIADOR E-102

En el intercambiador E-102 tiene lugar el cambio de temperatura del amoníaco desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de entrada al reactor. Se emplea como fluido calefactor vapor a alta presión, y las corrientes que intervienen en el equipo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Corrientes de E-102

| CORRIENTE | 2 | 3 |
|----------------------------|----------------|----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | 1297,81 | 1297,81 |
| Hidrógeno | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 0 | 0 |
| Metano | 0 | 0 |
| Oxígeno | 0 | 0 |
| Agua | 6,52 | 6,52 |
| Monóxido de carbono | 0 | 0 |
| Dióxido de carbono | 0 | 0 |
| Ácido cianhídrico | 0 | 0 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 1304,33 | 1304,33 |
| Presión (bar) | 9,8 | 9,6 |
| Temperatura (°C) | 25 | 200 |
| Entalpía (kJ/kg) | 0,33 | 527,95 |

Los datos correspondientes a la utilidad empleada se presentan a continuación:

Tabla 4. Utilidades de E-102

| Utilidad empleada | hps |
|-------------------------------------|---------------|
| Temperatura, °C | 250 |
| Presión, bar | 40 |
| Entalpía vaporización, kJ/kg | 1714,7 |
| Flujo másico, kg/s | 0,11 |

Teniendo en cuenta lo anterior, el cierre del balance de energía no proporciona ningún error, al igual que en el caso anterior. Se cumple que el calor intercambiado por el fluido frío se corresponde con el intercambiado por el fluido caliente.

5. INTERCAMBIADOR E-103

En el intercambiador E-103 tiene lugar el cambio de temperatura del gas natural (metano) desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de entrada al reactor. Se emplea como fluido calefactor vapor a alta presión, y las corrientes que intervienen en el equipo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Corrientes de E-103

| CORRIENTE | 6 | 7 |
|----------------------------|----------------|----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | 0 | 0 |
| Hidrógeno | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 135,84 | 135,84 |
| Metano | 1222,54 | 1222,54 |
| Oxígeno | 0 | 0 |
| Agua | 0 | 0 |
| Monóxido de carbono | 0 | 0 |
| Dióxido de carbono | 0 | 0 |
| Ácido cianhídrico | 0 | 0 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 1358,38 | 1358,38 |
| Presión (bar) | 2,1 | 2 |
| Temperatura (°C) | 25 | 200 |
| Entalpía (kJ/kg) | 0,31 | 554,75 |

Los datos correspondientes a la utilidad empleada se presentan a continuación:

Tabla 6. Utilidades de E-103

| Utilidad empleada | hps |
|-------------------------------------|---------------|
| Temperatura, °C | 250 |
| Presión, bar | 40 |
| Entalpía vaporización, kJ/kg | 1714,7 |
| Flujo másico, kg/s | 0,12 |

Teniendo en cuenta lo anterior, el cierre del balance de energía no proporciona ningún error.

6. COMPRESOR K-101

En el compresor se debe calcular la potencia que se debe suministrar a un gas para provocar en él un cambio de presión. Por considerarse una compresión adiabática, se produce un aumento de la temperatura de la corriente que se relaciona con la siguiente expresión (considerando el aire un gas ideal, con un coeficiente adiabático de $\gamma = 7/5$).

$$T_d = T_a \left(\frac{P_d}{P_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (3)$$

El trabajo teórico que debe suministrar el compresor se calcula, siguiendo las consideraciones tenidas anteriormente, como:

$$W_{\text{teo}} = \frac{\gamma}{1-\gamma} \frac{RT_a}{PM} \left(\left(\frac{P_d}{P_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \quad (4)$$

La potencia que debe suministrar el compresor por tanto se corresponde con la siguiente expresión:

$$P_{\text{teo}} = W_{\text{teo}} \dot{m}_{\text{aire}} \quad (5)$$

Tabla 7. Corrientes de K-101

| CORRIENTE | 8 | 9 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | 0 | 0 |
| Hidrógeno | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 10440,05 | 10440,05 |
| Metano | 0 | 0 |
| Oxígeno | 3170,03 | 3170,03 |
| Agua | 0 | 0 |
| Monóxido de carbono | 0 | 0 |
| Dióxido de carbono | 0 | 0 |
| Ácido cianhídrico | 0 | 0 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 13610,08 | 13610,08 |
| Presión (bar) | 1 | 2,1 |
| Temperatura (°C) | 25 | 90,3 |
| Entalpía (kJ/kg) | 0,15 | 66,59 |

Los datos de las corrientes de entrada y salida del compresor se presentan en la tabla anterior y los cálculos derivados del dimensionamiento del compresor se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Características de K-101

| | |
|---|--------|
| Coefficiente adiabático, γ | 1,4 |
| Constante de los gases, R (J/molK) | 8,314 |
| Peso molecular medio, PM (g/mol) | 17,03 |
| Trabajo teórico (kJ/kg) | 1714,7 |
| Potencia teórica (kW) | 251 |

Como se ha comentado en el apartado de ecuaciones empleadas en el balance de energía, no se calcula el cierre del balance ya que la potencia del compresor se calcula a partir de las entalpías de las corrientes, por lo que el error resulta nulo.

7. INTERCAMBIADOR E-104

El intercambiador E-104 se emplea para llevar a cabo el cambio de temperatura desde la de salida del compresor hasta la de entrada al reactor. Se emplea, al igual que en los dos intercambiadores anteriores, como fluido calefactor, vapor a alta presión, y las corrientes que intervienen en el equipo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Corrientes de E-104

| CORRIENTE | 9 | 10 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | 0 | 0 |
| Hidrógeno | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 10440,05 | 10440,05 |
| Metano | 0 | 0 |
| Oxígeno | 3170,03 | 3170,03 |
| Agua | 0 | 0 |
| Monóxido de carbono | 0 | 0 |
| Dióxido de carbono | 0 | 0 |
| Ácido cianhídrico | 0 | 0 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 13610,08 | 13610,08 |
| Presión (bar) | 2,1 | 2 |
| Temperatura (°C) | 90,3 | 200 |
| Entalpía (kJ/kg) | 66,59 | 232,35 |

Los datos correspondientes a la utilidad empleada se presentan a continuación:

Tabla 10. Utilidades de E-104

| Utilidad empleada | hps |
|-------------------------------------|---------------|
| Temperatura, °C | 250 |
| Presión, bar | 40 |
| Entalpía vaporización, kJ/kg | 1714,7 |
| Flujo másico, kg/s | 0,37 |

8. TANQUE DE MEZCLA V-101

En el tanque de mezcla se debe distinguir entre balance de materia y de energía, sin embargo, como se parte de los mismos datos, se presenta a continuación la tabla de corrientes:

Tabla 11. Corrientes de V-101

| CORRIENTE | 4 | 7 | 10 | 11 |
|----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | | | |
| Amoníaco | 1297,81 | 0 | 0 | 1297,81 |
| Hidrógeno | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 0 | 135,84 | 10440,05 | 10575,89 |
| Metano | 0 | 1222,54 | 0 | 1222,54 |
| Oxígeno | 0 | 0 | 3170,03 | 3170,03 |
| Agua | 6,52 | 0 | 0 | 6,52 |
| Monóxido de carbono | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dióxido de carbono | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ácido cianhídrico | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 1304,33 | 1358,38 | 13610,08 | 16272,79 |
| Presión (bar) | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Temperatura (°C) | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Entalpía (kJ/kg) | 527,95 | 554,75 | 232,35 | 282,96 |

La tabla correspondiente al cierre del balance de materia se presenta a continuación. Se consideran los flujos entrantes positivos y los salientes negativos:

Tabla 12. Cierre de balance de materia V-101

| Corriente | Flujo másico (kg/h) |
|---------------------------|----------------------------|
| 4 (+) | 1304,33 |
| 7 (+) | 1358,38 |
| 10 (+) | 13610,08 |
| 11 (-) | 16272,79 |
| TOTAL | 0 |
| Error absoluto | 0 |
| Error relativo (%) | 0 |

Teniendo en cuenta que no tiene lugar reacción química, para realizar el balance a la unidad se calcula la corriente de salida como la suma de las de entrada. Por lo tanto, el balance de materia cierra con error nulo.

En la tabla presentada a continuación se reflejan los datos correspondientes al balance de energía de la unidad:

Tabla 13. Cierre de balance de energía V-101

| Corriente | Flujo energético (kW) |
|---------------------------|----------------------------------|
| 4 (+) | 191,28 |
| 7 (+) | 209,32 |
| 10 (+) | 874,42 |
| 11 (-) | 1279,02 |
| TOTAL | 0 |
| Error absoluto | $3,61 \cdot 10^{-4}$ |
| Error relativo (%) | $2,82 \cdot 10^{-5}$ |

Dado que se utilizan métodos rigurosos para el cálculo de las entalpías de las corrientes, que consideran calores específicos variables, el error del balance de energía es muy pequeño. El flujo energético proviene de la multiplicación de la entalpía de cada una de las corrientes por el flujo másico de esa corriente.

9. REACTOR R-201

Los cálculos pormenorizados de la composición de la corriente de salida del reactor se reflejan en el Anexo II. Cálculos justificativos de esta memoria. Para llevarlos a cabo se ha empleado un programa desarrollado en Matlab® que tiene en cuenta todas las reacciones que tienen lugar en el reactor. Las corrientes resultantes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14. Corrientes de R-201

| CORRIENTE | 11 | 12 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | 1297,81 | 436,84 |
| Hidrógeno | 0 | 3,32 |
| Nitrógeno | 10575,89 | 10636,14 |
| Metano | 1222,54 | 198,12 |
| Oxígeno | 3170,03 | 27,92 |
| Agua | 6,52 | 3227,11 |
| Monóxido de carbono | 0 | 492,69 |
| Dióxido de carbono | 0 | 0,64 |
| Ácido cianhídrico | 0 | 1250,00 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 16272,79 | 16272,79 |
| Presión (bar) | 2 | 1,9 |
| Temperatura (°C) | 200 | 300 |
| Entalpía (kJ/kg) | 282,96 | 363,94 |

Los parámetros de error empleados en la resolución numérica comprendían un error relativo permisible menor de un 10^6 , por lo que, con este nivel de precisión en la muestra de datos (dos cifras decimales) no se percibe este error. El cierre del balance de materia se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 15. Cierre de balance de materia R-201

| Corriente | Flujo másico (kg/h) |
|---------------------------|----------------------------|
| 11 (+) | 16272,79 |
| 12 (-) | 16272,79 |
| TOTAL | $2,98 \cdot 10^{-3}$ |
| Error absoluto | $2,98 \cdot 10^{-3}$ |
| Error relativo (%) | $1,83 \cdot 10^{-5}$ |

Se comprueba por tanto el cierre del balance. Para el balance de energía, se tiene en cuenta el dato de calor generado por la reacción proporcionado por el programa de cálculo, y se considera además el calor intercambiado por el intercambiador que forma parte del reactor. Se toma como criterio que la energía suministrada al sistema sea positiva. El cierre se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 16. Cierre de balance de energía R-201

| Término | Flujo energético (kW) |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 11 (+) | 1279,02 |
| 12 (-) | 1645,07 |
| Calor generado (+) | 8817,40 |
| Calor intercambiado (-) | 8130,03 |
| TOTAL | 321,32 |
| Error absoluto | 321,32 |
| Error relativo (%) | 3,07 |

10. INTERCAMBIADOR E-301

En el intercambiador E-301 tiene lugar el cambio de temperatura de la corriente de salida del reactor desde la temperatura de 300°C hasta la temperatura de entrada a la primera columna de absorción. Se emplea como fluido refrigerante agua de refrigeración, y las corrientes que intervienen en el equipo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 17. Corrientes de E-301

| CORRIENTE | 12 | 13 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | 436,84 | 436,84 |
| Hidrógeno | 3,32 | 3,32 |
| Nitrógeno | 10636,14 | 10636,14 |
| Metano | 198,12 | 198,12 |
| Oxígeno | 27,92 | 27,92 |
| Agua | 3227,11 | 3227,11 |
| Monóxido de carbono | 492,69 | 492,69 |
| Dióxido de carbono | 0,64 | 0,64 |
| Ácido cianhídrico | 1250,00 | 1250,00 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 16272,79 | 16272,79 |
| Presión (bar) | 1,9 | 1,8 |
| Temperatura (°C) | 300 | 80 |
| Entalpía (kJ/kg) | 363,94 | 70,72 |

Los datos correspondientes a la utilidad empleada se presentan a continuación:

Tabla 18. Utilidades de E-301

| Utilidad empleada | cw |
|----------------------------------|-------------|
| Temperatura entrada (°C) | 30 |
| Temperatura salida (°C) | 45 |
| Calor específico (kJ/kgK) | 4,18 |
| Flujo másico (kg/s) | 21,1 |

Por lo comentado en el apartado de ecuaciones de balance de energía, no se considera la realización del cierre del balance.

11. COLUMNA DE ABSORCIÓN T-301

En la columna de absorción se debe distinguir entre balance de materia y de energía, sin embargo, como se parte de los mismos datos, se presenta a continuación la tabla de corrientes:

Tabla 19. Corrientes de T-301

| CORRIENTE | 13 | 15 | 16 | 17 |
|----------------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | | | |
| Amoníaco | 436,84 | 0 | 0 | TRAZA |
| Hidrógeno | 3,32 | 0 | 0 | 3,32 |
| Nitrógeno | 10636,14 | 0 | 0 | 10636,14 |
| Metano | 198,12 | 0 | 0 | 198,12 |
| Oxígeno | 27,92 | 0 | 0 | 27,92 |
| Agua | 3227,11 | 171,02 | 2374,12 | 1024,00 |
| Monóxido de carbono | 492,69 | 0 | 0 | 492,69 |
| Dióxido de carbono | 0,64 | 0 | 0 | 0,64 |
| Ácido cianhídrico | 1250,00 | 0 | TRAZA | 1250,00 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 1383,69 | 125,79 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 | 1694,74 | 0 |
| TOTAL | 16272,79 | 1554,71 | 4194,66 | 13632,84 |
| Presión (bar) | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 |
| Temperatura (°C) | 80 | 25 | 70 | 60 |
| Entalpía (kJ/kg) | 70,72 | -268,68 | -1382,43 | 31,25 |

La tabla correspondiente al cierre del balance de materia se presenta a continuación. Se consideran los flujos entrantes positivos y los salientes negativos:

Tabla 20. Cierre de balance de materia T-301

| Corriente | Flujo másico (kg/h) |
|---------------------------|----------------------------|
| 13 (+) | 16272,79 |
| 15 (+) | 1554,71 |
| 16 (-) | 4194,66 |
| 17 (-) | 13632,84 |
| TOTAL | 0 |
| Error absoluto | 0 |
| Error relativo (%) | 0 |

En este caso tiene lugar una reacción química entre el amoníaco y el ácido sulfúrico, para producir sulfato de amonio. Se trata de una reacción exotérmica cuyo calor desprendido se debe tener en cuenta a la hora de realizar el balance de energía. Las consideraciones tenidas en cuenta

a la hora de realizar el dimensionamiento previo de la unidad, así como el balance son las siguientes:

- Se considera un exceso de reactivo de un 10%.
- Del agua que entra a la unidad, se considera que un 30% se libera por cabezas.
- La temperatura de salida de las corrientes por cabezas y por colas es de 60 y 70 °C respectivamente.
- Se debe instalar refrigeración de la unidad para evitar que aumente la temperatura de salida de la corriente y se produzca la cristalización del producto en la unidad.

En la tabla presentada a continuación se reflejan los datos correspondientes al balance de energía de la unidad:

Tabla 21. Cierre de balance de energía T-301

| Corriente | Flujo energético (kW) |
|--------------------------------|------------------------------|
| 13 (+) | 319,66 |
| 15 (+) | -116,03 |
| 16 (-) | -1610,78 |
| 17 (-) | 118,33 |
| Calor generado (+) | 1964,85 |
| Calor intercambiado (-) | 3660,93 |
| TOTAL | 0 |
| Error absoluto | 0 |
| Error relativo (%) | 0 |

Para el cálculo de la entalpía de reacción y de las entalpías del ácido sulfúrico y del sulfato de amonio se considera estado líquido a 25°C. Dado que todos los términos se refieren al estado líquido, el resultado es el mismo.

Como ocurre con los intercambiadores de calor, dado que el calor intercambiado se obtiene a partir del balance de energía, el cierre del balance proporciona un valor resultante nulo.

12. INTERCAMBIADOR E-302

En el intercambiador E-302 tiene lugar el cambio de temperatura necesario para que se produzca la correcta absorción en la columna T-302. Se emplea como fluido refrigerante agua de refrigeración y las corrientes que intervienen en el equipo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 22. Corrientes de E-302

| CORRIENTE | 17 | 18 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | TRAZA | TRAZA |
| Hidrógeno | 3,32 | 3,32 |
| Nitrógeno | 10636,14 | 10636,14 |
| Metano | 198,12 | 198,12 |
| Oxígeno | 27,92 | 27,92 |
| Agua | 1024,00 | 1024,00 |
| Monóxido de carbono | 492,69 | 492,69 |
| Dióxido de carbono | 0,64 | 0,64 |
| Ácido cianhídrico | 1250,00 | 1250,00 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 13632,84 | 13632,84 |
| Presión (bar) | 1,7 | 1,6 |
| Temperatura (°C) | 60 | 25 |
| Entalpía (kJ/kg) | 31,25 | 0,17 |

Los datos correspondientes a la utilidad empleada se presentan a continuación:

Tabla 23. Utilidades de E-302

| Utilidad empleada | rw |
|----------------------------------|-------------|
| Temperatura entrada (°C) | 5 |
| Temperatura salida (°C) | 15 |
| Calor específico (kJ/kgK) | 4,18 |
| Flujo másico (kg/s) | 2,82 |

Teniendo en cuenta lo anterior, el cierre del balance de energía no proporciona ningún error, al igual que en el caso anterior.

13. COLUMNA DE ABSORCIÓN T-302

Se realiza el mismo procedimiento que en la columna T-301 sólo que en este caso no se considera la reacción química ya que el calor de disolución del ácido se considera despreciable frente a la entalpía de las corrientes. La tabla de corrientes se presenta a continuación:

Tabla 24. Corrientes de T-302

| CORRIENTE | 18 | 19 | 20 | 26 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | | | |
| Amoníaco | TRAZA | 0 | TRAZA | 0 |
| Hidrógeno | 3,32 | 3,32 | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 10636,14 | 10636,14 | 0 | 0 |
| Metano | 198,12 | 198,12 | 0 | 0 |
| Oxígeno | 27,92 | 27,92 | 0 | 0 |
| Agua | 1024,00 | 0 | 7769,25 | 6745,24 |
| Monóxido de carbono | 492,69 | 492,69 | 0 | 0 |
| Dióxido de carbono | 0,64 | 0,64 | TRAZA | 0 |
| Ácido cianhídrico | 1250,00 | Trazas | 1250,00 | TRAZA |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 13632,84 | 11358,84 | 9019,25 | 6745,24 |
| Presión (bar) | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,6 |
| Temperatura (°C) | 25 | 35 | 30 | 100 |
| Entalpía (kJ/kg) | 0,17 | 10,80 | -2213,75 | -2129,00 |

La tabla correspondiente al cierre del balance de materia se presenta a continuación.

Tabla 25. Cierre de balance de materia T-302

| Corriente | Flujo másico (kg/h) |
|---------------------------|--|
| 18 (+) | 13632,84 |
| 19 (-) | 11358,84 |
| 20 (-) | 9019,25 |
| 26 (+) | 6745,24 |
| TOTAL | -0,01 |
| Error absoluto | -0,01 |
| Error relativo (%) | $4,91 \cdot 10^{-5}$ |

En la tabla presentada a continuación se reflejan los datos correspondientes al balance de energía de la unidad:

Tabla 26. Cierre de balance de energía T-302

| Corriente | Flujo energético (kW) |
|---------------------------|----------------------------------|
| 18 (+) | 0,17 |
| 19 (-) | 10,80 |
| 20 (-) | -2213,75 |
| 26 (+) | -2129,00 |
| TOTAL | 74,12 |
| Error absoluto | 74,12 |
| Error relativo (%) | 3,48 |

Debido a que las temperaturas de salida de las corrientes se estiman en base a las temperaturas de entrada, se comprueba como en el balance de energía se produce un error de un 3,48%.

14. INTERCAMBIADOR E-303

Este intercambiador aumenta la temperatura de la corriente de salida del absorbedor para incorporarla a la columna de destilación T-303 como líquido saturado disminuyendo el consumo de energía en los intercambiadores de la columna. Las corrientes de entrada y salida del equipo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 27. Corrientes de E-303

| CORRIENTE | 20 | 21 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | TRAZA | TRAZA |
| Hidrógeno | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 0 | 0 |
| Metano | 0 | 0 |
| Oxígeno | 0 | 0 |
| Agua | 7769,25 | 7769,25 |
| Monóxido de carbono | 0 | 0 |
| Dióxido de carbono | TRAZA | TRAZA |
| Ácido cianhídrico | 1250,00 | 1250,00 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 9019,25 | 9019,25 |
| Presión (bar) | 1,5 | 1,3 |
| Temperatura (°C) | 30 | 60 |
| Entalpía (kJ/kg) | -2213,75 | -2094,79 |

Los datos correspondientes a la utilidad empleada se presentan a continuación:

Tabla 28. Utilidades de E-303

| Utilidad empleada | mps |
|-------------------------------------|---------------|
| Temperatura, °C | 200 |
| Presión, bar | 15,5 |
| Entalpía vaporización, kJ/kg | 1938,6 |
| Flujo másico, kg/s | 0,154 |

Debido a que el cálculo del flujo másico de utilidad necesario se realizó a partir de la entalpía de las corrientes, no se puede estimar el error cometido al realizar el balance de energía.

15. COLUMNA DE DESTILACIÓN T-303

Para realizar los cálculos del balance de energía de la columna, se debería disponer de los datos internos de las corrientes estimando así el consumo de los dos intercambiadores por separado (calderín y condensador). Como no se dispone de esta información ya que no se ha diseñado la columna, se realiza una estimación de la energía que se debe suministrar a la columna para su correcto funcionamiento, teniendo en cuenta las corrientes de entrada y salida. La tabla con los datos de estas corrientes se presenta a continuación:

Tabla 29. Corrientes de T-303

| CORRIENTE | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|----------------------------|-----------------|-------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | | | | |
| Amoníaco | TRAZA | 0 | TRAZA | 0 | 0 |
| Hidrógeno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Metano | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oxígeno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Agua | 7769,25 | 0 | 6,28 | 1017,73 | 6745,24 |
| Monóxido de carbono | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dióxido de carbono | TRAZA | TRAZA | 0 | 0 | 0 |
| Ácido cianhídrico | 1250,00 | 0 | 1250,00 | TRAZA | TRAZA |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 9019,25 | 0 | 1256,28 | 1017,73 | 6745,24 |
| Presión (bar) | 1,3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Temperatura (°C) | 60 | 26 | 26 | 100 | 100 |
| Entalpía (kJ/kg) | -2094,79 | 0,00 | -939,90 | -2129,00 | -2129,00 |

Tabla 30. Cierre de balance de materia T-303

| Corriente | Flujo másico (kg/h) |
|---------------------------|----------------------------|
| 21 (+) | 9019,25 |
| 22 (-) | 0 |
| 23 (-) | 1256,28 |
| 24 (-) | 1017,73 |
| 25 (-) | 6745,24 |
| TOTAL | 0 |
| Error absoluto | 0 |
| Error relativo (%) | 0 |

El cierre del balance de materia se presenta en la tabla anterior y los resultados del cierre del balance de energía se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 31. Cierre de balance de energía T-303

| Corriente | Flujo energético (kW) |
|--------------------------------|------------------------------|
| 21 (+) | -5248,17 |
| 22 (-) | 0 |
| 23 (-) | -327,99 |
| 24 (-) | -601,87 |
| 25 (-) | -3989,06 |
| Calor intercambiado (-) | 243,12 |
| TOTAL | 0 |
| Error absoluto | 0 |
| Error relativo (%) | 0 |

Por lo tanto, el calor resultante que debe ser intercambiado es de 243,12 kW, que se corresponde con la diferencia entre el calor cedido por la corriente en el condensador y el aportado por el calderín. Al igual que lo que ocurría en los intercambiadores, el error de balance es nulo ya que el dato de calor intercambiado se calcula a partir de las demás corrientes.

Anexo II. Cálculos justificativos

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. Alcance..... | 4 |
| 2. Intercambiador de calor E-101 | 5 |
| 3. Intercambiador de calor E-102..... | 7 |
| 4. Intercambiador de calor E-103..... | 8 |
| 5. Intercambiador de calor E-104..... | 9 |
| 6. Soplante (K-101)..... | 10 |
| 7. Tanque de mezcla V-101..... | 11 |
| 8. Reactor | 12 |
| 8.1. Sistema reactivo | 12 |
| 8.2. Tipo de reactor | 14 |
| 8.3. Catalizador | 16 |
| 8.4. Cálculos previos a diseño | 17 |
| 8.4.1. Cálculo de velocidades de reacción..... | 17 |
| 8.4.2. Cálculo de entalpías y perfil de temperatura | 22 |
| 8.4.3. Solución del sistema de ecuaciones..... | 24 |
| 8.4.4. Selección de criterio de diseño | 27 |
| 8.4.5. Resultados | 29 |
| 8.5. Diseño del reactor..... | 31 |
| 8.5.1. Diámetro del reactor..... | 31 |
| 8.5.2. Catalizador necesario | 32 |
| 8.5.3. Cálculo de soporte del catalizador..... | 33 |
| 8.5.4. Cálculo de espesor de aislante..... | 34 |
| 8.5.5. Cálculo de la caída de presión | 37 |
| 8.6. Diseño del intercambiador..... | 39 |
| 8.6.1. Especificaciones de diseño..... | 40 |
| 8.6.2. Propiedades físicas de los fluidos..... | 43 |
| 8.6.3. Asumir coeficiente global de transferencia de calor | 44 |

Anexo II. Cálculos justificativos

| | | |
|---------|--|----|
| 8.6.4. | Decidir parámetros del intercambiador | 45 |
| 8.6.5. | Calcular el área de intercambio requerida | 45 |
| 8.6.6. | Tipo de material y dimensiones de los tubos..... | 46 |
| 8.6.7. | Determinar el número de tubos | 46 |
| 8.6.8. | Determinar el diámetro del haz de tubos y de la carcasa..... | 48 |
| 8.6.9. | Estimar coeficiente de transmisión interno (h_i) | 48 |
| 8.6.10. | Estimar coeficiente de transmisión externo (h_0)..... | 49 |
| 8.6.11. | Calcular coeficiente global U_0 | 50 |
| 8.6.12. | Caída de presión en tubos..... | 51 |
| 8.6.13. | Caída de presión en carcasa..... | 52 |
| 8.7. | Diseño mecánico del equipo..... | 53 |
| 8.7.1. | Boquillas..... | 54 |
| 8.7.2. | Cabezal superior | 55 |
| 8.7.3. | Cabezal inferior | 57 |
| 8.7.4. | Cuerpo del reactor | 57 |
| 8.7.5. | Platos superior e inferior de intercambiador | 59 |
| 8.7.6. | Pared exterior del intercambiador | 60 |
| 8.7.7. | Tubos del intercambiador | 60 |
| 8.8. | Dimensionamiento de la válvula de alivio | 62 |
| 9. | Intercambiador de calor E-301 | 64 |
| 10. | Intercambiador de calor E-302 | 65 |
| 11. | Intercambiador de calor E-302 | 66 |

1. ALCANCE

En este anexo se presentan los cálculos realizados para la obtención de los parámetros de diseño de las diferentes unidades del proceso. En concreto se realiza el diseño completo de la unidad de reacción y de la columna de separación del ácido cianhídrico y el agua, utilizada para la purificación del producto. Además, se presentan los cálculos necesarios para el dimensionamiento de las demás unidades. Para los intercambiadores, la explicación detallada del procedimiento se presenta dentro del apartado de los cálculos para el reactor, ya que, al ser la unidad diseñada al completo, se considera que se debe reflejar en ella el procedimiento detallado de diseño.

Todos los cálculos se realizan conforme a los códigos de diseño citados en la memoria:

- Código ASME para el diseño mecánico de los equipos.
- Normas TEMA para el diseño de los intercambiadores de calor.

2. INTERCAMBIADOR DE CALOR E-101

El intercambiador de calor E-101 se emplea para llevar a cabo la evaporación del amoníaco antes de llevar a cabo el cambio de presión de esta corriente. El objetivo del calentamiento es llevar a cabo el cambio de fase antes disminuir la presión para evitar problemas de cavitación en la válvula de expansión.

Se emplea un intercambiador tipo kettle, adecuado para llevar a cabo la evaporación de un fluido. En este intercambiador, el haz de tubos tiene forma de U y por el interior de los tubos circula el líquido calefactor. La carcasa posee un diseño especial para albergar parte de fase líquida además de la fase gas que se está evaporando. En relación al material de construcción, se elige acero inoxidable.

Dado que no es objeto de este proyecto, el área de los intercambiadores que no forman parte del reactor se calcula a partir de coeficientes de transmisión de calor estimados a partir de los fluidos entre los que se produce el intercambio. El área de intercambio se calcula ya que es un parámetro requerido para el cálculo del coste del equipo y por tanto para el cálculo del presupuesto. La figura empleada para realizar la estimación es la siguiente:

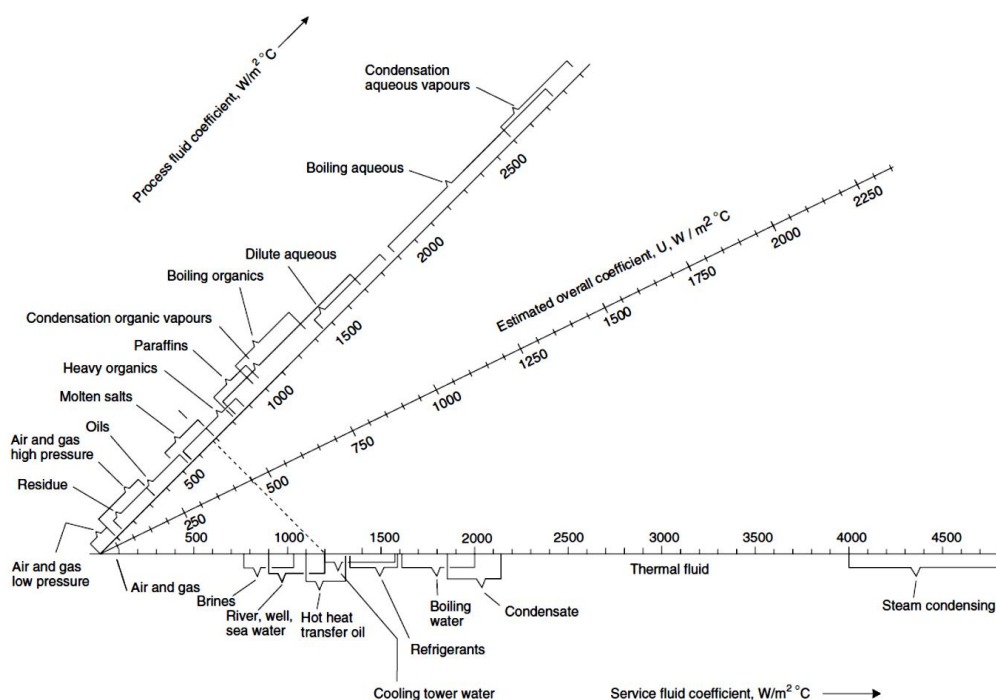


Figura 1. Estimación del coeficiente global de transmisión de calor

Las ecuaciones empleadas para realizar los cálculos de área de intercambio y la cantidad de vapor necesario se presentan en el apartado del reactor. En este caso, se trata de un fluido en ebullición calentado con un vapor condensante, por lo que se lee en la figura 1 el valor

correspondiente al coeficiente global. En este caso se emplea vapor a media presión ya que se dispone de él en la planta, presenta menor diferencia de presión con la corriente que circula por los tubos (menor espesor de tubo requerido y por lo tanto menor resistencia a la transmisión de calor) y permite reducir el área de contacto ya que aumenta la diferencia de temperaturas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la realización de los cálculos.

Tabla 1. Datos y resultados de diseño de E-101

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 1304,33 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 25 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 25 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | -497,83 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 0,12 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 0 (evaporación) |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 200 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 200 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 175 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 497,95 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,257 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 600 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 4,75 |

3. INTERCAMBIADOR DE CALOR E-102

En el intercambiador de calor E-102 se calienta la corriente de amoníaco procedente del intercambiador E-101. Al igual que el anterior, se emplea para evitar problemas de cavitación en la válvula de expansión, ya que si un vapor saturado (salida del intercambiador E-101) entra en una válvula de expansión, se produce condensación de parte de la corriente, lo que ocasiona problemas en la válvula.

Se emplea un intercambiador de carcasa y tubos con cabezal flotante de anillo partido (tipo AES), que utiliza como medio calefactor vapor a alta presión procedente del reactor R-201. La energía aportada a la corriente se corresponde con la liberada por el vapor condensante. El material de construcción utilizado es acero inoxidable.

Se trata por tanto de un intercambiador para calentar un gas a baja presión con vapor condensante. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 2. Datos y resultados de diseño de E-102

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 1304,33 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 25 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 200 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 0,33 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 527,95 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 175 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 250 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 250 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 137,5 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 191,16 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,11 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 13,90 |

4. INTERCAMBIADOR DE CALOR E-103

El intercambiador de calor E-103 se emplea para el precalentamiento de la corriente de metano antes de su entrada en el reactor. La alimentación se incorpora a esta unidad a temperatura ambiente y se debe aumentar la temperatura hasta conseguir 200 °C.

El intercambiador empleado es del tipo carcasa y tubos, con cabezal flotante de anillo partido (tipo AES), que permite la limpieza tanto del haz de tubos como de la carcasa. Como medio calefactor se emplea vapor de alta presión procedente del reactor. Como material de construcción se escoge acero al carbono.

Los datos de dimensionamiento necesarios para el cálculo del presupuesto se presentan a continuación:

Tabla 3. Datos y resultados de diseño de E-103

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 1358,38 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 25 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 200 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 0,31 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 554,75 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 175 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 250 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 250 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 137,5 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 209,20 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,12 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 15,21 |

5. INTERCAMBIADOR DE CALOR E-104

El intercambiador E-104 se emplea para el precalentamiento de la corriente de aire antes de su entrada al reactor. Al igual que el intercambiador E-103, presenta como entrada una corriente gaseosa que se debe calentar hasta 200 °C.

El intercambiador empleado es de carcasa y tubos con cabezal flotante de anillo partido, que emplea como medio calefactor vapor a alta presión condensante. En relación al material de construcción empleado, se escoge acero al carbono.

En la siguiente tabla se presentan los datos correspondientes al dimensionamiento de la unidad:

Tabla 4. Datos y resultados de diseño de E-104

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 13610,08 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 90,3 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 200 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 66,59 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 232,35 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 109,70 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 250 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 250 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 104,85 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 626,66 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,37 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 59,76 |

Una vez se realizase el diseño riguroso de la unidad, en vista del área de intercambio necesaria, se podría plantear el empleo de dos intercambiadores en paralelo con el fin de reducir las dimensiones del equipo.

6. SOPLANTE (K-101)

La soplante es un equipo diseñado para llevar a cabo un cambio de presión moderado en una corriente en fase gaseosa. En este caso se debe introducir aire al proceso a una presión de 2 bar. La decisión de instalación de una soplante en lugar de un compresor es que la relación de compresión es baja y la soplante permite trabajar con mayores caudales de fluido además de tener menores costes de mantenimiento. Para el dimensionamiento de la soplante es necesario conocer las especificaciones de diseño, además de las características del fluido, por lo tanto, se presentan en la siguiente tabla las necesarias:

Tabla 5. Datos de diseño de K-101

| | |
|--|----------|
| Presión admisión, P_a (bar) | 1,0 |
| Presión descarga, P_d (bar) | 2,1 |
| Caudal másico, \dot{m}_{aire} (kg/h) | 13610,08 |
| Densidad admisión, ρ_a (kg/m ³) | 1,18 |
| Temperatura admisión, T_a (°C) | 25 |
| Relación de capacidades caloríficas, γ | 1,394 |

Como presión y temperatura de admisión se consideran las condiciones estándar del aire atmosférico. En primer lugar, se debe calcular la temperatura de descarga. Para ello se tiene en cuenta una compresión adiabática, en la que no se produce intercambio de calor con el medio. Debido a que la compresión se produce de forma casi instantánea, la suposición de ausencia de intercambio de calor se puede considerar adecuada. La temperatura de descarga teórica se calcula según la siguiente expresión:

$$T_d = T_a \left(\frac{P_d}{P_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (1)$$

En la que se introducen temperaturas absolutas (en K). La temperatura de descarga teórica es de $T_d = 89,5$ °C. Una vez calculada la temperatura de descarga se debe calcular el trabajo que la soplante debe aportar al fluido. Este trabajo es teórico ya que no tiene en cuenta el rendimiento ni del mecanismo de la soplante ni del motor con el que se hace funcionar. Para su cálculo se emplea la siguiente expresión:

$$W_{\text{teo}} = \frac{\gamma}{1-\gamma} \frac{RT_a}{PM} \left(\left(\frac{P_d}{P_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \quad (2)$$

Una vez obtenido el trabajo teórico, se puede obtener la potencia teórica requerida por la soplante para la impulsión del fluido mediante la siguiente expresión:

$$P_{\text{teo}} = W_{\text{teo}} \dot{m}_{\text{aire}} \quad (3)$$

En donde \dot{m}_{aire} es el flujo másico de aire que se requiere impulsar. Los valores obtenidos mediante la aplicación de las expresiones anteriores se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados de diseño de K-101

| | |
|--|--------|
| Temperatura descarga, T_d (°C) | 90,3 |
| Trabajo teórico, W_{teo} (kJ/kg) | 18,45 |
| Potencia teórica, P_{teo} (kW) | 251,18 |
| Cambio presión requerido, ΔP (bar) | 1,1 |

7. TANQUE DE MEZCLA V-101

Este tanque se emplea para mezclar las tres alimentaciones procedentes de las diferentes corrientes de entrada de los reactivos. Para realizar la mezcla se emplea un tanque sin agitación ya que, al tratarse de gases, se emplea la turbulencia como medio de mezcla. Suponiendo un tiempo de residencia de 15 segundos para la realización del dimensionamiento previo, se obtienen los siguientes resultados:

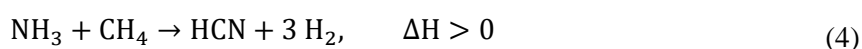
Tabla 7. Datos y resultados de diseño de V-101

| | |
|--|--------|
| Flujo molar de entrada (kmol/h) | 624,16 |
| Tiempo de residencia, t_r (s) | 15 |
| Volumen necesario, V_t (m ³) | 51,15 |

8. REACTOR

8.1. Sistema reactivo

El sistema reactivo utilizado para la producción de ácido cianhídrico mediante el proceso Andrussow comprende un total de 13 reacciones que ocurren en fase gas catalizadas por una malla de platino. Se trata de reacciones unimoleculares y bimoleculares de superficie que se ajustan a modelos cinéticos de superficie. Tanto el sistema reactivo como el reactor empleados son similares a los utilizados en la producción de ácido nítrico a partir de amoníaco mediante el proceso Ostwald. La reacción principal de producción de ácido cianhídrico es la siguiente:



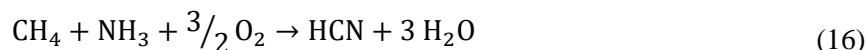
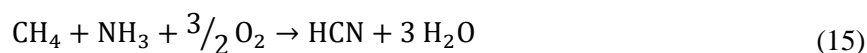
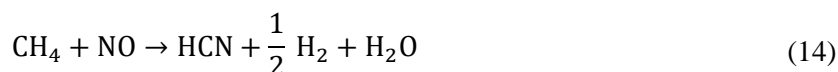
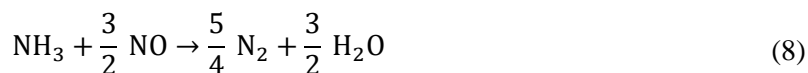
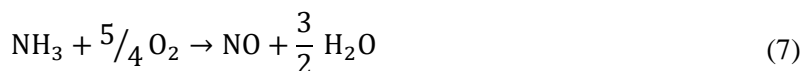
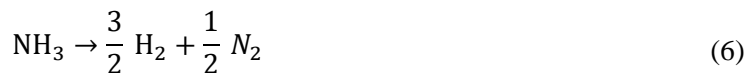
Se trata de una reacción endotérmica, por lo tanto, requiere aporte energético para que tenga lugar a una velocidad a la cual la producción sea rentable y no requiera un gran tiempo de residencia. La forma en la que se aporta energía a la reacción permite diferenciar entre los distintos procesos anteriormente descritos en el apartado de selección de alternativas. Según se produzca el aporte energético se pueden diferenciar las siguientes opciones:

- Energía suministrada por un horno: se llevaría a cabo dentro de un horno en un reactor multitubular, en el cual la parte interior de los tubos se recubriría del catalizador necesario. Esta es la base de diseño para el proceso Degussa.
- Energía eléctrica: en un reactor de lecho fluidizado se colocan partículas de carbón que al paso de una corriente eléctrica liberen energía al medio reactivo. El proceso Shawinigan utiliza esta tecnología para el aporte energético.
- Reacción de combustión en el seno del medio reactivo: aprovechando que uno de los productos es combustible (hidrógeno) se suministra un comburente al medio reactivo para ocasionar una combustión. Para ello la alimentación se realiza acompañada de aire, que aporta oxígeno al medio. De esta manera el aporte energético necesario para que transcurra la reacción procede de la energía liberada por la reacción de combustión, exotérmica. El proceso Andrussow utiliza este tipo de sistema reactivo para la producción de ácido cianhídrico.

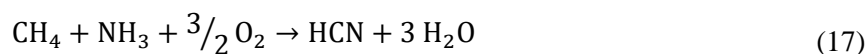
Por lo tanto, en el proceso desarrollado en este proyecto se dispone de una reacción principal de producción del ácido cianhídrico y una reacción encargada de aportar la energía necesaria, fruto de la combustión del hidrógeno. Esta reacción sigue la siguiente estequiométrica:



El resto de reacciones que tienen lugar se presentan a continuación, que junto con las dos anteriores, conforman el sistema reactivo del proceso:



Realizando la simplificación de las dos reacciones principales de la forma (1) + 3 (2) se obtiene la expresión estequiométrica general del proceso, que tiene la siguiente estequiometría:



Las reacciones secundarias que tienen lugar mayoritariamente son la descomposición del amoníaco en sus elementos constituyentes y la combustión parcial del metano, que da lugar a monóxido de carbono. Las condiciones de este sistema reactivo implican una relación óptima de entrada de reactivos de 1:1:(1,1 – 1,3) de $\text{CH}_4:\text{NH}_3:\text{O}_2$. La alimentación debe entrar precalentada a una temperatura entre 100 – 200 °C, con lo que se alcanza una temperatura en el reactor dentro del rango de los 1100 – 1500 °C. El rendimiento de la reacción en estas condiciones alcanza valores del 60 – 70 % en base al amoníaco convertido. Se produce como subproductos principalmente N_2 , H_2O y CO , junto con trazas de NO y CO_2 .

El ácido cianhídrico producido es inestable en medio ligeramente ácido y básico ($\text{pH} = 5 - 11$), con una cantidad de agua mayor del 1% y a altas temperaturas, superiores a los 400 °C, puede polimerizar. Por lo tanto, la salida del reactor se debe someter a un enfriamiento rápido para minimizar la formación del polímero, que, si bien no es tóxico, puede contener HCN ocluido que se libere tras su manipulación. Además, la reacción de polimerización es exotérmica, por lo que constituye un problema de integridad de la planta que debe ser evitado. El polímero formado es una mezcla de diferentes compuestos de proporción variable que recibe el nombre de ácido azúlmico.

8.2. Tipo de reactor

El tipo de reactor en el que se lleva a cabo la reacción es un reactor adiabático de lecho fijo. El catalizador compuesto de un 90% de platino y un 10% de rodio se incorpora en forma de malla. Esta malla se sustenta sobre un relleno de bolas cerámicas con una distribución de tamaños determinada. Todo ello se soporta sobre un plato de soporte empleado en reactores de lecho fijo.

En relación a la geometría del reactor, se trata de un recipiente vertical en el cual la entrada de la alimentación tiene lugar por la parte superior. El cabezal de entrada presenta una forma troncocónica. El cuerpo del recipiente es cilíndrico, recubierto en la pared interior por un material cerámico (refractario) que protege al material de construcción de las altas temperaturas alcanzadas en la malla y permite llevar a cabo la reacción adiabáticamente.

En el interior del reactor se localiza en la entrada de alimentación un difusor que reparte el flujo de entrada a lo largo de toda la sección ocupada por el catalizador y minimiza la formación de caminos preferentes que disminuyan la superficie activa de la malla. El catalizador se soporta sobre un lecho de bolas cerámicas que minimizan el que minimizan el transporte de calor por conducción hacia las paredes del recipiente y el soporte del lecho. Este soporte se emplea en reactores de lecho fijo y permite al relleno permanecer en su posición. Esta placa separa la zona de reacción del intercambiador posterior.

El siguiente elemento del reactor es el intercambiador de calor. Se trata de un intercambiador de carcasa y tubos en el que se hace circular agua de calderas por la parte exterior de los tubos que genera vapor a alta presión tras el intercambio de energía con la corriente de salida del reactor (que circula por los tubos).

Se trata de un intercambiador de un único paso tanto por carcasa como por tubos, por lo que la alimentación entra por la parte superior y sale del intercambiador por la parte inferior. El cabezal inferior presenta geometría plana y en él se localiza la conexión de salida de la corriente

de productos. En las figuras presentadas a continuación se puede observar un esquema del reactor y un corte de la zona de reacción junto con el inicio del intercambiador.

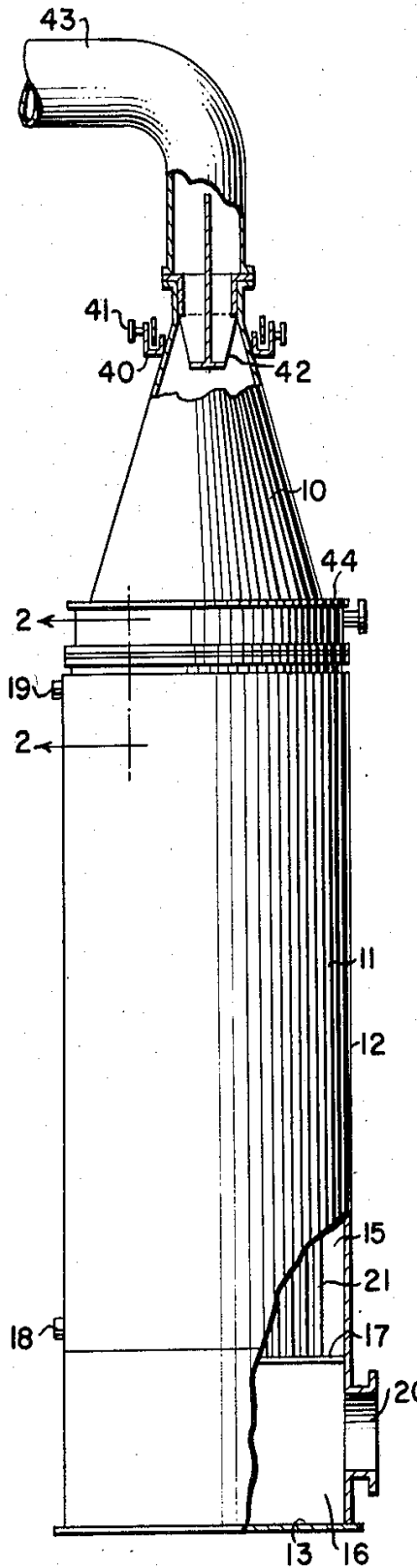


Figura 3. Esquema del reactor

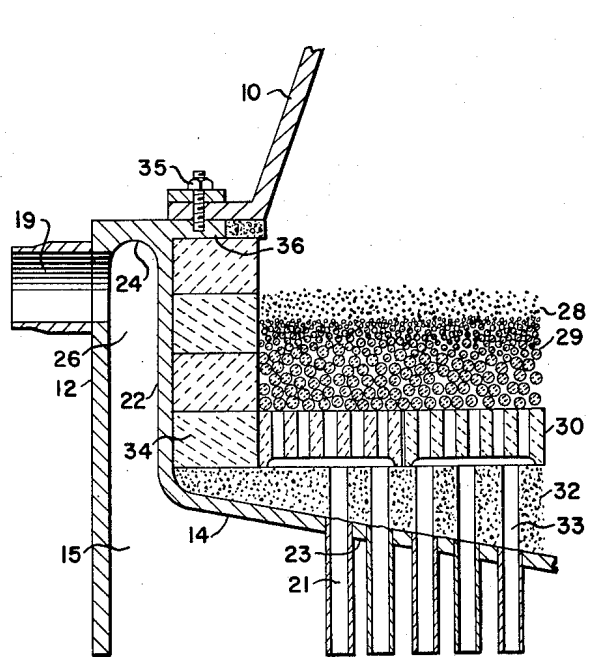


Figura 2. Sección de la zona de reacción del equipo

En las figuras presentadas en esta página se puede ver un esquema del reactor indicando las diferentes partes y una sección, indicada en la figura entera por la línea 2 – 2. El significado de los números se presenta a continuación:

- 10. Cabezal cónico
- 11. Intercambiador de calor
- 12. Carcasa de intercambiador
- 13. Cabezal inferior plano
- 14. Cabezal superior plano
- 15. Espacio de carcasa
- 16. Salida de tubos
- 17. Placa de soporte de tubos
- 18. Entrada de agua de refrigeración
- 19. Salida de vapor
- 20. Salida de alimentación
- 21. Tubos del intercambiador
- 22. Pared del reactor
- 23. Haz de tubos

- | | |
|--|---|
| 24. Anillo flotante | 35. Unión roscada |
| 26. Conducto salida vapor | 36. Sujeción en intercambiador |
| 28. Catalizador (malla) | 40. Distribuidor de agua de refrigeración |
| 29. Soporte de bolas de diferentes tamaños | 41. Entrada de agua de refrigeración |
| 32. Plato refractario | 42. Bafle para mezcla de alimentación |
| 33. Huecos de plato | 43. Conducto de entrada al reactor |
| 34. Ladrillo refractario | 44. Recogida de agua de refrigeración |

8.3. Catalizador

Para llevar a cabo la reacción se emplea un catalizador con un 90% de platino y un 10% de rodio. Se trata de un catalizador desarrollado por Johnson Matthey, apropiado para su utilización en plantas que trabajan a baja presión, seleccionado a partir de las características que debe cumplir presentadas en la bibliografía consultada. El modelo de catalizador empleado recibe el nombre de Pro-LoK, y se trata de una malla de 80 Mesh con un diámetro de hilo de 0,003 in (76 μm). Las propiedades del catalizador se presentan en la tabla que aparece a continuación.

Tabla 8. Características del catalizador de R-201

| | |
|---|-----------------|
| Fabricante | Johnson Matthey |
| Modelo | Pro-LoK |
| Diámetro de hilo, d_g (μm) | 76 |
| Mesh, N (in^{-1}) | 80 |
| Composición (%) | |
| Platino | 90 |
| Rodio | 10 |
| Densidad, ρ_g (kg/m^3) | 17000 |

Las tolerancias de construcción de la malla, seleccionadas de la hoja de especificaciones proporcionada por el fabricante de este catalizador, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Tolerancias del catalizador de R-201

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Densidad superficial | $\pm 5\%$ |
| Diámetro de hilo | $\pm 3 \mu\text{m}$ |
| Diámetro máximo de hilo | 76 μm |
| Diámetro de malla | $\pm 5 \text{ mm}$ |
| Contenido en PGM | 99,95% min |
| Contenido en Rh | $\pm 0,3\%$ |
| Contenido en Pt | $\pm 0,5\%$ |
| Impurezas (máximo en ppm) | |
| Hierro | 150 |
| Oro | 100 |
| Cobre | 100 |
| Plata | 100 |

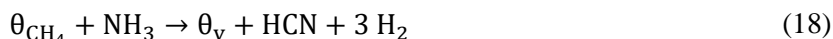
8.4. Cálculos previos a diseño

8.4.1. Cálculo de velocidades de reacción

Las expresiones cinéticas de las reacciones siguen expresiones cinéticas que se ajustan al modelo de Langmuir-Hinshelwood. Se trata de una cinética de superficie en la que los reactivos y productos pueden adsorberse en la superficie del catalizador, reaccionando adsorbidos o directamente de la fase gas. Por otra parte, los productos se pueden formar a su vez sobre la superficie del catalizador o liberarse directamente al medio.

La velocidad de reacción va a depender de la velocidad de absorción, de la velocidad de reacción superficial o de la velocidad de desorción de los productos. Como se trata de etapas en serie, la velocidad total se corresponde con la velocidad de la etapa más lenta (limitante). Para todas las reacciones que tienen lugar en el proceso, la etapa limitante es la reacción química. Se desarrolla a modo de ejemplo la cinética de la reacción principal, y el desarrollo del resto de reacciones es análogo.

Para una cinética de Langmuir-Hinshelwood en la que la etapa limitante es la reacción superficial, la velocidad depende de los centros activos ocupados por cada uno de los reactivos (θ_i) en el caso de que reaccionen adsorbidos o de la presión parcial en caso de que reaccionen en fase gas. Para la reacción principal, se produce una reacción entre el metano adsorbido y el amoníaco en fase gas, en base a la siguiente expresión estequiométrica.

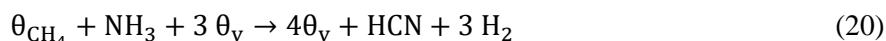


En esta expresión, el θ_v simboliza un centro activo vacante del catalizador. Según esto, la velocidad de reacción es proporcional a la presión parcial de amoníaco y al número de centros activos ocupados por el metano. La expresión de velocidad según esto quedaría de la siguiente manera:

$$r''_{\text{HCN}} = k_{\text{HCN}} \theta_{\text{CH}_4} P_{\text{NH}_3} \quad (19)$$

Esta expresión se cumple para presiones parciales de metano bajas. A presiones altas, estudios cinéticos apuntan que la velocidad de reacción se ve reducida, lo que implica que existe una inhibición debida al metano. Este compuesto es un reactivo cuando se encuentra adsorbido en el catalizador en forma de monocapa. Al formar multicapa actúa como inhibidor creando una superficie no reactiva sobre el catalizador. Esto puede estar causado por requerimientos estéricos o alteraciones electrónicas en la estructura superficial.

Por lo tanto, la velocidad de reacción depende del metano adsorbido, de la presión parcial de amoníaco en la mezcla gaseosa, así como de los centros activos no ocupados por el metano. En concreto, para el platino, se necesitan tres centros activos libres, por lo que la ecuación de reacción responde a la siguiente expresión.



Análogamente a lo realizado para la expresión estequiométrica anterior, la velocidad de reacción de este mecanismo es la presentada a continuación.

$$r''_{\text{HCN}} = k_{\text{HCN}} \theta_{\text{CH}_4} (1 - \theta_{\text{CH}_4})^4 P_{\text{NH}_3} \quad (21)$$

Para la deducción de la expresión de los centros activos ocupados por el metano, se deben plantear los equilibrios de adsorción de las diferentes especies adsorbidas sobre la superficie del catalizador, que son las siguientes considerando la adsorción de metano y amoníaco y que los productos no se adsorben.



Teniendo en cuenta que el metano se adsorbe sobre un centro activo y el amoníaco se adsorbe con disociación, sobre dos centros activos, se plantean las expresiones de equilibrio para estas dos reacciones (se supone un estado de equilibrio debido a que la etapa limitante para el proceso es la reacción superficial).

Anexo II. Cálculos justificativos

$$k_{a,CH_4} P_{CH_4} \theta_v = k_{d,CH_4} \theta_{CH_4} \quad (24)$$

$$k_{a,NH_3} P_{NH_3} \theta_v^2 = k_{d,NH_3} \theta_{NH_3}^2 \quad (25)$$

Siendo $k_{a,i}$ las constantes de adsorción y $k_{d,i}$ las constantes de desorción, y considerando $K_i = k_{a,i}/k_{d,i}$ además de $\theta_v = 1 - \sum_i^n \theta_i$, se llega a la siguiente expresión para los centros activos ocupados por cada compuesto.

$$\theta_{CH_4} = \frac{K_{CH_4} P_{CH_4}}{1 + K_{CH_4} P_{CH_4} + K_{NH_3}^{0,5} P_{NH_3}^{0,5}} \quad (26)$$

$$\theta_{NH_3} = \frac{K_{NH_3}^{0,5} P_{NH_3}^{0,5}}{1 + K_{CH_4} P_{CH_4} + K_{NH_3}^{0,5} P_{NH_3}^{0,5}} \quad (27)$$

Una vez obtenidas las expresiones de los centros activos ocupados por cada uno de los reactivos y despreciando el término de la unidad en el denominador bajo la siguiente consideración $K_{CH_4} P_{CH_4} + K_{NH_3}^{0,5} P_{NH_3}^{0,5} \gg 1$ porque hay muchos menos centros activos vacantes que ocupados, se llega a las siguientes expresiones.

$$\theta_{CH_4} = \frac{K_{CH_4} P_{CH_4} / P_{NH_3}^{0,5}}{1 + K_{CH_4} P_{CH_4} / P_{NH_3}^{0,5}} \quad (28)$$

$$\theta_{NH_3} = 1 - \theta_{CH_4} = \frac{1}{1 + K_{CH_4} P_{CH_4} / P_{NH_3}^{0,5}} \quad (29)$$

Sustituyendo en la expresión de velocidad simplificada, se llega a la expresión de velocidad de la reacción requerida para el diseño del reactor.

$$r_{HCN} = k_{HCN} \frac{K_{NH_3}^{0,5} P_{NH_3}^{0,5}}{\left(1 + K_{CH_4} P_{CH_4} / P_{NH_3}^{0,5}\right)^4} \quad (30)$$

Teniendo en cuenta que la dependencia tanto de las constantes de adsorción como de la constante cinética presentan una dependencia de la temperatura modelizada por Arrhenius, se llega a la expresión final de velocidad. En el caso del factor exponencial en la ecuación, con respecto a la constante cinética es negativo porque la velocidad aumenta con la temperatura, pero en el caso de los coeficientes de adsorción/desorción es positiva porque el equilibrio se desplaza hacia la desorción a altas temperaturas.

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (31)$$

Las expresiones de velocidad r''_j para cada reacción en unidades de moléculas/dm²s se presentan a continuación, teniendo en cuenta que las presiones parciales de los componentes P_i están expresadas en torr y la temperatura T en K. Los subíndices se corresponden con el número de reacción asociado al inicio de este documento a cada expresión estequiométrica.

$$r''_1 = \frac{7,8 \cdot 10^{18} \exp\left(-\frac{1950}{T}\right) P_{\text{CH}_4} P_{\text{NH}_3}^{0,5}}{\left(1 + 0,044 \exp\left(\frac{2390}{T}\right) \frac{P_{\text{CH}_4}}{P_{\text{NH}_3}^{0,5}}\right)^4} \quad (32)$$

$$r''_2 = 1,5 \cdot 10^{19} P_{\text{O}_2} P_{\text{H}_2} \quad (33)$$

$$r''_3 = \begin{cases} \frac{4,9 \cdot 10^{18} \exp\left(-\frac{2130}{T}\right) P_{\text{NH}_3}}{\left(1 + 0,044 \exp\left(\frac{2390}{T}\right) \frac{P_{\text{CH}_4}}{P_{\text{NH}_3}^{0,5}}\right)^3}, & \text{si } P_{\text{CH}_4} > 0 \\ \frac{4,9 \cdot 10^{18} \exp\left(-\frac{2130}{T}\right) P_{\text{NH}_3}}{1 + 4,35 \cdot 10^{-5} \exp\left(\frac{8400}{T}\right) P_{\text{NH}_3} + 9,85 \cdot 10^{-6} \exp\left(\frac{13850}{T}\right) P_{\text{H}_2}^{1,5}}, & \text{si } P_{\text{CH}_4} = 0 \end{cases} \quad (34)$$

$$r''_4 = \frac{2,1 \cdot 10^{16} \exp\left(\frac{10850}{T}\right) P_{\text{NH}_3} P_{\text{O}_2}^{0,5}}{1 + 4 \cdot 10^{-5} \exp\left(\frac{12750}{T}\right) P_{\text{NH}_3}} \quad (35)$$

$$r''_5 = \frac{1,48 \cdot 10^{17} \exp\left(\frac{3875}{T}\right) P_{\text{NO}} P_{\text{NH}_3}^{0,5}}{\left(1 + 5 \cdot 10^{-5} \exp\left(\frac{7950}{T}\right) P_{\text{NO}} + 0,0145 \exp\left(\frac{2880}{T}\right) P_{\text{NH}_3}^{0,5}\right)^2} \quad (36)$$

$$r''_6 = \frac{4 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{5000}{T}\right) P_{\text{CH}_4} P_{\text{O}_2}^{0,5}}{1 + 5 \cdot 10^{-10} \exp\left(\frac{15000}{T}\right) P_{\text{CH}_4}} \quad (37)$$

$$r''_7 = \frac{3,5 \cdot 10^{18} \exp\left(\frac{7300}{T}\right) P_{\text{H}_2} P_{\text{NO}}}{\left(1 + 2,7 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{9750}{T}\right) P_{\text{NO}} + 15 \exp\left(\frac{1100}{T}\right) P_{\text{H}_2}^{0,7}\right)^2} \quad (38)$$

$$r''_8 = \frac{5,53 \cdot 10^{16} \exp\left(-\frac{2625}{T}\right) P_{\text{NO}}}{1 + 6,95 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{4125}{T}\right) P_{\text{NO}} + 1,56 \exp\left(\frac{4775}{T}\right) P_{\text{O}_2}} \quad (39)$$

$$r''_9 = \frac{3,5 \cdot 10^{17} \exp\left(\frac{2900}{T}\right) P_{\text{NO}}}{1 + 4 \cdot 10^{-9} \exp\left(\frac{15000}{T}\right) P_{\text{CO}}} \quad (40)$$

$$r''_{10} = \frac{2,5 \cdot 10^{15} \exp\left(\frac{16000}{T}\right) P_{\text{CO}} P_{\text{O}_2}}{\left(3 \cdot 10^{-7} \exp\left(\frac{15000}{T}\right) P_{\text{CO}} + 300 \exp\left(\frac{6000}{T}\right) P_{\text{O}_2}\right)^2} \quad (41)$$

$$r''_{11} = \frac{1,8 \cdot 10^{20} \exp\left(\frac{5000}{T}\right) P_{\text{CH}_4} P_{\text{NO}}}{1 + 5 \cdot 10^{-10} \exp\left(\frac{15000}{T}\right) P_{\text{CH}_4}} \quad (42)$$

$$r''_{12} = \frac{3,65 \cdot 10^{17} \exp\left(-\frac{1595}{T}\right) P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2\text{O}}^{0,5}}{\left(1 + 0,048 \exp\left(\frac{3037}{T}\right) P_{\text{CO}}\right)^2} \quad (43)$$

$$r''_{13} = \frac{1,25 \cdot 10^{15} \exp\left(\frac{5000}{T}\right) P_{\text{CH}_4} P_{\text{NO}} + 3 \cdot 10^{20} \exp\left(-\frac{750}{T}\right) P_{\text{NO}} P_{\text{CH}_4}^{0,5}}{1 + 1 \cdot 10^{-11} \exp\left(\frac{20000}{T}\right) P_{\text{CH}_4}} \quad (44)$$

A partir de las expresiones de velocidad de cada una de las reacciones se pueden calcular las expresiones de velocidad de formación/desaparición para cada uno de los reactivos y productos, a partir de las velocidades de reacción y los coeficientes estequiométricos. Así, la velocidad de desaparición/formación de los compuestos presenta la siguiente forma.

$$r''_i = \sum_{j=1}^m \nu_{ij} r''_j \quad (45)$$

En la expresión anterior, m representa el número de reacciones y el ν_{ij} representa el coeficiente estequiométrico del compuesto i en la reacción j . Teniendo en cuenta las expresiones de velocidad anteriores basadas en la superficie del catalizador, se puede calcular la variación del flujo molar con respecto a la superficie, transformando las expresiones anteriores en las unidades correspondientes de mol/dm²s con el número de Avogadro N_0 .

$$\frac{dF_i}{dS} = \frac{r''_i}{N_0} \quad (46)$$

Sin embargo, las expresiones de velocidad dependen de la temperatura y de las presiones. A la hora de resolver el sistema de ecuaciones, se requiere una expresión que relacione la presión con el flujo molar en cada momento. La relación existente entre la presión parcial y el flujo molar de cada componente es la siguiente.

$$P_i = \frac{F_i}{F_T} P_T, \quad \text{siendo } F_T = \sum_{i=1}^n F_i \quad (47)$$

En la expresión anterior, el subíndice i representa el compuesto, y n se corresponde con el número de compuestos existentes. Dado que en el reactor se opera a presión constante, la presión total P_T no varía, por lo que este valor permanece constante y las presiones parciales presentan una relación directa con los flujos molares de cada componente.

8.4.2. Cálculo de entalpías y perfil de temperatura

Las entalpías de reacción estándar se calculan a partir de las entalpías de formación de los reactivos y productos, según la siguiente expresión:

$$\Delta H_R^0 = \sum_i \nu_i \Delta H_f^0 \quad (48)$$

Siendo en la expresión anterior ΔH_R^0 la entalpía de reacción en condiciones normales, ΔH_f^0 las entalpías de formación de los diferentes compuestos que intervienen en la reacción, ν_i los coeficientes estequiométricos de reactivos (signo negativo) y productos (signo positivo).

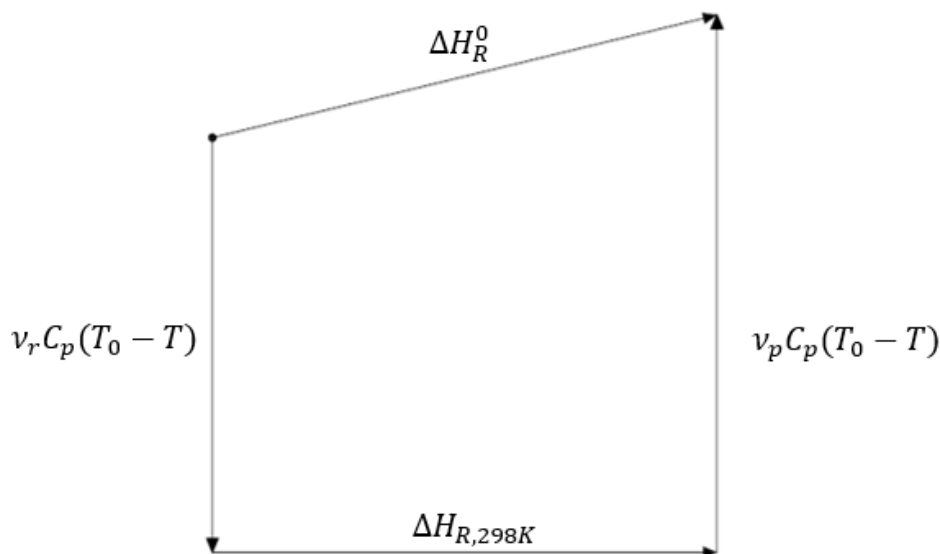


Figura 4. Cálculo de la entalpía de reacción

Anexo II. Cálculos justificativos

No obstante, la entalpía de reacción presenta una variación de su valor con respecto a la temperatura, por lo que se debe obtener una expresión de esta entalpía en función de la temperatura a la que ocurra la reacción. Teniendo en cuenta la primera ley de la termodinámica, y que la entalpía es una función de estado, su valor sólo depende de los puntos inicial y final, y es independiente de la trayectoria. Por lo tanto, la entalpía de reacción se puede calcular a cualquier temperatura teniendo en cuenta el calor intercambiado por los reactivos y productos hasta la temperatura de referencia. En la figura presentada anteriormente (Figura 4) se presenta de forma esquemática el modo de cálculo de la entalpía de reacción a una determinada temperatura.

En la figura 4, los ν_i son los coeficientes estequiométricos de los reactivos (subíndice r) y productos (subíndice p). La energía intercambiada en un cambio de temperatura de un compuesto se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$dQ = C_p dT \quad (49)$$

Teniendo en cuenta que el calor específico varía con la temperatura atendiendo a la expresión (51) se puede calcular realizando la integración entre las dos temperaturas de interés.

$$\frac{C_p}{R} = A + BT + CT^2 + DT^{-2} \quad (50)$$

En donde R es la constante de los gases ideales, A , B , C y D coeficientes específicos de cada compuesto y T la temperatura absoluta. Por tanto, el calor intercambiado se calcula resolviendo la siguiente integral, resultado de incorporar la expresión (49) a la (50).

$$Q = R \int_{T_1}^{T_2} (A + BT + CT^2 + DT^{-2}) dT \quad (51)$$

La entalpía de reacción a una temperatura T se calcula aplicando todo lo comentado anteriormente a partir de esta expresión:

$$\Delta H_{R,T} = \Delta H_R^0 + R \sum_i \nu_i \int_{298\text{ K}}^T (A_i + B_i T + C_i T^2 + D_i T^{-2}) dT \quad (52)$$

Una vez conocidas las entalpías de reacción a cada temperatura, se puede calcular el calor intercambiado por cada reacción, a partir de las velocidades de reacción. La expresión a la que atiende esta liberación de calor para cada una de las reacciones es la siguiente.

$$\frac{dQ_j}{dS} = (\Delta H_{R,j}) r''_j \quad (53)$$

Anexo II. Cálculos justificativos

Teniendo en cuenta todas las reacciones que tienen lugar, la energía liberada por el sistema en función de la superficie de catalizador se calcula de la siguiente forma.

$$\frac{dQ}{dS} = \sum_{j=1}^m (\Delta H_{R,j}) r''_j \quad (54)$$

Por último, para calcular el perfil de temperatura en el reactor se debe tener en cuenta la capacidad calorífica de la mezcla en cada instante. Aplicando las expresiones anteriores, se calcula el calor específico de la corriente para la temperatura T. La capacidad calorífica total se calcula a partir de la siguiente expresión.

$$C = \sum_{i=1}^n F_i C_{p,i} \quad (55)$$

Atendiendo a la expresión de variación de energía con respecto a la superficie de catalizador, se calcula la variación de temperatura respecto a esta superficie de la forma que aparece a continuación.

$$\frac{dT}{dS} = \frac{1}{C} \frac{dQ}{dS} \quad (56)$$

8.4.3. Solución del sistema de ecuaciones

En base a las expresiones presentadas anteriormente, se plantea un sistema de ecuaciones que involucre la variación de moles con respecto a la superficie, la cantidad de energía intercambiada y la temperatura. El sistema a resolver es el siguiente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dF_i}{dS} = \frac{r''_i(P_i, T)}{N_0}, \quad i \in [1, n] \\ P_i = \frac{F_i}{F_T(F_i)} P_T, \quad i \in [1, n] \\ F_T = \sum_{i=1}^n F_i \\ \frac{dQ}{dS} = \sum_{j=1}^m \Delta H_{R,j}(T, F_i) r''_j(T, P_i) \\ \frac{dT}{dS} = \frac{1}{C(T, F_i)} \sum_{j=1}^m \Delta H_{R,j}(T, F_i) r''_j(T, P_i) \end{array} \right. \quad (57)$$

El sistema planteado se trata de un sistema de ecuaciones diferenciales no ordinario que no tiene solución analítica, por lo que la resolución se lleva a cabo de forma numérica. Las

Anexo II. Cálculos justificativos

expresiones de las entalpías de reacción. Se comprueba que es un sistema determinado que presenta un total de 23 incógnitas (10 presiones parciales y 10 flujos de componentes, además del flujo total, el calor generado y la temperatura).

Para la resolución de cada una de las ecuaciones diferenciales es necesario disponer del valor del punto inicial, por lo tanto, se requieren a mayores los flujos de entrada de los compuestos, la temperatura inicial y el calor generado inicial, parámetros para los que se especifica su valor en el apartado resolución. Para la integración numérica se emplea el programa de cálculo Matlab, cuyo código se presenta en el Anexo IV. Códigos empleados, de esta memoria.

La resolución proporciona como resultado una matriz de datos de cada una de las variables con respecto a la superficie de catalizador necesaria. Los resultados se presentan en este anexo de forma gráfica.

En la figura de composición molar a lo largo del reactor no se presenta la composición de nitrógeno, ya que, aunque reacciona, impide la correcta visión de las composiciones de los demás componentes. Además, como se trata de un subproducto del cual la composición es muy elevada, el cambio en el flujo es prácticamente despreciable frente al de los productos principales y subproductos.

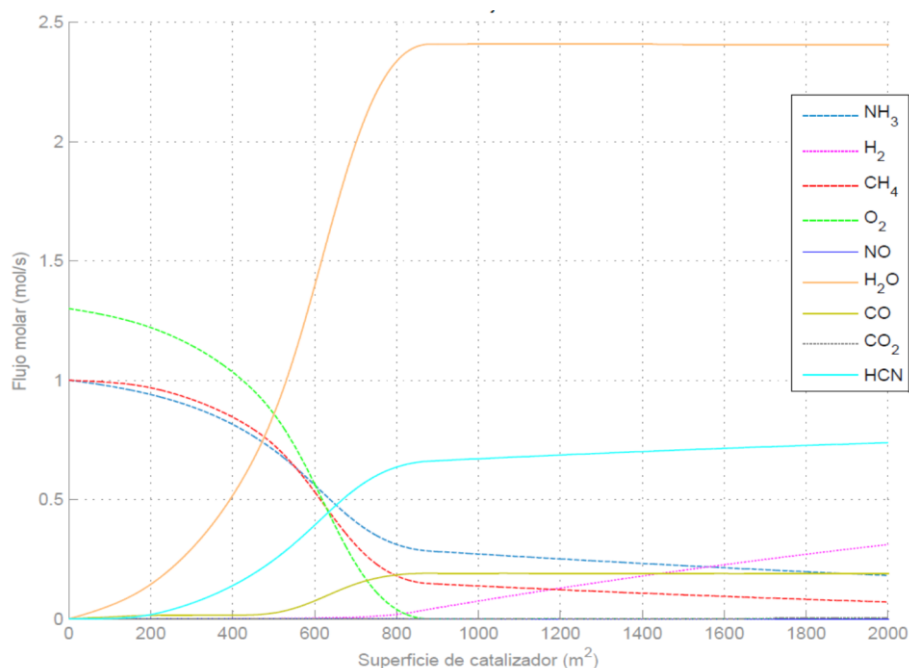


Figura 5. Composición a lo largo del reactor (BC=1 mol/s de amoníaco)

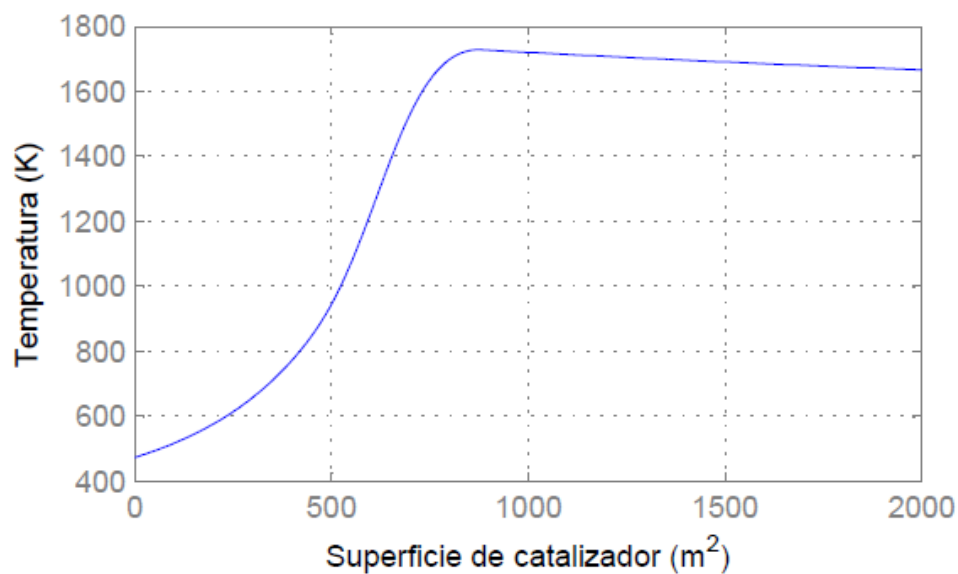


Figura 6. Perfil de temperaturas en el reactor

En la figura del perfil de temperaturas se observa un valor máximo, que se corresponde con el agotamiento del oxígeno en el reactor. Por lo tanto, en primer lugar, predomina la reacción exotérmica hasta que se acaba el oxígeno. A partir de este momento, predomina la reacción endotérmica y es por ello por lo que disminuye la temperatura.

8.4.4. Selección de criterio de diseño

Una vez obtenidos los datos de la composición a lo largo del reactor en función de la superficie de catalizador empleada, se debe seleccionar un criterio para la elección de la superficie óptima. Para ello se realizan estudios sobre la evolución de la fracción molar de HCN sobre el total en el reactor y sobre la selectividad de la reacción principal referida al consumo de amoníaco. Las expresiones utilizadas se presentan a continuación.

$$X_{\text{HCN}} = \frac{F_{\text{HCN}}}{F_{\text{T}}} \quad (58)$$

$$S_{\text{HCN}} = \frac{F_{\text{HCN}}}{\Delta F_{\text{NH}_3}} = \frac{F_{\text{HCN}}}{F_{0,\text{NH}_3} - F_{\text{NH}_3}} \quad (59)$$

Los resultados obtenidos se presentan en las siguientes figuras:

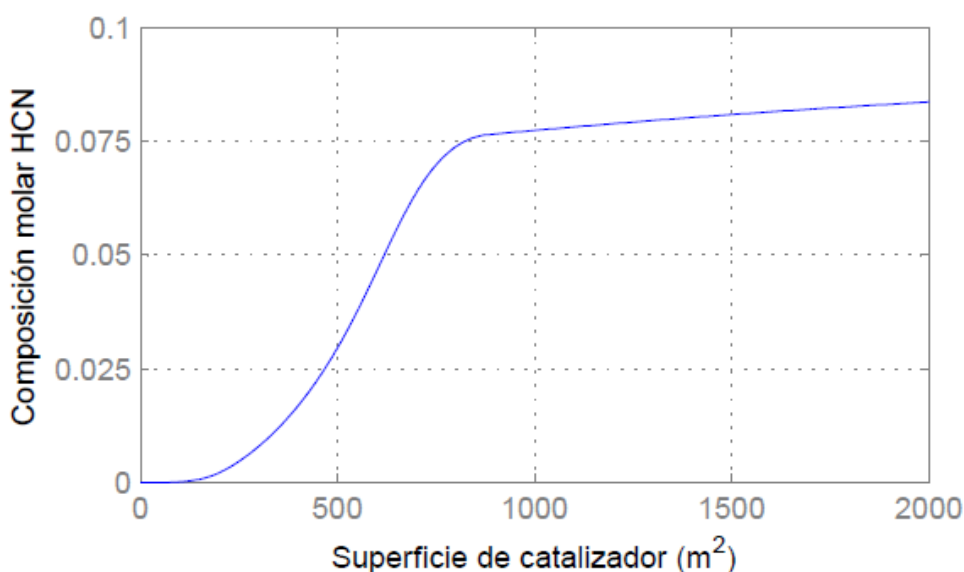


Figura 7. Composición molar de HCN en función del catalizador empleado

En esta figura se observa una tendencia al alza más acusada hasta los 800 m² de catalizador. A partir de ahí, disminuye la tasa de crecimiento de la composición, aunque sigue aumentando. Esta superficie de catalizador se corresponde con la temperatura máxima, y, por lo tanto, con el agotamiento del oxígeno. A partir de ese punto, las reacciones que tienen lugar coinciden con las del proceso BMA comentado en la memoria.

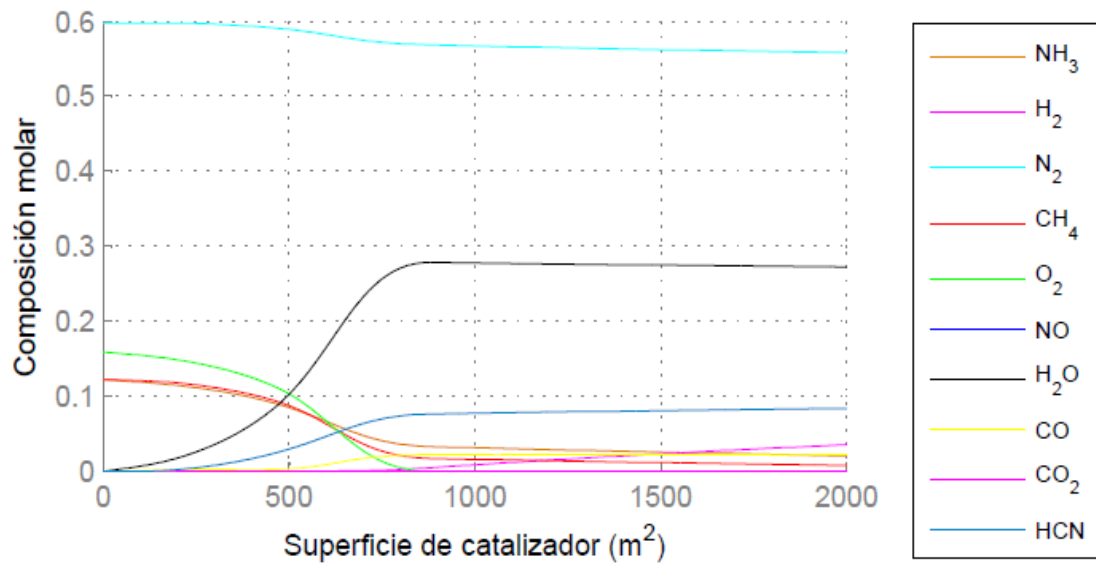


Figura 8. Composición molar a lo largo del reactor

En la figura anterior se observa la composición molar en el reactor en función de la superficie de catalizador empleada. Según lo comentado anteriormente, se puede ver como la composición de nitrógeno es bastante más elevada que cualquiera de las otras y por ello no se representaba en la figura anterior.

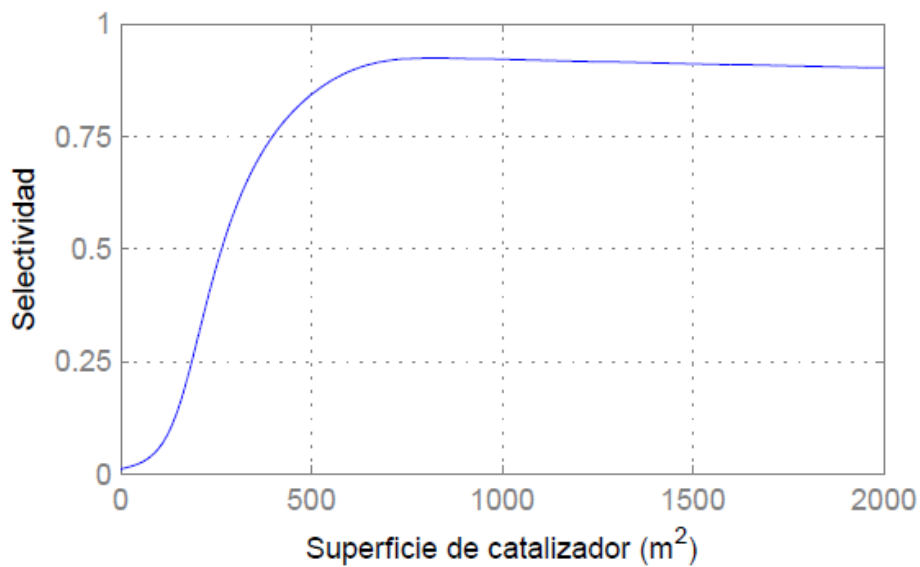


Figura 9. Selectividad a lo largo del reactor

En la figura anterior se representa la selectividad en función de la superficie de catalizador. En este caso, si se observa un punto máximo de selectividad, que coincide con la temperatura máxima y con el cambio de pendiente en la composición de HCN.

En vista de las figuras anteriores, se puede observar un máximo tanto en la selectividad de HCN. Se trata del punto en el que se consigue un mayor aprovechamiento de la superficie y se minimiza la formación de subproductos, por lo que se selecciona este punto para el diseño del reactor.

8.4.5. Resultados

Para la resolución del sistema de ecuaciones se toma como base de cálculo $BC = 1$ mol/s de alimentación de NH_3 , siguiendo las proporciones entre los reactivos a la entrada indicadas por la bibliografía seguida. Estas proporciones se corresponden con una relación 1: 1: 1,3 de $NH_3:CH_4:O_2$. Considerando que el oxígeno procede del aire, y que su composición es de 21% $O_2 - 79\% N_2$, se calcula la entrada total de moles al sistema como:

$$F_{0,NH_3} = 1 \text{ mol/s} \quad (60)$$

$$F_{0,CH_4} = F_{0,NH_3} \quad (61)$$

$$F_{0,O_2} = 1,3 F_{0,NH_3} \quad (62)$$

$$F_{0,N_2} = \frac{0,79}{0,21} F_{0,O_2} \quad (63)$$

Para la temperatura de entrada se considera una alimentación al proceso precalentada (como se indica en la bibliografía) por vapor de alta presión generado en el reactor. Esta corriente se introduce en el reactor a una temperatura de $T_0 = 200^\circ C$.

El último parámetro necesario para la resolución es el calor generado a la entrada al reactor, y se considera el punto de partida por lo tanto $Q_0 = 0$ W. Una vez resuelto el sistema y localizado el punto óptimo siguiendo los criterios anteriormente descritos de selectividad y fracción molar, la superficie necesaria de catalizador es de $1741,3 \text{ cm}^2$.

Los flujos obtenidos para esta superficie, así como la temperatura del reactor alcanzada y el calor generado se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10. Corrientes de la zona de reacción en R-201

| CORRIENTE | Entrada | Salida |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Flujo másico (kg/h) | | |
| Amoníaco | 1297,81 | 436,84 |
| Hidrógeno | 0 | 3,32 |
| Nitrógeno | 10575,89 | 10636,14 |
| Metano | 1222,54 | 198,12 |
| Oxígeno | 3170,03 | 27,92 |
| Agua | 6,52 | 3227,11 |
| Monóxido de carbono | 0 | 492,69 |
| Dióxido de carbono | 0 | 0,64 |
| Ácido cianhídrico | 0 | 1250,00 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 |
| TOTAL | 16272,79 | 16272,79 |
| Temperatura (°C) | 200 | 1440,69 |
| Calor liberado (W) | 8817,38 | |

8.5. Diseño del reactor

8.5.1. Diámetro del reactor

Para calcular el diámetro del reactor se emplea el dato aportado por la bibliografía de que la velocidad de la alimentación a la entrada del catalizador debe localizarse en un intervalo de $v = 1 - 3$ m/s. Se selecciona para el diseño un valor intermedio, por lo que la velocidad de entrada al reactor debe ser de 2 m/s. Se debe conocer el caudal volumétrico de entrada (Q), por lo que es necesario conocer la densidad para calcularlo a partir del caudal molar (F_T). Por tratarse de una corriente en fase gas a presiones bajas (2 bar) se emplea para el cálculo de la densidad molar la ley de los gases ideales (64)

$$\rho_m = \frac{1}{V_m} = \frac{P}{RT} \quad (64)$$

Así, el caudal volumétrico de entrada se calcula a partir de la siguiente expresión.

$$Q = F_T V_m \quad (65)$$

Conociendo la velocidad a la que el gas debe entrar en el catalizador y el caudal volumétrico se calcula la sección necesaria (S_R), y a partir de ahí el diámetro del recipiente (ϕ_R), teniendo en cuenta las siguientes expresiones.

$$S_R = \frac{V_m}{v} \quad (66)$$

$$\phi_R = \sqrt{\frac{S_R}{\pi}} \quad (67)$$

Las condiciones de entrada de la alimentación, junto con sus propiedades, así como los resultados de las diferentes etapas de cálculo y el resultado final se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 11. Condiciones de la corriente de entrada al reactor

| | |
|---|----------------------|
| Flujo molar de entrada, F_T (mol/s) | 173,38 |
| Presión, P (Pa) | $2 \cdot 10^5$ |
| Temperatura, T (K) | 473 |
| Volumen molar, V_m (m ³ /mol) | $1,97 \cdot 10^{-2}$ |
| Caudal volumétrico, Q (m ³ /s) | 3,41 |

Tabla 12. Cálculo de la sección del reactor

| | |
|--|------|
| Velocidad entrada, v (m/s) | 1,5 |
| Sección necesaria, S_R (m ²) | 2,82 |
| Diámetro de salida, \emptyset_R (m) | 1,89 |

Dado que la construcción del reactor requiere el empleo de una lámina plegada por sus dimensiones, no se ajusta a ningún diámetro estándar. Este procedimiento de construcción se tendrá en cuenta para la selección del espesor en el apartado de diseño mecánico.

8.5.2. Catalizador necesario

La cantidad de catalizador necesaria sale de seleccionar la superficie óptima en el apartado anterior. A partir de la superficie se debe calcular el volumen necesario. Para ello se necesita el parámetro superficie/volumen del catalizador (a_g). Para su cálculo se emplean las siguientes expresiones:

$$a_g = \pi L N^2 \quad (68)$$

$$L = \sqrt{\frac{1}{N^2} + d_g^2} \quad (69)$$

En donde a_g es la relación superficie volumen, L un parámetro del catalizador, N el número Mesh, cuyo significado es el número de hilos por pulgada lineal y d_g el diámetro del hilo. Con estas expresiones se calcula el volumen ocupado por el catalizador (V_g), sin embargo, para tener en cuenta los huecos se debe calcular la porosidad (ϵ), que relaciona el volumen de catalizador con el volumen ocupado (V_R). La expresión para su cálculo se presenta a continuación.

$$\epsilon = 1 - \frac{\pi L N^2 d_g}{4} \quad (70)$$

Con este parámetro se puede calcular la altura de catalizador necesaria, teniendo en cuenta la sección calculada en el apartado anterior. Con la altura (z_g), teniendo en cuenta que el grosor de cada capa es el grosor del hilo (d_g), se puede calcular el número de capas (n_g). Además, con el volumen de catalizador se calcula la masa necesaria (m_g) a partir de la densidad. Las expresiones para el cálculo de todos los parámetros se presentan a continuación.

$$V_g = \frac{S}{a_g} \quad (71)$$

$$V_R = \frac{V_g}{\epsilon} \quad (72)$$

$$z_g = \frac{V_R}{S_R} \quad (73)$$

$$n_g = \frac{z_g}{d_g} \quad (74)$$

Aplicando todas las ecuaciones presentadas anteriormente, y utilizando las características del catalizador presentadas en la Tabla 8, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 13. Cálculo de catalizador necesario

| | |
|---|--------|
| Relación superficie/volumen, a_g (cm^{-1}) | 101,76 |
| Porosidad, ϵ | 0,806 |
| Volumen catalizador, V_g (cm^3) | 1741,3 |
| Volumen zona de reacción, V_R (cm_3) | 8982,8 |
| Altura de catalizador, z_g (mm) | 3,43 |
| Número de capas, n_g | 42 |
| Masa de catalizador, m_g (kg) | 29,6 |

Realizando una comparación con datos de bibliografía, se observa que la relación superficie/volumen presenta un valor dentro del rango. La altura de catalizador utilizada industrialmente es de 3 mm, un valor cercano al calculado, y el número de capas necesarias habitual se encuentra dentro del rango 10 – 50 proporcionado por la bibliografía como valor típico.

8.5.3. Cálculo de soporte del catalizador

La malla de catalizador se encuentra a una temperatura elevada, por lo que se debe aislar del soporte de metal para minimizar las pérdidas de calor por conducción. Para ello se emplean bolas de relleno cerámicas de diferentes tamaños. Se selecciona una distribución de tamaños de forma que las de diámetro menor sirvan de soporte a la malla y su diámetro aumente progresivamente hasta llegar a las de mayor tamaño, que se soportarán sobre el plato de metal.

Se selecciona una distribución de tamaños presentada en el libro empleado como bibliografía básica (R. K. Sinnott, 2005) en el que se colocan tres capas de bolas de diferente tamaño. Para calcular el volumen ocupado por cada capa de bolas ($V_{B,k}$) se tiene en cuenta la

sección del reactor y la altura necesaria ($z_{B,k}$), y para el cálculo de la masa ($m_{B,k}$), la densidad aparente media ($\bar{\rho}_{ap,k}$). Las expresiones utilizadas para el cálculo son las siguientes.

$$V_{B,k} = S_R z_{B,k} \quad (75)$$

$$m_{B,k} = V_{B,k} \bar{\rho}_{ap,k} \quad (76)$$

Los datos de cada una de las capas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 14. Cálculo de parámetros del relleno de bolas

| | Capa 1 | Capa 2 | Capa 3 |
|---|--------|--------|--------|
| Altura, z_B (mm) | 50 | 75 | 100 |
| Diámetro de bolas, d_B (in) | ¼ | ½ | 1 |
| Densidad aparente, ρ_{ap} (kg/m ³) | | | |
| Mínima | 1850 | 1850 | 1760 |
| Media | 1950 | 1950 | 1905 |
| Máxima | 2050 | 2050 | 2050 |
| Volumen ocupado, V_B (m ³) | 0,141 | 0,211 | 0,282 |
| Masa, m_B (kg) | 275 | 412 | 537 |

El siguiente paso es la selección del plato de soporte de las bolas. Este tipo de platos se selecciona por catálogo. Se selecciona un tamaño de ranura menor que el tamaño de las bolas para evitar que éstas sobrepasen el plato. Las propiedades de este plato se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 15. Propiedades del plato de soporte

| | |
|-----------------------------|-----------|
| Fabricante | Bilfinger |
| Número de malla | 63 |
| Anchura de las ranuras (cm) | 1,52 |
| Altura de malla (in) | 1 |
| Ángulo de descarga | 13° |

8.5.4. Cálculo de espesor de aislante

Para el cálculo del espesor del aislante se deben tener en cuenta las pérdidas de calor por conducción a través de la pared del reactor. Según la bibliografía consultada, la zona de reacción se aísla de la pared del reactor por medio de ladrillos refractarios. Este aislamiento permite reducir

Anexo II. Cálculos justificativos

la temperatura a la que se ve sometido el material de construcción del reactor además de evitar pérdidas de calor que disminuyan la conversión o la selectividad de la reacción principal. Las consideraciones tenidas en cuenta para la realización del diseño se presentan a continuación:

- La cantidad de calor que resulta permisible perder para que se considere un reactor adiabático no puede superar el 15-20% de la energía generada.
- Se considera como área de intercambio de calor tanto el área de pared con la que está en contacto la malla como el relleno de bolas
- Se sobredimensiona el área de intercambio en un 25%.
- Para el cálculo del espesor de los aislantes tanto interior como exterior, se considera una temperatura máxima de la pared del reactor de 850 °C (temperatura máxima que soporta el material sin deformaciones es 900°C).
- Se supone que la resistencia a la convección en la pared interna es despreciable.
- Se considera un coeficiente de convección externo de $h_e = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

El aislante interior escogido es un ladrillo refractario PECO LW-1600 resistente hasta temperaturas de 1600°C. Para el aislamiento exterior se emplea Perlita Expandida. Las ecuaciones empleadas para el cálculo son las correspondientes a las de transferencia de calor:

$$Q_{\text{perdido}} = \left(\frac{\Delta r}{kA_{\text{mlog}}} + \frac{1}{h_e A_e} \right) \Delta T \quad (77)$$

Para el cálculo de los espesores, se dispone del calor perdido y se calcula el espesor de aislante necesario. Los datos considerados para el dimensionamiento, así como los resultados obtenidos se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 16. Datos de diseño del aislante

| | |
|------------------------------------|--------|
| Altura de relleno (mm) | 25,4 |
| Sobredimensionamiento | 110% |
| Altura aislante (mm) | 27,9 |
| Calor intercambiado permisible (W) | 1763,5 |

Tabla 17. Diseño del aislante interior

| | |
|---|--------------|
| Tipo de aislante | PECO LW-1600 |
| T ^a máxima de servicio (°C) | 1600 |
| Instalación | Hidráulica |
| Densidad (kg/m ³) | 2100 |
| Composición (Al ₂ O ₃ /SiO ₂) | 43/57 |
| Conductividad (W/m ² K) | 0,4 |
| Vida media (meses) | 12 |
| Grosor (m) | 0,3 |
| Área exterior (m ²) | 1,66 |
| Área interior (m ²) | 2,19 |
| Área media logarítmica (m ²) | 1,91 |
| Temperatura pared interna (°C) | 1440,7 |
| Temperatura pared externa (°C) | 850 |
| Calor perdido (W) | 1506,64 |

Tabla 18. Diseño del aislante exterior

| | |
|--|-------------------|
| Tipo de aislante | Perlita Expandida |
| T ^a máxima de servicio (°C) | 1000 |
| Conductividad (W/m ² K) | 0,042 |
| Vida media (meses) | 12 |
| Coefficiente convección externo, h ₀ (W/m ² K) | 30 |
| Grosor (m) | 0,18 |
| Área exterior (m ²) | 2,56 |
| Área interior (m ²) | 2,24 |
| Área media logarítmica (m ²) | 2,37 |
| Temperatura pared interna (°C) | 850 |
| Temperatura pared externa (°C) | 25 |
| Calor perdido (W) | 1506,64 |

8.5.5. Cálculo de la caída de presión

Una vez obtenidas las dimensiones y el tipo de relleno, se proceden a calcular las pérdidas por fricción a través del lecho. Para ello es necesario calcular la viscosidad y densidad del fluido que atraviesa el lecho. El cálculo de la densidad se realiza a través de la expresión (64), y para la viscosidad se emplean las correlaciones presentadas en este apartado. La viscosidad de una mezcla de gases a baja presión (< 10 bar) se puede estimar siguiendo el método de Wilke, presentado a continuación:

$$\mu_m = \sum_{i=1}^n \frac{x_i \mu_i}{\sum_{j=1}^n x_j \Phi_{ij}} \quad (78)$$

En la expresión anterior x_i son las fracciones molares de cada componente, μ_i las viscosidades de cada componente y Φ_{ij} unos parámetros de interacción calculados como:

$$\Phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left(1 + \frac{M_i}{M_j}\right)^{-0,5} \left[1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j}\right)^{0,5} \left(\frac{M_j}{M_i}\right)^{0,25}\right]^2 \quad (79)$$

Los M_i son los pesos moleculares de los compuestos y las viscosidades de cada componente se pueden estimar a partir del método de Stiel y Thodos:

$$\mu = 9,91 \cdot 10^{-8} \frac{NM^{1/2}P^{2/3}}{T_c^{1/6}} \quad (80)$$

En donde N es un parámetro dependiente de la temperatura reducida que se calcula según la siguiente expresión:

$$N = \begin{cases} 3,4T_r^{0,94}, & \text{si } T_r \leq 1,5 \\ 1,788(4,58T_r - 1,67)^{0,625}, & \text{si } T_r > 1,5 \end{cases} \quad (81)$$

Para el cálculo de la caída de presión a través de la malla de catalizador, se emplea la correlación:

$$\frac{\Delta P}{L} = f \frac{2\rho v_g}{D_h} \quad (82)$$

En donde la pérdida de carga por unidad de longitud depende de un factor de fricción f , la densidad y viscosidad del fluido, la velocidad a través de la malla v_g y el diámetro hidráulico D_h . Las expresiones para calcular todos estos parámetros son las siguientes.

$$f = \frac{534}{\text{Re}_{D_h}} + 0,0505 \quad (83)$$

$$\text{Re}_{D_h} = \frac{\rho D_h v_g}{\mu} \quad (84)$$

$$D_h = \frac{4\epsilon}{a_g} \quad (85)$$

$$v_g = \frac{v_0}{\epsilon} \quad (86)$$

Los parámetros del catalizador han sido calculados anteriormente y la velocidad de entrada es un dato de diseño. Se seleccionan las condiciones de presión y de temperatura a la entrada por ser el fluido más denso y menos viscoso, por lo tanto, se estará tomando como criterio para el cálculo la situación más desfavorable.

Para el cálculo de la caída de presión en el relleno de bolas se emplea la ecuación de Ergun, con la que se determina la pérdida de carga que experimenta un fluido al pasar a través de un lecho fijo. La expresión utilizada para su determinación es la siguiente.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\mu(1 - \epsilon)^2 v_0}{\epsilon^3 d_p^2} + \frac{1,75(1 - \epsilon)\rho v_0^2}{\epsilon^3 d_p} \quad (87)$$

Los resultados del cálculo de la caída de presión se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 19. Cálculo de caída de presión en el reactor

| | |
|--|----------------------|
| Reynolds, Re_h | 135475,35 |
| Diámetro hidráulico, D_h (mm) | 0,317 |
| Velocidad a través de malla, v_g (m/s) | 1,86 |
| Viscosidad, μ (kg/ms) | $7,40 \cdot 10^{-5}$ |
| Factor de fricción, f | 0,054 |
| Caída de presión en malla, ΔP (Pa) | 3548,78 |

8.6. Diseño del intercambiador

Para el diseño del intercambiador se utiliza el código de diseño TEMA utilizado para el diseño y construcción de intercambiadores de calor. En este caso el tipo de intercambiador viene impuesto por los requerimientos del proceso, y debe ser de carcasa y tubos. El diseño de este tipo de intercambiadores se realiza en diferentes etapas de diseño en las que se calculan los parámetros necesarios para cuantificar las dimensiones. El esquema seguido se presenta a continuación.

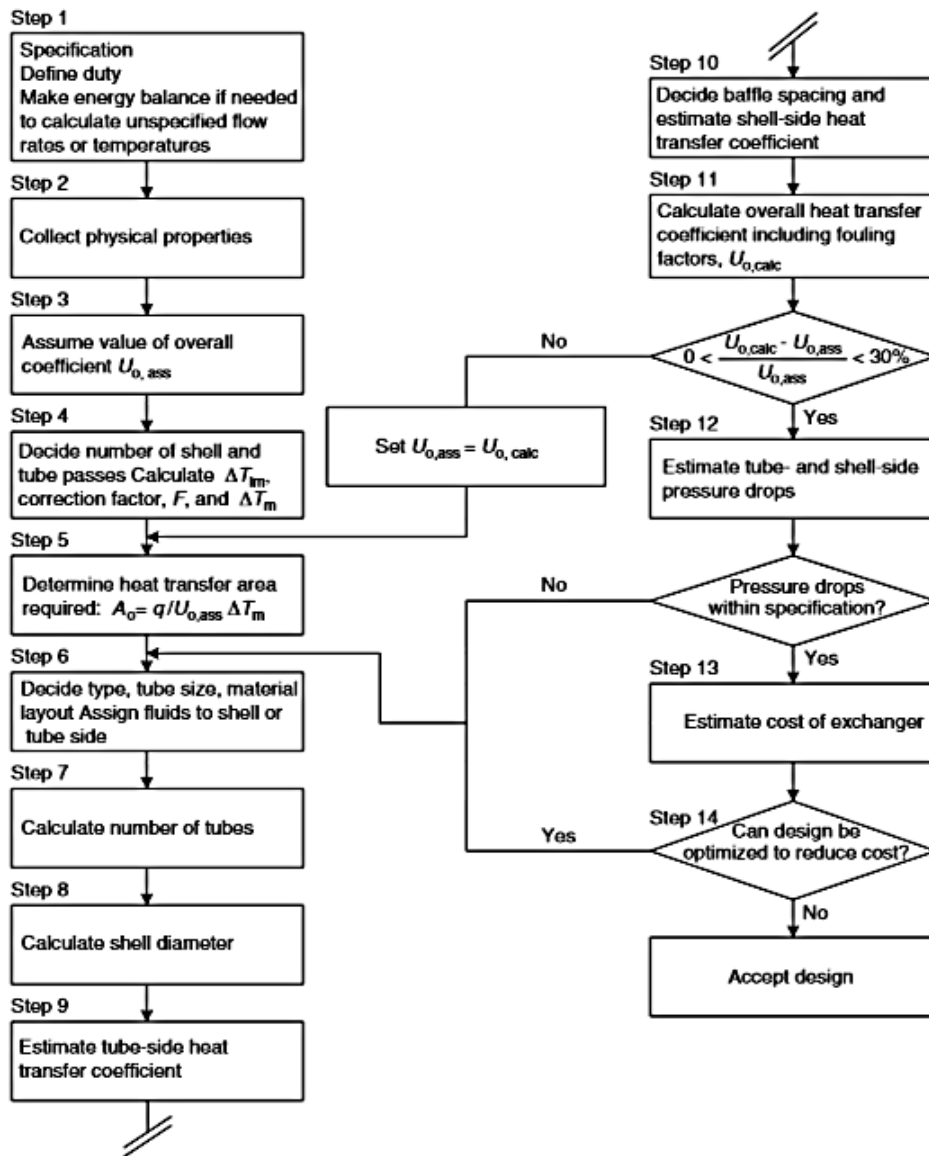


Figura 10. Diagrama de flujo para el diseño de un intercambiador de carcasa y tubos (Sinnott, 2005)

8.6.1. Especificaciones de diseño

Se requiere un intercambiador capaz de reducir la temperatura de la corriente de productos hasta una temperatura de 300 °C con el fin de evitar la polimerización del producto principal. Para ello se decide refrigerar con agua a 250 °C que se evapore y genere vapor a alta presión para su utilización en otras áreas de la planta que requieran aporte energético, como por ejemplo el reboiler de las columnas de destilación.

En primer lugar, se debe calcular el calor que se debe suministrar o retirar de la corriente de proceso, realizar un balance de energía y calcular los flujos desconocidos de las corrientes que intervengan en el intercambiador. Para ello es necesario aplicar las ecuaciones correspondientes del balance de energía. El calor intercambiado es la suma de los calores sensibles y calores latentes de fusión y vaporización para cada una de las corrientes. Dado que no se trabaja con sólidos, para líquidos y gases, la expresión se corresponde con la siguiente:

$$Q = \dot{m} C_{p,l} \Delta T_g + \dot{m} \lambda + \dot{m} C_{p,g} \Delta T_g \quad (88)$$

Los subíndices indican la fase del fluido. Considerando que no existen pérdidas de intercambio de calor, se igualan las expresiones de los dos fluidos para calcular las posibles incógnitas. Para los cálculos de calores específicos se emplean las expresiones presentadas anteriormente.

Además, para el intercambiador, la transmisión de calor depende de un coeficiente global de transferencia U , del área de intercambio A , de la diferencia de temperaturas entre los dos fluidos ΔT_{mlog} y de un factor F dependiente del modo de contacto entre los fluidos. En caso de ser contracorriente pura, el factor toma el valor de la unidad. Para los demás casos toma valores entre 0 y 1. El diseño del intercambiador se considera correcto siempre que este factor sea mayor de 0,75. Teniendo en cuenta todo lo anterior, la ecuación de diseño para un intercambiador es la siguiente:

$$Q = U A F \Delta T_{mlog} \quad (89)$$

A continuación, se refleja el cálculo de cada uno de los términos de la expresión anterior.

8.6.1.1. Cálculo de U

El coeficiente global de transmisión de calor representa la resistencia que presenta el intercambiador al flujo de calor. Ésta depende del tipo de fluido y régimen de flujo, del grado de ensuciamiento de la pared, así como de las propiedades de los tubos del intercambiador. Así, realizando una analogía eléctrica, se corresponde con una suma de resistencias en serie. La

resistencia global es la suma de las resistencias debidas a convección en cada una de las paredes de los fluidos, las resistencias debidas al ensuciamiento y la debida a la conducción de calor a través de la pared de los tubos. La expresión global es la siguiente:

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{h_{f,i} A_i} + \frac{\Delta r}{k A_{mlog}} + \frac{1}{h_{f,e} A_e} + \frac{1}{h_e A_e} \quad (90)$$

En la expresión anterior:

- h_i : coeficiente de convección interno.
- $h_{f,i}$: coeficiente de convección correspondiente al ensuciamiento de la pared interna.
- A_i : área de intercambio interna.
- k : conductividad del material de los tubos
- Δr : espesor de los tubos
- A_{mlog} : área media logarítmica, calculada según la siguiente expresión.

$$A_{mlog} = \frac{A_i - A_e}{\ln \left(\frac{A_i}{A_e} \right)} \quad (91)$$

- h_e : coeficiente de convección externo.
- $h_{f,e}$: coeficiente de convección correspondiente al ensuciamiento de la pared externa.
- A_e : área de intercambio externa.

El área que acompaña al coeficiente global puede ser cualquiera de ellas, ya que el coeficiente global siempre está referido a un área. En caso de referirse al área externa se denomina U_0 y para referirse al área interna se emplea U_i .

8.6.1.2. Cálculo de área

El área de intercambio es la incógnita del diseño del intercambiador, por lo que se determinan los demás parámetros y a partir de ellos se calcula el área de intercambio de calor necesaria.

8.6.1.3. Cálculo del factor F

Este factor depende del número de pasos del intercambiador por carcasa y por tubos. Su finalidad es corregir la diferencia de temperaturas, que, al tratarse de flujo cruzado en vez de contracorriente pura, es menor del esperado. Su determinación se realiza gráficamente a partir de dos parámetros presentados a continuación dependientes de las temperaturas de entrada de cada uno de los fluidos:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (92)$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (93)$$

En las expresiones anteriores los subíndices 1 y 2 se refieren a entrada y salida de cada una de las corrientes, la T hace referencia a la corriente caliente y la t a la corriente fría.

A partir de los valores obtenidos de las expresiones anteriores, acudiendo a los estándares TEMA, se puede determinar el factor de corrección de temperatura para las diferentes configuraciones de intercambiadores. Por ser los más utilizados los de un paso por carcasa y dos pasos por tubos, se presenta la figura correspondiente a continuación:

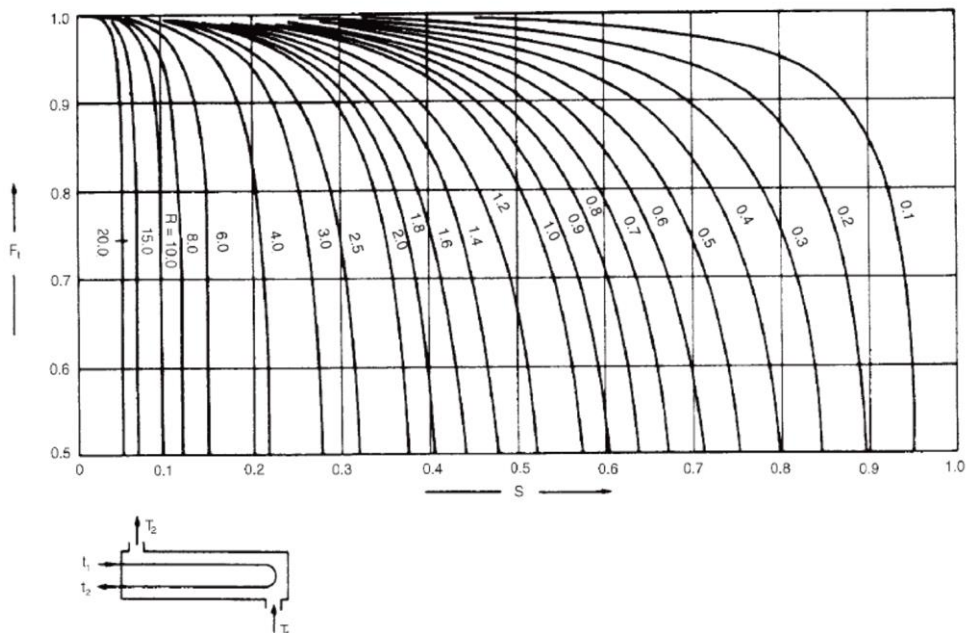


Figura 11. Factor de corrección de temperatura para un paso por carcasa

8.6.1.4. Cálculo de la diferencia de temperaturas

Finalmente, el término restante de la ecuación de diseño del intercambiador es la diferencia de temperaturas. Ésta se calcula como la media logarítmica de las diferencias de temperatura de los fluidos tanto a la entrada como a la salida del intercambiador. La expresión empleada es la siguiente:

$$\Delta T_{m\log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (94)$$

Los cálculos correspondientes a este apartado se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 20. Datos de diseño del intercambiador de R-201

| | |
|---|--------|
| Calor a intercambiar (W) | 8130 |
| Sobredimensionamiento | 25% |
| Vapor generado (kg/s) | 5,93 |
| Diferencia de temperaturas media, ΔT_m (°C) | 620,35 |

8.6.2. Propiedades físicas de los fluidos

Para cada una de las corrientes se deben calcular una serie de propiedades a la temperatura media de paso de la corriente por el intercambiador. Para el caso de este intercambiador se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 21- Propiedades físicas de los fluidos del intercambiador de R-201

| | Carcasa | Tubos |
|---|----------------|--------------|
| Fluido | Agua | Gases |
| Flujo entrada, kg/s | 2,59 | 182,77 |
| Temperatura entrada, °C | 250 | 1440,69 |
| Temperatura salida, °C | 250 | 300 |
| Temperatura media, °C | 250 | 870,35 |
| Presión entrada, bar | 39,78 | 2 |
| Calor latente vaporización, kJ/kg | 1714,70 | - |
| Volumen esp. líquido, cm ³ /g | 1,25 | - |
| Volumen esp. vapor, cm ³ /g. | 50,04 | - |
| Calor específico, J/mol | - | 38,78 |
| Factor de ensuciamiento, W/m ² K | 0,0003 | 0,0002 |
| Peso molecular, g/mol | 18,01 | 24,52 |

Los factores de ensuciamiento se determinan a partir de tablas de datos que contienen los valores típicos en función del tipo de fluido. A continuación se presenta la utilizada en este caso:

Tabla 22. Valores típicos del factor de ensuciamiento

| Fluido | Coefficiente (W/m² °C) | Factor (resistencia) (m² °C/W) |
|-----------------------------------|--|--|
| Agua de río | 3000–12 000 | 0,0003–0,0001 |
| Agua de mar | 1000–3000 | 0,001–0,0003 |
| Agua de enfriamiento (torres) | 3000–6000 | 0,0003–0,00017 |
| Agua de ciudad (blanda) | 3000–5000 | 0,0003–0,0002 |
| Agua de ciudad (dura) | 1000–2000 | 0,001–0,0005 |
| Condensado de vapor de agua | 1500–5000 | 0,00067–0,0002 |
| Vapor de agua (sin aceite) | 4000–10 000 | 0,0025–0,0001 |
| Vapor de agua (trazas de aceite) | 2000–5000 | 0,0005–0,0002 |
| Salmuera refrigerada | 3000–5000 | 0,0003–0,0002 |
| Aire y gases industriales | 5000–10 000 | 0,0002–0,0001 |
| Gases de chimenea | 2000–5000 | 0,0005–0,0002 |
| Vapores orgánicos | 5000 | 0,0002 |
| Líquidos orgánicos | 5000 | 0,0002 |
| Hidrocarburos ligeros | 5000 | 0,0002 |
| Hidrocarburos pesados | 2000 | 0,0005 |
| Orgánicos en ebullición | 2500 | 0,0004 |
| Orgánicos condensantes | 5000 | 0,0002 |
| Fluidos de transferencia de calor | 5000 | 0,0002 |
| Soluciones acuosas de sal | 3000–5000 | 0,0003–0,0002 |

Para el cálculo de volumen específico en el caso de la mezcla de gases se considera una mezcla ideal y se emplea la ley de gases ideales, y para el vapor se consulta *Introducción a la Termodinámica en la Ingeniería Química* de R. Smith.

8.6.3. Asumir coeficiente global de transferencia de calor

Para el cálculo del resto de los parámetros se necesita conocer un área de intercambio de calor, por lo que la forma de proceder es calcularla a partir de una U estimada y al finalizar el diseño, se comprueba si este valor difiere del calculado y se recalcula si es necesario. Existen tablas que contienen rangos de valores de coeficientes para diferentes tipos de intercambiadores y de fluidos. A continuación, se presenta la parte de una de ellas referida a enfriadores que emplean como fluido frío el agua, en intercambiadores de carcasa y tubos.

Tabla 23. Valores típicos del coeficiente global de transferencia de calor

| Fluido caliente | Fluido frío | U^1 (W/m^2K) |
|-----------------------|-------------|--------------------|
| Disolventes orgánicos | Agua | 250-750 |
| Aceites ligeros | Agua | 350-900 |
| Aceites pesados | Agua | 60-300 |
| Gases | Agua | 20-300 |

El valor del coeficiente global de transmisión de calor escogido en este caso es de $U_0 = 100 W/m^2K$.

8.6.4. Decidir parámetros del intercambiador

El siguiente paso es la decisión de la configuración del intercambiador. Los intercambiadores más empleados son de tipo AES, con dos pasos por tubos y uno por carcasa, de cabezal flotante para permitir la limpieza de los tubos. En este caso, el tipo de intercambiador escogido no comprende la elección de una de las cubiertas ya que se sustituye por la zona de reacción del equipo. Aun así, se coloca un cabezal que permita la extracción de los tubos para permitir su correcta limpieza.

Los pasos por carcasa y por tubos también vienen determinados por el diseño de la unidad. Al presentar la entrada ocupando todo el cabezal superior, se debe realizar el diseño para un paso por carcasa y por tubos, por lo tanto, el factor de corrección por flujo cruzado toma como valor la unidad. Los datos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 24. Parámetros del intercambiador del R-201

| | |
|-------------------------|------|
| Tipo de intercambiador | (A)E |
| Pasos por carcasa | 1 |
| Pasos por tubos | 1 |
| Factor de corrección, F | 1 |

8.6.5. Calcular el área de intercambio requerida

Una vez se dispone de todos los valores de la ecuación de diseño excepto el área de intercambio, ésta se calcula despejando. La expresión resultante es la siguiente:

¹ En este caso, el coeficiente se refiere al área externa.

$$A = \frac{UF\Delta T_{m\log}}{Q} \quad (95)$$

El área de intercambio requerida es de 163,82 m².

8.6.6. Tipo de material y dimensiones de los tubos

El material escogido para la construcción de los tubos es acero al carbono, y el diámetro nominal de 3/4". Se escoge este valor porque la diferencia de presiones entre la carcasa y los tubos es alta, y cuanto menor diámetro, mejor es la resistencia ante presión externa. El espesor escogido es el recomendado por la norma TEMA y se corresponde con el BWG12.

Por último, se debe definir la disposición de los tubos en el intercambiador. Por tratarse de un intercambiador en el que se produce evaporación en la carcasa, la disposición de tubos más recomendada es la disposición cuadrada, ya que reduce las pérdidas por presión. Las dimensiones se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 25. Material y dimensiones de los tubos del intercambiador de R-201

| | |
|---|------------------|
| Material de tubos | Acero al carbono |
| Diámetro nominal (in) | 0,75 (BWG12) |
| Diámetro externo (mm) | 13,5 |
| Diámetro interno (mm) | 14,3 |
| Sección de paso por tubo (mm ²) | 143,41 |
| Pitch (mm) | 23,81 |
| Fluido carcasa | Agua/vapor |
| Fluido tubos | Gas |

8.6.7. Determinar el número de tubos

Con el dato del área y las dimensiones de los tubos elegidas en el apartado anterior, se calcula el número de tubos necesario. Para ello se emplea la ecuación de velocidad de paso por los tubos, que en un intercambiador que trabaje con gases, debe estar comprendida entre 15 – 40 m/s para aumentar la transferencia de calor.

Una de las características de este intercambiador es que el diámetro de la carcasa ya está definido por el diámetro de reactor, por lo tanto, el máximo número de tubos de los que se puede disponer es el máximo que permita la carcasa.

Anexo II. Cálculos justificativos

Se escoge una velocidad de circulación por los tubos de 15 m/s y se calcula la sección de paso necesaria y consecuentemente el número de tubos. Las expresiones utilizadas son las siguientes:

$$S = \frac{Q_v}{u} \quad (96)$$

$$N_t = \frac{S}{S_t} \quad (97)$$

En las expresiones anteriores, la sección se representa por S , Q_v es el caudal volumétrico del gas, considerando la densidad media, N_t el número de tubos y S_t la sección transversal de cada uno de los tubos. Se calcula la longitud necesaria de tubo atendiendo a la siguiente expresión:

$$L_t = \frac{A}{N_t \pi d_0} \quad (98)$$

En donde L_t es la longitud de los tubos, A el área de intercambio requerida y d_0 el diámetro externo de los tubos. Una vez se dispone del número de tubos necesario, se debe escoger una disposición de tubo. Para intercambiadores que impliquen cambio de fase, se suele emplear una distribución cuadrada que minimiza las pérdidas de carga del fluido que circula por carcasa. Las dos disposiciones disponibles se presentan en la siguiente figura:

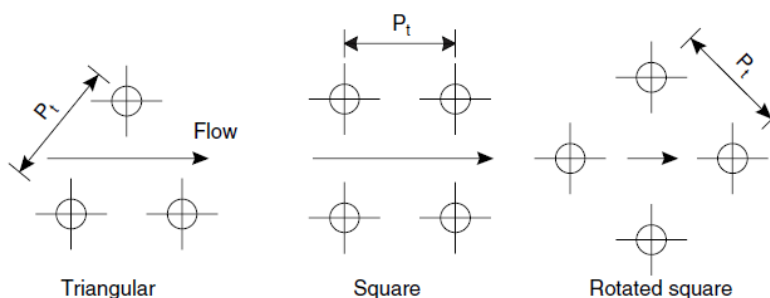


Figura 12. Disposiciones típicas de los tubos

Para el cálculo del diámetro del haz de tubos, se debe escoger el espaciado. Según la norma TEMA, referente a intercambiadores, se suele tomar como espaciado (o pitch) p_t 1,25 veces el diámetro externo de los tubos. Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 26. Determinación del número de tubos en el intercambiador de R-201

| | |
|---|---------------|
| Velocidad por tubo, v (m/s) | 15 |
| Flujo volumétrico, Q_v (m^3/s) | 5,22 |
| Sección necesaria, S (m^2) | 0,348 |
| Número de tubos, N_t | 2428 |
| Longitud de tubos, L_t (m) | 121,92 (4 ft) |
| Diámetro equivalente carcasa, D_e (m) | 0,019 |
| Parámetros de disposición | |
| K_1 | 0,215 |
| n | 2,207 |

8.6.8. Determinar el diámetro del haz de tubos y de la carcasa

El siguiente paso, una vez calculado el número de tubos, es calcular el diámetro del haz y de la carcasa. Para el diámetro del haz se emplea la siguiente expresión:

$$D_b = d_0 \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (99)$$

En la expresión anterior, D_b es el diámetro de la carcasa y K_1 y n constantes cuyos valores dependen del espaciado entre tubos, la disposición de los tubos y el número de pasos por carcasa. Para el caso de un intercambiador con un paso por carcasa, de pitch 1,25 veces el diámetro y disposición de tubos cuadrada, los valores se corresponden con 0,215 y 2,207 respectivamente.

El diámetro de la carcasa se calcularía en base al diámetro del haz de tubos, sin embargo, en este caso el valor viene fijado por el diámetro de la zona de reacción, por lo que se calcula el diámetro mínimo y se comprueba que se cumplen los requisitos.

8.6.9. Estimar coeficiente de transmisión interno (h_i)

El coeficiente de transmisión interno permite medir la resistencia que presenta el fluido circulante por los tubos al intercambio de calor por convección. Depende de las propiedades físicas de los fluidos, así como de la velocidad de paso, relacionada con la turbulencia.

La estimación de este coeficiente se puede realizar mediante figuras o correlaciones experimentales. En este caso se emplea la correlación para convección forzada de flujo interno

sobre un tubo circular. Se debe calcular el módulo adimensional de Reynolds para conocer el régimen de flujo. La expresión para el cálculo es la siguiente:

$$Re_D = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (100)$$

Calculado este parámetro se obtiene un valor de 610, por lo tanto, se trata de régimen laminar, que se encuentra para valores del Reynolds menores de 2300. Debido a que se necesita mucha área de intercambio y el diámetro del haz debe ser el mayor posible para aprovechar la camisa, la velocidad de circulación por los tubos es baja y el régimen de flujo es laminar.

Para este régimen, el parámetro para determinar el coeficiente de transmisión de calor interno, el Nusselt, presenta un valor determinado, de forma que:

$$Nu = \frac{h_i D}{k} = 3,66, \quad \text{para } Re_D < 2300 \quad (101)$$

De la expresión anterior se despeja h_i y se obtiene el valor del coeficiente. Los datos y resultados de esta sección se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 27. Estimación de coeficiente de convección interno

| | |
|---|---------|
| Reynolds, Re_D | 610 |
| Régimen de flujo | Laminar |
| Coeficiente de convección interna, h_i (W/m^2K) | 165,92 |

8.6.10. Estimar coeficiente de transmisión externo (h_0)

Este coeficiente permite cuantificar la resistencia al flujo de calor que presenta el mecanismo de convección entre el fluido de la carcasa y la pared externa de los tubos. Como se trata de ebullición, los coeficientes se deben estimar mediante correlaciones y no mediante gráficas. Se considera que se produce ebullición nucleada alrededor de los tubos, para un fluido de un único componente (agua), por lo que el coeficiente de transmisión se calcula a partir de la correlación de Mostinski:

$$h_{nb} = 0,104 P_c^{0,69} q^{0,7} F_p \quad (102)$$

Esta correlación no tiene en cuenta las propiedades del fluido ni las características de la superficie, sino los parámetros críticos y el flujo de calor necesario. En la expresión anterior P_c

es la presión crítica, q el flujo de calor necesario y F_p un parámetro dependiente de la presión reducida P_r calculado de la siguiente forma:

$$F_p = 1,8 P_r^{0,17} + 4 P_r^{1,2} + 10 P_r^{10} \quad (103)$$

Para el caso de ebullición nucleada, se alcanza un flujo de calor máximo denominado flujo de calor crítico, a partir del cual, aun aumentando la diferencia de temperaturas, no se consigue mayor intercambio de calor. Se trata de un parámetro importante para comprobar el funcionamiento del equipo según lo predicho. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$q_c = 36700 P_c P_r^{0,35} (1 - P_r)^{0,9} \quad (104)$$

Se comprueba que el flujo de calor crítico es mayor que el intercambiado. Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 28. Estimación de coeficiente de convección externo

| | |
|---|-----------|
| Correlación | Mostinki |
| Calor intercambiador (W/m^2) | 62034,5 |
| Flujo crítico (W/m^2) | 3716028,7 |
| Coefficiente de convección externo, h_0 ($W/m^2 K$) | 18105,4 |

8.6.11. Calcular coeficiente global U_0

El coeficiente global de transmisión de calor referido al área externa (U_0) se calcula a partir de los coeficientes de convección, los parámetros físicos del intercambiador, los factores de ensuciamiento, así como la conductividad del material de los tubos. Para ello se emplea la ecuación presentada en el apartado 8.6.1.1. Se debe comparar con el valor supuesto al principio y comprobar que los valores no difieren más de un 30 %. Este error se calcula como:

$$0 < \frac{U_{0,calc} - U_{0,asum}}{U_{0,asum}} < 30 \% \quad (105)$$

En caso contrario, se realizarían de nuevo los cálculos tomando como U_0 asumida la calculada en este procedimiento. Los datos para realizar el cálculo se presentan a continuación.

Tabla 29. Estimación del coeficiente global de transmisión de calor

| | |
|--|--------|
| Área interna, A_i (m^2) | 116,2 |
| Área externa, A_e (m^2) | 163,8 |
| Área media logarítmica, A_{mlog} (m^2) | 138,7 |
| Coefficiente de convección externo, h_0 (W/m^2K) | 106,44 |
| Error cometido | 6% |

8.6.12. Caída de presión en tubos

Otro de los requisitos que debe cumplir un intercambiador es proporcionar una caída de presión moderada, tanto en el lado de los tubos como en el lado de la carcasa. Para el cálculo de la caída de presión en tubos, se emplea la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta P}{L} = 8 j_f \left(\frac{L'}{d_i} \right) \rho \frac{u_t^2}{2} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} \tag{106}$$

En la expresión anterior, j_f es el factor de fricción, calculado a partir de la figura presentada a continuación. El término de viscosidades no se considera porque sirve para corregir fluidos muy viscosos. L' es la longitud efectiva del tubo, que, en el caso de un solo paso, se corresponde con la longitud total de los tubos. La figura para la determinación del factor de fricción es la siguiente:

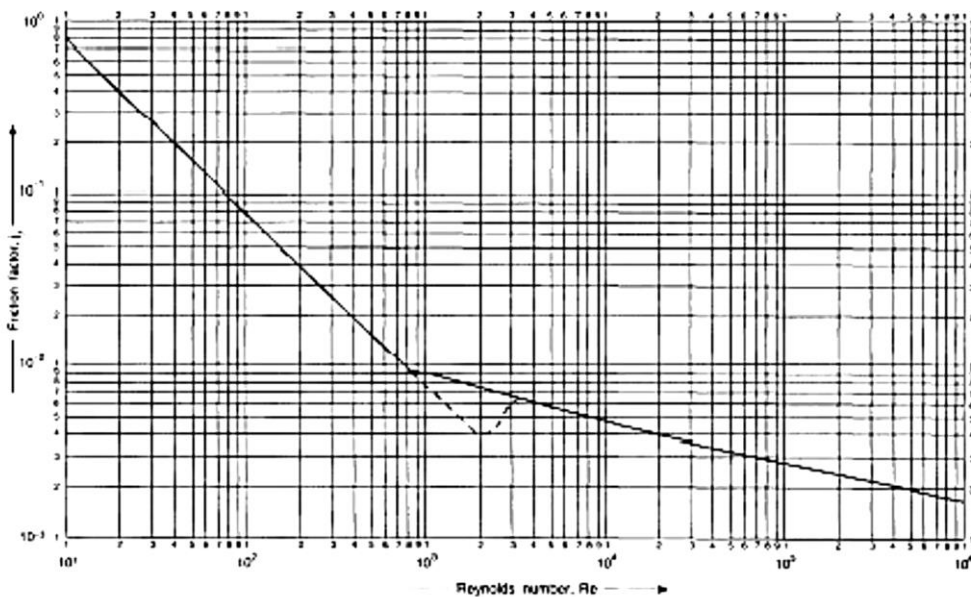


Figura 13. Cálculo de factor de fricción para pérdida de presión en tubos

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 30. Cálculo de caída de presión en tubos

| | |
|-----------------------------------|---------------------|
| Factor de fricción, j_f | $8,5 \cdot 10^{-3}$ |
| Caída de presión, ΔP (Pa) | 1071,73 |

8.6.13. Caída de presión en carcasa

La caída de presión en la carcasa se puede calcular siempre que el diámetro de esta se encuentre relacionado con el diámetro del haz de tubos. Como el diámetro es mucho mayor, la caída de presión se considera despreciable. Además, la disposición de tubos escogida (cuadrada) reduce las caídas de presión en la carcasa. Si se calcula considerando que el diámetro de la carcasa es el correspondiente al del haz de tubos, el resultado es el siguiente:

Tabla 31. Cálculo de caída de presión en carcasa

| | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Factor de fricción, j_f | $1,31 \cdot 10^{-1}$ |
| Reynolds, Re | 432,99 |
| Caída de presión, ΔP (Pa) | 34,1 |

8.7. Diseño mecánico del equipo

Para el diseño mecánico del equipo se siguen las pautas de diseño marcadas por las normas AMSE para el diseño de la zona de reacción y el recipiente exterior y TEMA para el diseño mecánico del intercambiador. Para todos los diseños, se debe disponer de la temperatura y presión de diseño, calculadas según las siguientes expresiones.

$$T_{dis} = T_{op} + 50^{\circ}\text{C} \quad (107)$$

$$P_{dis} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot P_{g,op} \\ P_{g,op} + 1,72 \text{ bar} \end{array} \right. \quad (108)$$

Para las expresiones anteriores, la T_{op} es la temperatura máxima de operación y la $P_{g,op}$ se corresponde con la presión manométrica máxima de operación. En la norma ASME los rangos aparecen en unidades inglesas, que se corresponden con 90°F y 25 psi . Además, como criterio general, a cada espesor calculado se debe sumar un sobreespesor por corrosión, con un valor entre $2 - 5 \text{ mm}$.

Las expresiones presentadas a continuación para el cálculo de espesores de pared de las diferentes partes del recipiente, dependen fundamentalmente de los factores listados a continuación:

- Espesor requerido (t): se corresponde con la variable a determinar en cada caso.
- Presión de diseño (P_{dis}): calculada según la expresión enunciada anteriormente.
- Diámetro interno del recipiente (\emptyset_i): para recipientes cilíndricos es el diámetro de la pared interior y para cabezales, el mayor diámetro del cabezal.
- Tensión máxima permisible (S): el valor máximo de tensión para el cual el material no sufre deformación permanente. Este valor depende tanto de la composición del material como de la temperatura de trabajo. La norma ASME proporciona los valores que se deben utilizar para el cálculo del espesor.
- Factor de soldadura (E): cuantifica la influencia del tipo de soldadura sobre el cálculo del espesor. Depende tanto del tipo de soldadura como del grado de examen radiográfico que se emplea para su comprobación. La siguiente tabla presenta los valores de este factor para diferentes casos.

Tabla 32. Factor de soldadura, E (Elaboración propia a partir de ASME)

| | Grado de examen radiográfico | | |
|-------------------------|------------------------------|---------|------|
| | Completo | Puntual | No |
| Soldadura doble | 1 | 0,85 | 0,70 |
| Soldadura simple | 0,90 | 0,80 | 0,65 |

Para el diseño de todo el equipo, se considera un grado de examen radiográfico puntual con soldadura doble, por lo que el factor de soldadura para todo el equipo es de $E = 0,85$.

8.7.1. Boquillas

Las boquillas necesarias se enumeran a continuación:

- Entradas y salidas de corrientes:
 - o Entrada de la alimentación (tubería de 26”).
 - o Salida de la alimentación.
 - o Entrada de agua de refrigeración.
 - o Salida de vapor de agua.
- Orificios para control de proceso:
 - o Termopar para el control de temperatura de la malla.
 - o Orificios para la instalación de quemadores: quemador serie BDK de bronce suministrado por Cofaco. (2xM18)
 - o Control de nivel para el agua de refrigeración (2 orificios para instalación de stand pipe).
 - o Control de presión diferencial en malla (2 orificios).
 - o Control de presión en la carcasa del intercambiador.
- Orificios para válvulas de alivio:
 - o Válvula de alivio de la zona de reacción.
 - o Válvula de alivio para la carcasa del intercambiador.

8.7.2. Cabezal superior

El cabezal superior presenta geometría troncocónica. En la parte superior, más estrecha, se conecta la alimentación al reactor y en la parte inferior se localiza el cuerpo del reactor, que contiene el catalizador y el relleno comentados anteriormente. El ángulo de apertura del cono, según bibliografía, debe encontrarse entre los $\alpha = 20 - 30^\circ$. El seleccionado en este caso es un ángulo de 25° . El esquema de diseño se presenta en la figura mostrada a continuación.

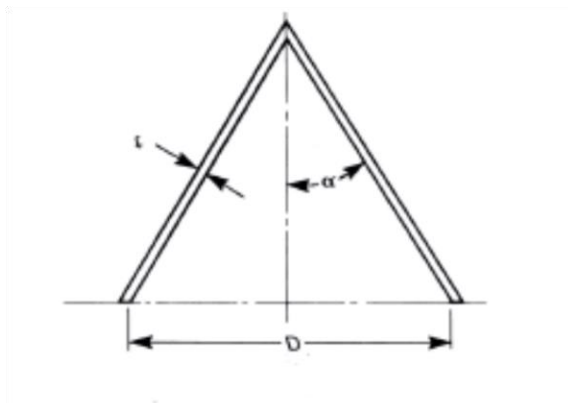


Figura 14. Cabezal cónico (ASME)

Para el cálculo de la altura (h_{tc}), se emplean las relaciones entre los ángulos y los lados de un triángulo rectángulo. En este caso se aplica la definición de tangente, despejada de la siguiente forma.

$$h_{tc} = \frac{\phi_2 - \phi_1}{2 \tan \alpha} \quad (109)$$

En la expresión anterior, ϕ_1 y ϕ_2 son los diámetros menor y mayor respectivamente, h la altura del cabezal y α el ángulo entre las paredes y la vertical. Según las pautas de diseño marcadas por ASME, el cálculo de espesor de un cabezal troncocónico se determina según la siguiente expresión.

$$t_{tc} = \frac{\phi_i P_{dis}}{2 \cos \alpha (SE - 0,6 P_{dis})} \quad (110)$$

La expresión anterior se puede aplicar siempre que el ángulo sea menor de 30° , en este caso, como el valor de este ángulo es menor, se encuentra dentro de los límites de aplicación. Los resultados del diseño se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 33. Diseño mecánico del cabezal superior

| Parámetros de diseño | |
|---------------------------------------|------------------------|
| Presión de diseño, P_{dis} (bar) | 2,72 |
| Temperatura de diseño, T_{dis} (°C) | 900 |
| Diámetro interno, ϕ_i (m) | 1,89 |
| Material de construcción | HAYNES 556 (R30556) |
| Tensión máxima permisible (bar) | 123 |
| Cálculos | |
| Ángulo de inclinación | 25° |
| Espesor requerido (mm) | 27,7 |
| Sobreespesor por corrosión (mm) | 4 |
| Espesor total (mm) | 31,7 |
| Espesor estandarizado (in) | 1,25 |

8.7.3. Cabezal inferior

El cabezal inferior a instalar en el recipiente se considera un cabezal elíptico, para evitar problemas por discontinuidades por espesores demasiado diferentes entre las diversas partes del recipiente. Para el cálculo de este cabezal, se emplea la ecuación recogida en el código ASME para el cálculo de espesores de cabezales elípticos, que presenta la siguiente forma:

$$t_e = \frac{\phi_i P_{dis}}{2SE - 0,2 P_{dis}} \quad (111)$$

Además, por tratarse de un fluido que contiene corrosivos, se selecciona un sobreespesor por corrosión de 4 mm, que se suma al espesor obtenido por la fórmula anterior. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 34. Diseño mecánico del cabezal inferior

| Parámetros de diseño | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Presión de diseño, P_{dis} (bar) | 2,72 |
| Temperatura de diseño, T_{dis} (°C) | 350 |
| Diámetro interno, ϕ_i (m) | 1,89 |
| Material de construcción | Acero inoxidable SS – 316L |
| Tensión máxima permisible (bar) | 1800 |
| Cálculos | |
| Espesor requerido (mm) | 1,69 |
| Sobreespesor por corrosión (mm) | 4 |
| Espesor total (mm) | 5,69 |
| Mínimo permisible (mm) | 7 |
| Espesor estandarizado (in) | 0,5 |

8.7.4. Cuerpo del reactor

Dado que el cuerpo del reactor se trata de un cilindro, se emplea la ecuación para el cálculo de espesores de pared para recipientes cilíndricos sometidos a presión interna. Se debe tener en cuenta que para el cálculo del diámetro del recipiente se debe tener en cuenta el espesor del aislante.

Anexo II. Cálculos justificativos

Para el caso de un recipiente cilíndrico se deben tener en cuenta los dos esfuerzos a los que está sometido, la tensión longitudinal y la circunferencial, por tanto, se deben calcular los dos y elegir el mayor de ellos. Las fórmulas empleadas para el cálculo obtenidas del código ASME son las siguientes:

$$t_l = \frac{\phi_i P_{dis}}{4SE - 0,8 P_{dis}} \quad (112)$$

$$t_c = \frac{\phi_i P_{dis}}{2SE - 1,2 P_{dis}} \quad (113)$$

En las expresiones anteriores t_l es el espesor requerido circunferencialmente y t_c el requerido por la tensión circunferencial. Al igual que en el caso anterior, se añade un sobreespesor por corrosión de 4 mm.

Tabla 35. Diseño mecánico del cuerpo de reactor

| Parámetros de diseño | |
|--|------------------------|
| Presión de diseño, P_{dis} (bar) | 2,72 |
| Temperatura de diseño, T_{dis} (°C) | 900 |
| Diámetro interno, ϕ_i (m) | 1,89 |
| Material de construcción | HAYNES 556 (R30556) |
| Tensión máxima permisible (bar) | 123 |
| Cálculos | |
| Espesor requerido circunferencial (mm) | 25,1 |
| Espesor requerido longitudinal (mm) | 12,4 |
| Sobreespesor por corrosión (mm) | 4 |
| Espesor total (mm) | 29,1 |
| Espesor estandarizado (in) | 1,25 |

8.7.5. Platos superior e inferior de intercambiador

El diseño mecánico de los platos de separación del intercambiador se debe realizar considerando el dimensionamiento de una placa plana sometida a presión interna. En este caso la presión a la que se encuentra sometida es la diferencia de presiones entre la carcasa y los tubos del intercambiador. El cálculo del espesor se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$t_p = \phi_i \sqrt{\frac{C P_{dis}}{SE}} \quad (114)$$

En la expresión anterior, la letra C se corresponde con un coeficiente que depende del tipo de unión entre la placa y el recipiente. En este caso, se escoge una unión roscada, cuyo coeficiente es de 0,3, según se refleja en la norma ASME VIII referente a diseño de recipientes a presión.

Tabla 36. Diseño mecánico del soporte de los tubos

| Parámetros de diseño | |
|---------------------------------------|------------------------|
| Presión de diseño, P_{dis} (bar) | 40,5 |
| Temperatura de diseño, T_{dis} (°C) | 650 |
| Diámetro interno, ϕ_i (m) | 1,89 |
| Material de construcción | HAYNES 556 (R30556) |
| Tensión máxima permisible (bar) | 1400 |
| Cálculos | |
| Coficiente, C | 0,15 |
| Espesor requerido (mm) | 135 |
| Sobreespesor por corrosión (mm) | 4 |
| Espesor total (mm) | 139 |
| Espesor estandarizado (in) | 6 |

8.7.6. Pared exterior del intercambiador

La pared externa del intercambiador, al igual que el cuerpo del reactor, se trata de un cuerpo cilíndrico sometido a presión interna, por lo que las expresiones empleadas, así como el procedimiento de cálculo es el mismo.

Tabla 37. Diseño mecánico de la pared exterior del intercambiador

| Parámetros de diseño | |
|--|-------------------------------|
| Presión de diseño, P_{dis} (bar) | 41,4 |
| Temperatura de diseño, T_{dis} (°C) | 300 |
| Diámetro interno, ϕ_i (m) | 1,89 |
| Material de construcción | Acero inoxidable SS – 316L |
| Tensión máxima permisible (bar) | 1400 |
| Cálculos | |
| Espesor requerido longitudinal (mm) | 12,3 |
| Espesor requerido circunferencial (mm) | 25,0 |
| Sobreespesor por corrosión (mm) | 4 |
| Espesor total (mm) | 29,0 |
| Espesor estandarizado (in) | 1,25 |

8.7.7. Tubos del intercambiador

Los tubos del intercambiador, dado que la presión del vapor es mayor que la de la corriente principal y además ésta última circula por los tubos, están sometidos a presión externa. Por lo tanto, el cálculo del espesor se debe realizar conforme a un recipiente cilíndrico sometido a presión externa.

En el apartado de dimensionamiento del intercambiador, ya se determinó el espesor de los tubos, por lo que se debe comprobar que el dimensionamiento es correcto y el haz de tubos es capaz de soportar la presión externa a la que está sometido. El grosor del tubo depende del BWG para tubos de intercambiadores de calor.

Al contrario que en los anteriores apartados, se procede conociendo el espesor, calculando la presión crítica y comprobando que la presión de trabajo es inferior a la presión crítica. La expresión utilizada para el cálculo de la presión crítica es la siguiente:

$$P_c = 2,2 S \left(\frac{t}{\phi_e} \right)^3 \quad (115)$$

La condición que se debe cumplir se presenta en la siguiente expresión:

$$P_c > P_{dis} \quad (116)$$

Los datos resultantes del diseño mecánico se presentan a continuación:

Tabla 38. Diseño mecánico de los tubos del intercambiador de calor

| Parámetros de diseño | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Presión de diseño, P_{dis} (bar) | 41,6 |
| Temperatura de diseño, T_{dis} (°C) | 650 |
| Diámetro externo, ϕ_e (m) | 19,0 |
| Espesor (mm) | 2,8 |
| Material de construcción | Acero inoxidable SS – 316L |
| Módulo elasticidad (bar) | 8500 |
| Cálculos | |
| Presión crítica (bar) | 57,4 |
| Aceptable | Si |

8.8. Dimensionamiento de la válvula de alivio

Para llevar a cabo el dimensionamiento del orificio de la válvula de alivio, se emplea la norma API relativa al dimensionamiento, selección e instalación de dispositivos de alivio. Como flujo requerido para el alivio, se selecciona la mitad del flujo de entrada al reactor, considerando algún problema en el catalizador o en el relleno que impida el paso de parte de la alimentación.

Por tratarse de alivio de gases, se debe comprobar si hay posibilidad de que se alcance el flujo crítico, a partir del cual el flujo que circularía a través de la válvula sería máximo independientemente de la diferencia de presiones. Para el dimensionamiento se sigue el apartado 3.6 de la norma, relativo al dimensionamiento para alivio de gases o vapores.

A partir de la expresión siguiente, (3.1) de la norma, se calcula la presión de descarga por debajo de la cual se produce el flujo crítico:

$$\frac{P_{cf}}{P_1} = \left[\frac{2}{k+1} \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (117)$$

En la expresión anterior, P_{cf} es la presión crítica, P_1 la presión del proceso y k la relación entre capacidades caloríficas a presión y a volumen constante. Considerando que, en fracción molar, la mayoría de los componentes son diatómicos, y además suponiendo comportamiento de gas ideal, esta constante se aproxima a 1,4.

La expresión para el cálculo del área de alivio necesaria se corresponde, en unidades del sistema internacional, con la siguiente, correspondiente con la ecuación (3.2) de la norma:

$$A = \frac{13160 W}{CK_d P_1 K_b K_c} \sqrt{\frac{TZ}{M}} \quad (118)$$

En la expresión anterior:

- W representa el flujo de alivio necesario que debe pasar a través de la válvula.
- C es un coeficiente determinado a partir de k , cuyo valor se determina mediante la ecuación presentada a continuación o mediante la figura 32 de la norma.

$$C = 520 \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (119)$$

Anexo II. Cálculos justificativos

- K_d es el coeficiente de descarga, que presenta un valor de 0,975 para dimensionamiento de válvulas de alivio, con o sin disco de ruptura.
- K_b es el factor de corrección por capacidad debido a la presión existente en el conducto de salida de la válvula de alivio. Como esta conducción va directa a antorcha, su valor es 1.
- K_c es un factor de corrección por la instalación de la válvula en serie con un disco de ruptura. Como se trata de un dispositivo sometido a fluidos corrosivos, se considera adecuada la instalación de un disco de ruptura previo a la válvula, para protegerla frente a la corrosión. El valor de este coeficiente es de 0,9.
- T es la temperatura de la corriente para la que se produce el alivio.
- Z es el factor de compresibilidad del gas, que cuantifica la no idealidad del fluido. Como se trabaja a bajas presiones, el fluido se considera ideal y este factor toma el valor de la unidad.
- M es la masa molecular media del fluido, determinada a partir de la composición.

Los datos empleados para el dimensionamiento, así como los resultados, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 39. Diseño de la válvula de alivio

| | |
|---------------------------------------|---------|
| Flujo requerido de alivio, W (kg/h) | 8065,22 |
| Presión de tarado, P_{dis} (kPa) | 220 |
| Presión de descarga, P_1 (kPa) | 100 |
| Relación calores específicos, k | 1,4 |
| Presión crítica, P_c (kPa) | 116,2 |
| Constantes | |
| K_d | 0,975 |
| K_b | 1 |
| K_c | 0,9 |
| C | 477,7 |
| Temperatura, T (K) | 473 |
| Factor compresibilidad, Z | 1 |
| Masa molecular media, M (g/mol) | 27,01 |
| Área requerida (mm^2) | 4816,65 |
| Tipo de orificio | P |

9. INTERCAMBIADOR DE CALOR E-301

En el intercambiador de calor E-301 se enfría la corriente de salida del reactor R-201. La finalidad de este intercambio de calor es acondicionar la corriente para la entrada a la columna T-301 además de evitar la polimerización del producto principal, lo que supondría un riesgo para la seguridad de la planta.

Se emplea un intercambiador de carcasa y tubos con cabezal flotante de anillo partido (tipo AES), que utiliza como medio refrigerante agua de refrigeración de un circuito cerrado. Los requerimientos de utilización de esta utilidad no permiten obtener agua con una temperatura menor de 5°C y no permiten su devolución al circuito a una temperatura mayor de 15°C, por lo que los límites de temperatura de la utilidad están marcados. El material empleado en la construcción del equipo es acero inoxidable.

Se trata por tanto de un intercambiador para enfriar un gas a baja presión con agua de refrigeración. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 40. Datos y resultados de diseño de E-301

| | |
|--|----------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 16272,79 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 80 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 25 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 363,94 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 70,72 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 55 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 5 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 15 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 10 |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 38,18 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 1325,41 |
| Caudal de agua necesaria, q_v (kg/s) | 31,70 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 347,14 |

10. INTERCAMBIADOR DE CALOR E-302

El intercambiador de calor E-302 enfría la corriente de salida de la columna T-301 acondicionando así la corriente de proceso para la entrada a la columna T-302.

Se emplea, al igual que en el caso anterior, un intercambiador de carcasa y tubos con cabezal flotante de anillo partido (tipo AES), que utiliza como medio refrigerante agua de refrigeración de un circuito cerrado. Los requerimientos de utilización de esta utilidad no permiten obtener agua con una temperatura menor de 5°C y no permiten su devolución al circuito a una temperatura mayor de 15°C, por lo que los límites de temperatura de la utilidad están marcados. El material empleado en la construcción del equipo es acero inoxidable.

Se trata por tanto de un intercambiador para enfriar un gas a baja presión con agua de refrigeración. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 41. Datos y resultados de diseño de E-301

| | |
|--|----------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 13632,84 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 60 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 25 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 31,25 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 0,17 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 35 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 5 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 15 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 10 |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 30,83 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 118,33 |
| Caudal de agua necesaria, q_v (kg/s) | 2,82 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 38,38 |

11. INTERCAMBIADOR DE CALOR E-302

El intercambiador de calor E-303 prepara la corriente de salida de la columna de absorción T-302 para la entrada a la columna de destilación, en la que se separa el producto principal del agua.

Se emplea para llevar a cabo el intercambio de calor un intercambiador de carcasa y tubos con cabezal flotante de anillo partido (tipo AES), que utiliza como medio calefactor vapor de media presión. El material empleado en la construcción del equipo es acero inoxidable.

Se trata por tanto de un intercambiador utilizado para calentar un gas con vapor a media presión. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 42. Datos y resultados de diseño de E-301

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 13632,84 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 30 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 60 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | -2213,75 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | -2094,79 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 30 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 200 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 200 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 155 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 298,02 |
| Caudal de agua necesaria, q_v (kg/s) | 0,154 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 750 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 2,56 |

Anexo III. Fichas de seguridad

ÍNDICE¹

1. Metano - CH₄
2. Monóxido de carbono - CO
3. Dióxido de carbono - CO₂
4. Hidrógeno - H₂
5. Ácido cianhídrico - HCN
6. Ácido sulfúrico - H₂SO₄
7. Nitrógeno - N₂
8. Amoníaco - NH₃
9. Sulfato de amonio - (NH₄)₂SO₄
10. Óxido nítrico - NO
11. Oxígeno - O₂

¹ Compuestos ordenados según orden alfabético de las fórmulas químicas

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 08.10.2015

Version: 1.0

SDS No.: 000010021692
1/14

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier

Product name: Methane, compressed
Trade name: Methane CP Grade N2.5, Methane Low Ethylene Grade N3.5, Methane Research Grade N4.5

Additional identification

Chemical name: methane
Chemical formula: CH₄
INDEX No. 601-001-00-4
CAS-No. 74-82-8
EC No. 200-812-7
REACH Registration No. 01-2119474442-39

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses: Industrial and professional. Perform risk assessment prior to use. Transfilling gas or liquid, Use as a fuel. Use as an Intermediate (transported, on-site isolated). Use for electronic component manufacture. Using gas alone or in mixtures for the calibration of analysis equipment. Using gas as feedstock in chemical processes. Formulation of mixtures with gas in pressure receptacles.
Uses advised against Consumer use.

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Supplier

BOC
Priestley Road, Worsley
M28 2UT Manchester

Telephone: 0800 111 333

E-mail: ReachSDS@boc.com

1.4 Emergency telephone number: 0800 111 333

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 08.10.2015

Version: 1.0

SDS No.: 000010021692
2/14

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification according to Directive 67/548/EEC or 1999/45/EC as amended.

F+; R12

The full text for all R-phrases is displayed in section 16.

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 as amended.

Physical Hazards

| | | |
|----------------------|----------------|---|
| Flammable gas | Category 1 | H220: Extremely flammable gas. |
| Gases under pressure | Compressed gas | H280: Contains gas under pressure; may explode if heated. |

2.2 Label Elements



Signal Words: Danger

Hazard Statement(s): H220: Extremely flammable gas.
H280: Contains gas under pressure; may explode if heated.

Precautionary Statement

Prevention: P210: Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking.

Response: P377: Leaking gas fire: Do not extinguish, unless leak can be stopped safely.
P381: Eliminate all ignition sources if safe to do so.

Storage: P403: Store in a well-ventilated place.

Disposal: None.

2.3 Other hazards: None.

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 08.10.2015

Version: 1.0

SDS No.: 000010021692
3/14

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1 Substances

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Chemical name | methane |
| INDEX No.: | 601-001-00-4 |
| CAS-No.: | 74-82-8 |
| EC No.: | 200-812-7 |
| REACH Registration No.: | 01-2119474442-39 |
| Purity: | 100% |

The purity of the substance in this section is used for classification only, and does not represent the actual purity of the substance as supplied, for which other documentation should be consulted.

Trade name: Methane CP Grade N2.5, Methane Low Ethylene Grade N3.5, Methane Research Grade N4.5

SECTION 4: First Aid Measures

General: In high concentrations may cause asphyxiation. Symptoms may include loss of mobility/consciousness. Victim may not be aware of asphyxiation. Remove victim to uncontaminated area wearing self contained breathing apparatus. Keep victim warm and rested. Call a doctor. Apply artificial respiration if breathing stopped.

4.1 Description of first aid measures

Inhalation: In high concentrations may cause asphyxiation. Symptoms may include loss of mobility/consciousness. Victim may not be aware of asphyxiation. Remove victim to uncontaminated area wearing self contained breathing apparatus. Keep victim warm and rested. Call a doctor. Apply artificial respiration if breathing stopped.

Eye contact: Adverse effects not expected from this product.

Skin Contact: Adverse effects not expected from this product.

Ingestion: Ingestion is not considered a potential route of exposure.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed: Respiratory arrest.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Hazards: None.

Treatment: None.

SECTION 5: Firefighting Measures

General Fire Hazards: Heat may cause the containers to explode.

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media: Water. Dry powder. Foam.

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

| | | | |
|--------------------|------------|---------------|-----------------------|
| Issue Date: | 16.01.2013 | Version: 1. 0 | SDS No.: 000010021692 |
| Last revised date: | 08.10.2015 | | 4/14 |

Unsuitable extinguishing media: Carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture: Incomplete combustion may form carbon monoxide

5.3 Advice for firefighters

Special fire fighting procedures: In case of fire: Stop leak if safe to do so. Do not extinguish flames at leak because possibility of uncontrolled explosive re-ignition exists. Continue water spray from protected position until container stays cool. Use extinguishants to contain the fire. Isolate the source of the fire or let it burn out.

Special protective equipment for firefighters: Firefighters must use standard protective equipment including flame retardant coat, helmet with face shield, gloves, rubber boots, and in enclosed spaces, SCBA. Guideline: EN 469 Protective clothing for firefighters. Performance requirements for protective clothing for firefighting. EN 15090 Footwear for firefighters. EN 659 Protective gloves for firefighters. EN 443 Helmets for fire fighting in buildings and other structures. EN 137 Respiratory protective devices - Self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus with full face mask - Requirements, testing, marking.

SECTION 6: Accidental Release Measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures: Evacuate area. Provide adequate ventilation. Consider the risk of potentially explosive atmospheres . Eliminate all ignition sources if safe to do so. Monitor the concentration of the released product. Prevent from entering sewers, basements and workpits, or any place where its accumulation can be dangerous. Wear self-contained breathing apparatus when entering area unless atmosphere is proved to be safe. EN 137 Respiratory protective devices - Self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus with full face mask - Requirements, testing, marking.

6.2 Environmental Precautions: Prevent further leakage or spillage if safe to do so.

6.3 Methods and material for containment and cleaning up: Provide adequate ventilation. Eliminate sources of ignition.

6.4 Reference to other sections: Refer to sections 8 and 13.

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 08.10.2015

Version: 1.0

SDS No.: 000010021692
5/14

SECTION 7: Handling and Storage:

7.1 Precautions for safe handling:

Only experienced and properly instructed persons should handle gases under pressure. Use only properly specified equipment which is suitable for this product, its supply pressure and temperature. Purge system with dry inert gas (e.g. helium or nitrogen) before gas is introduced and when system is placed out of service. Purge air from system before introducing gas. Containers, which contain or have contained flammable or explosive substances, must not be inerted with liquid carbon dioxide. Assess the risk of a potentially explosive atmosphere and the need for suitable equipment i.e. explosion-proof. Take precautionary measures against static discharges. Keep away from ignition sources (including static discharges). Provide electrical earthing of equipment and electrical equipment usable in explosive atmospheres. Use only non-sparking tools. Refer to supplier's handling instructions. The substance must be handled in accordance with good industrial hygiene and safety procedures. Ensure the complete system has been (or is regularly) checked for leaks before use. Protect containers from physical damage; do not drag, roll, slide or drop. Do not remove or deface labels provided by the supplier for the identification of the container contents. When moving containers, even for short distances, use appropriate equipment eg. trolley, hand truck, fork truck etc. Secure cylinders in an upright position at all times, close all valves when not in use. Provide adequate ventilation. Suck back of water into the container must be prevented. Do not allow backfeed into the container. Avoid suckback of water, acid and alkalis. Keep container below 50°C in a well ventilated place. Observe all regulations and local requirements regarding storage of containers. When using do not eat, drink or smoke. Store in accordance with local/regional/national/international regulations. Never use direct flame or electrical heating devices to raise the pressure of a container. Leave valve protection caps in place until the container has been secured against either a wall or bench or placed in a container stand and is ready for use. Damaged valves should be reported immediately to the supplier. Close container valve after each use and when empty, even if still connected to equipment. Never attempt to repair or modify container valves or safety relief devices. Replace valve outlet caps or plugs and container caps where supplied as soon as container is disconnected from equipment. Keep container valve outlets clean and free from contaminants particularly oil and water. If user experiences any difficulty operating container valve discontinue use and contact supplier. Never attempt to transfer gases from one container to another. Container valve guards or caps should be in place.

**7.2 Conditions for safe storage,
including any incompatibilities:**

All electrical equipment in the storage areas should be compatible with the risk of a potentially explosive atmosphere. Segregate from oxidant gases and other oxidants being stored. Containers should not be stored in conditions likely to encourage corrosion. Stored containers should be periodically checked for general conditions and leakage. Container valve guards or caps should be in place. Store containers in location free from fire risk and away from sources of heat and ignition. Keep away from combustible material.

7.3 Specific end use(s):

None.

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 08.10.2015

Version: 1. 0

SDS No.: 000010021692
6/14

SECTION 8: Exposure Controls/Personal Protection

8.1 Control Parameters

Occupational Exposure Limits

None of the components have assigned exposure limits.

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls:

Consider a work permit system e.g. for maintenance activities. Ensure adequate air ventilation. Provide adequate general and local exhaust ventilation. Keep concentrations well below lower explosion limits. Gas detectors should be used when quantities of flammable gases or vapours may be released. Provide adequate ventilation, including appropriate local extraction, to ensure that the defined occupational exposure limit is not exceeded. Systems under pressure should be regularly checked for leakages. Product to be handled in a closed system. Use only permanent leak tight installations (e.g. welded pipes). Take precautionary measures against static discharges.

Individual protection measures, such as personal protective equipment

General information:

A risk assessment should be conducted and documented in each work area to assess the risks related to the use of the product and to select the PPE that matches the relevant risk. The following recommendations should be considered. Keep self contained breathing apparatus readily available for emergency use. Personal protective equipment for the body should be selected based on the task being performed and the risks involved. Refer to local regulations for restriction of emissions to the atmosphere. See section 13 for specific methods for waste gas treatment. Do not eat, drink or smoke when using the product.

Eye/face protection:

Wear eye protection to EN 166 when using gases.
Guideline: EN 166 Personal Eye Protection.

Skin protection

Hand Protection:

Wear working gloves while handling containers
Guideline: EN 388 Protective gloves against mechanical risks.

Body protection:

Wear fire/flame resistant/retardant clothing.
Guideline: ISO/TR 2801:2007 Clothing for protection against heat and flame --
General recommendations for selection, care and use of protective clothing.

Other:

Wear safety shoes while handling containers
Guideline: ISO 20345 Personal protective equipment - Safety footwear.

Respiratory Protection:

Not required.

Thermal hazards:

No precautionary measures are necessary.

Hygiene measures:

Specific risk management measures are not required beyond good industrial hygiene and safety procedures. Do not eat, drink or smoke when using the product.

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013 Version: 1. 0 SDS No.: 000010021692
Last revised date: 08.10.2015 7/14

Environmental exposure controls: For waste disposal, see section 13.

SECTION 9: Physical And Chemical Properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

Appearance

| | |
|---|---|
| Physical state: | Gas |
| Form: | Compressed gas |
| Colour: | Colourless |
| Odour: | Odourless |
| Odour Threshold: | Odour threshold is subjective and is inadequate to warn of over exposure. |
| pH: | not applicable. |
| Melting Point: | -182.47 °C |
| Boiling Point: | -161.48 °C (1,013 hPa) |
| Sublimation Point: | not applicable. |
| Critical Temp. (°C): | -82.0 °C |
| Flash Point: | Not applicable to gases and gas mixtures. |
| Evaporation Rate: | Not applicable to gases and gas mixtures. |
| Flammability (solid, gas): | Flammable Gas |
| Flammability limit - upper (%): | 15 %(V) |
| Flammability limit - lower(%): | 4.4 %(V) |
| Vapour pressure: | 62,128.05 kPa (25 °C) |
| Vapour density (air=1): | 0.6 |
| Relative density: | 0.42 |
| Solubility(ies) | |
| Solubility in Water: | 22 mg/l (25 °C) |
| Partition coefficient (n-octanol/water): | 1.09 |
| Autoignition Temperature: | 595 °C |
| Decomposition Temperature: | Not known. |
| Viscosity | |
| Kinematic viscosity: | No data available. |
| Dynamic viscosity: | 0.109 mPa.s (20 °C) |
| Explosive properties: | Not applicable. |
| Oxidising Properties: | not applicable. |

9.2 Other information: None.

Molecular weight: 16.04 g/mol (CH₄)

SECTION 10: Stability and Reactivity

10.1 Reactivity: No reactivity hazard other than the effects described in sub-section below.

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

| | | | |
|--------------------|------------|---------------|-----------------------|
| Issue Date: | 16.01.2013 | Version: 1. 0 | SDS No.: 000010021692 |
| Last revised date: | 08.10.2015 | | 8/14 |

- 10.2 Chemical Stability:** Stable under normal conditions.
- 10.3 Possibility of Hazardous Reactions:** Can form a potentially explosive atmosphere in air. May react violently with oxidants.
- 10.4 Conditions to Avoid:** Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking.
- 10.5 Incompatible Materials:** Air and oxidisers. For material compatibility see latest version of ISO-11114.
- 10.6 Hazardous Decomposition Products:** Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced.

SECTION 11: Toxicological Information

General information: None.

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity - Oral Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Acute toxicity - Dermal Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Acute toxicity - Inhalation Product Not classified for acute toxicity based on available data.

methane LC 50 (Rat, 4 h): > 13023 ppm Remarks: Vapour

Repeated dose toxicity
methane NOAEC (Rat, Inhalation): 4000 ppm
LOAEC (Rat, Inhalation): 12000 ppm

Skin Corrosion/Irritation Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Serious Eye Damage/Eye Irritation Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Respiratory or Skin Sensitisation Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Germ Cell Mutagenicity Product Based on available data, the classification criteria are not met.

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013 Version: 1. 0 SDS No.: 000010021692
Last revised date: 08.10.2015 9/14

In vitro
methane Chromosome aberration (OECD Guideline 473 (In Vitro Mammalian Chromosome Aberration Test)): Negative.

In vivo
methane Drosophila Sex-Linked Recessive Lethal Assay (SLRL) test: Negative.

Carcinogenicity
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Reproductive toxicity
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Reproductive toxicity (Fertility)
methane Gestation: Rat Inhalation (OECD Guideline 422 (Combined Repeated Dose Toxicity Study with the Reproduction / Developmental Toxicity Screening Test))
NOAEC: 9,000 ppm
Fertility: Rat Inhalation (OECD Guideline 422 (Combined Repeated Dose Toxicity Study with the Reproduction / Developmental Toxicity Screening Test))
NOAEC: 3,000 ppm

Developmental toxicity (Teratogenicity)
methane Rat Inhalation (OECD Guideline 422 (Combined Repeated Dose Toxicity Study with the Reproduction / Developmental Toxicity Screening Test))
NOAEC: 9,000 ppm

Specific Target Organ Toxicity - Single Exposure
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Specific Target Organ Toxicity - Repeated Exposure
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Aspiration Hazard
Product Not applicable to gases and gas mixtures..

SECTION 12: Ecological Information

12.1 Toxicity

Acute toxicity
Product No ecological damage caused by this product.

Acute toxicity - Fish
methane LC 50 (Various (Freshwater), 96 h): 27.98 mg/l (calculated)

Acute toxicity - Aquatic Invertebrates
methane LC 50 (Water flea (Daphnia magna), 48 h): 27.14 mg/l

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 08.10.2015

Version: 1.0

SDS No.: 000010021692
10/14

Toxicity to microorganisms
methane

EC 50 (Alga, 96 h): 19.37 mg/l Not harmful to microorganisms

12.2 Persistence and Degradability
Product

Not applicable to gases and gas mixtures..

Biodegradation
methane

100 %

12.3 Bioaccumulative Potential
Product

The product is expected to biodegrade and is not expected to persist for long periods in an aquatic environment.

12.4 Mobility in Soil
Product

Because of its high volatility, the product is unlikely to cause ground or water pollution.

methane

Henry's Law Constant: 3,690 MPa (25 °C)

12.5 Results of PBT and vPvB
assessment
Product

Not classified as PBT or vPvB.

12.6 Other Adverse Effects:

Global Warming Potential

Global warming potential: 25
When discharged in large quantities may contribute to the greenhouse effect.

methane

[UN / IPCC. Greenhouse Gas Global Warming Potentials \(IPCC Fourth Assessment Report, Climate Change, Table TS.2](#)
- Global warming potential: 25 100-yr

SECTION 13: Disposal Considerations

13.1 Waste treatment methods

General information:

Do not discharge into any place where its accumulation could be dangerous. Consult supplier for specific recommendations. Do not discharge into areas where there is a risk of forming an explosive mixture with air. Waste gas should be flared through a suitable burner with flash back arrestor.

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

| | | | |
|--------------------|------------|--------------|-----------------------|
| Issue Date: | 16.01.2013 | Version: 1.0 | SDS No.: 000010021692 |
| Last revised date: | 08.10.2015 | | 11/14 |

Disposal methods: Refer to the EIGA code of practice (Doc.30 "Disposal of Gases", downloadable at <http://www.eiga.org>) for more guidance on suitable disposal methods. Dispose of container via supplier only. Discharge, treatment, or disposal may be subject to national, state, or local laws.

European Waste Codes

Container: 16 05 04*: gases in pressure containers (including halons) containing dangerous substances

| |
|--|
| SECTION 14: Transport Information |
|--|

ADR

| | |
|------------------------------------|---------------------|
| 14.1 UN Number: | UN 1971 |
| 14.2 UN Proper Shipping Name: | METHANE, COMPRESSED |
| 14.3 Transport Hazard Class(es) | |
| Class: | 2 |
| Label(s): | 2.1 |
| Hazard No. (ADR): | 23 |
| Tunnel restriction code: | (B/D) |
| Emergency Action Code: | 2SE2SE |
| 14.4 Packing Group: | - |
| 14.5 Environmental hazards: | not applicable |
| 14.6 Special precautions for user: | - |

RID

| | |
|------------------------------------|---------------------|
| 14.1 UN Number: | UN 1971 |
| 14.2 UN Proper Shipping Name | METHANE, COMPRESSED |
| 14.3 Transport Hazard Class(es) | |
| Class: | 2 |
| Label(s): | 2.1 |
| 14.4 Packing Group: | - |
| 14.5 Environmental hazards: | not applicable |
| 14.6 Special precautions for user: | - |

IMDG

| | |
|------------------------------------|---------------------|
| 14.1 UN Number: | UN 1971 |
| 14.2 UN Proper Shipping Name: | METHANE, COMPRESSED |
| 14.3 Transport Hazard Class(es) | |
| Class: | 2.1 |
| Label(s): | 2.1 |
| EmS No.: | F-D, S-U |
| 14.3 Packing Group: | - |
| 14.5 Environmental hazards: | not applicable |
| 14.6 Special precautions for user: | - |

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 08.10.2015

Version: 1.0

SDS No.: 000010021692
12/14

IATA

14.1 UN Number: UN 1971
14.2 Proper Shipping Name: Methane, compressed
14.3 Transport Hazard Class(es):
Class: 2.1
Label(s): 2.1
14.4 Packing Group: -
14.5 Environmental hazards: not applicable
14.6 Special precautions for user: -
Other information
Passenger and cargo aircraft: Forbidden.
Cargo aircraft only: Allowed.

14.7 Transport in bulk according to Annex II of MARPOL73/78 and the IBC Code: not applicable

Additional identification: Avoid transport on vehicles where the load space is not separated from the driver's compartment. Ensure vehicle driver is aware of the potential hazards of the load and knows what to do in the event of an accident or an emergency. Before transporting product containers ensure that they are firmly secured. Ensure that the container valve is closed and not leaking. Container valve guards or caps should be in place. Ensure adequate air ventilation.

SECTION 15: Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture:

EU Regulations

Directive 2004/37/EC on the protection of workers from the risks related to exposure to carcinogens and mutagens at work.:

| Chemical name | CAS-No. | Concentration |
|---------------|---------|---------------|
| methane | 74-82-8 | 100% |

Directive 92/85/EEC: on the safety and health of pregnant workers and workers who have recently given birth or are breast feeding.:

| Chemical name | CAS-No. | Concentration |
|---------------|---------|---------------|
| methane | 74-82-8 | 100% |

Directive 98/24/EC on the protection of workers from the risks related to chemical agents at work:

| Chemical name | CAS-No. | Concentration |
|---------------|---------|---------------|
| methane | 74-82-8 | 100% |

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 08.10.2015

Version: 1.0

SDS No.: 000010021692
13/14

National Regulations

Dangerous Substances and Explosive Atmospheres Regulations (DSEAR 2002 No. 2776). Management of Health and Safety at Work Regulations (1999 No. 3242). The Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005 (2005 No. 1541). Control of Substances Hazardous to Health Regulations (COSHH, 2002 No. 2677). Provision and Use of Work Equipment Regulations (PUWER, 1998 No. 2306). Personal Protective Equipment Regulations (1992 No. 2966). Control of Major Accident Hazards Regulations (COMAH, 2015 No. 483). Equipment and Protective Systems Intended for Use in Potentially Explosive Atmospheres Regulations (EPS, 1996 No. 192). Pressure Systems Safety Regulations (PSSR, 2000 No. 128). Only products that comply with the food regulations (EC) No. 1333/2008 and (EU) No. 231/2012 and are labelled as such may be used as food additives.
This Safety Data Sheet has been produced to comply with Regulation (EU) 453/2010.

15.2 Chemical safety assessment: CSA has been carried out.

SECTION 16: Other Information

Revision Information: Not relevant.

Key literature references and sources for data: Various sources of data have been used in the compilation of this SDS, they include but are not exclusive to:
Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR) (<http://www.atsdr.cdc.gov/>).
European Chemical Agency: Guidance on the Compilation of Safety Data Sheets.
European Chemical Agency: Information on Registered Substances
<http://apps.echa.europa.eu/registered/registered-sub.aspx#search>
European Industrial Gases Association (EIGA) Doc. 169 Classification and Labelling guide.
International Programme on Chemical Safety (<http://www.inchem.org/>)
ISO 10156:2010 Gases and gas mixtures - Determination of fire potential and oxidizing ability for the selection of cylinder valve outlets.
Matheson Gas Data Book, 7th Edition.
National Institute for Standards and Technology (NIST) Standard Reference Database Number 69.
The ESIS (European chemical Substances 5 Information System) platform of the former European Chemicals Bureau (ECB) ESIS (<http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/>).
The European Chemical Industry Council (CEFIC) ERICards.
United States of America's National Library of Medicine's toxicology data network TOXNET (<http://toxnet.nlm.nih.gov/index.html>)
Threshold Limit Values (TLV) from the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).
Substance specific information from suppliers.
Details given in this document are believed to be correct at the time of publication.
EH40 (as amended) Workplace exposure limits.

Wording of the R-phrases and H-statements in sections 2 and 3

| | |
|------|---|
| H220 | Extremely flammable gas. |
| H280 | Contains gas under pressure; may explode if heated. |
| R12 | Extremely flammable. |

SAFETY DATA SHEET
Methane, compressed

Issue Date: 16.01.2013 Version: 1. 0 SDS No.: 000010021692
Last revised date: 08.10.2015 14/14

Training information: Users of breathing apparatus must be trained. Ensure operators understand the flammability hazard.

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 as amended.

Flam. Gas 1, H220
Press. Gas Compr. Gas, H280

Other information: Before using this product in any new process or experiment, a thorough material compatibility and safety study should be carried out. Ensure adequate air ventilation. Ensure all national/local regulations are observed. Ensure equipment is adequately earthed. Whilst proper care has been taken in the preparation of this document, no liability for injury or damage resulting from its use can be accepted. Note: When the Product Name appears in the SDS header the decimal sign and its position comply with rules for the structure and drafting of international standards, and is a comma on the line. As an example 2,000 is two (to three decimal places) and not two thousand, whilst 1.000 is one thousand and not one (to three decimal places).

Last revised date: 08.10.2015

Disclaimer: This information is provided without warranty. The information is believed to be correct. This information should be used to make an independent determination of the methods to safeguard workers and the environment.

Carbon monoxide

Safety Data Sheet P-4576

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1979 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 05/19/2016

SECTION 1: Product and company identification

1.1. Product identifier

Product form : Substance
 Name : Carbon monoxide
 CAS No : 630-08-0
 Formula : CO

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Use of the substance/mixture : Industrial use. Use as directed.

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Praxair, Inc.
 10 Riverview Drive
 Danbury, CT 06810-6268 - USA
 T 1-800-772-9247 (1-800-PRAXAIR) - F 1-716-879-2146
www.praxair.com

1.4. Emergency telephone number

Emergency number : Onsite Emergency: 1-800-645-4633

CHEMTREC, 24hr/day 7days/week
 — Within USA: 1-800-424-9300, Outside USA: 001-703-527-3887
 (collect calls accepted, Contract 17729)

SECTION 2: Hazard identification

2.1. Classification of the substance or mixture

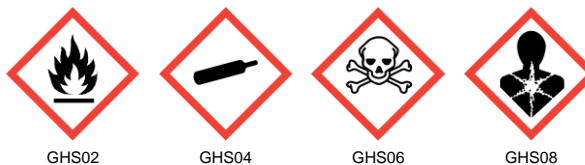
GHS-US classification

Flam. Gas 1 H220
 Compressed gas H280
 Acute Tox. 3 (Inhalation:gas) H331
 Repr. 1A H360
 STOT RE 1 H372

2.2. Label elements

GHS-US labeling

Hazard pictograms (GHS-US) :



Signal word (GHS-US) : DANGER

Hazard statements (GHS-US) :

- H220 - **EXTREMELY FLAMMABLE GAS**
- H280 - CONTAINS GAS UNDER PRESSURE; MAY EXPLODE IF HEATED
- H331 - TOXIC IF INHALED
- H360 - MAY DAMAGE FERTILITY OR THE UNBORN CHILD
- H372 - CAUSES DAMAGE TO ORGANS (CENTRAL NERVOUS SYSTEM) THROUGH PROLONGED OR REPEATED EXPOSURE
- CGA-HG04 - MAY FORM EXPLOSIVE MIXTURES WITH AIR
- CGA-HG10 - ASPHYXIATING EVEN WITH ADEQUATE OXYGEN

Precautionary statements (GHS-US) :

- P202 - Do not handle until all safety precautions have been read and understood
- P210 - Keep away from Heat, Open flames, Sparks, Hot surfaces. - No smoking
- P260 - Do not breathe gas
- P271+P403 - Use and store only outdoors or in a well-ventilated place
- P280 - Wear protective clothing, protective gloves, eye protection, face protection
- P377 - Leaking gas fire: Do not extinguish, unless leak can be stopped safely

Carbon monoxide

Safety Data Sheet P-4576

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1979 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 05/19/2016

P381 - Eliminate all ignition sources if safe to do so
 P405 - Store locked up
 P501 - Dispose of contents/container in accordance with container Supplier/owner instructions
 CGA-PG05 - Use a back flow preventive device in the piping
 CGA-PG12 - Do not open valve until connected to equipment prepared for use
 CGA-PG06 - Close valve after each use and when empty
 CGA-PG02 - Protect from sunlight when ambient temperature exceeds 52°C (125°F)

2.3. Other hazards

Other hazards not contributing to the classification : Chemical asphyxiant. Exposure to low concentrations for extended periods may result in dizziness or unconsciousness, and may lead to death.

2.4. Unknown acute toxicity (GHS US)

No data available

SECTION 3: Composition/Information on ingredients

3.1. Substance

| Name | Product identifier | % |
|---------------------------------------|--------------------|-----|
| Carbon monoxide (Main constituent) | (CAS No) 630-08-0 | 100 |

3.2. Mixture

Not applicable

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

First-aid measures after inhalation : Remove to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, trained personnel should give oxygen. Call a physician.

First-aid measures after skin contact : Wash with plenty of soap and water. If skin irritation occurs: Get medical advice/attention.

First-aid measures after eye contact : Immediately flush eyes thoroughly with water for at least 15 minutes. Hold the eyelids open and away from the eyeballs to ensure that all surfaces are flushed thoroughly. Contact an ophthalmologist immediately.. If eye irritation persists: Get immediate medical attention.

First-aid measures after ingestion : Not expected to be a primary route of exposure.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Symptoms/injuries : Effects are due to lack of oxygen. Moderate concentrations may cause headache, drowsiness, dizziness, excitation, excess salivation, vomiting, and unconsciousness. Prolonged exposure to low concentrations of carbon monoxide can kill.

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

No additional information available

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media : Carbon dioxide, Dry chemical, Water spray or fog.

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Fire hazard : **EXTREMELY FLAMMABLE GAS.** Carbon monoxide cannot be detected by odor. May form explosive mixtures with air. Toxic, flammable gas may spread. Before entering area, especially a confined area, check atmosphere with an appropriate gas-specific device. Reduce gas with fog or fine water spray. Shut off source of gas flow if safe to do so. Ventilate area or move container to a well-ventilated area.

Explosion hazard : **EXTREMELY FLAMMABLE GAS.** Forms explosive mixtures with air and oxidizing agents.

Reactivity : No reactivity hazard other than the effects described in sub-sections below.

Carbon monoxide

Safety Data Sheet P-4576

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1979 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 05/19/2016

5.3. Advice for firefighters

| | |
|--|--|
| Firefighting instructions | : Evacuate all personnel from the danger area. Use self-contained breathing apparatus (SCBA) and protective clothing. Immediately cool containers with water from maximum distance. Stop flow of gas if safe to do so, while continuing cooling water spray. Remove ignition sources if safe to do so. Remove containers from area of fire if safe to do so. On-site fire brigades must comply with OSHA 29 CFR 1910.156 and applicable standards under 29 CFR 1910 Subpart L—Fire Protection. |
| Protection during firefighting | : Compressed gas: asphyxiant. Suffocation hazard by lack of oxygen. |
| Special protective equipment for fire fighters | : Standard protective clothing and equipment (Self Contained Breathing Apparatus) for fire fighters. |
| Specific methods | : If venting or leaking gas catches fire, do not extinguish flames. Flammable vapors may spread from leak, creating an explosive reignition hazard. Vapors can be ignited by pilot lights, other flames, smoking, sparks, heaters, electrical equipment, static discharge, or other ignition sources at locations distant from product handling point. Explosive atmospheres may linger. Before entering an area, especially a confined area, check the atmosphere with an appropriate device. |
| Other information | : Containers are equipped with a pressure relief device. (Exceptions may exist where authorized by DOT.). |

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

| | |
|------------------|---|
| General measures | : Cannot be detected by odor. DANGER: Flammable, liquefied gas. FORMS EXPLOSIVE MIXTURES WITH AIR. Immediately evacuate all personnel from danger area. Use self-contained breathing apparatus where needed. Remove all sources of ignition if safe to do so. Reduce vapors with fog or fine water spray, taking care not to spread liquid with water. Shut off flow if safe to do so. Ventilate area or move container to a well-ventilated area. Flammable vapors may spread from leak and could explode if reignited by sparks or flames. Explosive atmospheres may linger. Before entering area, especially confined areas, check atmosphere with an appropriate device. |
|------------------|---|

6.1.1. For non-emergency personnel

No additional information available

6.1.2. For emergency responders

No additional information available

6.2. Environmental precautions

Prevent waste from contaminating the surrounding environment. Prevent soil and water pollution. Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations. Contact supplier for any special requirements.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

No additional information available

6.4. Reference to other sections

See also sections 8 and 13.

Carbon monoxide

Safety Data Sheet P-4576

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1979 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 05/19/2016

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

- Precautions for safe handling :
- Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking. Use only non-sparking tools. Use only explosion-proof equipment
 - Use in a closed system
 - Avoid using pure nickel. Corrosion of pure nickel in carbon monoxide atmospheres exceeds 50 mil/yr (1.27 mm/yr) at room temperature
 - Wear leather safety gloves and safety shoes when handling cylinders. Protect cylinders from physical damage; do not drag, roll, slide or drop. While moving cylinder, always keep in place removable valve cover. Never attempt to lift a cylinder by its cap; the cap is intended solely to protect the valve. When moving cylinders, even for short distances, use a cart (trolley, hand truck, etc.) designed to transport cylinders. Never insert an object (e.g. wrench, screwdriver, pry bar) into cap openings; doing so may damage the valve and cause a leak. Use an adjustable strap wrench to remove over-tight or rusted caps. Slowly open the valve. If the valve is hard to open, discontinue use and contact your supplier. Close the container valve after each use; keep closed even when empty. Never apply flame or localized heat directly to any part of the container. High temperatures may damage the container and could cause the pressure relief device to fail prematurely, venting the container contents. For other precautions in using this product, see section 16.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

- Storage conditions :
- Store only where temperature will not exceed 125°F (52°C). Post “No Smoking/No Open Flames” signs in storage and use areas. There must be no sources of ignition. Separate packages and protect against potential fire and/or explosion damage following appropriate codes and requirements (e.g. NFPA 30, NFPA 55, NFPA 70, and/or NFPA 221 in the U.S.) or according to requirements determined by the Authority Having Jurisdiction (AHJ). Always secure containers upright to keep them from falling or being knocked over. Install valve protection cap, if provided, firmly in place by hand when the container is not in use. Store full and empty containers separately. Use a first-in, first-out inventory system to prevent storing full containers for long periods. For other precautions in using this product, see section 16

OTHER PRECAUTIONS FOR HANDLING, STORAGE, AND USE: When handling product under pressure, use piping and equipment adequately designed to withstand the pressures to be encountered. Never work on a pressurized system. Use a back flow preventive device in the piping. Gases can cause rapid suffocation because of oxygen deficiency; store and use with adequate ventilation. If a leak occurs, close the container valve and blow down the system in a safe and environmentally correct manner in compliance with all international, federal/national, state/provincial, and local laws; then repair the leak. Never place a container where it may become part of an electrical circuit.

7.3. Specific end use(s)

None.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

| Carbon monoxide (630-08-0) | | |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| ACGIH | ACGIH TLV-TWA (ppm) | 25 ppm |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (mg/m ³) | 55 mg/m ³ |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (ppm) | 50 ppm |
| USA IDLH | US IDLH (ppm) | 1200 ppm |

8.2. Exposure controls

- Appropriate engineering controls :
- Use an explosion-proof local exhaust system with sufficient flow velocity to maintain an adequate supply of air in the worker's breathing zone. Mechanical/General measures: Use in a closed system.
- Hand protection :
- Wear working gloves when handling gas containers.
- Eye protection :
- Wear safety glasses with side shields.

Carbon monoxide

Safety Data Sheet P-4576

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1979 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 05/19/2016

| | |
|---------------------------------|--|
| Skin and body protection | : Wear metatarsal shoes and work gloves for cylinder handling, and protective clothing where needed. Wear appropriate chemical gloves during cylinder changeout or wherever contact with product is possible. Select per OSHA 29 CFR 1910.132, 1910.136, and 1910.138. |
| Respiratory protection | : When workplace conditions warrant respirator use, follow a respiratory protection program that meets OSHA 29 CFR 1910.134, ANSI Z88.2, or MSHA 30 CFR 72.710 (where applicable). Use an air-supplied or air-purifying cartridge if the action level is exceeded. Ensure that the respirator has the appropriate protection factor for the exposure level. If cartridge type respirators are used, the cartridge must be appropriate for the chemical exposure. For emergencies or instances with unknown exposure levels, use a self-contained breathing apparatus (SCBA). |
| Environmental exposure controls | : Refer to local regulations for restriction of emissions to the atmosphere. |
| Other information | : Consider the use of flame resistant anti-static safety clothing. |

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

| | |
|---|--------------------------------------|
| Physical state | : Gas |
| Appearance | : Colorless, odorless gas. |
| Molecular mass | : 28 g/mol |
| Color | : Colorless |
| Odor | : Odorless. |
| Odor threshold | : No data available |
| pH | : Not applicable. |
| Relative evaporation rate (butyl acetate=1) | : No data available |
| Relative evaporation rate (ether=1) | : Not applicable. |
| Melting point | : -205.1 °C |
| Freezing point | : No data available |
| Boiling point | : -191.5 °C |
| Flash point | : Not applicable. |
| Critical temperature | : -139.8 °C |
| Auto-ignition temperature | : 605 °C |
| Decomposition temperature | : 400 °C |
| Flammability (solid, gas) | : 12.5 - 74 vol % |
| Vapor pressure | : Not applicable. |
| Critical pressure | : 3499 kPa |
| Relative vapor density at 20 °C | : No data available |
| Relative density | : No data available |
| Density | : 1.2501 kg/m ³ (at 0 °C) |
| Relative gas density | : 1 |
| Solubility | : Water: 41 g/l (at 20 °C) |
| Log Pow | : 1.78 |
| Log Kow | : Not applicable. |
| Viscosity, kinematic | : Not applicable. |
| Viscosity, dynamic | : Not applicable. |
| Explosive properties | : Not applicable. |
| Oxidizing properties | : None. |
| Explosion limits | : No data available |

9.2. Other information

| | |
|------------------------|------------------|
| Gas group | : Compressed gas |
| Additional information | : None |

Carbon monoxide

Safety Data Sheet P-4576

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1979 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 05/19/2016

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1. Reactivity

No reactivity hazard other than the effects described in sub-sections below.

10.2. Chemical stability

Stable under normal conditions.

10.3. Possibility of hazardous reactions

May occur. Can form explosive mixture with air. Oxidizing agents.

10.4. Conditions to avoid

Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces. – No smoking.

10.5. Incompatible materials

Oxidizing agents, Oxygen, Flammables, Metal oxides, halogenated fluorides, metals in the presence of moisture and/or sulfur compounds.

10.6. Hazardous decomposition products

Carbon monoxide will decompose above 752°F (400°C) to form carbon dioxide and carbon.

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity : Inhalation:gas: TOXIC IF INHALED.

| Carbon monoxide (1f)630-08-0 | |
|--------------------------------|------------------|
| LC50 inhalation rat (ppm) | 1880 ppm/4h |
| ATE US (gases) | 1880.000 ppmV/4h |

Skin corrosion/irritation : Not classified

pH: Not applicable.

Serious eye damage/irritation : Not classified

pH: Not applicable.

Respiratory or skin sensitization : Not classified

Germ cell mutagenicity : Not classified

Carcinogenicity : Not classified

Reproductive toxicity : MAY DAMAGE FERTILITY OR THE UNBORN CHILD.

Specific target organ toxicity (single exposure) : Not classified

Specific target organ toxicity (repeated exposure) : CAUSES DAMAGE TO ORGANS (CENTRAL NERVOUS SYSTEM) THROUGH PROLONGED OR REPEATED EXPOSURE.

Aspiration hazard : Not classified

SECTION 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Ecology - general : Classification criteria are not met. No ecological damage caused by this product.

12.2. Persistence and degradability

| Carbon monoxide (630-08-0) | |
|-------------------------------|---|
| Persistence and degradability | Will not undergo hydrolysis. Not readily biodegradable. Not applicable for inorganic gases. |

12.3. Bioaccumulative potential

| Carbon monoxide (630-08-0) | |
|----------------------------|---|
| Log Pow | 1.78 |
| Log Kow | Not applicable. |
| Bioaccumulative potential | Not expected to bioaccumulate due to the low log Kow (log Kow < 4). Refer to section 9. |

Carbon monoxide

Safety Data Sheet P-4576

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1979 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 05/19/2016

12.4. Mobility in soil

| Carbon monoxide (630-08-0) | |
|----------------------------|---|
| Mobility in soil | No data available. |
| Ecology - soil | Because of its high volatility, the product is unlikely to cause ground or water pollution. |

12.5. Other adverse effects

| | |
|----------------------------------|--------|
| Effect on ozone layer | : None |
| Global warming potential [CO2=1] | : 1.9 |

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Waste disposal recommendations : Do not attempt to dispose of residual or unused quantities. Return container to supplier.

SECTION 14: Transport information

In accordance with DOT

| | |
|--------------------------------|---|
| Transport document description | : UN1016 Carbon monoxide, compressed, 2.3 |
| UN-No.(DOT) | : UN1016 |
| Proper Shipping Name (DOT) | : Carbon monoxide, compressed |
| Class (DOT) | : 2.3 - Class 2.3 - Poisonous gas 49 CFR 173.115 |
| Hazard labels (DOT) | : Poison Gas 2.3 - Poison gas 2.1 - Flammable gas |



DOT Special Provisions (49 CFR 172.102) : 4 - This material is poisonous by inhalation (see 171.8 of this subchapter) in Hazard Zone D (see 173.116(a) of this subchapter), and must be described as an inhalation hazard under the provisions of this subchapter

Additional information

| | |
|---------------------------------------|--|
| Emergency Response Guide (ERG) Number | : 119 (UN1016);168 (NA9202) |
| Other information | : No supplementary information available. |
| Special transport precautions | : Avoid transport on vehicles where the load space is not separated from the driver's compartment. Ensure vehicle driver is aware of the potential hazards of the load and knows what to do in the event of an accident or an emergency. Before transporting product containers: - Ensure there is adequate ventilation. - Ensure that containers are firmly secured. - Ensure cylinder valve is closed and not leaking. - Ensure valve outlet cap nut or plug (where provided) is correctly fitted. - Ensure valve protection device (where provided) is correctly fitted. |

Transport by sea

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| UN-No. (IMDG) | : 1016 |
| Proper Shipping Name (IMDG) | : CARBON MONOXIDE, COMPRESSED |
| Class (IMDG) | : 2 - Gases |
| MFAG-No | : 119 |

Air transport

| | |
|-----------------------------|---|
| UN-No. (IATA) | : 1016 |
| Proper Shipping Name (IATA) | : Carbon monoxide, compressed |
| Class (IATA) | : 2 |
| Civil Aeronautics Law | : Gases under pressure/Gases toxic under pressure |

Carbon monoxide

Safety Data Sheet P-4576

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1979 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 05/19/2016

SECTION 15: Regulatory information

15.1. US Federal regulations

Carbon monoxide (630-08-0)

Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory

| | |
|-------------------------------------|--|
| SARA Section 311/312 Hazard Classes | Immediate (acute) health hazard Delayed (chronic) health hazard Sudden release of pressure hazard Fire hazard |
|-------------------------------------|--|

All components of this product are listed on the Toxic Substances Control Act (TSCA) inventory.

This product or mixture does not contain a toxic chemical or chemicals in excess of the applicable de minimis concentration as specified in 40 CFR §372.38(a) subject to the reporting requirements of section 313 of Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 and 40 CFR Part 372.

15.2. International regulations

CANADA

Carbon monoxide (630-08-0)

Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List)

EU-Regulations

Carbon monoxide (630-08-0)

Listed on the EEC inventory EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances)

15.2.2. National regulations

Carbon monoxide (630-08-0)

Listed on the AICS (Australian Inventory of Chemical Substances)
 Listed on IECSC (Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China)
 Listed on the Japanese ENCS (Existing & New Chemical Substances) inventory
 Listed on the Korean ECL (Existing Chemicals List)
 Listed on NZIoC (New Zealand Inventory of Chemicals)
 Listed on PICCS (Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances)
 Listed on the Canadian IDL (Ingredient Disclosure List)
 Listed on INSQ (Mexican National Inventory of Chemical Substances)

15.3. US State regulations

Carbon monoxide(630-08-0)

| | |
|---|--|
| U.S. - California - Proposition 65 - Carcinogens List | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Developmental Toxicity | Yes |
| U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Female | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Male | No |
| State or local regulations | U.S. - Massachusetts - Right To Know List U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) - Environmental Hazard List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List |

California Proposition 65 - This product contains, or may contain, trace quantities of a substance(s) known to the state of California to cause cancer, developmental and/or reproductive harm

Carbon monoxide

Safety Data Sheet P-4576

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
 Date of issue: 01/01/1979 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 05/19/2016

SECTION 16: Other information

Other information

: Prior to using any plastics, confirm their compatibility with this chemical

When you mix two or more chemicals, you can create additional, unexpected hazards. Obtain and evaluate the safety information for each component before you produce the mixture. Consult an industrial hygienist or other trained person when you evaluate the end product. Before using any plastics, confirm their compatibility with this product

Praxair asks users of this product to study this SDS and become aware of the product hazards and safety information. To promote safe use of this product, a user should (1) notify employees, agents, and contractors of the information in this SDS and of any other known product hazards and safety information, (2) furnish this information to each purchaser of the product, and (3) ask each purchaser to notify its employees and customers of the product hazards and safety information

The opinions expressed herein are those of qualified experts within Praxair, Inc. We believe that the information contained herein is current as of the date of this Safety Data Sheet. Since the use of this information and the conditions of use are not within the control of Praxair, Inc, it is the user's obligation to determine the conditions of safe use of the product

Praxair SDSs are furnished on sale or delivery by Praxair or the independent distributors and suppliers who package and sell our products. To obtain current SDSs for these products, contact your Praxair sales representative, local distributor, or supplier, or download from www.praxair.com. If you have questions regarding Praxair SDSs, would like the document number and date of the latest SDS, or would like the names of the Praxair suppliers in your area, phone or write the Praxair Call Center (Phone: 1-800-PRAXAIR/1-800-772-9247; Address: Praxair Call Center, Praxair, Inc, P.O. Box 44, Tonawanda, NY 14151-0044)

PRAXAIR and the Flowing Airstream design are trademarks or registered trademarks of Praxair Technology, Inc. in the United States and/or other countries.

NFPA health hazard

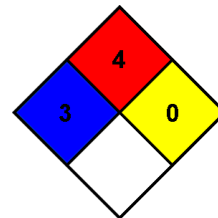
: 3 - Short exposure could cause serious temporary or residual injury even though prompt medical attention was given.

NFPA fire hazard

: 4 - Will rapidly or completely vaporize at normal pressure and temperature, or is readily dispersed in air and will burn readily.

NFPA reactivity

: 0 - Normally stable, even under fire exposure conditions, and are not reactive with water.



HMIS III Rating

Health : 1 Slight Hazard - Irritation or minor reversible injury possible
 Flammability : 4 Severe Hazard
 Physical : 3 Serious Hazard

SDS US (GHS HazCom 2012) - Praxair

This information is based on our current knowledge and is intended to describe the product for the purposes of health, safety and environmental requirements only. It should not therefore be construed as guaranteeing any specific property of the product.

SECTION: 1. Product and company identification

1.1. Product identifier

| | |
|-------------------------------|---|
| Product form | : Substance |
| Name | : Carbon dioxide |
| CAS No | : 124-38-9 |
| Formula | : CO ₂ |
| Other means of identification | : Medipure® Carbon Dioxide, Extendapak® EX-2, Refrigerant gas R744, carbonic anhydride, carbonic acid gas |

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

| | |
|------------------------------|------------------------------------|
| Use of the substance/mixture | : Industrial use. Use as directed. |
|------------------------------|------------------------------------|

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Praxair, Inc.
10 Riverview Drive
Danbury, CT 06810-6268 - USA
T 1-800-772-9247 (1-800-PRAXAIR) - F 1-716-879-2146
www.praxair.com

1.4. Emergency telephone number

| | |
|------------------|------------------------------------|
| Emergency number | : Onsite Emergency: 1-800-645-4633 |
|------------------|------------------------------------|

CHEMTREC, 24hr/day 7days/week
— Within USA: 1-800-424-9300, Outside USA: 001-703-527-3887
(collect calls accepted, Contract 17729)

SECTION 2: Hazard identification

2.1. Classification of the substance or mixture

GHS-US classification

Liquefied gas H280

2.2. Label elements

GHS-US labeling

Hazard pictograms (GHS-US)



GHS04

Signal word (GHS-US)

: WARNING

Hazard statements (GHS-US)

: H280 - CONTAINS GAS UNDER PRESSURE; MAY EXPLODE IF HEATED
OSHA-H01 - MAY DISPLACE OXYGEN AND CAUSE RAPID SUFFOCATION
CGA-HG01 - MAY CAUSE FROSTBITE
CGA-HG03 - MAY INCREASE RESPIRATION AND HEART RATE

Precautionary statements (GHS-US)

: P202 - Do not handle until all safety precautions have been read and understood
P261 - Avoid breathing gas
P262 - Do not get in eyes, on skin, or on clothing
P271+P403 - Use and store only outdoors or in a well-ventilated place
CGA-PG05 - Use a back flow preventive device in the piping
CGA-PG10 - Use only with equipment rated for cylinder pressure
CGA-PG06 - Close valve after each use and when empty
CGA-PG02 - Protect from sunlight when ambient temperature exceeds 52°C (125°F)

2.3. Other hazards

Other hazards not contributing to the classification

: Asphyxiant in high concentrations

Contact with liquid may cause cold burns/frostbite

WARNING: Concentration levels of carbon dioxide above about 1 percent are dangerous. Praxair recommends continuous monitoring with alarms to indicate unsafe conditions before and during potential personnel exposure. Use appropriate monitoring devices to ensure a safe oxygen level (minimum of 19.5 percent) and a safe carbon dioxide level.

2.4. Unknown acute toxicity (GHS US)

No data available

SECTION 3: Composition/Information on ingredients

3.1. Substance

Name : Carbon dioxide

CAS No : 124-38-9

| Name | Product identifier | % |
|----------------|--------------------|------------|
| Carbon dioxide | (CAS No) 124-38-9 | 99.5 - 100 |

3.2. Mixture

Not applicable

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

First-aid measures after inhalation : Remove to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. . If not breathing, give artificial respiration, with supplemental oxygen given by qualified personnel. If breathing is difficult, qualified personnel should give oxygen. Call a physician.

First-aid measures after skin contact : MAY CAUSE FROSTBITE. For exposure to liquid, cold vapor, or solid carbon dioxide (dry ice), immediately warm frostbite area with warm water not to exceed 41°C (105°F). Water temperature should be tolerable to normal skin. Maintain skin warming for at least 15 minutes or until normal coloring and sensation have returned to the affected area. In case of massive exposure, remove clothing while showering with warm water. Seek medical evaluation and treatment as soon as possible.

First-aid measures after eye contact : Immediately flush eyes thoroughly with water for at least 15 minutes. Hold the eyelids open and away from the eyeballs to ensure that all surfaces are flushed thoroughly. Contact an ophthalmologist immediately.

First-aid measures after ingestion : Ingestion is not considered a potential route of exposure.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

No additional information available

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

None.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media : Use extinguishing media appropriate for surrounding fire.

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Explosion hazard : Heat of fire can build pressure in container and cause it to rupture. Containers are equipped with a pressure relief device. (Exceptions may exist where authorized by DOT.) No part of the container should be subjected to a temperature higher than 125°F (52°C).

Reactivity : No reactivity hazard other than the effects described in sub-sections below.

Carbon dioxide

Safety Data Sheet P-4574

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 07/19/2016

5.3. Advice for firefighters

Firefighting instructions

: **WARNING! Liquid and gas under pressure.**

Evacuate all personnel from the danger area. Use self-contained breathing apparatus (SCBA) and protective clothing. Immediately cool containers with water from maximum distance. Stop flow of gas if safe to do so, while continuing cooling water spray. Remove ignition sources if safe to do so. Remove containers from area of fire if safe to do so. On-site fire brigades must comply with OSHA 29 CFR 1910.156 and applicable standards under 29 CFR 1910 Subpart L—Fire Protection.

Other information

: Containers are equipped with a pressure relief device. (Exceptions may exist where authorized by DOT [U.S.] or TC [Canada].)

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

General measures

: **WARNING! Liquid and gas under pressure.. Rapid release of gaseous carbon dioxide through a pressure relief device (PRD) or valve can result in the formation of dry ice, which is very cold and can cause frostbite..**

6.1.1. For non-emergency personnel

No additional information available

6.1.2. For emergency responders

No additional information available

6.2. Environmental precautions

Try to stop release.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

For containment

: Prevent waste from contaminating the surrounding environment. Discard any product, residue, disposable container, or liner in an environmentally acceptable manner, in full compliance with federal, provincial, and local regulations. If necessary, call your local supplier for assistance.

6.4. Reference to other sections

See also sections 8 and 13.

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Precautions for safe handling

: Avoid breathing gas

Do not get in eyes, on skin, or on clothing

This gas is heavier than air and in an enclosed space tends to accumulate near the floor, displacing air and pushing it upward. This creates an oxygen-deficient atmosphere near the floor. Ventilate space before entry. Verify sufficient oxygen concentration

WARNING: Concentration levels of carbon dioxide above about 1 percent are dangerous. Praxair recommends continuous monitoring with alarms to indicate unsafe conditions before and during potential personnel exposure. Use appropriate monitoring devices to ensure a safe oxygen level (minimum of 19.5 percent) and a safe carbon dioxide level

Wear leather safety gloves and safety shoes when handling cylinders. Protect cylinders from physical damage; do not drag, roll, slide or drop. While moving cylinder, always keep in place removable valve cover. Never attempt to lift a cylinder by its cap; the cap is intended solely to protect the valve. When moving cylinders, even for short distances, use a cart (trolley, hand truck, etc.) designed to transport cylinders. Never insert an object (e.g. wrench, screwdriver, pry bar) into cap openings; doing so may damage the valve and cause a leak. Use an adjustable strap wrench to remove over-tight or rusted caps. Slowly open the valve. If the valve is hard to open, discontinue use and contact your supplier. Close the container valve after each use; keep closed even when empty. Never apply flame or localized heat directly to any part of the container. High temperatures may damage the container and could cause the pressure relief device to fail prematurely, venting the container contents. For other precautions in using this product, see section 16.

Carbon dioxide

Safety Data Sheet P-4574

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
 Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 07/19/2016

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Storage conditions : Store in a cool, well-ventilated place. Store and use with adequate ventilation. Store only where temperature will not exceed 125°F (52°C). Firmly secure containers upright to keep them from falling or being knocked over. Install valve protection cap, if provided, firmly in place by hand. Store full and empty containers separately. Use a first-in, first-out inventory system to prevent storing full containers for long periods

This gas is heavier than air and in an enclosed space tends to accumulate near the floor, displacing air and pushing it upward. This creates an oxygen-deficient atmosphere near the floor. Ventilate space before entry. Verify sufficient oxygen concentration.

7.3. Specific end use(s)

None.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

| Carbon dioxide (124-38-9) | | |
|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| ACGIH | ACGIH TLV-TWA (ppm) | 5000 ppm |
| ACGIH | ACGIH TLV-STEL (ppm) | 30000 ppm |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (mg/m ³) | 9000 mg/m ³ |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (ppm) | 5000 ppm |
| USA IDLH | US IDLH (ppm) | 40000 ppm |
| ACGIH | Not established | |
| USA OSHA | Not established | |

| Carbon dioxide (124-38-9) | | |
|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| ACGIH | ACGIH TLV-TWA (ppm) | 5000 ppm |
| ACGIH | ACGIH TLV-STEL (ppm) | 30000 ppm |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (mg/m ³) | 9000 mg/m ³ |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (ppm) | 5000 ppm |

8.2. Exposure controls

- Appropriate engineering controls : Use a local exhaust system with sufficient flow velocity to maintain an adequate supply of air in the worker's breathing zone. Mechanical (general): General exhaust ventilation may be acceptable if it can maintain an adequate supply of air. **WARNING: Concentration levels of carbon dioxide above about 1 percent are dangerous.** Praxair recommends continuous monitoring with alarms to indicate unsafe conditions before and during potential personnel exposure. Use appropriate monitoring devices to ensure a safe oxygen level (minimum of 19.5 percent) and a safe carbon dioxide level.
- Materials for protective clothing : Wear work gloves and metatarsal shoes for cylinder handling. Protective equipment where needed. Select in accordance with OSHA 29 CFR 1910.132, 1910.136, and 1910.138.
- Eye protection : Wear safety glasses when handling cylinders; vapor-proof goggles and a face shield during cylinder changeout or whenever contact with product is possible. Select eye protection in accordance with OSHA 29 CFR 1910.133.
- Skin and body protection : As needed for welding, wear hand, head, and body protection to help prevent injury from radiation and sparks. (See ANSI Z49.1.) At a minimum, this includes welder's gloves and protective goggles, and may include arm protectors, aprons, hats, and shoulder protection as well as substantial clothing.
- Respiratory protection : When workplace conditions warrant respirator use, follow a respiratory protection program that meets OSHA 29 CFR 1910.134, ANSI Z88.2, or MSHA 30 CFR 72.710 (where applicable). Use an air-supplied or air-purifying cartridge if the action level is exceeded. Ensure that the respirator has the appropriate protection factor for the exposure level. If cartridge type respirators are used, the cartridge must be appropriate for the chemical exposure. For emergencies or instances with unknown exposure levels, use a self-contained breathing apparatus (SCBA).
- Thermal hazard protection : Wear cold insulating gloves when transfilling or breaking transfer connections.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

| | |
|---|--|
| Physical state | : Gas |
| Appearance | : Colorless gas. |
| Molecular mass | : 44 g/mol |
| Color | : Colorless. |
| Odor | : Odorless. |
| Odor threshold | : No data available |
| pH | : 3.7 (carbonic acid) |
| Relative evaporation rate (butyl acetate=1) | : No data available |
| Relative evaporation rate (ether=1) | : Not applicable. |
| Melting point | : No data available |
| Freezing point | : No data available |
| Boiling point | : -78.5 °C (-109.3°F) |
| Flash point | : No data available |
| Critical temperature | : 31 °C (87.7°F) |
| Auto-ignition temperature | : No data available |
| Decomposition temperature | : No data available |
| Flammability (solid, gas) | : No data available |
| Vapor pressure | : 57.3 bar (831 psig) |
| Critical pressure | : 73.7 bar (1069 psig) |
| Relative vapor density at 20 °C | : 762 |
| Relative density | : 1.22 |
| Relative gas density | : 1.52 |
| Solubility | : Water: 2000 mg/l Completely soluble. |
| Log Pow | : 0.83 |
| Log Kow | : Not applicable. |
| Viscosity, kinematic | : Not applicable. |
| Viscosity, dynamic | : Not applicable. |
| Explosive properties | : Not applicable. |
| Oxidizing properties | : None. |
| Explosion limits | : No data available |

9.2. Other information

| | |
|------------------------|--|
| Gas group | : Liquefied gas |
| Additional information | : Gas/vapor heavier than air. May accumulate in confined spaces, particularly at or below ground level |

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1. Reactivity

No reactivity hazard other than the effects described in sub-sections below.

10.2. Chemical stability

Stable under normal conditions.

10.3. Possibility of hazardous reactions

None.

10.4. Conditions to avoid

None under recommended storage and handling conditions (see section 7).

10.5. Incompatible materials

Alkali metals, Alkaline earth metals, Acetylide forming metals, Chromium, Titanium > 1022°F (550°C), Uranium (U) > 1382°F (750°C), Magnesium > 1427°F (775°C).

10.6. Hazardous decomposition products

Electrical discharges and high temperatures decompose carbon dioxide into carbon monoxide and oxygen. The welding process may generate hazardous fumes and gases.

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

| | |
|--|------------------|
| Acute toxicity | : Not classified |
| Skin corrosion/irritation | : Not classified |
| Serious eye damage/irritation | : Not classified |
| Respiratory or skin sensitization | : Not classified |
| Germ cell mutagenicity | : Not classified |
| Carcinogenicity | : Not classified |
| Reproductive toxicity | : Not classified |
| Specific target organ toxicity (single exposure) | : Not classified |
| Specific target organ toxicity (repeated exposure) | : Not classified |
| Aspiration hazard | : Not classified |

SECTION 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Ecology - general : No ecological damage caused by this product.

12.2. Persistence and degradability

| Carbon dioxide (124-38-9) | |
|-------------------------------|--|
| Persistence and degradability | No ecological damage caused by this product. |
| Carbon dioxide (124-38-9) | |
| Persistence and degradability | No ecological damage caused by this product. |

12.3. Bioaccumulative potential

| Carbon dioxide (124-38-9) | |
|---------------------------|--|
| BCF fish 1 | (no bioaccumulation) |
| Log Pow | 0.83 |
| Log Kow | Not applicable. |
| Bioaccumulative potential | No ecological damage caused by this product. |
| Carbon dioxide (124-38-9) | |
| BCF fish 1 | (no bioaccumulation) |
| Log Pow | 0.83 |
| Log Kow | Not applicable. |
| Bioaccumulative potential | No ecological damage caused by this product. |

12.4. Mobility in soil

| Carbon dioxide (124-38-9) | |
|---------------------------|--|
| Mobility in soil | No data available. |
| Ecology - soil | No ecological damage caused by this product. |
| Carbon dioxide (124-38-9) | |
| Mobility in soil | No data available. |
| Ecology - soil | No ecological damage caused by this product. |

Carbon dioxide

Safety Data Sheet P-4574

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
 Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 07/19/2016

12.5. Other adverse effects

Effect on ozone layer : None
 Global warming potential [CO2=1] : 1
 Effect on the global warming : When discharged in large quantities may contribute to the greenhouse effect

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Waste treatment methods : May be vented to atmosphere in a well ventilated place. Discharge to atmosphere in large quantities should be avoided. Do not discharge into any place where its accumulation could be dangerous. Contact supplier if guidance is required.
 Waste disposal recommendations : Do not attempt to dispose of residual or unused quantities. Return container to supplier.

SECTION 14: Transport information

In accordance with DOT
 Transport document description : UN1013 Carbon dioxide, 2.2
 UN-No.(DOT) : UN1013
 Proper Shipping Name (DOT) : Carbon dioxide
 Class (DOT) : 2.2 - Class 2.2 - Non-flammable compressed gas 49 CFR 173.115
 Hazard labels (DOT) : 2.2 - Non-flammable gas



Additional information

Emergency Response Guide (ERG) Number : 120
 Other information : No supplementary information available.
 Special transport precautions : Avoid transport on vehicles where the load space is not separated from the driver's compartment. Ensure vehicle driver is aware of the potential hazards of the load and knows what to do in the event of an accident or an emergency. Before transporting product containers:
 - Ensure there is adequate ventilation. - Ensure that containers are firmly secured. - Ensure cylinder valve is closed and not leaking. - Ensure valve outlet cap nut or plug (where provided) is correctly fitted. - Ensure valve protection device (where provided) is correctly fitted.

Transport by sea

UN-No. (IMDG) : 1013
 Proper Shipping Name (IMDG) : CARBON DIOXIDE
 Class (IMDG) : 2 - Gases
 MFAG-No : 120

Air transport

UN-No. (IATA) : 1013
 Proper Shipping Name (IATA) : Carbon dioxide
 Class (IATA) : 2
 Civil Aeronautics Law : Gases under pressure/Gases nonflammable nontoxic under pressure

SECTION 15: Regulatory information

15.1. US Federal regulations

Carbon dioxide (124-38-9)

| | |
|---|--|
| Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory | |
| SARA Section 311/312 Hazard Classes | Immediate (acute) health hazard Sudden release of pressure hazard |

Carbon dioxide

Safety Data Sheet P-4574

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 07/19/2016

15.2. International regulations

CANADA

| |
|---|
| Carbon dioxide (124-38-9) |
| Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List) |
| Carbon dioxide (124-38-9) |
| Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List) |

EU-Regulations

| |
|--|
| Carbon dioxide (124-38-9) |
| Listed on the EEC inventory EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances) |

15.2.2. National regulations

| |
|---|
| Carbon dioxide (124-38-9) |
| Listed on the AICS (Australian Inventory of Chemical Substances) Listed on IECSC (Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China) Listed on the Japanese ENCS (Existing & New Chemical Substances) inventory Listed on the Korean ECL (Existing Chemicals List) Listed on NZIoC (New Zealand Inventory of Chemicals) Listed on PICCS (Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances) Listed on the Canadian IDL (Ingredient Disclosure List) Listed on INSQ (Mexican National Inventory of Chemical Substances) Listed on CICR (Turkish Inventory and Control of Chemicals) |

15.3. US State regulations

| | |
|---|---|
| Carbon dioxide(124-38-9) | |
| U.S. - California - Proposition 65 - Carcinogens List | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Developmental Toxicity | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Female | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Male | No |
| State or local regulations | U.S. - Massachusetts - Right To Know List U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List |

| | | | | |
|---|---|---|---|-----------------------------------|
| Carbon dioxide (124-38-9) | | | | |
| U.S. - California - Proposition 65 - Carcinogens List | U.S. - California - Proposition 65 - Developmental Toxicity | U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Female | U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Male | Non-significant risk level (NSRL) |
| No | No | No | No | |
| Carbon dioxide (124-38-9) | | | | |
| U.S. - Massachusetts - Right To Know List U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List | | | | |

Carbon dioxide

Safety Data Sheet P-4574

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
 Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 07/19/2016

SECTION 16: Other information

Other information : When you mix two or more chemicals, you can create additional, unexpected hazards. Obtain and evaluate the safety information for each component before you produce the mixture. Consult an industrial hygienist or other trained person when you evaluate the end product. Before using any plastics, confirm their compatibility with this product

Fumes and gases produced during welding and cutting processes can be dangerous to your health and may cause serious lung disease. KEEP YOUR HEAD OUT OF FUMES. DO NOT BREATHE FUMES AND GASES. Use enough ventilation, local exhaust, or both to keep fumes and gases from your breathing zone and the general area. Short-term overexposure to fumes may cause dizziness, nausea, and dryness or irritation of the nose, throat, and eyes; or may cause other similar discomfort. Contaminants in the air may add to the hazard of fumes and gases. One such contaminant, chlorinated hydrocarbon vapors from cleaning and degreasing activities, poses a special risk. DO NOT USE ELECTRIC ARCS IN THE PRESENCE OF CHLORINATED HYDROCARBON VAPORS—HIGHLY TOXIC PHOSGENE MAY BE PRODUCED. Metal coatings such as paint, plating, or galvanizing may generate harmful fumes when heated. Residues from cleaning materials may also be harmful. AVOID ARC OPERATIONS ON PARTS WITH PHOSPHATE RESIDUES (ANTI-RUST, CLEANING PREPARATIONS)—HIGHLY TOXIC PHOSPHINE MAY BE PRODUCED

The opinions expressed herein are those of qualified experts within Praxair, Inc. We believe that the information contained herein is current as of the date of this Safety Data Sheet. Since the use of this information and the conditions of use are not within the control of Praxair, Inc, it is the user's obligation to determine the conditions of safe use of the product

Praxair SDSs are furnished on sale or delivery by Praxair or the independent distributors and suppliers who package and sell our products. To obtain current SDSs for these products, contact your Praxair sales representative, local distributor, or supplier, or download from www.praxair.com. If you have questions regarding Praxair SDSs, would like the document number and date of the latest SDS, or would like the names of the Praxair suppliers in your area, phone or write the Praxair Call Center (Phone: 1-800-PRAXAIR/1-800-772-9247; Address: Praxair Call Center, Praxair, Inc, P.O. Box 44, Tonawanda, NY 14151-0044)

Praxair asks users of this product to study this SDS and become aware of the product hazards and safety information. To promote safe use of this product, a user should (1) notify employees, agents, and contractors of the information in this SDS and of any other known product hazards and safety information, (2) furnish this information to each purchaser of the product, and (3) ask each purchaser to notify its employees and customers of the product hazards and safety information

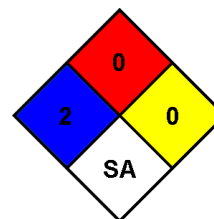
PRAXAIR, the Flowing Airstream design, Medipure, and the Medipure design are trademarks or registered trademarks of Praxair Technology, Inc. in the United States and/or other countries.

NFPA health hazard : 2 - Intense or continued exposure could cause temporary incapacitation or possible residual injury unless prompt medical attention is given.

NFPA fire hazard : 0 - Materials that will not burn.

NFPA reactivity : 0 - Normally stable, even under fire exposure conditions, and are not reactive with water.

NFPA specific hazard : SA - This denotes gases which are simple asphyxiants.



HMIS III Rating

Health : 1 Slight Hazard - Irritation or minor reversible injury possible

Flammability : 0 Minimal Hazard

Physical : 3 Serious Hazard

SDS US (GHS HazCom 2012) - Praxair

This information is based on our current knowledge and is intended to describe the product for the purposes of health, safety and environmental requirements only. It should not therefore be construed as guaranteeing any specific property of the product.

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 06/03/2015

SECTION 1: Product and company identification

1.1. Product identifier

Product form : Substance
 Name : Hydrogen, compressed
 CAS No : 1333-74-0
 Formula : H₂
 Other means of identification : Dihydrogen, parahydrogen, refrigerant gas R702, water gas

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Use of the substance/mixture : Industrial use. Use as directed.

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Praxair, Inc.
 10 Riverview Drive
 Danbury, CT 06810-6268 - USA
 T 1-800-772-9247 (1-800-PRAXAIR) - F 1-716-879-2146
www.praxair.com

1.4. Emergency telephone number

Emergency number : Onsite Emergency: 1-800-645-4633

CHEMTREC, 24hr/day 7days/week
 — Within USA: 1-800-424-9300, Outside USA: 001-703-527-3887
 (collect calls accepted, Contract 17729)

SECTION 2: Hazard identification

2.1. Classification of the substance or mixture

GHS-US classification

Flam. Gas 1 H220
 Compressed gas H280

2.2. Label elements

GHS-US labeling

Hazard pictograms (GHS-US) :



GHS02

GHS04

Signal word (GHS-US) :

DANGER

Hazard statements (GHS-US) :

H220 - **EXTREMELY FLAMMABLE GAS**
 H280 - **CONTAINS GAS UNDER PRESSURE; MAY EXPLODE IF HEATED**
 OSHA-H01 - **MAY DISPLACE OXYGEN AND CAUSE RAPID SUFFOCATION**
 CGA-HG04 - **MAY FORM EXPLOSIVE MIXTURES WITH AIR**
 CGA-HG08 - **BURNS WITH INVISIBLE FLAME**

Precautionary statements (GHS-US) :

P202 - Do not handle until all safety precautions have been read and understood
 P210 - Keep away from Heat, Open flames, Sparks, Hot surfaces. - No smoking
 P271+P403 - Use and store only outdoors or in a well-ventilated place
 P377 - Leaking gas fire: Do not extinguish, unless leak can be stopped safely
 P381 - Eliminate all ignition sources if safe to do so
 CGA-PG05 - Use a back flow preventive device in the piping
 CGA-PG10 - Use only with equipment rated for cylinder pressure
 CGA-PG12 - Do not open valve until connected to equipment prepared for use
 CGA-PG06 - Close valve after each use and when empty
 CGA-PG02 - Protect from sunlight when ambient temperature exceeds 52°C (125°F)

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 06/03/2015

2.3. Other hazards

Other hazards not contributing to the classification : None.

2.4. Unknown acute toxicity (GHS US)

No data available

SECTION 3: Composition/Information on ingredients

3.1. Substance

Name : Hydrogen, compressed
CAS No : 1333-74-0

| Name | Product identifier | % |
|----------|--------------------|------------|
| Hydrogen | (CAS No) 1333-74-0 | 99.5 - 100 |

3.2. Mixture

Not applicable

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

First-aid measures after inhalation : Remove to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, trained personnel should give oxygen. Call a physician.

First-aid measures after skin contact : Adverse effects not expected from this product.

First-aid measures after eye contact : Immediately flush eyes thoroughly with water for at least 15 minutes. Hold the eyelids open and away from the eyeballs to ensure that all surfaces are flushed thoroughly. Contact an ophthalmologist immediately.. Get immediate medical attention.

First-aid measures after ingestion : Ingestion is not considered a potential route of exposure.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

No additional information available

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

None.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media : Carbon dioxide, dry chemical powder, water spray, fog.

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Fire hazard : **EXTREMELY FLAMMABLE GAS.** The hydrogen flame is nearly invisible. Hydrogen has a low ignition energy; escaping hydrogen gas may ignite spontaneously. A fireball forms if the gas cloud ignites immediately after release. Hydrogen forms explosive mixtures with air and oxidizing agents.

Explosion hazard : **EXTREMELY FLAMMABLE GAS.** Forms explosive mixtures with air and oxidizing agents.

Reactivity : No reactivity hazard other than the effects described below.

5.3. Advice for firefighters

Firefighting instructions : If venting or leaking gas catches fire, do not extinguish flames. Flammable vapors may spread from leak, creating an explosive reignition hazard. Vapors can be ignited by pilot lights, other flames, smoking, sparks, heaters, electrical equipment, static discharge, or other ignition sources at locations distant from product handling point. Explosive atmospheres may linger. Before entering an area, especially a confined area, check the atmosphere with an appropriate device

Evacuate all personnel from the danger area. Use self-contained breathing apparatus (SCBA) and protective clothing. Immediately cool containers with water from maximum distance. Stop flow of gas if safe to do so, while continuing cooling water spray. Remove ignition sources if safe to do so. Remove containers from area of fire if safe to do so. On-site fire brigades must comply with OSHA 29 CFR 1910.156 and applicable standards under 29 CFR 1910 Subpart L—Fire Protection.

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 06/03/2015

| | |
|--|--|
| Protection during firefighting | : Compressed gas: asphyxiant. Suffocation hazard by lack of oxygen. |
| Special protective equipment for fire fighters | : Standard protective clothing and equipment (Self Contained Breathing Apparatus) for fire fighters. |
| Specific methods | : Use fire control measures appropriate for the surrounding fire. Exposure to fire and heat radiation may cause gas containers to rupture. Cool endangered containers with water spray jet from a protected position. Prevent water used in emergency cases from entering sewers and drainage systems Stop flow of product if safe to do so Use water spray or fog to knock down fire fumes if possible. |

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

General measures : **DANGER: EXTREMELY FLAMMABLE GAS. Forms explosive mixtures with air and oxidizing agents.** See section 5. Evacuate personnel to a safe area. Appropriate self-contained breathing apparatus may be required. Approach suspected leak area with caution. Remove all sources of ignition, if safe to do so. Reduce gas with fog or fine water spray. Stop flow of product if safe to do so. Ventilate area or move container to a well-ventilated area. Flammable gas may spread from leak. Before entering the area, especially a confined area, check the atmosphere with an appropriate device.

6.1.1. For non-emergency personnel

No additional information available

6.1.2. For emergency responders

No additional information available

6.2. Environmental precautions

Prevent waste from contaminating the surrounding environment. Prevent soil and water pollution. Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations. Contact supplier for any special requirements.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

No additional information available

6.4. Reference to other sections

See also sections 8 and 13.

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Precautions for safe handling : Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking. Use only non-sparking tools. Use only explosion-proof equipment

Wear leather safety gloves and safety shoes when handling cylinders. Protect cylinders from physical damage; do not drag, roll, slide or drop. While moving cylinder, always keep in place removable valve cover. Never attempt to lift a cylinder by its cap; the cap is intended solely to protect the valve. When moving cylinders, even for short distances, use a cart (trolley, hand truck, etc.) designed to transport cylinders. Never insert an object (e.g. wrench, screwdriver, pry bar) into cap openings; doing so may damage the valve and cause a leak. Use an adjustable strap wrench to remove over-tight or rusted caps. Slowly open the valve. If the valve is hard to open, discontinue use and contact your supplier. Close the container valve after each use; keep closed even when empty. Never apply flame or localized heat directly to any part of the container. High temperatures may damage the container and could cause the pressure relief device to fail prematurely, venting the container contents. For other precautions in using this product, see section 16.

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 06/03/2015

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Storage conditions : Store only where temperature will not exceed 125°F (52°C). Post “No Smoking/No Open Flames” signs in storage and use areas. There must be no sources of ignition. Separate packages and protect against potential fire and/or explosion damage following appropriate codes and requirements (e.g, NFPA 30, NFPA 55, NFPA 70, and/or NFPA 221 in the U.S.) or according to requirements determined by the Authority Having Jurisdiction (AHJ). Always secure containers upright to keep them from falling or being knocked over. Install valve protection cap, if provided, firmly in place by hand when the container is not in use. Store full and empty containers separately. Use a first-in, first-out inventory system to prevent storing full containers for long periods. For other precautions in using this product, see section 16

OTHER PRECAUTIONS FOR HANDLING, STORAGE, AND USE: When handling product under pressure, use piping and equipment adequately designed to withstand the pressures to be encountered. Never work on a pressurized system. Use a back flow preventive device in the piping. Gases can cause rapid suffocation because of oxygen deficiency; store and use with adequate ventilation. If a leak occurs, close the container valve and blow down the system in a safe and environmentally correct manner in compliance with all international, federal/national, state/provincial, and local laws; then repair the leak. Never place a container where it may become part of an electrical circuit.

7.3. Specific end use(s)

None.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

| Hydrogen, compressed (1333-74-0) | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------------|
| ACGIH | Not established | |
| USA OSHA | Not established | |
| Hydrogen (1333-74-0) | | |
| ACGIH | Remark (ACGIH) | Simple asphyxiant |
| USA OSHA | Not established | |

8.2. Exposure controls

Appropriate engineering controls : Use an explosion-proof local exhaust system. Local exhaust and general ventilation must be adequate to meet exposure standards. **MECHANICAL (GENERAL): Inadequate - Use only in a closed system.** Use explosion proof equipment and lighting.

Eye protection : Wear safety glasses with side shields.

Respiratory protection : An air-supplied respirator must be used while working with this product in confined spaces. The respiratory protection used must conform with OSHA rules as specified in 29 CFR 1910.134. Select per OSHA 29 CFR 1910.134 and ANSI Z88.2.

Thermal hazard protection : None necessary.

Other information : Consider the use of flame resistant anti-static safety clothing. Wear safety shoes while handling containers.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

Physical state : Gas

Appearance : Colorless gas.

Molecular mass : 2 g/mol

Color : Colorless.

Odor : Odorless.

Odor threshold : No data available

pH : Not applicable.

Relative evaporation rate (butyl acetate=1) : No data available

Relative evaporation rate (ether=1) : Not applicable.

Melting point : -259.2 °C (-434.56°F)

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 06/03/2015

| | |
|---------------------------------|---|
| Freezing point | : No data available |
| Boiling point | : -252.9 °C (-422.97°F) |
| Flash point | : No data available |
| Critical temperature | : -239.9 °C (-399.82°F) |
| Auto-ignition temperature | : 566 °C (1051°F) |
| Decomposition temperature | : No data available |
| Flammability (solid, gas) | : No data available |
| Vapor pressure | : Not applicable. |
| Relative vapor density at 20 °C | : No data available |
| Relative density | : No data available |
| Density | : 0.089 g/l (0.0056 lb/ft3) (at STP = 0°C and 1atm) |
| Relative gas density | : 0.07 |
| Solubility | : Water: 1.6 mg/l |
| Log Pow | : Not applicable. |
| Log Kow | : Not applicable. |
| Viscosity, kinematic | : Not applicable. |
| Viscosity, dynamic | : Not applicable. |
| Explosive properties | : Not applicable. |
| Oxidizing properties | : None. |
| Explosion limits | : 4 - 77 vol % |

9.2. Other information

| | |
|------------------------|------------------------------|
| Gas group | : Compressed gas |
| Additional information | : BURNS WITH INVISIBLE FLAME |

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1. Reactivity

No reactivity hazard other than the effects described below.

10.2. Chemical stability

Stable under normal conditions.

10.3. Possibility of hazardous reactions

Can form explosive mixture with air. May react violently with oxidants.

10.4. Conditions to avoid

Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces. – No smoking.

10.5. Incompatible materials

Oxidizing agents. Lithium. Halogens.

10.6. Hazardous decomposition products

Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced.

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity : Not classified

Hydrogen, compressed (1333-74-0

| | |
|---------------------------|----------------|
| LC50 inhalation rat (ppm) | > 15000 ppm/1h |
|---------------------------|----------------|

Hydrogen (1333-74-0)

| | |
|---------------------------|----------------|
| LC50 inhalation rat (ppm) | > 15000 ppm/1h |
|---------------------------|----------------|

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 06/03/2015

| | |
|--|---------------------|
| Skin corrosion/irritation | : Not classified |
| | pH: Not applicable. |
| Serious eye damage/irritation | : Not classified |
| | pH: Not applicable. |
| Respiratory or skin sensitization | : Not classified |
| Germ cell mutagenicity | : Not classified |
| Carcinogenicity | : Not classified |
| Reproductive toxicity | : Not classified |
| Specific target organ toxicity (single exposure) | : Not classified |
| Specific target organ toxicity (repeated exposure) | : Not classified |
| Aspiration hazard | : Not classified |

SECTION 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Ecology - general : No ecological damage caused by this product.

12.2. Persistence and degradability

| Hydrogen, compressed (1333-74-0) | |
|----------------------------------|--|
| Persistence and degradability | No ecological damage caused by this product. |
| Hydrogen (1333-74-0) | |
| Persistence and degradability | No ecological damage caused by this product. |

12.3. Bioaccumulative potential

| Hydrogen, compressed (1333-74-0) | |
|----------------------------------|--|
| BCF fish 1 | (no bioaccumulation expected) |
| Log Pow | Not applicable. |
| Log Kow | Not applicable. |
| Bioaccumulative potential | No ecological damage caused by this product. |
| Hydrogen (1333-74-0) | |
| BCF fish 1 | (no bioaccumulation expected) |
| Log Pow | Not applicable. |
| Log Kow | Not applicable. |
| Bioaccumulative potential | No ecological damage caused by this product. |

12.4. Mobility in soil

| Hydrogen, compressed (1333-74-0) | |
|----------------------------------|--|
| Mobility in soil | No data available. |
| Ecology - soil | No ecological damage caused by this product. |
| Hydrogen (1333-74-0) | |
| Mobility in soil | No data available. |
| Ecology - soil | No ecological damage caused by this product. |

12.5. Other adverse effects

Effect on ozone layer : None

Effect on the global warming : No known effects from this product

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Waste disposal recommendations : Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations. Contact supplier for any special requirements.

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 06/03/2015

SECTION 14: Transport information

In accordance with DOT

Transport document description : UN1049 Hydrogen, compressed, 2.1
 UN-No.(DOT) : UN1049
 Proper Shipping Name (DOT) : Hydrogen, compressed
 Class (DOT) : 2.1 - Class 2.1 - Flammable gas 49 CFR 173.115
 Hazard labels (DOT) : 2.1 - Flammable gas



DOT Special Provisions (49 CFR 172.102) : N89 - When steel UN pressure receptacles are used, only those bearing the "H" mark are authorized

Additional information

Emergency Response Guide (ERG) Number : 115 (UN1049)
 Other information : No supplementary information available.
 Special transport precautions : Avoid transport on vehicles where the load space is not separated from the driver's compartment. Ensure vehicle driver is aware of the potential hazards of the load and knows what to do in the event of an accident or an emergency. Before transporting product containers:
 - Ensure there is adequate ventilation. - Ensure that containers are firmly secured. - Ensure cylinder valve is closed and not leaking. - Ensure valve outlet cap nut or plug (where provided) is correctly fitted. - Ensure valve protection device (where provided) is correctly fitted.

Transport by sea

UN-No. (IMDG) : 1049
 Proper Shipping Name (IMDG) : HYDROGEN, COMPRESSED
 Class (IMDG) : 2 - Gases
 MFAG-No : 115

Air transport

UN-No. (IATA) : 1049
 Proper Shipping Name (IATA) : Hydrogen, compressed
 Class (IATA) : 2
 Civil Aeronautics Law : Gases under pressure/Gases flammable under pressure

SECTION 15: Regulatory information

15.1. US Federal regulations

Hydrogen, compressed (1333-74-0)

Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory

| | |
|-------------------------------------|--|
| SARA Section 311/312 Hazard Classes | Sudden release of pressure hazard Fire hazard |
|-------------------------------------|--|

All components of this product are listed on the Toxic Substances Control Act (TSCA) inventory.

This product or mixture does not contain a toxic chemical or chemicals in excess of the applicable de minimis concentration as specified in 40 CFR §372.38(a) subject to the reporting requirements of section 313 of Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 and 40 CFR Part 372.

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 06/03/2015

15.2. International regulations

CANADA

| |
|---|
| Hydrogen, compressed (1333-74-0) |
| Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List) |
| Hydrogen (1333-74-0) |
| Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List) |

EU-Regulations

| |
|--|
| Hydrogen, compressed (1333-74-0) |
| Listed on the EEC inventory EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances) |

15.2.2. National regulations

| |
|---|
| Hydrogen, compressed (1333-74-0) |
| Listed on the AICS (Australian Inventory of Chemical Substances) Listed on IECSC (Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China) Listed on the Korean ECL (Existing Chemicals List) Listed on NZIoC (New Zealand Inventory of Chemicals) Listed on PICCS (Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances) Listed on INSQ (Mexican National Inventory of Chemical Substances) |

15.3. US State regulations

| | |
|---|---|
| Hydrogen, compressed(1333-74-0) | |
| U.S. - California - Proposition 65 - Carcinogens List | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Developmental Toxicity | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Female | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Male | No |
| State or local regulations | U.S. - Massachusetts - Right To Know List U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List |

California Proposition 65 - This product does not contain any substances known to the state of California to cause cancer, developmental and/or reproductive harm

| | | | | |
|---|---|---|---|-----------------------------------|
| Hydrogen (1333-74-0) | | | | |
| U.S. - California - Proposition 65 - Carcinogens List | U.S. - California - Proposition 65 - Developmental Toxicity | U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Female | U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Male | Non-significant risk level (NSRL) |
| No | No | No | No | |

| | |
|---|--|
| Hydrogen (1333-74-0) | |
| U.S. - Massachusetts - Right To Know List U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List | |

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 10/17/2016 Supersedes: 06/03/2015

SECTION 16: Other information

Other information

: When you mix two or more chemicals, you can create additional, unexpected hazards. Obtain and evaluate the safety information for each component before you produce the mixture. Consult an industrial hygienist or other trained person when you evaluate the end product. Before using any plastics, confirm their compatibility with this product

Praxair asks users of this product to study this SDS and become aware of the product hazards and safety information. To promote safe use of this product, a user should (1) notify employees, agents, and contractors of the information in this SDS and of any other known product hazards and safety information, (2) furnish this information to each purchaser of the product, and (3) ask each purchaser to notify its employees and customers of the product hazards and safety information

The opinions expressed herein are those of qualified experts within Praxair, Inc. We believe that the information contained herein is current as of the date of this Safety Data Sheet. Since the use of this information and the conditions of use are not within the control of Praxair, Inc, it is the user's obligation to determine the conditions of safe use of the product

Praxair SDSs are furnished on sale or delivery by Praxair or the independent distributors and suppliers who package and sell our products. To obtain current SDSs for these products, contact your Praxair sales representative, local distributor, or supplier, or download from www.praxair.com. If you have questions regarding Praxair SDSs, would like the document number and date of the latest SDS, or would like the names of the Praxair suppliers in your area, phone or write the Praxair Call Center (Phone: 1-800-PRAXAIR/1-800-772-9247; Address: Praxair Call Center, Praxair, Inc, P.O. Box 44, Tonawanda, NY 14151-0044)

PRAXAIR and the Flowing Airstream design are trademarks or registered trademarks of Praxair Technology, Inc. in the United States and/or other countries.

NFPA health hazard

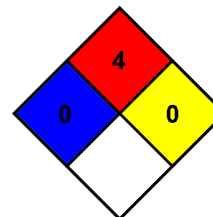
: 0 - Exposure under fire conditions would offer no hazard beyond that of ordinary combustible materials.

NFPA fire hazard

: 4 - Will rapidly or completely vaporize at normal pressure and temperature, or is readily dispersed in air and will burn readily.

NFPA reactivity

: 0 - Normally stable, even under fire exposure conditions, and are not reactive with water.



HMIS III Rating

Health : 0 Minimal Hazard - No significant risk to health

Flammability : 4 Severe Hazard

Physical : 3 Serious Hazard

SDS US (GHS HazCom 2012) - Praxair

This information is based on our current knowledge and is intended to describe the product for the purposes of health, safety and environmental requirements only. It should not therefore be construed as guaranteeing any specific property of the product.

Technical information

GPS Safety Summary

Hydrogen cyanide

Substance name

Hydrogen cyanide
CAS-No. 74-90-8

General statement

Consumer risk and exposure is very unlikely as this substance is manufactured and handled solely in industrial settings.

The environmental effects, ecotoxicology and toxicology information available for this chemical is provided based on studies and/or a reliable evaluation of its hazardous properties. *See Health and Environmental Effects.* This chemical should not enter surface water, groundwater water and soil. By implementing *Our Best Practices*, the substance can be handled safely. *See Risk Management Recommendations.*

Chemical identity

| | |
|-----------------------|--|
| Name | Hydrogen cyanide |
| Product names | Hydrogen cyanide, Prussic acid |
| Chemical name (IUPAC) | Formonitrile |
| CAS number | 74-90-8 |
| EC number | 200-821-6 |
| Synonyms/Formula | Hydrogen cyanide; Methanenitrile; Hydrocyanic acid; Prussic acid/HCN |

Uses and application

Hydrogen cyanide is used primarily as the starting material in the industrial manufacture of other chemicals. It should be used exclusively under strictly controlled conditions according to Art. 18, par. 4, EC Regulation 1907/2006 (REACH).

Physical/chemical properties

Hydrogen cyanide is a clear liquid with a faint burnt-like or bitter almond-like odour. The liquid density is lighter than water and vapor pressure is 830 hPa. Based on the boiling point and the flash point, Hydrogen cyanide is classified as extremely flammable.

| Property | Value |
|---------------------------|---|
| Density | liquid ca. 0.687 g/cm ³ (20°C) |
| Melting / Boiling point | -13.2°C / 25.7°C |
| Flashpoint | -18°C |
| Explosive properties | Not to be expected in view of the structure, however vapors may form explosive mixtures with air: explosion limits 5.5% (V) and 46.5% (V) |
| Self-ignition temperature | 535°C |
| Vapor pressure | 830 hPa (20°C) |
| Molecular weight | 27.03 g/mol |

Health effects

Based on available data, Hydrogen cyanide is fatal if swallowed, inhaled and absorbed through the skin. Standard tests indicate Hydrogen cyanide is not mutagenic nor genotoxic. Data neither show evidence that Hydrogen cyanide is a reproductive nor a carcinogenic toxin.

| Effect Assessment | Result |
|--|---|
| Acute toxicity (oral, dermal and inhalation) | Fatal if swallowed, inhaled and absorbed through the skin. |
| Eye / Skin irritation | Based on the acute toxicity the irritative effect on the eye and skin cannot be determined. |
| Sensitization | Due to the high acute dermal toxicity sensitization could not be determined. |
| Toxicity after repeated exposure | Repeated exposure consistent with acute oral, dermal and inhalation toxicity |
| Genotoxicity / mutagenicity | Not mutagenic / genotoxic |
| Carcinogenicity | No evidence that the material is carcinogenic based on available data. |
| Toxicity for reproduction | Not expected to be a reproductive or developmental toxin. |

Environmental effects

Based on available data, Hydrogen cyanide is considered very toxic in the environment with long lasting effects. Hydrogen cyanide is readily bio-degradable and no bioaccumulation is expected.

| Effect Assessment | Result |
|---------------------------|--|
| Aquatic toxicity | Very toxic to aquatic life with long lasting effects |
| | |
| Fate and Behavior | Result |
| Biodegradation | Readily biodegradable |
| Bioaccumulation potential | No bioaccumulation expected |
| PBT / vPvB conclusion | Not considered to be either PBT or vPvB |

Exposure

Human health

Consumers will not come in contact with this chemical as it is manufactured in a closed process under strictly controlled conditions according to Art. 18 EC Regulation 1907/2006 (REACH), which also minimizes employee exposure potential. Personnel exposure to this chemical in the manufacturing facilities is low because the process, storage and handling operations are enclosed. Normal industrial practices assure limited workplace exposures. These practices include handling with good ventilation. Residues are captured and treated, when containers and tanks are cleaned. All workers are trained in the properties and safe practices of using chemicals including using personal protective clothing.

Environment

Direct use by consumers is not intended since there are no known consumer uses for this chemical. The manufacture is a closed and automated process and no exposure to the environment is intended. Any exposures will generally be lower than concern levels.


Risk management recommendations

Chemical must be used exclusively under strictly controlled conditions according to Art. 18, par. 4 of the EC Regulation 1907/2006 (REACH). Consequently releases to the environment are not expected and therefore no specific recommendations are required. Requirements to be taken into account under industrial settings are accessible from the current safety data sheet. Regulations on prevention of water pollution must be observed.

State agency review

- EU-GHS Regulation (EU) No. 1272/2008
- EU-Risk Assessment (Regulation 793/93)
- EU REACH registration number: 01-2119451620-48-0002 and 01-2119451620-48-0001
- IPCS International Chemical Safety Card

Regulatory information/classification and labelling

| GHS-Labeling | |
|--------------------------|--|
| Statutory basis | EU-GHS as per Regulation (EU) No. 1272/2008 |
| Symbol(s) |  |
| Signal word | Danger |
| Hazard statements | <p>H224: Extremely flammable liquid and vapour.</p> <p>H300: Fatal if swallowed.</p> <p>H310: Fatal in contact with skin.</p> <p>H330: Fatal if inhaled.</p> <p>H370: Causes damage to organs.</p> <p>H372: Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure.</p> <p>H410: Very toxic to aquatic life with long lasting effects.</p> <p>Precaution statements and more information about Hydrogen cyanide can be found on the Safety Data Sheet.</p> |
| Precautionary statements | <p>P210 - Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces. No smoking.</p> <p>P260 - Do not breathe dust/fume/gas/mist/vapors/spray.</p> <p>P262 - Do not get in eyes, on skin, or on clothing.</p> <p>P280 - Wear protective gloves/protective clothing/eye protection/face protection.</p> <p>P284 - Wear respiratory protection.</p> <p>P273 - Avoid release to the environment.</p> <p>P303 + P361 + P353 - IF ON SKIN (or hair): Remove/Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower.</p> <p>P304 + P340 - IF INHALED: Remove to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.</p> <p>P310 - Immediately call a POISON CENTER or doctor/physician.</p> |

This GPS Safety Summary is based on Evonik's present knowledge and experience as of the date of issue. However, it implies no liability or other legal responsibility on the part of Evonik, including with regards to existing third party intellectual property rights, especially patent rights. In no event shall Evonik be responsible for damages of any nature whatsoever resulting from the use of or reliance upon the information herein or the chemical to which that information refers. In particular, no warranty, whether expressed or implied, or guarantee in the legal sense is intended or implied by Evonik.

This GPS Safety Summary is only intended to provide general information about the chemical referred to herein but not any in-depth health and safety information. The information in this GPS Safety Summary is supplied on the condition that the persons receiving the same will make their own determination as to its suitability for their purposes prior to use. This GPS Safety Summary does not supersede or replace required regulatory and/or legal communication documents.

Performance of the chemical described herein should be verified by testing which should be carried out only by qualified experts.

Evonik reserves the right to make any changes to this GPS Safety Summary in accordance with technological progress or further developments. Reference to trade names used by other companies is neither a recommendation, nor does it imply, that similar products could not be used.

December 2012

Glossary

| | |
|------------------|---|
| Acute toxicity | harmful effects after a single exposure |
| Biodegradable | breakdown of materials by a physiological environment |
| Bioaccumulation | accumulation of substances in the environment |
| Carcinogenicity | effects causing cancer |
| Chronic toxicity | harmful effects after repeated exposures |
| GHS | Global Harmonized System on Classification and Labelling |
| Mutagenicity | effects that change genes |
| PBT | Persistent Bioaccumulative Toxic |
| Reprotoxicity | combining teratogenicity, embryotoxicity and harmful effects on fertility |
| Sensitizing | allergenic |
| Teratogenic | effects on foetal morphology |
| vPvB | very Persistent very Bioaccumulative |

Contact information within company

| | | |
|----------------------------|-----|--|
| Email address | EU | FA-MSDS@evonik.com |
| | USA | product.regulatory.services@evonik.com |
| Emergency Telephone number | EU | +49 (0)2236 76-2222 |
| | USA | 800 424-9300 (CHEMTREC) |
| Emergency Telefax number | EU | +49 (0)2236 76-2026 |

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifier

| | |
|----------------|--|
| Product form | : Substance |
| Substance name | : Sulfuric Acid, 96% w/w |
| CAS No | : 7664-93-9 |
| Product code | : LC25550 |
| Formula | : H ₂ SO ₄ |
| Synonyms | : battery acid / BOV / brown acid / brown oil of vitriol / dihydrogen sulfate / dipping acid / electrolyte acid / hydrogensulfate / matting acid / mattling acid / nordhausen acid / oil of vitriol / sulfate of hydrogen / sulfuric acid, anhydrous / sulphuric acid / Sulphuric acid / Sulphuric acid with more than 51% acid / vitriol / vitriol, brown oil |
| BIG no | : 14049 |

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

| | |
|------------------------------|---|
| Use of the substance/mixture | : Industrial use Laboratory chemical Battery: component |
|------------------------------|---|

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

LabChem Inc
Jackson's Pointe Commerce Park Building 1000, 1010 Jackson's Pointe Court
16063 Zelenople, PA - USA
T 412-826-5230 - F 724-473-0647
info@labchem.com - www.labchem.com

1.4. Emergency telephone number

| | |
|------------------|--|
| Emergency number | : CHEMTREC: 1-800-424-9300 or 011-703-527-3887 |
|------------------|--|

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

GHS-US classification

Skin Corr. 1A H314
Eye Dam. 1 H318

2.2. Label elements

GHS-US labelling

Hazard pictograms (GHS-US)



GHS05

| | |
|-----------------------------------|--|
| Signal word (GHS-US) | : Danger |
| Hazard statements (GHS-US) | : H314 - Causes severe skin burns and eye damage H318 - Causes serious eye damage |
| Precautionary statements (GHS-US) | : P260 - Do not breathe mist, vapours, spray P264 - Wash exposed skin thoroughly after handling P280 - Wear protective gloves, protective clothing, eye protection, face protection P301+P330+P331 - IF SWALLOWED: Rinse mouth. Do NOT induce vomiting P303+P361+P353 - IF ON SKIN (or hair): Remove/Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower P304+P340 - IF INHALED: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing P305+P351+P338 - If in eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing P310 - Immediately call a POISON CENTER/doctor/... P363 - Wash contaminated clothing before reuse P405 - Store locked up P501 - Dispose of contents/container to comply with local, state and federal regulations |

2.3. Other hazards

| | |
|--|---------|
| Other hazards not contributing to the classification | : None. |
|--|---------|

2.4. Unknown acute toxicity (GHS US)

No data available

Sulfuric Acid, 96% w/w

Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1. Substances

Substance type : Mono-constituent

| Name | Product identifier | % | GHS-US classification |
|--|--------------------|----|---|
| Sulfuric Acid, 96% w/w (Main constituent) | (CAS No) 7664-93-9 | 96 | Skin Corr. 1A, H314 Eye Dam. 1, H318 |

Full text of H-phrases: see section 16

3.2. Mixture

Not applicable

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

- First-aid measures general : Check the vital functions. Unconscious: maintain adequate airway and respiration. Respiratory arrest: artificial respiration or oxygen. Cardiac arrest: perform resuscitation. Victim conscious with laboured breathing: half-seated. Victim in shock: on his back with legs slightly raised. Vomiting: prevent asphyxia/aspiration pneumonia. Prevent cooling by covering the victim (no warming up). Keep watching the victim. Give psychological aid. Keep the victim calm, avoid physical strain. Depending on the victim's condition: doctor/hospital.
- First-aid measures after inhalation : Remove the victim into fresh air. Immediately consult a doctor/medical service.
- First-aid measures after skin contact : Wash immediately with lots of water (15 minutes)/shower. Do not apply (chemical) neutralizing agents. Remove clothing while washing. Do not remove clothing if it sticks to the skin. Cover wounds with sterile bandage. Consult a doctor/medical service. If burned surface > 10%: take victim to hospital.
- First-aid measures after eye contact : Rinse immediately with plenty of water for 15 minutes. Take victim to an ophthalmologist. Do not apply neutralizing agents.
- First-aid measures after ingestion : Rinse mouth with water. Do not induce vomiting. Do not give activated charcoal. Immediately consult a doctor/medical service. Call Poison Information Centre (www.big.be/antigif.htm). Take the container/vomit to the doctor/hospital. Ingestion of large quantities: immediately to hospital. Do not give chemical antidote.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

- Symptoms/injuries after inhalation : Dry/sore throat. Coughing. Irritation of the respiratory tract. Irritation of the nasal mucous membranes. ON CONTINUOUS EXPOSURE/CONTACT: Corrosion of the upper respiratory tract. FOLLOWING SYMPTOMS MAY APPEAR LATER: Possible laryngeal spasm/oedema. Risk of pneumonia. Risk of lung oedema. Respiratory difficulties.
- Symptoms/injuries after skin contact : Caustic burns/corrosion of the skin.
- Symptoms/injuries after eye contact : Corrosion of the eye tissue. Permanent eye damage.
- Symptoms/injuries after ingestion : Nausea. Abdominal pain. Blood in stool. Blood in vomit. Burns to the gastric/intestinal mucosa. AFTER ABSORPTION OF HIGH QUANTITIES: Shock.
- Chronic symptoms : ON CONTINUOUS/REPEATED EXPOSURE/CONTACT: Red skin. Dry skin. Itching. Skin rash/inflammation. Affection/dyscolouration of the teeth. Inflammation/damage of the eye tissue.

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Obtain medical assistance.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Unsuitable extinguishing media : EXTINGUISHING MEDIA FOR SURROUNDING FIRES: Water. Water spray.

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

- Fire hazard : DIRECT FIRE HAZARD. Non combustible. INDIRECT FIRE HAZARD. Reactions involving a fire hazard: see "Reactivity Hazard".
- Explosion hazard : INDIRECT EXPLOSION HAZARD. Reactions with explosion hazards: see "Reactivity Hazard".
- Reactivity : Violent exothermic reaction with water (moisture): release of corrosive gases/vapours. Reacts on exposure to water (moisture) with (some) metals: release of highly flammable gases/vapours (hydrogen). On heating/burning: release of toxic and corrosive gases/vapours (sulphur oxides). Reacts violently with (some) bases: heat release resulting in increased fire or explosion risk. Reacts with many compounds e.g.: with (strong) reducers, with organic material and with combustible materials: (increased) risk of fire/explosion.

5.3. Advice for firefighters

- Precautionary measures fire : Exposure to fire/heat: keep upwind. Exposure to fire/heat: consider evacuation. Exposure to fire/heat: seal off low-lying areas. Exposure to fire/heat: have neighbourhood close doors and windows.
- Firefighting instructions : Cool tanks/drums with water spray/remove them into safety. When cooling/extinguishing: no water in the substance. Dilute toxic gases with water spray.
- Protection during firefighting : Heat/fire exposure: compressed air/oxygen apparatus.

Sulfuric Acid, 96% w/w

Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

6.1.1. For non-emergency personnel

- Protective equipment : Gloves. Face-shield. Corrosion-proof suit. Large spills/in enclosed spaces: compressed air apparatus. Large spills/in enclosed spaces: gas-tight suit.
- Emergency procedures : Mark the danger area. No naked flames. Keep containers closed. Avoid ingress of water in the containers. Wash contaminated clothes. Large spills/in confined spaces: consider evacuation. In case of hazardous reactions: keep upwind. In case of reactivity hazard: consider evacuation.

6.1.2. For emergency responders

- Protective equipment : Equip cleanup crew with proper protection.
- Emergency procedures : Stop leak if safe to do so. Ventilate area.

6.2. Environmental precautions

Prevent soil and water pollution. Prevent spreading in sewers.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

- For containment : Contain released substance, pump into suitable containers. Consult "Material-handling" to select material of containers. Plug the leak, cut off the supply. Dam up the liquid spill. Hazardous reaction: measure explosive gas-air mixture. Reaction: dilute combustible gas/vapour with water curtain. Take account of toxic/corrosive precipitation water. Heat exposure: dilute toxic gas/vapour with water spray.
- Methods for cleaning up : Take up liquid spill into inert absorbent material, e.g.: dry sand/earth/vermiculite. Scoop absorbed substance into closing containers. Carefully collect the spill/leftovers. Damaged/cooled tanks must be emptied. See "Material-handling" for suitable container materials. Clean contaminated surfaces with an excess of water. Take collected spill to manufacturer/competent authority. Wash clothing and equipment after handling.

6.4. Reference to other sections

No additional information available

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

- Precautions for safe handling : Comply with the legal requirements. Remove contaminated clothing immediately. Clean contaminated clothing. Keep the substance free from contamination. Thoroughly clean/dry the installation before use. Do not discharge the waste into the drain. Never add water to this product. Never dilute by pouring water to the acid. Always add the acid to the water. Keep away from naked flames/heat. Observe very strict hygiene - avoid contact. Keep container tightly closed. Measure the concentration in the air regularly. Carry operations in the open/under local exhaust/ventilation or with respiratory protection.
- Hygiene measures : Wash hands and other exposed areas with mild soap and water before eating, drinking or smoking and when leaving work. Wash contaminated clothing before reuse. Do not eat, drink or smoke when using this product.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

- Incompatible products : Strong bases. metals. combustible materials.
- Heat and ignition sources : KEEP SUBSTANCE AWAY FROM: heat sources.
- Prohibitions on mixed storage : KEEP SUBSTANCE AWAY FROM: combustible materials. reducing agents. (strong) bases. highly flammable materials. metals. cellulosic materials. organic materials. alcohols. amines. water/moisture.
- Storage area : Store in a dry area. Ventilation at floor level. Keep locked up. Provide for a tub to collect spills. Unauthorized persons are not admitted. Meet the legal requirements.
- Special rules on packaging : SPECIAL REQUIREMENTS: closing. dry. clean. correctly labelled. meet the legal requirements. Secure fragile packagings in solid containers.
- Packaging materials : SUITABLE MATERIAL: stainless steel. carbon steel. polyethylene. polypropylene. glass. stoneware/porcelain. MATERIAL TO AVOID: monel steel. lead. copper. zinc.

7.3. Specific end use(s)

No additional information available

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

| Sulfuric Acid, 96% w/w (7664-93-9) | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| USA ACGIH | ACGIH TWA (mg/m ³) | 0.2 mg/m ³ |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (mg/m ³) | 1 mg/m ³ |

8.2. Exposure controls

- Appropriate engineering controls : Emergency eye wash fountains and safety showers should be available in the immediate vicinity of any potential exposure. Provide adequate general and local exhaust ventilation.

Sulfuric Acid, 96% w/w

Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

| | |
|-----------------------------------|--|
| Materials for protective clothing | : GIVE EXCELLENT RESISTANCE: butyl rubber. polyethylene. tetrafluoroethylene. GIVE LESS RESISTANCE: neoprene. PVC. viton. GIVE POOR RESISTANCE: natural rubber. nitrile rubber. PVA. |
| Hand protection | : Gloves. |
| Eye protection | : Face shield. |
| Skin and body protection | : Corrosion-proof clothing. |
| Respiratory protection | : Gas mask with filter type E at conc. in air > exposure limit. |

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

| | |
|--|---|
| Physical state | : Liquid |
| Appearance | : Liquid. |
| Molecular mass | : 98.08 g/mol |
| Colour | : Pure substance: colourless. Unpurified: yellow to brown. |
| Odour | : Almost odourless. |
| Odour threshold | : > 1 mg/m ³ |
| pH | : No data available |
| Relative evaporation rate (butylacetate=1) | : No data available |
| Melting point | : 10 °C |
| Freezing point | : No data available |
| Boiling point | : 288 °C |
| Flash point | : Not applicable |
| Self ignition temperature | : No data available |
| Decomposition temperature | : > 340 °C |
| Flammability (solid, gas) | : No data available |
| Vapour pressure | : < 1.0 hPa |
| Relative vapour density at 20 °C | : 3.4 |
| Relative density | : 1.8 |
| Density | : 1840 kg/m ³ |
| Solubility | : Exothermically soluble in water. Soluble in ethanol. Water: Complete |
| Log Pow | : -2.20 (Estimated value) |
| Log Kow | : No data available |
| Viscosity, kinematic | : No data available |
| Viscosity, dynamic | : No data available |
| Explosive properties | : No data available. |
| Oxidising properties | : No data available. |
| Explosive limits | : No data available |

9.2. Other information

| | |
|------------------|--|
| VOC content | : Not applicable |
| Other properties | : Gas/vapour heavier than air at 20°C. Clear. Hygroscopic. Slightly volatile. Substance has acid reaction. |

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1. Reactivity

Violent exothermic reaction with water (moisture): release of corrosive gases/vapours. Reacts on exposure to water (moisture) with (some) metals: release of highly flammable gases/vapours (hydrogen). On heating/burning: release of toxic and corrosive gases/vapours (sulphur oxides). Reacts violently with (some) bases: heat release resulting in increased fire or explosion risk. Reacts with many compounds e.g.: with (strong) reducers, with organic material and with combustible materials: (increased) risk of fire/explosion.

10.2. Chemical stability

Unstable on exposure to moisture.

10.3. Possibility of hazardous reactions

Reacts violently with water. Reacts violently with (some) bases: release of heat.

10.4. Conditions to avoid

Incompatible materials. Moisture.

10.5. Incompatible materials

Water. Strong bases. Organic compounds. metals. Halogens. cyanides. combustible materials.

Sulfuric Acid, 96% w/w

Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

10.6. Hazardous decomposition products

Sulfur compounds.

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity : Not classified

| Sulfuric Acid, 96% w/w (f)7664-93-9 | |
|---------------------------------------|---|
| LD50 oral rat | 2140 mg/kg bodyweight (Rat; Experimental value,Rat; Experimental value) |
| Skin corrosion/irritation | : Causes severe skin burns and eye damage. |
| Serious eye damage/irritation | : Causes serious eye damage. |
| Respiratory or skin sensitisation | : Not classified |
| Germ cell mutagenicity | : Not classified |
| Carcinogenicity | : Not classified |

| Sulfuric Acid, 96% w/w (7664-93-9) | |
|--|---|
| IARC group | 1 |
| Reproductive toxicity | : Not classified |
| Specific target organ toxicity (single exposure) | : Not classified |
| Specific target organ toxicity (repeated exposure) | : Not classified |
| Aspiration hazard | : Not classified |
| Symptoms/injuries after inhalation | : Dry/sore throat. Coughing. Irritation of the respiratory tract. Irritation of the nasal mucous membranes. ON CONTINUOUS EXPOSURE/CONTACT: Corrosion of the upper respiratory tract. FOLLOWING SYMPTOMS MAY APPEAR LATER: Possible laryngeal spasm/oedema. Risk of pneumonia. Risk of lung oedema. Respiratory difficulties. |
| Symptoms/injuries after skin contact | : Caustic burns/corrosion of the skin. |
| Symptoms/injuries after eye contact | : Corrosion of the eye tissue. Permanent eye damage. |
| Symptoms/injuries after ingestion | : Nausea. Abdominal pain. Blood in stool. Blood in vomit. Burns to the gastric/intestinal mucosa. AFTER ABSORPTION OF HIGH QUANTITIES: Shock. |
| Chronic symptoms | : ON CONTINUOUS/REPEATED EXPOSURE/CONTACT: Red skin. Dry skin. Itching. Skin rash/inflammation. Affection/dicolouration of the teeth. Inflammation/damage of the eye tissue. |

SECTION 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Ecology - general : Classification concerning the environment: not applicable.
Ecology - water : Mild water pollutant (surface water). Ground water pollutant. Maximum concentration in drinking water: 250 mg/l (sulfate) (Directive 98/83/EC). Harmful to fishes. Harmful to invertebrates (Daphnia). Toxic to plankton. pH shift. Inhibition of activated sludge.

| Sulfuric Acid, 96% w/w (7664-93-9) | |
|---|---|
| LC50 fishes 1 | 42 mg/l (96 h; Gambusia affinis) |
| EC50 Daphnia 1 | 29 mg/l (24 h; Daphnia magna) |
| LC50 fish 2 | 49 mg/l (48 h; Lepomis macrochirus) |
| TLM fish 1 | 42 mg/l (96 h; Gambusia affinis) |
| Threshold limit other aquatic organisms 1 | 6900 mg/l (24 h; Pseudomonas fluorescens) |

12.2. Persistence and degradability

| Sulfuric Acid, 96% w/w (7664-93-9) | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Persistence and degradability | Biodegradability: not applicable. |
| Biochemical oxygen demand (BOD) | Not applicable |
| Chemical oxygen demand (COD) | Not applicable |
| ThOD | Not applicable |
| BOD (% of ThOD) | Not applicable |

12.3. Bioaccumulative potential

| Sulfuric Acid, 96% w/w (7664-93-9) | |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Log Pow | -2.20 (Estimated value) |
| Bioaccumulative potential | Bioaccumulation: not applicable. |

12.4. Mobility in soil

No additional information available

Sulfuric Acid, 96% w/w

Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

12.5. Other adverse effects

No additional information available

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

- Waste disposal recommendations : Remove waste in accordance with local and/or national regulations. Recycle/reuse. Remove for physico-chemical/biological treatment. Remove to an authorized dump (Class I). Treat using the best available techniques before discharge into drains or the aquatic environment. Use appropriate containment to avoid environmental contamination.
- Additional information : LWCA (the Netherlands): KGA category 01. Hazardous waste according to Directive 2008/98/EC.
- Ecology - waste materials : Avoid release to the environment.

SECTION 14: Transport information

In accordance with ADR / RID / ADNR / IMDG / ICAO / IATA

14.1. UN number

- UN-No.(DOT) : 1830
- DOT NA no. UN1830

14.2. UN proper shipping name

- DOT Proper Shipping Name : Sulfuric acid
with more than 51 percent acid
- Department of Transportation (DOT) Hazard Classes : 8 - Class 8 - Corrosive material 49 CFR 173.136
- Hazard labels (DOT) : 8 - Corrosive substances



- Packing group (DOT) : II - Medium Danger
- DOT Special Provisions (49 CFR 172.102) : A3 - For combination packagings, if glass inner packagings (including ampoules) are used, they must be packed with absorbent material in tightly closed metal receptacles before packing in outer packagings.
A7 - Steel packagings must be corrosion-resistant or have protection against corrosion.
B3 - MC 300, MC 301, MC 302, MC 303, MC 305, and MC 306 and DOT 406 cargo tanks and DOT 57 portable tanks are not authorized.
B83 - Bottom outlets are prohibited on tank car tanks transporting sulfuric acid in concentrations over 65.25 percent.
B84 - Packagings must be protected with non-metallic linings impervious to the lading or have a suitable corrosion allowance for sulfuric acid or spent sulfuric acid in concentration up to 65.25 percent.
IB2 - Authorized IBCs: Metal (31A, 31B and 31N); Rigid plastics (31H1 and 31H2); Composite (31HZ1). Additional Requirement: Only liquids with a vapor pressure less than or equal to 110 kPa at 50 C (1.1 bar at 122 F), or 130 kPa at 55 C (1.3 bar at 131 F) are authorized.
N34 - Aluminum construction materials are not authorized for any part of a packaging which is normally in contact with the hazardous material.
T8 - 4 178.274(d)(2) Normal..... Prohibited
TP2 - a. The maximum degree of filling must not exceed the degree of filling determined by the following: (image) Where: t_r is the maximum mean bulk temperature during transport, t_f is the temperature in degrees celsius of the liquid during filling, and α is the mean coefficient of cubical expansion of the liquid between the mean temperature of the liquid during filling (t_f) and the maximum mean bulk temperature during transportation (t_r) both in degrees celsius. b. For liquids transported under ambient conditions may be calculated using the formula: (image) Where: d_{15} and d_{50} are the densities (in units of mass per unit volume) of the liquid at 15 C (59 F) and 50 C (122 F), respectively.
TP12 - This material is considered highly corrosive to steel.
- DOT Packaging Exceptions (49 CFR 173.xxx) : 154
- DOT Packaging Non Bulk (49 CFR 173.xxx) : 202
- DOT Packaging Bulk (49 CFR 173.xxx) : 242

14.3. Additional information

- Other information : No supplementary information available.
- State during transport (ADR-RID) : as liquid.

Overland transport

- Packing group (ADR) : II

Sulfuric Acid, 96% w/w

Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

Class (ADR) : 8 - Corrosive substances
Hazard identification number (Kemler No.) : 80
Classification code (ADR) : C1
Danger labels (ADR) : 8 - Corrosive substances



Orange plates : The image shows an orange rectangular hazard label with a black border. It is divided into two horizontal sections. The top section contains the number '80' in black, and the bottom section contains the number '1830' in black.

Tunnel restriction code : E

Transport by sea

DOT Vessel Stowage Location : C - The material must be stowed "on deck only" on a cargo vessel and on a passenger vessel.
DOT Vessel Stowage Other : 14 - For metal drums, stowage permitted under deck on cargo vessels
EmS-No. (1) : F-A
EmS-No. (2) : S-B

Air transport

DOT Quantity Limitations Passenger aircraft/rail : 1 L
(49 CFR 173.27)
DOT Quantity Limitations Cargo aircraft only (49 : 30 L
CFR 175.75)

SECTION 15: Regulatory information

15.1. US Federal regulations

| Sulfuric Acid, 96% w/w (7664-93-9) | |
|---|---------------------------------|
| Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory | |
| RQ (Reportable quantity, section 304 of EPA's List of Lists) : | 1000 lb |
| SARA Section 311/312 Hazard Classes | Immediate (acute) health hazard |

15.2. International regulations

CANADA

| Sulfuric Acid, 96% w/w (7664-93-9) | |
|--|------------------------------|
| Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List) inventory. | |
| WHMIS Classification | Class E - Corrosive Material |

EU-Regulations

No additional information available

Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]

Skin Corr. 1A H314

Full text of H-phrases: see section 16

Classification according to Directive 67/548/EEC or 1999/45/EC

C; R35

Full text of R-phrases: see section 16

15.2.2. National regulations

| Sulfuric Acid, 96% w/w (7664-93-9) | |
|---|--|
| Listed on the Canadian Ingredient Disclosure List | |

15.3. US State regulations

| Sulfuric Acid, 96% w/w(7664-93-9) | |
|-----------------------------------|--|
| State or local regulations | U.S. - Maine - Chemicals of High Concern |

Sulfuric Acid, 96% w/w

Safety Data Sheet

according to Federal Register / Vol. 77, No. 58 / Monday, March 26, 2012 / Rules and Regulations

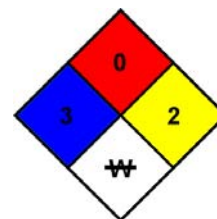
| Sulfuric Acid, 96% w/w(7664-93-9) | |
|-----------------------------------|---|
| | U.S. - Massachusetts - Right To Know List U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List |

SECTION 16: Other information

Full text of H-phrases: see section 16:

| | |
|---------------|---|
| Eye Dam. 1 | Serious eye damage/eye irritation, Category 1 |
| Skin Corr. 1A | Skin corrosion/irritation, Category 1A |
| H314 | Causes severe skin burns and eye damage |
| H318 | Causes serious eye damage |

- NFPA health hazard : 3 - Short exposure could cause serious temporary or residual injury even though prompt medical attention was given.
- NFPA fire hazard : 0 - Materials that will not burn.
- NFPA reactivity : 2 - Normally unstable and readily undergo violent decomposition but do not detonate. Also: may react violently with water or may form potentially explosive mixtures with water.
- NFPA specific hazard : W - Unusual reactivity with water. This indicates a potential hazard using water to fight a fire involving this material. When a compound is both water-reactive and an oxidizer, the W/bar symbol should go in this quadrant and the OX warning is placed immediately below the NFPA diamond.



HMIS III Rating

- Health : 3 Serious Hazard - Major injury likely unless prompt action is taken and medical treatment is given
- Flammability : 0 Minimal Hazard
- Physical : 2 Moderate Hazard
- Personal Protection : H

SDS US (GHS HazCom 2012)

Information in this SDS is from available published sources and is believed to be accurate. No warranty, express or implied, is made and LabChem Inc assumes no liability resulting from the use of this SDS. The user must determine suitability of this information for his application.

SAFETY DATA SHEET

Nitrogen

Section 1. Identification

| | |
|--------------------------------------|---|
| GHS product identifier | : Nitrogen |
| Chemical name | : nitrogen |
| Other means of identification | : nitrogen (dot); nitrogen gas; Nitrogen NF, Nitrogen FG |
| Product use | : Synthetic/Analytical chemistry. |
| Synonym | : nitrogen (dot); nitrogen gas; Nitrogen NF, Nitrogen FG |
| SDS # | : 001040 |
| Supplier's details | : Airgas USA, LLC and its affiliates 259 North Radnor-Chester Road Suite 100 Radnor, PA 19087-5283 1-610-687-5253 |
| 24-hour telephone | : 1-866-734-3438 |

Section 2. Hazards identification

OSHA/HCS status : This material is considered hazardous by the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200).

Classification of the substance or mixture : GASES UNDER PRESSURE - Compressed gas

GHS label elements

Hazard pictograms :



Signal word : Warning

Hazard statements : Contains gas under pressure; may explode if heated.
May displace oxygen and cause rapid suffocation.

Precautionary statements

General : Read and follow all Safety Data Sheets (SDS'S) before use. Read label before use. Keep out of reach of children. If medical advice is needed, have product container or label at hand. Close valve after each use and when empty. Use equipment rated for cylinder pressure. Do not open valve until connected to equipment prepared for use. Use a back flow preventative device in the piping. Use only equipment of compatible materials of construction.

Prevention : Not applicable.

Response : Not applicable.

Storage : Protect from sunlight when ambient temperature exceeds 52°C/125°F. Store in a well-ventilated place.

Disposal : Not applicable.

Hazards not otherwise classified : In addition to any other important health or physical hazards, this product may displace oxygen and cause rapid suffocation.

Section 3. Composition/information on ingredients

Substance/mixture : Substance
Chemical name : nitrogen
Other means of identification : nitrogen (dot); nitrogen gas; Nitrogen NF, Nitrogen FG

CAS number/other identifiers

CAS number : 7727-37-9
Product code : 001040

| Ingredient name | % | CAS number |
|-----------------|-----|------------|
| Nitrogen | 100 | 7727-37-9 |

Any concentration shown as a range is to protect confidentiality or is due to batch variation.

There are no additional ingredients present which, within the current knowledge of the supplier and in the concentrations applicable, are classified as hazardous to health or the environment and hence require reporting in this section.

Occupational exposure limits, if available, are listed in Section 8.

Section 4. First aid measures

Description of necessary first aid measures

- Eye contact** : Immediately flush eyes with plenty of water, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Check for and remove any contact lenses. Continue to rinse for at least 10 minutes. Get medical attention if irritation occurs.
- Inhalation** : Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If not breathing, if breathing is irregular or if respiratory arrest occurs, provide artificial respiration or oxygen by trained personnel. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation. Get medical attention if adverse health effects persist or are severe. If unconscious, place in recovery position and get medical attention immediately. Maintain an open airway. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. In case of inhalation of decomposition products in a fire, symptoms may be delayed. The exposed person may need to be kept under medical surveillance for 48 hours.
- Skin contact** : Flush contaminated skin with plenty of water. Remove contaminated clothing and shoes. Get medical attention if symptoms occur. Wash clothing before reuse. Clean shoes thoroughly before reuse.
- Ingestion** : As this product is a gas, refer to the inhalation section.

Most important symptoms/effects, acute and delayed

Potential acute health effects

- Eye contact** : Contact with rapidly expanding gas may cause burns or frostbite.
- Inhalation** : No known significant effects or critical hazards.
- Skin contact** : Contact with rapidly expanding gas may cause burns or frostbite.
- Frostbite** : Try to warm up the frozen tissues and seek medical attention.
- Ingestion** : As this product is a gas, refer to the inhalation section.

Over-exposure signs/symptoms

- Eye contact** : No specific data.
- Inhalation** : No specific data.
- Skin contact** : No specific data.
- Ingestion** : No specific data.

Indication of immediate medical attention and special treatment needed, if necessary

Notes to physician : In case of inhalation of decomposition products in a fire, symptoms may be delayed. The exposed person may need to be kept under medical surveillance for 48 hours.

Section 4. First aid measures

- Specific treatments** : No specific treatment.
- Protection of first-aiders** : No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation.

See toxicological information (Section 11)

Section 5. Fire-fighting measures

Extinguishing media

- Suitable extinguishing media** : Use an extinguishing agent suitable for the surrounding fire.
- Unsuitable extinguishing media** : None known.

Specific hazards arising from the chemical : Contains gas under pressure. In a fire or if heated, a pressure increase will occur and the container may burst or explode.

Hazardous thermal decomposition products : Decomposition products may include the following materials:
nitrogen oxides

Special protective actions for fire-fighters : Promptly isolate the scene by removing all persons from the vicinity of the incident if there is a fire. No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Contact supplier immediately for specialist advice. Move containers from fire area if this can be done without risk. Use water spray to keep fire-exposed containers cool.

Special protective equipment for fire-fighters : Fire-fighters should wear appropriate protective equipment and self-contained breathing apparatus (SCBA) with a full face-piece operated in positive pressure mode.

Section 6. Accidental release measures

Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

- For non-emergency personnel** : No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Evacuate surrounding areas. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Avoid breathing gas. Provide adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Put on appropriate personal protective equipment.
- For emergency responders** : If specialised clothing is required to deal with the spillage, take note of any information in Section 8 on suitable and unsuitable materials. See also the information in "For non-emergency personnel".

Environmental precautions : Ensure emergency procedures to deal with accidental gas releases are in place to avoid contamination of the environment. Inform the relevant authorities if the product has caused environmental pollution (sewers, waterways, soil or air).

Methods and materials for containment and cleaning up

- Small spill** : Immediately contact emergency personnel. Stop leak if without risk.
- Large spill** : Immediately contact emergency personnel. Stop leak if without risk. Note: see Section 1 for emergency contact information and Section 13 for waste disposal.

Section 7. Handling and storage

Precautions for safe handling

- Protective measures** : Put on appropriate personal protective equipment (see Section 8). Contains gas under pressure. Avoid contact with eyes, skin and clothing. Avoid breathing gas. Empty containers retain product residue and can be hazardous. Do not puncture or incinerate container. Use equipment rated for cylinder pressure. Close valve after each use and when empty. Protect cylinders from physical damage; do not drag, roll, slide, or drop. Use a suitable hand truck for cylinder movement.

Section 7. Handling and storage

Advice on general occupational hygiene : Eating, drinking and smoking should be prohibited in areas where this material is handled, stored and processed. Workers should wash hands and face before eating, drinking and smoking. Remove contaminated clothing and protective equipment before entering eating areas. See also Section 8 for additional information on hygiene measures.

Conditions for safe storage, including any incompatibilities : Store in accordance with local regulations. Store in a segregated and approved area. Store away from direct sunlight in a dry, cool and well-ventilated area, away from incompatible materials (see Section 10). Keep container tightly closed and sealed until ready for use. Cylinders should be stored upright, with valve protection cap in place, and firmly secured to prevent falling or being knocked over. Cylinder temperatures should not exceed 52 °C (125 °F).

Section 8. Exposure controls/personal protection

Control parameters

Occupational exposure limits

| Ingredient name | Exposure limits |
|-----------------|-------------------------------|
| Nitrogen | Oxygen Depletion [Asphyxiant] |

Appropriate engineering controls : Good general ventilation should be sufficient to control worker exposure to airborne contaminants.

Environmental exposure controls : Emissions from ventilation or work process equipment should be checked to ensure they comply with the requirements of environmental protection legislation. In some cases, fume scrubbers, filters or engineering modifications to the process equipment will be necessary to reduce emissions to acceptable levels.

Individual protection measures

Hygiene measures : Wash hands, forearms and face thoroughly after handling chemical products, before eating, smoking and using the lavatory and at the end of the working period. Appropriate techniques should be used to remove potentially contaminated clothing. Wash contaminated clothing before reusing. Ensure that eyewash stations and safety showers are close to the workstation location.

Eye/face protection : Safety eyewear complying with an approved standard should be used when a risk assessment indicates this is necessary to avoid exposure to liquid splashes, mists, gases or dusts. If contact is possible, the following protection should be worn, unless the assessment indicates a higher degree of protection: safety glasses with side-shields.

Skin protection

Hand protection : Chemical-resistant, impervious gloves complying with an approved standard should be worn at all times when handling chemical products if a risk assessment indicates this is necessary. Considering the parameters specified by the glove manufacturer, check during use that the gloves are still retaining their protective properties. It should be noted that the time to breakthrough for any glove material may be different for different glove manufacturers. In the case of mixtures, consisting of several substances, the protection time of the gloves cannot be accurately estimated.

Body protection : Personal protective equipment for the body should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product.

Other skin protection : Appropriate footwear and any additional skin protection measures should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product.

Respiratory protection : Use a properly fitted, air-purifying or air-fed respirator complying with an approved standard if a risk assessment indicates this is necessary. Respirator selection must be based on known or anticipated exposure levels, the hazards of the product and the safe working limits of the selected respirator.

Section 9. Physical and chemical properties

Appearance

| | |
|---|--|
| Physical state | : Gas. [Compressed gas.] |
| Color | : Colorless. |
| Molecular weight | : 28.02 g/mole |
| Molecular formula | : N ₂ |
| Boiling/condensation point | : -196°C (-320.8°F) |
| Melting/freezing point | : -210.01°C (-346°F) |
| Critical temperature | : -146.95°C (-232.5°F) |
| Odor | : Odorless. |
| Odor threshold | : Not available. |
| pH | : Not available. |
| Flash point | : [Product does not sustain combustion.] |
| Burning time | : Not applicable. |
| Burning rate | : Not applicable. |
| Evaporation rate | : Not available. |
| Flammability (solid, gas) | : Not available. |
| Lower and upper explosive (flammable) limits | : Not available. |
| Vapor pressure | : Not available. |
| Vapor density | : 0.967 (Air = 1) Liquid Density@BP: 50.46 lb/ft ³ (808.3 kg/m ³) |
| Specific Volume (ft³/lb) | : 13.8889 |
| Gas Density (lb/ft³) | : 0.072 |
| Relative density | : Not applicable. |
| Solubility | : Not available. |
| Solubility in water | : Not available. |
| Partition coefficient: n-octanol/water | : 0.67 |
| Auto-ignition temperature | : Not available. |
| Decomposition temperature | : Not available. |
| SADT | : Not available. |
| Viscosity | : Not applicable. |

Section 10. Stability and reactivity

| | |
|---|--|
| Reactivity | : No specific test data related to reactivity available for this product or its ingredients. |
| Chemical stability | : The product is stable. |
| Possibility of hazardous reactions | : Under normal conditions of storage and use, hazardous reactions will not occur. |
| Conditions to avoid | : No specific data. |
| Incompatible materials | : No specific data. |
| Hazardous decomposition products | : Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced. |
| Hazardous polymerization | : Under normal conditions of storage and use, hazardous polymerization will not occur. |

Section 10. Stability and reactivity

Irritation/Corrosion

Not available.

Sensitization

Not available.

Mutagenicity

Not available.

Carcinogenicity

Not available.

Reproductive toxicity

Not available.

Teratogenicity

Not available.

Specific target organ toxicity (single exposure)

Not available.

Specific target organ toxicity (repeated exposure)

Not available.

Aspiration hazard

Not available.

Information on the likely routes of exposure : Not available.

Potential acute health effects

- Eye contact** : Contact with rapidly expanding gas may cause burns or frostbite.
- Inhalation** : No known significant effects or critical hazards.
- Skin contact** : Contact with rapidly expanding gas may cause burns or frostbite.
- Ingestion** : As this product is a gas, refer to the inhalation section.

Symptoms related to the physical, chemical and toxicological characteristics

- Eye contact** : No specific data.
- Inhalation** : No specific data.
- Skin contact** : No specific data.
- Ingestion** : No specific data.

Delayed and immediate effects and also chronic effects from short and long term exposure

Short term exposure

- Potential immediate effects** : Not available.
- Potential delayed effects** : Not available.

Long term exposure

- Potential immediate effects** : Not available.
- Potential delayed effects** : Not available.

Potential chronic health effects

Not available.

- General** : No known significant effects or critical hazards.
- Carcinogenicity** : No known significant effects or critical hazards.

Section 11. Toxicological information

- Mutagenicity** : No known significant effects or critical hazards.
- Teratogenicity** : No known significant effects or critical hazards.
- Developmental effects** : No known significant effects or critical hazards.
- Fertility effects** : No known significant effects or critical hazards.

Numerical measures of toxicity

Acute toxicity estimates

Not available.

Section 12. Ecological information

Toxicity

Not available.

Persistence and degradability

Not available.

Bioaccumulative potential

| Product/ingredient name | LogP _{ow} | BCF | Potential |
|-------------------------|--------------------|-----|-----------|
| Nitrogen | 0.67 | - | low |

Mobility in soil






- Soil/water partition coefficient (K_{oc})** : Not available.

- Other adverse effects** : No known significant effects or critical hazards.

Section 13. Disposal considerations

- Disposal methods** : The generation of waste should be avoided or minimized wherever possible. Disposal of this product, solutions and any by-products should at all times comply with the requirements of environmental protection and waste disposal legislation and any regional local authority requirements. Dispose of surplus and non-recyclable products via a licensed waste disposal contractor. Waste should not be disposed of untreated to the sewer unless fully compliant with the requirements of all authorities with jurisdiction. Empty Airgas-owned pressure vessels should be returned to Airgas. Waste packaging should be recycled. Incineration or landfill should only be considered when recycling is not feasible. This material and its container must be disposed of in a safe way. Empty containers or liners may retain some product residues. Do not puncture or incinerate container.

Section 14. Transport information

| | DOT | TDG | Mexico | IMDG | IATA |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| UN number | UN1066 | UN1066 | UN1066 | UN1066 | UN1066 |
| UN proper shipping name | NITROGEN, COMPRESSED | NITROGEN, COMPRESSED | NITROGEN, COMPRESSED | NITROGEN, COMPRESSED | NITROGEN, COMPRESSED |
| Transport hazard class(es) | 2.2  | 2.2  | 2.2  | 2.2  | 2.2  |

Section 14. Transport information

| | | | | | |
|-------------------------------|---|--|-----|-----|--|
| Packing group | - | - | - | - | - |
| Environment | No. | No. | No. | No. | No. |
| Additional information | <p>Limited quantity Yes.</p> <p>Packaging instruction Passenger aircraft Quantity limitation: 75 kg</p> <p>Cargo aircraft Quantity limitation: 150 kg</p> | <p>Product classified as per the following sections of the Transportation of Dangerous Goods Regulations: 2.13-2.17 (Class 2).</p> <p>Explosive Limit and Limited Quantity Index 0.125</p> <p>Passenger Carrying Road or Rail Index 75</p> | - | - | <p>Passenger and Cargo Aircraft Quantity limitation: 75 kg Cargo Aircraft Only Quantity limitation: 150 kg</p> |

“Refer to CFR 49 (or authority having jurisdiction) to determine the information required for shipment of the product.”

Special precautions for user : **Transport within user’s premises:** always transport in closed containers that are upright and secure. Ensure that persons transporting the product know what to do in the event of an accident or spillage.

Transport in bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code : Not available.

Section 15. Regulatory information

U.S. Federal regulations : **TSCA 8(a) CDR Exempt/Partial exemption:** This material is listed or exempted.
United States inventory (TSCA 8b): This material is listed or exempted.

Clean Air Act Section 112 (b) Hazardous Air Pollutants (HAPs) : Not listed

Clean Air Act Section 602 Class I Substances : Not listed

Clean Air Act Section 602 Class II Substances : Not listed

DEA List I Chemicals (Precursor Chemicals) : Not listed

DEA List II Chemicals (Essential Chemicals) : Not listed

SARA 302/304

Composition/information on ingredients

No products were found.

SARA 304 RQ : Not applicable.

SARA 311/312

Classification : Sudden release of pressure

Composition/information on ingredients

| Name | % | Fire hazard | Sudden release of pressure | Reactive | Immediate (acute) health hazard | Delayed (chronic) health hazard |
|----------|-----|-------------|----------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|
| Nitrogen | 100 | No. | Yes. | No. | No. | No. |

Section 15. Regulatory information

State regulations

- Massachusetts** : This material is listed.
New York : This material is not listed.
New Jersey : This material is listed.
Pennsylvania : This material is listed.

International regulations

International lists

National inventory

- Australia** : This material is listed or exempted.
Canada : This material is listed or exempted.
China : This material is listed or exempted.
Europe : This material is listed or exempted.
Japan : Not determined.
Malaysia : Not determined.
New Zealand : This material is listed or exempted.
Philippines : This material is listed or exempted.
Republic of Korea : This material is listed or exempted.
Taiwan : This material is listed or exempted.

Canada

- WHMIS (Canada)** : Class A: Compressed gas.
CEPA Toxic substances: This material is not listed.
Canadian ARET: This material is not listed.
Canadian NPRI: This material is not listed.
Alberta Designated Substances: This material is not listed.
Ontario Designated Substances: This material is not listed.
Quebec Designated Substances: This material is not listed.

Section 16. Other information

Canada Label requirements : Class A: Compressed gas.

Hazardous Material Information System (U.S.A.)

| | |
|------------------|---|
| Health | 0 |
| Flammability | 0 |
| Physical hazards | 3 |
| | |

Caution: HMIS® ratings are based on a 0-4 rating scale, with 0 representing minimal hazards or risks, and 4 representing significant hazards or risks. Although HMIS® ratings are not required on SDSs under 29 CFR 1910.1200, the preparer may choose to provide them. HMIS® ratings are to be used with a fully implemented HMIS® program. HMIS® is a registered mark of the National Paint & Coatings Association (NPCA). HMIS® materials may be purchased exclusively from J. J. Keller (800) 327-6868.

The customer is responsible for determining the PPE code for this material.

National Fire Protection Association (U.S.A.)



Reprinted with permission from NFPA 704-2001, Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response Copyright ©1997, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. This reprinted material is not the complete and official position of the National Fire Protection Association, on the referenced subject which is represented only by the standard in its entirety.

Section 16. Other information

Copyright ©2001, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. This warning system is intended to be interpreted and applied only by properly trained individuals to identify fire, health and reactivity hazards of chemicals. The user is referred to certain limited number of chemicals with recommended classifications in NFPA 49 and NFPA 325, which would be used as a guideline only. Whether the chemicals are classified by NFPA or not, anyone using the 704 systems to classify chemicals does so at their own risk.

Procedure used to derive the classification

| Classification | Justification |
|----------------------------|-----------------|
| Press. Gas Comp. Gas, H280 | Expert judgment |

History

Date of printing : 5/26/2016

Date of issue/Date of revision : 5/26/2016

Date of previous issue : 8/7/2015

Version : 0.02

Key to abbreviations :

- ATE = Acute Toxicity Estimate
- BCF = Bioconcentration Factor
- GHS = Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals
- IATA = International Air Transport Association
- IBC = Intermediate Bulk Container
- IMDG = International Maritime Dangerous Goods
- LogPow = logarithm of the octanol/water partition coefficient
- MARPOL 73/78 = International Convention for the Prevention of Pollution From Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978. ("Marpol" = marine pollution)
- UN = United Nations

References : Not available.

☑ Indicates information that has changed from previously issued version.

Notice to reader

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, neither the above-named supplier, nor any of its subsidiaries, assumes any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein.

Final determination of suitability of any material is the sole responsibility of the user. All materials may present unknown hazards and should be used with caution. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards that exist.

SECTION: 1. Product and company identification

1.1. Product identifier

Product form : Substance
 Name : Ammonia
 CAS No : 7664-41-7
 Formula : NH₃

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Use of the substance/mixture : Industrial use. Use as directed.

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Praxair, Inc.
 10 Riverview Drive
 Danbury, CT 06810-6268 - USA
 T 1-800-772-9247 (1-800-PRAXAIR) - F 1-716-879-2146
www.praxair.com

1.4. Emergency telephone number

Emergency number : Onsite Emergency: 1-800-645-4633

CHEMTREC, 24hr/day 7days/week
 — Within USA: 1-800-424-9300, Outside USA: 001-703-527-3887
 (collect calls accepted, Contract 17729)

SECTION 2: Hazard identification

2.1. Classification of the substance or mixture

GHS-US classification

Liquefied gas H280
 Acute Tox. 4 (Inhalation:gas) H332
 Skin Corr. 1B H314

2.2. Label elements

GHS-US labeling

Hazard pictograms (GHS-US) :



GHS04 GHS05 GHS07

Signal word (GHS-US) : DANGER

Hazard statements (GHS-US) : H280 - CONTAINS GAS UNDER PRESSURE; MAY EXPLODE IF HEATED
 H314 - CAUSES SEVERE SKIN BURNS AND EYE DAMAGE
 H332 - HARMFUL IF INHALED

Precautionary statements (GHS-US) : P202 - Do not handle until all safety precautions have been read and understood
 P210 - Keep away from Heat, Open flames, Sparks, Hot surfaces. - No smoking
 P260 - Do not breathe gas
 P262 - Do not get in eyes, on skin, or on clothing
 P271+P403 - Use and store only outdoors or in a well-ventilated place
 P273 - Avoid release to the environment
 P280 - Wear protective gloves, protective clothing, eye protection, face protection
 P377 - Leaking gas fire: Do not extinguish, unless leak can be stopped safely
 P381 - Eliminate all ignition sources if safe to do so
 P501 - Dispose of contents/container in accordance with container Supplier/owner instructions
 CGA-PG05 - Use a back flow preventive device in the piping
 CGA-PG20+CGA-PG10 - Use only with equipment of compatible materials of construction and rated for cylinder pressure

CGA-PG12 - Do not open valve until connected to equipment prepared for use
CGA-PG06 - Close valve after each use and when empty
CGA-PG02 - Protect from sunlight when ambient temperature exceeds 52°C (125°F)

2.3. Other hazards

Other hazards not contributing to the classification : Contact with liquid may cause cold burns/frostbite.

2.4. Unknown acute toxicity (GHS US)

No data available

SECTION 3: Composition/Information on ingredients

3.1. Substance

Name : Ammonia
CAS No : 7664-41-7

| Name | Product identifier | % |
|---------|--------------------|------------|
| Ammonia | (CAS No) 7664-41-7 | 99.5 - 100 |

3.2. Mixture

Not applicable

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

First-aid measures after inhalation : Remove victim to uncontaminated area wearing self contained breathing apparatus. Keep victim warm and rested. Call a doctor. Apply artificial respiration if breathing stopped.

First-aid measures after skin contact : In case of contact, immediately flush affected areas with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Call a physician. Wash clothing before reuse. Discard contaminated shoes.

First-aid measures after eye contact : Immediately flush eyes thoroughly with water for at least 15 minutes. Hold the eyelids open and away from the eyeballs to ensure that all surfaces are flushed thoroughly. Contact an ophthalmologist immediately.. Get immediate medical attention.

First-aid measures after ingestion : Ingestion is not considered a potential route of exposure.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

No additional information available

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Treat with corticosteroid spray as soon as possible after inhalation. Obtain medical assistance.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media : Carbon dioxide, Dry chemical, Water spray or fog.

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Reactivity : No reactivity hazard other than the effects described in sub-sections below.

5.3. Advice for firefighters

Firefighting instructions : Take care not to extinguish flames. If flames are accidentally extinguished, explosive re-ignition may occur. Allow fire to burn out

Evacuate all personnel from the danger area. Use self-contained breathing apparatus (SCBA) and protective clothing. Immediately cool containers with water from maximum distance. Stop flow of gas if safe to do so, while continuing cooling water spray. Remove ignition sources if safe to do so. Remove containers from area of fire if safe to do so. On-site fire brigades must comply with OSHA 29 CFR 1910.156 and applicable standards under 29 CFR 1910 Subpart L—Fire Protection.

Protection during firefighting : Compressed gas: asphyxiant. Suffocation hazard by lack of oxygen.

Special protective equipment for fire fighters : Wear gas tight chemically protective clothing in combination with self contained breathing apparatus. Standard protective clothing and equipment (Self Contained Breathing Apparatus) for fire fighters.

Other information : Heat of fire can build pressure in cylinder and cause it to rupture. No part of a cylinder should be subjected to a temperature higher than 125°F (52°C). Cylinders are equipped with a pressure-relief device. (Exceptions may exist where authorized by DOT, in this case where cylinders contain less than 165 pounds of product.) If leaking or spilled product catches fire, do not extinguish flames. Flammable and toxic vapors may spread from leak and could explode if reignited. Vapors can be ignited by pilot lights, other flames, smoking, sparks, heaters, electrical equipment, static discharge, or other ignition sources at locations distant from product handling point. Explosive atmospheres may linger. Before entering area, especially confined areas, check atmosphere with an appropriate device. Reverse flow into cylinder may cause rupture. To protect persons from cylinder fragments and toxic fumes if a rupture occurs, totally evacuate the area if the fire cannot be brought under immediate control.

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

General measures : Evacuate personnel to a safe area. Appropriate self-contained breathing apparatus may be required. Approach suspected leak area with caution. Remove all sources of ignition, if safe to do so. Reverse flow into cylinder may cause rupture. Reduce gas with fog or fine water spray. Stop flow of product if safe to do so. Ventilate area or move container to a well-ventilated area. Flammable gas may spread from leak. Before entering the area, especially a confined area, check the atmosphere with an appropriate device.

6.1.1. For non-emergency personnel

No additional information available

6.1.2. For emergency responders

No additional information available

6.2. Environmental precautions

Prevent waste from contaminating the surrounding environment. Prevent soil and water pollution. Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations. Contact supplier for any special requirements.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

No additional information available

6.4. Reference to other sections

See also sections 8 and 13.

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Precautions for safe handling : Do not breathe gas/vapor. Avoid all contact with skin, eyes, or clothing. Emergency eye wash fountains and safety showers should be available in the immediate vicinity of any potential exposure

Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking. Use only non-sparking tools. Use only explosion-proof equipment

Wear leather safety gloves and safety shoes when handling cylinders. Protect cylinders from physical damage; do not drag, roll, slide or drop. While moving cylinder, always keep in place removable valve cover. Never attempt to lift a cylinder by its cap; the cap is intended solely to protect the valve. When moving cylinders, even for short distances, use a cart (trolley, hand truck, etc.) designed to transport cylinders. Never insert an object (e.g. wrench, screwdriver, pry bar) into cap openings; doing so may damage the valve and cause a leak. Use an adjustable strap wrench to remove over-tight or rusted caps. Slowly open the valve. If the valve is hard to open, discontinue use and contact your supplier. Close the container valve after each use; keep closed even when empty. Never apply flame or localized heat directly to any part of the container. High temperatures may damage the container and could cause the pressure relief device to fail prematurely, venting the container contents. For other precautions in using this product, see section 16.

Ammonia

Safety Data Sheet P-4562

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
Date of issue: 01/01/1981 Revision date: 10/13/2016 Supersedes: 03/23/2015

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Storage conditions : Store in a cool, well-ventilated place. Store and use with adequate ventilation. Store only where temperature will not exceed 125°F (52°C). Firmly secure containers upright to keep them from falling or being knocked over. Install valve protection cap, if provided, firmly in place by hand. Store full and empty containers separately. Use a first-in, first-out inventory system to prevent storing full containers for long periods

OTHER PRECAUTIONS FOR HANDLING, STORAGE, AND USE: When handling product under pressure, use piping and equipment adequately designed to withstand the pressures to be encountered. Never work on a pressurized system. Use a back flow preventive device in the piping. Gases can cause rapid suffocation because of oxygen deficiency; store and use with adequate ventilation. If a leak occurs, close the container valve and blow down the system in a safe and environmentally correct manner in compliance with all international, federal/national, state/provincial, and local laws; then repair the leak. Never place a container where it may become part of an electrical circuit.

7.3. Specific end use(s)

None.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

| Ammonia (7664-41-7) | | |
|---------------------|-------------------------------------|----------------------|
| ACGIH | ACGIH TLV-TWA (ppm) | 25 ppm |
| ACGIH | ACGIH TLV-STEL (ppm) | 35 ppm |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (mg/m ³) | 35 mg/m ³ |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (ppm) | 50 ppm |
| USA IDLH | US IDLH (ppm) | 300 ppm |
| Ammonia (7664-41-7) | | |
| ACGIH | ACGIH TLV-TWA (ppm) | 25 ppm |
| ACGIH | ACGIH TLV-STEL (ppm) | 35 ppm |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (mg/m ³) | 35 mg/m ³ |
| USA OSHA | OSHA PEL (TWA) (ppm) | 50 ppm |

8.2. Exposure controls

- Appropriate engineering controls : Use a local exhaust system, if necessary, to prevent oxygen deficiency and to keep hazardous fumes and gases below all applicable limits in the worker's breathing zone. **MECHANICAL ENGINEERING CONTROLS:** Not recommended as a primary ventilation system to control worker's exposure. **USE ONLY IN A CLOSED SYSTEM.** An explosion-proof, corrosion-resistant, forced-draft fume hood is preferred.
- Personal protective equipment : Wear metatarsal shoes and work gloves for cylinder handling, and protective clothing where needed. Wear appropriate chemical gloves during cylinder changeout or wherever contact with product is possible. Select per OSHA 29 CFR 1910.132, 1910.136, and 1910.138.
- Eye protection : Wear safety glasses when handling cylinders; vapor-proof goggles and a face shield during cylinder changeout or whenever contact with product is possible. Select eye protection in accordance with OSHA 29 CFR 1910.133.
- Skin and body protection : Wear metatarsal shoes and work gloves for cylinder handling, and protective clothing where needed. Wear appropriate chemical gloves during cylinder changeout or wherever contact with product is possible. Select per OSHA 29 CFR 1910.132, 1910.136, and 1910.138.
- Respiratory protection : When workplace conditions warrant respirator use, follow a respiratory protection program that meets OSHA 29 CFR 1910.134, ANSI Z88.2, or MSHA 30 CFR 72.710 (where applicable). Use an air-supplied or air-purifying cartridge if the action level is exceeded. Ensure that the respirator has the appropriate protection factor for the exposure level. If cartridge type respirators are used, the cartridge must be appropriate for the chemical exposure. For emergencies or instances with unknown exposure levels, use a self-contained breathing apparatus (SCBA).
- Thermal hazard protection : Wear cold insulating gloves when transfilling or breaking transfer connections.

Ammonia

Safety Data Sheet P-4562

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1981 Revision date: 10/13/2016 Supersedes: 03/23/2015

| | |
|---------------------------------|---|
| Environmental exposure controls | : Refer to local regulations for restriction of emissions to the atmosphere. See section 13 for specific methods for waste gas treatment. |
| Other information | : Keep suitable chemically resistant protective clothing readily available for emergency use. Wear leather safety gloves and safety shoes when handling cylinders. |

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

| | |
|---|---|
| Physical state | : Gas |
| Appearance | : Colorless gas. Liquid under pressure. |
| Molecular mass | : 17 g/mol |
| Color | : Colorless. |
| Odor | : Ammoniacal. |
| Odor threshold | : No data available |
| pH | : Not applicable. |
| Relative evaporation rate (butyl acetate=1) | : No data available |
| Relative evaporation rate (ether=1) | : Not applicable. |
| Melting point | : -77.7 °C |
| Freezing point | : No data available |
| Boiling point | : -33.4 °C |
| Flash point | : No data available |
| Critical temperature | : 132.4 °C |
| Auto-ignition temperature | : 650 °C |
| Decomposition temperature | : No data available |
| Flammability (solid, gas) | : ≥ 16 vol % 25 |
| Vapor pressure | : 860 kPa |
| Critical pressure | : 11350 kPa |
| Relative vapor density at 20 °C | : No data available |
| Relative density | : 0.7 |
| Density | : 0.682 g/cm ³ (at -33 °C) |
| Relative gas density | : 0.6 |
| Solubility | : Water: 517000 mg/l |
| Log Pow | : Not applicable. |
| Log Kow | : Not applicable. |
| Viscosity, kinematic | : Not applicable. |
| Viscosity, dynamic | : Not applicable. |
| Explosive properties | : Not applicable. |
| Oxidizing properties | : None. |
| Explosion limits | : No data available |

9.2. Other information

| | |
|------------------------|-----------------|
| Gas group | : Liquefied gas |
| Additional information | : None |

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1. Reactivity

No reactivity hazard other than the effects described in sub-sections below.

10.2. Chemical stability

Stable under normal conditions.

10.3. Possibility of hazardous reactions

Hazardous reactions may occur on contact with certain chemicals. (Refer to the list of incompatible materials section 10: "Stability-Reactivity").

Ammonia

Safety Data Sheet P-4562

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1981 Revision date: 10/13/2016 Supersedes: 03/23/2015

10.4. Conditions to avoid

Avoid moisture in installation systems.

10.5. Incompatible materials

Gold, silver, mercury, Oxidizing agents, Halogens, Halogenated compounds, Acids, Copper, Zinc, Copper/Zinc alloys (Brass), Chlorates.

10.6. Hazardous decomposition products

The normal products of combustion are nitrogen and water. Hydrogen may be formed at temperatures above 1,544°F (840°C).

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity : Inhalation:gas: HARMFUL IF INHALED.

| Ammonia (f)7664-41-7 | |
|---------------------------|------------------|
| LC50 inhalation rat (ppm) | 7338 ppm/1h |
| ATE US (gases) | 3669.000 ppmV/4h |
| Ammonia (7664-41-7) | |
| LC50 inhalation rat (ppm) | 7338 ppm/1h |
| ATE US (gases) | 3669.000 ppmV/4h |

Skin corrosion/irritation : CAUSES SEVERE SKIN BURNS AND EYE DAMAGE.

pH: Not applicable.

Serious eye damage/irritation : Not classified

pH: Not applicable.

Respiratory or skin sensitization : Not classified

Germ cell mutagenicity : Not classified

Carcinogenicity : Not classified

Reproductive toxicity : Not classified

Specific target organ toxicity (single exposure) : Not classified

Specific target organ toxicity (repeated exposure) : Not classified

Aspiration hazard : Not classified

SECTION 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Ecology - general : VERY TOXIC TO AQUATIC LIFE. No ecological damage caused by this product.

| Ammonia (7664-41-7) | |
|---------------------|--|
| LC50 fish 1 | 0.44 mg/l (Exposure time: 96 h - Species: Cyprinus carpio) |
| EC50 Daphnia 1 | 25.4 mg/l (Exposure time: 48 h - Species: Daphnia magna) |
| LC50 fish 2 | 2.43 mg/l (Exposure time: 96 h - Species: Lepomis macrochirus) |
| Ammonia (7664-41-7) | |
| LC50 fish 1 | 0.44 mg/l (Exposure time: 96 h - Species: Cyprinus carpio) |
| EC50 Daphnia 1 | 25.4 mg/l (Exposure time: 48 h - Species: Daphnia magna) |
| LC50 fish 2 | 2.43 mg/l (Exposure time: 96 h - Species: Lepomis macrochirus) |

12.2. Persistence and degradability

| Ammonia (7664-41-7) | |
|-------------------------------|--|
| Persistence and degradability | The substance is biodegradable. Unlikely to persist. |
| Ammonia (7664-41-7) | |
| Persistence and degradability | The substance is biodegradable. Unlikely to persist. |

Ammonia

Safety Data Sheet P-4562

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
 Date of issue: 01/01/1981 Revision date: 10/13/2016 Supersedes: 03/23/2015

12.3. Bioaccumulative potential

| Ammonia (7664-41-7) | |
|---------------------------|---|
| Log Pow | Not applicable. |
| Log Kow | Not applicable. |
| Bioaccumulative potential | Not expected to bioaccumulate due to the low log Kow (log Kow < 4). Refer to section 9. |
| Ammonia (7664-41-7) | |
| Log Pow | Not applicable. |
| Log Kow | Not applicable. |
| Bioaccumulative potential | Not expected to bioaccumulate due to the low log Kow (log Kow < 4). Refer to section 9. |

12.4. Mobility in soil

| Ammonia (7664-41-7) | |
|---------------------|---|
| Mobility in soil | No data available. |
| Ecology - soil | Because of its high volatility, the product is unlikely to cause ground or water pollution. |
| Ammonia (7664-41-7) | |
| Mobility in soil | No data available. |
| Ecology - soil | Because of its high volatility, the product is unlikely to cause ground or water pollution. |

12.5. Other adverse effects

- Other adverse effects : May cause pH changes in aqueous ecological systems.
- Effect on ozone layer : None
- Effect on the global warming : No known effects from this product

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

- Waste disposal recommendations : Do not attempt to dispose of residual or unused quantities. Return container to supplier.

SECTION 14: Transport information

In accordance with DOT

- Transport document description : UN1005 Ammonia, anhydrous, 2.2
- UN-No.(DOT) : UN1005
- Proper Shipping Name (DOT) : Ammonia, anhydrous
- Class (DOT) : 2.2 - Class 2.2 - Non-flammable compressed gas 49 CFR 173.115
- Hazard labels (DOT) : 2.2 - Non-flammable gas



- DOT Symbols : D - Proper shipping name for domestic use only, or to and from Canada
- DOT Special Provisions (49 CFR 172.102) : 13 - The words Inhalation Hazard shall be entered on each shipping paper in association with the shipping description, shall be marked on each non-bulk package in association with the proper shipping name and identification number, and shall be marked on two opposing sides of each bulk package. Size of marking on bulk package must conform to 172.302(b) of this subchapter. The requirements of 172.203(m) and 172.505 of this subchapter do not apply
 T50 - When portable tank instruction T50 is referenced in Column (7) of the 172.101 Table, the applicable liquefied compressed gases are authorized to be transported in portable tanks in accordance with the requirements of 173.313 of this subchapter

- Marine pollutant : Yes



Additional information

| | |
|---------------------------------------|--|
| Emergency Response Guide (ERG) Number | : 125 (UN1005);154 (UN2672) |
| Other information | : No supplementary information available. |
| Special transport precautions | : Avoid transport on vehicles where the load space is not separated from the driver's compartment. Ensure vehicle driver is aware of the potential hazards of the load and knows what to do in the event of an accident or an emergency. Before transporting product containers: - Ensure there is adequate ventilation. - Ensure that containers are firmly secured. - Ensure cylinder valve is closed and not leaking. - Ensure valve outlet cap nut or plug (where provided) is correctly fitted. - Ensure valve protection device (where provided) is correctly fitted. |

Transport by sea

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| UN-No. (IMDG) | : 1005 |
| Proper Shipping Name (IMDG) | : AMMONIA, ANHYDROUS |
| Class (IMDG) | : 2 - Gases |
| MFAG-No | : 125 |

Air transport

| | |
|-----------------------------|---|
| UN-No. (IATA) | : 1005 |
| Proper Shipping Name (IATA) | : Ammonia, anhydrous |
| Class (IATA) | : 2 |
| Civil Aeronautics Law | : Gases under pressure/Gases toxic under pressure |

SECTION 15: Regulatory information

15.1. US Federal regulations

| Ammonia (7664-41-7) | |
|---|---|
| Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory | |
| Listed on the United States SARA Section 302 | |
| Subject to reporting requirements of United States SARA Section 313 | |
| CERCLA RQ | 100 lb |
| SARA Section 302 Threshold Planning Quantity (TPQ) | 500 lb |
| SARA Section 311/312 Hazard Classes | Immediate (acute) health hazard Delayed (chronic) health hazard Sudden release of pressure hazard Fire hazard |
| SARA Section 313 - Emission Reporting | 1.0 % (includes anhydrous Ammonia and aqueous Ammonia from water dissociable Ammonium salts and other sources, 10% of total aqueous Ammonia is reportable under this listing) |

Chemical(s) subject to the reporting requirements of Section 313 or Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA) of 1986 and 40 CFR Part 372.

| | | |
|---------|------------------|-------------|
| Ammonia | CAS No 7664-41-7 | 99.5 - 100% |
|---------|------------------|-------------|

| Ammonia (7664-41-7) | |
|---|--------|
| Listed on the United States TSCA (Toxic Substances Control Act) inventory | |
| Listed on the United States SARA Section 302 | |
| Subject to reporting requirements of United States SARA Section 313 | |
| CERCLA RQ | 100 lb |
| SARA Section 302 Threshold Planning Quantity (TPQ) | 500 lb |

Ammonia

Safety Data Sheet P-4562

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
Date of issue: 01/01/1981 Revision date: 10/13/2016 Supersedes: 03/23/2015

| Ammonia (7664-41-7) | |
|---------------------------------------|---|
| SARA Section 311/312 Hazard Classes | Immediate (acute) health hazard Delayed (chronic) health hazard Sudden release of pressure hazard Fire hazard |
| SARA Section 313 - Emission Reporting | 1.0 % (includes anhydrous Ammonia and aqueous Ammonia from water dissociable Ammonium salts and other sources, 10% of total aqueous Ammonia is reportable under this listing) |

15.2. International regulations

CANADA

| Ammonia (7664-41-7) | |
|---|--|
| Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List) | |
| Ammonia (7664-41-7) | |
| Listed on the Canadian DSL (Domestic Substances List) | |

EU-Regulations

| Ammonia (7664-41-7) | |
|--|--|
| Listed on the EEC inventory EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances) | |
| Ammonia (7664-41-7) | |
| Listed on the EEC inventory EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances) | |

15.2.2. National regulations

| Ammonia (7664-41-7) | |
|--|--|
| Listed on the AICS (Australian Inventory of Chemical Substances) Listed on IECSC (Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China) Listed on the Japanese ENCS (Existing & New Chemical Substances) inventory Listed on the Korean ECL (Existing Chemicals List) Listed on NZIoC (New Zealand Inventory of Chemicals) Listed on PICCS (Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances) Japanese Poisonous and Deleterious Substances Control Law Listed on the Canadian IDL (Ingredient Disclosure List) Listed on INSQ (Mexican National Inventory of Chemical Substances) Listed on CICR (Turkish Inventory and Control of Chemicals) | |
| Ammonia (7664-41-7) | |
| Listed on the AICS (Australian Inventory of Chemical Substances) Listed on IECSC (Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China) Listed on the Japanese ENCS (Existing & New Chemical Substances) inventory Listed on the Korean ECL (Existing Chemicals List) Listed on NZIoC (New Zealand Inventory of Chemicals) Listed on PICCS (Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances) Japanese Poisonous and Deleterious Substances Control Law Listed on the Canadian IDL (Ingredient Disclosure List) Listed on INSQ (Mexican National Inventory of Chemical Substances) Listed on CICR (Turkish Inventory and Control of Chemicals) | |

15.3. US State regulations

| Ammonia(7664-41-7) | |
|---|---|
| U.S. - California - Proposition 65 - Carcinogens List | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Developmental Toxicity | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Female | No |
| U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Male | No |
| State or local regulations | U.S. - Massachusetts - Right To Know List U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List |

Ammonia

Safety Data Sheet P-4562

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
 Date of issue: 01/01/1981 Revision date: 10/13/2016 Supersedes: 03/23/2015

| Ammonia(7664-41-7) | |
|--------------------|---|
| | U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) - Environmental Hazard List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List |

California Proposition 65 - This product does not contain any substances known to the state of California to cause cancer, developmental and/or reproductive harm

| Ammonia (7664-41-7) | | | | |
|---|---|---|---|-----------------------------------|
| U.S. - California - Proposition 65 - Carcinogens List | U.S. - California - Proposition 65 - Developmental Toxicity | U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Female | U.S. - California - Proposition 65 - Reproductive Toxicity - Male | Non-significant risk level (NSRL) |
| No | No | No | No | |

| Ammonia (7664-41-7) |
|--|
| U.S. - Massachusetts - Right To Know List U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) - Environmental Hazard List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List |

SECTION 16: Other information

Other information : When you mix two or more chemicals, you can create additional, unexpected hazards. Obtain and evaluate the safety information for each component before you produce the mixture. Consult an industrial hygienist or other trained person when you evaluate the end product. Before using any plastics, confirm their compatibility with this product

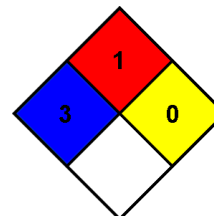
Praxair asks users of this product to study this SDS and become aware of the product hazards and safety information. To promote safe use of this product, a user should (1) notify employees, agents, and contractors of the information in this SDS and of any other known product hazards and safety information, (2) furnish this information to each purchaser of the product, and (3) ask each purchaser to notify its employees and customers of the product hazards and safety information

The opinions expressed herein are those of qualified experts within Praxair, Inc. We believe that the information contained herein is current as of the date of this Safety Data Sheet. Since the use of this information and the conditions of use are not within the control of Praxair, Inc, it is the user's obligation to determine the conditions of safe use of the product

Praxair SDSs are furnished on sale or delivery by Praxair or the independent distributors and suppliers who package and sell our products. To obtain current SDSs for these products, contact your Praxair sales representative, local distributor, or supplier, or download from www.praxair.com. If you have questions regarding Praxair SDSs, would like the document number and date of the latest SDS, or would like the names of the Praxair suppliers in your area, phone or write the Praxair Call Center (Phone: 1-800-PRAXAIR/1-800-772-9247; Address: Praxair Call Center, Praxair, Inc, P.O. Box 44, Tonawanda, NY 14151-0044)

PRAXAIR and the Flowing Airstream design are trademarks or registered trademarks of Praxair Technology, Inc. in the United States and/or other countries.

- NFPA health hazard : 3 - Short exposure could cause serious temporary or residual injury even though prompt medical attention was given.
- NFPA fire hazard : 1 - Must be preheated before ignition can occur.
- NFPA reactivity : 0 - Normally stable, even under fire exposure conditions, and are not reactive with water.





Ammonia

Safety Data Sheet P-4562

This SDS conforms to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.

Date of issue: 01/01/1981 Revision date: 10/13/2016 Supersedes: 03/23/2015

HMIS III Rating

Health : 3 Serious Hazard - Major injury likely unless prompt action is taken and medical treatment is given
Flammability : 1 Slight Hazard
Physical : 2 Moderate Hazard

SDS US (GHS HazCom 2012) - Praxair

This information is based on our current knowledge and is intended to describe the product for the purposes of health, safety and environmental requirements only. It should not therefore be construed as guaranteeing any specific property of the product.

Safety Data Sheet

according to 29CFR1910/1200 and GHS Rev. 3

Effective date : 12.28.2014

Page 1 of 7

Ammonium Sulfate,

SECTION 1 : Identification of the substance/mixture and of the supplier

Product name : Ammonium Sulfate,

Manufacturer/Supplier Trade name:

Manufacturer/Supplier Article number: S25176A

Recommended uses of the product and uses restrictions on use:

Manufacturer Details:

AquaPhoenix Scientific
9 Barnhart Drive, Hanover, PA 17331

Supplier Details:

Fisher Science Education
15 Jet View Drive, Rochester, NY 14624

Emergency telephone number:

Fisher Science Education Emergency Telephone No.: 800-535-5053

SECTION 2 : Hazards identification

Classification of the substance or mixture:



Irritant

Skin irritation, category 2
Eye irritation, category 2A
Acute toxicity (oral, dermal, inhalation), category 3

Eye irrit. cat 2

Skin Sens, cat 2

STOT SE 3

AcTox Oral 4

Hazards Not Otherwise Classified - Combustible Dust

Signal word :Warning

Hazard statements:

Harmful if swallowed

Causes skin irritation

Causes serious eye irritation

May cause respiratory irritation

Precautionary statements:

Wash ... thoroughly after handling

Do not eat, drink or smoke when using this product

Avoid breathing dust/fume/gas/mist/vapours/spray

Use only outdoors or in a well-ventilated area

Wear protective gloves/protective clothing/eye protection/face protection

Specific treatment (see supplemental first aid instructions on this label)

Rinse mouth

Take off contaminated clothing and wash before reuse

IF SWALLOWED: Call a POISON CENTER or doctor/physician if you feel unwell

IF ON SKIN: Wash with soap and water

IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing

Safety Data Sheet

according to 29CFR1910/1200 and GHS Rev. 3

Effective date : 12.28.2014

Page 2 of 7

Ammonium Sulfate,

If skin irritation occurs: Get medical advice/attention

If eye irritation persists get medical advice/attention

IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses if present and easy to do.

Continue rinsing

Store locked up

Store in a well ventilated place. Keep container tightly closed

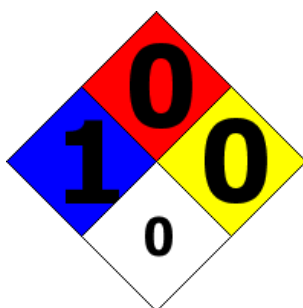
Dispose of contents/container to ...

Combustible Dust Hazard :

May form combustible dust concentrations in air (during processing).

Other Non-GHS Classification:

WHMIS NFPA/HMIS



NFPA SCALE (0-4)

| | |
|---------------------|---|
| Health | 1 |
| Flammability | 0 |
| Physical Hazard | 0 |
| Personal Protection | X |

HMIS RATINGS (0-4)

SECTION 3 : Composition/information on ingredients

Ingredients:

CAS 7783-20-2

Ammonium Sulfate,ACS

>95 %

Percentages are by weight

SECTION 4 : First aid measures

Description of first aid measures

After inhalation: Move exposed individual to fresh air. Loosen clothing as necessary and position individual in a comfortable position. Seek medical advice if discomfort or irritation persists. If breathing difficult, give oxygen.

After skin contact: Wash affected area with soap and water. Rinse/flush exposed skin gently using water for 15-20 minutes. Seek medical advice if discomfort or irritation persists.

After eye contact: Protect unexposed eye. Rinse/flush exposed eye(s) gently using water for 15-20 minutes. Remove contact lens(es) if able to do so during rinsing. Seek medical attention if irritation persists or if concerned.

After swallowing: Rinse mouth thoroughly. Do not induce vomiting. Have exposed individual drink sips of water. Seek medical attention if irritation, discomfort or vomiting persists.

Most important symptoms and effects, both acute and delayed:

Irritation, Nausea, Headache, Shortness of breath.;

Indication of any immediate medical attention and special treatment needed:

If seeking medical attention, provide SDS document to physician.

Safety Data Sheet

according to 29CFR1910/1200 and GHS Rev. 3

Effective date : 12.28.2014

Page 3 of 7

Ammonium Sulfate,

SECTION 5 : Firefighting measures

Extinguishing media

Suitable extinguishing agents: If in laboratory setting, follow laboratory fire suppression procedures. Use appropriate fire suppression agents for adjacent combustible materials or sources of ignition

For safety reasons unsuitable extinguishing agents:

Special hazards arising from the substance or mixture:

Combustion products may include carbon oxides or other toxic vapors. Thermal decomposition can lead to release of irritating gases and vapors. Avoid generating dust; fine dust dispersed in air in sufficient concentrations, and in the presence of an ignition source is a potential dust explosion hazard.

Advice for firefighters:

Protective equipment: Use NIOSH-approved respiratory protection/breathing apparatus.

Additional information (precautions): Move product containers away from fire or keep cool with water spray as a protective measure, where feasible. Use spark-proof tools and explosion-proof equipment.

SECTION 6 : Accidental release measures

Personal precautions, protective equipment and emergency procedures:

Wear protective equipment. Transfer to a disposal or recovery container. Use spark-proof tools and explosion-proof equipment. Use respiratory protective device against the effects of fumes/dust/aerosol. Keep unprotected persons away. Ensure adequate ventilation. Keep away from ignition sources. Protect from heat. Stop the spill, if possible. Contain spilled material by diking or using inert absorbent.

Environmental precautions:

Prevent from reaching drains, sewer or waterway. Collect contaminated soil for characterization per Section 13

Methods and material for containment and cleaning up:

If in a laboratory setting, follow Chemical Hygiene Plan procedures. Place into properly labeled containers for recovery or disposal. If necessary, use trained response staff/contractor. Dust deposits should not be allowed to accumulate on surfaces, as these may form an explosive mixture if they are released into the atmosphere in sufficient concentration. Avoid dispersal of dust in the air (i.e., clearing dust surfaces with compressed air). Collect solids in powder form using vacuum with (HEPA filter)

Reference to other sections:

SECTION 7 : Handling and storage

Precautions for safe handling:

Minimize dust generation and accumulation. Wash hands after handling. Avoid dispersal of dust in the air (i.e., clearing dust surfaces with compressed air). Routine housekeeping should be instituted to ensure that dusts do not accumulate on surfaces. Dry powders can build static electricity charges when subjected to the friction of transfer and mixing operations. Follow good hygiene procedures when handling chemical materials. Do not eat, drink, smoke, or use personal products when handling chemical substances. If in a laboratory setting, follow Chemical Hygiene Plan. Use only in well ventilated areas. Avoid generation of dust or fine particulate. Avoid contact with eyes, skin, and clothing.

Conditions for safe storage, including any incompatibilities:

Store in a cool location. Provide ventilation for containers. Avoid storage near extreme heat, ignition sources or open flame. Store away from foodstuffs. Store away from oxidizing agents. Store in cool, dry conditions in well sealed containers. Keep container tightly sealed. Store with like hazards

SECTION 8 : Exposure controls/personal protection

Safety Data Sheet

according to 29CFR1910/1200 and GHS Rev. 3

Effective date : 12.28.2014

Page 4 of 7

Ammonium Sulfate,



Control Parameters:

, , OSHA PEL TWA (Total Dust) 15 mg/m³ (50 mppcf*)
, , ACGIH TLV TWA (inhalable particles) 10 mg/m³

Appropriate Engineering controls:

Emergency eye wash fountains and safety showers should be available in the immediate vicinity of use/handling. Provide exhaust ventilation or other engineering controls to keep the airborne concentrations of vapor or dusts (total/respirable) below the applicable workplace exposure limits (Occupational Exposure Limits-OELs) indicated above. Use under a fume hood. It is recommended that all dust control equipment such as local exhaust ventilation and material transport systems involved in handling of this product contain explosion relief vents or an explosion suppression system or an oxygen deficient environment. Ensure that dust-handling systems (such as exhaust ducts, dust collectors, vessels, and processing equipment) are designed in a manner to prevent the escape of dust into the work area (i.e., there is no leakage from the equipment).

Respiratory protection:

Not required under normal conditions of use. Use suitable respiratory protective device when high concentrations are present. Use suitable respiratory protective device when aerosol or mist is formed. For spills, respiratory protection may be advisable.

Protection of skin:

The glove material has to be impermeable and resistant to the product/ the substance/ the preparation being used/handled. Selection of the glove material on consideration of the penetration times, rates of diffusion and the degradation.

Eye protection:

Safety glasses with side shields or goggles.

General hygienic measures:

The usual precautionary measures are to be adhered to when handling chemicals. Keep away from food, beverages and feed sources. Immediately remove all soiled and contaminated clothing. Wash hands before breaks and at the end of work. Do not inhale gases/fumes/dust/mist/vapor/aerosols. Avoid contact with the eyes and skin.

SECTION 9 : Physical and chemical properties

| | | | |
|---|-------------------|--|----------------------------------|
| Appearance (physical state,color): | Colorless Solid | Explosion limit lower: Explosion limit upper: | Not Determined Not Determined |
| Odor: | Odorless | Vapor pressure: | Not Determined |
| Odor threshold: | Not Determined | Vapor density: | Not Determined |
| pH-value: | 5-6 (5% aq. sol.) | Relative density: | 1.8 |
| Melting/Freezing point: | 280 C | Solubilities: | Material is water soluble. |
| Boiling point/Boiling range: | Not Determined | Partition coefficient (n-octanol/water): | n-octanol/water: log Pow: -5.1 |
| Flash point (closed cup): | Not Determined | Auto/Self-ignition temperature: | Not Determined |

Safety Data Sheet

according to 29CFR1910/1200 and GHS Rev. 3

Effective date : 12.28.2014

Page 5 of 7

Ammonium Sulfate,

| | | | |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------|---|
| Evaporation rate: | Insignificant | Decomposition temperature: | 350 C |
| Flammability (solid,gaseous): | Not Determined | Viscosity: | a. Kinematic:Not Determined b. Dynamic: Not Determined |
| Density: Not Determined | | | |

SECTION 10 : Stability and reactivity

Reactivity:Nonreactive under normal conditions.

Chemical stability:No decomposition if used and stored according to specifications.

Possible hazardous reactions:None under normal processing

Conditions to avoid:Store away from oxidizing agents, strong acids or bases.Incompatible Materials.excess heat.Dust generation.

Incompatible materials:Strong acids.Strong bases.Strong oxidizing agents.

Hazardous decomposition products:sulfur dioxide.nitrogen.Ammonia.ammonium bisulfate.

SECTION 11 : Toxicological information

| | |
|---|--------------------------------|
| Acute Toxicity: | |
| Oral: | 2840mg/kg APS: LD50 orl-rat |
| Chronic Toxicity: No additional information. | |
| Corrosion Irritation: No additional information. | |
| Sensitization: | No additional information. |
| Single Target Organ (STOT): | No additional information. |
| Numerical Measures: | No additional information. |
| Carcinogenicity: | No additional information. |
| Mutagenicity: | No additional information. |
| Reproductive Toxicity: | No additional information. |

SECTION 12 : Ecological information

Ecotoxicity Persistence and degradability: Readily degradable in the environment.

Bioaccumulative potential:

Mobility in soil:

Other adverse effects:

SECTION 13 : Disposal considerations

Waste disposal recommendations:

Product/containers must not be disposed together with household garbage. Do not allow product to reach sewage system or open water.It is the responsibility of the waste generator to properly characterize all waste materials according to applicable regulatory entities (US 40CFR262.11). Consult federal state/ provincial and local regulations regarding the proper disposal of waste material that may incorporate some amount of this product.

Safety Data Sheet

according to 29CFR1910/1200 and GHS Rev. 3

Effective date : 12.28.2014

Page 6 of 7

Ammonium Sulfate,

SECTION 14 : Transport information

UN-Number

Not Dangerous Goods

UN proper shipping name

Not Dangerous Goods

Transport hazard class(es)

Packing group: Not Dangerous Goods

Environmental hazard:

Transport in bulk:

Special precautions for user:

SECTION 15 : Regulatory information

United States (USA)

SARA Section 311/312 (Specific toxic chemical listings):

None of the ingredients is listed

SARA Section 313 (Specific toxic chemical listings):

7783-20-2 Ammonium Sulfate

RCRA (hazardous waste code):

None of the ingredients is listed

TSCA (Toxic Substances Control Act):

All ingredients are listed.

CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act):

None of the ingredients is listed

Proposition 65 (California):

Chemicals known to cause cancer:

None of the ingredients is listed

Chemicals known to cause reproductive toxicity for females:

None of the ingredients is listed

Chemicals known to cause reproductive toxicity for males:

None of the ingredients is listed

Chemicals known to cause developmental toxicity:

None of the ingredients is listed

Canada

Canadian Domestic Substances List (DSL):

All ingredients are listed.

Canadian NPRI Ingredient Disclosure list (limit 0.1%):

None of the ingredients is listed

Canadian NPRI Ingredient Disclosure list (limit 1%):

None of the ingredients is listed

SECTION 16 : Other information

Safety Data Sheet

according to 29CFR1910/1200 and GHS Rev. 3

Effective date : 12.28.2014

Page 7 of 7

Ammonium Sulfate,

This product has been classified in accordance with hazard criteria of the Controlled Products Regulations and the SDS contains all the information required by the Controlled Products Regulations. Note: The responsibility to provide a safe workplace remains with the user. The user should consider the health hazards and safety information contained herein as a guide and should take those precautions required in an individual operation to instruct employees and develop work practice procedures for a safe work environment. The information contained herein is, to the best of our knowledge and belief, accurate. However, since the conditions of handling and use are beyond our control, we make no guarantee of results, and assume no liability for damages incurred by the use of this material. It is the responsibility of the user to comply with all applicable laws and regulations applicable to this material.

GHS Full Text Phrases:

Abbreviations and acronyms:

IMDG: International Maritime Code for Dangerous Goods

PNEC: Predicted No-Effect Concentration (REACH)

CFR: Code of Federal Regulations (USA)

SARA: Superfund Amendments and Reauthorization Act (USA)

RCRA: Resource Conservation and Recovery Act (USA)

TSCA: Toxic Substances Control Act (USA)

NPRI: National Pollutant Release Inventory (Canada)

DOT: US Department of Transportation

IATA: International Air Transport Association

GHS: Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

CAS: Chemical Abstracts Service (division of the American Chemical Society)

NFPA: National Fire Protection Association (USA)

HMIS: Hazardous Materials Identification System (USA)

WHMIS: Workplace Hazardous Materials Information System (Canada)

DNEL: Derived No-Effect Level (REACH)

Effective date : 12.28.2014

Last updated : 03.19.2015

SAFETY DATA SHEET

Airgas

Nitric Oxide

Section 1. Identification

| | |
|--------------------------------------|---|
| GHS product identifier | : Nitric Oxide |
| Chemical name | : nitric oxide |
| Other means of identification | : Nitrogen oxide; Nitrogen monoxide; Nitrosyl radical; NO; Amidogen, oxo- |
| Product use | : Synthetic/Analytical chemistry. |
| Synonym | : Nitrogen oxide; Nitrogen monoxide; Nitrosyl radical; NO; Amidogen, oxo- |
| SDS # | : 001039 |
| Supplier's details | : Airgas USA, LLC and its affiliates 259 North Radnor-Chester Road Suite 100 Radnor, PA 19087-5283 1-610-687-5253 |
| 24-hour telephone | : 1-866-734-3438 |

Section 2. Hazards identification

| | |
|---|--|
| OSHA/HCS status | : This material is considered hazardous by the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200). |
| Classification of the substance or mixture | : OXIDIZING GASES - Category 1 GASES UNDER PRESSURE - Compressed gas ACUTE TOXICITY (inhalation) - Category 1 SKIN CORROSION/IRRITATION - Category 1 SERIOUS EYE DAMAGE/ EYE IRRITATION - Category 1 |

GHS label elements

Hazard pictograms



Signal word : Danger

Hazard statements : May cause or intensify fire; oxidizer.
Contains gas under pressure; may explode if heated.
Fatal if inhaled.
Symptoms may be delayed.
Causes severe skin burns and eye damage.
Causes serious eye damage.

Precautionary statements

General

: Read and follow all Safety Data Sheets (SDS'S) before use. Read label before use. Keep out of reach of children. If medical advice is needed, have product container or label at hand. Close valve after each use and when empty. Use equipment rated for cylinder pressure. Do not open valve until connected to equipment prepared for use. Use a back flow preventative device in the piping. Use only equipment of compatible materials of construction. Open valve slowly. Use only with equipment cleaned for Oxygen service.

Prevention

: Wear protective gloves. Wear eye or face protection. Wear protective clothing. Wear respiratory protection. Keep away from clothing, incompatible materials and combustible materials. Keep reduction valves, valves and fittings free from oil and grease. Use only outdoors or in a well-ventilated area. Do not breathe gas. Wash hands thoroughly after handling.

Section 2. Hazards identification

- Response** : In case of fire: Stop leak if safe to do so. IF INHALED: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing. Immediately call a POISON CENTER or physician. IF SWALLOWED: Immediately call a POISON CENTER or physician. Rinse mouth. Do NOT induce vomiting. IF ON SKIN (or hair): Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water or shower. Wash contaminated clothing before reuse. Immediately call a POISON CENTER or physician. IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. Immediately call a POISON CENTER or physician.
- Storage** : Store locked up. Protect from sunlight. Protect from sunlight when ambient temperature exceeds 52°C/125°F. Store in a well-ventilated place.
- Disposal** : Dispose of contents and container in accordance with all local, regional, national and international regulations.
- Hazards not otherwise classified** : In addition to any other important health or physical hazards, this product may displace oxygen and cause rapid suffocation.

Section 3. Composition/information on ingredients

- Substance/mixture** : Substance
- Chemical name** : nitric oxide
- Other means of identification** : Nitrogen oxide; Nitrogen monoxide; Nitrosyl radical; NO; Amidogen, oxo-

CAS number/other identifiers

- CAS number** : 10102-43-9
- Product code** : 001039

| Ingredient name | % | CAS number |
|-----------------|-----|------------|
| nitric oxide | 100 | 10102-43-9 |

Any concentration shown as a range is to protect confidentiality or is due to batch variation.

There are no additional ingredients present which, within the current knowledge of the supplier and in the concentrations applicable, are classified as hazardous to health or the environment and hence require reporting in this section.

Occupational exposure limits, if available, are listed in Section 8.

Section 4. First aid measures

Description of necessary first aid measures

- Eye contact** : Get medical attention immediately. Call a poison center or physician. Immediately flush eyes with plenty of water, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Check for and remove any contact lenses. Continue to rinse for at least 10 minutes. Chemical burns must be treated promptly by a physician.
- Inhalation** : Get medical attention immediately. Call a poison center or physician. Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If it is suspected that fumes are still present, the rescuer should wear an appropriate mask or self-contained breathing apparatus. If not breathing, if breathing is irregular or if respiratory arrest occurs, provide artificial respiration or oxygen by trained personnel. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation. If unconscious, place in recovery position and get medical attention immediately. Maintain an open airway. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. In case of inhalation of decomposition products in a fire, symptoms may be delayed. The exposed person may need to be kept under medical surveillance for 48 hours.
- Skin contact** : Get medical attention immediately. Call a poison center or physician. Flush contaminated skin with plenty of water. Remove contaminated clothing and shoes. Wash contaminated clothing thoroughly with water before removing it, or wear gloves. Continue to rinse for at least 10 minutes. Chemical burns must be treated promptly by a physician. Wash clothing before reuse. Clean shoes thoroughly before reuse.
- Ingestion** : As this product is a gas, refer to the inhalation section.

Section 4. First aid measures

Most important symptoms/effects, acute and delayed

Potential acute health effects

- Eye contact** : Causes serious eye damage. Contact with rapidly expanding gas may cause burns or frostbite.
- Inhalation** : Fatal if inhaled.
- Skin contact** : Causes severe burns. Contact with rapidly expanding gas may cause burns or frostbite.
- Frostbite** : Try to warm up the frozen tissues and seek medical attention.
- Ingestion** : As this product is a gas, refer to the inhalation section.

Over-exposure signs/symptoms

- Eye contact** : Adverse symptoms may include the following:., pain, watering, redness
- Inhalation** : No specific data.
- Skin contact** : Adverse symptoms may include the following:., pain or irritation, redness, blistering may occur
- Ingestion** : Adverse symptoms may include the following:., stomach pains

Indication of immediate medical attention and special treatment needed, if necessary

- Notes to physician** : In case of inhalation of decomposition products in a fire, symptoms may be delayed. The exposed person may need to be kept under medical surveillance for 48 hours.
- Specific treatments** : No specific treatment.
- Protection of first-aiders** : No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. If it is suspected that fumes are still present, the rescuer should wear an appropriate mask or self-contained breathing apparatus. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation. Wash contaminated clothing thoroughly with water before removing it, or wear gloves.

See toxicological information (Section 11)

Section 5. Fire-fighting measures

Extinguishing media

- Suitable extinguishing media** : Use an extinguishing agent suitable for the surrounding fire.
- Unsuitable extinguishing media** : None known.

- Specific hazards arising from the chemical** : Contains gas under pressure. Oxidizing material. This material increases the risk of fire and may aid combustion. Contact with combustible material may cause fire. In a fire or if heated, a pressure increase will occur and the container may burst or explode.

- Hazardous thermal decomposition products** : Decomposition products may include the following materials:
nitrogen oxides

- Special protective actions for fire-fighters** : Promptly isolate the scene by removing all persons from the vicinity of the incident if there is a fire. No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Contact supplier immediately for specialist advice. Move containers from fire area if this can be done without risk. Use water spray to keep fire-exposed containers cool. If involved in fire, shut off flow immediately if it can be done without risk.

- Special protective equipment for fire-fighters** : Fire-fighters should wear appropriate protective equipment and self-contained breathing apparatus (SCBA) with a full face-piece operated in positive pressure mode.

Section 6. Accidental release measures

Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

- For non-emergency personnel** : No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Evacuate surrounding areas. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Shut off all ignition sources. No flares, smoking or flames in hazard area. Do not breathe gas. Provide adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Put on appropriate personal protective equipment.
- For emergency responders** : If specialised clothing is required to deal with the spillage, take note of any information in Section 8 on suitable and unsuitable materials. See also the information in "For non-emergency personnel".

- Environmental precautions** : Ensure emergency procedures to deal with accidental gas releases are in place to avoid contamination of the environment. Inform the relevant authorities if the product has caused environmental pollution (sewers, waterways, soil or air).

Methods and materials for containment and cleaning up

- Small spill** : Immediately contact emergency personnel. Stop leak if without risk. Use spark-proof tools and explosion-proof equipment.
- Large spill** : Immediately contact emergency personnel. Stop leak if without risk. Use spark-proof tools and explosion-proof equipment. Note: see Section 1 for emergency contact information and Section 13 for waste disposal.

Section 7. Handling and storage

Precautions for safe handling

- Protective measures** : Put on appropriate personal protective equipment (see Section 8). Contains gas under pressure. Do not get in eyes or on skin or clothing. Do not breathe gas. Use only with adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Keep away from clothing, incompatible materials and combustible materials. Keep reduction valves free from grease and oil. Empty containers retain product residue and can be hazardous. Do not puncture or incinerate container. Use equipment rated for cylinder pressure. Close valve after each use and when empty. Protect cylinders from physical damage; do not drag, roll, slide, or drop. Use a suitable hand truck for cylinder movement.

- Advice on general occupational hygiene** : Eating, drinking and smoking should be prohibited in areas where this material is handled, stored and processed. Workers should wash hands and face before eating, drinking and smoking. Remove contaminated clothing and protective equipment before entering eating areas. See also Section 8 for additional information on hygiene measures.

- Conditions for safe storage, including any incompatibilities** : Store in accordance with local regulations. Store in a segregated and approved area. Store away from direct sunlight in a dry, cool and well-ventilated area, away from incompatible materials (see Section 10). Store locked up. Separate from acids, alkalis, reducing agents and combustibles. Keep container tightly closed and sealed until ready for use. Cylinders should be stored upright, with valve protection cap in place, and firmly secured to prevent falling or being knocked over. Cylinder temperatures should not exceed 52 °C (125 °F).

Section 8. Exposure controls/personal protection

Control parameters

Occupational exposure limits

Section 8. Exposure controls/personal protection

| Ingredient name | Exposure limits |
|-----------------|---|
| nitric oxide | <p>ACGIH TLV (United States, 3/2015). TWA: 25 ppm 8 hours. TWA: 31 mg/m³ 8 hours.</p> <p>OSHA PEL 1989 (United States, 3/1989). TWA: 25 ppm 8 hours. TWA: 30 mg/m³ 8 hours.</p> <p>NIOSH REL (United States, 10/2013). TWA: 25 ppm 10 hours. TWA: 30 mg/m³ 10 hours.</p> <p>OSHA PEL (United States, 2/2013). TWA: 25 ppm 8 hours. TWA: 30 mg/m³ 8 hours.</p> |

Appropriate engineering controls : Use only with adequate ventilation. Use process enclosures, local exhaust ventilation or other engineering controls to keep worker exposure to airborne contaminants below any recommended or statutory limits.

Environmental exposure controls : Emissions from ventilation or work process equipment should be checked to ensure they comply with the requirements of environmental protection legislation. In some cases, fume scrubbers, filters or engineering modifications to the process equipment will be necessary to reduce emissions to acceptable levels.

Individual protection measures

Hygiene measures : Wash hands, forearms and face thoroughly after handling chemical products, before eating, smoking and using the lavatory and at the end of the working period. Appropriate techniques should be used to remove potentially contaminated clothing. Wash contaminated clothing before reusing. Ensure that eyewash stations and safety showers are close to the workstation location.

Eye/face protection : Safety eyewear complying with an approved standard should be used when a risk assessment indicates this is necessary to avoid exposure to liquid splashes, mists, gases or dusts. If contact is possible, the following protection should be worn, unless the assessment indicates a higher degree of protection: chemical splash goggles and/or face shield. If inhalation hazards exist, a full-face respirator may be required instead.

Skin protection

Hand protection : Chemical-resistant, impervious gloves complying with an approved standard should be worn at all times when handling chemical products if a risk assessment indicates this is necessary. Considering the parameters specified by the glove manufacturer, check during use that the gloves are still retaining their protective properties. It should be noted that the time to breakthrough for any glove material may be different for different glove manufacturers. In the case of mixtures, consisting of several substances, the protection time of the gloves cannot be accurately estimated.

Body protection : Personal protective equipment for the body should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product.

Other skin protection : Appropriate footwear and any additional skin protection measures should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product.

Respiratory protection : Use a properly fitted, air-purifying or air-fed respirator complying with an approved standard if a risk assessment indicates this is necessary. Respirator selection must be based on known or anticipated exposure levels, the hazards of the product and the safe working limits of the selected respirator.

Section 9. Physical and chemical properties

Appearance

| | |
|---|---|
| Physical state | : Gas. [Compressed gas.] |
| Color | : Colorless. |
| Molecular weight | : 30.01 g/mole |
| Molecular formula | : N-O |
| Boiling/condensation point | : -151.8°C (-241.2°F) |
| Melting/freezing point | : -163.6°C (-262.5°F) |
| Critical temperature | : -93.15°C (-135.7°F) |
| Odor | : Sharp. Unpleasant. |
| Odor threshold | : Not available. |
| pH | : Not available. |
| Flash point | : [Product does not sustain combustion.] |
| Burning time | : Not applicable. |
| Burning rate | : Not applicable. |
| Evaporation rate | : 2600 (butyl acetate = 1) |
| Flammability (solid, gas) | : Extremely flammable in the presence of the following materials or conditions: reducing materials and combustible materials. |
| Lower and upper explosive (flammable) limits | : Not available. |
| Vapor pressure | : Not available. |
| Vapor density | : 1.04 (Air = 1) |
| Specific Volume (ft³/lb) | : 12.987 |
| Gas Density (lb/ft³) | : 0.077 |
| Relative density | : Not applicable. |
| Solubility | : Not available. |
| Solubility in water | : Not available. |
| Partition coefficient: n-octanol/water | : Not available. |
| Auto-ignition temperature | : Not available. |
| Decomposition temperature | : Not available. |
| SADT | : Not available. |
| Viscosity | : Not applicable. |

Section 10. Stability and reactivity

| | |
|---|---|
| Reactivity | : No specific test data related to reactivity available for this product or its ingredients. |
| Chemical stability | : The product is stable. |
| Possibility of hazardous reactions | : Hazardous reactions or instability may occur under certain conditions of storage or use. Conditions may include the following: contact with combustible materials Reactions may include the following: risk of causing fire |
| Conditions to avoid | : No specific data. |

Section 10. Stability and reactivity

Incompatible materials : Highly reactive or incompatible with the following materials:
combustible materials
reducing materials
grease
oil

Hazardous decomposition products : Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced.

Hazardous polymerization : Under normal conditions of storage and use, hazardous polymerization will not occur.

Section 11. Toxicological information

Information on toxicological effects

Acute toxicity

| Product/ingredient name | Result | Species | Dose | Exposure |
|-------------------------|----------------------|---------|---------|----------|
| nitric oxide | LC50 Inhalation Gas. | Rat | 115 ppm | 1 hours |

IDLH : 100 ppm

Irritation/Corrosion

Not available.

Sensitization

Not available.

Mutagenicity

Not available.

Carcinogenicity

Not available.

Reproductive toxicity

Not available.

Teratogenicity

Not available.

Specific target organ toxicity (single exposure)

Not available.

Specific target organ toxicity (repeated exposure)

Not available.

Aspiration hazard

Not available.

Information on the likely routes of exposure : Not available.

Potential acute health effects

Eye contact : Causes serious eye damage. Contact with rapidly expanding gas may cause burns or frostbite.

Inhalation : Fatal if inhaled.

Skin contact : Causes severe burns. Contact with rapidly expanding gas may cause burns or frostbite.

Ingestion : As this product is a gas, refer to the inhalation section.

Symptoms related to the physical, chemical and toxicological characteristics

Section 11. Toxicological information

- Eye contact** : Adverse symptoms may include the following: pain, watering, redness
- Inhalation** : No specific data.
- Skin contact** : Adverse symptoms may include the following: pain or irritation, redness, blistering may occur
- Ingestion** : Adverse symptoms may include the following: stomach pains

Delayed and immediate effects and also chronic effects from short and long term exposure

Short term exposure

- Potential immediate effects** : Not available.
- Potential delayed effects** : Not available.

Long term exposure

- Potential immediate effects** : Not available.
- Potential delayed effects** : Not available.

Potential chronic health effects

Not available.

- General** : No known significant effects or critical hazards.
- Carcinogenicity** : No known significant effects or critical hazards.
- Mutagenicity** : No known significant effects or critical hazards.
- Teratogenicity** : No known significant effects or critical hazards.
- Developmental effects** : No known significant effects or critical hazards.
- Fertility effects** : No known significant effects or critical hazards.

Numerical measures of toxicity

Acute toxicity estimates

Not available.

Section 12. Ecological information

Toxicity

Not available.

Persistence and degradability

Not available.

Bioaccumulative potential

Not available.

Mobility in soil

- Soil/water partition coefficient (K_{oc})** : Not available.

- Other adverse effects** : No known significant effects or critical hazards.

Section 13. Disposal considerations

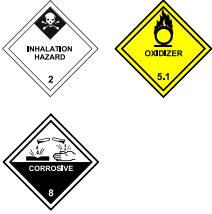
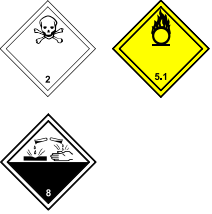
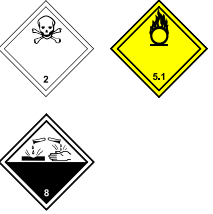
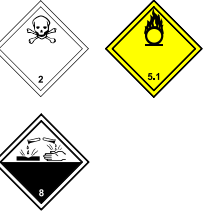
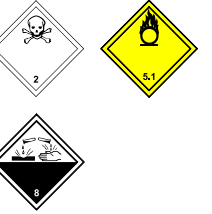
Disposal methods

: The generation of waste should be avoided or minimized wherever possible. Disposal of this product, solutions and any by-products should at all times comply with the requirements of environmental protection and waste disposal legislation and any regional local authority requirements. Dispose of surplus and non-recyclable products via a licensed waste disposal contractor. Waste should not be disposed of untreated to the sewer unless fully compliant with the requirements of all authorities with jurisdiction. Empty Airgas-owned pressure vessels should be returned to Airgas. Waste packaging should be recycled. Incineration or landfill should only be considered when recycling is not feasible. This material and its container must be disposed of in a safe way. Empty containers or liners may retain some product residues. Do not puncture or incinerate container.

United States - RCRA Acute hazardous waste "P" List

| Ingredient | CAS # | Status | Reference number |
|---------------------------------|------------|--------|------------------|
| Nitric oxide; Nitrogen oxide NO | 10102-43-9 | Listed | P076 |

Section 14. Transport information

| | DOT | TDG | Mexico | IMDG | IATA |
|-----------------------------------|--|--|--|---|--|
| UN number | UN1660 | UN1660 | UN1660 | UN1660 | UN1660 |
| UN proper shipping name | NITRIC OXIDE, COMPRESSED | NITRIC OXIDE, COMPRESSED | NITRIC OXIDE, COMPRESSED | NITRIC OXIDE, COMPRESSED | NITRIC OXIDE, COMPRESSED |
| Transport hazard class(es) | 2.3 (5.1, 8)  | 2.3 (5.1, 8)  | 2.3 (5.1, 8)  | 2.3 (5.1, 8)  | 2.3 (5.1, 8)  |
| Packing group | - | - | - | - | - |
| Environment | No. | No. | No. | No. | No. |
| Additional information | <p>Toxic - Inhalation hazard Zone A</p> <p>Reportable quantity 10 lbs / 4.54 kg Package sizes shipped in quantities less than the product reportable quantity are not subject to the RQ (reportable quantity) transportation requirements.</p> <p>Limited quantity Yes.</p> <p>Packaging instruction Passenger aircraft Quantity limitation: Forbidden.</p> <p>Cargo aircraft Quantity limitation: Forbidden.</p> <p>Special provisions 1, B37, B46, B50, B60, B77</p> | <p>Product classified as per the following sections of the Transportation of Dangerous Goods Regulations: 2.13-2.17 (Class 2), 2.23-2.25 (Class 5), 2.40-2.42 (Class 8).</p> <p>Explosive Limit and Limited Quantity Index 0</p> <p>ERAP Index 0</p> <p>Passenger Carrying Ship Index Forbidden</p> <p>Passenger Carrying Road or Rail Index Forbidden</p> <p>Special provisions 38</p> | - | - | <p>Passenger and Cargo Aircraft Quantity limitation: 0 Forbidden</p> <p>Cargo Aircraft Only Quantity limitation: 0 Forbidden</p> |

Section 14. Transport information

“Refer to CFR 49 (or authority having jurisdiction) to determine the information required for shipment of the product.”

Special precautions for user : **Transport within user’s premises**: always transport in closed containers that are upright and secure. Ensure that persons transporting the product know what to do in the event of an accident or spillage.

Transport in bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code : Not available.

Section 15. Regulatory information

U.S. Federal regulations : **TSCA 8(a) CDR Exempt/Partial exemption**: Not determined
United States inventory (TSCA 8b): This material is listed or exempted.

Clean Air Act (CAA) 112 regulated toxic substances: nitric oxide

Clean Air Act Section 112 (b) Hazardous Air Pollutants (HAPs) : Not listed

Clean Air Act Section 602 Class I Substances : Not listed

Clean Air Act Section 602 Class II Substances : Not listed

DEA List I Chemicals (Precursor Chemicals) : Not listed

DEA List II Chemicals (Essential Chemicals) : Not listed

SARA 302/304

Composition/information on ingredients

| Name | % | EHS | SARA 302 TPQ | | SARA 304 RQ | |
|--------------|-----|------|--------------|-----------|-------------|-----------|
| | | | (lbs) | (gallons) | (lbs) | (gallons) |
| nitric oxide | 100 | Yes. | 100 | - | 10 | - |

SARA 304 RQ : 10 lbs / 4.5 kg

SARA 311/312

Classification : Sudden release of pressure
 Immediate (acute) health hazard

Composition/information on ingredients

| Name | % | Fire hazard | Sudden release of pressure | Reactive | Immediate (acute) health hazard | Delayed (chronic) health hazard |
|--------------|-----|-------------|----------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|
| nitric oxide | 100 | No. | Yes. | No. | Yes. | No. |

State regulations

Massachusetts : This material is listed.

New York : This material is listed.

New Jersey : This material is listed.

Pennsylvania : This material is listed.

International regulations

International lists

Section 15. Regulatory information

National inventory

| | |
|--------------------------|--|
| Australia | : This material is listed or exempted. |
| Canada | : This material is listed or exempted. |
| China | : This material is listed or exempted. |
| Europe | : This material is listed or exempted. |
| Japan | : This material is listed or exempted. |
| Malaysia | : Not determined. |
| New Zealand | : This material is listed or exempted. |
| Philippines | : This material is listed or exempted. |
| Republic of Korea | : This material is listed or exempted. |
| Taiwan | : This material is listed or exempted. |

Canada

| | |
|---------------------------------------|---|
| WHMIS (Canada) | : Class A: Compressed gas. Class C: Oxidizing material. Class D-1A: Material causing immediate and serious toxic effects (Very toxic). Class E: Corrosive material |
| CEPA Toxic substances: | This material is listed. |
| Canadian ARET: | This material is not listed. |
| Canadian NPRI: | This material is listed. |
| Alberta Designated Substances: | This material is not listed. |
| Ontario Designated Substances: | This material is not listed. |
| Quebec Designated Substances: | This material is not listed. |

Section 16. Other information

| | |
|----------------------------------|---|
| Canada Label requirements | : Class A: Compressed gas. Class C: Oxidizing material. Class D-1A: Material causing immediate and serious toxic effects (Very toxic). Class E: Corrosive material |
|----------------------------------|---|

Hazardous Material Information System (U.S.A.)

| | |
|------------------|---|
| Health | 3 |
| Flammability | 0 |
| Physical hazards | 3 |
| | |

Caution: HMIS® ratings are based on a 0-4 rating scale, with 0 representing minimal hazards or risks, and 4 representing significant hazards or risks. Although HMIS® ratings are not required on SDSs under 29 CFR 1910.1200, the preparer may choose to provide them. HMIS® ratings are to be used with a fully implemented HMIS® program. HMIS® is a registered mark of the National Paint & Coatings Association (NPCA). HMIS® materials may be purchased exclusively from J. J. Keller (800) 327-6868.

The customer is responsible for determining the PPE code for this material.

National Fire Protection Association (U.S.A.)



Reprinted with permission from NFPA 704-2001, Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response Copyright ©1997, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. This reprinted material is not the complete and official position of the National Fire Protection Association, on the referenced subject which is represented only by the standard in its entirety.

Section 16. Other information

Copyright ©2001, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. This warning system is intended to be interpreted and applied only by properly trained individuals to identify fire, health and reactivity hazards of chemicals. The user is referred to certain limited number of chemicals with recommended classifications in NFPA 49 and NFPA 325, which would be used as a guideline only. Whether the chemicals are classified by NFPA or not, anyone using the 704 systems to classify chemicals does so at their own risk.

Procedure used to derive the classification

| Classification | Justification |
|---|---|
| Ox. Gas 1, H270 Press. Gas Comp. Gas, H280 Acute Tox. 1, H330 Skin Corr. 1, H314 Eye Dam. 1, H318 | Expert judgment Expert judgment Expert judgment Expert judgment Expert judgment |

History

Date of printing : 3/15/2016

Date of issue/Date of revision : 3/15/2016

Date of previous issue : 9/1/2015

Version : 0.02

Key to abbreviations :

- ATE = Acute Toxicity Estimate
- BCF = Bioconcentration Factor
- GHS = Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals
- IATA = International Air Transport Association
- IBC = Intermediate Bulk Container
- IMDG = International Maritime Dangerous Goods
- LogPow = logarithm of the octanol/water partition coefficient
- MARPOL 73/78 = International Convention for the Prevention of Pollution From Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978. ("Marpol" = marine pollution)
- UN = United Nations

References : Not available.

☑ Indicates information that has changed from previously issued version.

Notice to reader

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, neither the above-named supplier, nor any of its subsidiaries, assumes any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein.

Final determination of suitability of any material is the sole responsibility of the user. All materials may present unknown hazards and should be used with caution. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards that exist.

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressedIssue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
1/13**SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking****1.1 Product identifier****Product name:** Oxygen, compressed**Additional identification****Chemical name:** oxygen**Chemical formula:** O₂**INDEX No.** 008-001-00-8**CAS-No.** 7782-44-7**EC No.** 231-956-9**REACH Registration No.** Listed in Annex IV/V of Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH), exempted from registration.**1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against****Identified uses:**Industrial and professional. Perform risk assessment prior to use.
Balance gas for mixtures. Calibration gas. Carrier gas. Chemical synthesis.
Combustion, melting and cutting processes. Food packaging gas. Laboratory use. Laser gas. Oxidising agent. Process gas. Shielding gas in gas welding.
Test gas. Use of gas to manufacture pharmaceutical products.
Consumer use.**Uses advised against**Oxidising agent.
Industrial or technical grade unsuitable for medical and/or food applications or inhalation.**1.3 Details of the supplier of the safety data sheet****Supplier**BOC
Priestley Road, Worsley
M28 2UT Manchester**Telephone:** 0800 111 333**E-mail:** ReachSDS@boc.com**1.4 Emergency telephone number: 0800 111 333**

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
2/13

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification according to Directive 67/548/EEC or 1999/45/EC as amended.

O; R8

The full text for all R-phrases is displayed in section 16.

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 as amended.

Physical Hazards

| | | |
|----------------------|----------------|---|
| Oxidising gases | Category 1 | H270: May cause or intensify fire; oxidiser. |
| Gases under pressure | Compressed gas | H280: Contains gas under pressure; may explode if heated. |

2.2 Label Elements



Signal Words: Danger

Hazard Statement(s): H270: May cause or intensify fire; oxidiser.
H280: Contains gas under pressure; may explode if heated.

Precautionary Statement

Prevention: P220: Keep/Store away from combustible materials.
P244: Keep valves and fittings free from oil and grease.

Response: P370+P376: In case of fire: Stop leak if safe to do so.

Storage: P403: Store in a well-ventilated place.

Disposal: None.

2.3 Other hazards: None.

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
3/13

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1 Substances

| | |
|--------------------------------|--|
| Chemical name | oxygen |
| INDEX No.: | 008-001-00-8 |
| CAS-No.: | 7782-44-7 |
| EC No.: | 231-956-9 |
| REACH Registration No.: | Listed in Annex IV/V of Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH), exempted from registration. |
| Purity: | 100% The purity of the substance in this section is used for classification only, and does not represent the actual purity of the substance as supplied, for which other documentation should be consulted. |
| Trade name: | - |

SECTION 4: First Aid Measures

General: Move the exposed person to fresh air at once.

4.1 Description of first aid measures

Inhalation: Move the exposed person to fresh air at once.

Eye contact: Adverse effects not expected from this product.

Skin Contact: Adverse effects not expected from this product.

Ingestion: Ingestion is not considered a potential route of exposure.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed: Continuous inhalation of concentrations higher than 75% may cause nausea, dizziness, respiratory difficulty and convulsion.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Hazards: None.

Treatment: None.

SECTION 5: Firefighting Measures

General Fire Hazards: Heat may cause the containers to explode.

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media: Water. Dry powder. Foam. Carbon dioxide.

Unsuitable extinguishing media: None.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture: Supports combustion.

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
4/13

Hazardous Combustion Products: None.

5.3 Advice for firefighters

Special fire fighting procedures:

In case of fire: Stop leak if safe to do so. Continue water spray from protected position until container stays cool. Use extinguishants to contain the fire. Isolate the source of the fire or let it burn out.

Special protective equipment for firefighters:

Firefighters must use standard protective equipment including flame retardant coat, helmet with face shield, gloves, rubber boots, and in enclosed spaces, SCBA. Guideline: EN 469 Protective clothing for firefighters. Performance requirements for protective clothing for firefighting. EN 15090 Footwear for firefighters. EN 659 Protective gloves for firefighters. EN 443 Helmets for fire fighting in buildings and other structures. EN 137 Respiratory protective devices - Self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus with full face mask - Requirements, testing, marking.

SECTION 6: Accidental Release Measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures:

Evacuate area. Eliminate all ignition sources if safe to do so. Provide adequate ventilation. Prevent from entering sewers, basements and workpits, or any place where its accumulation can be dangerous. Monitor the concentration of the released product.

6.2 Environmental Precautions:

Prevent further leakage or spillage if safe to do so.

6.3 Methods and material for containment and cleaning up:

Provide adequate ventilation.

6.4 Reference to other sections:

Refer to sections 8 and 13.

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
5/13

SECTION 7: Handling and Storage:

7.1 Precautions for safe handling:

Only experienced and properly instructed persons should handle gases under pressure. Use only properly specified equipment which is suitable for this product, its supply pressure and temperature. Keep equipment free from oil and grease. Open valve slowly to avoid pressure shock. Use only oxygen approved lubricants and sealants. Use only with equipment cleaned for oxygen service and rated for the pressure. Refer to supplier's handling instructions. The substance must be handled in accordance with good industrial hygiene and safety procedures. Protect containers from physical damage; do not drag, roll, slide or drop. Do not remove or deface labels provided by the supplier for the identification of the container contents. When moving containers, even for short distances, use appropriate equipment eg. trolley, hand truck, fork truck etc. Secure cylinders in an upright position at all times, close all valves when not in use. Provide adequate ventilation. Suck back of water into the container must be prevented. Do not allow backfeed into the container. Avoid suckback of water, acid and alkalis. Keep container below 50°C in a well ventilated place. Observe all regulations and local requirements regarding storage of containers. When using do not eat, drink or smoke. Store in accordance with local/regional/national/international regulations. Never use direct flame or electrical heating devices to raise the pressure of a container. Leave valve protection caps in place until the container has been secured against either a wall or bench or placed in a container stand and is ready for use. Damaged valves should be reported immediately to the supplier. Close container valve after each use and when empty, even if still connected to equipment. Never attempt to repair or modify container valves or safety relief devices. Replace valve outlet caps or plugs and container caps where supplied as soon as container is disconnected from equipment. Keep container valve outlets clean and free from contaminants particularly oil and water. If user experiences any difficulty operating container valve discontinue use and contact supplier. Never attempt to transfer gases from one container to another. Container valve guards or caps should be in place.

**7.2 Conditions for safe storage,
including any incompatibilities:**

Containers should not be stored in conditions likely to encourage corrosion. Stored containers should be periodically checked for general conditions and leakage. Container valve guards or caps should be in place. Store containers in location free from fire risk and away from sources of heat and ignition. Keep away from combustible material. Avoid asphalted locations for storage, transfer and use (ignition risk if spilt). Segregate from flammable gases and other flammable materials being stored.

7.3 Specific end use(s):

None.

SECTION 8: Exposure Controls/Personal Protection

8.1 Control Parameters

Occupational Exposure Limits

None of the components have assigned exposure limits.

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
6/13

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls:

Consider a work permit system e.g. for maintenance activities. Ensure adequate air ventilation. Avoid oxygen rich (>23,5%) atmospheres. Gas detectors should be used when quantities of oxidising gases may be released. Provide adequate ventilation, including appropriate local extraction, to ensure that the defined occupational exposure limit is not exceeded. Systems under pressure should be regularly checked for leakages. Preferably use permanent leak tight connections (eg. welded pipes). Do not eat, drink or smoke when using the product.

Individual protection measures, such as personal protective equipment

General information:

A risk assessment should be conducted and documented in each work area to assess the risks related to the use of the product and to select the PPE that matches the relevant risk. The following recommendations should be considered. Keep self contained breathing apparatus readily available for emergency use. Personal protective equipment for the body should be selected based on the task being performed and the risks involved.

Eye/face protection:

Wear eye protection to EN 166 when using gases.
Guideline: EN 166 Personal Eye Protection.

Skin protection

Hand Protection:

Wear working gloves while handling containers
Guideline: EN 388 Protective gloves against mechanical risks.

Body protection:

No special precautions.

Other:

Wear safety shoes while handling containers
Guideline: ISO 20345 Personal protective equipment - Safety footwear.

Respiratory Protection:

Not required.

Thermal hazards:

No precautionary measures are necessary.

Hygiene measures:

Specific risk management measures are not required beyond good industrial hygiene and safety procedures. Do not eat, drink or smoke when using the product.

Environmental exposure controls:

For waste disposal, see section 13.

SECTION 9: Physical And Chemical Properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

Appearance

Physical state:

Gas

Form:

Compressed gas

Colour:

Colorless

Odour:

Odorless

Odour Threshold:

Odour threshold is subjective and is inadequate to warn of over exposure.

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
7/13

| | |
|---|---|
| pH: | not applicable. |
| Melting Point: | -218.4 °C |
| Boiling Point: | -183 °C |
| Sublimation Point: | not applicable. |
| Critical Temp. (°C): | -118.0 °C |
| Flash Point: | Not applicable to gases and gas mixtures. |
| Evaporation Rate: | Not applicable to gases and gas mixtures. |
| Flammability (solid, gas): | This product is not flammable. |
| Flammability limit - upper (%): | not applicable. |
| Flammability limit - lower(%): | not applicable. |
| Vapour pressure: | 4,053 kPa (-124.1 °C) |
| Vapour density (air=1): | No data available. |
| Relative density: | 1.1 |
| Solubility(ies) | |
| Solubility in Water: | 39 mg/l |
| Partition coefficient (n-octanol/water): | Not known. |
| Autoignition Temperature: | not applicable. |
| Decomposition Temperature: | Not known. |
| Viscosity | |
| Kinematic viscosity: | No data available. |
| Dynamic viscosity: | No data available. |
| Explosive properties: | Not applicable. |
| Oxidising Properties: | Oxidising |
| 9.2 Other information: | None. |
| Molecular weight: | 32 g/mol (O ₂) |

SECTION 10: Stability and Reactivity

| | |
|---|--|
| 10.1 Reactivity: | No reactivity hazard other than the effects described in sub-section below. |
| 10.2 Chemical Stability: | Stable under normal conditions. |
| 10.3 Possibility of Hazardous Reactions: | Violently oxidises organic material. May react violently with combustible materials. May react violently with reducing agents. |
| 10.4 Conditions to Avoid: | None. |
| 10.5 Incompatible Materials: | Combustible materials Reducing Agents. Keep equipment free from oil and grease. For material compatibility see latest version of ISO-11114. Consider the potential toxicity hazard due to the presence of chlorinated or fluorinated polymers in high pressure (>30 bar) oxygen lines and equipment in case of combustion. |
| 10.6 Hazardous Decomposition Products: | Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced. |

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
8/13

SECTION 11: Toxicological Information

General information: None.

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity - Oral
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Acute toxicity - Dermal
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Acute toxicity - Inhalation
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Skin Corrosion/Irritation
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Serious Eye Damage/Eye Irritation
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Respiratory or Skin Sensitisation
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Germ Cell Mutagenicity
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Carcinogenicity
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Reproductive toxicity
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Specific Target Organ Toxicity - Single Exposure
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Specific Target Organ Toxicity - Repeated Exposure
Product Based on available data, the classification criteria are not met.

Aspiration Hazard
Product Not applicable to gases and gas mixtures..

SECTION 12: Ecological Information

12.1 Toxicity

Acute toxicity
Product No ecological damage caused by this product.

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
9/13

12.2 Persistence and Degradability

Product

Not applicable to gases and gas mixtures..

12.3 Bioaccumulative Potential

Product

The substance is naturally occurring.

12.4 Mobility in Soil

Product

Because of its high volatility, the product is unlikely to cause ground or water pollution.

12.5 Results of PBT and vPvB

assessment

Product

Not classified as PBT or vPvB.

12.6 Other Adverse Effects:

No ecological damage caused by this product.

SECTION 13: Disposal Considerations

13.1 Waste treatment methods

General information:

Do not discharge into any place where its accumulation could be dangerous. Vent to atmosphere in a well ventilated place.

Disposal methods:

Refer to the EIGA code of practice (Doc.30 "Disposal of Gases", downloadable at <http://www.eiga.org>) for more guidance on suitable disposal methods. Dispose of container via supplier only. Discharge, treatment, or disposal may be subject to national, state, or local laws.

European Waste Codes

Container:

16 05 04*: gases in pressure containers (including halons) containing dangerous substances

SECTION 14: Transport Information

ADR

14.1 UN Number: UN 1072
14.2 UN Proper Shipping Name: OXYGEN, COMPRESSED
14.3 Transport Hazard Class(es)
Class: 2
Label(s): 2.2, 5.1
Hazard No. (ADR): 25
Tunnel restriction code: (E)
Emergency Action Code: 2S
14.4 Packing Group: -
14.5 Environmental hazards: not applicable
14.6 Special precautions for user: -

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
10/13

RID

14.1 UN Number: UN 1072
14.2 UN Proper Shipping Name: OXYGEN, COMPRESSED
14.3 Transport Hazard Class(es)
Class: 2
Label(s): 2.2, 5.1
14.4 Packing Group: -
14.5 Environmental hazards: not applicable
14.6 Special precautions for user: -

IMDG

14.1 UN Number: UN 1072
14.2 UN Proper Shipping Name: OXYGEN, COMPRESSED
14.3 Transport Hazard Class(es)
Class: 2.2
Label(s): 2.2, 5.1
EmS No.: F-C, S-W
14.3 Packing Group: -
14.5 Environmental hazards: not applicable
14.6 Special precautions for user: -

IATA

14.1 UN Number: UN 1072
14.2 Proper Shipping Name: Oxygen, compressed
14.3 Transport Hazard Class(es)
Class: 2.2
Label(s): 2.2, 5.1
14.4 Packing Group: -
14.5 Environmental hazards: not applicable
14.6 Special precautions for user: -
Other information
Passenger and cargo aircraft: Allowed.
Cargo aircraft only: Allowed.

14.7 Transport in bulk according to Annex II of MARPOL73/78 and the IBC Code: not applicable

Additional identification:

Avoid transport on vehicles where the load space is not separated from the driver's compartment. Ensure vehicle driver is aware of the potential hazards of the load and knows what to do in the event of an accident or an emergency. Before transporting product containers ensure that they are firmly secured. Ensure that the container valve is closed and not leaking. Container valve guards or caps should be in place. Ensure adequate air ventilation.

SECTION 15: Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture:

EU Regulations

Directive 96/82/EC (Seveso II): on the control of major accident hazards involving dangerous substances:

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
11/13

| Chemical name | CAS-No. | Concentration |
|---------------|-----------|---------------|
| oxygen | 7782-44-7 | 100% |

Directive 98/24/EC on the protection of workers from the risks related to chemical agents at work:

| Chemical name | CAS-No. | Concentration |
|---------------|-----------|---------------|
| oxygen | 7782-44-7 | 100% |

National Regulations

Management of Health and Safety at Work Regulations (1999 No. 3242). The Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005 (2005 No. 1541). Control of Substances Hazardous to Health Regulations (COSHH, 2002 No. 2677). Provision and Use of Work Equipment Regulations (PUWER, 1998 No. 2306). Personal Protective Equipment Regulations (1992 No. 2966). Control of Major Accident Hazards Regulations (COMAH, 2015 No. 483). Pressure Systems Safety Regulations (PSSR, 2000 No. 128). Only products that comply with the food regulations (EC) No. 1333/2008 and (EU) No. 231/2012 and are labelled as such may be used as food additives.
This Safety Data Sheet has been produced to comply with Regulation (EU) 453/2010.

15.2 Chemical safety assessment: No Chemical Safety Assessment has been carried out.

SECTION 16: Other Information

Revision Information: Not relevant.

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
12/13

Key literature references and sources for data:

Various sources of data have been used in the compilation of this SDS, they include but are not exclusive to:
Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR) (<http://www.atsdr.cdc.gov/>).
European Chemical Agency: Guidance on the Compilation of Safety Data Sheets.
European Chemical Agency: Information on Registered Substances <http://apps.echa.europa.eu/registered/registered-sub.aspx#search>
European Industrial Gases Association (EIGA) Doc. 169 Classification and Labelling guide.
International Programme on Chemical Safety (<http://www.inchem.org/>)
ISO 10156:2010 Gases and gas mixtures - Determination of fire potential and oxidizing ability for the selection of cylinder valve outlets.
Matheson Gas Data Book, 7th Edition.
National Institute for Standards and Technology (NIST) Standard Reference Database Number 69.
The ESIS (European chemical Substances 5 Information System) platform of the former European Chemicals Bureau (ECB) ESIS (<http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/>).
The European Chemical Industry Council (CEFIC) ERICards.
United States of America's National Library of Medicine's toxicology data network TOXNET (<http://toxnet.nlm.nih.gov/index.html>)
Threshold Limit Values (TLV) from the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).
Substance specific information from suppliers.
Details given in this document are believed to be correct at the time of publication.
EH40 (as amended) Workplace exposure limits.

Wording of the R-phrases and H-statements in sections 2 and 3

| | |
|------|---|
| H270 | May cause or intensify fire; oxidiser. |
| H280 | Contains gas under pressure; may explode if heated. |
| R8 | Contact with combustible material may cause fire. |

Training information:

Users of breathing apparatus must be trained. Ensure operators understand the hazard of oxygen enrichment. Ensure operators understand the hazards.

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 as amended.

Ox. Gas 1, H270
Press. Gas Compr. Gas, H280

Other information:

Before using this product in any new process or experiment, a thorough material compatibility and safety study should be carried out. Ensure adequate air ventilation. Ensure all national/local regulations are observed. Whilst proper care has been taken in the preparation of this document, no liability for injury or damage resulting from its use can be accepted. Note: When the Product Name appears in the SDS header the decimal sign and its position comply with rules for the structure and drafting of international standards, and is a comma on the line. As an example 2,000 is two (to three decimal places) and not two thousand, whilst 1.000 is one thousand and not one (to three decimal places).

SAFETY DATA SHEET
Oxygen, compressed

Issue Date: 16.01.2013
Last revised date: 03.08.2016

Version: 1. 4

SDS No.: 000010021701
13/13

Last revised date: 03.08.2016

Disclaimer:

This information is provided without warranty. The information is believed to be correct. This information should be used to make an independent determination of the methods to safeguard workers and the environment.

Anexo IV. Códigos empleados

ÍNDICE

| | |
|---|---|
| 1. Función de cálculo de velocidades de reacción..... | 3 |
| 2. Función de resolución del reactor | 6 |
| 3. Función para el cálculo de viscosidades..... | 8 |
| 4. Función para el cálculo de la entalpía de las corriente..... | 9 |

1. FUNCIÓN DE CÁLCULO DE VELOCIDADES DE REACCIÓN

En esta función se incorporan los datos cinéticos correspondientes a las reacciones que tienen lugar en el reactor. Como entrada se presentan los flujos de los diferentes componentes de la mezcla y proporciona como salida las velocidades de reacción, así como la tasa de generación de calor y la variación de temperatura con respecto al tiempo. Al integrar esta función se obtienen las composiciones con respecto a la superficie de catalizador utilizada. El código se presenta a continuación:

```
function B = edosF(t,F)
%Vector de entrada (ordenado)
    %Pamo(t) Ph(t) Pn(t) Pmet(t) Po(t) Pno(t) Pagua(t) Pco(t) Pco2(t)
    %Phcn(t) T Q

%CÁLCULO DE PRESIONES PARCIALES
FT=sum(F(1:10)); %Moles totales entrada (mol/s)
PT0=1140; %Presión a la entrada del reactor (torr)
P=F(1:10)/FT*PT0; %Presiones parciales (torr)

%DATOS
%Constantes
    %T0=200; %Temperatura a la que ocurre la reacción (K)
    No=6.022e23; %Número de Avogadro (moléculas/mol)
    R_SI=8.314; %J/molK
    Tref=298; %K
%Entalpías de formación
    Hformacion_gas=[-46110,0,0,-74520,0,90250,-241818,-110525,-393509,135100];
%J/mol
%Constantes de calor específico
    Cp_gas=[3.578 3.02E-03 0 -1.60E+03;
    3.249 4.22E-04 0 8.30E+03;
    3.28 5.93E-04 0 4.00E+03;
    1.702 9.08E-03 -2.16E-06 0.00E+00;
    3.639 5.06E-04 0 -2.27E+04;
    3.387 6.29E-04 0 1.40E+03;
    3.47 1.45E-03 0 1.21E+04;
    3.376 5.57E-04 0 -3.10E+03;
    5.457 1.05E-03 0 -1.16E+05;
    4.736 1.36E-03 0 -7.25E+04]; %Forma Cp/R=A+BT+CT^2+DT^-2
%Coeficientes estequiométricos
    C=[-1 1.5 0.5 0 0 0 0 0 0 0;
    -1 3 0 -1 0 0 0 0 0 1;
    -1 0 0 0 -5/4 1 3/2 0 0 0;
    -1 0 5/4 0 0 -3/2 3/2 0 0 0;
    0 -1 0 0 -1/2 0 1 0 0 0;
    0 0 0 -1 -3/2 0 2 1 0 0;
    0 -1 1/2 0 0 -1 1 0 0 0;
    0 0 1/2 0 1/2 -1 0 0 0 0;
    0 0 1/2 0 0 -1 0 -1 1 0;
    0 0 0 0 -1/2 0 0 -1 1 0;
    0 1/2 0 -1 0 -1 1 0 0 1;
    0 1 0 0 0 0 -1 -1 1 0;
    0 0 3/2 -1 0 -3 2 1 0 0];
```

Anexo IV. Códigos empleados

```
%Entalpias de reacción a temperatura de referencia
H_tref=C*Hformacion_gas';

%CÁLCULO DE ENTALPÍAS DE REACCIÓN
Cp=zeros(13,1);
syms temp
for i=1:13
    Cpi=0;
    for j=1:10

Cpi=Cpi+C(i,j)*R_SI*int(Cp_gas(j,1)+Cp_gas(j,2)*temp+Cp_gas(j,3)*temp^2+Cp_gas(
j,4)*temp^-2,Tref,F(11));
        end
        Cp(i)=double(Cpi);
    end
H=H_tref+Cp; %J/mol

%CÁLCULO TEMPERATURA DE REACCIÓN
%Cálculo capacidad calorífica sum(FAi*Cpi) Unidades:W/°C
CC=0;
for j=1:10

CC=CC+(Cp_gas(j,1)+Cp_gas(j,2)*F(11)+Cp_gas(j,3)*F(11)^2+Cp_gas(j,4)*F(11)^-
2)*R_SI*F(j);
    end

%CONDICIONES POSITIVAS O NULAS
for i=1:length(P)
    if P(i)<0
        P(i)=0;
    end
end

%EXPRESIONES DE VELOCIDAD
T0=F(11);
if P(4)>0
    r1=4.9E18*exp(-2130/T0)*P(1)/(1+0.044*exp(2390/T0)*P(4)/P(1)^0.5)^3;
else
    r1=4.9e18*exp(-2130/T0)*P(1)/(1+4.35e-5*exp(8400/T0)*P(1)+9.85e-
6*exp(13850/T0)*P(2)^1.5);
end
if P(1)==0
    r2=0;
else
    r2=7.8e18*exp(-
1950/T0)*P(4)*P(1)^0.5/(1+0.044*exp(2390/T0)*P(4)/P(1)^0.5)^4;
end
r3=2.1e16*exp(10850/T0)*P(1)*P(5)^0.5/(1+4e-5*exp(12750/T0)*P(1));
r4=1.48e17*exp(3875/T0)*P(6)*P(1)^0.5/(1+5e-
5*exp(7950/T0)*P(6)+0.0145*exp(2880/T0)*P(1)^0.5)^2;
r5=1.5e19*P(5)*P(2);
r6=4e19*exp(-5000/T0)*P(4)*P(5)^0.5/(1+5E-10*exp(15000/T0)*P(4));
r7=3.5e18*exp(7300/T0)*P(2)*P(6)/(1+2.7e-
4*exp(9750/T0)*P(6)+15*exp(1100/T0)*P(2)^0.7)^2;
r8=5.53e16*exp(-2625/T0)*P(6)/(1+6.95e-
4*exp(4125/T0)*P(6)+1.56*exp(4775/T0)*P(5));
r9=3.5e17*exp(2900/T0)*P(6)/(1+4e-9*exp(15000/T0)*P(8));
r10=2.5e15*exp(16000/T0)*P(8)*P(5)/(1+3e-
7*exp(15000/T0)*P(8)+300*exp(6000/T0)*P(5))^2;
r11=1.8e20*exp(5000/T0)*P(4)*P(6)/(1+5e-10*exp(15000/T0)*P(4));
r12=3.65e17*exp(-1595/T0)*P(8)*P(7)^0.5/(1+0.048*exp(3037/T0)*P(8))^2;
```

Anexo IV. Códigos empleados

```
r13=1.25e15*exp(5000/T0)*P(4)*P(6)+3e20*exp(-750/T0)*P(6)*P(4)^0.5/(1+1e-11*exp(20000/T0)*P(4));
%Reacciones
r=[r1 r2 r3 r4 r5 r6 r7 r8 r9 r10 r11 r12 r13];

%SOLUCIONES
%Ecuaciones diferenciales en forma vectorial
A=(r*C)';

%Velocidades
%B=R*T0/No*ag*A;
B=A/No; %Velocidades en mol/dm2s
%Temperatura
b=-r/No*H/CC;%°C/dm2
B=[B;b;b*CC];
```

2. FUNCIÓN DE RESOLUCIÓN DEL REACTOR

Esta función permite la realización de una integración numérica del sistema de ecuaciones presentado en el apartado anterior. Además, representa gráficamente el perfil de composiciones en el reactor en función de la superficie de catalizador, así como el calor generado y el perfil de temperaturas alcanzado en el reactor. El código es el siguiente:

```
%BORRADO ANTERIOR
close all
clear all
clc

%PARÁMETROS DE RESOLUCIÓN
AbsTol=1e-7;%-6 Tolerancia absoluta
RelTol=1e-4;%-3 Tolerancia relativa
options=odeset('RelTol',RelTol,'AbsTol',AbsTol);
Lsup=50; %Límite superior de integración
A=linspace(0,Lsup,4000); %Vector de salida de los datos

%FUNCIÓN DE RESOLUCIÓN
%Y0=[200,0,900,200,250,0,0,0,0,0]; %Presiones (torr)
Ti=473; %K
Fiamon=76.21/3600; %mol/s
Fimet=Fiamon;
Fiox=Fiamon*1.3;
Finit=Fiox/0.21*0.79;
Y0=[Fiamon 0 Finit Fimet Fiox 0 0 0 0 0 Ti 0]; %Condiciones de entrada
[T,Y]=ode23tb(@edosF,A,Y0,options);
clc
%CÁLCULOS
%Calcular flujo total
Ft=zeros(length(T),1);
for i=1:length(T)
    Ft(i)=sum(Y(i,:))-Y(i,11)-Y(i,12);
end

%Parámetros del catalizador
d=76e-6; %Diámetro del hilo de la red (m)
d=d*100/2.54; %Diámetro del hilo de la red (in)
N=80; %Mesh (hilos por in lineal)
L=(1/N^2+d^2)^0.5;
ag=pi*L*N^2; %Relación de área volumen en catalizador (in-1)
ag=ag/2.54; %Relación de área volumen en catalizador (cm-1)
epsilon=1-pi*L*N^2*d/4; %Porosidad

%Cálculo de parámetros de flujo
vreq=3; %Velocidad requerida para paso del gas a través del lecho (m/s)

%REPRESENTACIONES
%Representar selectividad y conversión
subplot(2,2,1)
S=Y(:,10)./(Y0(1)-Y(:,1));
X=zeros(length(T),1);
for i=1:length(T)
    X(i)=Y(i,10)/(sum(Y(i,:))-Y(i,11));
end
```


Anexo IV. Códigos empleados

```
plot(T,S)
title('Selectividad, F_{HCN}/\Delta F_{NH_3}')
subplot(2,2,3)
plot(T,X)
title('Proporción HCN, F_{HCN}/F_T')
%Perfil de temperaturas
subplot(2,2,2)
plot(T,Y(:,11))
title('Perfil de temperatura, (K)')
%Máximo de selectividad
Xmax=find(S==max(S)); %lugar de máximo
Smax=Xmax/length(T)*Lsup;
fprintf('\nLa selectividad máxima se alcanza para un valor de %.3f dm2 de
catalizador.\n\n',Smax)
fprintf('\nTemperatura inicial = %.2f K\nTemperatura final = %.2f K\nCalor
liberado por la reacción = %.2f kW\n\n',Ti,Y(Xmax,11),Y(Xmax,12)/1000);
%Perfil de concentraciones
subplot(2,2,4)
color=['y','m','c','r','g','b','k','y','m','c'];
hold on
fprintf('Composición a superficie óptima (en ./.):\n')
nombre={'NH3','H2','N2','CH4','O2','NO','H2O','CO','CO2','HCN'};
for i=1:10
    X=Y(:,i)./Ft;
    plot(T,X,color(i))
    fprintf('%s = %.4f \n',nombre{i},X(Xmax)*100)
end
%Flujos de entrada
fprintf('\nFlujos de entrada al reactor (en mol/h):\n')
nombre={'NH3','H2','N2','CH4','O2','NO','H2O','CO','CO2','HCN'};
for i=1:10
    X=Y(:,i)*3600;
    fprintf('%s = %.4f \n',nombre{i},X(1))
end
%Flujos de salida
fprintf('\nFlujos de salida del reactor (en mol/h):\n')
nombre={'NH3','H2','N2','CH4','O2','NO','H2O','CO','CO2','HCN'};
for i=1:10
    X=Y(:,i)*3600;
    fprintf('%s = %.4f \n',nombre{i},X(Xmax))
end
%Leyenda de gráfico
legend('NH_3','H_2','N_2','CH_4','O_2','NO','H_2O','CO','CO_2','HCN')
title('Perfil de composiciones')
xlabel('Superficie de catalizador (cm^2)')
ylabel('Composición')
hold off

%Representar perfil flujo molar
figure
hold on
for i=1:10
    plot(T,Y(:,i),color(i))
end
legend('Famo(t)','Fh(t)','Fn(t)','Fmet(t)','Fo(t)','Fno(t)','Fagua(t)','Fco(t)',
'Fco2(t)','Fhcn(t)')
title('Perfil de flujo molar')
xlabel('Superficie de catalizador (m^2)')
ylabel('Flujo molar (mol/s)')
hold off
```

3. FUNCIÓN PARA EL CÁLCULO DE VISCOSIDADES

Incorporando al programa Matlab el método de Wilke para el cálculo de viscosidades de mezclas, el código resultante es el siguiente. Admite como entradas la composición en fracción molar de la corriente además de la temperatura. Proporciona como salida la viscosidad de la mezcla en unidades del sistema internacional. El código se presenta a continuación:

```
function um=viscosidad(A,T)
%%Datos
%Famo(t) Fh(t) Fn(t) Fmet(t) Fo(t) Fno(t) Fagua(t) Fco(t) Fco2(t) Fhcn(t)
%Parámetros w,Tc(K),Pc(bar),Zc,Vc(m3/mol)
Pcritico=[0.253 405.7 112.8 0.242 72.5;
-0.216 33.19 13.13 0.305 64.1;
0.038 126.2 36 0.289 89.2;
0.012 190.6 45.99 0.286 98.6;
0.022 154.6 50.43 0.288 73.4;
0.048 132.9 34.99 0.299 93.4;
3.45E-01 6.47E+02 2.21E+02 2.29E-01 5.59E+01;
0.048 132.9 34.99 0.299 93.4;
0.224 304.2 73.83 0.274 94;
0.41 456.7 53.9 0.197 139];
%Pesos moleculares
M=[17.0304,2.0158,28.0134,16.0427,31.9988,30,18.0152,28.0105,44.0099,27.0257];

%Cálculo de viscosidades individuales
ui(10)=0;
for i=1:10
    Tr=T/Pcritico(i,2);
    if Tr<=1.5
        N=3.4*Tr^0.94;
    else
        N=1.778*(4.58*Tr-1.67)^0.625;
    end
    ui(i)=9.91*10e-8*M(i)^0.5*N*Pcritico(i,3)^(2/3)/Pcritico(i,2)^(1/6);
end

%Cálculo de viscosidad total
%Parámetros de interacción
F=zeros(10);
for i=1:10
    for j=1:10
        F(j,i)=1/sqrt(8)*(1+M(i)/M(j))^(-
0.5)*(1+(ui(i)/ui(j))^0.5*(M(j)/M(i))^0.25)^2;
    end
end
%Viscosidad
um=0;
for i=1:10
    sum=0;
    for j=1:10
        sum=sum+A(j)*F(i,j);
    end
    um=um+A(i)*ui(i)/sum;
end
```

4. FUNCIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA ENTALPÍA DE LAS CORRIENTE

El siguiente código se ha empleado para el cálculo de las entalpías de las corrientes, en el apartado de balances de materia y energía:

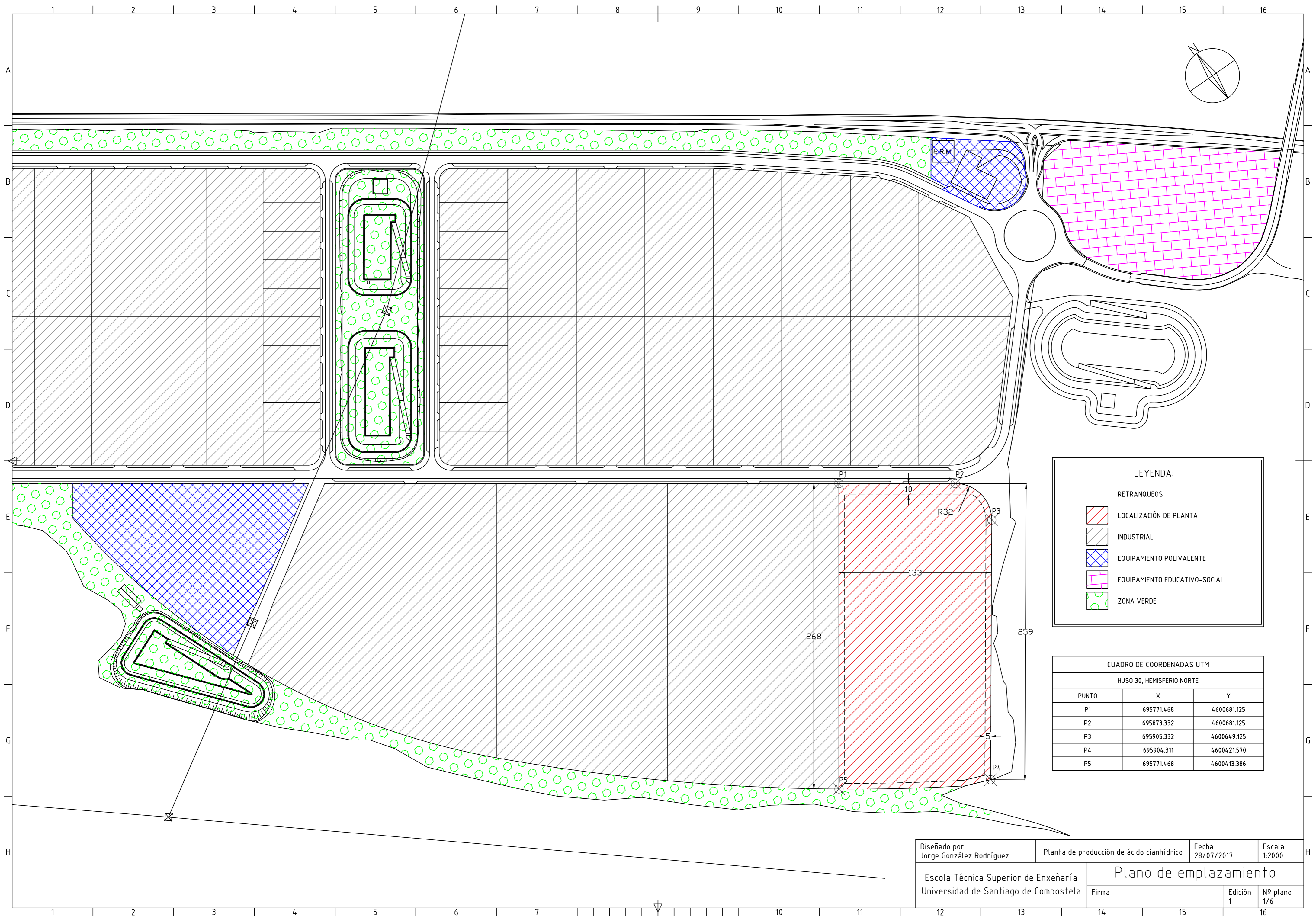
```
%Balances de energía
clear all
close all
clc
%Estado de referencia
T_0=298; %K
P_0=1; %bar
F_0='g'; %gas
R=8.314; %J/molK
g=7/5;
%Estado final
Tf=input('\nTemperatura final (°C): ');
Pf=input('\nPresión final (bar): ');
Cf=input('\nVector de composición (kg/h) [NH3 H2 N2 CH4 O2 NO H2O CO
CO2 HCN]:\n');
%Pesos moleculares
PM=[17.0304,2.0158,28.0134,16.0427,31.9988,1,18.0152,28.0105,44.099,27.
0257];
Cmolar=Cf./PM; %Flujo molar (kmol/h)
Composicionmolar=Cmolar/sum(Cmolar); %Composición molar (mol/mol)
%Cambio de presión adiabático
T_c=T_0*(Pf/P_0)^((g-1)/g);
%Cambio de temperatura
%Constantes de calor específico
Cp_gas=[3.578 3.02E-03 0 -1.60E+03;
3.249 4.22E-04 0 8.30E+03;
3.28 5.93E-04 0 4.00E+03;
1.702 9.08E-03 -2.16E-06 0.00E+00;
3.639 5.06E-04 0 -2.27E+04;
3.387 6.29E-04 0 1.40E+03;
3.47 1.45E-03 0 1.21E+04;
3.376 5.57E-04 0 -3.10E+03;
5.457 1.05E-03 0 -1.16E+05;
4.736 1.36E-03 0 -7.25E+04]; %Forma Cp/R=A+BT+CT^2+DT^-2
%Cálculo parámetros de calor específico
Cp=Composicionmolar*Cp_gas;
%Cálculo entalpía
syms T
integral=int(Cp(1)+Cp(2)*T+Cp(3)*T^2+Cp(4)*T^-2);
entalpia=R*(subs(integral,T,Tf)-subs(integral,T,T_0));
entalpiacorriente=entalpia*sum(Cmolar); %kJ/h
fprintf('Entalpía = %.2d J/mol\n\n',double(entalpiacorriente))
```

DOCUMENTO II

Planos

ÍNDICE

1. Plano de emplazamiento
2. Diagrama de flujo (PFD)
3. Diagrama de instrumentación y control (P&ID)
4. Plano del reactor R-201
5. Plano de implantación



LEYENDA:

- RETRANQUEOS
- LOCALIZACIÓN DE PLANTA
- INDUSTRIAL
- EQUIPAMIENTO POLIVALENTE
- EQUIPAMIENTO EDUCATIVO-SOCIAL
- ZONA VERDE

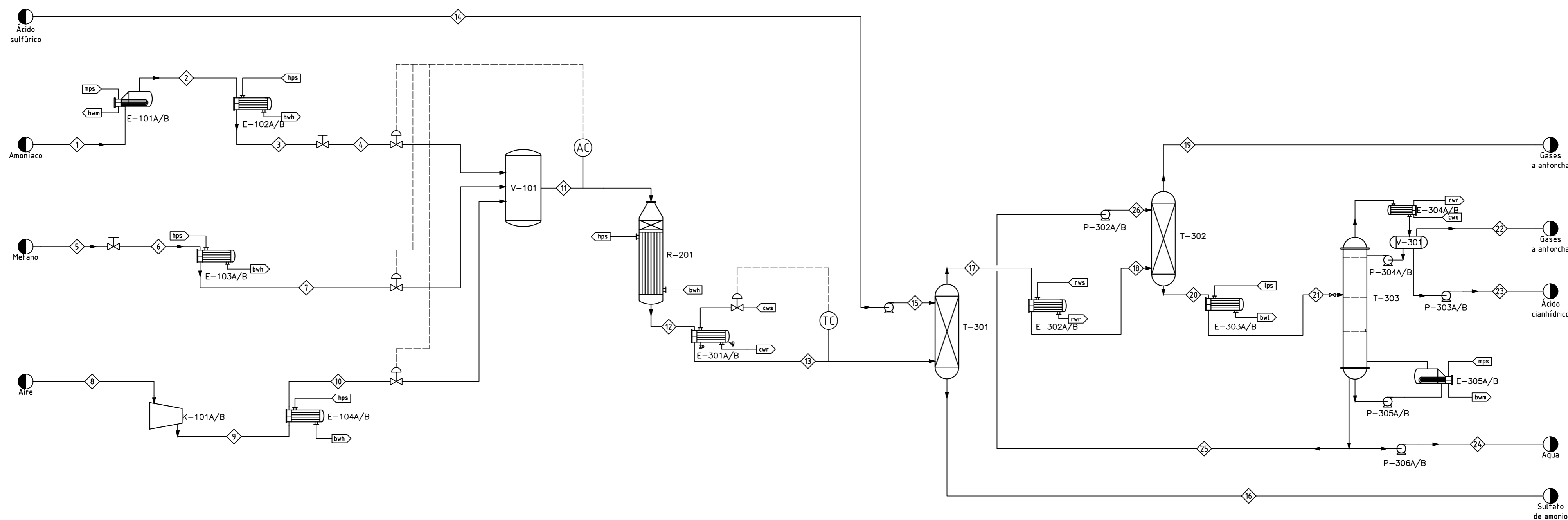
CUADRO DE COORDENADAS UTM

HUSO 30, HEMISFERIO NORTE

| PUNTO | X | Y |
|-------|------------|-------------|
| P1 | 695771.468 | 4600681.125 |
| P2 | 695873.332 | 4600681.125 |
| P3 | 695905.332 | 4600649.125 |
| P4 | 695904.311 | 4600421.570 |
| P5 | 695771.468 | 4600413.386 |

| | | | |
|--|---|------------------------|------------------|
| Diseñado por Jorge González Rodríguez | Planta de producción de ácido cianhídrico | Fecha 28/07/2017 | Escala 1:2000 |
| Escola Técnica Superior de Enxeñaría Universidade de Santiago de Compostela | | Plano de emplazamiento | |
| Firma | Edición 1 | Nº plano 1/6 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------|------------------|---------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| E-101A/B | E-102A/B | E-103A/B | E-104A/B | K-101A/B | V-101 | R-201 | E-301A/B | P-301A/B | T-301 | E-302A/B | P302A/B | T-302 | E-303A/B | T-303 | E-304A/B | V-301 | P-303A/B | P-304A/B | E-305A/B | P-305A/B | P-306A/B |
| EVAPORADOR AMONIACO | INTERCAMBIADOR CALENTAMIENTO AMONIACO | INTERCAMBIADOR CALENTAMIENTO METANO | INTERCAMBIADOR CALENTAMIENTO AIRE | COMPRESOR AIRE | TANQUE DE MEZCLA | REACTOR | INTERCAMBIADOR ENFRIAMIENTO T-301 | BOMBA IMPULSION CABEZAS T-301 | ABSORBEDOR AMONIACO | INTERCAMBIADOR T-302 | BOMBA IMPULSION CABEZAS T-302 | ABSORBEDOR ACIDO CIANHIDRICO | INTERCAMBIADOR T-303 | COLUMNA PURIFICACION | CONDENSADOR T-303 | TAMBOR DE REFLUJO T-303 | BOMBA REFLUJO T-303 | BOMBA CABEZAS T-303 | CALDERIN T-303 | BOMBA CALDERIN T-303 | BOMBA COLAS T-303 |

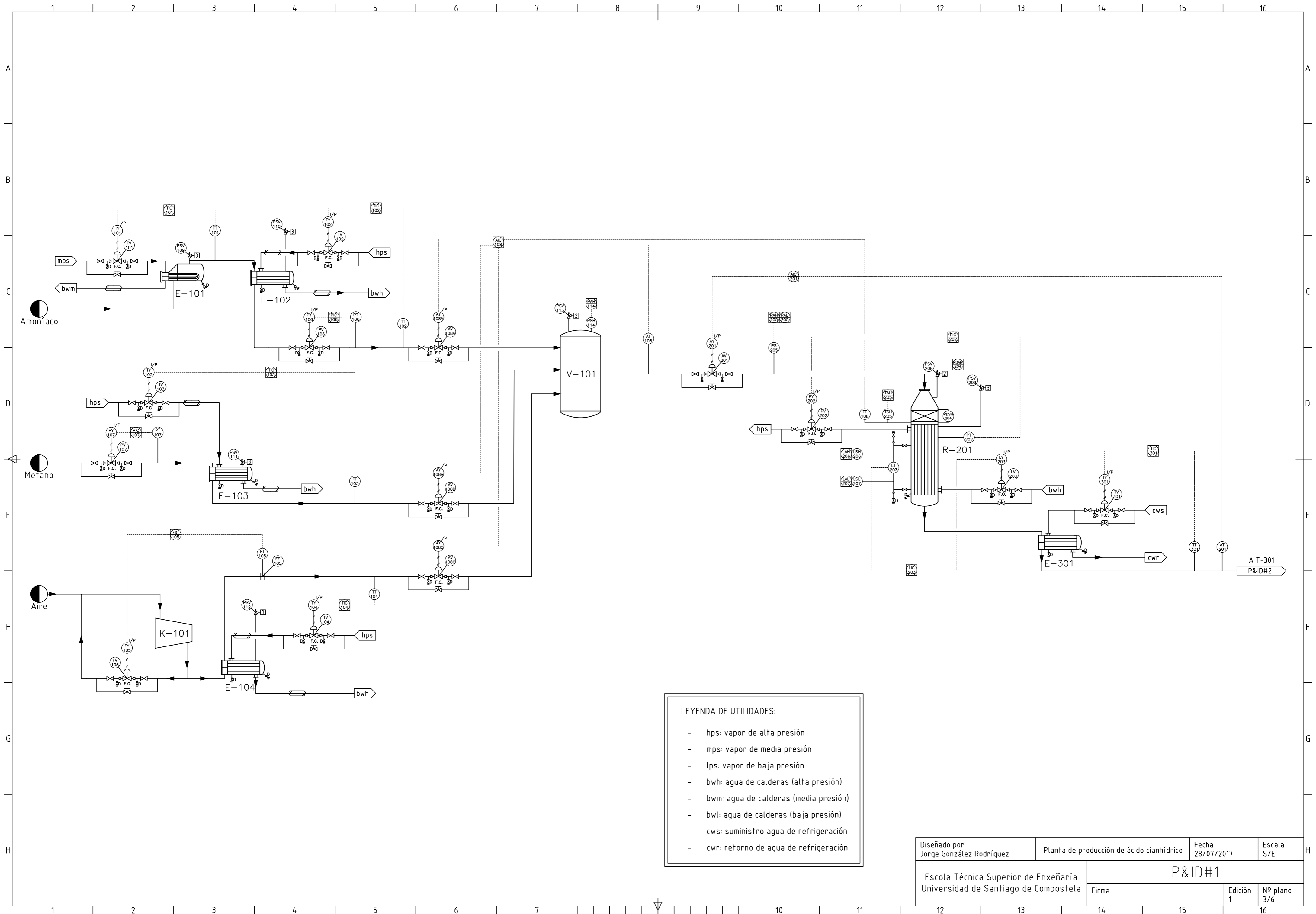


| Corriente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|---|
| PRESIÓN (bar) | 10 | 9,8 | 9,6 | 2 | 15 | 2,3 | 2 | 2 | 2,1 | 2 | 2 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,2 | 22 | 23 | 24 | 25 | 1,3 | |
| TEMPERATURA (°C) | 25 | 25 | 200 | 200 | 25 | 25 | 200 | 25 | 90,3 | 200 | 200 | 300 | 80 | 25 | 25 | 70 | 41 | 25 | 35 | 30 | 60 | 24 | 24 | 100 | 100 | 100 | |
| ENTALPIA (kJ/kg) | -497,83 | 0,12 | 191,24 | 191,24 | 0,01 | 0,12 | 209,32 | 0,51 | 251,74 | 878,42 | 1279,02 | 1645,01 | 319,64 | -116,03 | -116,03 | -1610,74 | 118,33 | 0,65 | 34,07 | -5546,24 | -5248,11 | 0,01 | -327,95 | -601,81 | -3989,04 | -3989,04 | |
| FLUJO MÁSICO (kg/h) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ácido cianhídrico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1250,00 | 1250,00 | 0 | 0 | TRAZA | 1250,00 | 1250,00 | TRAZA | 1250,00 | 1250,00 | 0 | 1250,00 | TRAZA | TRAZA | TRAZA | |
| Amónico | 1297,8 | 1297,8 | 1297,8 | 1297,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1297,8 | 436,84 | 436,84 | 0 | 0 | 0 | TRAZA | TRAZA | 0 | TRAZA | TRAZA | 0 | TRAZA | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hidrógeno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,32 | 3,32 | 0 | 0 | 0 | 3,32 | 3,32 | 3,32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oxígeno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27,92 | 27,92 | 0 | 0 | 0 | 27,92 | 27,92 | 27,92 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nitrógeno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10636,14 | 10636,14 | 0 | 0 | 0 | 10636,14 | 10636,14 | 10636,14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Metano | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 198,12 | 198,12 | 0 | 0 | 0 | 198,12 | 198,12 | 198,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Monóxido de carbono | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 492,69 | 492,69 | 0 | 0 | 0 | 492,69 | 492,69 | 492,69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Agua | 6,52 | 6,52 | 6,52 | 6,52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,52 | 3227,11 | 3227,11 | 171,02 | 171,02 | 2374,12 | 1024,00 | 1024,00 | 0 | 0 | 7769,25 | 7769,25 | 6,28 | 1017,72 | 6745,24 | 6745,24 | |
| Dióxido de carbono | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,64 | 0,64 | 0 | 0 | 0 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ácido sulfúrico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1383,69 | 1383,69 | 125,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sulfato de amonio | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1694,74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 1304,33 | 1304,33 | 1304,33 | 1304,33 | 1358,38 | 1358,38 | 1358,38 | 13610,08 | 13610,08 | 13610,08 | 16272,75 | 16272,75 | 16272,75 | 1554,71 | 1554,71 | 4194,64 | 13632,84 | 13632,84 | 11358,84 | 9019,25 | 9019,25 | 0 | 1256,28 | 1017,72 | 6745,24 | 6745,24 | |

LEYENDA DE UTILIDADES:

- hps: vapor de alta presión
- mps: vapor de media presión
- lps: vapor de baja presión
- bwh: agua de calderas (alta presión)
- rws: suministro de agua refrigerada
- bwm: agua de calderas (media presión)
- bwl: agua de calderas (baja presión)
- cws: suministro agua de refrigeración
- cwr: retorno de agua de refrigeración
- rwr: retorno de agua refrigerada

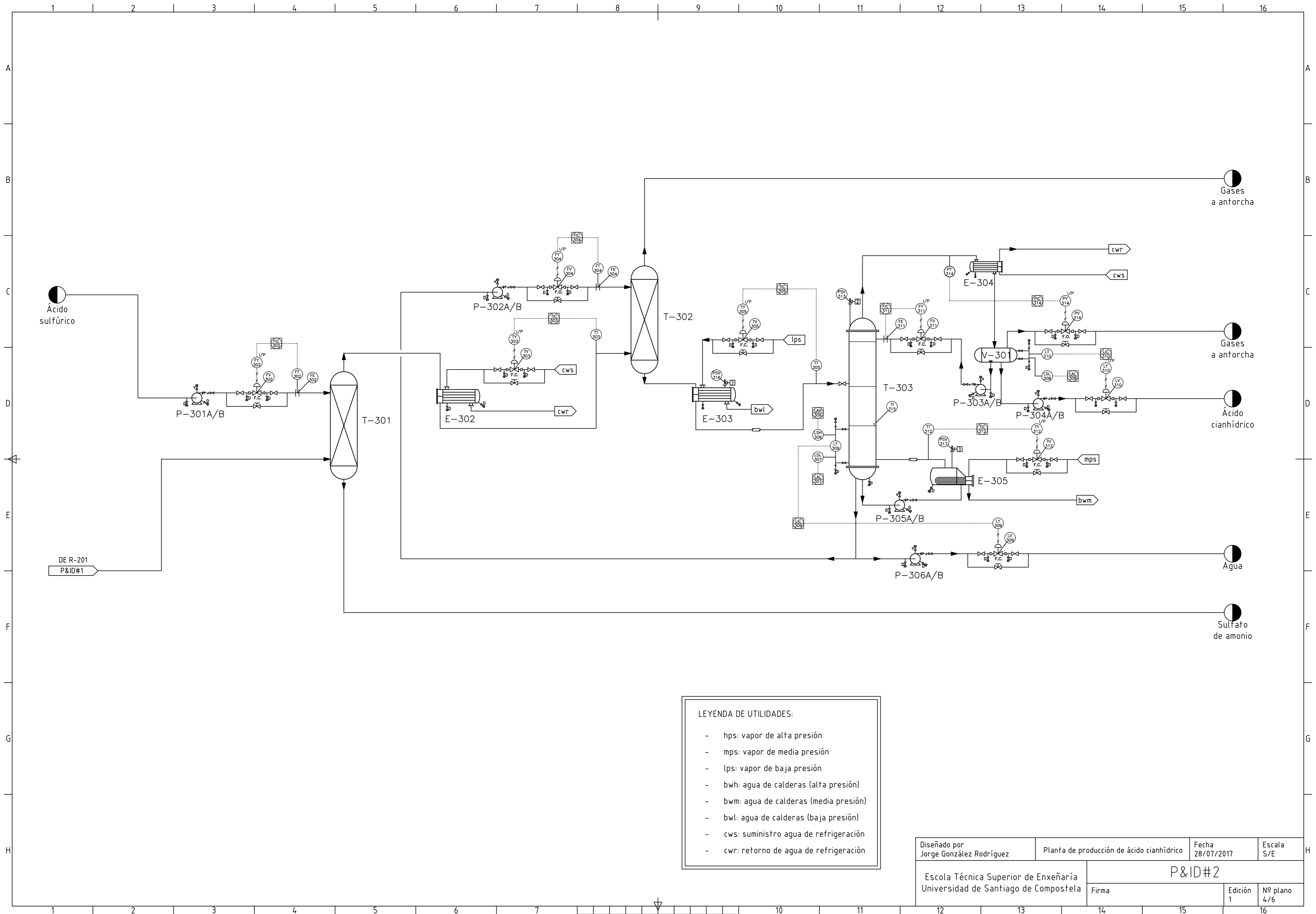
| | | | |
|---|---|-------------------------|-----------------|
| Diseñado por Jorge González Rodríguez | Planta de producción de ácido cianhídrico | Fecha 28/07/2017 | Escala S/E |
| Escola Técnica Superior de Enxeñaría Universidad de Santiago de Compostela | | Diagrama de flujo (PFD) | |
| Firma | | Edición 1 | Nº plano 2/6 |



- LEYENDA DE UTILIDADES:
- hps: vapor de alta presión
 - mps: vapor de media presión
 - lps: vapor de baja presión
 - bwh: agua de calderas (alta presión)
 - bwm: agua de calderas (media presión)
 - bwl: agua de calderas (baja presión)
 - cws: suministro agua de refrigeración
 - cwr: retorno de agua de refrigeración

| | | | |
|--|---|---------------------|-----------------|
| Diseñado por Jorge González Rodríguez | Planta de producción de ácido cianhídrico | Fecha 28/07/2017 | Escala S/E |
| Escola Técnica Superior de Enxeñaría Universidade de Santiago de Compostela | | P&ID#1 | |
| Firma | | Edición 1 | Nº plano 3/6 |

A T-301
P&ID#2

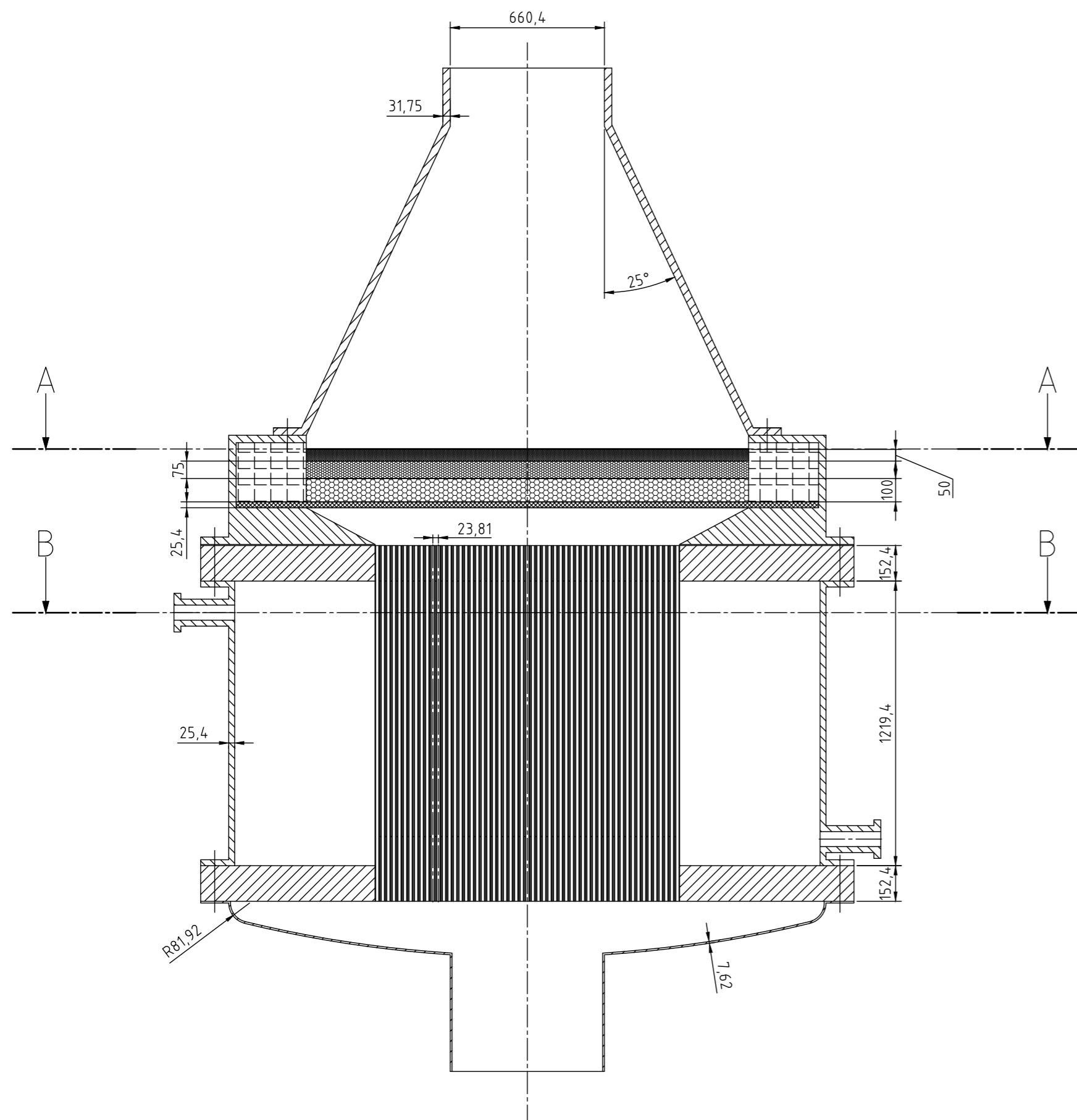


LEYENDA DE UTILIDADES:

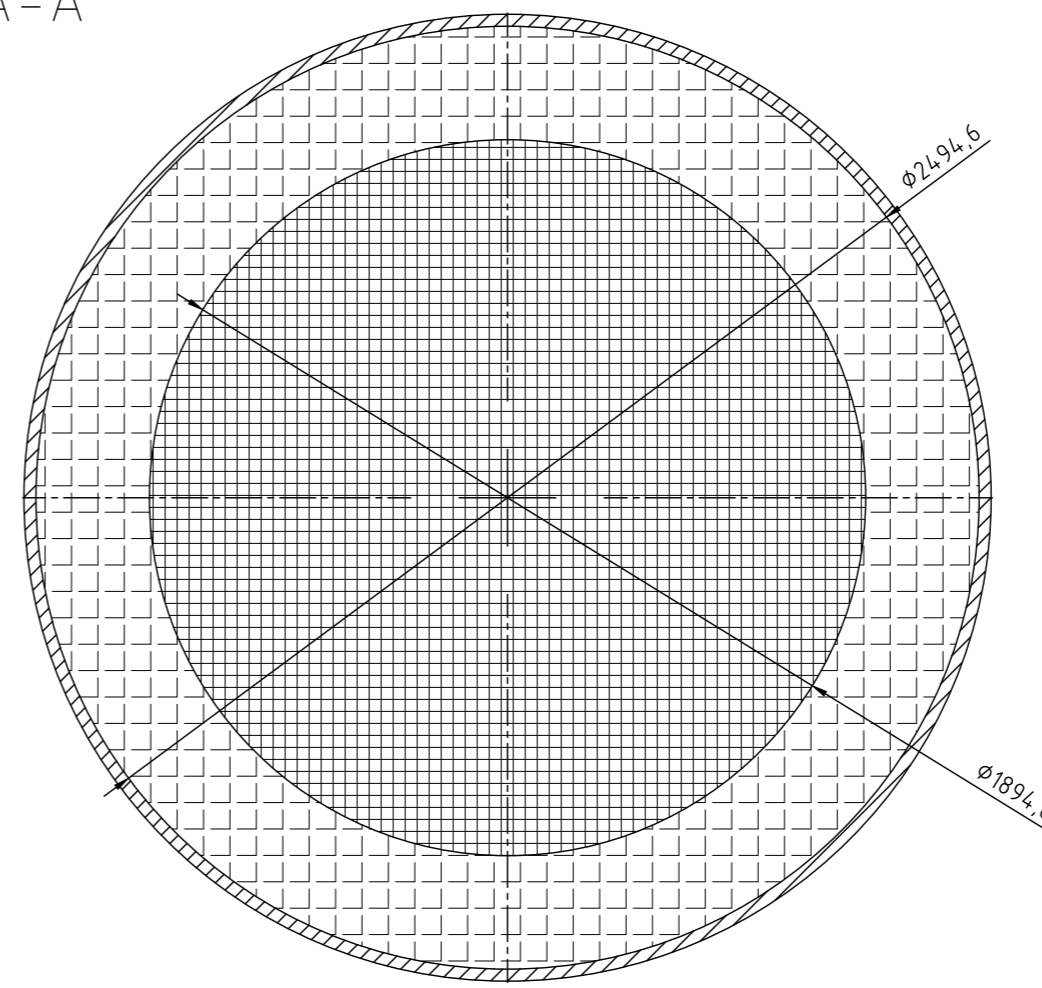
- hps: vapor de alta presión
- mps: vapor de media presión
- lps: vapor de baja presión
- bwh: agua de calderas (alta presión)
- bwm: agua de calderas (media presión)
- bwl: agua de calderas (baja presión)
- cws: suministro agua de refrigeración
- cwr: retorno de agua de refrigeración

| | | | |
|--|---|---------------------|---------------|
| Diseñado por Jorge González Rodríguez | Planta de producción de ácido cianhídrico | Fecha 28/07/2017 | Escala S/E |
| Escola Técnica Superior de Enxeñaría Universidade de Santiago de Compostela | | P&ID#2 | |
| Firma | Edición 1 | Nº plano 4/6 | |

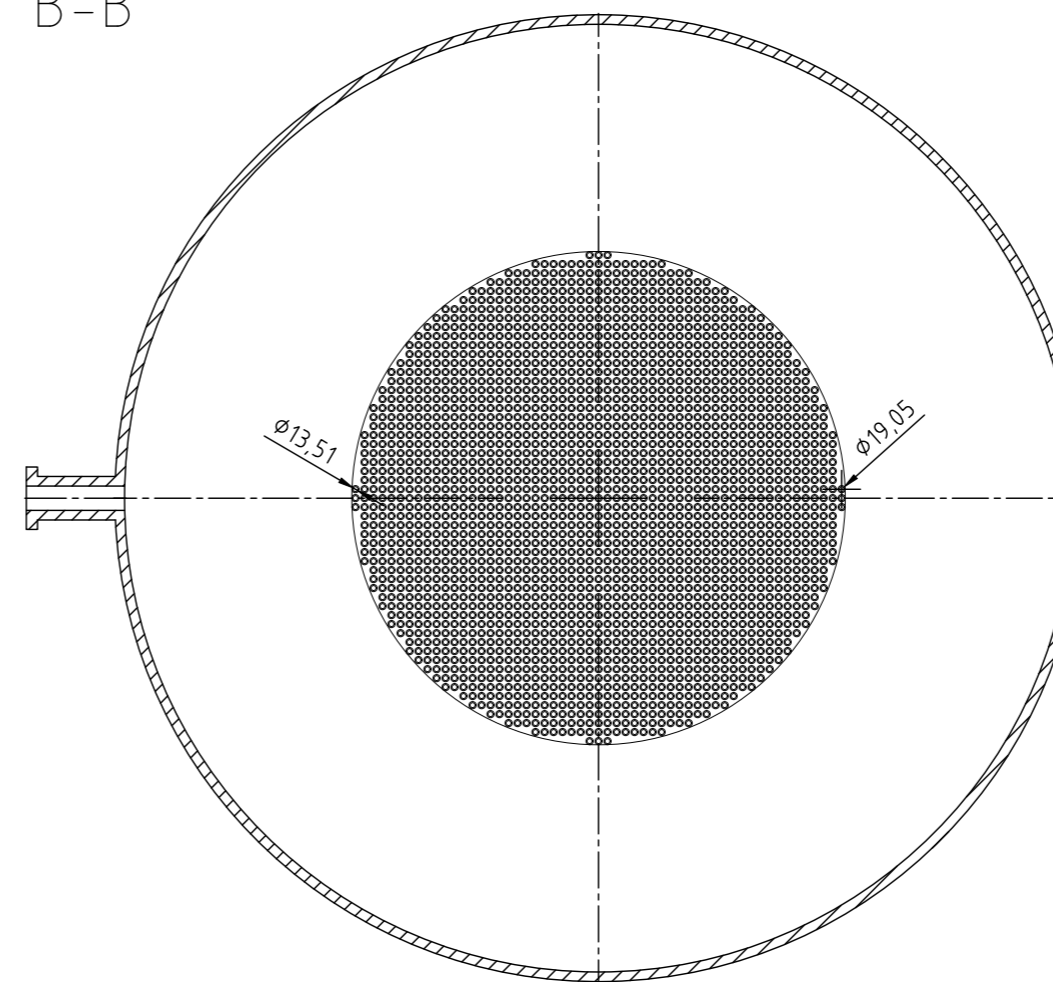
DE R-201
P&ID#1



A-A



B-B

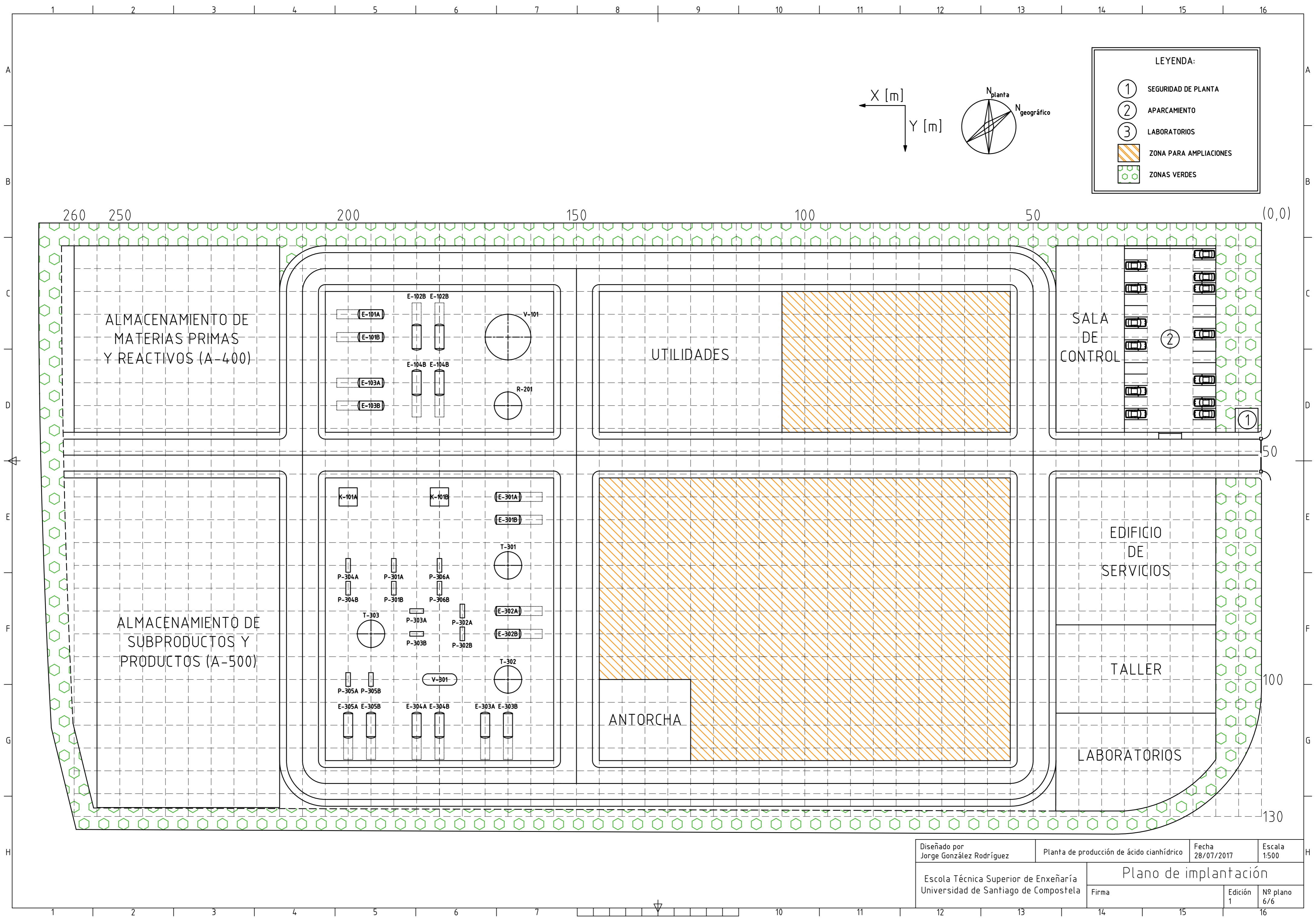


LEYENDA:

-  MALLA DE PT-RH
-  BOLAS CERÁMICAS
-  LADRILLO REFRACTARIO
-  SOPORTE DE RELLENO

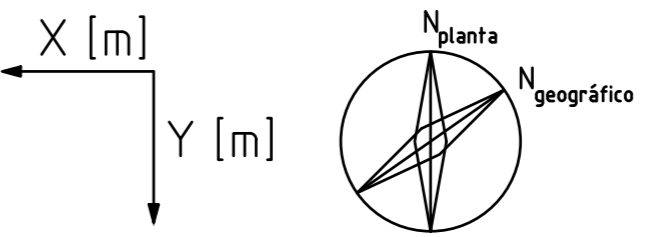
NOTA 1: TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EN MM
 NOTA 2: EL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DEL RECIPIENTE ES HAYNES 556
 NOTA 3: EL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DE LOS TUBOS ES ACERO INOXIDABLE

| | | | |
|---|---|---------------------|----------------|
| Diseñado por Jorge González Rodríguez | Planta de producción de ácido cianhídrico | Fecha 28/07/2017 | Escala 1:20 |
| Escola Técnica Superior de Enxeñaría Universidad de Santiago de Compostela | | Reactor | |
| Firma | Edición 1 | Nº plano 5/6 | |



LEYENDA:

- ① SEGURIDAD DE PLANTA
- ② APARCAMIENTO
- ③ LABORATORIOS
- ZONA PARA AMPLIACIONES
- ZONAS VERDES



| | | | |
|--|---|-----------------------|-----------------|
| Diseñado por Jorge González Rodríguez | Planta de producción de ácido cianhídrico | Fecha 28/07/2017 | Escala 1:500 |
| Escola Técnica Superior de Enxeñaría Universidade de Santiago de Compostela | | Plano de implantación | |
| Firma | Edición 1 | Nº plano 6/6 | |

DOCUMENTO III

Pliego de condiciones

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| DOCUMENTO III | 0 |
| Pliego de condiciones..... | 0 |
| Índice..... | 1 |
| PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES | 7 |
| 1. Disposiciones generales | 7 |
| 1.1. Objeto..... | 7 |
| 1.2. Concurso..... | 7 |
| 1.3. Contrato..... | 8 |
| 1.4. Programa | 10 |
| 1.5. Estudios y documentación técnica | 11 |
| 1.6. Pliegos, Instrucciones y Normas aplicables | 14 |
| 1.7. Seguridad y accidentes de trabajo | 14 |
| 2. Calidad de los materiales..... | 15 |
| 2.1. Materiales en general | 15 |
| 2.2. Aceros | 16 |
| 2.3. Resto de los materiales..... | 16 |
| 3. Normas de cálculo..... | 16 |
| 4. Disposiciones generales de las obras..... | 17 |
| 4.1. Replanteo de la obra..... | 17 |
| 4.2. Plazo de ejecución..... | 17 |
| 4.3. Mano de obra..... | 18 |
| 4.4. Mejoras y variaciones en el proyecto..... | 19 |
| 4.5. Contradicciones, omisiones o errores en los documentos..... | 20 |
| 4.6. Trabajos defectuosos o no autorizados..... | 21 |
| 4.7. Suspensión de las obras..... | 21 |
| 4.8. Seguros..... | 23 |
| 5. Ensayos, pruebas y protecciones..... | 23 |
| 5.1. Ensayos en taller..... | 23 |

Documento III. Pliego de condiciones

| | | |
|--------|---|----|
| 5.2. | Presentación en taller | 24 |
| 5.3. | Protección contra la corrosión..... | 24 |
| 5.3.1. | Intercambiadores de calor | 25 |
| 5.3.2. | Tuberías..... | 26 |
| 5.3.3. | Columnas y depósitos de presión..... | 26 |
| 5.3.4. | Bombas..... | 27 |
| 6. | Fabricación, montaje, recepción y garantías | 27 |
| 6.1. | Inspección fabril..... | 27 |
| 6.2. | Montaje e inspección..... | 28 |
| 6.3. | Controles | 29 |
| 6.3.1. | Intercambiadores de calor | 29 |
| 6.3.2. | Tuberías..... | 29 |
| 6.3.3. | Columnas y depósitos a presión | 29 |
| 6.3.4. | Bombas..... | 30 |
| 6.3.5. | Prueba hidráulica en taller..... | 30 |
| 6.4. | Acta de fin de montaje | 30 |
| 6.5. | Ajustes, ensayos y servicio experimental..... | 31 |
| 6.6. | Recepción provisional..... | 31 |
| 6.7. | Período de garantía..... | 32 |
| 6.8. | Recepción definitiva..... | 32 |
| 7. | Almacenamiento, transporte y seguros | 33 |
| 7.1. | Almacenamiento..... | 33 |
| 7.2. | Transporte..... | 34 |
| 7.3. | Seguros de transporte | 34 |
| 7.4. | Importación de materiales y equipos..... | 34 |
| 8. | Organización de las obras..... | 35 |
| 8.1. | Dirección de las obras y representación del adjudicatario | 35 |
| 8.2. | Terrenos para la ejecución de las obras..... | 36 |
| 8.3. | Instalaciones auxiliares | 37 |

Documento III. Pliego de condiciones

| | | |
|--------|---|-----------|
| 8.4. | Relación entre la Propiedad y el Adjudicatario | 38 |
| 8.5. | Subcontratación de obras | 40 |
| 8.6. | Personal de montaje | 40 |
| 8.7. | Seguros y asistencia médica | 41 |
| 9. | Abono de las obras | 42 |
| 9.1. | Definición de precios | 42 |
| 9.2. | Prestaciones accesorias y trabajos por admisión | 43 |
| 9.3. | Trabajos no previstos | 44 |
| 9.4. | Revisión de precios | 45 |
| 9.5. | Condiciones de pago | 46 |
| 9.6. | Penalizaciones | 47 |
| 9.7. | Indemnización a favor del Adjudicatario | 48 |
| 9.8. | Rescisión del contrato | 48 |
| 9.9. | Legislación | 50 |
| | PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES | 52 |
| 1. | Disposiciones generales | 52 |
| 1.1. | Objeto | 52 |
| 2. | Edificación | 52 |
| 2.1. | Condiciones generales | 52 |
| 2.1.1. | Calidad de los materiales | 52 |
| 2.1.2. | Pruebas y ensayos de materiales | 52 |
| 2.1.3. | Materiales no previstos en el proyecto | 53 |
| 2.1.4. | Condiciones generales de ejecución de las obras | 53 |
| 2.2. | Condiciones a cumplir por los materiales | 53 |
| 2.2.1. | Materiales para hormigones y morteros | 53 |
| 2.2.2. | Aceros | 55 |
| 2.2.3. | Materiales auxiliares para el hormigón | 56 |
| 2.2.4. | Encofrados y cimbras | 56 |
| 2.2.5. | Aglomerantes excluyendo el cemento | 56 |

Documento III. Pliego de condiciones

| | | |
|--------|---|----|
| 2.2.6. | Materiales para fábrica | 58 |
| 2.2.7. | Pintura | 58 |
| 2.2.8. | Colores, aceites y barnices | 58 |
| 2.2.9. | Fontanería..... | 59 |
| 2.3. | Condiciones para la ejecución de las obras | 59 |
| 2.3.1. | Movimiento de tierras | 59 |
| 2.3.2. | Hormigón | 61 |
| 2.3.3. | Morteros | 64 |
| 2.3.4. | Encofrados..... | 65 |
| 2.3.5. | Armaduras | 66 |
| 2.3.6. | Albañilería | 66 |
| 2.3.7. | Carpintería metálica | 67 |
| 2.3.8. | Pintura | 68 |
| 2.4. | Control de la obra..... | 68 |
| 2.4.1. | Componentes del hormigón..... | 69 |
| 2.4.2. | Hormigón | 69 |
| 2.4.3. | Armaduras | 69 |
| 2.4.4. | Formas y disposición..... | 69 |
| 2.4.5. | Ensayos informativos | 69 |
| 2.5. | Instrucción del hormigón estructural..... | 69 |
| 2.5.1. | Cemento | 69 |
| 2.5.2. | Agua de amasado | 70 |
| 2.5.3. | Áridos | 70 |
| 2.6. | Condiciones de protección contra incendios en los edificios | 70 |
| 2.6.1. | Condiciones técnicas exigibles a los materiales | 70 |
| 2.6.2. | Condiciones técnicas exigibles a los elementos constructivos..... | 71 |
| 3. | Instalación eléctrica..... | 71 |
| 3.1. | Generalidades | 71 |
| 3.2. | Identificación..... | 72 |

Documento III. Pliego de condiciones

| | | |
|--------|---|----|
| 3.3. | Conductores..... | 72 |
| 3.4. | Terminales..... | 73 |
| 3.5. | Instalación de aparatos | 73 |
| 3.6. | Cuadros de distribución..... | 73 |
| 3.7. | Instalaciones de fuerza y alumbrado | 74 |
| 3.8. | Equilibrio de fases | 74 |
| 3.9. | Acometida general..... | 74 |
| 3.10. | Caja de protección..... | 74 |
| 3.11. | Línea de reparto..... | 74 |
| 3.12. | Contadores..... | 75 |
| 3.13. | Derivaciones individuales | 75 |
| 3.14. | Instalación | 75 |
| 3.15. | Instalación de puesta a tierra | 75 |
| 3.16. | Inspecciones, pruebas y recepciones | 75 |
| 4. | Instalaciones mecánicas | 76 |
| 4.1. | General | 76 |
| 4.2. | Materiales | 77 |
| 4.2.1. | Accesorios | 77 |
| 4.2.2. | Soportes..... | 78 |
| 4.2.3. | Recipientes a presión..... | 78 |
| 4.3. | Condiciones de ejecución..... | 78 |
| 4.3.1. | Tuberías y accesorios | 78 |
| 4.3.2. | Soportes y estructuras..... | 82 |
| 4.4. | Pinturas y aislamiento | 84 |
| 4.4.2. | Soportes..... | 84 |
| 4.5. | Control de calidad. Inspección y pruebas..... | 85 |
| 4.5.1. | Requisitos generales | 85 |
| 4.5.2. | Pruebas y ensayos de tuberías | 85 |
| 4.5.3. | Pruebas hidrostáticas | 87 |

Documento III. Pliego de condiciones

| | |
|--|----|
| 4.5.4. Control dimensional | 89 |
| 5. Documentación..... | 90 |
| 6. Equipos..... | 91 |
| 6.1. Lista de equipos..... | 91 |
| 6.2. Especificaciones de los equipos | 92 |

PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1. DISPOSICIONES GENERALES

1.1. Objeto

El presente Pliego de Condiciones constituye el conjunto de instrucciones, normas, prescripciones y especificaciones que, junto con lo indicado en los apartados de Memoria, Planos y Presupuestos, definen todos los requisitos que deben cumplir las obras de construcción de la planta de producción de ácido cianhídrico.

Los documentos adjuntos contienen, además de la descripción general de las obras, las condiciones que han de cumplir los materiales y las instrucciones para la ejecución, medición y abono de las unidades de dichas obras, siendo por tanto la norma guía que ha de seguir en todo momento el Adjudicatario de la obra.

1.2. Concurso

Constituyen objeto de concurso restringido las empresas que la Propiedad juzgue oportuno invitar, el suministro de los equipos, materiales y servicios definidos en este Pliego de Condiciones y documentación complementaria.

La propiedad se reserva el derecho a la introducción de modificaciones de detalle o a exigir la prestación de servicios o suministros suplementarios que el Adjudicatario pueda prestar o realizar.

El Adjudicatario podrá proponer modificaciones de las especificaciones de suministro, debiendo hacerlo siempre que, por efecto de la utilización de patentes o por otras razones, lo juzgue técnica y económicamente aconsejable.

Las especificaciones y las descripciones del suministro no son limitativas, debiendo el Adjudicatario facilitar todos los datos e información que estime indispensables para conseguir plenamente los fines del contrato. El Adjudicatario dará preferencia, en igualdad de condiciones, a materiales y servicios de origen español.

Los Concursantes deberán presentar un Cuadro de Precios Unitarios. Presentarán, asimismo, los presupuestos parciales y general correspondientes, una descripción de la

organización de sus trabajos en la que se encuentre incluida la relación de personal técnico que tendrá a su cargo a lo largo de la realización de las obras, y una lista detallada de la maquinaria o medios a utilizar, con sus requerimientos y sus capacidades, para cumplir los plazos establecidos. Del mismo modo, indicará las fechas límites en que se debe recibir de la Propiedad la información complementaria necesaria para poder desarrollar sus trabajos de acuerdo con el plan de obra previsto.

Se considerará como documento fundamental para la adjudicación del concurso el Cuadro de Precios presentado. Los errores que pudieran haberse cometido en los presupuestos serán subsanados por la Propiedad o su representante legal, al estudiar las ofertas a partir de los datos del citado cuadro y las mediciones del Anteproyecto.

Los precios unitarios se considerarán actualizados hasta la fecha de presentación de la oferta que se indica en la carta de invitación. Las actualizaciones a fechas posteriores se harán de acuerdo con lo que figura en el epígrafe “Revisión de precios” del presente Pliego de Condiciones.

En los precios unitarios deberá estar incluida la parte proporcional de los gastos generales, instalaciones, beneficios, etc., y todos los posibles gastos directos o indirectos relacionados con ellos.

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo de validez indicado en la carta de invitación o que no conste en todos los documentos que se señalen en los apartados del presente Pliego de Condiciones.

La Propiedad pasará notificación del resultado del concurso a los diferentes Concursantes. Si el Concursante no recibiese esta comunicación en el plazo también señalado en la carta de invitación, puede notificar a la propiedad su renuncia al concurso.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario la concesión de los trabajos objeto del concurso. La fecha de comienzo de los mismos será la que figure en el programa de trabajo.

Durante el período comprendido entre la adjudicación y la fecha de iniciación de los trabajos se formalizará entre la Propiedad y el Adjudicatario el contrato correspondiente.

1.3. Contrato

El Adjudicatario estará obligado al cumplimiento de la reglamentación del trabajo correspondiente, la contratación del seguro obligatorio, subsidio familiar o de vejez, seguro de enfermedad y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes en el momento de la ejecución de obras.

Documento III. Pliego de condiciones

Serán por cuenta del Adjudicatario los gastos fiscales y todo tipo de gastos a que dé lugar la formalización del contrato.

Cualquiera de las dos partes que intervienen en el contrato puede solicitar la elevación a escritura pública del convenio de adjudicación, corriendo en este caso los gastos que origine dicha elevación por cuenta de la parte peticionaria.

El Adjudicatario es el único responsable por la totalidad del suministro y servicios que se indican en el contrato, en estricto cumplimiento de las disposiciones contractuales de las buenas normas de la técnica. Esta responsabilidad implica que serán de su cuenta las modificaciones, reparaciones y sustituciones indispensables para el exacto cumplimiento del contrato, así como las indemnizaciones justificadas por perjuicios causados por deficiencias, errores o atrasos laborales.

En caso necesario, la Propiedad podrá suspender los pagos al Adjudicatario y pedir indemnizaciones de acuerdo con lo establecido en el contrato sin perjuicio de la aplicación de penalizaciones de rescisión.

Las relaciones con el Adjudicatario serán establecidas a través de personas o entidades designadas por la Propiedad.

La Propiedad podrá hacerse representar por consultores u otras entidades que pueda elegir para colaborar en los estudios, fabricación, montaje y ensayos.

El representante del Adjudicatario será designado por éste de acuerdo con la Propiedad. Durante el período de montaje esta persona estará presente y será la responsable del equipo de montaje.

El Adjudicatario estará representado en todas las reuniones convocadas con un plazo no inferior a ocho días por la Propiedad, en la obra o en cualquier otro lugar que se indique, mediante la presencia de técnicos especializados en las materias objetivo de dichas reuniones.

La lista de proveedores principales y empresas colaboradoras del Adjudicatario, establecida de común acuerdo con la Propiedad, no podrá ser modificada sin la aprobación previa escrita de esta última entidad.

La aprobación por parte de la Propiedad de la lista de proveedores y empresas colaboradoras del Adjudicatario no eximirá en ningún caso a este último de su responsabilidad.

El Adjudicatario no podrá ceder ni traspasar a terceros ninguna de sus obligaciones o derechos, ni utilizar en la ejecución de los trabajos otras empresas o sociedades que las que figuran en el contrato como aceptadas por la Propiedad. En todos los casos el Adjudicatario es plenamente responsable del contrato ante la Propiedad, personal obrero y terceros.

Si el Adjudicatario, sin previa autorización escrita por parte de la Propiedad, cediese o traspasase a terceros cualquiera de sus obligaciones o derechos, derivados del contrato, o emplease en la ejecución de las obras otra empresa o sociedad que no estuviese previamente aceptada por la Propiedad, ésta aplicará las sanciones que crea oportunas, llegando, si fuese necesario, a la rescisión del contrato, en cuyo supuesto se aplicaría todo lo incluido bajo el epígrafe “Rescisión del contrato” del presente Pliego de Condiciones.

La Propiedad puede indicar en la carta de invitación al concurso la fianza inicial y retenciones de garantía que se descontarán de las certificaciones. Estas cantidades retenidas por la Propiedad resultan en caso de rescisión o abandono del trabajo por causas imputables al Adjudicatario.

El Adjudicatario responde, además del cumplimiento de sus obligaciones, de todos los medios auxiliares, maquinaria y materiales que tenga depositados en la obra, los cuales no podrán ser retirados de la misma sin previa autorización escrita de la Propiedad.

El Adjudicatario es el único responsable de la correcta ejecución técnica de las obras, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio a que pudiesen resultar, ni por las falsas operaciones que cometa durante la construcción de las mismas, ni por las modificaciones que la Dirección Facultativa tenga a bien marcar, corriendo dichas operaciones por su cuenta y riesgo, independientemente de las inspecciones ejercidas por la Dirección Técnica.

1.4. Programa

El programa general de los trabajos (estudios, aprovisionamiento, fabricación, transporte, montaje y ensayos) a presentar con la propuesta deberá respetar las pautas indicadas en estas normas e información complementaria facilitada.

El programa deberá ser desarrollado, según las condiciones especificadas en estas normas, en otro detalle, en el que se indicarán las fechas de conclusión de cada uno de los trabajos señalados en el trabajo inicial, así como las fechas intermedias cuyo incumplimiento dé lugar a la aplicación de las penalizaciones. El plazo de presentación de este programa detallado será de treinta días a partir de la fecha de adjudicación.

El programa referido en el párrafo anterior deberá indicar las fechas límite en que se consideren indispensables los suministros para asegurar la continuidad de los trabajos, así como los datos referentes a la posibilidad del inicio de los trabajos de terceros.

La determinación del orden de las obras será facultad potestativa del Adjudicatario, salvo en aquellos casos en los que por cualquier circunstancia de orden técnico el Ingeniero Director estime conveniente su modificación.

Documento III. Pliego de condiciones

Todos los trabajos se ejecutarán en estricto seguimiento del Proyecto que ha servido de base, de las modificaciones que sobre el mismo hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que entregue el Ingeniero Director al Adjudicatario, siempre que se encaje dentro de la cifra a que asciende los presupuestos aprobados.

El programa contractual de los trabajos no podrá ser alterado sin la conformidad expresa de la Propiedad. Además, cuando la Propiedad proponga una alteración de dicho programa, el Adjudicatario se compromete a hacer todo lo posible para dar cumplimiento al deseo de la Propiedad, lo mismo se trate de adelantar como de retrasar un suministro.

El Adjudicatario dará comienzo a las obras en el plazo marcado, desarrollándolas en la forma necesaria para que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido en el contrato realizado con la Propiedad.

Obligatoriamente y por escrito, el Adjudicatario deberá dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos antes de veinticuatro horas desde su iniciación.

Si los trabajos se desarrollan con retraso respecto al programa aprobado, serán aplicadas las penalizaciones correspondientes. Si dicha demora fuese producida por motivos no imputables al Adjudicatario, éste puede solicitar de la Propiedad una prórroga del plazo de ejecución de las obras, postergación que será igual al tiempo perdido, a no ser que el Adjudicatario solicite que fuese menor. La petición de prórroga por parte del adjudicatario deberá tener lugar en el plazo mínimo de un mes desde el día que se produzca la causa originaria del retraso, alegando las razones por las que estime no serle imputable la demora y señalando el tiempo probable de su duración. En caso de que el Adjudicatario no solicite el aplazamiento, se entenderá que renuncia a su derecho y que, a efectos de la aplicación del contrato, los retrasos que se produzcan en relación con lo establecido en el programa le son imputables a él.

El Adjudicatario se someterá a las Leyes, Reglamentos y Ordenanzas vigentes, así como los que se dicten durante la ejecución de las obras.

El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la legislación vigente en lo relativo a los accidentes de trabajo desde que toma a su cargo la organización de los trabajos contratados.

1.5. Estudios y documentación técnica

Por el hecho de acusar recibo de encargo, el Adjudicatario reconoce haber recibido de la Propiedad todos los datos y documentos de base necesarios para los estudios y proyectos. En caso de errores u omisiones, el Adjudicatario deberá proponer las modificaciones que estime convenientes para una buena ejecución del mismo.

Documento III. Pliego de condiciones

El Adjudicatario debe pedir a la Propiedad, con antelación suficiente, todas las informaciones complementarias y de detalle indispensables para la buena ejecución del suministro.

Los documentos contractuales y todos aquellos que la propiedad entregue durante la ejecución del contrato, deben ser cuidadosamente revisados por el Adjudicatario. En caso de errores u omisiones, el Adjudicatario deberá proponer las modificaciones que estime convenientes para la buena organización del suministro.

El Adjudicatario proporcionará, en la fecha establecida en el calendario general de ejecución de las obras, con los datos y condiciones indicados en las normas y demás documentos que le encargue la Propiedad: memoria, cálculos justificativos, características de los materiales, especificaciones relativas a los mismos, planos y demás documentación técnica complementaria a la incluida en la oferta presentada, de forma que se compromete así la definición del equipo y servicios contratados, lo que permitirá a la Propiedad:

- Tener pleno conocimiento del estado tensional al que estará sometido el equipo en las distintas hipótesis de cálculo, garantías que ofrecen los materiales, las soldaduras y demás elementos incluidos en el suministro, así como de su funcionamiento, conservación y explotación.
- Efectuar la inspección de su fabricación y montaje.
- Estudiar y proyectar todos los trabajos afines que no incumben al Adjudicatario.

Todos los documentos facilitados por el Adjudicatario, así como leyendas y acotaciones, deberán estar escritos en español. La Propiedad podría aceptar documentos escritos en francés o inglés, reservándose el derecho a exigir traducciones al español, que serán consideradas como los únicos documentos válidos.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario, en el plazo que señala en el programa general de trabajos, la aprobación o reparos a los documentos ya referidos en párrafos anteriores, que conforman la total definición del equipo y servicios contratados, entendiéndose que éstos están aceptados si en dicho plazo no se hubiese indicado lo contrario.

Los documentos sobre los que la Propiedad sí hubiese efectuado observaciones antes de la fecha concertada, serán revisados por el Adjudicatario y nuevamente sometidos a aprobación dentro del plazo establecido en el calendario general de las obras. Si la Propiedad no pudiese admitirlos, convocaría una reunión para su discusión y resolución en el plazo de ocho días.

Documento III. Pliego de condiciones

El Adjudicatario remitirá a la Propiedad, por quintuplicado y en el plazo de quince días, desde su aprobación, los ejemplares indicados en estas normas de cada uno de los documentos aceptados.

Los documentos aprobados no podrán ser modificados sin previa autorización escrita de la Propiedad.

La aprobación por parte de la Propiedad de dibujos, notas de cálculo u otros documentos no limita la responsabilidad del Adjudicatario, sino que ésta se mantiene total.

Todos los documentos y planos recibidos por la Propiedad como parte del suministro, serán tratados por ésta a todos los efectos como de su propiedad. De igual modo, toda la documentación y dibujos serán enviados por la Propiedad al Adjudicatario para la ejecución del suministro, no pudiendo este último comunicar a terceros o publicar sus reproducciones sin previa autorización de la propiedad.

El Adjudicatario entregará al menos tres copias de los manuales de instrucciones de los equipos suministrados, cuyo contenido mínimo debe ser el siguiente:

- Descripción del equipo.
- Características nominales de diseño y prueba.
- Composición y características de los materiales.
- Principios de operación.
- Instrucciones de operación.
- Gradientes máximos, limitaciones y funcionamiento en condiciones distintas de las nominales. Puntos de tarado.
- Lista de componentes o despieces, con números de identificación, dibujos de referencia, nombres y características de la pieza (dimensiones, materiales, etc.).
- Instrucciones de recepción, almacenamiento, manejo y desembalaje del equipo.
- Instrucciones de montaje, desmontaje y tolerancias.
- Instrucciones de mantenimiento.
- Pruebas y controles periódicos.
- Lista de repuestos.

1.6. Pliegos, Instrucciones y Normas aplicables

Las prescripciones de las instrucciones y normas que se muestran a continuación serán de aplicación con carácter general, y en todo aquello que no contradiga o modifique el alcance de las indicaciones que se incluyen en el presente Pliego de Condiciones, para los materiales y la ejecución de las obras.

- Artículos 1588 a 1600 del Código Civil, en los casos en los que sea procedente su aplicación.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (R.D. 842/2002)
- Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseoso (O.M. 18/11/74)
- Reglamento de equipos a presión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (R.D. 2060/2008)
- Instrucción de hormigón estructural (R.D. 1247/2008), con nulidad de los párrafos 7 y 8 del art. 81 y el anejo 19 de la instrucción, por Sentencia del TS del 27 de septiembre de 2012.
- Instrucción para la recepción de cementos (R.D. 256/2016)
- Código Técnico de la edificación (R.D. 314/2006)
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de abastecimiento de agua (O.M. 22/08/63).
- Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias (R.D. 379/2001) con modificación de los arts. 1 a 3 y 6.2, la disposición final 1 y las ITC MIE APQ-1 a 7 y añadiendo la MIE APQ-9, por R.D. 105/2010 y la MIE APQ-8 por R.D. 2016/2004.
- Norma de construcción sismorresistente (R.D. 997/2002).
- Cuantos preceptos sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo contengan las Ordenanzas Laborales, Reglamentos de Trabajo, Convenios Colectivos y Reglamentos de Régimen Interior en vigor.

1.7. Seguridad y accidentes de trabajo

El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la normativa referente al estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo vigente.

Documento III. Pliego de condiciones

Todos cuantos aparatos, maquinaria, herramientas y medios auxiliares emplee el Adjudicatario en la ejecución de los trabajos deberán reunir las máximas condiciones de seguridad y resistencia, así como cumplir todas las normas oficiales dictadas al efecto.

El personal del Adjudicatario está obligado a utilizar todos los dispositivos y medios de protección personales necesarios para eliminar o reducir los riesgos profesionales, pudiendo el Ingeniero suspender los trabajos si estima que el personal está expuesto a peligros no corregibles.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario, ordenándolo por escrito, el cese de la obra de cualquier trabajador que, por imprudencia temeraria, pudiese provocar accidentes que hiciesen peligrar su propia integridad física o la de alguno de los demás empleados u obreros.

Toda la responsabilidad en los accidentes que pudieran ocurrir por el empleo de materiales defectuosos, por imprudencias o por el incumplimiento de lo anteriormente mencionado, recaerá exclusivamente sobre el Adjudicatario. Correrán también por cuenta exclusiva de éste las multas en las que incurra por contravenir las disposiciones oficiales, así como los daños y desperfectos ocasionados a terceros en su persona, bienes o haciendas.

El Adjudicatario queda en libertad de ejecutar los andamiajes que estime convenientes, siempre dentro de las normas de seguridad para el personal que señale en cada momento las Leyes o Reglamentos de Seguridad e Higiene o Accidentes de Trabajo.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario en cualquier momento, antes o después del comienzo de los trabajos, que presente los documentos que acrediten el haber formalizado los regímenes de la Seguridad Social en la forma legalmente establecida.

2. CALIDAD DE LOS MATERIALES

2.1. Materiales en general

Todos los materiales suministrados por el Adjudicatario, figuren o no en los documentos del presente Proyecto, deben reunir las condiciones de calidad exigibles en la buena práctica de la construcción. La aceptación por la Propiedad de una marca, fábrica o lugar de extracción, no exime al Adjudicatario del cumplimiento de estas prescripciones.

Deben presentarse previamente muestras para su aprobación y reconocimiento por parte del Ingeniero Director o en su defecto por el Subdirector de la Obra, sin cuyo permiso no se podrá preceder a la colocación o empleo, pudiéndose obligar a la retirada del material no aprobado y colocado en obra por parte del Adjudicatario de no haberse procedido de la forma establecida. Además, los materiales rechazados deberán ser inmediatamente retirados de la obra por cuenta y riesgo del Adjudicatario, o depositados en los lugares indicados por la Dirección de la Obra.

Cuando los materiales no fuesen de la calidad requerida en el Pliego de Condiciones o no tuviesen la preparación en éste exigida, o cuando a falta de prescripciones formales se reconociese o demostrase que no son adecuados para su función, la Propiedad dará orden al Adjudicatario para que a su costo los reemplace por otros que satisfagan o cumplan el objetivo al que se destinen.

El Adjudicatario, a su costo, transportará y colocará los materiales no utilizables, agrupándolos ordenadamente y en el lugar de la obra que se designe, para evitar así que supongan un perjuicio en la marcha de los trabajos. Los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra se retirarán de esta o se llevarán a un vertedero.

Si a pesar de todo fuesen advertidas faltas en un material aprobado y colocado, dicho material podría ser retirado a cuenta del Adjudicatario.

2.2. Aceros

El Adjudicatario indicará las características mecánicas de los aceros empleados con arreglo a los siguientes elementos:

- Piezas de acero moldeado.
- Estructuras de acero.

2.3. Resto de los materiales

Para el resto de los materiales empleados en la fabricación del suministro, se indicarán las características mecánicas, así como la composición química.

3. NORMAS DE CÁLCULO

Serán de aplicación las normas DIN u otras de rango similar vigentes sobre las bases de cálculo para construcciones hidráulicas de acero.

El Adjudicatario indicará las tensiones de trabajo, simples y compuestas a que quedan sometidas los diferentes materiales que constituyen las estructuras. Asimismo, se señalarán las tensiones máximas de trabajo o tensiones base para el cálculo:

- Tensión admisible de tracción o compresión, previa comprobación del pandeo.
- Tensiones admisibles a esfuerzos cortantes.
- Tensiones de comparación.

La tensión base o máxima de trabajo es un límite absoluto que no podrá ser sobrepasado ni siquiera en el caso de piezas sometidas a choques, esfuerzos dinámicos, fatigas locales o alternadas, vibración y oxidaciones.

Se indicarán, asimismo, las cargas máximas transmitidas al hormigón por las piezas fijas, así como las correspondientes a los órganos de maniobra.

Los esfuerzos de compresión en el hormigón se atenderán a lo especificado en las normas DIN, y no superarán, en cualquier caso, la carga de rotura indicada en la norma EH vigente.

Las conducciones blindadas y los revestimientos se dimensionarán para los estados de carga más desfavorables, sin tener en cuenta la contribución del hormigón que las engloba.

El Adjudicatario facilitará los cálculos completos de los elementos importantes del suministro.

El Adjudicatario indicará los coeficientes de seguridad de elementos tales como cilindros y vástagos de servomotores, órganos mecánicos de cabrestantes, cadenas, cables, etc.

4. DISPOSICIONES GENERALES DE LAS OBRAS

4.1. Replanteo de la obra

El Ingeniero Director, una vez que el Adjudicatario esté en posesión del Proyecto y antes de comenzar las obras, deberá realizar el replanteo de las mismas, con especial atención en los puntos singulares. Se levantará, por duplicado, un Acta de Replanteo firmada por el Ingeniero Director y el representante del Adjudicatario.

Todas las operaciones que se necesitan para el replanteo serán efectuadas por y a cuenta del Adjudicatario, no teniendo por este concepto derecho a reclamación de ninguna clase. Asimismo, está obligado a suministrar a su cargo a la Propiedad los medios y aparatos que la dirección de Obra estime necesarios para llevar a cabo los replanteos de cualquier tipo.

4.2. Plazo de ejecución

Los plazos de ejecución, tanto totales como parciales, señalados en el contrato, empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo de las obras o desde la notificación por parte de la Propiedad de la autorización para el comienzo de éstas. El Adjudicatario estará obligado a cumplir dichos plazos, que serán improrrogables.

No obstante, los plazos podrán ser objeto de aplazamiento, cuando las modificaciones solicitadas por el Ingeniero Director y debidamente aprobadas por la Propiedad, influyan realmente en los plazos señalados en el contrato.

Si por causas ajenas por completo al Adjudicatario no fuese posible comenzar los trabajos en la fecha prevista o tuviesen que ser suspendidos una vez iniciados, el Ingeniero Director concederá una prórroga cuya duración será la estrictamente necesaria.

4.3. Mano de obra

El personal que, como encargado, capataz, oficial, ayudante o peón, tenga el Adjudicatario realizando unidades de obra, debe ser cualificado y responsable, al igual que todo el personal dependiente de los Subadjudicatarios, que en todo momento acatarán las órdenes dictadas por la Dirección de la obra.

El Adjudicatario está obligado a tener siempre en la obra el número de operarios proporcionado a la extensión y clase de trabajos que se esté ejecutando.

Los operarios serán de aptitud reconocida y experimentados en sus respectivos oficios, y constantemente ha de haber en la obra una persona responsable y encargada del conjunto.

No se permitirá trabajar a ningún obrero que no se encuentre debidamente capacitado o en quien se note falta de costumbre a la hora de trabajar sobre andamios, y si por omisión o falta de observación de las precauciones ocurriese una desgracia, serán de cuenta y riesgo del Adjudicatario las responsabilidades que tuviesen lugar.

La Dirección de la Obra podrá prohibir la permanencia en obra de determinado personal del Adjudicatario, por motivo de faltas de Obediencia y respeto, o a causa de actos que comprometan o perturben, a juicio de la misma, la marcha de los trabajos. El Adjudicatario podrá recurrir si entendiéndose que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

La totalidad del personal empleado por el Adjudicatario y Subadjudicatario en la ejecución de las obras deberá estar debidamente afiliado al régimen general de la Seguridad Social, estando obligado a mantener en la oficina de obra los justificantes correspondientes, que justifiquen la situación. Además, el Adjudicatario está obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley sobre Contrato de Trabajo y en las Reglamentaciones de Trabajo vigentes o que se dicten durante la realización de las obras.

El Adjudicatario habilitará en la obra una oficina en la que tendrá siempre una copia de todos los documentos del Proyecto que le hayan sido facilitados por el Ingeniero Director, así como los restantes documentos, equipos y materiales que se estipulen.

Documento III. Pliego de condiciones

El Adjudicatario podrá sacar a sus expensas copias de los documentos el Proyecto de Contrata, cuyos originales le serán facilitados por el Ingeniero Director, el cual autorizará con su firma las copias, si el Adjudicatario así los deseara.

El Adjudicatario, por sí mismo o por medio de sus facultativos, representantes o encargado, estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Ingeniero Director, o a las personas que éste delegue, en las visitas que hagan a la obra, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios, y facilitándole los datos necesarios y los medios para la ejecución y aprobación de mediciones, comprobaciones y liquidaciones.

El Adjudicatario o su delegado vigilarán los trabajos de colocación de los andamios, cimbras y demás medios auxiliares. Comprobará que los materiales fabricados, tales como viguetas, cargaderos, etc., del material que sea, llevan garantía de fabricación, siendo el Adjudicatario el responsable de los accidentes que ocurran por incumplimiento de esta disposición o por no tomar las debidas precauciones.

Antes del inicio de las obras se procederá al replanteo general de las mismas, juntamente con el Director y Subdirector de Obra, realizándose la correspondiente Acta de Replanteo, que quedará plasmada en el Libro de Órdenes, considerándose dicha fecha como la de inicio de las obras.

Todas las operaciones y medios auxiliares necesarios para el replanteo, serán de exclusiva cuenta del Adjudicatario, pudiendo ser vigilados y anulados por la Dirección Técnica.

El Adjudicatario no podrá reclamar ni percibir indemnización alguna por sustracción, pérdida, avería u otros perjuicios acaecidos durante la realización de la obra.

Del mismo modo, será responsable de las pérdidas del material que se entregase a su custodia, descontándosele el importe de las cantidades a percibir. Igualmente responderá ante cualquier daño causado en las propiedades colindantes, estando obligado a repararlas y dejarlas en su estado original.

4.4. Mejoras y variaciones en el proyecto

Si durante el transcurso de las obras, el Ingeniero Director estimase conveniente introducir modificaciones en el Proyecto, el Adjudicatario estará obligado a ejecutarlas, siempre y cuando la cantidad de las obras nuevamente aprobada no aumentase ni disminuyese. No se considerarán mejoras y variaciones del Proyecto más que aquellas que hayan sido ordenadas expresamente por escrito por el Ingeniero Director.

Si antes del inicio de las obras o en el transcurso de éstas la Propiedad, de acuerdo con el Ingeniero Director, resolviese realizar parte de las obras que comprende la contrata, o acordase introducir en el Proyecto modificaciones que supongan aumento, reducción o supresión de las cantidades especificadas en el presupuesto, serán obligatorias para el Adjudicatario estas disposiciones sin que tenga incluso derecho, en caso de suspensión de los trabajos, a indemnización alguna con el pretexto de pretendidos beneficios que hubiera podido obtener en la parte reducida o suprimida. Aun cuando las reformas hiciesen variar el trazado original, si se le participan al Adjudicatario con la debida antelación, tampoco podrá reclamar compensación económica alguna.

En el caso de darse alguna modificación en el Proyecto, el Adjudicatario tendrá derecho a que se prorrogue, el tiempo que el Ingeniero considere oportuno, el plazo para la terminación de las obras.

Cuando se introduzcan modificaciones o mejoras en la obra debidamente autorizadas, se hará constar por escrito, antes de comenzar los trabajos, el importe de aquellos o el valor estipulado para las mismas si no tuviesen precio en el presupuesto, cuyo valor, se abonará en la liquidación correspondiente al plazo en que el trabajo se haya ejecutado.

4.5. Contradicciones, omisiones o errores en los documentos

En caso de contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo escrito en este último. Lo mencionado en el Pliego de Condiciones y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser aceptado como si se incluyese en ambos documentos, siempre que, a juicio del Ingeniero Director, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y ésta tenga precio en el contrato.

Los diversos capítulos del presente Pliego de Condiciones son complementarios entre sí, entendiéndose que las prescripciones que contengan uno de ellos y afecte a otros obligan como si apareciesen todos. Las contradicciones o dudas entre sus especificaciones se resolverán por la interpretación razonadamente haga el Ingeniero Director.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos, tanto por el Ingeniero Director como por el Adjudicatario, deberán reflejarse preceptivamente en el Acta de Replanteo.

4.6. Trabajos defectuosos o no autorizados

El Adjudicatario deberá utilizar materiales que cumplan las condiciones exigidas en el Pliego de Condiciones Particulares y realizar todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con dicho documento.

Como consecuencia de lo anterior, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra advierta vicios o defectos en los trabajos efectuados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea durante la ejecución de los trabajos o una vez finalizados éstos y con anterioridad a la verificación de la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas según el contrato, y todo aquello a expensas del Adjudicatario. Si éste no considerase justa la decisión y se negase a la demolición y reconstrucción ordenada, se procederá según estos pasos:

- Cuando los materiales o aparatos no reuniesen la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Adjudicatario para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos, o a falta de éstos, a las órdenes del Ingeniero Director.
- El Ingeniero Director podrá, si las circunstancias o el estado de la obra lo aconsejen, permitir el empleo de aquellos materiales de mayor calidad a la fijada de antemano en caso de que el Adjudicatario no le fuese posible suministrarlos de dicha calidad, descontándosele en ese caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado, y no teniendo derecho el Adjudicatario a indemnización alguna en el segundo de los casos.

El Adjudicatario es el único responsable de la ejecución de los trabajos para los que ha sido contratado y de las faltas y defectos que éstos pudiesen tener por su incorrecta ejecución y por la deficiencia de la calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servir de excusa ni le otorgue derecho alguno el que el Ingeniero Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas en las certificaciones y participaciones de las obras.

4.7. Suspensión de las obras

Cuando la Propiedad desee suspender la ejecución de las obras, deberá avisar al Adjudicatario con un mes de antelación, teniendo este último que suspender los trabajos sin derecho a indemnizaciones, siempre que se le abone el importe de la obra ejecutada y el valor de los materiales acumulados a pie de obra. Se hará lo mismo en caso de rescisión justificada.

Documento III. Pliego de condiciones

Si la suspensión de las obras fuese motivada por el Adjudicatario, la Propiedad se reserva el derecho a la rescisión del contrato, abonando al Adjudicatario sólo la obra ejecutada, con pérdidas de la garantía como compensación a la Propiedad por los perjuicios generados, quedando siempre el Adjudicatario obligado a responder por los perjuicios superiores creados por ésta.

En caso de muerte o quiebra del Adjudicatario, quedará rescindida la contrata, a no ser que los herederos o síndicos de la quiebra ofrezcan realizarla bajo las condiciones estipuladas en un primer momento. La Propiedad podrá aceptar o rechazar el ofrecimiento, sin que, en este último caso, aquellos tengan derecho a indemnización alguna.

Tanto en los casos de rescisión como en los que legalmente se pudiesen presentar, las herramientas y demás elementos de trabajo que sean de pertenencia del Adjudicatario, tendrá éste la obligación de recogerlos antes de un plazo de ocho días, entendiéndose que los abandona a favor de la obra de no hacerlo así.

Son causas de rescisión de la obra, las siguientes:

- El no ejecutar las obras con arreglo al Proyecto o modificaciones indicadas.
- El empleo deficiente de los materiales o su mala colocación en la obra que obliguen a demoler ésta o a valorarla como defectuosa.
- El que los trabajos no se realicen ajustándose al calendario previsto.
- Incapacidad del personal contratado, tanto técnico como de la obra. • Quiebra o suspensión de pagos por parte del Adjudicatario.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el pago exceda a seis meses.
- El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones del proyecto o contrato.
- El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando se indique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- La terminación del plazo de ejecución de los trabajos sin haberse llegado a concluirlos.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- La muerte o incapacitación del Adjudicatario.
- Alteraciones del contrato, de forma que suponga modificaciones del proyecto o de las unidades de obra en un 25 % como mínimo del importe de aquel y en un 50 % de las unidades modificadas.

Documento III. Pliego de condiciones

- La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación.
- Por toda causa de fuerza mayor que obligue a suspender las obras indefinidamente.

Excepto en los últimos cuatro casos, la fianza quedará en beneficio de la Propiedad. En todos los casos, la Propiedad se reserva el derecho a continuar las obras, bien por sí misma, bien por las personas o entidad que estime conveniente.

4.8. Seguros

El Adjudicatario quedará obligado, después de la comprobación del replanteo y antes del comienzo de la obra, a facilitar a la Dirección la documentación que acredite haber suscrito, además de las correspondientes afiliaciones a la Seguridad Social, las siguientes pólizas de seguro:

- Seguro contra daños a tercero que deriven de la ejecución del Proyecto.
- Seguro de accidentes de trabajo en la Mutualidad Laboral correspondiente.
- Seguro de automóviles para todos aquellos vehículos del Adjudicatario que tengan acceso a la obra.
- Seguro para toda la maquinaria y el equipo que el Adjudicatario utilice en el trabajo.
- Seguro de incendios para las obras, en compañías de reconocida solvencia inscritas en el Ministerio de Hacienda en virtud de la Ley de Seguros vigente.

5. ENSAYOS, PRUEBAS Y PROTECCIONES

5.1. Ensayos en taller

Todas las uniones soldadas serán inspeccionadas mediante control radioscópico de las soldaduras, que se llevarán a cabo en presencia de representantes de la Propiedad y del Adjudicatario teniendo en cuenta los plazos fijados.

Se ensayarán mecánicamente varias probetas de soldadura realizadas con materiales y operarios que hayan de intervenir en la obra.

Para el caso de los tanques de almacenamiento, se inspeccionarán el 10 % de los cordones de soldadura según la norma ASME sección VIII.

En los intercambiadores de calor y en todos los depósitos a presión se realizarán pruebas de ventosa en todas las uniones soldadas.

Los cilindros de los servomotores y demás órganos que contengan aceite a presión, como son los cuerpos de las bombas de aceite y sus correspondientes válvulas serán sometidos en taller a una presión de ensayo igual a la de servicio, pero aumentada en un 50 %. Los esfuerzos durante el ensayo no deberán, en ningún caso, sobrepasar el 40 % de la carga de rotura, ni el 80 % del límite elástico. Durante dicho ensayo no deberán producirse deformaciones apreciables ni fugas de filtración alguna.

Para los grupos de motobombas se realizarán todas las pruebas necesarias según normas para determinar las curvas características. Para el trazado de las curvas de altura manométrica, potencia y rendimiento, se considerarán al menos cinco puntos, desde el caudal cero al caudal máximo nominal.

5.2. Presentación en taller

Con el fin de prever posibles dificultades que pudiesen presentarse en la obra en el montaje definitivo de los elementos objeto de suministro, la Propiedad puede exigir que se realice en taller una presentación completa de los distintos elementos, comprobándose cotas, planicidad, etc.

El Adjudicatario indicará claramente en su oferta la repercusión económica que represente la realización de estos trabajos de presentación en taller del suministro contratado.

5.3. Protección contra la corrosión

El Adjudicatario deberá proponer la protección más recomendable, en base a su experiencia, para su aprobación por parte de la Propiedad. Esta protección deberá, de una manera general, aplicarse a todas las superficies de los elementos fabricados con materiales oxidables en contacto con el agua y la intemperie, y comprenderá:

1. Limpieza de chorro de arena.
2. Metalización de zinc, según las normas AENOR A 91-201, con una capa de zinc de 12 centésimas de milímetro (0,12 mm) de espesor, seguida como mínimo de tres capas de pintura de características convenientemente justificadas.

No obstante, la Propiedad se reserva el derecho a ejecutar total o parcialmente la protección contra la corrosión de todo o parte del suministro, por cuyo motivo el Adjudicatario detallará en el Presupuesto el importe de estas operaciones, que podrán ser deducidas del costo total en el caso de que la Propiedad las realizase por su cuenta.

Las partes del suministro que estén mecanizadas serán desengrasadas y se protegerán con una pintura vinílica incolora de tipo arrancable. El tiempo transcurrido desde el tratamiento de la superficie el metal y la aplicación de la pintura no podrá ser superior a veinticuatro horas.

El sistema de protección con pinturas de las diferentes superficies metálicas deberá responder a las condiciones ambientales de la zona geográfica del almacenamiento y a la naturaleza de los productos manejados y condiciones de funcionamiento.

5.3.1. Intercambiadores de calor

Las superficies de los intercambiadores de calor serán tratadas según métodos de preparación de superficie para cada sistema de pintura.

Las superficies metálicas serán limpiadas antes de la aplicación de pinturas de acuerdo con las especificaciones de la *Nacional Corrosion Engineers* (NACE) y con los estándares fotográficos del comité de corrosión de la Real Academia de la Ciencia Técnica de Suecia (SIS 05.59.00).

Aquellos elementos metálicos complementarios en los que por razones específicas no pueda efectuarse el chorreado, se limpiarán mediante cepillado (grado St.2).

La preparación de superficies de acero al carbono se realizará siguiendo las especificaciones SIS 05.59.00 y PSC-SP. Si no se especifica lo contrario se aplicará un chorreado abrasivo a metal blanco SIS Sa 2 ½ (perfil de rugosidad 25/40), según la especificación SSPC-SP 10.

Las superficies externas mecanizadas de acero al carbono se protegerán mediante un inhibidor de corrosión eliminable con agua o disolventes. Dicho inhibidor deberá ser aprobado por el Comprador, así como su método de eliminación. En aquellas superficies sobre las que haya que aplicar algún recubrimiento, se tendrá en cuenta la norma VDI 2532.

Las pinturas se aplicarán con pistola mediante sistema de pulverización a presión sin aire (*airless*) y cuando se den las condiciones ambientales adecuadas.

La protección de las superficies externas de los intercambiadores de calor mediante pinturas se realizará aplicando varias capas:

- Aplicación de una capa de imprimación de cromato amarillo de setenta y cinco micras de espesor de película seca.
- Aplicación de una capa de imprimación de epoxi-cromato de zinc especial de ochenta micras de espesor de película seca.

Documento III. Pliego de condiciones

- Se aplicarán dos capas de esmalte de poliuretano alifático de treinta y cinco micras por capa.

Las estructuras metálicas y soportes complementarios a los intercambiadores se tratarán con:

- Un chorreado Sa 2 ½.
- Aplicación de una primera capa de imprimación, de zinc inorgánico, de setenta y cinco micras de espesor de película seca.
- Aplicación de una segunda capa de resina de ochenta micras de película seca.
- Aplicación de la pintura de acabado, que consistirá en dos capas de esmalte de poliuretano alifático de treinta y cinco micras por capa.

5.3.2. Tuberías

Todas las tuberías deberán ser tratadas con un chorreado previo Sa 2 ½ según las normas SIS 05.59.00.

El chorreado deberá hacerse preferentemente en taller para evitar inundar la instalación de polvo, salvo causa justificada.

Las pinturas que se aplicarán en las tuberías serán:

- Una capa de pintura de imprimación de cuarenta micras de espesor de mínimo a clorocaucho.
- Una capa de pintura de fondo de ochenta micras de espesor de clorocaucho.
- Dos capas de acabado de veinticinco micras por capa de clorocaucho puro.

5.3.3. Columnas y depósitos de presión

Todas las columnas de la instalación de acero al carbono deberán ser tratadas previamente con un chorreado Sa 2 ½ según norma SIS 05.59.00.

Después del tratamiento superficial se aplicarán las siguientes capas de pintura:

- Una capa de veinticinco micras de espesor de pintura epoxi.
- Una capa de veinticinco micras de espesor de pintura de fondo epoxi.
- Dos capas de cuarenta micras de espesor por capa de pintura epoxi.

5.3.4. Bombas

Los tratamientos y acabados de superficie de las bombas dependerán de la atmósfera circundante de la instalación.

La limpieza de las superficies se realizará siguiendo alguno de los procedimientos que se enumeran a continuación. La selección de uno u otro procedimiento se realizará atendiendo a las recomendaciones del Suministrador.

- Granallado metálico a base de granalla de material no contaminante de la superficie (según norma SIS 05.59.00 Sa 2 ½).
- Chorreado de arena de sílice proyectado por aire comprimido contra la superficie.
- Decapado químico eliminando la capa de óxido y otras impurezas por inmersión en solución ácida.

La superficie se preparará con una capa de Wash Primer para incrementar la adherencia. Se aplicarán las siguientes capas de pinturas:

- Una capa de setenta y cinco micras de espesor de pintura de imprimación epoxi.
- Una capa de setenta y cinco micras de espesor de pintura de acabado epoxi.
- Dos capas de cuarenta micras de esmalte sintético.

6. FABRICACIÓN, MONTAJE, RECEPCIÓN Y GARANTÍAS

6.1. Inspección fabril

La Propiedad se reserva el derecho a efectuar directamente o por medio de una entidad de su elección, la inspección de la fabricación de los equipos con vistas al cumplimiento de los plazos, a la calidad de los materiales y a las técnicas empleadas, tanto en las fábricas o instalaciones del Adjudicatario, como en las de sus suministradores.

A efectos de la cláusula anterior, el Adjudicatario se ve obligado a asegurar en cualquier momento a los representantes de la Propiedad, debidamente acreditados, el libre acceso a las fábricas o instalaciones, así como proporcionar todas las facilidades para que éstos puedan cumplir su misión.

El Adjudicatario deberá informar a la Propiedad, en tiempo hábil, de la fecha fijada para la realización de los ensayos previstos y de la recepción de materias primas, así como de la ejecución de las operaciones más importantes de la fabricación o montaje, de manera que la

Propiedad pueda enviar a sus representantes, de estimarlo necesario, a presenciar dichos ensayos u operaciones.

Independientemente de la presencia o no de los representantes de la Propiedad, el Adjudicatario deberá repartir a ésta, por triplicado, memorias de todos los ensayos realizados.

6.2. Montaje e inspección

Se deberán presentar para su aprobación una relación nominal del personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a realizar por cada uno de ellos y acreditando su capacidad técnica para el desarrollo de los mismos.

En caso de que a juicio de la Propiedad el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente, éste se verá obligado a completar su organización con el número de técnicos necesarios, según el criterio de la Propiedad.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar, en caso de no satisfacerle el desarrollo de las operaciones de montaje, tanto al representante del Adjudicatario como a cualquier otro miembro de su organización en la obra y obligar a éste a sustituirlo en un plazo de treinta días por otro de igual categoría.

El Adjudicatario podrá cubrir con compañías de seguros los riesgos relativos a los materiales y equipos en curso de montaje. Este seguro será ampliado para cubrir además los daños que cause a la Propiedad o a terceros durante o por causa de las operaciones de montaje.

La Propiedad podrá señalar la obligatoriedad del seguro de materiales y equipos en curso de montaje. Este seguro será ampliado para cubrir además los daños que cause a la Propiedad o a terceros durante o por causa de las operaciones de montaje.

El personal de inspección de la Propiedad podrá ordenar la suspensión de los trabajos que no estuviesen ejecutados de acuerdo con las condiciones y especificaciones contractuales. La orden de suspensión será confirmada por escrito.

Siempre que fuese necesario enviar una pieza o equipo a fábrica como consecuencia de un error o avería, los gastos de transporte, seguros y otros, correrán por cuenta del Adjudicatario.

Los gastos, encargos y cualquier formalidad necesaria para la importación temporal o reexportación de herramientas, instrumentos o material a utilizar en la ejecución del suministro, serán a cargo del Adjudicatario.

La Propiedad fiscalizará directamente a través de sus representantes los trabajos de montaje. A este efecto estará asegurado al personal de inspección de la Propiedad el libre acceso

a cualquier hora las oficinas de obra, almacenes u otros locales de trabajo del Adjudicatario, que está en la obligación de facilitarle cuantos datos y aclaraciones sean precisos.

6.3. Controles

El Adjudicatario se asegurará, por unos controles apropiados, de la buena calidad del material entregado. Los resultados de estos controles serán sometidos a la aprobación de la Propiedad quien podrá exigir, si lo cree necesario, la realización de controles suplementarios.

6.3.1. Intercambiadores de calor

Antes de iniciar la fabricación de los cambiadores de calor, el Proveedor someterá a la aprobación de la Propiedad de los procedimientos de soldadura (WPS) que ha de utilizar, debidamente respaldados por sus certificados correspondientes de calificación (PQR), emitidos por una Entidad Colaboradora de la Administración (ENICRE), así como los certificados de homologación de los soldadores que han de participar en la fabricación.

Examen visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

Ensayos de pruebas o presentación de documentos acreditativos, según las normas correspondientes.

6.3.2. Tuberías

Las tuberías se deberán manipular sin movimientos bruscos y sin arrastre del material por el terreno.

Inspección visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

Recopilación de copia de solicitud y aceptación del suministro del material por el Adjudicatario y el Proveedor, respectivamente, con el albarán de recepción. Se incluirá además el Certificado de Fabricación y Pruebas de los lotes de suministros.

Identificación de las tuberías con gravado longitudinal de la designación comercial, material, diámetro, espesor, presión de trabajo, normas y año de fabricación.

6.3.3. Columnas y depósitos a presión

Se realizará el suministro en unidades, según capacidad, perfectamente terminado, sin defectos superficiales de fabricación o transporte.

Documento III. Pliego de condiciones

Se deberá recopilar de la copia de solicitud y aceptación del suministro del material por el Adjudicatario y el Proveedor, respectivamente, con albarán de recepción. Se incluirá:

- Certificado de Fabricación y Pruebas de los lotes suministrados.
- Certificado de Homologación y timbrado MINER.

Identificación de depósitos con placa situada al lado de la boca en la que figure la designación comercial, número de registro y fabricación, presión de prueba, presión de timbre, superficie exterior, capacidad y fecha de pruebas. Inspección visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

6.3.4. Bombas

Comprobar que la instalación está completa y ha sido llenado de aceite todo el sistema de lubricación.

Verificar que el motor y las bombas están adecuadamente alineados.

Se debe comprobar que todos los componentes del sistema de limpieza: filtros, orificios de restricción, presostatos, alarmas de nivel, enfriadores, están correctamente instalados y limpios.

6.3.5. Prueba hidráulica en taller

La Propiedad podrá exigir, la realización de una prueba hidráulica en taller. El Adjudicatario deberá proveerse de los fondos de cierre para poder realizarlos.

La presión de prueba que se determinará en cada caso no será inferior a 1,5 veces la presión máxima de diseño.

Si las pruebas revelasen defectos inadmisibles, tales como fugas y deformaciones locales, el Adjudicatario someterá a la aprobación de la Propiedad el procedimiento de reparación y una vez reparada la pieza se repetirá la prueba hidráulica.

6.4. Acta de fin de montaje

Cuando el Adjudicatario considere que los equipos están en condiciones óptimas para entrar en servicio, lo comunicará por escrito a la Propiedad y se procederá a una revisión general conjunta del montaje, levantándose, si procede, un acta de final de montaje firmada por representantes cualificados de ambas partes.

6.5. Ajustes, ensayos y servicio experimental

Finalizado el montaje, serán efectuados los ajustes, ensayos y puestas en servicio experimentales de acuerdo con las condiciones establecidas.

La instrucción de entrenamiento del personal de la Propiedad por parte del Adjudicatario será efectuada en este período.

Salvo que se establezca otro acuerdo, la transferencia del equipo y materiales objeto del suministro tendrá lugar en la fecha de su entrada en servicio industrial; sin embargo, la cesión de posibles equipos importados por la Propiedad se hará con la entrega del conocimiento de embarque, carta de porte o documento similar, si bien el riesgo y la garantía será por cuenta del Adjudicatario hasta la entrada de los equipos en servicio industrial.

6.6. Recepción provisional

Finalizado el servicio experimental y simultáneamente al comienzo del servicio industrial, será levantada, con anterioridad a la realización de los ensayos de recepción correspondientes, un Acta de Recepción Provisional firmada por representantes cualificados tanto de la Propiedad como del Adjudicatario.

Si por motivos no imputables al Adjudicatario, los ensayos de recepción no pudiesen ser efectuados, la recepción provisional será considerada como realizada ciento veinte días después de la fecha en que las pruebas debieron haber comenzado. Sin embargo, el Adjudicatario está obligado a realizar dichos ensayos antes de la fecha de recepción definitiva.

La Dirección Técnica levantará, por triplicado, un Acta de Recepción de las Obras en la que se harán constar las posibles deficiencias en los trabajos, así como el plazo para subsanar éstas.

Si las obras se encuentran en condiciones óptimas y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones marcadas, se darán por recibidas, comenzando a contar en dicha fecha el plazo de garantía establecido en el contrato, que será como mínimo de tres meses.

En el caso de no hallarse la obra en estado de ser recibida, así se hará constar en el Acta, otorgándose además al Adjudicatario y / o Proveedor en la misma las instrucciones precisas y detalladas para remediar los defectos observados y fijándose un plazo para subsanar éstos. Expirado dicho plazo, se realizará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones a fin de proceder de nuevo a la recepción provisional de las obras. Los trabajos de reparación corren por cuenta del Adjudicatario, de forma que de no cumplirse las prescripciones el contrato podrá considerarse como rescindido, con la pérdida de la fianza.

6.7. Período de garantía

La fecha del Acta de Recepción Provisional será el comienzo del período de garantía. El Adjudicatario podrá mantener en la obra a todo o parte de su personal especializado, si bien posibilitará la presencia de éste siempre que la Propiedad lo exija o en caso de anomalías de funcionamiento o averías.

La duración del período de garantía será la acordada entre la Propiedad y el Adjudicatario a la hora de la formulación del contrato y comenzará a contar a partir de la fecha de firma del Acta de Recepción Provisional.

Durante el plazo de garantía el Adjudicatario reemplazará cualquier pieza o equipo defectuoso, debido a una mala concepción, defecto o calidad inadecuada de las materias primas empleadas, defecto de fabricación o error de montaje. Todas estas sustituciones y posibles trabajos de construcción civil deberán ser realizados en el menor tiempo posible, corriendo todos los gastos por cuenta del Adjudicatario.

No eximirá al Adjudicatario de responsabilidad alguna el hecho de que el Ingeniero Director o sus subalternos hayan examinado las obras durante su construcción, reconocido sus materiales o hecha la valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, de observarse vicios o defectos antes de la recepción definitiva se podrá disponer a la demolición o reconstrucción de las partes defectuosas.

Durante el período de garantía, cualquier equipo, componente o pieza a sustituir por otro u otros en razón de la misma calidad, tendrá a partir de la fecha de entrada en servicio un plazo de garantía igual al del equipo o pieza al que sustituya.

Si como consecuencia de defectos o accidentes imputables al Adjudicatario el equipo no pudiese funcionar en parte o en todo el período de garantía, el tiempo en que el equipo no pueda operar será añadido al plazo de garantía.

6.8. Recepción definitiva

Transcurrido el plazo de garantía, previo reconocimiento de las obras y demás trámites reglamentarios y en el supuesto de que todos los trabajos se encuentren en las debidas condiciones, se procederá a efectuar la recepción definitivamente de las obras, para lo cual se elaborará la correspondiente Acta de Recepción Definitiva, en la que se relatarán las incidencias habidas durante el período de garantía y que deberá estar firmada por representantes cualificados de la Propiedad y el Adjudicatario.

Hasta que el representante de la Propiedad no haya aprobado la recepción definitiva de los trabajos, el Adjudicatario se hará cargo de roturas, robos de material, averías, etc., cualquiera

que fuese el motivo, aun cuando el desperfecto se haya producido en una operación ordenada por la Propiedad con el conocimiento del Adjudicatario.

Si son necesarias pruebas de funcionamiento, capacidad de producción, etc., para la recepción definitiva de algún elemento o del conjunto, el Adjudicatario dirigirá dichas pruebas y cargará con los gastos de todos los medios y creación de condiciones, salvo si todos o parte de tales gastos fueron incluidos en la adjudicación como obligaciones de la Propiedad.

Con anterioridad a la recepción definitiva serán resueltas todas las reclamaciones planteadas y habrán transcurrido todos los plazos de garantía de los equipos, componentes o piezas que hayan sido sustituidas.

Podrán hacerse recepciones definitivas parciales en los casos en los que se considere oportuna esta decisión.

Efectuada la recepción definitiva de todo suministro cesa la garantía establecida.

7. ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y SEGUROS

7.1. Almacenamiento

La Propiedad indicará la capacidad de los almacenes o explanadas de propio acopio de los que dispondrá el Adjudicatario en obra, así como la fecha a partir de la cual podrá disponer de ellos.

Queda terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del Ingeniero Director, efectuar acopios de materiales, cualquiera que sea su naturaleza, en zonas que dificulten el adecuado transcurso de los trabajos.

Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de dicha utilización.

Las superficies empleadas como zonas de acopio deberán acondicionarse una vez finalizado el uso de los materiales en ellas acumulados, de forma que puedan recuperar su aspecto original.

Todos los gastos requeridos para efectuar el almacenamiento, manutención o guarda serán por cuenta del Adjudicatario.

7.2. Transporte

Salvo que la Propiedad indique lo contrario, compete al Adjudicatario transportar a las instalaciones de la obra todos los materiales y equipos objeto del suministro desde sus fábricas, colocándose en buenas condiciones de manejabilidad, conservación y seguridad en los lugares destinados por la Propiedad a tal fin.

El Adjudicatario deberá prever que ninguna expedición sea hecha desde sus fábricas o desde las de sus suministradores sin aprobación previa por parte de la Propiedad, teniendo en cuenta que:

- Se respetarán las fechas previstas en el programa de trabajos.
- El escalonamiento de envíos en las fechas más favorables para la buena marcha de los trabajos y la óptima utilización de las superficies reservadas a parques.
- La eventual inspección de los embalajes y otras condiciones de trabajo.
- La eventual colaboración de la Propiedad en la resolución de los problemas de transporte que puedan resultar de volúmenes o pesos excesivos, en especial cuando su resolución dependa de Organismos Oficiales de Estado.

La aceptación por parte de la Propiedad de los embalajes, acondicionamiento y medios de transporte no exime de su responsabilidad el Adjudicatario en lo que respecta al transporte, así como al funcionamiento y duración de los materiales y equipos expedidos.

Los embalajes de los materiales y equipos entregados en las instalaciones de la obra pasarán a ser dominio de la Propiedad después de su utilización.

El Adjudicatario deberá prever que la Propiedad reciba para cada expedición, con antelación suficiente, una lista de embalajes con indicación de los respectivos contenidos, pesos, dimensiones y marcas, permitiendo una identificación fácil y correcta.

7.3. Seguros de transporte

El seguro de materiales y equipos en tránsito será efectuado por el Adjudicatario, a no ser que la Propiedad haga constar expresamente que suscribirá un seguro por su cuenta.

7.4. Importación de materiales y equipos

Los trámites aduaneros de los equipos fabricados en el extranjero y de los materiales (partes, piezas o accesorios) destinados a ser incorporados a los equipos fabricados en España, serán hechos en nombre de la Propiedad por el Adjudicatario.

En caso de que el Adjudicatario no pudiese llevar a cabo los trámites citados en la cláusula anterior, la Propiedad llevará a cabo la tramitación y despacho en aduanas de los materiales importados, por cuenta del Adjudicatario.

El Adjudicatario obtendrá a su debido tiempo la documentación necesaria para la importación y para el paso en tránsito por un tercer país, en caso de que fuese necesario.

El Adjudicatario deberá comunicar por escrito a la Propiedad, por cada fabricante extranjero y en relación con el equipo a importar, los siguientes elementos: designación, peso líquido, valor, procedencia y moneda de pago.

El Adjudicatario deberá obtener a su debido tiempo la documentación necesaria para que los trámites aduaneros se efectúen en las mejores condiciones, independientemente de que la Propiedad gestione, si procede, la exención de derechos de importación.

8. ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS

8.1. Dirección de las obras y representación del adjudicatario

La Dirección del conjunto de las obras estará a cargo del personal técnico de la Propiedad. Se hará saber al Adjudicatario quién es el Ingeniero Encargado o Director Técnico de las obras, cuyas principales funciones, que afectan fundamentalmente a las relaciones con el Adjudicatario, son:

- Exigir al Adjudicatario, directamente a través del personal a sus órdenes, el cumplimiento de las condiciones contractuales.
- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas, y el cumplimiento del programa de trabajos.
- Definir aquellas condiciones técnicas que el presente Pliego de Condiciones deje a su decisión.
- Resolver todas las ecuaciones técnicas que surjan en cuanto a interpretación de planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en los trabajos que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando en su caso, las propuestas correspondientes.

Documento III. Pliego de condiciones

- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarios para la ejecución de las obras y ocupación de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente y bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual el Adjudicatario deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.
- Participar en las recepciones provisional o definitiva y redactar la liquidación de las obras, conforme a las normas legales establecidas.
- El Adjudicatario estará obligado a prestar su colaboración al Ingeniero Director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

Antes de iniciarse los trabajos, el Adjudicatario deberá indicar a la Propiedad el nombre de su representante al frente de los mismos, que actuará como Jefe de Montaje, tanto en los aspectos técnicos como económicos. Los poderes del Jefe de Montaje deben ser lo suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la Propiedad. En ningún momento servirá de excusa al Adjudicatario la ausencia de su representante a pie de obra.

También antes del comienzo de las obras, el Adjudicatario deberá presentar para su aprobación la relación nominal del personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a desarrollar por cada uno de ellos.

La Propiedad se reserva el derecho a recusar al jefe o a cualquier otro técnico destinado por el Adjudicatario en la obra durante el desarrollo de los trabajos, viéndose éste obligado a sustituirlo por otro de igual categoría en un plazo de treinta días.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario no sea suficiente para la buena marcha de los trabajos, éste quedará obligado a contemplar su organización con el número de técnicos que fuese necesario según el criterio de la Propiedad.

8.2. Terrenos para la ejecución de las obras

La Propiedad señalará al Adjudicatario los límites de los terrenos de su propiedad de los cuales le permite montar sus instalaciones, y dará acceso a los mismos. Todo esto aparecerá reflejado en los planos que se entreguen a los concursantes para el estudio de las ofertas.

Se supone en el Adjudicatario un conocimiento perfecto de la disposición del conjunto de terrenos, de la importancia y situación de los trabajos objeto del contrato, de la naturaleza y estado de los terrenos, de los emplazamientos reservados para las obras, de los medios de acceso y de las condiciones climáticas de la región, en especial de aquellas que pueden afectar a los trabajos.

La obligación de la Propiedad en cuanto entrega de terrenos necesarios queda limitada a las parcelas que figuran y se reseñan en los planos que se entregan a los concursantes con la petición de oferta, debiendo además estos últimos definir lo que se entiende por la zona de montaje.

Si por conveniencia del Adjudicatario éste dejase disponer de otros terrenos distintos de los figurados y reseñados en los planos mencionados en el párrafo anterior, correrá por su cuenta la adquisición o la obtención de las autorizaciones pertinentes, debiendo el Adjudicatario someter previamente a la aprobación de la Propiedad las modalidades de adquisición o de obtención de la autorización oportuna.

El Adjudicatario se hará responsable de los daños que pueda causar en las vías públicas y en los caminos de acceso si éstos son de particulares o de la propiedad. Del mismo modo, está en la obligación de cumplir todas las limitaciones y solicitar los permisos de transportes especiales, etc. En cualquier caso, el Adjudicatario responderá por todos los perjuicios que, como consecuencia del contrato, se puedan causar a terceras personas en bienes muebles, inmuebles, cosechas, etc., siendo de su competencia las reclamaciones que puedan formularse como consecuencia de dichos perjuicios.

8.3. Instalaciones auxiliares

En caso de que la obra se construya en una zona en la que la Propiedad distribuya energía eléctrica, ésta facilitará al Adjudicatario la potencia necesaria para sus instalaciones y le comunicará la cantidad que le cobrará por la energía consumida. La red de distribución de energía en las zonas de obra será por cuenta del Adjudicatario, deberá estar constituida por cables aislados y no deberá interferir en otros trabajos en marcha, por lo que su instalación deberá ser previamente autorizada por la Propiedad en caso de estar ubicada en el recinto de la obra, debiendo cumplir todas las normas y reglamentos oficiales vigentes.

El abastecimiento de agua y de aire comprimido necesario para la obra será cuenta del Adjudicatario y su instalación deberá cumplir las normas y reglamentos oficiales en vigor.

La Propiedad podrá facilitar, en caso de disponer de los mismos, materiales y medios auxiliares en las condiciones que se establezcan. Serán por cuenta y responsabilidad del Adjudicatario:

Documento III. Pliego de condiciones

- Los medios y materiales necesarios para la construcción, desmontaje, demolición o retirada en el plazo que se le indique, de sus instalaciones en obra tales como oficinas, almacenes, comedores, etc.
- Los medios para asegurar la vigencia y conservación del material almacenado en obra o curso de montaje.
- Todas las herramientas o medios necesarios para la ejecución del montaje, tales como andamios, escaleras, diferenciales, etc., y materiales de consumos de corriente como electrodos, etc.
- Todos los ensayos de componentes o materias primas que se estimen necesarios en curso de montaje, sean elaborados tanto en el laboratorio de obra como en ajenos.
- Las diligencias o gastos necesarios para la realización de las operaciones normales de inspección por parte de los organismos oficiales.

El Adjudicatario no podrá ampararse, para eludir las obligaciones del contrato, en las dificultades que puedan ser ocasionadas por la ejecución simultánea de otros trabajos o instalaciones confiadas por la Propiedad a otros contratistas o suministradores que intervengan en la realización del mismo proyecto.

El Adjudicatario no podrá reclamar si en el curso de los trabajos y para el adecuado cumplimiento del contrato fuese preciso aumentar la importancia de su material, en calidad y cantidad, respecto a sus previsiones iniciales. De cada nueva aportación de maquinaria se formalizará una nota análoga a la que forma parte del contrato para la maquinaria y útiles aportados inicialmente, que será unida como anexo al contrato.

Sin embargo, cuando el Adjudicatario se vea obligado a poner en servicio material suplementario para responder, bien a circunstancias imprevistas en el contrato, o bien a causas de fuerza mayor debidamente comprobadas y en cualquiera de ambos casos reconocidas previamente por la Propiedad, la utilización de ese material será de abono por aplicación de precios complementarios establecidos de común acuerdo, conforme a las disposiciones que se fijan en el presente Pliego de Condiciones.

8.4. Relación entre la Propiedad y el Adjudicatario

El Adjudicatario está obligado a suministrar, en cualquier momento, toda la información relativa a la ejecución del contrato que la Propiedad juzgue necesario conocer por causa de las posibles incidencias de los trabajos al Adjudicatario sobre los de otros contratistas o suministradores.

Documento III. Pliego de condiciones

En ningún caso las peticiones de información dirigidas al Adjudicatario por la Propiedad supondrán una injerencia de la Propiedad en la ejecución del contrato, ni entrañarán una participación de la Propiedad en la responsabilidad del Adjudicatario. Estas peticiones tendrán únicamente un carácter informativo.

En todo caso, el Adjudicatario es el único responsable del ejercicio de la función que le es propia, en orden a las obligaciones del contrato.

Siempre que sea requerido, el Adjudicatario, o a efectos su representante, deberá presentarse en el domicilio de la Propiedad de la obra con el fin de que no pueda imputarse su ausencia como causa de retraso o suspensión del cumplimiento de las órdenes de la Propiedad.

La coordinación de las actividades del Adjudicatario necesarias para la ejecución del suministro con la de otros contratistas de la Propiedad o con cualquier entidad ajena al contrato con la que haya necesidad de tratar, es competencia de la Propiedad.

Siempre que el Adjudicatario establezca contacto con otros contratistas de la Propiedad para tratar asuntos relativos a la buena ejecución del suministro, estará obligado a enviar a la Propiedad copias de las comunicaciones y correspondencia producida, de forma que las decisiones tomadas durante tales contactos tan sólo se harán efectivas de ser aprobadas por escrito por la Propiedad.

Si como consecuencia de los anteriores contactos surgiesen diferencias o dificultades, el Adjudicatario deberá pedir una reunión con la Propiedad o sus representantes, que las resolverán con arreglo a los contratos establecidos con las partes implicadas. Las reuniones de esta naturaleza deberán ser solicitadas con una antelación de al menos diez días.

La Propiedad, siempre que lo juzgue conveniente, convocará a iniciativa suya o a petición del Adjudicatario, reuniones con éste, y de ser necesario con otros contratantes, a fin de discutir y resolver de acuerdo con el programa de trabajos aprobado, los problemas que resulten de la coordinación de las obras en curso, de la ocupación sucesiva de locales en la obra, de la disponibilidad de medios de utilización común y otros.

Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre este uso suplementario y el reparto de gastos correspondiente.

La Propiedad deberá estar permanentemente informada de los acuerdos a los que lleguen los distintos contratistas o suministradores para, en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la resolución que proceda o actuar como árbitro. La decisión es obligatoria para los interesados. En ningún caso la Propiedad deberá encontrarse durante los trabajos en presencia

de una situación derivada de una falta de información por parte del Adjudicatario o de los otros suministradores o contratistas de las obras.

Cuando varios contratistas y suministradores trabajen en la misma obra, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que puedan derivarse de su propia actuación.

8.5. Subcontratación de obras

A menos que el contrato disponga lo contrario o de que su naturaleza y condiciones se deduzca que la obra ha de ser ejecutada directamente por el Adjudicatario, este último podrá contratar con terceros la realización de determinadas unidades de obra, cumpliendo para ello los siguientes requisitos:

- Notificar por escrito al Ingeniero del subcontrato las partes de obra a realizar y las condiciones económicas, de modo que éste las pueda autorizar previamente.
- Las unidades de obra que el Adjudicatario contrate con terceros no deben exceder el 50% del presupuesto total de la obra principal.

La subcontratación deberá siempre supeditarse a la autorización previa por parte de la Propiedad.

En cualquier caso, la Propiedad no quedará vinculada en absoluto, ni reconocerá ninguna obligación contractual entre ella y el Subcontratista, de forma que cualquier subcontratación de obra no eximirá al Adjudicatario de ninguna de sus obligaciones respecto a la Propiedad.

8.6. Personal de montaje

Es por cuenta y responsabilidad del Adjudicatario el reclutamiento de todo el personal especializado, no especializado y auxiliar para la dirección y ejecución del montaje, así como todos los gastos de ese personal, tales como viajes, alojamientos, dietas, desplazamientos del personal, alojamiento en obra y desplazamientos dentro de la propia obra.

Cualquiera que sea la nacionalidad del Adjudicatario, el reclutamiento de personal deberá cumplir las leyes en vigor.

Si el Adjudicatario emplea en obra personal extranjero, será de su cuenta y cargo la obtención de las condiciones necesarias para que pueda trabajar en España.

Todos los trabajadores, independientemente de su nacionalidad, acatarán las leyes laborales vigentes en cuanto a horarios, seguros sociales, etc., además de aquellas de carácter general que estén vigentes para el personal de la obra.

Documento III. Pliego de condiciones

Al frente de cada trabajo de montaje el Adjudicatario deberá tener, a pie de obra, un técnico titulado de cualquier especialidad o condición que pueda acreditar de forma satisfactoria ante la Propiedad su competencia en la clase de trabajos que desempeñe.

El Adjudicatario es responsable de los fraudes o malversaciones que sean cometidas por su personal en el suministro o empleo de materiales.

El número de trabajadores de cada profesión deberá ser siempre proporcionado a la cantidad y obra a ejecutar, teniendo en cuenta los plazos fijados.

El Adjudicatario deberá remitir a la Propiedad siempre que lo solicite, una relación del personal presente en la obra, clasificado por categoría profesional.

El Adjudicatario está obligado a mantener la disciplina y el orden en los lugares de trabajo.

La Propiedad se reserva el derecho a exigir la retirada de la obra de cualquier operario al servicio del Adjudicatario, por motivo de falta de obediencia y respeto, o a causa de actos que comprometa o perturben, a juicio de la misma, la marcha de los trabajos.

El Adjudicatario podrá recurrir si se entendiese que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

8.7. Seguros y asistencia médica

El Adjudicatario no podrá comenzar los trabajos sin justificar previamente ante la Propiedad, tener cubiertos los seguros por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, de acuerdo con la legislación vigente.

El Adjudicatario asegurará por sí o por medio de Compañía de Seguros adecuada, la prestación de asistencia médica o de enfermedad al personal.

El Adjudicatario es responsable de las condiciones de seguridad de los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre esta materia, las medidas que dicten la Inspección de Trabajo y demás organismos competentes y las normas de seguridad que correspondan a las características de las obras contratadas.

Con objeto de organizar colectivamente y de inspeccionar la seguridad y la higiene de las obras, todos los contratistas que trabajen en las mismas deberán, por indicación de la Propiedad, agruparse en el seno de una Junta Central de Seguridad, formada por los representantes de las empresas, Junta que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad adoptadas por los comités u organizaciones de seguridad de cada una de las empresas.

9. ABONO DE LAS OBRAS

9.1. Definición de precios

Los gastos de bienes y servicios objeto de suministro, serán expresados en euros y cubrirán la fabricación, el suministro y el montaje de todos los equipos ensayados y en funcionamiento, así como los repuestos y servicios adicionales que se especifiquen.

Los gastos de primer establecimiento y desmontaje y retirada de las instalaciones de obra, estarán incluidos en el precio del suministro.

Todos los precios unitarios o globales comprenden, sin excepción ni reserva, además del beneficio del Adjudicatario, la totalidad de los gastos y cargas ocasionadas por la ejecución en los plazos establecidos de los trabajos correspondientes a cada uno de ellos, incluidos los que resulten de las obligaciones impuestas al Adjudicatario por los diferentes documentos del contrato y por el presente Pliego de Condiciones.

El precio de los materiales y equipos que componen el suministro comprenderá:

- Coste en factoría de los materiales y equipos, sean de procedencia nacional o extranjera, incluido el embalaje adecuado.
- Coste del transporte de factoría a pie de obra y distribución dentro de ésta.
- Coste del seguro de transporte.
- Coste unitario de las piezas de repuesto que se establezcan.

En el precio de materiales y equipos estarán incluidos los estudios de fabricación, dibujos, esquemas eléctricos, etc., así como los derechos de patente, y demás que puedan incidir sobre los mismos, quedando la Propiedad libre de cualquier exigencia por parte de terceros sobre los citados derechos.

En el precio del transporte estarán incluidos cargas, descargas, transbordos, colocación en parque o almacén, incluso guarda, así como los gastos correspondientes a derechos aduaneros o permisos de importación, en caso de haberlos.

El coste y montaje incluirá los gastos de instrucción y adiestramiento del personal de la Propiedad que se hará cargo de la explotación de las instalaciones, el precio de los seguros y los ensayos de los equipos e instalaciones realizados, siguiendo las pautas fijadas en el presente Pliego, al finalizar el montaje.

9.2. Prestaciones accesorias y trabajos por admisión

El Adjudicatario está obligado a realizar, a título accesorio, trabajos de pequeña importancia y prestaciones complementarias en régimen de Administración.

Los trabajos realizados en régimen de Administración se liquidarán de la siguiente forma:

- a) Empleo de mano de obra y materiales: el importe a abonar por estos conceptos viene dado por la fórmula:

$$I = (J + M) \frac{100 + n}{100} \quad (1)$$

En la expresión anterior

J: es el importe total de la mano de obra, obtenido aplicando al total de horas trabajadas por personal obrero de cada categoría, directamente empleado en estos trabajos, la tarifa media horaria correspondiente, según baremo establecido, incluyendo jornales, cargas sociales, gastos de alojamiento y porcentaje de útiles y herramientas.

M: es el precio pagado según factura de los materiales y suministros utilizados en estos trabajos, incluido el transporte hasta almacén de obra.

n: es el porcentaje de aumento sobre los conceptos anteriores, que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio. Este valor se fijará en el contrato y será siempre menor o igual que 20.

- b) Empleo de equipo auxiliar: la mano de obra directa, combustibles y energía correspondientes al empleo de maquinaria o equipo auxiliar del Adjudicatario, para la ejecución de trabajos o prestaciones de servicios pagados por la Administración, se abonará al Adjudicatario por aplicación de las fórmulas anteriores.

Además, se abonará al Adjudicatario una remuneración según tarifa, expresada en tanto por mil, en concepto de utilización de la maquinaria, incluyendo los gastos de conservación, reparaciones y cambios.

Se empleará una o varias tarifas según el tipo de maquinaria, expresados siempre en tanto por mil del valor de la máquina por hora efectiva de utilización (o bien por día natural de utilización).

Documento III. Pliego de condiciones

Cuando se decida de común acuerdo traer a la obra nueva maquinaria, especialmente para trabajos por Administración, se empleará también la fórmula anterior, pero se asegurará al Adjudicatario una remuneración diaria mínima en concepto de inmovilización expresada también en un tanto por mil del valor de la máquina, por día natural de inmovilización.

Además, en este caso, se abonará al Adjudicatario el transporte de la maquinaria a obra, ida y vuelta, y los gastos de montaje y desmontaje, si los hubiere, según la fórmula indicada en el aparatado anterior.

Cuando una máquina sea utilizada con posterioridad a la fecha en que su empleo era necesario para terminar los trabajos objeto del presente Contrato, a partir de la misma se asegurará al Adjudicatario la percepción del mínimo de inmovilización antes señalado.

Los importes obtenidos por todas las expresiones anteriores se incrementarán también en el mismo porcentaje *n* anteriormente citado, que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio.

El Convenio de Adjudicación o el Pliego de Condiciones Particulares establecerán los detalles complementarios que sean precisos.

9.3. Trabajos no previstos

Cuando se juzgue necesario ejecutar trabajos no previstos, se prepararán los precios contradictorios correspondientes, teniendo en cuenta los del contrato o, por asimilación, los de obras semejantes. Los nuevos precios se basarán en las mismas condiciones económicas que los precios del contrato.

A falta de mutuo acuerdo y en espera de la solución de la discrepancia, se liquidará provisionalmente al Adjudicatario en base a los precios fijados por la Propiedad.

Si no hubiese conformidad en la fijación de dichos precios entre la Propiedad y el Adjudicatario, éste quedará relegado de la construcción de la parte de la obra de que se trate, sin derecho a indemnización de ninguna clase. En esta situación en la que, a juicio de la Propiedad, sea imposible el fijar nuevos precios, o así le convenga a esta última, corresponderá únicamente a ella la decisión de abandonar excepcionalmente los trabajos en régimen de administración.

Cuando se proceda al empleo de los materiales o ejecución de las obras de que se trate, sin la previa aprobación de los precios que hayan de aplicárseles, se entenderá que el Adjudicatario se conforma con los que le fije la Propiedad.

9.4. Revisión de precios

En caso de variación de las condiciones económicas en el curso de la ejecución del contrato, los precios establecidos serán revisados por la aplicación de la fórmula general:

$$P = P_0 \cdot K \quad (2)$$

En la expresión anterior

- P es el precio de origen a revisar.
- P_0 es el nuevo valor del precio P después de la revisión.
- K es un coeficiente calculado según la siguiente fórmula:

$$K = 0,15 + a \cdot \frac{H_i}{H_0} + b \cdot \frac{M_i}{M_0} \quad (1)$$

En donde:

- a y b son coeficientes de influencia que cumplen la característica de que $(a + b) = 0,85$.
- H_0 y H_i son los índices correspondientes a mano de obra en la fecha de presentación de la oferta y en el período en el curso del que se ha calculado la revisión, respectivamente.
- M_0 y M_i son los índices correspondientes a materiales en la fecha de presentación de ofertas y en el período en el curso del cual se ha calculado la revisión, respectivamente.

Los índices que han de utilizarse en la formulación de las expresiones de revisión serán los índices oficiales de precios sometidos mensualmente a la aprobación del Gobierno por el Comité Superior de Precios de Contratos del Estado y publicados en el Boletín Oficial del Estado.

Para un mismo contrato se pueden prever uno o varios coeficientes K , aplicándose cada uno de ellos a un determinado grupo de precios.

La revisión de los precios se realizará únicamente en caso de producirse variaciones en los índices previstos en cada caso.

La Propiedad establecerá en cada caso particular la fórmula o fórmulas de revisión a emplear y las normas complementarias de aplicación de las mismas. Salvo que se indique lo contrario, serán de aplicación las fórmulas oficiales aplicables a las obras realizadas para el Estado que aparecen en las memorias de Comisión de Precios, publicadas periódicamente por el Ministerio de Obras Públicas.

Si los trabajos no han terminado al final del plazo global de ejecución previsto en el Convenio, prolongados, si da lugar, en un tiempo igual al de los retrasos reconocidos y aceptados por la Propiedad, resultantes de circunstancias no imputables al Adjudicatario, los coeficientes K a utilizar en la continuación de las obras no podrán en ningún momento ser superiores a los alcanzados en la época de terminación del plazo. Todos los valores inferiores de estos índices, serán, por el contrario, aplicados a partir de la época en la que los mismos se hayan comprobado.

En principio, no serán revisables más que los precios que se refieran a prestaciones efectuadas en territorio español.

Además, cuando estos precios contengan elementos que dependan de un sistema económico, su revisión se limitará únicamente a la fracción de cada uno de ellos que dependa de las variaciones económicas comprobadas en España.

Si el contrato prevé excepcionalmente la revisión de los precios que dependan en su totalidad o en parte de un sistema económico extranjero, el importe revisado por medio de las fórmulas contractuales previstas a este efecto estará limitado al valor obtenido:

- Convirtiendo el precio inicial, cuando esté fijado en divisas extranjeras, en euros, al tipo de cambio aplicable en la fecha de referencia de precios.
- Aplicando al precio inicial, expresado en euros, la fórmula de revisión contractual, después de haber reemplazado los índices en vigor en el país extranjero por los índices o tipos de la misma naturaleza establecidos en el contrato.
- Convirtiendo, en su caso, el importe obtenido en divisas al cambio aplicable en las fechas de revisión.

9.5. Condiciones de pago

A efectos de pago de los diferentes equipos y servicios objeto del contrato, serán consideradas las partidas siguientes:

- Equipo y materiales entregados en el local de montaje.

Documento III. Pliego de condiciones

- Montaje e instrucción del personal de explotación de la Propiedad.

En el contrato figurará una cláusula en la que se indique claramente la forma en que la Propiedad efectuará los pagos del equipo y materiales.

El coste del montaje será abonado totalmente en la fecha de recepción definitiva de las instalaciones, salvo que se especifique otro acuerdo en el contrato.

En el contrato se indicará el porcentaje sobre el coste total de suministros y servicios prestados por el Adjudicatario, que no se abonarán hasta la terminación del plazo de garantía.

9.6. Penalizaciones

Podrán aplicarse penalizaciones al Adjudicatario, e incluso podrá decidirse la rescisión del contrato en los siguientes casos:

- Si no se respetan las fechas finales o intermedias del programa general de trabajos aprobado.
- Si se retrasa la entrega de la documentación técnica.
- Si el equipo, o parte de él, no fuese capaz de asegurar normalmente el servicio industrial para el cual fue concebida y especificado.
- Si los resultados de las medidas y ensayos no correspondieran a los valores garantizados.

Aparte de la posibilidad de rescisión del contrato, el Adjudicatario tomará a su cargo los gastos ocasionados por sus retrasos.

Las penalizaciones o rescisión del contrato a que se ha hecho referencia, serán aplicadas después de comprobar la Propiedad la imposibilidad por parte del Adjudicatario de corregir las faltas o defectos verificados y los desvíos medidos, y después de haber introducido en el plazo autorizado por la Propiedad las modificaciones del equipo y que sin que, entretanto, se produjesen perjuicios directos o indirectos a la propiedad. La cuantía de las penalizaciones será determinada y calculada en cada caso particular en función del perjuicio causado a la Propiedad.

La Propiedad notificará al Adjudicatario, mediante carta certificada con acuse de recibo, la aplicación de penalizaciones.

9.7. Indemnización a favor del Adjudicatario

Únicamente tendrá derecho el Adjudicatario a una indemnización en su favor en caso de pérdidas, averías y daños imputables a la Propiedad y debidamente comprobados, y eventualmente cuando éstos sean imputables a causa de fuerza mayor.

El Adjudicatario adoptará las disposiciones necesarias, a su cuenta y riesgo, para que su material e instalaciones no puedan sufrir daños o perjuicios como consecuencia de fenómenos naturales previsibles de acuerdo con la situación u orientación de la obra.

En el supuesto de que el Adjudicatario estime que existen causas de fuerza mayor, comunicará por escrito este hecho a la propiedad en un plazo máximo de diez días después de darse las circunstancias. La Propiedad se reserva el derecho de fijar en cada caso las indemnizaciones que puedan concederse al Adjudicatario y decidir si el motivo por el que reclama la indemnización puede incluirse en lo reseñado en el primer párrafo de este apartado. Pasados diez días no se admitirá ninguna reclamación procedente del Adjudicatario.

Se considerarán a estos efectos como causas mayores las indicadas en el Pliego de Condiciones Generales para la Contratación de Obras Públicas.

9.8. Rescisión del contrato

En el caso de que la Propiedad ordene el cese absoluto de los trabajos, el contrato queda inmediatamente rescindido. Si la Propiedad ordena su aplazamiento por más de un año, sean antes o después del comienzo de las obras, el Adjudicatario tiene derecho a la rescisión del contrato, si lo solicita por escrito, sin que ello tenga perjuicio alguno sobre la indemnización que tanto en un caso como en otro le corresponda, si hay lugar a ello.

No se aceptará la petición de rescisión por parte del Adjudicatario cuando sea presentada en un plazo superior a los cuatro meses a partir de la fecha de notificación de la orden de servicio prescribiendo el cese o aplazamiento de los trabajos.

Si la Propiedad ordena el aplazamiento de los trabajos durante un período menor a un año, el Adjudicatario no tendrá derecho a rescisión, pero sí a una indemnización en caso de perjuicios debidamente constatados. En el caso de que se hubiesen empezado los trabajos, el Adjudicatario puede requerir que se proceda a la recepción provisional de las obras acabadas y en estado de ser recibidas y, una vez transcurrido el plazo de garantía, a la recepción definitiva.

En caso de fallecimiento del Adjudicatario, el contrato será revocado de pleno derecho, salvo que los herederos se comprometan por escrito a cumplir el contrato en vigor, sin incorporar en él modificación alguna.

Documento III. Pliego de condiciones

En caso de quiebra o de suspensión de pagos por parte del Adjudicatario, el contrato queda inmediatamente rescindido de pleno derecho, bastando para ello que la Propiedad lo notifique de forma fehaciente en el plazo de dos meses a partir de la publicación legal de la declaración de quiebra o de la suspensión de pagos.

En todo momento las medidas de conservación o de seguridad cuya urgencia sea manifiesta, serán tomadas de oficio por la Propiedad con cargo al Adjudicatario, sin perjuicio de la decisión definitiva del tribunal.

Cuando el Adjudicatario no dé cumplimiento, sea a las disposiciones u obligaciones del contrato o a las órdenes dadas por la Propiedad, éste se exhortará a cumplir estos requisitos o demandas en un plazo determinado que, salvo en casos de urgencia, no será menor de diez días de la notificación de la intimación. Pasado este plazo, si el Adjudicatario no ha ejecutado las disposiciones prescritas la Propiedad podrá ordenar, a título provisional, el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del Adjudicatario.

Se procederá inmediatamente, en presencia del Adjudicatario o habiéndose convocado debidamente, a la comprobación de los trabajos realizados, de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de su material y a la devolución a éste de la parte de los materiales que no utilizará la Propiedad para la terminación de los trabajos.

La Propiedad tiene, por otra parte, la facultad bien de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas (por cuenta y riesgo del Adjudicatario insumiso), bien de ejecutar el derecho de rescisión de contrato o bien de prescribir la continuación de la intervención.

Durante el período del régimen de intervención, el Adjudicatario podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la Propiedad.

El Adjudicatario podrá ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulten de la intervención o del nuevo contrato, serán deducidos de las sumas que puedan ser debidas al Adjudicatario, sin perjuicio de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes.

Si la intervención o el nuevo contrato suponen, por el contrario, una disminución de gastos, el Adjudicatario no podrá pretender beneficiarse de ninguna parte de la diferencia, que quedará a favor de la Propiedad.

En todos los casos de rescisión se procederá con el Adjudicatario o sus derechohabientes presentes o debidamente convocados, a la comprobación de los trabajos realizados, al inventario de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de la maquinaria y de la instalación de la obra.

Cuando se dé la rescisión de la obra por otros conceptos que no sea la petición de ésta por parte de la Propiedad, ésta última entidad puede exigir al Adjudicatario que mantenga en obra todo o parte de sus instalaciones generales o de su material, con el fin de poder disponer libremente la prosecución de los trabajos, encargando su ejecución, de estimarlo conveniente, a otra empresa. Las instalaciones, maquinaria, etc., que la Propiedad decida que deben permanecer en obra, podrán ser utilizadas por ésta o por otra empresa de su elección hasta la terminación de las obras objeto del contrato rescindido, sin pago alguno por parte de la Propiedad o de dicha empresa designada en concepto de alquiler, amortización, etc.

Los materiales existentes de la obra y que la Propiedad decida utilizar en la terminación de las obras, serán abonados según los precios incluidos en el contrato anulado o según los que se fijen en su peritaje.

En los casos de rescisión por decisión de la Propiedad, se acordará entre ésta y el Adjudicatario qué instalaciones deben permanecer en la obra y la indemnización a pagar por la Propiedad en ese concepto.

En ningún caso podrá el Adjudicatario retirar de la obra maquinaria, materiales, instalaciones, etc., sin la autorización por escrito de la Propiedad. En casos de rescisión del contrato, la Propiedad le comunicará en un plazo de cuatro meses a partir de la fecha de rescisión las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que deben permanecer en la obra. También le indicará el plazo en que se deben retirar de la obra las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que la Propiedad no vaya a emplear en la terminación de los trabajos.

Debe indicarse que todas las menciones del Adjudicatario realizadas bajo este epígrafe pueden ser sustituidas, de darse el caso, por sus derechos – habientes.

9.9. Legislación

Las leyes españolas regularán las fases de concurso y establecimiento del contrato.

El Adjudicatario queda obligado a respetar las disposiciones generales prescritas en la legislación española vigente aplicables a la ejecución del contrato y a acatar las consecuencias de su incumplimiento.

El Adjudicatario y la Propiedad acuerdan someter la resolución de todas las divergencias, controversias y discrepancias que pueda dar lugar la interpretación o la ejecución del contrato de

Documento III. Pliego de condiciones

las obras, al juicio arbitral del derecho privado, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley del 22 de diciembre de 1983.

El arbitraje será de equidad. Los árbitros resolverán sobre los puntos concretos que se sometan a su decisión en la correspondiente escritura notarial de formalización de compromiso y dentro del plazo que en la misma se señale.

Los honorarios de los árbitros serán sufragados a partes iguales entre el Adjudicatario y la Propiedad. Contra el laudo emitido por los árbitros, con arreglo a su leal saber y entender, únicamente cabrá recurso de nulidad ante la Sala del Tribunal Supremo, por los motivos que se indican en el párrafo 3º del artículo 1696 de la Ley de Enjuiciamiento Civil.

PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

1. DISPOSICIONES GENERALES

1.1. Objeto

El presente pliego de prescripciones técnicas tiene por objeto la ordenación de las condiciones técnico-facultativas que deben regir en la instalación de la planta descrita en este proyecto.

Las obras del proyecto consisten en la instalación de los equipos necesarios en una planta de producción de ácido cianhídrico a partir de metano, amoníaco y aire. En lo referente a la definición y acabado de las distintas unidades de obra se deberá considerar que todos los trabajos, medios auxiliares y materiales que sean necesarios para la correcta ejecución y finalización de cualquier unidad de obra, según el criterio del Director de Obra, se consideran ya incluidos en el precio de la misma aun cuando no figuren especificados en la descomposición o descripción de los precios.

2. EDIFICACIÓN

2.1. Condiciones generales

2.1.1. Calidad de los materiales

Todos los materiales a emplear en la presente obra deberán ser de primera calidad, y deben reunir las condiciones exigidas vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.

2.1.2. Pruebas y ensayos de materiales

Todos los materiales a los que se hace referencia en este Pliego, podrán ser sometidos a los análisis y pruebas que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro material que sea necesario emplear deberá ser aprobado por la Dirección de las obras, siendo rechazado en caso de no reunir las condiciones exigidas por la buena práctica de la construcción.

2.1.3. Materiales no previstos en el proyecto

Los materiales que no hayan sido previstos en el proyecto reunirán las condiciones de calidad necesarias, a juicio de la Dirección de Obra, no teniendo el Adjudicatario derecho a reclamación alguna por las condiciones exigidas.

2.1.4. Condiciones generales de ejecución de las obras

Todo los trabajos incluidos en el presente proyecto se realizarán con esmero, con arreglo a las buenas prácticas de construcción, de acuerdo a las condiciones establecidas en el Pliego de Condiciones de la Dirección General de Arquitectura de 1960, y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección de Obra, no sirviendo por tanto como pretexto al Adjudicatario la baja puja, para cambiar la ejecución de las obras ni la primera calidad de los materiales ni de la mano de obra, ni emprender proyectos adicionales a los que tiene por objeto este documento.

2.2. Condiciones a cumplir por los materiales

2.2.1. Materiales para hormigones y morteros

2.2.1.1. Áridos

La naturaleza de los áridos y su preparación será aquella que garantice la adecuada resistencia del hormigón, así como las restantes características que se exijan a éste en el presente Pliego de Condiciones Particulares.

Como áridos para la fabricación del hormigón puede emplearse arena o grava existente en yacimientos naturales, u otros productos cuyo empleo se encuentre aceptado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en un laboratorio oficial. En cualquier caso, cumplirá las condiciones de la EHE (Instrucción de Hormigón Estructural).

Cuando no se tengan antecedentes sobre la utilización de los áridos disponibles, o se vayan a utilizar para otras aplicaciones distintas de las aceptadas por la práctica, se realizarán ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convenga en cada caso.

En el caso de hacer uso de escorias siderúrgicas como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos. Esta comprobación se efectúa con arreglo al método de ensayo UNE-7243.

Queda prohibido el uso de áridos que contengan sulfuros oxidables. Se entiende por arena o árido fino al árido o fracción del mismo que pasa por un tamiz de 5mm de luz de malla. Por grava o árido grueso se entiende el que queda retenido en dicho tamiz. Finalmente, por árido total (o simplemente árido cuando no hay lugar a confusión), es aquel que posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

2.2.1.2. Agua para amasado

Deberá cumplir las siguientes prescripciones:

1. Acidez tal que el pH sea mayor que 5, según la norma UNE-7234.
2. Sustancias solubles, menos de quince gramos por litro (15 g/L), según la norma UNE-7130.
3. Sulfatos expresados en SO_4 , menos de un gramo por litro (1 g/L), según ensayo de la norma UNE-7131.
4. Ion cloro para hormigón con armaduras, menos de 6 g/L, según la norma UNE- 71178.
5. Grasas o aceites de cualquier clase, menos de 15 g/L, según la norma UNE- 7235.
6. Carencia absoluta de azúcares o carbohidratos según el ensayo de la norma UNE- 7132.
7. Demás prescripciones de la EHE.

2.2.1.3. Aditivos

Se definen como aditivos a emplear en hormigones y morteros a aquellos productos, sólidos o líquidos, excepto cemento, áridos y agua, que mezclados durante el amasado mejoran las características del mortero o el hormigón, en especial en lo referente al fraguado, endurecimiento y plasticidad.

Se establecen los siguientes límites:

1. Si se emplea cloruro cálcico como acelerador, su dosificación será igual o menor al dos por ciento (2 %) en peso de cemento, y si se trata de amasar con temperaturas muy bajas, del tres y medio por ciento (3,5 %) en peso de cemento.
2. La proporción de aireante será mayor del cuatro por ciento (4 %) en peso de cemento.
3. En el caso de emplear colorantes, la proporción será inferior al diez por ciento (10 %) en peso de cemento. No se usarán colorantes orgánicos.
4. Cualquier otro que se derive de la aplicación de la EHE

2.2.1.4. Cementos

Se entiende como un aglomerante hidráulico el que responde a alguna de las definiciones del Pliego de Prescripciones Técnicas General para la recepción de cementos del Real Decreto vigente.

Podrá ser almacenado en sacos o a granel. En el primer caso, el recipiente protegerá el cemento contra la intemperie y la humedad, tanto del suelo como de las paredes. Si se almacena a granel, no podrán mezclarse cementos de distintas calidades y procedencias.

Se exigirá al Adjudicatario la realización de ensayos que demuestren de modo satisfactorio que los cementos cumplen las condiciones exigidas. Las partidas de cemento defectuoso serán retiradas de la obra en un plazo máximo de ocho días. Los métodos de ensayo serán los detallados en el citado Pliego General de Condiciones para la recepción de conglomerantes hidráulicos. Se realizarán en laboratorios homologados.

Se tendrán en cuenta prioritariamente las determinaciones de la instrucción EHE.

2.2.2. Aceros

2.2.2.1. Acero de alta adherencia en redondos para armaduras

Se aceptarán aceros de alta adherencia que lleven el sello de conformidad CIETSID, homologado por el Ministerio de Fomento.

Estos aceros vendrán marcados de fábrica con señales indelebles para evitar confusiones en su empleo. No presentarán grietas, curvaturas, sopladuras, ni disminuciones de sección superiores a un 5 %.

El módulo de elasticidad será igual o mayor a dos millones cien mil kilogramos por centímetro cuadrado ($2.100.000 \text{ kg/cm}^2$). Se entiende por límite elástico la mínima tensión capaz de producir una deformación permanente de dos décimas porcentuales (0,2 %). Se prevé el límite elástico del acero en 4.200 kg/cm^2 . Esta tensión es el valor de la ordenada máxima en el diagrama de tensión deformación. Se tendrán prioritariamente en cuenta las determinaciones de la instrucción EHE.

2.2.2.2. Acero laminado. Acero A-42B

Los perfiles vendrán con su correspondiente identificación de fábrica, con señales indelebles para evitar confusiones. No presentarán grietas, curvaturas, sopladuras, ni disminuciones de sección superiores al cinco (5 %) por ciento.

2.2.3. Materiales auxiliares para el hormigón

2.2.3.1. Productos para el curado del hormigón

Se definen como productos para el curado de hormigones hidráulicos los que, aplicados en forma de pintura pulverizada, depositan una fina película impermeable sobre la superficie del hormigón para impedir la pérdida de agua por evaporación.

El color de la capa protectora será claro, preferiblemente blanco, para evitar la absorción de radiación solar. Esta capa deberá ser capaz de permanecer intacta durante siete días por lo menos después de una aplicación.

2.2.3.2. Desencofrantes

Los desencofrantes se definen como los productos que, aplicados en forma de pintura a los encofrados, disminuyen la adherencia entre éstos y el hormigón, la labor de desmolde. El empleo de estos productos deberá ser expresamente autorizado por la Dirección de Obra.

2.2.4. Encofrados y cimbras

2.2.4.1. Encofrados en muros

Podrán ser de madera o metálicos, pero tendrán la suficiente rigidez, latiguillos y puntales para que la deformación máxima producida al empuje del hormigón fresco sea inferior a un centímetro respecto a la superficie teórica de acabado. Para medir estas deformaciones se aplicará sobre la superficie desencofrada una regla metálica de 2 metros de longitud, con la que se comprobará la posible curvatura existente.

2.2.4.2. Encofrados de cimientos, vigas y arcos

Podrán ser de madera o metálicos, pero cumplirán la condición de que la deformación máxima de un borde encofrado respecto a la teórica, sea menor o igual a un centímetro de longitud teórica. Igualmente, el encofrado deberá tener la suficiente rigidez para soportar los efectos dinámicos de la vibración del hormigón de forma que el máximo movimiento local producido por esta causa sea de cinco milímetros.

2.2.5. Aglomerantes excluyendo el cemento

2.2.5.1. Cal hidráulica

Cumplirá las siguientes condiciones:

1. Peso específico comprendido entre dos y medio (2,5) y dos con ocho décimas (2,8).

2. Densidad aparente superior a ocho décimas (0,8).
3. Pérdida de peso por calcinación menor al doce por ciento (12 %).
4. Fraguado entre nueve (9) y treinta (30) horas.
5. Residuo en tamiz de cuatro mil novecientas mallas (4.900) menor del seis (6 %) por ciento.
6. Resistencia a la tracción de pasta pura a los siete días superior a los ocho kilogramos por centímetro cuadrado (8 kg/cm²).
7. Resistencia a la tracción del mortero normal a los siete días superior a cuatro kilogramos por centímetro cuadrado (4 kg/cm²).
8. Resistencia a la tracción de pasta pura a los veintiocho días superior a los ocho kilogramos por centímetro cuadrado (8 kg/cm²), y superior en dos kilogramos por centímetro cuadrado (2 kg/cm²) al alcanzado al séptimo día.

2.2.5.2. Yeso negro

Deberá cumplir las siguientes condiciones:

1. El contenido en sulfato de calcio semihidratado será como mínimo del cincuenta por ciento (50 %) en peso.
2. El fraguado no comenzará antes de dos minutos y no terminará antes de 30 minutos.
3. En tamiz de 0,2 mm (UNE-7050), el residuo no será mayor del 20 %.
4. En tamiz de 0,08 mm (UNE-7050), el residuo no será mayor del 50 %.
5. Las probetas prismáticas (4-4-16 cm) de pasta normal ensayadas a flexión con una separación de apoyos de 10,67 cm resistirán una carga central de ciento veinte kilogramos (120) como mínimo.
6. La resistencia a compresión determinada sobre medias probetas procedentes del ensayo a flexión, será como mínimo de setenta y cinco kilogramos por centímetro cuadrado (75 kg/cm²).

2.2.6. Materiales para fábrica

2.2.6.1. Fábrica de ladrillos

Los ladrillos serán de primera calidad según lo definido en el Código Técnico de la Edificación. Las dimensiones de los ladrillos se medirán de acuerdo con la norma UNE- 7267. La resistencia a compresión de los ladrillos será como mínimo de:

1. Ladrillos macizos: 100 kg/cm².
2. Ladrillos perforados: 100 kg/cm²
3. Ladrillos huecos: 50 kg/cm².

2.2.7. Pintura

2.2.7.1. Pintura al temple

Estará compuesta por una cola disuelta en agua y un pigmento mineral finamente disperso con la adición de un antifermento tipo formol para evitar la putrefacción de la cola. Los pigmentos a usar pueden ser:

1. Blanco de cinc que cumplirá UNE-48041.
2. Litopón que cumplirá UNE-48040.
3. Dióxido de titanio tipo anatasa que cumplirá UNE-48044. También podrán emplearse mezclas de estos pigmentos con carbonato cálcico y sulfato básico. Estos dos últimos productos considerados como cargas no podrán entrar en una proporción mayor del veinticinco por ciento (25 %) en peso de pigmento.

2.2.7.2. Pintura plástica

Como vehículo para el pintado, se emplea un barniz, donde los pigmentos están constituidos de dióxido de titano y colores resistentes.

2.2.8. Colores, aceites y barnices

Todas las sustancias de uso general en la pintura deberán ser de excelente calidad. Los colores reunirán las siguientes condiciones:

1. Facilidad para extenderse y cubrir perfectamente grandes superficies.
2. Gran capacidad de fijación.

3. Ser inalterables a la acción de los aceites o de otros colores.
4. Insolubilidad en agua.

Los aceites y barnices reunirán a su vez las siguientes características:

1. Ser inalterables por la acción del aire.
2. Conservar los colores.
3. Transparencia y color perfectos.

Los colores deberán estar bien molidos y mezclados con el aceite. Además, estarán bien mezclados y sin grumos.

2.2.9. Fontanería

Las bajantes tanto de aguas pluviales como fecales serán de fibrocemento o materiales plásticos que dispongan de autorización de uso. No se admitirán bajantes de diámetro inferior a doce centímetros. Todas las uniones entre tubos y piezas especiales se realizarán mediante uniones Gibault.

2.3. Condiciones para la ejecución de las obras

2.3.1. Movimiento de tierras

Consiste en el conjunto de operaciones realizadas para excavar, evacuar, llenar y nivelar el terreno, así como las zonas circundantes que puedan necesitarse, con el consecuente transporte de los materiales hasta el punto de vertido o hasta el lugar donde sean necesarios.

2.3.1.1. Ejecución de las obras

Una vez terminadas las operaciones de preparación del terreno, se iniciarán las obras de excavación ajustándose a las indicaciones contenidas en los planos, tales como pendientes, dimensiones, alineaciones, etc.

La tierra vegetal que se encuentre en las excavaciones, que no se extrajo durante el clareo inicial del terreno, podrá ser empleada posteriormente en la protección de superficies que puedan sufrir erosión.

En cualquier caso, la tierra vegetal excavada se mantendrá separada del resto de materiales extraídos.

Todos los materiales que se obtengan en la excavación, excepto la tierra vegetal citada, podrán ser empleados en la formación de rellenos o en cualquier otro uso contemplado dentro de este Pliego. Se transportarán una vez extraídos a las zonas destinadas para su depósito dentro del solar, o bien al vertedero si no tuviesen aplicación dentro de la obra. Durante las diversas etapas de movimiento de tierras, las obras se mantendrán en perfectas condiciones de drenaje. El material excavado no se podrá colocar de forma que suponga un peligro para las construcciones existentes, por presión directa o por sobrecarga de los rellenos contiguos.

El movimiento de tierras se abonará por metros cúbicos de material realmente excavados medidos por la diferencia entre los datos iniciales tomados inmediatamente antes de iniciar los trabajos y los datos finales, tomados inmediatamente después de su finalización. La medición se hace sobre los perfiles obtenidos durante el proceso.

2.3.1.2. Excavación de zanjas y pozos

Consiste en el conjunto de operaciones necesarias para conseguir la cimentación adecuada del terreno, sobre el que se situarán los equipos y la estructura. Su ejecución comprende las operaciones de excavación, nivelación y evacuación del terreno y el transporte de los materiales hasta su depósito o lugar de empleo.

El Adjudicatario deberá notificar con la antelación suficiente el comienzo de cualquier excavación, con el objeto de que se puedan efectuar las mediciones necesarias sobre el terreno inalterado. El terreno natural adyacente al de excavación no se modificará sin autorización.

La excavación continuará hasta llegar a la profundidad en la que aparezca una superficie firme. La Dirección de la Obra puede solicitar modificar la profundidad de excavación si a la vista de las condiciones del terreno, se considere necesario para lograr una cimentación satisfactoria.

Las corrientes o agua pluviales o subterráneas que pudiesen presentarse, se taponarán o desviarán empleando el método más adecuado. Antes de proceder al vertido del hormigón y a la colocación de las armaduras, se dispondrá una capa de hormigón de diez centímetros de espesor debidamente nivelada.

El abono de estas excavaciones se hará en función de los metros cúbicos extraídos, calculados por diferencia de los datos iniciales y finales.

2.3.1.3. Relleno y apisonado de zanjas y pozos

Este apartado trata el vertido y posterior compactación de los materiales empleados para el relleno de las zanjas o pozos formados.

Documento III. Pliego de condiciones

Los materiales de relleno se disponen sobre la superficie en tongadas sucesivas de espesor uniforme. El espesor de estas tongadas será el adecuado a los medios disponibles para que se obtenga el grado de compactación exigido.

La superficie de las tongadas será horizontal o convexa con pendiente transversal máxima del dos por ciento (2 %). Una vez extendida la tongada, se procederá a la humidificación si se considera necesario.

El contenido óptimo de humedad se determinará en la propia obra, a la vista de la maquinaria disponible y de los resultados que se obtengan en los ensayos pertinentes.

En casos especiales, donde la humedad natural del material sea excesiva para conseguir la compactación prevista, se tomarán las medidas adecuadas, como, por ejemplo, la adición de una mezcla de materiales secos o sustancias apropiadas como la cal. Una vez lograda la humedad requerida, se procede a la compactación mecánica de la tongada. Sobre las capas formadas, se prohíbe la circulación de todo tipo de tráfico hasta que se completa la compactación.

Al igual que en casos anteriores, el abono de estas operaciones se hará de acuerdo a los metros cúbicos de material que se depositen.

2.3.2. Hormigón

Corresponde al Adjudicatario efectuar el estudio granulométrico de los áridos, dosificación del agua y consistencia del hormigón de acuerdo con los medios de puesta en obra que se emplee en cada caso, siempre cumpliendo lo prescrito en la EHE.

2.3.2.1. Fabricación de hormigón

En la fabricación y puesta en obra del hormigón deberán cumplirse los requisitos generales marcados en la EHE, del Ministerio de Fomento.

Los áridos, el agua y el cemento deberán dosificarse automáticamente en peso. Las instalaciones de dosificación, al igual que las demás necesarias en la fabricación y puesta en obra, deberán ser sometidas a dicha instrucción.

Las tolerancias admisibles en la dosificación serán del dos por ciento (2%) para el agua, el cemento y el árido. La consistencia del hormigón admitirá una tolerancia de veinte milímetros medidos en el cono de Abrams.

La instalación de hormigonado será capaz de realizar una mezcla regular e íntima de todos los componentes proporcionando un hormigón de color y consistencia uniforme.

En la hormigonera deberá existir una placa, en la que se haga constar la capacidad y la velocidad en revoluciones por minuto recomendadas por el fabricante, las cuales no deberán ser superadas.

Antes de introducir el cemento y los áridos en el mezclador, éste se cargará con una parte de la cantidad del agua requerida, completándose la dosificación de ésta en un periodo de tiempo que no deberá ser superior a la tercera parte del tiempo de mezclado, contados a partir del momento en que el cemento y los áridos se introducen en el mezclador. Antes de volver a cargar el equipo, se vaciará totalmente su contenido.

No se permitirá volver a amasar en ningún caso hormigón que fraguase parcialmente, aunque se añadan nuevas cantidades de cemento, áridos o agua.

La mezcla en obra del hormigón se ejecutará del mismo modo que la señalada para realizada en fábrica.

2.3.2.2. Transporte de hormigón

El transporte del hormigón desde el lugar de preparación hasta la obra se hará lo más rápidamente posible. En ningún caso se tolerará la utilización en obra de hormigón que acusen un principio de fraguado o cualquier otra alteración.

Cuando la fabricación de la mezcla se realiza en una instalación industrial alejada, el transporte deberá realizarse empleando camiones provistos de agitadores.

2.3.2.3. Puesta en obra del hormigón

Como norma general no deberá transcurrir más de una hora entre la fabricación del hormigón y su puesta en obra y compactación.

No se permitirá el vertido libre del hormigón desde alturas superiores a un metro, quedando prohibido arrojarlo a gran distancia, distribuirlo con rastrillo o hacerlo avanzar más de medio metro en los encofrados.

Al verter hormigón se debe remover eficazmente para asegurar que las armaduras queden perfectamente envueltas, cuidando especialmente los sitios en los que se reúne gran cantidad de acero, y procurando que se mantengan los recubrimientos y la separación entre las armaduras.

En láminas, el extendido del hormigón se ejecutará de modo que el avance se realice en todo su espesor. En vigas, el hormigonado se realiza avanzando desde los extremos, rellenándolas en toda su altura y procurando que no se produzcan segregaciones.

2.3.2.4. Compactación del hormigón

La compactación del hormigón deberá realizarse por vibración. Los vibradores se aplicarán siempre de modo que su efecto se extienda a toda la masa, sin que se produzcan segregaciones. Si se emplean vibradores internos, deberán sumergirse longitudinalmente en la tongada subyacente, y retirarse también longitudinalmente sin desplazarlo hacia los lados mientras están dentro de la mezcla.

La aguja se introducirá y retirará lentamente, a velocidad constante, recomendándose que no se superen los 10 cm/s, con cuidado de que la aguja no toque las armaduras.

La distancia entre los puntos sucesivos de inmersión no será superior a 75 cm, y será la adecuada para generar en toda la superficie de la masa una humectación brillante, siendo preferible vibrar en pocos puntos prolongadamente.

No se colocará un vibrador a menos de 10 cm de la pared del encofrado.

2.3.2.5. Curado del hormigón

Durante el primer periodo de endurecimiento, se someterá al hormigón a un proceso de curado según el tipo de cemento empleado y las condiciones climatológicas del lugar.

En cualquier caso, deberá mantenerse la humedad del hormigón y evitarse todas las causas tanto externas, como sobrecarga o vibraciones, que puedan provocar la fisura del elemento hormigonado. Se deben mantener húmedas las mediante arpilleras, esterillas de paja u otros tejidos similares durante tres (3) días si el conglomerante empleado fuese cemento Portland I-35, aumentándose este plazo en caso de que el cemento usado tuviese un endurecimiento más lento.

2.3.2.6. Juntas de hormigonado

Las juntas podrán ser de hormigonado, contracción o dilatación, debiendo cumplirse lo especificado en los planos.

Se tendrá en cuenta que las juntas creadas por las interrupciones en el hormigonado queden normales a la dirección de los máximos esfuerzos de compresión, o donde sus efectos sean menos perjudiciales.

Cuando se teman efectos debidos a retracción, se dejarán juntas abiertas durante algún tiempo, para que las masas contiguas puedan deformarse libremente. El ancho de tales juntas deberá ser el necesario para que, en su día, puedan hormigonarse correctamente.

Al retomarse los trabajos se limpiará toda la junta de suciedad o árido que quedase suelto, y se humedecerá toda la superficie sin exceso de agua, vertiéndose a continuación una lechada de cemento antes de aplicar hormigón.

2.3.2.7. Terminación de las superficies

Si no se indica lo contrario, la máxima irregularidad que puedan presentar las superficies planas, medida respecto a una regla de dos metros de longitud aplicada en cualquier dirección será la siguiente:

1. Superficies a la vista: seis (6) mm.
2. Superficies ocultas: veinticinco (25) mm.

2.3.2.8. Limitaciones de ejecución

El hormigonado se suspenderá, por norma general, en caso de lluvias, adoptándose las medidas necesarias para impedir la entrada de lluvia en las masas de hormigón fresco o el lavado de superficies. Si esto sucediese, se deberá picar la superficie, humedecerla, y continuar el hormigonado después de aplicar una lechada de cemento.

2.3.2.9. Medición y abono

El hormigón se medirá y abonará en base al metro cúbico realmente vertido en obra, midiendo el volumen contenido entre las caras de las superficies.

En las obras de cimentación que no necesiten encofrado, se medirá éste entre las caras del terreno excavado. En el caso de que el Cuadro de Precios exprese la unidad de hormigón sobre metro cuadrado, como es el caso de los techos, forjados, etc., se medirá esta cantidad en base a los metros cuadrados realmente ejecutados, incluyéndose en la medición todas las desigualdades y aumentos de espesor debido a los cambios de la capa inferior. Si en el Cuadro de Precios se indicase que está incluido el encofrado, acero, etc., siempre se considerará la misma medición del hormigón por metro cuadrado o metro cúbico. En el precio van siempre incluidos los servicios y costes asociados al curado del hormigón.

2.3.3. Morteros

Se fabricarán los tipos de mortero especificados en las unidades de obra, indicándose cuál ha de emplearse en cada caso para la correcta ejecución de las obras.

1. 2.3.3.1. Fabricación de morteros

Los morteros se fabricarán en seco, continuándose la mezcla después de verter agua en la forma y cantidad fijada, hasta obtener una pasta de aspecto homogéneo, y color y consistencia uniforme.

2. 2.3.3.2. Medición y abono

El mortero es un material auxiliar y, por tanto, su medición va incluida en las unidades a las que sirve: fábrica de ladrillos, pavimentos, etc. En algún caso especial se puede medir la cantidad empleada en metros cúbicos, obteniéndose su precio del correspondiente Cuadro.

2.3.4. Encofrados

Tanto las unidades como las piezas que constituyen los encofrados, deberán tener la resistencia y rigidez necesarias para que en la marcha prevista del hormigonado y, especialmente bajo los efectos dinámicos producidos por el sistema de compactación exigido, no se originen esfuerzos anormales en el hormigón, ni durante su puesta en obra, ni durante su periodo de endurecimiento.

No deben permitir los movimientos locales superiores a cinco (5) mm.

Las uniones de los distintos elementos o planos de los moldes serán sólidas y sencillas, de modo que su montaje se haga con rapidez.

Los moldes ya usados, y que vayan a servir en posteriores operaciones, serán cuidadosamente limpiados y revisados.

Los encofrados de madera se humedecerán antes del hormigonado, con el fin de evitar la absorción del agua contenida en el hormigón, y se limpiarán especialmente los fondos dejándose aberturas provisionales para facilitar esta labor.

Las juntas entre las distintas tablas del encofrado, deberán permitir el hinchamiento de las mismas por la humedad del hormigón. Sin embargo, no se permitirá la salida de la mezcla durante el hormigonado a través de las juntas.

Los encofrados se medirán siempre por metro cuadrado de superficie en contacto con el hormigón, no siendo de abono las obras o excesos de encofrado, así como los elementos auxiliares de sujeción o apoyos necesarios para mantenerlo en una posición correcta y segura contra los esfuerzos del viento, etc.

En este precio se incluyen, además, los desencofrantes y las operaciones de desencofrado y retirada del material.

En el caso de que en el Cuadro de Precios esté incluido el encofrado en el precio del hormigón, se entiende que todos los elementos y operaciones incluidas en este concepto se incluyen en el precio de éste.

2.3.5. Armaduras

Todas las operaciones se efectuarán de acuerdo a los artículos de la EHE.

Las armaduras de acero empleadas en el hormigón armado, se abonarán en kilogramos realmente empleados, deducidos de los planos de ejecución, por medición de longitudes, añadiendo las medidas de los solapes de empalme, medidos en obra, aplicando los pesos unitarios correspondientes a los distintos elementos usados.

En ningún caso se abonará más del cinco por ciento (5 %) en peso, bajo el concepto de solapes, del peso medido en plano de toda la armadura.

El precio incluye la adquisición, los transportes de cualquier clase hasta el terreno, la pesada, la limpieza de armaduras y, si es necesario, el doblado de las mismas, su izado, sustentación y colocación en obra, incluyendo el alambre usado para ataduras y separadores, la pérdida por recortes, y cuantas operaciones y medios auxiliares sean necesarios.

2.3.6. Albañilería

2.3.6.1. Ladrillos

Los ladrillos se colocarán según los elementos presentados en el proyecto.

Antes de emplearlos, se humedecerán con agua, debiendo estar sumergidos en agua por lo menos 10 minutos. Salvo especificaciones adicionales, el tendel debe tener un espesor de 10 mm. Todas las hiladas deben quedar perfectamente horizontales y con la cara buena perfectamente plana, vertical y a ras con el resto de elementos con los que debe coincidir. Para esto se hará uso de las miras necesarias, colocando la cuerda en las divisiones o marcas hechas en las miras.

Salvo indicación adicional, se empleará un mortero de doscientos cincuenta kilogramos (250 kg) de cemento I-35 por metro cúbico de pasta.

Al interrumpir el trabajo, deberá quedar preparado para el día siguiente. Al retomar el trabajo, deberá humedecerse y picarse la superficie del mortero.

Los elementos en ángulo se harán de manera que sea medio ladrillo de un muro contiguo, alternándose las filas.

La medición para el abono de estos trabajos se hará por metro cuadrado, según expresa el Cuadro de Precios. Se descontarán los huecos de las superficies.

2.3.6.2. Enfoscados de cemento

Los enfoscados de cemento se harán con cemento de quinientos cincuenta kilogramos por metro cúbico de pasta, en superficies exteriores, y de quinientos kilogramos por metro cúbico en interiores, empleándose arena de río o barranco lavada para su fabricación.

En todo caso, se limpiará bien la superficie de polvo, y se lavará debiendo estar húmeda antes de extender el mortero. La superficie debe estar en su interior perfectamente seca.

Si el material a cubrir es hormigón, éste se picará y mojará previamente.

Preparada de este modo la superficie, se aplicará con fuerza el mortero sobre una parte de ésta, evitando agregar mortero sobre otra sección ya tratada.

Así, se extenderá una capa que debe ser uniforme a lo largo de toda la superficie.

Sobre esta primera capa aplicada, se extiende una segunda más suave para conseguir una elevada homogeneidad de todo el conjunto. Al comenzar una nueva operación de enfoscado, es necesario que la circundante haya fraguado convenientemente. Sin embargo, sí es conveniente humedecer las juntas para lograr mayor uniformidad.

El acabado de los enfoscados debe quedar áspero para facilitar la adherencia de capas posteriores.

Si las condiciones de temperatura y humedad lo requieren, a juicio de la Dirección de Obra, se humedecerán diariamente los enfoscados, bien durante la ejecución o bien después de terminada, para que el fraguado se complete en buenas condiciones.

2.3.7. Carpintería metálica

Todas las piezas de carpintería metálica deberán ser montadas, necesariamente, por la casa fabricante o por personal autorizado por la misma, siendo el suministrador el responsable del perfecto funcionamiento de todas y cada una de las piezas colocadas en la obra.

Todos los elementos se montarán en locales cerrados y desprovistos de humedad, asentados sobre piezas de madera, procurando que queden bien nivelados y que no haya ninguno que sufra de alabeo o torcedura alguna.

La medición se hará por metro cuadrado de carpintería, medidos entre lados exteriores.

2.3.8. Pintura

La superficie que se vaya a pintar debe estar seca, desengrasada, sin óxido ni polvo, para lo que se emplearán cepillos, chorreado con arena, ácidos y bases según convenga.

Los poros, grietas, etc., se rellenarán con masilla que deje la superficie lisa y uniforme. Se harán con un pigmento mineral y aceite de linaza, o barniz, y un cuerpo de relleno para las maderas. En los paneles, se empleará yeso amasado con agua de cola, y sobre los metales se utilizará rellenos compuestos del 60-70% de pigmento. Los elementos sólidos como la masilla se aplicarán con espátula, mientras que los líquidos se podrán emplear con brocha o pincel, o con pistola de aire comprimido. Los rellenos, una vez secos, serán lijados para conseguir un acabado homogéneo.

Las pinturas se pueden aplicar con brocha o pincel, con aerógrafo, con pistola (pulverizando con aire comprimido) o con rodillos.

Las brochas y pinceles serán de pelo animal, pudiendo ser planos o redondos según sea conveniente. También pueden usarse hechos de nylon.

Los aerógrafos o pistolas constan de un recipiente que contiene pintura con aire a presión (1-6 atmósferas), un compresor y un pulverizador, cuyo orificio de salida varía de los 0,2 hasta los 7 mm, formándose un cono aproximado de 2 cm de diámetro máximo.

La pintura se mide y abona, en general, por metro cuadrado de superficie pintada, efectuándose la medición del siguiente modo:

1. La pintura sobre muros, tabiques y techos, descontando los huecos.
2. Las molduras se miden por la superficie cubierta.
3. La pintura sobre carpintería metálica, se medirá por las dos caras, incluyéndose los tapajuntas.
4. La pintura sobre las ventanas metálicas, sólo tomándose una cara.

En los respectivos precios se incluye el costo de los materiales y las operaciones necesarias para conseguir un perfecto acabado, incluyendo la preparación, lijado, relleno, etc., y todos los medios auxiliares que sean precisos.

2.4. Control de la obra

Los ensayos que se realicen se harán a cuenta del Adjudicatario, a través de una empresa especializada.

En la obra se dispondrá, para la realización del control, de cinta métrica, regla, nivel, plomada, termómetro, cono de Abrams, siete moldes de probetas con chapa y retacador.

La toma de muestras, conservación y rotura, se harán de acuerdo a lo delimitado en las normas UNE-8330084, 8330184 y 8330484.

2.4.1. Componentes del hormigón

Se seguirá lo dispuesto en el artículo 63 de la EHE.

2.4.2. Hormigón

Se realizarán los ensayos previos y característicos que indica la norma EHE.

Los ensayos de control se realizarán en la modalidad de control estadístico a escala normal. La definición de las partes de la obra se realizará de acuerdo con la Dirección de Obra, a la vista de la planificación del hormigonado, ajustándose en todo momento a lo especificado en el artículo 69 de la EHE.

2.4.3. Armaduras

Se realizará el control a nivel normal.

2.4.4. Formas y disposición

No se realizará el hormigonado sin la previa autorización de la Dirección de Obra, comprobándose la disposición y diámetro de las armaduras, formas geométricas, estados de las superficies contra las que se hormigonará, etc.

2.4.5. Ensayos informativos

La Dirección de Obra se reserva el derecho a exigir al Adjudicatario, cuando se estime oportuno, ensayos informativos.

2.5. Instrucción del hormigón estructural

2.5.1. Cemento

Antes de empezar con el hormigonado donde se varían las condiciones de aplicación, se ensayarán pruebas físicas, mecánicas y químicas previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas para la recepción de cementos.

Cuando el cemento esté en posesión de un sello o marca de conformidad oficial, no se realizarán dichos ensayos.

Cuando el cemento carezca de este sello, se comprobará por lo menos una vez cada tres meses de obra, como mínimo en tres ocasiones, y cuando lo indique la Dirección, lo siguiente: pérdida de agua, residuo insoluble, principio y fin de fraguado, resistencia a la compresión y estabilidad de volumen.

2.5.2. Agua de amasado

Antes de comenzar la obra, si no se tienen antecedentes del agua que se empleará, se varían las condiciones de aplicación, o cuando lo estime oportuno la Dirección de Obra, se realizarán los ensayos correspondientes al artículo correspondiente de la EHE.

2.5.3. Áridos

Se aplicarán los ensayos contenidos en la EHE, en los artículos correspondientes a las condiciones fisicoquímicos, físico-mecánicos y granulométricos.

2.6. Condiciones de protección contra incendios en los edificios

2.6.1. Condiciones técnicas exigibles a los materiales

Los materiales a emplear en la construcción de la edificación, se clasifican en función de los efectos que sufren frente al fuego, de acuerdo a la norma UNE 23-727-90 (Ensayos de reacción al fuego de los materiales usados en construcción), en las clases siguientes, dispuestas por orden creciente a sus grados de inflamabilidad: M0, M1, M2, M3, M4 y M5.

Los fabricantes de materiales que se empleen vistos o como revestimientos o acabados superficiales, deberán acreditar su grado de inflamabilidad mediante certificados de ensayo, realizados en laboratorios oficiales y homologados para ser empleados, cuando sea oportuno.

Aquellos materiales con tratamiento adecuado para mejorar su comportamiento ante el fuego (materiales ignífugos), serán clasificados por un laboratorio oficial y homologado, fijando un certificado o periodo de validez de ignifugación.

Los materiales que sean de difícil sustitución y aquéllos que vayan situados en el exterior, se clasifican con la clase que corresponda al material sin tratamiento ignífugo.

Los materiales cuya combustión o pirólisis produzcan la emisión de gases potencialmente tóxicos, se emplearán en la forma y cantidad que reduzca su efecto nocivo en caso de incendio.

2.6.2. Condiciones técnicas exigibles a los elementos constructivos

La resistencia del material ante el fuego queda fijada por un tiempo t , durante el cual éste es capaz de mantener las condiciones de estabilidad mecánica, aislamiento térmico, estanqueidad a las llamas y ausencia de emisión de gases inflamables, excepto en el caso de las puertas, para las cuales se excluye el mantenimiento de la condición de aislamiento térmico.

La comprobación de las nombradas condiciones para cada elemento constructivo, se verificará mediante los ensayos descritos en las siguientes normas:

1. UNE-23-093-81: ensayo de la resistencia al fuego de las estructuras y elementos de construcción.
2. UNE-23-801-79: ensayo de resistencia al fuego de la construcción de vidriados.
3. UNE-23-802-79: ensayo de la resistencia al fuego de puertas y otros elementos de cierre de huecos.

Los elementos constructivos se clasifican mediante la expresión de su condición de resistentes al fuego (FR), así como de su tiempo en minutos, durante el cual mantienen dicha condición.

Los fabricantes de materiales específicamente destinados a proteger o aumentar la resistencia ante el fuego de los elementos constructivos, demostrarán mediante certificados de ensayo las propiedades de comportamiento que figuren en la documentación.

Los fabricantes de otros elementos de construcción que hagan constar en la documentación técnica de los mismos su clasificación a efectos de resistencia ante el fuego, deberán justificarlo mediante los certificados de ensayo en los que se basan.

La realización de los ensayos se llevará a cabo en laboratorios homologados y autorizados por la Administración del Estado.

3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

3.1. Generalidades

Los materiales y ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el Reglamento Electrotécnico para Alta (RAT) y Baja Tensión (RBT) e instrucciones técnicas

complementarias ITC MI.BT. Asimismo, se adoptarán las diferentes condiciones previstas en las normas:

- NTE-IEP “Instalaciones de Electricidad. Puesta a Tierra”
- NTE-IEP “Instalaciones de Electricidad. Baja Tensión”
- NTE-IEI “Instalaciones de Electricidad. Alumbrado Interior”
- NTE-IEE “Instalaciones de Electricidad. Alumbrado Exterior”
- NTE-IER “Instalaciones de Electricidad. Red Exterior”

Se deberán tener en cuenta los Reglamentos locales. Además, con carácter general se aplicarán las normas UNE en los equipos y materiales a los que se puedan aplicar.

En casos de distintas calidades o interpretaciones de los distintos reglamentos y normas aplicables, se tomará en cuenta la opinión y decisión de la Dirección de Obra.

Todos los equipos y materiales eléctricos se instalarán de acuerdo con las normas de los fabricantes.

3.2. Identificación

Todos los conductos serán identificados al principio y al final del recorrido, mediante accesorios tipo Unex o similar, en material no corrosivo.

3.3. Conductores

Las bobinas y rollos de cable se protegerán de todo daño posible durante la obra.

No se introducirán los conductores en los conductos antes de que estos estén perfectamente colocados en su sitio y haya sido previamente comprobado que no existe ninguna obstrucción en su interior.

Los conductores serán tratados con todo cuidado durante la obra para evitar la posibilidad de dañarlos. Se tomarán las medidas necesarias para que los cables no estén sometidos a tensiones excesivas durante su instalación. En cualquier caso, los radios de curvatura de los cables siempre serán superiores a diez veces el diámetro.

Los cables se protegerán de posibles daños mecánicos elevándolos 2,5 metros del nivel se suelo, y alojándolos en el interior de tubos de protección, o bien, en bandeja con tapa de protección.

No se tenderán más de dos capas de cables en las bandejas dispuestas horizontalmente, y cuando estén en vertical, sólo se instalará una capa.

Cuando varios conductores vayan juntos en un tubo, se introducirán todos al mismo tiempo.

Todos los conductores que se empleen serán de cobre y deberán cumplir las Normas UNE 20003, UNE 21022 y UNE 21064. Su aislamiento y cubierta serán de policloruro de vinilo y deberá cumplir la Norma UNE 21029.

El Adjudicatario informará por escrito al Ingeniero Director de la Obra el nombre del fabricante de los conductores y le enviará una muestra de los mismos. Si el fabricante no reúne la suficiente garantía a juicio del Ingeniero Director, antes de instalar el molde se comprobarán las características de estos en un laboratorio oficial.

No se admitirán cables que presenten desperfectos superficiales, o que no vayan en las bobinas de origen en las que deberá figurar el nombre del fabricante y tipo de cable y sección.

No se permitirán el empleo de materiales de procedencia distinta en un mismo circuito.

3.4. Terminales

Se utilizarán terminales de precisión para la conexión de los conductores a los equipos y barras de distribución.

3.5. Instalación de aparatos

Todos los aparatos se instalarán en donde se muestran los planos, quedando completamente preparados para funcionar.

El Adjudicatario de la instalación deberá poseer las instrucciones de los diferentes fabricantes de los equipos y seguirlas ordenadamente.

Cuando los equipos vayan sobre paredes, techos o estructuras, el Adjudicatario realizará todo el trabajo necesario para su fijación.

3.6. Cuadros de distribución

Los cuadros serán nivelados y alineados perfectamente en su sitio usando calzos si fuese preciso. Antes de entrar en servicio serán repasadas todas las conexiones y la tornillería, y se limpiarán perfectamente todos los aisladores, etc.

El Adjudicatario realizará todas las conexiones interiores y exteriores que se requieran.

Serán de aleación ligera o de PVC, con índice de protección IP55. Cada caja será identificada con una placa de plástico o baquelita de color negro en el lateral más visible.

3.7. Instalaciones de fuerza y alumbrado

El Adjudicatario realizará las conexiones en cajas, aparatos, etc., y serán instalados completamente, incluyendo lámparas, difusores, reactancias, etc., y todos aquellos accesorios que formen parte del montaje.

En la sala de control de la planta, se dispondrá una iluminación a base de iluminarias estancas con tubos fluorescentes de 36 W. Esta sala tendrá dos circuitos de acceso utilizando interruptores unipolares de 16A (50% de iluminarias cada uno). Para la sala de equipos y el almacén también se emplearán tubos de 36 W.

Las lámparas se instalarán una vez que estén perfectamente colocados los aparatos de alumbrado, de acuerdo con los planos y las instrucciones del fabricante. Las cajas de mecanismos no se instalarán hasta conocerse perfectamente el acabado de las paredes en donde ha de alojarse y no se permitirá el paso de conductores hasta que estén bien tomadas.

3.8. Equilibrio de fases

Se realizarán las conexiones de receptores de tal manera que el desequilibrio de fases no supere más de un 10%.

3.9. Acometida general

El cable cumplirá, además, la normativa particular de la empresa suministradora de energía.

Los conductores estarán aislados para una tensión nominal de 1000 V del tipo UNE DV-0,6/1kV, y sección 35 mm².

3.10. Caja de protección

Estará construida en material aislante, autoextinguible, según norma UNE 20234, y será de grado de protección 417, como indica la norma UNE 20305. Será del tipo CGPH de 250 A y contendrá cartuchos y fusibles calibrados de 250 A y neutro seccionable.

3.11. Línea de reparto

Será de tipo UNE DV-0,6/1kV, alojada en el interior de una canalización en tubo aislante de PVC, autoextinguible.

Los diámetros de conductor y canalización se fijan en los planos correspondientes.

3.12. Contadores

Los módulos serán de material aislante, autoextinguible y de estabilidad térmica de clase A, proporcionando un grado de protección de 413 de acuerdo con la norma UNE 20324.

Serán accesibles por medio de tapa transparente y precintable de las mismas características que los módulos.

3.13. Derivaciones individuales

Los conductores serán de tipo rígido de cobre. Se instalarán en el interior de tubos rígidos de PVC, de acuerdo con la Norma MI-BT-019.

Los diámetros de conductores y tubos se fijarán en los planos correspondientes. Cada derivación contendrá las fases, neutro y conductor de protección.

Las cajas de derivación serán aislantes, con tope del mismo material, ajustable a presión o con tornillos y estarán dotadas de huellas de ruptura para el peso de tubos.

3.14. Instalación

Los mecanismos, cajas de derivación y pantallas serán de tipo estanco con protección IP-4, contra chorro de agua. La instalación será de superficie y los conductores irán por el interior de tubos rígidos de PVC con diámetros que se reflejan en los planos correspondientes.

3.15. Instalación de puesta a tierra

Se realizará por medio de electrodos de tierra de 2 metros de longitud y 14 mm de diámetro de cobre con alma de acero. El conductor de unión de las picas será de cobre de 35 mm² de sección de acuerdo con la Instrucción MI-BT-039.

Los portes metálicos de los soportes se unirán a dicho conductor mediante soldadura autógena. La línea de enlace de la red con tierra será de 35 mm², que enlazará con la línea principal de tierra de 16 mm².

3.16. Inspecciones, pruebas y recepciones

El adjudicatario realizará todas las pruebas y ensayos de circuitos y equipos, así como aquellas que le sean requeridas por parte de la Propiedad, proporcionando la mano de obra y medios necesarios, de acuerdo con el indicado en el presente documento.

En general se incluyen, sin limitarse, las siguientes pruebas y ensayos:

1. Pruebas necesarias para retener la garantía de los fabricantes.
2. Pruebas de aislamiento fase-fase y fase-tierra de todos los cables.
3. Nivel de aislamiento.
4. Pruebas de continuidad y medida de la resistencia de la red de tierra y tensiones de paso y contacto.
5. Comprobación de polaridades y secuencia de fases.
6. Comprobación nocturna del sistema de alumbrado.
7. Certificación de todas las pruebas.

En particular, las pruebas de cables se realizarán inmediatamente después de que éstos sean tendidos y antes de efectuar la conexión. El cableado será comprobado en cuanto a la correcta identificación, continuidad y resistencia de aislamiento entre conductores y entre éstos a tierra. Estas pruebas de continuidad y resistencia de aislamiento se realizarán empleando el equipo para cumplir con los reglamentos aplicables.

4. INSTALACIONES MECÁNICAS

4.1. General

Las prestaciones del Adjudicatario requeridas en esta especificación comprenden los siguientes conceptos:

- Suministro de todos los equipos, con aportación del material de fijación, abarcones, tortillería, juntas y todos los accesorios necesarios para el correcto montaje y funcionamiento, aun cuando no estuviesen expresamente especificados, incluso todos los elementos necesarios para realizar el movimiento de materiales en obra, grúas, andamios, elementos de acceso y protección, y, en general, de todos los equipos auxiliares que se precisen.
- Pintado e identificación según norma UNE 1063 de todos los tramos de tubería y de sus correspondientes soportes y accesorios.
- Pruebas de presión y estanqueidad.
- Revisión y puesta en servicio.
- Confección de los croquis de detalles constructivos y de montaje necesarios, que serán sometidos a la aprobación de la Dirección de Obra antes de su ejecución.

Documento III. Pliego de condiciones

- Confección del proyecto “*as built*” de todos los tramos, incluyendo los trazados isométricos, plantas y detalles.
- Tramitación de los permisos necesarios, aportando la documentación oportuna.

Para la elaboración de la oferta, el Adjudicatario deberá:

- Tener en cuenta todo aquello que considere necesario para la ejecución de la instalación, aunque no se encuentre especificado en detalle.
- Valorar el grado de dificultad de montaje de las diferentes redes, previendo todo tipo de equipos necesarios para su ejecución.
- Identificar in situ el lugar de la obra, con el fin de tener en cuenta en su oferta todo aquello que considere necesario para el desarrollo de la misma, y no se encuentre especificado en detalle.
- Atenerse a las normas de seguridad e higiene en el trabajo establecidas, atendiendo en todo momento las indicaciones que estime oportunas la Propiedad.
- Tomar en consideración que el área que se le adjudique dentro de los terrenos para el almacenamiento de materiales, oficinas y servicios, será de su entera responsabilidad, tanto en cuanto a los materiales allí almacenados, herramientas y equipos de montaje, como a efectos personales y documentación en general.
- Del mismo modo, las casetas de obra para el personal y herramientas serán por su cuenta y deberán ser retiradas al finalizar los trabajos referidos en la oferta realizada.

4.2. Materiales

Las especificaciones de los materiales objeto de este Pliego, salvo indicación contraria en los planos, serán las indicadas a continuación.

4.2.1. Accesorios

Los accesorios, codos, reducciones, etc., serán según la norma DIN correspondiente, teniendo en cuenta las necesidades de trazado en cada caso. Las juntas serán de los siguientes espesores mínimos y materiales:

- Hasta 2 1/2”: Teflón.
- De 2 1/2” a 4”: 2 mm metal o plástico.
- De 4” a 12”: 3 mm metal o plástico.

- De 12" en adelante: 4 mm metal o plástico.

4.2.2. Soportes

Podrán emplearse soportes normalizados de fabricación estándar cuando las condiciones de montaje lo permitan. En los demás casos los soportes se construirán in situ utilizando perfiles angulares, mínimo 60-60-6 mm, o bien perfiles doble T de ala ancha.

Las tuberías aéreas o en galerías se soportarán como máximo cada 8 m para diámetros superiores a 6" y cada 4 m para los demás diámetros, debiéndose prever soportes intermedios adecuados si fuesen necesarios. Los abarcones para la sujeción de tuberías no sometidas a esfuerzos térmicos hasta 4" de diámetro, serán de redondo de acero al carbono con puntas roscadas y sobre tuerca, según DIN-3570. Para diámetros mayores a 4" se usará pletina de acero al carbono a la que se soldarán espárragos de varilla roscada con doble tuerca para su amarre al soporte, DIN-1593.

4.2.3. Recipientes a presión

Los recipientes a presión cumplirán con el Reglamento de Aparatos a Presión, tanto en su dimensionamiento como en su montaje y operación.

4.3. Condiciones de ejecución

4.3.1. Tuberías y accesorios

4.3.1.1. Uniones

Las uniones de tuberías se realizarán mediante soldadura a tope o a rosca cilíndrica, según se indique. Los accesorios, codos, tes, reducciones, etc., se unirán también por medio de soldadura a tope.

Las conexiones a válvulas se harán con bridas de cuello según normas ANSI. Las uniones de montaje y desmontaje se harán también con bridas de cuello según normas ANSI.

No se admitirá calentamiento de la tubería que sirva para remediar sobre otros efectos de alineación.

La longitud de tubos suministrados será como mínimo de 8 m, la longitud media no será inferior a 9 m.

No se admitirán en los tubos:

Documento III. Pliego de condiciones

- Grietas o pliegues de laminado.
- Abolladuras.
- Las rayas, corrosiones que puedan atacar la resistencia mecánica del tubo.
- Las asperezas o escamas internas visibles que no ataquen la resistencia mecánica del tubo, pero susceptibles de serlo durante la explotación.

Todos los codos, tes, válvulas, tubos, etc., deberán estar colocados de forma que se puedan desmontar.

En todos los puntos se podrán apretar o soldar los tornillos de bridas, juntas, etc., con facilidad.

En los lugares en que se coloquen codos o tes, se sujetarán estos a ambos lados, de forma que no puedan ser expulsados.

4.3.1.2. Interferencias de trazado

Para salvar cruzamientos de tuberías de la misma altura, no deberán formarse codos hacia arriba, salvo indicación expresa de la Dirección de Obra.

Cuando deban ponerse dos o más codos en un tramo y montarse de tal manera que se eviten puntos de acumulación de aire, y cuando estos sean inevitables se instalará en ellos un purgador automático.

4.3.1.3. Curvado

Toda tubería de diámetro menor de 1 1/2" irá doblada al frío, respetando la sección circular a lo largo del desarrollo curvado.

Las tuberías de diámetro mayor de 1 1/2" irán mediante curvas de tipo N- 3D (DIN 2605).

Los tubos doblados tendrán un radio de curvatura constante en todos los puntos, estando exentos de pliegues, deformación, variaciones de espesor, etc.

4.3.1.4. Soldadura

La soldadura de los tubos está prevista a tope, no permitiéndose la soldadura a solape. El material necesario para la soldadura al arco será por cuenta del Adjudicatario.

Para la ejecución de las soldaduras si es preciso se exigirá la limpieza interior del tubo metálico por paso de una escobilla. Sus extremidades calibradas serán verificadas con la ayuda de un tapón calibrado.

Documento III. Pliego de condiciones

El tubo será alineado de forma que su eje se confunda con el precedente y las extremidades a soldar serán mantenidas en su sitio durante el punteo con la ayuda de un dispositivo apropiado. Preferentemente, ese dispositivo será introducido en el tubo y deberá impedir la ovalización del tubo por expansión de este último. No será tolerada ninguna desnivelización de los bordes superiores a 1,2 mm

El juego entre los tubos deberá ser tal que en la ejecución de la soldadura la fusión del metal de base afecte a todo el espesor de su pared. Los accesos de la soldadura serán librados de toda traza de cuerpos de origen mineral u orgánico.

Ninguna gota de soldadura será tolerada en el interior del tubo.

La penetración de la soldadura será regular, al contrario de las juntas, será de débil volumen y su espesor será tal que la suma de su valor y del de la desnivelización eventual de los bordes no podrá exceder de 1,6 mm. El cordón de metal depositado no llevará huecos o surcos laterales.

Los soldadores que intervengan en los trabajos deberán presentar los certificados de homologación y calificación otorgados por la Autoridad competente. La calificación de los soldadores y la recepción por radiografía de las soldaduras se hace según lo indicado a continuación:

- Falta de penetración: junta soldada no interesando la totalidad del espesor de la pared del tubo. Una longitud máxima de 25 mm de soldadura no penetrada no será admitida más que cuando esté comprendida entre dos cordones reconocidos sin defecto de 150 mm de longitud unitaria.
- Falta de fusión (*collage*): junta soldada por la cual el metal de base del tubo no ha sido fundido. Una longitud máxima de 25 mm de soldadura no fundida no será admitida más que cuando esté comprendida entre dos cordones reconocidos sin defecto de 150 mm de longitud unitaria.
- Sopladuras: Una longitud máxima acumulada de 25 mm por 100 mm de cordón no será admitida más que si el cordón es reparado por 300 mm de soldadura sin defecto.
- Inclusiones gaseosas: Su longitud será inferior a 3 no serán definidos.
- Inclusiones de escorias: Igual que sopladuras.
- Inclusiones alineadas de escorias: La línea de escoria no podrá tener una longitud máxima de 50 mm y un espesor máximo de 1,5 mm más que si el cordón afectado está

Documento III. Pliego de condiciones

comprendido entre dos sopladoras reconocidas sin defecto de 300 mm de longitud mínima unitaria.

- Canales o surcos laterales: Un canal continuo de 4/10 mm no podrá ser tolerado más que si la longitud es superior a 25 mm.
- Cráteres en la superficie del cordón: Su profundidad será inferior a 1/100 mm
- Sobredimensionamiento exterior del cordón: Comprendido entre 1 y 3 mm. •
Penetración y falta de alineación: El espesor de estos dos defectos acumulados será inferior a 1,6 mm.
- Fisuras: Prohibidas.

Los defectos mencionados podrán acumularse sobre una longitud máxima de 50 mm a condición de que esta acumulación esté comprendida entre dos soldaduras sin defecto, teniendo una longitud mínima de 300 mm. En ningún caso la longitud total de las combinaciones de defectos podrá exceder del 10 % de la longitud de cordón soldado.

En cuanto a la identificación de soldaduras, el Adjudicatario tendrá en dos ejemplares un cuaderno de soldadura, en el que se indicará:

- El número de soldadura (un mismo número no podrá designar dos soldaduras diferentes).
- El número de fabricación de los tubos.
- El marcado de las soldaduras con relación a marcas bien determinadas.
- El indicativo del soldador que ha ejecutado la soldadura.
- Las características de los electrodos empleados.
- La fecha de ejecución.
- La fecha del examen grammagráfico.
- El indicativo del controlador.
- La fecha y resultados de los ensayos grammagráficos.
- Las longitudes exactas de los elementos tubulares derechos y acortados entre dos soldaduras.

Toda soldadura reconocida defectuosa al examen o a la prueba de estanqueidad indicada más adelante será reparada por cuenta del Adjudicatario.

La reparación se efectuará bien por repetición local del defecto bien por reemplazamiento completo de la soldadura defectuosa.

Cuando la repetición local afecte a la primera pasada (pasada de fondo) serán tomadas todas las precauciones para que la penetración responda a las especificaciones anteriormente citadas.

El reemplazamiento completo de la soldadura definitiva será efectuado por soldadura de un cordón, reemplazando la soldadura quitada.

Cada soldadura sustituida, localmente o en su totalidad, será registrada en el “cuaderno de soldaduras”, siguiendo las especificaciones citadas, más en el caso de una intervención localizada se hará constar también la longitud del cordón reparado y del modo de ejecución.

4.3.1.5. Pruebas de estanqueidad y presión

Una vez terminada de montar una red de un fluido, se procederá a verificar la misma, comprobando el apriete de los tornillos de bridas, que existan todos los tornillos en las bridas y que existan juntas entre ellas. En las uniones roscadas se comprobará la junta de unión (cinta de teflón).

En las válvulas se comprobará su posición correcta, abierta o cerrada según los casos.

Realizada la comprobación anterior, se realizará la prueba de estanqueidad, utilizando para ello agua a temperatura ambiente y a la presión de trabajo durante un período de veinticuatro horas.

Las pruebas de presión de las tuberías deberán efectuarse durante 60 minutos a 1,5 veces la presión normal de trabajo, para lo cual el Adjudicatario deberá prever los elementos necesarios.

Todos los gastos ocasionados por las citadas pruebas correrán por cuenta del Adjudicatario, así como las correcciones que se deban efectuar hasta conseguir los resultados requeridos.

4.3.2. Soportes y estructuras

En este apartado se establecen las condiciones técnicas requeridas para el suministro y montaje de los soportes necesarios para las tuberías objeto de la especificación.

4.3.2.1. Diseño de materiales y fabricación

Los materiales a emplear serán los indicados en los planos.

Documento III. Pliego de condiciones

Todos los materiales de chapa a emplear por el suministrador, deberán venir avalados por certificados de calidad de la siderúrgica.

Los perfiles laminados bastarán con que lleven la marca de calidad impresa en el relieve de laminación.

Todos los materiales de aportación de soldadura vendrán avalados por sus certificados de calidad. Este material será controlado durante los procesos de fabricación y reparación de elementos para comprobar que el material usado es el especificado.

Las tolerancias dimensionales de los productos laminados serán los indicados en la norma UNE 36080.

4.3.2.2. Uniones soldadas

El instalador será totalmente responsable de que el trabajo, tanto mano de obra como ejecución, cumpla las especificaciones requeridas.

Todas las soldaduras se efectuarán por alguno de los siguientes procedimientos:

- Arco manual con electrodo revestido.
- Semiautomática con protección de dióxido de carbono o gas inerte con electrodo macizo.
- Automática con arco sumergido.

El instalador entregará para su aprobación los procedimientos de soldadura a emplear, en los que figurará como mínimo:

- Preparación de bordes.
- Posición.
- Proceso empleado, con indicación de parámetros.
- Características del metal de aportación.
- Secuencia y número de pasadas.
- Temperaturas de precalentamiento y método.
- Tratamiento térmico final, si se aplica.

Las características mecánicas del metal depositado serán como mínimo las indicadas para el material base.

No se permitirá la realización de ninguna soldadura, ni siquiera provisional, a soldadores no homologados.

4.4. Pinturas y aislamiento

Las tuberías se limpiarán a base de chorreado de arena, grado Sa 2 1/2. Las tuberías de acero al carbono, se tratarán según se indica:

- Limpieza. La superficie exterior de las tuberías, curvas, etc. se limpiarán a base de raspado, cepillado manual con cepillo de acero para dejar la superficie en un grado de acabado correspondiente a St-2 de la norma SIS 055-900.
- Imprimación. Una vez limpia la tubería según el procedimiento indicado anteriormente e inmediatamente después, se le dará a ésta una capa de imprimación de un espesor mínimo de 40 micras de película seca.
- Acabado. A base de dos manos de pintura acrílica, siendo ambas manos de diferentes tonos y con un espesor de 35 micras de película seca cada una.

La señalización de tuberías será según norma UNE 1063.

Las tuberías enterradas en arena lavada se protegerán previo chorreado según grado Sa 2 1/2, con una capa de imprimación de un espesor mínimo de 40 micras de película y doble encintado.

Para las tuberías enterradas en hormigón únicamente se realizará un chorreado según grado Sa 2 1/2.

Las tuberías que sean calorifugadas dispondrán de diferentes espesores de aislamiento en función de los diámetros, según lo especificado. El acabado exterior será mediante envolvente de chapa de aluminio de 0,8 mm de espesor debidamente curvada, soplada, baldonada en sus extremos y fijada mediante tornillos. En los codos o curvas la chapa irá en segmentos independientes, engatillados y atornillados entre sí.

4.4.2. Soportes

Los soportes se tratarán según se indica:

- Limpieza a base de chorreado de arena, grado Sa 2 1/2.
- Imprimación anticorrosiva, con un espesor no inferior a 40 micras, y una capa de fondo al clorocaucho de alto espesor (80 micras).

- Acabado a base de dos manos de pintura acrílica, siendo ambas de diferentes tonos y con un espesor mínimos de 50 micras cada una. El color y los tonos se elegirán de acuerdo con la Propiedad.

Control de calidad. Inspección y pruebas

4.5.1. Requisitos generales

El Adjudicatario realizará y mantendrá un Plan de Control de Calidad.

El Adjudicatario controlará los documentos, procedimientos e informes relacionados con las calidades de los equipos. La Propiedad o su representante tendrán accesibilidad a estos documentos, procedimientos e informes cuando así lo requiera.

El Adjudicatario identificará, documentará y notificará a la Propiedad todos los incumplimientos o desviaciones de los requisitos de esta especificación.

Al final de los trabajos se entregará a la Propiedad la documentación generada en los trabajos.

4.5.2. Pruebas y ensayos de tuberías

4.5.2.1. Ensayos no destructivos

General

El Adjudicatario será el responsable de todos los exámenes no destructivos y pruebas de tuberías suministradas bajo esta especificación.

La Propiedad tendrá autoridad para detener el trabajo o retener el envío si los requisitos de la especificación, incluyendo aquellos referentes a la documentación, no han sido cumplidos.

Todos los exámenes no destructivos serán realizados por personal cualificado.

Soldaduras a ser examinadas

La tubería igual o superior a 2" será radiografiada en su soldadura en un 5 %. Si el índice de rechazo fuese superior al 10 % de las soldaduras inspeccionadas, se supervisará el 100 %. Además, serán también radiografiadas las soldaduras que estando incluidas en líneas con prueba de presión no puedan ser sometidas a ella.

Documento III. Pliego de condiciones

En las soldaduras que no van a ser examinadas volumétricamente y cuya ejecución se realice saneando de raíz, se controlará el correcto saneado por medio de un examen de líquidos penetrantes.

Todas las reparaciones por soldaduras serán examinadas por líquidos penetrantes o partículas magnéticas. Las reparaciones importantes en tuberías serán radiografiadas.

En aquellas soldaduras que no se realicen radiografías se aplicará la inspección por líquidos penetrantes.

Procedimientos de examen

I. Examen radiográfico

Los procedimientos y las normas de aceptación estarán de acuerdo con el código ASME, sección V.

La interpretación final de la película y la aceptación o rechazo de la película y las soldaduras será efectuada por la Propiedad. El Adjudicatario inspeccionará y aceptará la película y las soldaduras antes de someterlas a supervisión de la Propiedad.

La densidad aceptable de la película a través del metal de soldadura será de 2,0 a 3,8 para revisión sencilla. Se utilizará la técnica radiografiada de visión sencilla película doble.

Para la radiografía de tuberías se colocará un cinturón numerado sobre la tubería para localizar sus defectos. El cinturón constará de números de plomo entre 6,4 y 12,7 mm de alto, e irán espaciados exactamente 24,5 mm para los tamaños de tubería de 2 1/2" a 8". El cinturón empezará con (0) y circundará la tubería.

La dirección de los números quedará permanentemente identificada sobre la tubería.

No se efectuarán agujeros en las tuberías para las radiografías sin la aprobación por escrito de la Propiedad.

II. Examen por líquidos penetrantes

Los procedimientos y las normas de aceptación estarán de acuerdo con el código ASME. No se permitirá el uso de líquidos penetrantes eliminables por agua.

Mediciones de espesor de la pared

Se realizará un mínimo de cuatro mediciones de grosor de la pared, distanciadas entre sí a 90° sobre los extremos de todas las tuberías y accesorios o según lo requiera la Propiedad cuando el espesor de la pared se especifique por la pared mínima de la Lista de Línea.

La aceptación de la tubería y accesorios se basará en la pared mínima especificada más la tolerancia de medición.

Las mediciones de espesor y su situación se reflejarán en su informe y una copia del mismo será enviada a la Propiedad para su aprobación.

4.5.3. Pruebas hidrostáticas

Después de la instalación, todos los conjuntos fabricados serán sometidos a una prueba hidrostática de acuerdo con el código ASME.

El Adjudicatario garantizará su trabajo como capaz de resistir dicha prueba.

4.5.3.1. Inspección y prueba en soporte

Inspección en soldaduras

El Adjudicatario realizará la inspección de las soldaduras de acuerdo con la presente especificación, cuyo alcance será el indicado en el apartado.

Las soldaduras se inspeccionarán visualmente al 100%. Además, se inspeccionarán mediante muestreo el 5% con líquidos penetrantes o, como alternativa, con partículas magnéticas.

Cuando la inspección mediante muestreo detecte que la soldadura correspondiente no cumple los requisitos de calidad mínimos, se efectuará una inspección de una muestra adicional del 10% mediante radiografiado. Esta muestra a examinar adicionalmente será la seleccionada por la Propiedad.

Si la inspección adicional revela que la soldadura cumple los requisitos mínimos de calidad de esta especificación, se repararán los defectos anteriormente detectados y se considerarán aceptables las soldaduras.

Si la muestra adicional examinada revela que la soldadura no cumple con los requisitos mínimos de calidad de esta especificación se inspeccionará totalmente el resto de soldaduras mediante radiografiado, y la soldadura que no cumpla con las normas de aceptación será eliminada, soldada e inspeccionada de nuevo.

Inspección radiográfica

Procedimiento

El examen radiográfico se efectuará de acuerdo con el artículo 2º de la subsección A, sección V del código ASME y empleando la técnica radiográfica especificada en la SE- 94.ç

Documento III. Pliego de condiciones

La densidad de la película deberá estar de acuerdo con lo indicado en el subartículo 234 de la sección V del código ASME.

Criterios de aceptación

Serán inaceptables los siguientes defectos:

- Toda grieta, falta de fusión o falta de penetración, cualquiera que sea su longitud.
- Toda porosidad por encima de la aceptada en el apéndice IV sección VIII del código ASME.
- Todo grupo de indicaciones en línea cuya suma de longitudes sea mayor que T en una longitud 12T y la distancia entre dos indicaciones contiguas sea menor de 6L, siendo T el espesor de la soldadura y L la longitud más larga del grupo.
- Toda indicación lineal cuya longitud sea mayor de (siendo T el espesor de la soldadura):
 - o 6 mm para $T \leq 19$ mm
 - o $1/3 T$ para $16 \leq T \leq 57$ mm
 - o 19 mm para $T > 57$ mm

Inspección con líquidos penetrantes

Procedimiento

Se hará de acuerdo con el artículo 6° de la sección V del código ASME siguiendo las recomendaciones del fabricante de los líquidos penetrantes empleados en la inspección.

Criterios de aceptación

Serán inaceptables los siguientes defectos:

- Indicaciones redondas de tamaño superior a 5 mm.
- Toda grieta, cualquiera que sea su longitud.
- Cuatro o más indicaciones redondas en línea, separadas entre sí menos de 1,5 mm de borde a borde.
- Toda indicación lineal cuya longitud sea mayor de 1,5 mm.

Inspección con partículas magnéticas

Procedimiento

Se hará de acuerdo con el artículo 7° de la sección V del código ASME empleando el método más idóneo según la geometría de la pieza.

Criterios de aceptación

Serán los mismos que en el caso de la inspección con líquidos penetrantes.

Inspección visual

Criterios de aceptación

Se considerarán defectuosos y deberán ser reparados mediante esmerilado los cordones de soldadura a tope que presenten sobreespesores superiores a los indicados:

- Espesor de la chapa Hasta 25 mm.
- Máximo sobreespesor 2,4 mm.

Asimismo, deberán ser reparados los cordones de soldaduras que presenten mordeduras de profundidad superior a 0,8 mm.

4.5.3.2. Reparación de soldaduras

En caso de duda sobre la bondad de una soldadura, la Propiedad podrá realizar por su cuenta inspecciones de nivel superior. Si dichas inspecciones demostrasen que las soldaduras son inaceptables, el costo de las mismas y su reparación serán por cuenta del Adjudicatario.

Todas las reparaciones de soldadura se efectuarán de acuerdo con los procedimientos aprobados y se supervisarán según los métodos especificados.

4.5.4. Control dimensional

En caso de duda sobre la bondad de una soldadura, la Propiedad podrá realizar por su cuenta inspecciones de nivel superior. Si dichas inspecciones demostrasen que las soldaduras son inaceptables, el costo de las mismas y su reparación serán por cuenta del Adjudicatario.

Todas las reparaciones de soldadura se efectuarán de acuerdo con los procedimientos aprobados y se supervisarán según los métodos especificados.

5. DOCUMENTACIÓN

Todos los documentos requeridos a lo largo del presente Pliego, forman parte inseparable del proyecto.

Todos serán realizados en español y adoptarán el Sistema Internacional (S.I.) de unidades.

Formarán parte de este apartado como mínimo los siguientes documentos:

1. Modificación o complemento a los proyectos existentes para permisos oficiales de Unión Eléctrica Fenosa y Delegación de Industria para la instalación de Baja Tensión y demás elementos de la instalación eléctrica.
2. Planos de disposición: representarán los equipos en detalle y perfectamente acotados.
3. Plano de detalle de montaje: representarán todos los detalles necesarios para la correcta ejecución del montaje de los equipos.
4. Lista de materiales: deberá reflejar todos los datos necesarios sobre las diferentes partes del equipo susceptibles de ser repuestas.
5. Lista de planos: consistirá en una relación del conjunto de planos, número de hojas, título y número de la última revisión.
6. Instrucciones de montaje.
7. Instrucciones de servicio.
8. Instrucciones de mantenimiento.

6. EQUIPOS

6.1. Lista de equipos

La instalación implantada para la producción de acrilonitrilo, comprende los equipos incluidos en la tabla 1.

Tabla 1. Lista de equipos

| | |
|-----------------|-------------------------|
| E-101 | Evaporación amoníaco |
| E-102 | Calentamiento amoníaco |
| E-103 | Calentamiento metano |
| E-104 | Calentamiento aire |
| K-101 | Compresión de aire |
| V-101 | Tanque de mezcla |
| R-201 | Reactor |
| E-301 | Acondicionamiento T-301 |
| T-301 | Separación amoníaco |
| P-301A/B | Impulsión T-301 |
| E-302 | Acondicionamiento T-302 |
| T-302 | Separación gases |
| E-303 | Acondicionamiento T-303 |
| T-303 | Purificación HCN |

6.2. Especificaciones de los equipos

Tabla 2. Especificaciones E-101

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 1304,33 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 25 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 25 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | -497,83 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 0,12 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 0 (evaporación) |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 200 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 200 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 175 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 497,95 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,257 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 600 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 4,75 |

Tabla 3. Especificaciones E-102

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 1304,33 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 25 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 200 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 0,33 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 527,95 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 175 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 250 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 250 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 137,5 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 191,16 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,11 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 13,90 |

Tabla 4- Especificaciones E-103

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 1358,38 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 25 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 200 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 0,31 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 554,75 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 175 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 250 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 250 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 137,5 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 209,20 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,12 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 15,21 |

Tabla 5. Especificaciones E-104

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 13610,08 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 90,3 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 200 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 66,59 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 232,35 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 109,70 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 250 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 250 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 104,85 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 626,66 |
| Caudal de vapor necesario, q_v (kg/s) | 0,37 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 59,76 |

Tabla 6. Especificaciones K-101

| | |
|--|----------|
| Presión admisión, P_a (bar) | 1,0 |
| Presión descarga, P_d (bar) | 2,1 |
| Caudal másico, \dot{m}_{aire} (kg/h) | 13610,08 |
| Densidad admisión, ρ_a (kg/m ³) | 1,18 |
| Temperatura admisión, T_a (°C) | 25 |
| Relación de capacidades caloríficas, γ | 1,394 |
| Temperatura descarga, T_d (°C) | 90,3 |
| Trabajo teórico, W_{teo} (kJ/kg) | 18,45 |
| Potencia teórica, P_{teo} (kW) | 251,18 |
| Cambio presión requerido, ΔP (bar) | 1,1 |

Tabla 7. Especificaciones V-101

| | |
|--|--------|
| Flujo molar de entrada (kmol/h) | 624,16 |
| Tiempo de residencia, t_r (s) | 15 |
| Volumen necesario, V_t (m ³) | 51,15 |

Tabla 8. Especificaciones E-301

| | |
|---|----------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 16272,79 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 80 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 25 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 363,94 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 70,72 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 55 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 5 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 15 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{\text{frío}}$ (°C) | 10 |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 38,18 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 1325,41 |
| Caudal de agua necesaria, q_v (kg/s) | 31,70 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 347,14 |

Tabla 9. Especificaciones E-302

| | |
|--|----------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 13632,84 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 60 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 25 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | 31,25 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | 0,17 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 35 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 5 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 15 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 10 |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 30,83 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 118,33 |
| Caudal de agua necesaria, q_v (kg/s) | 2,82 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 100 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 38,38 |

Tabla 10. Especificaciones E-303

| | |
|--|-----------------------|
| Caudal de alimentación, q_p (kg/h) | 9019,25 |
| Temperatura de entrada de corriente, t_i (°C) | 30 |
| Temperatura de salida de corriente, t_o (°C) | 60 |
| Entalpía de la corriente de entrada, H_i (kJ/kg) | -2213,75 |
| Entalpía de la corriente de salida, H_o (kJ/kg) | -2094,79 |
| Cambio de temperatura fluido caliente, ΔT_h (°C) | 30 |
| Temperatura de entrada de utilidad, T_i (°C) | 200 |
| Temperatura de salida de utilidad, T_o (°C) | 200 |
| Cambio de temperatura fluido frío, $\Delta T_{frío}$ (°C) | 0 (vapor condensante) |
| Diferencia de temperaturas, ΔT_{mlog} (°C) | 155 |
| Calor intercambiado, Q (kW) | 298,02 |
| Caudal de agua necesaria, q_v (kg/s) | 0,154 |
| Coefficiente global asumido, U_{asum} (W/m ² K) | 750 |
| Área de intercambio necesaria, A (m ²) | 2,56 |

Tabla 11. Especificaciones R-201

| Corriente de entrada | | | |
|--|----------------------|-------------------|--------|
| Flujo molar de entrada, F_T (mol/s) | 173,38 | | |
| Presión, P (Pa) | $2 \cdot 10^5$ | | |
| Temperatura, T (K) | 473 | | |
| Volumen molar, V_m (m ³ /mol) | $1,97 \cdot 10^{-2}$ | | |
| Caudal volumétrico, Q (m ³ /s) | 3,41 | | |
| Catalizador | | | |
| Relación superficie/volumen, a_g (cm ⁻¹) | 101,76 | | |
| Porosidad, ϵ | 0,806 | | |
| Volumen catalizador, V_g (cm ³) | 1741,3 | | |
| Volumen zona de reacción, V_R (cm ³) | 8982,8 | | |
| Altura de catalizador, z_g (mm) | 3,43 | | |
| Número de capas, n_g | 42 | | |
| Masa de catalizador, m_g (kg) | 29,6 | | |
| Relleno de bolas | | | |
| | Capa 1 | Capa 2 | Capa 3 |
| Altura, z_B (mm) | 50 | 75 | 100 |
| Diámetro de bolas, d_B (in) | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 |
| Densidad aparente, ρ_{ap} (kg/m ³) | | | |
| Mínima | 1850 | 1850 | 1760 |
| Media | 1950 | 1950 | 1905 |
| Máxima | 2050 | 2050 | 2050 |
| Volumen ocupado, V_B (m ³) | 0,141 | 0,211 | 0,282 |
| Masa, m_B (kg) | 275 | 412 | 537 |
| Plato de soporte | | | |
| Fabricante | Bilfinger | | |
| Número de malla | 63 | | |
| Anchura de las ranuras (cm) | 1,52 | | |
| Altura de malla (in) | 1 | | |
| Ángulo de descarga | 13° | | |
| Aislante | <i>Interior</i> | <i>Exterior</i> | |
| Tipo de aislante | PECO LW-1600 | Perlita Expandida | |
| T ^a máxima de servicio (°C) | 1600 | 1000 | |

| | | |
|---|------------|------------------|
| Instalación | Hidráulica | |
| Densidad (kg/m ³) | 2100 | |
| Composición (Al ₂ O ₃ /SiO ₂) | 43/57 | |
| Conductividad (W/m ² K) | 0,4 | 0,042 |
| Vida media (meses) | 12 | 12 |
| Grosor (m) | 0,3 | 0,18 |
| Área exterior (m ²) | 1,66 | 2,56 |
| Área interior (m ²) | 2,19 | 2,24 |
| Área media logarítmica (m ²) | 1,91 | 2,37 |
| Temperatura pared interna (°C) | 1440,7 | 850 |
| Temperatura pared externa (°C) | 850 | 25 |
| Calor perdido (W) | 1506,64 | 1506,64 |
| Intercambiador de calor | | |
| Material de tubos | | Acero al carbono |
| Diámetro nominal (in) | | 0,75 (BWG12) |
| Diámetro externo (mm) | | 13,5 |
| Diámetro interno (mm) | | 14,3 |
| Sección de paso por tubo (mm ²) | | 143,41 |
| Pitch (mm) | | 23,81 |
| Fluido carcasa | | Agua/vapor |
| Fluido tubos | | Gas |
| Velocidad por tubo, v (m/s) | | 15 |
| Flujo volumétrico, Q_v (m ³ /s) | | 5,22 |
| Sección necesaria, S (m ²) | | 0,348 |
| Número de tubos, N_t | | 2428 |
| Longitud de tubos, L_t (m) | | 121,92 (4 ft) |
| Diseño mecánico (espesores en in) | | |
| Cabezal superior | | 1,25 |
| Cabezal inferior | | 0,5 |
| Cuerpo reactor | | 1,25 |
| Cuerpo intercambiador | | 1,25 |
| Placas de soporte de tubos | | 6 |

DOCUMENTO IV

Presupuesto

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. Presupuesto..... | 3 |
| 1.1. Introducción | 3 |
| 1.2. Coste de los equipos | 5 |
| 1.3. Actualización de precios | 7 |
| 1.4. Cálculo de los presupuestos parciales | 8 |
| 1.4.1. Presupuestos parciales | 9 |
| 1.4.2. Presupuesto total | 12 |

1. PRESUPUESTO

1.1. Introducción

En este documento se detalla el presupuesto de obra e instalación de los equipos correspondiente a la construcción de la planta de producción de ácido cianhídrico.

Se tendrán en cuenta para el cálculo del presupuesto total los presupuestos parciales reflejados en los siguientes puntos:

- Equipos: en este apartado se tiene en cuenta el coste de los equipos de proceso.
- Instalación de equipos: coste de material de obra, soportes y mano de obra para el montaje de la planta.
- Tuberías, aislamientos y pinturas: en este presupuesto parcial se incluyen los costes derivados de las conexiones entre equipos, así como los aislamientos y pintura de las diferentes unidades.
- Instrumentación y control: engloba los costes de todos los componentes de los sistemas de control del proceso.
- Instalación eléctrica: incluye los costes de cableado para equipos eléctricos, así como su montaje.
- Utilidades: tiene en cuenta el coste de las unidades de proceso encargadas de generar las utilidades, como pueden ser calderas para generar vapor de agua, compresores para la línea de aire comprimido o tratamiento de efluentes.
- Off-site: engloba las infraestructuras anexas al área de proceso necesarias para el correcto funcionamiento de la planta, como son edificios auxiliares, redes de comunicación o instalaciones de almacenamiento.
- Edificios: tiene en cuenta los edificios en el área de proceso, así como las oficinas, aparcamientos, comedores, ...
- Acondicionamiento del terreno: coste de las obras necesarias para la preparación del solar antes de la instalación de los equipos. Incluye nivelaciones, excavaciones o desplazamientos de tierra
- Costes indirectos: incluye los gastos de ingeniería, diseño y construcción, así como el fondo de contingencias.

- Capital circulante: engloba los costes de las materias primas y reactivos empleados para llenar las líneas de la planta una vez puesta en marcha.

Para el cálculo del coste de los equipos se emplea el método de las capacidades y para el cálculo de las diferentes partidas del presupuesto se emplea el método factorial. Ambos métodos se encuentran recogidos en “*Chemical Processes: Design and Integration* (Smith, R.)” y en “*Perry’s Chemical Engineering Handbook* (Perry, R.) y a continuación se presenta la explicación de cada uno de ellos.

1.2. Coste de los equipos

La estimación del coste de los equipos a partir del cual se calculará el coste de la planta se lleva a cabo mediante el método de las capacidades. Este método emplea la ley de la potencia para calcular el coste desconocido (C_E) de un equipo de capacidad conocida (Q) a partir del coste conocido o coste base (C_B) de un equipo de capacidad conocida (Q_B).

Esta relación entre los costes de un exponente (M) y el coste calculado se modifica a partir de una serie de factores de corrección en función del material (f_M), de la presión (f_P) y de la temperatura de operación (f_T). La ecuación empleada para el cálculo se presenta a continuación:

$$C_E = C_B \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^M f_M f_P f_T \quad (1)$$

Para el cálculo del precio de los equipos por este método se debe tener en cuenta el límite de capacidad máximo y mínimo, de forma que la ecuación presentada sólo es válida para un rango de capacidades determinado.

Los datos necesarios para la aplicación de este método se reflejan en las tablas presentadas a continuación. En la tabla 1 se recogen los datos de capacidades y costes base, así como los exponentes y los límites de aplicación de cada uno de los apartados. En la tabla 2 se recogen los valores del factor material, en las tablas 3 y 4 los factores de corrección por presión y en la tabla 5 los factores de corrección por temperatura.

Tabla 1. Factor de corrección de material (recipientes)

| Material | Factor de corrección, f_M |
|-----------------|-----------------------------|
| CS | 1,0 |
| SS (bajo grado) | 2,1 |
| SS (alto grado) | 3,2 |
| Hastelloy | 3,6 |
| Inconel | 3,9 |
| Níquel | 5,4 |
| Titanio | 7,7 |

Tabla 2. Factor de corrección de material (intercambiadores)

| Material | Factor de corrección, f_M |
|----------------------------|---|
| CS carcasa y tubos | 1,0 |
| CS carcasa, tubos aluminio | 1,3 |
| CS carcasa, tubos monel | 2,1 |
| CS carcasa, SS tubos | 1,7 |
| SS carcasa y tubos | 2,9 |

Tabla 3. Factor de corrección por presión

| Presión de diseño (bar) | Factor de corrección, f_P |
|--------------------------------|---|
| 0,01 | 2,0 |
| 0,1 | 1,3 |
| 0,5 – 7 | 1,0 |
| 50 | 1,5 |
| 100 | 1,9 |

Tabla 4. Factor de corrección por temperatura

| Temperatura de diseño (°C) | Factor de corrección, f_T |
|-----------------------------------|---|
| 0 – 100 | 1,0 |
| 300 | 1,6 |
| 500 | 2,1 |

El cálculo del precio del reactor se realiza asumiendo que se trata de un recipiente a presión junto con un intercambiador de calor, ya que no existen datos sobre los precios de este tipo de reactores. Para el cálculo del precio de las columnas de absorción, se tienen en cuenta los precios de los recipientes a presión y del relleno por separado.

1.3. Actualización de precios

Una vez calculados los precios se deben actualizar para tener en cuenta la inflación desde la elaboración de la bibliografía. Según la tabla consultada en el “*Perry’s Chemical Engineering Handbook*” los precios se proporcionan para un valor del índice M & S de 1000 que se corresponde con el año 1994. Dada la dificultad de encontrar el índice M & S actual, se realiza la actualización de los precios mediante el índice CEPCI, considerando como inicial el de 1994 (368,1) y como final el de 2016 (541,7). No se dispone de datos del índice para el año actual. La fórmula empleada es la siguiente:

$$P_{2016} = P_{1994} \cdot \frac{CEPCI_{2016}}{CEPCI_{1994}} \quad (1)$$

Los precios de los equipos, tras los cálculos, se obtienen en dólares americanos, y para su paso a € se considera el siguiente factor de conversión:

$$\frac{\text{€}}{\text{\$}} = 0,87 \quad (2)$$

Los datos empleados para realizar los cálculos de cada uno de los equipos existentes en la planta, así como los diferentes factores considerados se encuentran en la siguiente tabla, junto con los datos del coste de los equipos:

Tabla 5. Tabla de equipos

| Equipo | f_M | f_P | f_T | Coste equipo |
|--------|-------|-------|-------|----------------|
| E-101 | 2,9 | 1 | 1 | 32.726,33 € |
| E-102 | 2,9 | 1,5 | 1,6 | 109.623,66 € |
| E-103 | 2,9 | 1,5 | 1,6 | 115.606,38 € |
| E-104 | 2,9 | 1,5 | 1,6 | 259.183,77 € |
| K-101 | 2,9 | 1 | 1 | 343.063,74 € |
| V-101 | 2,9 | 1 | 1,6 | 37.203,35 € |
| R-201 | 5,4 | 1,5 | 2,1 | 574.205,19 € |
| E-301 | 2,1 | 1 | 1 | 220.817,43 € |
| T-301 | 2,1 | 1 | 1 | 2.436.666,39 € |
| E-302 | 2,1 | 1 | 1 | 60.222,33 € |
| T-302 | 2,1 | 1 | 1 | 2.171.835,26 € |
| E-303 | 2,1 | 1 | 1 | 12.189,82 € |
| T-303 | 2,1 | 1 | 1 | 1.660.376,34 € |

1.4. Cálculo de los presupuestos parciales

Para el cálculo de los presupuestos parciales se emplean factores que tienen en cuenta el precio de los equipos libre a bordo (FOB). Se trata del precio de los equipos que incluye tanto los costes del equipo como los derivados de la carga en un buque (carga en contenedor, transporte hasta puerto, trámites aduaneros en país de origen y gastos de estiba portuaria). Los diferentes presupuestos parciales por lo tanto se obtienen multiplicando el coste de los equipos por factores diferentes dependiendo de la partida.

Los factores dependen de la fase en la que se trabaje en la planta (sólido, solido-fluido, fluido) así como de la situación previa del emplazamiento (localizado en polígono industrial o sin ningún tipo de infraestructuras). Este caso se trata de una planta que trabaja con fluidos instalada en un polígono industrial, por lo tanto, los factores empleados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Factores empleados en el cálculo de presupuestos parciales

| | |
|--------------------------------|--------|
| Costes directos (CD) | |
| Coste de equipos | 1,00 |
| Instalación de equipos | 0,40 |
| Tuberías | 0,70 |
| Instrumentación y control | 0,20 |
| Instalación eléctrica | 0,10 |
| Utilidades | 0,50 |
| Off-site | 0,15 |
| Edificios de proceso | 0,15 |
| Acondicionamiento de terrenos | 0,05 |
| Almacenamientos | 0,15 |
| Costes indirectos (CI) | |
| Diseño e ingeniería | 0,30* |
| Honorarios contratista | 0,05* |
| Fondo de contingencias | 0,10* |
| Capital fijo (CF=CD+CI) | |
| Capital circulante (CC) | 0,15** |
| *Sobre costes directos | |
| **Sobre capital fijo | |

1.4.1. Presupuestos parciales

Tabla 7. Presupuestos parciales

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|------------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|
| Instalación de equipos | Cimentaciones | Partida alzada | 8.033.719,98 € |
| | Materiales y maquinaria | | |
| | Mano de obra | | |
| | Montaje | | |
| TOTAL (€) | | | 8.033.719,98 € |

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|------------------|-------------|----------------|-----------------------|
| Tuberías | Materiales | Partida alzada | 5.623.603,98 € |
| | Aislamiento | | |
| | Accesorios | | |
| | Pinturas | | |
| | Montaje | | |
| TOTAL (€) | | | 5.623.603,98 € |

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|---------------------------|--------------|----------------|-----------------------|
| Instrumentación y control | Materiales | Partida alzada | 1.606.744,00 € |
| | Equipos | | |
| | Programación | | |
| | Montaje | | |
| TOTAL (€) | | | 1.606.744,00 € |

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|-----------------------|-------------|----------------|---------------------|
| Instalación eléctrica | Materiales | Partida alzada | 803.372,00 € |
| | Cableado | | |
| | Montaje | | |
| TOTAL (€) | | | 803.372,00 € |

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|------------------|--------------------------|----------------|-----------------------|
| Utilidades | Instalaciones eléctricas | Partida alzada | 4.016.859,99 € |
| | Instalaciones de vapor | | |
| | Agua de refrigeración | | |
| | Agua de proceso | | |
| | Agua contra incendios | | |
| | Aire comprimido | | |
| | Inerte (Nitrógeno) | | |
| | Tratamiento de efluentes | | |
| TOTAL (€) | | | 4.016.859,99 € |

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------|
| Off-site | Edificios auxiliares | Partida alzada | 1.205.058,00 € |
| | Carreteras y accesos | | |
| | Protección contra incendios | | |
| | Infraestructura de comunicaciones | | |
| | Sistema de eliminación de residuos | | |
| | Almacenamientos de productos | | |
| | Vehículos de la planta | | |
| | Dispositivos de carga | | |
| TOTAL (€) | | | 1.205.058,00 € |

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|----------------------|--------------------|----------------|-----------------------|
| Edificios de proceso | Edificio principal | Partida alzada | 1.205.058,00 € |
| | Servicios | | |
| TOTAL (€) | | | 1.205.058,00 € |

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|-------------------------------|------------------------|----------------|---------------------|
| Acondicionamiento de terrenos | Excavación | Partida alzada | 401.686,00 € |
| | Nivelación | | |
| | Limpieza de superficie | | |
| | Drenajes | | |
| | Movimientos de tierra | | |
| TOTAL (€) | | | 401.686,00 € |

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|--------------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| Costes indirectos | Diseño | | 8.194.394,38 € |
| | Ingeniería | Partidaalzada | |
| | Construcción | | 1.365.732,40 € |
| Capital circulante | Fondo de contingencias | | 2.731.464,79 € |
| | - | Partidaalzada | 5.940.935,92 € |
| TOTAL (€) | | | 16.866.795,09 € |

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| Almacenamientos | Materiales | | |
| | Aislamiento | | |
| | Accesorios | Partidaalzada | 1.205.058,00 € |
| | Pinturas | | |
| | Montaje | | |
| TOTAL (€) | | | 1.205.058,00 € |

1.4.2. Presupuesto total

Teniendo en cuenta todas las partidas anteriores, se presenta en la siguiente tabla el presupuesto total de obra:

Tabla 8. Presupuesto total de la instalación

| Ítem | Descripción | Medición | Precio (€) |
|-------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|
| Presupuesto total | Equipos | Partidaalzada | 8.033.719,98 € |
| | Instalación de equipos | Partidaalzada | 3.213.487,99 € |
| | Tuberías | Partidaalzada | 5.623.603,98 € |
| | Instrumentación y control | Partidaalzada | 1.606.744,00 € |
| | Instalación eléctrica | Partidaalzada | 803.372,00 € |
| | Utilidades | Partidaalzada | 4.016.859,99 € |
| | Off-site | Partidaalzada | 1.205.058,00 € |
| | Edificios de proceso | Partidaalzada | 1.205.058,00 € |
| | Acondicionamiento de terrenos | Partidaalzada | 401.686,00 € |
| | Almacенamientos | Partidaalzada | 1.205.058,00 € |
| | Costes indirectos | Partidaalzada | 12.291.591,56 € |
| | Capital circulante | Partidaalzada | 5.940.935,92 € |
| | | TOTAL (€) | |

El presupuesto clase V estimado de construcción de la planta de producción de ácido cianhídrico asciende a la cantidad de CUARENTA Y CINCO MILLONES QUINIENTOS CUARENTA Y SIETE MIL CIENTO SETENTA Y CINCO CON CUARENTA (45.547.175,40) EUROS.

Santiago de Compostela, a 28 de julio de 2017

El autor del proyecto,

Jorge González Rodríguez

DOCUMENTO V

Estudios con entidad propia

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. Estudio de impacto ambiental | 4 |
| 1.1. Resumen del estudio..... | 4 |
| 1.2. Descripción del proyecto..... | 5 |
| 1.3. Análisis de alternativas viable | 6 |
| 1.3.1. Justificación de la ubicación..... | 6 |
| 1.3.2. Justificación de las soluciones tecnológicas adoptadas | 7 |
| 1.3.3. Consideraciones a tener en cuenta en el diseño..... | 7 |
| 1.3.4. Mejores técnicas disponibles (MTD) | 8 |
| 1.4. Inventario ambiental e identificación de impactos | 11 |
| 1.4.1. Aspectos físicos y biológicos | 11 |
| 1.4.2. Molestias inducidas debidas al ruido..... | 14 |
| 1.4.3. Aspectos estético-culturales | 14 |
| 1.4.4. Aspectos socioeconómicos..... | 14 |
| 1.4.5. Identificación de impactos..... | 15 |
| 1.5. Medidas para reducir los impactos | 16 |
| 1.5.1. Medidas preventivas de carácter general..... | 16 |
| 1.5.2. Medidas preventivas para minimizar el impacto atmosférico | 17 |
| 1.5.3. Medidas para minimizar impactos sobre el suelo y el agua | 17 |
| 1.5.4. Sustancias peligrosas..... | 18 |
| 1.5.5. Medidas para minimizar el impacto por ruido | 18 |
| 1.5.6. Medidas para evitar accidentes..... | 19 |
| 1.5.7. Medidas para evitar explosiones e incendios | 21 |
| 1.5.8. Medidas para la reducción del impacto visual | 21 |
| 1.5.9. Medidas para la prevención del impacto social..... | 21 |
| 1.5.10. Desmantelamiento de la instalación | 21 |
| 1.5.11. Matriz de impactos | 23 |
| 1.6. Programa de vigilancia ambiental | 23 |

| | | |
|---------|--|----|
| 1.6.1. | Descripción general..... | 23 |
| 1.6.2. | Ejecución y operación | 24 |
| 1.6.3. | Actividades de seguimiento..... | 25 |
| 1.7. | Conclusiones | 28 |
| 2. | Estudio de seguridad y salud..... | 29 |
| 2.1. | Antecedentes | 29 |
| 2.2. | Características de la obra..... | 29 |
| 2.2.1. | Reconocimiento de la zona por el Contratista..... | 30 |
| 2.2.2. | Organización previa de los trabajos | 30 |
| 2.2.3. | Licencias de ocupación de calzada, permisos de obra y otros..... | 30 |
| 2.2.4. | Organización de la zona de obra | 30 |
| 2.2.5. | Desarrollo de los trabajos | 31 |
| 2.2.6. | Tipología y características de los materiales y elementos..... | 31 |
| 2.2.7. | Tráfico rodado | 31 |
| 2.2.8. | Unidades de construcción previstas en la obra..... | 32 |
| 2.2.9. | Oficios cuya intervención es objeto de la PRL | 32 |
| 2.2.10. | Medios auxiliares previstos para la realización de la obra | 32 |
| 2.2.11. | Maquinaria prevista para la realización de la obra..... | 33 |
| 2.2.12. | Superficie prevista para acopios y talleres | 33 |
| 2.2.13. | Métodos de limpieza y recogida de escombros..... | 33 |
| 2.2.14. | Lugares de aparcamiento, reparación y mantenimiento | 34 |
| 2.2.15. | Almacenamiento y depósito de materiales | 35 |
| 2.2.16. | Delimitación de espacios y lugares o zonas de paso y circulación | 35 |
| 2.2.17. | Mantenimiento y limpieza de los servicios durante la obra | 36 |
| 2.3. | Identificación y análisis de los riesgos en el proceso productivo..... | 36 |
| 2.3.1. | Riesgos detectables más comunes | 36 |
| 2.4. | Medidas de prevención..... | 39 |
| 2.4.1. | Equipos de protección individual (EPI's)..... | 41 |
| 2.4.2. | Medidas de protección colectivas..... | 45 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.4.3. | Medidas preventivas de la maquinaria de obra | 51 |
| 2.5. | Normas de actuación preventiva | 56 |
| 2.5.1. | Seguridad durante la construcción | 56 |
| 2.5.2. | Medicina preventiva y primeros auxilios | 61 |
| 2.5.3. | Mantenimiento preventivo | 62 |
| 2.5.4. | Plan de emergencia..... | 62 |
| 2.5.5. | Plan de Seguridad y Salud..... | 63 |
| 2.5.6. | Libro de incidencias | 64 |
| 2.5.7. | Conclusiones | 64 |

1. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

1.1. Resumen del estudio

Este Estudio de Impacto Ambiental correspondiente al proyecto de la planta de producción de ácido cianhídrico tiene la finalidad de proporcionar información técnica al órgano ambiental competente acerca de los impactos que puede suponer tanto la construcción como el funcionamiento de la planta.

En este estudio se realiza una breve descripción del proyecto y del proceso de producción instalado en la planta, así como sus objetivos. Se tiene en cuenta la aplicación para cada caso de las mejores técnicas disponibles (MTD) para llevarlo a cabo, recogidas en el documento de referencia BREF transversal de producción de gran volumen de compuestos inorgánicos. El siguiente paso es la realización del inventario ambiental, en el cual se incluyen las diferentes corrientes emitidas al medio por el proceso tanto en operación normal como en situaciones excepcionales.

En la siguiente sección se realiza un análisis pormenorizado de los impactos que se podrían producir, así como las medidas preventivas o mitigadoras para minimizarlos. Por último, se elabora un Programa de Vigilancia Ambiental en el que se recogen los mecanismos de control que se deben seguir para controlar cada uno de los impactos.

La elaboración de este Estudio de Impacto Ambiental se rige por la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, en la que se recoge la necesidad de realizar el estudio para esta planta por englobarse dentro del grupo 5 (Industria química, petroquímica y textil) presentado en el anexo I. El documento debe contener, según el artículo 45 de esta Ley:

“Una evaluación de los efectos previsibles directos o indirectos, acumulativos y sinérgicos del proyecto sobre la población, la salud humana, la flora, la fauna, la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua, los factores climáticos, el cambio climático, el paisaje, los bienes materiales, incluido el patrimonio cultural, y la interacción entre todos los factores mencionados, durante las fases de ejecución, explotación y en su caso durante la demolición o abandono del proyecto.”

1.2. Descripción del proyecto

Se plantea una producción anual del producto principal de 10000 t/año, con un tiempo estimado de producción de 8000 h/año, por lo que la producción horaria es de 1250 kg/h. Este proceso consta de diferentes etapas, enumeradas a continuación:

- Acondicionamiento de los reactivos: en esta etapa se modifican las condiciones de presión y temperatura de los reactivos para conseguir trabajar en el reactor en las condiciones óptimas. Para ello, se emplean válvulas de expansión para reducir la presión del amoníaco y del metano, una soplante para aumentar la presión del aire e intercambiadores de calor de carcasa y tubos para precalentar la alimentación. Todas estas corrientes se mezclan en un tanque antes de la entrada a la zona de reacción.
- Reacción: la unidad principal de esta etapa es el reactor. Se trata de un reactor adiabático seguido de un intercambiador de calor que disminuye la temperatura de la corriente de salida para evitar polimerizaciones además de generar vapor que se utiliza en otras áreas de la planta.
- Separación de los productos y subproductos: en esta etapa, se lleva a cabo la purificación del producto principal. La eliminación de los subproductos y reactivos sin reaccionar se lleva a cabo en diferentes etapas. En una primera etapa se realiza una absorción con reacción química en la que se elimina el amoníaco haciéndolo reaccionar con una disolución de ácido sulfúrico. Se forma sulfato de amonio que se separa de la corriente gaseosa. El siguiente paso en la separación es la eliminación de los gases no condensables de la mezcla. Debido a la notable diferencia de volatilidades, esta etapa se realiza en un flash. Por último, en una columna se separa el agua del producto principal para obtener la pureza requerida.
- Almacenamientos: en ellos se almacenan los reactivos, productos y subproductos, permitiendo mayor flexibilidad tanto a la cadena de suministro de materias primas, así como a la cadena de venta de productos.

En cuanto a los recursos consumidos por la planta, se encuentran el amoníaco, el metano, el aire y el ácido sulfúrico como materias primas. Para la refrigeración y calentamiento de equipos se emplea agua de calderas y agua de refrigeración, no obstante, el aprovechamiento de la energía generada por el reactor hace que el sistema de generación de vapor trabaje en circuito cerrado minimizando el consumo de agua.

Entre los efectos ambientales producidos por la planta de producción de ácido cianhídrico se pueden destacar los siguientes:

- Emisión de gases: la corriente de gases que se elimina en el separador flash constituye la principal fuente de emisión de componentes gaseosos. Todos estos gases son enviados a una antorcha antes de su emisión, eliminando cualquier compuesto perjudicial tanto para el medio ambiente como para las personas.
- Aguas residuales: la principal salida del proceso de emisión de contaminantes líquidos se produce por colas de la columna de separación. Este efluente contiene trazas de compuestos secundarios, así como cierta cantidad de ácido cianhídrico. Por esta razón, esta corriente debe ser tratada en una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) previamente a su vertido al medio.
- Residuos: los residuos se clasifican según su peligrosidad en peligrosos y no peligrosos. Los residuos peligrosos provienen del proceso productivo, y se corresponden con materiales que estuvieron en contacto con algún compuesto tóxico presente en el proceso, como es el caso del catalizador o de los rellenos. Los residuos no peligrosos tienen su origen en mejoras de las instalaciones, reformas, así como los residuos sólidos urbanos generados en el interior de la planta.
- Ruidos: los ruidos de la planta provienen principalmente de los equipos rotativos de la planta.

1.3. Análisis de alternativas viable

1.3.1. Justificación de la ubicación

La ubicación elegida para la planta es en el polígono del Espartal II, ayuntamiento de Burgo de Ebro, en la provincia de Zaragoza. La principal razón de la elección de este emplazamiento es la cercanía con una planta de producción de nylon, un producto derivado del ácido cianhídrico. Por su naturaleza y toxicidad, este compuesto se produce en los lugares de consumo para evitar problemas derivados del transporte.

Otra de las razones del emplazamiento es la cercanía de plantas para la venta de los subproductos, lo que conlleva un mejor aprovechamiento de las materias primas. En este caso, el subproducto principal con valor en el mercado es el sulfato de amonio, utilizado como intermediario en la producción industrial de fertilizantes.

Tanto el suministro de metano como el de amoníaco no suponen un factor de decisión en el emplazamiento, ya que todas las alternativas presentan cercanías similares a las plantas de producción de amoníaco. El polígono escogido, a su vez, dispone de comunicaciones tanto por carretera como por ferrocarril, lo que permite el transporte de las materias primas hasta la planta.

1.3.2. Justificación de las soluciones tecnológicas adoptadas

Para llevar a cabo la justificación de la planta en base a las tecnologías adoptadas, se deben consultar las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para el sector en cuestión, que se encuentran recogidas en sus correspondientes documentos de referencia denominados BREF (Best Available Techniques Reference Document). En estos documentos se recogen las soluciones tecnológicas que se deben adoptar en una instalación para cumplir con los requerimientos medioambientales de valores límite de emisión. La aplicación de estas técnicas tiene como objetivo evitar, o reducir en la medida de lo posible, el impacto medioambiental y las emisiones de una planta determinada.

En el caso de la producción de ácido cianhídrico, la planta no se encuentra englobada dentro de ninguno de los sectores para los que existen documentos BREF específicos, por lo que se emplea un documento transversal que engloba las Mejores Técnicas Disponibles para la Industria Química Orgánica de Gran Volumen de Producción (LVOC). Este documento que publicado en el año 2008 y contiene un subapartado dedicado a la producción de acrilonitrilo mediante el proceso Sohio. Aunque en este documento no se trata el proceso de producción de ácido cianhídrico mediante el proceso Andrussow (utilizado en esta planta), por lo comentado en el documento de la memoria, se pueden considerar equivalentes, con una composición similar de la corriente principal y con etapas de separación iguales para ambos casos.

1.3.3. Consideraciones a tener en cuenta en el diseño

Para el caso de las materias primas y reactivos, la alimentación del gas natural y del amoníaco se recomienda a través de canalizaciones, sin embargo, comenta la posibilidad de transporte mediante ferrocarril o transporte marítimo. El almacenamiento del amoníaco se debe realizar en tanques a presión atmosférica refrigerados o en tanques esféricos a presión y a temperatura ambiente. El ácido sulfúrico se almacena en tanques a presión atmosférica y se emplea el aire como fuente de oxígeno, pudiéndose emplear oxígeno puro para mejorar el rendimiento del proceso.

En el caso del reactor, la reacción de acrilonitrilo es muy similar a la producida en el proceso Andrussow. En ella se genera principalmente agua y ácido cianhídrico, mezclados con subproductos.

Para el proceso Sohio, el enfriamiento se lleva a cabo poniendo en contacto directo una corriente ácida o básica con la corriente principal de proceso. En el caso de emplear ácido, se produce la reacción entre el ácido sulfúrico y el amoníaco para producir sulfato de amonio, además de eliminar de la corriente principal el amoníaco no reaccionante. En el caso del proceso

Andrussow, esta operación se realiza en dos etapas separadas, lo que permite la recuperación de energía de la corriente de salida del reactor. En primer lugar, se enfría la salida en un intercambiador de carcasa y tubos en el que se genera vapor de alta presión y posteriormente se hace circular en contracorriente con una disolución de ácido sulfúrico para que se produzca la reacción.

La salida líquida del absorbedor se debe tratar por cristalización para formar un producto en forma de sal. Según el BREF, muchos de los procesos incorporan la etapa de cristalización en el mismo enfriamiento quench, pero esta etapa se puede realizar en una unidad independiente.

Para la sección de recuperación, se dispone de una corriente de gases que contienen principalmente nitrógeno (incorporado junto con el oxígeno en la alimentación), además de óxidos de carbono, metano no reaccionante, y trazas de subproductos. Todo ello se encuentra mezclado con el producto principal y agua. La separación se lleva a cabo en un scrubber, en el que se hace circular agua a contracorriente para absorber el ácido cianhídrico.

Para la purificación, se lleva la corriente anterior procedente de colas a una columna de secado en la que el producto principal se separa del agua para obtenerlo con la pureza deseada.

Como productos químicos auxiliares, se contemplan los siguientes:

- Ácido sulfúrico, para la estabilización del amoníaco no reaccionante.
- Catalizador, para llevar a cabo la reacción deseada y minimizar la formación de subproductos. En este caso se utiliza una aleación de platino y rodio.
- Dióxido de azufre o ácido fosfórico como estabilizantes del ácido cianhídrico, para evitar que se desencadenen reacciones de polimerización.

Los aspectos energéticos indicados por el BREF se refieren al reactor, y en el caso del acrilonitrilo se trata de una reacción exotérmica, mientras que en el caso del ácido cianhídrico es endotérmica, por lo tanto, no se puede tener en cuenta este apartado del documento.

1.3.4. Mejores técnicas disponibles (MTD)

1.3.4.1. Emisiones gaseosas

Las posibles emisiones gaseosas del proceso se presentan en la siguiente tabla. En muchos casos, estas emisiones deben ser llevadas a antorcha, oxidadas (térmica o catalíticamente), o enviadas a un quemador o una planta de energía para su aprovechamiento como combustibles. La composición de este efluente es variable porque generalmente se mezclan diferentes corrientes.

Para la realización de los cálculos se considera por convención una eficiencia de combustión del 100%.

Emisiones gaseosas del absorbedor

Una vez eliminado el amoníaco de la corriente principal, en el absorbedor se separan los subproductos y reactivos no reaccionantes del producto principal. De la corriente de cabezas de esta unidad se obtiene un efluente que se debe liberar a la atmósfera. Esta corriente contiene principalmente metano y oxígeno que no reaccionaron, monóxido y dióxido de carbono, trazas de óxidos de nitrógeno y vapor de agua, junto con trazas de ácido cianhídrico. En Europa, únicamente una planta libera la corriente a la atmósfera sin ningún tratamiento. Como medidas se propone en primer lugar la minimización de las corrientes gaseosas y en segundo lugar el tratamiento de la corriente.

Para minimizar el volumen y la carga de contaminantes del gas de escape, la mejor técnica disponible (MTD) consiste en optimizar tanto el catalizador como las condiciones de operación para minimizar la formación de compuestos no deseados. Se podría contemplar la posibilidad de enriquecer la alimentación con oxígeno puro para aumentar selectividad y conversión, sin embargo, esta modificación se debe estudiar tras un análisis completo del proceso.

La corriente gaseosa, una vez optimizado el proceso y reducida la carga de contaminante, debe pasar por la etapa de eliminación de los compuestos tóxicos. La mejor técnica disponible (MTD) recogida en el BREF consiste en llevar a cabo una combustión térmica-catalítica que incluya recuperación de energía (alimentando la línea de vapor de la planta).

Otras emisiones puntuales

Pueden producirse otra serie de emisiones puntuales procedentes de venteos de columnas de destilación y de tanques de almacenamiento. Para estas emisiones se emplea como mejor técnica disponible, al igual que para las del absorbedor, una antorcha que permita convertir los compuestos combustibles en productos de combustión. Se evitará el envío de sustancias que puedan ocasionar la formación de compuestos orgánicos volátiles (COV) que puedan provocar daños tanto en el medio ambiente como en los seres vivos.

Como MTD alternativas, se propone el tratamiento mediante otras técnicas como el lavado que permitan el reciclaje de los productos al proceso, sin embargo, esta opción no se considera por tratarse de emisiones puntuales.

Emisiones fugitivas

Para cualquier otro tipo de emisión debida a inadecuada contención del proceso, se debe vigilar que no se supere en ningún caso los valores límite de exposición (VLE) para los trabajadores de la planta.

1.3.4.2. Emisiones líquidas

Los efluentes acuosos procedentes de la planta son los siguientes:

1. Corriente de fondos del separador T-301
2. Corriente de fondos del separador T-302
3. Corrientes discontinuas, debidas a operaciones de limpieza y mantenimiento de equipos.

En la corriente de fondos del separador T-301 se obtiene una disolución acuosa de sulfato amónico, que puede contener trazas de subproductos. La mejor técnica disponible (MTD) para el tratamiento de esta corriente es la separación del compuesto mediante cristalización, lo que permite su aprovechamiento como subproducto, en la industria de los fertilizantes. Otra opción es el tratamiento en una unidad de recuperación de ácido sulfúrico para minimizar el consumo de este reactivo.

Para la corriente de fondos del separador T-302, se debe maximizar la separación del agua de los compuestos orgánicos mediante destilación, por lo tanto, optimizar las condiciones de operación. El agua restante se debe trasladar a una estación depuradora de aguas residuales con tratamiento biológico.

Para las corrientes discontinuas, la MTD es la depuración también mediante tratamiento biológico. Tanto para el caso anterior como para éste, en caso de no disponer de este tipo de tratamiento se puede emplear una columna de destilación para conseguir un efluente de calidad equivalente.

El documento BREF consultado, por tratar la producción de acrilonitrilo, presenta mejores técnicas disponibles para otras corrientes de las que no se dispone en este proceso, sin embargo, el tratamiento de todas las emisiones tanto líquidas como gaseosas de la instalación queda reflejado en este documento.

1.4. Inventario ambiental e identificación de impactos

En este apartado, se recogen todos los impactos que la instalación de la planta puede ocasionar en el entorno. Para ello se describen todas las características del emplazamiento (zona de estudio) y se observa cuales se pueden ver modificadas tras la implantación de la instalación.

Para llevar a cabo este estudio, se deben analizar multitud de factores, entre los que se encuentran factores biológicos y físicos, molestias, impacto visual o impacto socioeconómico.

1.4.1. Aspectos físicos y biológicos

1.4.1.1. Clima

El estudio de las características climáticas del lugar permite comprender los demás factores del medio, ya que tanto la flora, la fauna como el tipo de suelo dependen de las condiciones climáticas a las que estén sometidos.

El emplazamiento elegido se encuentra dentro del polígono de El Espartal II, ayuntamiento de El Burgo de Ebro, provincia de Zaragoza. En este emplazamiento predomina un clima de tipo estepario, clasificado según la clasificación climática de Köppen como BSk. Según esto se caracteriza por:

- B: esta letra indica un clima seco, caracterizado por una precipitación anual escasa.
- S: esta letra constituye una subdivisión dentro de los climas áridos, y especifica el grado de aridez. La S significa que las lluvias medias anuales se encuentran entre un 50 % y un 100 % de la temperatura media anual multiplicada por 20.
- k: indica que la temperatura media anual no supera los 18 °C.

Este tipo de clima se encuentra en zonas de transición entre el clima mediterráneo (Csa) y el desértico (BW). Se conoce también como *mediterráneo seco* y en estas zonas la vegetación es escasa. Todos los datos acerca del clima de la región se presentan en la memoria, en el apartado de selección de emplazamiento.

1.4.1.2. Calidad del aire

La normativa relativa a la calidad del aire se encuentra recogida en el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. En su artículo 1 se presenta el objeto, que recoge los siguientes puntos:

“a) Definir y establecer objetivos de calidad del aire, de acuerdo con el anexo III de la Ley 34/2007, con respecto a las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y

óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel y benzo(a)pireno en el aire ambiente.

b) Regular la evaluación, el mantenimiento y la mejora de la calidad del aire en relación con las sustancias enumeradas en el apartado anterior y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) distintos al benzo(a)pireno.

c) Establecer métodos y criterios comunes de evaluación de las concentraciones de las sustancias reguladas en el apartado 1, el mercurio y los HAP y de los depósitos de arsénico, cadmio, mercurio, níquel y HAP.

d) Determinar la información a la población y a la Comisión Europea sobre las concentraciones y los depósitos de las sustancias mencionadas en los apartados anteriores, el cumplimiento de sus objetivos de calidad del aire, los planes de mejora y demás aspectos regulados en la presente norma.

e) Establecer, para amoníaco (NH₃), de acuerdo con el anexo III de la Ley 34/2007, métodos y criterios de evaluación y establecer la información a facilitar a la población y a intercambiar entre las administraciones.”

Teniendo en cuenta las emisiones gaseosas que tienen lugar en el proceso, los compuestos recogidos en la legislación que pueden deteriorar la calidad del aire producidos por la planta son los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono.

Según lo indicado en las mejores técnicas disponibles presentadas anteriormente, la corriente que puede contener este tipo de compuestos (procedente del flash) debe pasar por antorcha antes de ser vertida a la atmósfera. Considerando que los valores límite de emisión se elaboran a partir de los conseguidos aplicando la mejor técnica disponible, si este equipo trabaja en las condiciones adecuadas, la cantidad de compuestos emitidos no debe superior al límite de emisión.

El resto de compuestos emitidos a la atmósfera son productos de combustión: vapor de agua, dióxido de carbono; compuestos que no combustionan como el nitrógeno, así como el oxígeno incorporado en exceso. Tanto las emisiones de oxígeno, nitrógeno como vapor de agua no presentan límites de emisión por tratarse de compuestos no perjudiciales para la atmósfera.

Las emisiones de dióxido de carbono, por ser un gas de efecto invernadero, se rigen por el Real Decreto 101/2011, de 28 de enero, por el que se establecen las normas básicas que han de regir los sistemas de acreditación y verificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y los datos toneladas-kilómetro de los operadores aéreos y de las solicitudes de asignación gratuita transitoria de instalaciones fijas en el ámbito de aplicación de la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por

la que se regula el régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. En este Real Decreto se establecen tanto los límites de emisión como los mecanismos de control de emisiones.

1.4.1.3. Flora y fauna

La flora del clima mediterráneo seco se caracteriza por disponer de vegetación escasa, de tipo xerófilo, es decir, con especies de raíces profundas. La especie más extendida es la encina carrasca, que puede formar bosques cerrados y bosques abiertos. Otra especie abundante es el alcornoque, que crece sobre todo en suelos silíceos. Predominan los suelos poco fértiles y sin desarrollar, y los suelos más ricos se concentran en los valles de los ríos, formados por los sedimentos arrastrados por el agua.

Los escasos bosques suelen localizarse en áreas de montaña, y son característicos los de roble melojo en las umbrías de las laderas de las montañas, así como los pinares de diferentes especies. Los bosques de ribera están formados por olmos, sauces, alisos y fresnos. Para zonas en las que se ha perdido el bosque aparece matorral, con arbustos en formaciones más o menos abiertas. Este matorral puede ser de dos tipos: sobre suelos silíceos se da el maquis, formado por madroños, acebos y brezos; sobre suelos calcáreos aparece la garriga, compuesta por coscoja, lentisco y acebuche.

En cuanto a la fauna, es variada, y abundan las aves migratorias: en verano crían aves que migran en invierno a zonas más cálidas y en invierno llegan aves que migran a estas zonas tras haber criado en otras regiones más frías. Abundan los reptiles y pequeños mamíferos, como roedores, conejos y liebres, que soportan una comunidad de depredadores integrada por mamíferos de gran tamaño como zorros y lince, y por aves rapaces como milanos y cernícalos.

El suelo de estas regiones se denomina suelo pardo mediterráneo, un suelo a menudo degradado debido a explotación intensiva, falta de arbolado, incendios y pastoreo.

Dado que la planta se ubica en un polígono industrial, el impacto paisajístico no presenta gran importancia ya que se trata de un espacio habilitado para este fin. Además, al ser suelo habilitado, el impacto sobre la flora y la fauna es mínimo.

Se debe tener precaución con los daños derivados del transporte, tanto de materias primas como de productos. Esta etapa del proceso se debe llevar a cabo en camiones y trenes adecuados para evitar escapes que puedan provocar impacto tanto en la flora como en la fauna del lugar.

1.4.1.4. Hidrología

El emplazamiento se encuentra entre el Canal Imperial de Aragón, que le sirve de suministro de agua al polígono y se encuentra cercano al río Ebro. Esto provoca que se deban controlar los vertidos accidentales de equipo mediante la instalación de un sistema de recogida de aguas que permita su depuración en una estación depuradora antes de su vertido al medio ambiente.

1.4.2. Molestias inducidas debidas al ruido

En este apartado se trata la repercusión de la instalación de la planta con respecto al ruido. Los mayores equipos generadores de ruido en la planta son los equipos rotativos, por lo que éstos deben cumplir la legislación referente a los niveles máximos de ruido permitidos. El polígono se encuentra alejado de núcleos de población, rodeado de otras industrias pertenecientes a este polígono. Por lo tanto, la instalación de la planta no supondrá grandes cambios en los niveles de ruido de la zona.

1.4.3. Aspectos estético-culturales

Por localizarse la planta en un polígono industrial, el impacto visual de la construcción es menor, ya que se trata de una zona habilitada para esto, y alrededor se encuentran otras instalaciones que también presentan impacto visual.

En relación con el patrimonio histórico-artístico, en el emplazamiento escogido no se localiza ningún monumento de interés cultural ni ningún yacimiento arqueológico, por lo que el impacto sobre este tipo de construcciones es nulo.

1.4.4. Aspectos socioeconómicos

A 1 de enero de 2016, según el Instituto Aragonés de Estadística, el ayuntamiento de El Burgo de Ebro, en el cual se localiza la planta, consta de 2.383 censados, y la evolución de población en los últimos años ha sido al alza. Con respecto a distribución de las actividades económicas, la industria supone el 68,3 % de las afiliaciones a la seguridad social, seguida del sector servicios con un 24,9 % y la construcción con un 4,9 %.

Los principales demandantes de empleo en esta zona, según ocupación, son los peones en industrias, por lo tanto, la instalación de la planta en este ayuntamiento permitiría la creación de puestos de trabajo para habitantes del municipio, lo que supondría una repercusión económica positiva para la zona, en la que se vería reducida la tasa de desempleados. En caso de necesitar

más personal, la localidad más cercana es Zaragoza, por lo que el impacto a esta ciudad también sería positivo.

1.4.5. Identificación de impactos

Todos los impactos enunciados anteriormente se pueden caracterizar siguiendo diferentes aspectos presentados a continuación:

- Extensión: mide la influencia del impacto en relación con el entorno del proyecto (medida en % de superficie con respecto al entorno en que se manifiesta el efecto).
- Duración: permite distinguir entre efectos según el tiempo que tengan lugar. Según este aspecto se distinguen:
 - o Efectos temporales: por ejemplo, el ruido de una obra. Cuando cesa la actividad deja de existir el efecto.
 - o Efectos permanentes: el efecto se mantiene, aunque cese la actividad, como ocurre por ejemplo en explotaciones mineras.
 - o Efectos intermitentes: el efecto está ligado a una actividad discontinua, por tanto, sólo se da cuando se realiza esta actividad.
- Repercusión: según el ámbito en el que repercute determinado efecto.
- Efecto producido: según el efecto produzca cambios reversibles o no, se distingue entre:
 - o Efectos reversibles: cuando cesa la actividad, se vuelve a las condiciones preoperacionales.
 - o Efectos irreversibles: las condiciones iniciales no se recuperan.
 - o Efectos recuperables: tras cierto tiempo, se recuperan las condiciones iniciales.
- Tipo de daño: los efectos se clasifican también según el tipo de daño en:
 - o Inmediatos.
 - o Producidos pasado un tiempo.

En cuanto al medio físico y biológico, tanto el clima como la flora y la fauna de la zona no se verán afectadas por la construcción de la planta, ya que el área de emplazamiento es un solar habilitado como suelo industrial. Se pueden considerar como impactos negativos los referentes a

la disminución de la calidad del aire por las emisiones gaseosas, el suelo por posibles derrames en el transporte o filtraciones de la planta, así como la hidrología, por los vertidos de los efluentes líquidos, que, aun tratados en estaciones depuradoras, provocan impacto.

Durante la fase de construcción los impactos más notables son debidos al acondicionamiento del terreno, la manipulación de materias primas, el tráfico debido al transporte de los equipos, el funcionamiento de vehículos pesados, así como el funcionamiento de maquinaria de obra civil. Los desplazamientos de tierra provocan emisión de material particulado a la atmósfera. El empleo de maquinaria pesada ocasiona compactación del terreno y pérdida de suelo. Por otra parte, la utilización de maquinaria que emplee combustibles fósiles genera emisiones contaminantes a la atmósfera, así como posibles fugas de combustible y aceites. Durante esta fase también es habitual la producción de aguas residuales procedentes de excavaciones o lavados.

En la fase de explotación, la calidad del aire se ve afectada por las emisiones gaseosas comentadas anteriormente, y sobre todo por aquellas ocasionales debidas a fallos en las conexiones o fugas. Asimismo, la calidad de las aguas se puede ver afectada por posibles derrames de líquidos de proceso que superen los drenajes. Los tanques de almacenamiento están provistos de cubetos de retención para evitar derrames accidentales.

Aplicando correctamente las medidas adecuadas, así como las mejores técnicas disponibles, se pueden reducir al mínimo los impactos ambientales negativos. Como impacto positivo se destaca la creación de empleo en la zona además de riqueza para el ayuntamiento, tanto por la venta del producto final como por los salarios a los trabajadores de la zona.

1.5. Medidas para reducir los impactos

En este apartado se presentan las principales medidas tanto correctoras como preventivas que se deben adoptar para minimizar al máximo posible los impactos negativos presentados anteriormente.

1.5.1. Medidas preventivas de carácter general

1.5.1.1. Buenas prácticas generales de obra

En la fase de obra se deben llevar a cabo medidas para minimizar las molestias a la población circundante y limitar posibles daños a la calidad del suelo, aire o agua. Algunas de las medidas que se pueden aplicar son: evitar llevar a cabo las labores de mantenimiento de los vehículos y maquinaria sobre el terreno para evitar derrames accidentales, reducir al máximo el

ruido efectuado, eliminar ruidos innecesarios, así como reducir las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero de los vehículos realizando un buen mantenimiento.

1.5.1.2. Selección de suministradores y contratistas

A la hora de la elección de suministradores y contratistas, se debe tener en cuenta, además de criterios económicos, criterios medioambientales que ofrezcan garantías de que su proceso sigue una correcta gestión medioambiental.

Los residuos generados derivados de la etapa de construcción, se deben gestionar según su categoría, realizando separación de los diferentes tipos y entregándolos a gestores especializados. El almacenaje de los residuos desde su generación hasta la recogida para llevar a cabo la gestión, se debe realizar en un lugar seguro para evitar contaminación tanto de suelo por lixiviados como de la atmósfera por material particulado y compuestos peligrosos.

1.5.2. Medidas preventivas para minimizar el impacto atmosférico

En la fase de construcción se deben minimizar los impactos sobre el aire llevando a cabo buenas prácticas que permitan dicho fin.

Como medidas preventivas en la fase de explotación de la planta, se deben aplicar las mejores técnicas disponibles (MTD) correspondientes a las diferentes emisiones gaseosas del proceso. Estas técnicas se recogen en el apartado 1.2. de este estudio.

1.5.3. Medidas para minimizar impactos sobre el suelo y el agua

1.5.3.1. Medidas generales en obra

El objetivo principal es la minimización de los daños que los impactos puedan tener sobre el suelo y las aguas cercanas, siguiendo los puntos presentados a continuación:

- Revisión periódica de maquinaria y equipos.
- Limpieza de vehículos en sitios acondicionados.
- Evitar el vertido de sólidos en suspensión a las aguas sin tratamiento previo.
- Almacenamiento de materias primas adecuado separado del área de producción para evitar impactos que puedan causar derrames.
- Construcción de naves con solera de hormigón para evitar filtraciones.

1.5.3.2. Prevención de fugas y derrames

Además de los efluentes líquidos del proceso comentados anteriormente, se deben tener en cuenta derrames o fugas accidentales que se puedan producir tanto en el exterior como en el interior de la instalación. La repercusión de estas fugas y derrames en el ámbito económico tiene gran repercusión, porque conllevan operaciones de limpieza, saneamiento y eliminación de residuos, sin embargo, también presentan una repercusión en los ámbitos de salud y medio ambiente.

Cualquier tipo de vertido de un producto químico origina residuos y emisiones peligrosas. Con el fin de disminuir la posibilidad de vertidos se deben cumplir una serie de medidas correctoras como almacenar los materiales peligrosos en zonas donde la probabilidad de fugas sea menor, o realizar estudios de prevención y dimensionamiento de fugas tanto en la fase de diseño como mientras se opera la planta.

1.5.4. Sustancias peligrosas

En todo lo referido a sustancias peligrosas, se debe cumplir lo establecido en el Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. Éste tiene por objeto la prevención de accidentes graves en instalaciones industriales en los que intervengan sustancias clasificadas como peligrosas, así como la limitación de las consecuencias, con el fin de proteger al medio ambiente, los bienes y la salud de las personas.

1.5.5. Medidas para minimizar el impacto por ruido

El mayor incremento en el nivel de ruido se produce durante la fase de construcción de las obras, de forma temporal, debido al movimiento de maquinaria pesada y otros elementos generadores de ruido como taladradoras o martillos neumáticos. Durante la fase de operación, el funcionamiento normal de la planta no debería incrementar los niveles de ruido del polígono de manera significativa.

Uno de los principales factores generadores de ruido tanto en la fase de construcción como en la de operación es el tráfico rodado, por lo tanto, la medida correctora en este caso es mejorar la fluidez del tráfico, para cumplir con la normativa vigente en cuanto a niveles de emisión de ruidos.

1.5.6. Medidas para evitar accidentes

Para evitar accidentes o incidentes en la instalación, se deben seguir una serie de normas presentadas a continuación:

- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
 - Derogado el art. 18 y se modifica el 19.1, por Real Decreto 337/2010, de 19 de marzo.
 - Modificados los arts. 13.4 y 18.2, por Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto.
 - Añadida una disposición adicional única, por Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo.
 - Modificado el anexo IV, por Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
 - Se modifican:
 - los arts. 11, 18, 23 y 25 a 28, por Real Decreto 899/2015, de 9 de octubre.
 - los anexos I, VII y VIII, por Real Decreto 598/2015, de 3 de julio.
 - Se desarrolla, por Orden TIN/2504/2010, de 20 de septiembre.
 - Se deroga la disposición transitoria 3 y se modifican los arts. 2.4, 11.1, 15.5, 17 a 21, 23 a 30, 33, 37.2 y la disposición final, por Real Decreto 337/2010, de 19 de marzo.
 - Se modifica:
 - el art. 4.1 y se añade los anexos VII y VIII, por Real Decreto 298/2009, de 6 de marzo.
 - los arts. 1, 2, 7, 16, 19 a 21, 29 a 32, 35 y 36 y añade el 22 bis, 31 bis, 33 bis y las disposiciones adicionales 10, 11 y 12, por Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo.
 - el art. 22, por Real Decreto 688/2005, de 10 de junio.

- las disposiciones final segunda y adicional quinta, por Real Decreto 780/1998, de 30 de abril.
- Se dicta de conformidad:
 - sobre Acreditación de las entidades Especializadas como servicios de Prevención Ajenos a las empresas: Orden de 27 de junio de 1997.
 - regulando el funcionamiento de las Mutuas de Accidentes de Trabajo en Actividades de Prevención de Riesgos Laborales: Orden de 22 de abril de 1997.
- Real Decreto 780/1998, de 30 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención.
- Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 337/2010, de 19 de marzo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención; el Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción.
 - Se dicta de conformidad la disposición final 1, estableciendo los criterios básicos sobre organización de recursos de los servicios de prevención: Real Decreto 843/2011, de 17 de junio.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales, con todas las modificaciones y derogaciones de artículos recogidas en las diferentes publicaciones del BOE.
- Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Se debe realizar un análisis de riesgos para detectar los puntos de la planta en los que existe una mayor probabilidad de sufrir accidentes.

1.5.7. Medidas para evitar explosiones e incendios

Una de las principales causas de los incendios son los cortocircuitos en las instalaciones eléctricas, por ello la planta debe cumplir con lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), recogido en el Real Decreto 842/2002, del 2 de agosto. Además, la instalación debe cumplir con lo establecido por el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Según lo indicado por la legislación, las instalaciones están obligadas a elaborar un Plan de Emergencia Interior, en el que se reflejen las acciones que se deben tomar al detectar una emergencia en la planta, y este plan estará sujeto a inspecciones anuales del Departamento de Industria además de visitas periódicas de los Bomberos.

1.5.8. Medidas para la reducción del impacto visual

Dado que la instalación se encuentra en un polígono industrial habilitado para el emplazamiento de instalaciones industriales, el impacto visual no será significativo, de acuerdo a lo expuesto anteriormente. No obstante, se minimizará este impacto mediante la instalación de barreras visuales entre las instalaciones y el medio circundante.

1.5.9. Medidas para la prevención del impacto social

En este caso, dado que el impacto económico y social de la instalación de la planta es positivo, no se considera la aplicación de medidas preventivas para minimizar este impacto. Sin embargo, se debe mantener informada a la población sobre los riesgos de la actividad industrial y las medidas de seguridad que se toman para minimizarlos, para así evitar una situación de malestar en la población que pueda desencadenar malas relaciones.

1.5.10. Desmantelamiento de la instalación

Cuando la instalación finalice el período de servicio, se debe prestar atención a los residuos tóxicos y peligrosos que puedan permanecer y establecer procedimientos de retirada y gestión segura de estos residuos. Con estas medidas se reduce al máximo el impacto ambiental evitando la contaminación del medio. Además, se deben especificar las medidas de seguridad que deben tomar los trabajadores que lleven a cabo el desmantelamiento.

El procedimiento a seguir se refleja en los siguientes puntos:

1. Derribo mediante empuje o tracción.

2. Demolición con herramientas manuales.
3. Demolición con martillo rompedor sobre máquina.
4. Utilización de tenazas para rotura.
5. Derribo por golpeo.
6. Fracturación.
7. Demolición por corte y perforación.
8. Desmonte y desguace.

Todos los residuos generados tras el desmantelamiento, según su procedimiento de derribo, tamaño, tipología o posibilidad de aprovechamiento se pueden destinar a diferentes fines, como venta como chatarra, vertederos controlados, reutilización o recuperación o entrega a un gestor autorizado de residuos.

1.5.11. Matriz de impactos

Para recoger de manera visual las conclusiones de este estudio, se elabora una matriz de impactos de la instalación, una matriz causa-efecto sobre todos los aspectos recogidos anteriormente. Como simbología, se emplea el signo – para indicar efectos negativos, el signo | para marcar los impactos insignificantes y el signo + para los efectos positivos. Se analiza el impacto ambiental tanto para la etapa de construcción como para la de operación:

| | Fase de obra | | | | Fase de explotación | |
|----------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------------|--|
| | Acondicionamiento de terrenos | Funcionamiento de maquinaria | Almacenamiento del material | Construcción y montaje | Funcionamiento correcto de la planta | Funcionamiento incorrecto de la planta (fugas, derrames, ...) |
| Clima | | | | | | |
| Atmósfera | - | - | - | | - | - |
| Hidrosfera | - | - | - | | | - |
| Biosfera | | | | | | |
| Ruidos | - | - | | | | |
| Impacto visual | | | | | | |
| Socioeconómico | | | | + | + | |

Figura 1. Matriz de impactos de la instalación

1.6. Programa de vigilancia ambiental

1.6.1. Descripción general

El Programa de Seguimiento y Vigilancia Ambiental tiene como objetivo establecer los mecanismos necesarios que permitan el control de los posibles daños medioambientales que puede ocasionar el proyecto en el entorno. Este programa cumple con los siguientes puntos:

- Seguimiento y control de las diferentes actuaciones llevadas a cabo a lo largo de la obra de ejecución del proyecto. Este seguimiento abarca tanto el período de obras como el de garantía.
- Seguimiento y control de las condiciones ambientales durante la fase de explotación.

Este programa de vigilancia lo lleva a cabo una entidad ajena a todas las implicadas en el diseño y construcción del proyecto, y debe encontrarse integrada en la asesoría fiscal del proyecto, así como estar ligada a la dirección de obra. Los dos medios que permiten el desarrollo del programa son los siguientes:

- Medios humanos: las labores de seguimiento durante el período de obras serán realizadas por una persona con experiencia en el campo medioambiental, que disponga de los conocimientos necesarios sobre el medio ambiente como para poder llevar a cabo el estudio. Además, para interpretar los datos y solucionar problemas debe disponer de un equipo de consultores externos en cada uno de los temas objeto de estudio.
- Medios materiales: el equipo de vigilancia encargado de realizar el estudio debe disponer de los materiales e instrumentos necesarios para realizar las medidas pertinentes.

1.6.2. Ejecución y operación

La realización del Programa de Vigilancia Ambiental debe seguir un orden predeterminado que simplifica el trabajo de los operarios a la vez que minimiza fallos.

El primer paso es especificar los medios tanto humanos como materiales que se van a utilizar, y preparar todo el material que sea necesario, comprobando que se encuentre en bien estado. Una vez realizada esta acción, se puede comenzar con la recogida de datos, de forma periódica. Estos datos se almacenan y clasifican en un archivo para la posterior interpretación de los mismos. Todo esto lleva a un conocimiento pormenorizado de cada uno de los impactos en el medio ambiente y permite evaluar el grado de aplicación de las medidas correctoras, así como identificar el origen de los fallos.

El segundo paso es el cierre del ciclo de realimentación. En esta etapa se realizan cambios y mejoras en el programa. La asesoría fiscal decide los cambios en el programa para obtener un mejor resultado. En cada una de las etapas comentadas anteriormente, es necesario elaborar una serie de documentos:

- Archivo de medios materiales, en el que se recoge toda la información sobre los medios materiales empleados en el programa. Se deben tener en cuenta hojas de especificaciones, fichas técnicas, necesidades de mantenimiento, así como reparaciones.
- Diario de seguimiento ambiental: en él se recopila toda la información obtenida en las observaciones, así como las acciones correctoras llevadas a cabo. En este diario se reflejan también las incidencias que tuvieron lugar, además de las medidas de seguridad llevadas a cabo. Debe estar disponible para las autoridades ambientales siempre que se requiera.
- Informes-resumen periódicos: las observaciones anotadas en el diario de seguimiento se resumen en informes, elaborados por la asesoría fiscal. En estos informes también se recogen las conclusiones de los estudios, así como las recomendaciones para minimizar el impacto.
- Informe anual de medidas correctoras: en él se refleja la eficacia y el grado de implantación de las medidas correctoras. Estas nuevas medidas se incluirán en los siguientes casos:
 - o Si se produce insuficiencia en las medidas correctoras tomadas.
 - o Si se producen nuevos impactos ambientales.
 - o Si el avance de la tecnología permite aplicar sistemas más eficaces.

1.6.3. Actividades de seguimiento

En este epígrafe se indican, para cada uno de los impactos estudiados, los aspectos que se deben controlar, su periodicidad, los medios, los objetivos, los medios de control o los valores límite que no se deben superar. Este análisis de seguimiento se realizará para el clima, calidad del agua y del aire, flora y fauna, ruido e impacto visual, y al igual que para apartados anteriores, se distingue entre fase de obra y de operación.

1.6.3.1. Clima

- Aspecto a controlar: variables climáticas.
- Objeto: comprobar que la instalación de la planta no produce ninguna alteración en el clima de la zona, comparado con los valores habituales.
- Ubicación: los datos se recogen de las estaciones meteorológicas más cercanas, cuyos datos aparecen publicados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

- Medio de control: recopilación de los datos obtenidos.
- Duración y periodicidad: se realizan controles mensuales independientemente de la fase en la que se encuentre la planta.
- Parámetros de control: temperatura, precipitaciones, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento.

1.6.3.2. Calidad del aire

- Aspecto a controlar: calidad del aire en los alrededores de la planta.
- Objeto: comprobar que la instalación de la planta no produce ninguna alteración en la calidad del aire de la zona, comparado los resultados obtenidos con los valores habituales históricos.
- Ubicación: los datos se recogen en los puntos de movimiento de maquinaria para la fase de obra y cerca de los focos de emisión a la atmósfera en la fase de operación.
- Medio de control: dispositivo medidor de la concentración de gases perjudiciales en el aire.
- Duración y periodicidad: se lleva a cabo un control en continuo, ya que la calidad del aire es uno de los aspectos más importantes a la hora de controlar el impacto ambiental.
- Parámetros de control: concentraciones en aire de gases tóxicos o de efecto invernadero, así como cantidad de material particulado en suspensión, sobre todo en la fase de obras.

1.6.3.3. Hidrología

- Aspecto a controlar: calidad de las aguas superficiales en las que se produce la descarga de efluentes (previamente tratados en una estación depuradora) así como control de la calidad de los depósitos de aguas subterráneas, para comprobar la existencia de lixiviados.
- Objeto: comprobar que la instalación de la planta no produce ninguna alteración en la calidad del agua de la zona, comparado los resultados obtenidos con los valores habituales históricos.
- Ubicación: los datos se recogen en la misma planta de producción.

- Medio de control: medida de diferentes parámetros del agua recogiendo muestras que posteriormente se envían a laboratorio para su análisis.
- Duración y periodicidad: se lleva a cabo un control en continuo, ya que la calidad de las aguas es fundamental además de detectar cualquier vertido.
- Parámetros de control: comprobar correcta manipulación de los residuos, correcta identificación de los vertidos producidos, así como orden y limpieza adecuados en la instalación.

1.6.3.4. Flora y fauna

- Aspecto a controlar: modificación del número de especies tanto vegetales como animales causada por la implantación de la instalación.
- Objeto: controlar que la instalación, tanto en la fase de obra como en la de operación, no tiene influencias sobre la flora y la fauna del lugar.
- Ubicación: alrededor de la instalación.
- Medio de control: observación del ecosistema por parte de un especialista.
- Duración y periodicidad: se lleva a cabo una inspección mensual durante la fase de obra y para la fase de mantenimiento sólo se debe llevar a cabo un estudio en caso de vertido accidental o fuga.
- Parámetros de control: variación de la flora y fauna en los alrededores de la planta.

1.6.3.5. Ruido

- Aspecto a controlar: nivel de ruido.
- Objeto: comprobar que tanto la construcción como la operación de la planta no producen ningún tipo de molestia sonora.
- Ubicación: datos recogidos en la misma parcela.
- Duración y periodicidad: mensualmente durante las obras y al comienzo de la actividad de la planta. No se realiza otra medida hasta que se produzca alguna incidencia.
- Parámetros de control: medir el nivel de ruido, comprobando que no se supera el límite establecido por la normativa.

1.6.3.6. Impacto visual

- Aspecto a controlar: impacto visual derivado de la instalación de la planta como alteraciones en el paisaje.
- Objeto: controlar que la construcción y funcionamiento de la obra no produzcan más impacto del necesario en la zona de implantación.
- Ubicación: en la parcela.
- Medio de control: observación visual.
- Duración y periodicidad: diariamente durante las obras y al comienzo de la actividad productiva.
- Parámetros de control: comprobar que la zona cumple con los requisitos de orden y limpieza durante las fases de obra.

1.7. Conclusiones

Tras la realización del estudio, en vista de los resultados obtenidos, se puede extraer una valoración global del impacto de la planta sobre el medio ambiente. Predominan los impactos compatibles, aunque existen ciertos impactos moderados sobre los que se debe implantar medidas correctoras tanto de prevención como de mitigación. Los impactos más significativos son los siguientes:

- Durante las obras, predominan los impactos referentes a la calidad del aire, por la emisión de compuestos orgánicos y partículas en suspensión, así como los referentes al ruido, por la utilización de maquinaria pesada.
- Algunos de los productos empleados en el proceso productivo son tóxicos, por lo que se debe garantizar un almacenamiento y una gestión de sus residuos adecuada.
- Durante la operación, se producen emisiones gaseosas de gases de efecto invernadero, que pueden afectar a la calidad del aire, además, las emisiones líquidas pueden afectar al medio si se trata de derrames o fugas no controladas.

Como impacto positivo, se destaca el socioeconómico, ya que la región posee demandantes de empleo relacionados con el sector industrial. La mejora de la empleabilidad de estos trabajadores permite mejorar la situación del sector servicios.

2. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

En este estudio se hace referencia al estudio realizado sobre seguridad y salud durante la etapa de obra del proceso.

2.1. Antecedentes

De conformidad con lo recogido en el artículo 4 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción, se debe realizar un Estudio de Seguridad y Salud en la fase de redacción del proyecto de cualquier obra. En este estudio se recogen una serie de directrices básicas que debe seguir la empresa para llevar a cabo sus obligaciones en el campo de la prevención de riesgos. Por tanto, la elaboración de este documento es obligatoria para este caso, y debe, según el artículo 5 de este Real Decreto, tener en cuenta cualquier tipo de actividad que se lleve a cabo en la obra, así como las previsiones e informaciones útiles para efectuar los previsibles trabajos posteriores.

La finalidad del Estudio es servir como directriz para la elaboración, por parte de la compañía constructora, del Plan de Seguridad y Salud, que debe analizar, estudiar y desarrollar las previsiones con respecto al riesgo de que se produzcan accidentes laborales y enfermedades. Además, se debe incluir una descripción de los servicios sanitarios para cumplir con las normas de higiene en el trabajo.

2.2. Características de la obra

La obra que se debe llevar a cabo es la construcción de la planta de producción de ácido cianhídrico en el polígono del Espartal II, ayuntamiento de El Burgo de Ebro, provincia de Zaragoza. El proceso de construcción de la planta consta de las siguientes fases:

- Reconocimiento de la zona por el Contratista, acompañado de la Propiedad o de la Dirección Técnica de Obra.
- Organización previa de los trabajos.
- Licencias de ocupación de la calzada, permisos de obra, etc.
- Organización de la en la que se desarrollan las obras.
- Desarrollo de los trabajos.

A continuación, se comenta brevemente la utilidad de las etapas mencionadas junto con las medidas llevadas a cabo en cada una de ellas. Además, se desarrollan otros aspectos relacionados con la obra como son los materiales, maquinaria, limpieza, almacenamientos, etc.

2.2.1. Reconocimiento de la zona por el Contratista

Es fundamental que el Contratista Adjudicatario de la construcción de la planta en estudio visite la obra con personal de la Propiedad, con el objeto de comprobar si se dispone de los medios, maquinaria y personal adecuados para realizar los trabajos y además poder emitir un presupuesto lo más coherente y ajustado posible con las características de la obra.

Esta primera visita proporciona al Contratista una idea de lo que debe hacer para poder acometer los trabajos según las características del terreno, alejándose de generalidades que pueden llevar a confusión una vez iniciada la obra.

2.2.2. Organización previa de los trabajos

Se trata de la organización del Contratista Adjudicatario con la Dirección Técnica y el coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución, con el objeto de elaborar las directrices adecuadas a cada tipo de obra.

En esta fase, el Contratista deberá marcar una planificación de sus trabajos, la cual será incluida dentro de su Plan de Seguridad y Salud, así como evaluar los riesgos de la actividad que se va a acometer. Dicho Plan de Seguridad y Salud será aprobado por el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución.

2.2.3. Licencias de ocupación de calzada, permisos de obra y otros

Se deberán conseguir todas aquellas autorizaciones o documentos legales necesarios para realizar los trabajos.

2.2.4. Organización de la zona de obra

Una vez conocida la problemática de la obra, evaluados los riesgos por parte del Contratista y teniendo el procedimiento de actuación lo suficientemente claro, se procederá a organizar el lugar de la obra, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Accesos a la obra (tráfico rodado, peatones, personal, etc.).
- Interferencias con servicios afectados (agua, gas, etc.) que puedan derivarse de la ejecución de los trabajos.
- Acopios de material de construcción.
- Ubicación de la maquinaria necesaria para los trabajos de construcción.

- Extintores de incendio.
- Accesos de maquinaria pesada en el momento de meter la maquinaria en las instalaciones (posición de la grúa, tonelaje a elevar, radio de acción de la grúa, etc.).

2.2.5. Desarrollo de los trabajos

La realización de los diferentes trabajos incluye:

- Cimientos.
- Colocación de anclajes y depósitos.
- Montaje de equipos y tuberías.
- Soldaduras.
- Comprobación de las soldaduras mediante rayos X.
- Colocación de válvulas, accesorios y equipos de medida y control.

2.2.6. Tipología y características de los materiales y elementos

Dentro de los materiales, componentes y elementos que se van a encontrar en la obra, se distinguen los siguientes:

- Vallado de las obras.
- Equipos.
- Válvulas y tuberías.
- Maquinaria pesada.
- Pequeña maquinaria, herramientas.

2.2.7. Tráfico rodado

En relación con el modo de efectuar las ocupaciones, como norma general, no se podrá cortar ninguna calle ni producir estrechamientos en sus calzadas superiores a 3 metros libres. No obstante, esto se puede condicionar siempre con el consentimiento del Ayuntamiento o Comunidad de vecinos correspondiente.

Asimismo, en las ocupaciones que afecten a las aceras y puntos de la calzada debidamente señalizados como pasos para peatones, deberá respetarse el paso de los mismos. Cuando a menos

de un metro de distancia del paso de peatones exista una zanja o excavación, será obligatoria la instalación de barandilla de protección.

2.2.8. Unidades de construcción previstas en la obra

Según el plan de ejecución de la obra, existen las siguientes actividades de obra:

- Organización del solar donde se va a ejecutar el montaje.
- Recepción de maquinaria, medios auxiliares y herramientas.
- Excavación de tierras y rellenos.
- Colocación de depósitos.
- Montaje de equipos y tuberías.
- Soldaduras y comprobación de las mismas.
- Colocación de válvulas, accesorios y equipos de medida y control.
- Obras complementarias y remates.
- Trabajos en vías públicas de carácter ocasional.

2.2.9. Oficios cuya intervención es objeto de la PRL

Las actividades de obra descritas se completan con el trabajo de los siguientes oficios:

- Albañilería y pequeñas obras para acondicionamiento del solar.
- Montadores.
- Maquinistas.

2.2.10. Medios auxiliares previstos para la realización de la obra

Del analista del proyecto, de las actividades de obra y de los oficios, se prevé la utilización de los siguientes medios auxiliares:

- Andamios.
- Escaleras de mano.
- Cuerdas, pequeño material auxiliar, etc.
- Cables.

Todos estos materiales han de ser comprados o alquilados por el Contratista Adjudicatario o por algún subcontratista bajo su control directo y se han de mantener en buen estado técnico para evitar funcionamientos erróneos, accidentes o cualquier otro problema de seguridad.

2.2.11. Maquinaria prevista para la realización de la obra

La maquinaria prevista consta principalmente de:

- Camión de transporte de materiales.
- Camión grúa (carga de material de desecho).
- Grúa auto transportadora (elevación y descarga de equipos).
- Maquinaria en general (radiales, cizallas, cortadoras y similares).
- Rozadora radial eléctrica.
- Compresor móvil.
- Apisonadora.

De igual modo que en el apartado anterior, se les supone de alquiler de larga duración, realizado por el Contratista Adjudicatario o por algún subcontratista bajo su control directo.

2.2.12. Superficie prevista para acopios y talleres

En un primer momento resulta complicado delimitar las superficies destinadas para acopios y talleres dentro de la obra.

Se preverán unas áreas que, en principio, podrán ser utilizadas como acopio de material de montaje, con el objeto de entorpecer lo menos posible dentro del recinto de la obra.

En principio, no se van a establecer áreas para talleres. En caso de que, por tipología de la obra, duración, necesidades en la ejecución del montaje, etc., fuese necesaria tal instalación, se indicará el lugar idóneo para su ubicación.

2.2.13. Métodos de limpieza y recogida de escombros

Al final de la jornada laboral, un empleado será el encargado de recopilar los escombros y desechos que se generen en cada zona durante la ejecución de la obra. A continuación, uno o varios *dumpers* se encargarán de transportar los escombros para depositarlos junto a las casetas de obra, en lugares indicados para dicha acción.

Parte de estos escombros se podrán quemar al final de la jornada laboral, disponiendo de un recinto vallado para tal función. El resto de los escombros serán trasladados a un vertedero.

A todos los operarios durante las horas de formación en temas de seguridad se les hará mención para que los escombros que se generan se depositen en un lugar habilitado para eso.

Una vez a la semana o cuando el vigilante de seguridad lo estime oportuno comprobará que los operarios depositan los escombros en los lugares indicados.

El encargado de acopiar escombros será el responsable de que se cumpla esto donde le corresponda; el vigilante de seguridad será el responsable de que se acopien los escombros en los lugares indicados junto a las casetas.

En los planos de seguridad, se indicará el lugar habilitado para el acopio de los escombros, así como el lugar dispuesto para poder quemar algún tipo de escombros.

2.2.14. Lugares de aparcamiento, reparación y mantenimiento

El Contratista, bajo supervisión del Coordinador en Seguridad y Salud habilitará un lugar en la obra para que se puedan estacionar, mantener, revisar y reparar en cualquier momento la maquinaria de obra y equipos auxiliares.

Si es posible, es recomendable disponer de dos lugares independientes, siendo uno de ellos para maquinaria (retroexcavadoras, retropalas, rodillos autopropulsados, camiones, etc.) y otro espacio dispuesto para los equipos y maquinaria auxiliar. Estos lugares estarán situados en un punto totalmente separado de la obra y bien comunicados para un fácil acceso a la zona de trabajo y al exterior, para que no se produzcan interferencias con la maquinaria en movimiento.

Se vallarán totalmente en su perímetro para poder independizar este recinto del exterior. Se colocarán señales indicativas para poder identificar estos recintos.

En el interior de estos recintos se habilitará una parte cubierta para poder efectuar las reparaciones de la forma más cómoda para el operario, así como evitar que se empoce en presencia de lluvia. El pavimento será de hormigón o aglomerado asfáltico. Dentro de este recinto la maquinaria se estacionará de forma agrupada en función del tipo de maquinaria o equipo auxiliar. Asimismo, se habilitará un lugar indicado para ello en el interior, dedicado a la reparación de maquinaria y/o equipos auxiliares.

Habrà un operario encargado de la vigilancia y control del acceso a dicho recinto, ayudando en las operaciones de entrada y salida de maquinaria. Esta persona será la responsable de entrada y salida de maquinaria, así como de facilitar su acceso a la obra.

En los planos del Plan de Seguridad y Salud se indicará el lugar habilitado para el estacionamiento y almacenamiento de maquinaria y equipos auxiliares.

2.2.15. Almacenamiento y depósito de materiales

Será necesario habilitar locales o casetas de almacenamiento de materiales y elementos de obra. El lugar de su acopio estará a una distancia tal que facilite su accesibilidad en caso de necesidad.

El almacenaje se realizará a la intemperie, pero si se moja no se podrá utilizar hasta que se seque por completo. Por otro lado, las maderas y materiales para los encofrados se almacenarán en un local cerrado y protegido del exterior para impedir que se mojen, igual que los sacos de cemento y mortero prefabricado.

Las tuberías se acopiarán en función del tipo de material y en un local delimitado en todo su perímetro y a la intemperie. Se acopiarán en los paquetes que vienen de fábrica, colocados de tal manera que se impida la caída de los tubos, pudiendo provocar accidentes.

La valvulería se almacenará en un local totalmente cerrado y protegido del exterior, agrupándola según el tipo que sea. El local estará próximo a las casetas de los trabajadores para facilitar su accesibilidad.

Por último, si en la instalación se utilizan materiales tóxicos y/o inflamables para alguna actividad de la obra, se deberán guardar en una caseta independiente y de forma individual, con su debido etiquetado.

2.2.16. Delimitación de espacios y lugares o zonas de paso y circulación

Se delimitarán los espacios destinados a la circulación de la maquinaria y camiones por toda la obra en función de las diferentes actividades a ejecutar y se independizarán las zonas de circulación de vehículos y de personal de obra mediante el empleo de cintas de señalización y vallado de obra.

Cada cierta distancia, para facilitar la circulación y delimitación de las diferentes zonas, se colocarán balizamientos luminosos que sirven en tiempo de poca luz natural.

Cuando se prevea que, en la circulación interna de obra, así como en el acceso y salida de vehículos a la vía exterior, se generen puntos conflictivos, se dispondrán señalizadores que faciliten la circulación.

Cuando se produzca una situación característica no prevista en un principio, se señalará y delimitará la zona afectada con los medios que se consideren necesarios.

2.2.17. Mantenimiento y limpieza de los servicios durante la obra

Será necesaria la elaboración y aplicación de un programa adecuado de orden y

limpieza por parte del contratista mediante la contratación de un servicio ajeno dedicado a la limpieza de los comedores y de los vestuarios. Esta limpieza se llevará a cabo dos veces al día, una después de la jornada de mañana y otra tras el final de la jornada laboral.

En complemento al servicio de limpieza, se nombrará por parte del Contratista un retén de dos operarios para auxiliar el servicio de limpieza en previsión de posibles emergencias. Asimismo, se controlará el buen uso de las instalaciones, así como su mantenimiento en previsión de posibles reparaciones y conservación. Este equipo de retén será el responsable de su conservación y mantenimiento para evitar el abuso en el uso de las instalaciones.

2.3. Identificación y análisis de los riesgos en el proceso productivo

La identificación inicial de riesgos se realizará para las obras de construcción de la planta como consecuencia de la tecnología y la organización previstas para construir, que pueden ser variadas por el Contratista, el cual deberá reflejar las variaciones en su Plan de Seguridad y Salud, que deberá estar adaptado a las mismas.

En todo caso, los riesgos analizados se eliminan o disminuyen mediante la propuesta de soluciones constructivas, de organización, protecciones colectivas necesarias, equipos de protección individual y señalización oportunos para su neutralización o reducción a la categoría de: “riesgo trivial”, “riesgo tolerable” o “riesgo moderado”.

El éxito de estas prevenciones propuestas dependerá del nivel de seguridad que se alcance durante la ejecución de la obra. En todo caso, el Plan de Seguridad y Salud que elabore el Contratista respetará la metodología y concreción conseguidas por este Estudio de Seguridad y Salud.

2.3.1. Riesgos detectables más comunes

2.3.1.1. Movimiento de tierras

Por movimiento de tierras se entiende la explanación, relleno y compactación de tierras. Los riesgos más importantes son:

- Desprendimiento de materiales (tierra, piedras, etc.).
- Caídas a distinto nivel.
- Caídas al mismo nivel.
- Vuelco en maniobras de carga y descarga.
- Accidentes durante la circulación de vehículos.
- Atropellos de peones.
- Accidentes por conducción en ambientes o terrenos adversos.
- Inhalación de polvo o partículas en suspensión.

2.3.1.2. Encofrado y estructuras

En este apartado se incluyen los riesgos específicos referidos a las actividades posteriores de cimentación mediante encofrados y preparación de estructuras auxiliares. Los más importantes son los siguientes:

- Sobreesfuerzos.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Caídas a distinto nivel o en altura.
- Caídas al mismo nivel.
- Dermatitis por contacto con el cemento.
- Inhalación de polvo de cemento.
- Cortes con bordes de las estructuras.
- Vibraciones.
- Ruido.

2.3.1.3. Trabajos en altura

Este apartado hace referencia a las actividades realizadas sobre andamios y escaleras. Los riesgos principales son:

- Caídas a distinto nivel o en altura.
- Caídas al mismo nivel.

- Deslizamientos y resbalones.
- Heridas por golpes o cortes.
- Trabajos en condiciones ambientales adversas.
- Riesgos a terceros por caída de objetos desde altura.

2.3.1.4. Trabajos de albañilería

Este apartado comprende los riesgos asociados al trabajo con tuberías o válvulas:

- Caídas a distinto nivel.
- Caídas al mismo nivel.
- Heridas por golpes o cortes.
- Sobreesfuerzos.

2.3.1.5. Trabajos de soldadura y oxicorte

Se incluyen los trabajos de soldadura que se llevan a cabo sobre superficies metálicas durante la construcción de la planta. Los principales riesgos asociados son:

- Daños oculares y dérmicos.
- Explosiones.
- Choque eléctrico.
- Cortes.
- Exposición a humos y gases tóxicos.
- Sobreesfuerzos.

2.3.1.6. Instalación eléctrica

Los riesgos más importantes asociados al trabajo con electricidad son:

- Choque eléctrico.
- Caídas a distinto nivel.
- Caídas al mismo nivel.

2.3.1.7. Instalaciones finales

En este apartado se incluyen todas las actividades que pueden ser realizadas hasta la finalización del período de obra además de las ya comentadas, como la colocación de los elementos interiores, amueblado de la instalación o limpieza final. Los principales riesgos asociados son:

- Caídas al mismo o a distinto nivel.
- Heridas por golpes o cortes.
- Sobreesfuerzos.
- Inhalación de polvo o partículas.
- Caída de objetos en altura.

2.4. Medidas de prevención

Una vez mencionados los posibles riesgos, es necesario adoptar medidas preventivas de seguridad con el fin de evitar dichos riesgos. En el presente apartado, se desarrollan las medidas de prevención que se deben tomar, las protecciones colectivas a utilizar y los equipos previstos de protección individual.

Los accidentes laborales suponen un coste humano y económico para el accidentado, la empresa y la sociedad, por lo que es necesario dedicar una especial importancia a su prevención. Es por ello que, principalmente, será necesaria la formación previa del personal para que tenga un conocimiento de los riesgos a los que se expone y tome conciencia de su prevención.

Algunas de las principales medidas se enumeran a continuación:

- Los tableros de madera, las barras de armaduras y otros componentes se amontonarán cuidadosamente y se aplicarán dispositivos para impedir su desprendimiento.
- Se dispondrán caminos seguros para acceder a los puntos de encofrado u hormigonado y se circulará por ellos con un arnés de seguridad provisto de una anilla que permita desplazarse por un cable horizontal bien sujeto.
- Se prohibirá la realización de cualquier operación con riesgo de caída a diferente nivel sin haber situado la red de seguridad correctamente y bien sujeta.
- Se instalarán vallas de seguridad en los lugares desde los cuales se pueda caer al vacío.

- Se señalizará la zona de posible caída de cargas durante su transporte vertical.
- Para izar cualquier carga se hará una correcta sujeción previa. Si se deben izar cuerpos alargados, se fijarán por dos puntos.
- Se evitará, mediante señalización o balizamiento, la presencia de personas en los lugares con riesgo de atrapamiento.
- Se inspeccionará el lugar en el que se vaya a trabajar, antes del inicio o reanudación de los trabajos.
- Vigilancia permanente de no sobrecarga de bordes de excavación.
- Vigilancia permanente de que los cierres de acceso público a la obra permanecen cerrados.
- Los vehículos subcontratados tendrán vigente la póliza de Seguros con Responsabilidad Civil ilimitada, el Carnet de Empresa y los Seguros Sociales cubiertos antes de comenzar los trabajos en la obra.
- La maquinaria y los vehículos alquilados o subcontratados serán revisados antes de comenzar a trabajar en la obra, en todos los elementos de seguridad, exigiéndose al día el libro de mantenimiento y el certificado que acredite su revisión por un taller cualificado.
- Se evitarán los atropellos de las personas por las máquinas y camiones, construyendo dos accesos a la explanación, separados entre sí: uno para la circulación de personas y otro para la de maquinaria y camiones.
- Se prohíbe la marcha hacia atrás de los camiones con la caja levantada o durante la maniobra de descenso de la caja, tras el vertido de tierras, en especial en presencia de tendidos eléctricos aéreos.
- Está previsto regar con frecuencia los tajos, caminos y cajas de los camiones para evitar polvaredas. Con esta forma de proceder se elimina el riesgo de trabajar dentro de atmósfera saturadas de polvo.
- Se señalizarán los accesos y recorridos de las máquinas y vehículos. Con esta acción se controlan los riesgos de colisión y atropello.
- Entrenamiento de los operarios para efectuar trabajos con riesgo de atrapamiento, con una orden preestablecida y controlar el cumplimiento de la misma.
- Comprobar la buena calidad de los aislamientos.

- Mantener limpias e iluminadas las zonas de movimiento de personal.
- Limpieza de escombros.
- Todos los trabajos a realizar durante las operaciones de montaje se llevarán a cabo teniendo en cuenta las medidas de seguridad y cumpliendo ante todo la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Asimismo, los mencionados trabajos se realizarán siempre respetando y protegiendo el medio ambiente.
- Correcta utilización de los equipos y medios auxiliares.
- Verificación de conexiones.

2.4.1. Equipos de protección individual (EPI's)

Todos los equipos de protección individual (EPI'S) estarán regulados por el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud relativas a la utilización por parte de los trabajadores de equipos de protección individual. La definición aportada por este Real Decreto es “cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin”.

Todos los EPI'S dispondrán del marcado “CE” y se colocará de forma visible, legible e indeleble, durante el periodo de duración previsible o de vida útil. El marcado estará compuesto de las iniciales “CE” diseñadas según la figura que se incluye en el Real Decreto 159/1995.

Todos los trabajos sin exclusión de especialidades o categorías, están obligados a utilizar y conservar las prendas de protección individuales que sean de aplicación al trabajo que se vaya a realizar. El adjudicatario entregará a su personal todos los medios de protección individual necesarios, reponiéndolos en caso de deterioro.

A continuación, se comentan los aspectos más relevantes de cada uno de los EPI's existentes.

2.4.1.1. Cascos

Los cascos serán de polietileno rígido, provistos de arnés regulable y bandas de amortiguación. Para los trabajadores con riesgo de caída de objetos sobre la cabeza será imprescindible el uso de casco. Éste puede ser con o sin barboquejo, dependiendo de si el operario deba o no agacharse. Los cascos serán homologados, debiendo cumplir las condiciones impuestas por las Normas Técnicas de Prevención del Ministerio de Trabajo MT-1.

2.4.1.2. Guantes de seguridad

Los guantes estarán confeccionados en materiales naturales o sintéticos, no rígidos, impermeables y de características mecánicas adecuadas. Se deberán desechar aquellos con orificios, grietas o cualquier deformación o imperfección que merme sus propiedades. El tipo de guante de seguridad que se utilizará dependerá del tipo de trabajo que se vaya a realizar y de la clase de productos manipulados. Los guantes que se pueden emplear son:

- Guantes de neopreno: cuando se manejan hormigones, morteros, y yesos u otras sustancias tóxicas formadas por aglomerados hidráulicos.
- Guantes de cuero: para manejar los materiales que normalmente se utilizan en la obra.
- Guantes aislantes, baja tensión: se utilizarán cuando se manejen circuitos eléctricos o máquinas que estén o tengan posibilidad de estar con tensión.
- Guantes para soldador: para trabajos de soldadura.

2.4.1.3. Botas reforzadas de seguridad

Pueden ser de dos tipos:

- a) Botas de seguridad reforzadas: están compuestas por la bota propiamente dicha, hecha en cuero, la puntera reforzada interiormente con plancha metálica que impida el aplastamiento de los dedos en el caso de caída de objetos pesados sobre ellas, y suela metálica que impida el paso de los elementos punzantes a su través, revestida exteriormente con el suelo antideslizante. Estarán diseñadas para ofrecer protección frente al impacto cuando se ensaya con un nivel de energía de 200 J.
- b) Botas impermeables: están compuestas por material de caucho o goma en una sola pieza, revestidas en el interior por felpilla que recoja el sudor. Se utilizarán en trabajos en los que exista agua o humedad, debiendo secarse cuando varíen las condiciones de trabajo.

2.4.1.4. Gafas de protección

Se usarán en los trabajos con riesgo de impacto de partículas, salpicaduras de polvo (cemento, riegos, etc.), atmósferas contaminadas, etc. Estas gafas de protección tendrán, además de unos oculares de resistencia adecuada, un diseño de montura y unos elementos adicionales, a fin de proteger el ojo en cualquier dirección, superior, temporal e inferior.

2.4.1.5. Pantallas de protección

Se emplearán este tipo de pantallas en labores que consistan en soldadura. El armazón está fabricado en materiales opacos a las radiaciones. Están provistos de filtros u oculares filtrantes adecuados a la intensidad de las radiaciones existentes en el lugar de trabajo. Delante llevará sobre el filtro un cubrefiltro, cuya misión es la de preservar el primero de los posibles riesgos mecánicos y detrás del filtro un antecristal destinado a preservar el ojo del trabajador contra partículas que puedan existir en el ambiente laboral.

2.4.1.6. Ropa de protección

La ropa de protección cubrirá la totalidad del cuerpo. Como norma general cumplirá los siguientes requisitos:

- Será de tejido ligero y flexible.
- Permitirá una fácil limpieza y desinfección
- Se ajustará bien al cuerpo sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.
- Se eliminará en lo posible el uso de elementos adicionales como cordones, botones, partes vueltas cara arriba, etc. con el fin de evitar enganches y la acumulación de suciedad.

Para la protección de los operarios contra el calor se emplearán trajes en cuero. Para la protección de los operarios contra el frío se emplearán prendas a base de tejidos acolchados con materiales aislantes. Se dispondrán prendas de señalización tales como cinturones, brazaletes, guantes, chalecos, etc.; para ser utilizados en lugares de poca iluminación, trabajos nocturnos, donde existan riesgos de colisión, atropellos, etc.

2.4.1.7. Protección anticaídas

Los equipos se clasifican en:

- Sistemas de sujeción: destinados a sujetar al trabajador mientras realiza un trabajo en altura (cinturón de sujeción). Se empleará en aquellos casos en los que el usuario no necesite desplazarse. El elemento de amarre del cinturón debe estar siempre tenso.
- Sistemas anticaídas: constan de un arnés anticaídas, un elemento de amarre y una serie de conectores (argollas, mosquetones, etc.). Este dispositivo frena y detiene

la caída libre de un operario. Para disminuir la caída libre se acortará el elemento de amarre.

- Dispositivos anticaídas: constan de un arnés anticaídas y un sistema de bloqueo automático. Puede ser deslizante o retráctil.

Los cinturones empleados pueden ser de tres tipos:

- Cinturón clase A: compuesto por una faja o arnés, con elemento de amarre y mosquetón de seguridad, provisto de una o dos zonas de conexión. Debe estar homologado de acuerdo con las Normas Técnicas de Prevención del Ministerio de Trabajo MT-9.
- Cinturón clase C: compuesto por una faja, arnés torácico, elemento de amarre con mosquetón de seguridad y dispositivo anticaídas. Se emplearán en trabajos que requieran un desplazamiento del operario de manera que no pueda permanecer a distancia constante del punto de amarre o cable fijador.
- Cinturón antivibratorio: compuesto por una faja de doble lona de sarga de algodón pegada, con objetos metálicos que permitan la transpiración y refuerzos de skay en zonas vitales. Estos cinturones antivibratorios serán utilizados por conductores de maquinaria en movimiento de tierras o camiones, así como operarios que deben utilizar de manera prolongada martillos perforadores o picadores neumáticos.

2.4.1.8. Protecciones auditivas

Se podrán utilizar de dos tipos diferentes:

- Protectores externos (orejeras): cubren totalmente el pabellón auditivo, constan de dos casquetes y arnés de fijación con una almohadilla absorbente y un cojín para la adaptación a la oreja.
- Protectores internos (tapones): se introducen en el canal externo del oído. Su poder de atenuación es menor que el de las orejeras. Son fáciles de transportar, confortables y facilitan el movimiento en el trabajo. Para elegir correctamente el protector auditivo es necesario comenzar con analizar y valorar el riesgo de ruido, determinando los valores y los tiempos de exposición de los trabajadores.

2.4.1.9. Mascarillas autofiltrantes

Tienen la función de proporcionar al trabajador que se encuentra en un ambiente contaminado el aire que precisa para respirar en debidas condiciones higiénicas. Se utilizan en

todos los trabajos en los que se produzca polvillo que pueda afectar a las vías respiratorias, como picado con martillos neumáticos, uso de rebarbadoras, mesas de corte circular, etc.

Las mascarillas estarán compuestas por cuerpo de la mascarilla, arnés de sujeción de dos bandas ajustables y válvula de exhalación, debiendo estar homologada según las Normas Técnicas de Prevención del Ministerio de Trabajo MT-13.

2.4.2. Medidas de protección colectivas

Evitar el riesgo no se conseguirá únicamente con la adecuada planificación y ejecución de protecciones individuales. Es necesario, por tanto, adoptar medidas y elementos protectores de carácter colectivo. Estas protecciones consistirán en señalizaciones de peligro, señalizaciones de zonas inseguras, pasarelas para acceso a los tajos, andamios, zonas de paso protegidas o sistemas adecuados de iluminación.

Los elementos de protección colectiva permanecerán en todo momento instalados y en perfecto estado de mantenimiento. En caso de rotura o deterioro se deberán reponer con la mayor diligencia.

2.4.2.1. Movimiento de tierras

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Prohibida la circulación de personal dentro del radio de acción de la maquinaria.
- La circulación del personal y vehículos estará restringida a rutas previamente diseñadas y señalizadas.
- Mantenimiento y cuidado de las vías de circulación.
- Todo el personal que maneje vehículos o cualquier otra maquinaria debe estar en posesión de la correspondiente Certificación de Capacitación.
- Revisión periódica de los vehículos y maquinaria.
- Prohibido el transporte de personal fuera de la cabina de conducción del vehículo.

2.4.2.2. Encofrados y estructuras

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Prohibida la circulación de personal dentro del radio de acción de la maquinaria.
- El desencofrado se realizará con ayuda de uñas metálicas.
- Las barras se almacenarán ordenadamente y no interceptarán pasos.

- Las zonas de trabajos se mantendrán limpias y ordenadas.
- El camión hormigonera será calzado convenientemente durante el vertido del hormigón.
- Establecimiento de zonas de paso seguras para el personal encargado del vertido de hormigón.
- Correcto equilibrio de andamios y otras estructuras que impidan su desplome y el consiguiente accidente.
- Medidas adicionales durante el trabajo con el cemento fresco e inestable.

2.4.2.3. Trabajos en altura

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Las plataformas, andamios y pasarelas que supongan para los trabajadores un riesgo de caída de altura superior a 2 metros, se protegerán mediante barandillas de protección.
- Los trabajos en altura que así lo permitan se realizarán con ayuda de equipos diseñados para tal fin.
- Capacitación del personal.
- Verificación del correcto estado e instalación de los distintos medios empleados.

2.4.2.4. Trabajos de albañilería

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Conocer detalladamente las estructuras de tuberías subterráneas que pudiera haber para que no se vean afectadas.
- Realizar las señalizaciones oportunas y equiparse adecuadamente para acceder a zanjas profundas.
- Colocar los tubos adecuadamente y sujetos, para evitar su desplazamiento.
- Emplear detectores de gases ante posibles fugas de tuberías subterráneas.

2.4.2.5. Trabajos de soldadura

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.

- Empleo de los sistemas de extracción local, ventilación general y protección sanitaria del personal, según sea el caso.
- Prohibido el uso de grasas en la manipulación de las botellas de oxígeno.
- Las botellas o bombonas se almacenarán en posición vertical, convenientemente separadas entre sí, y a cubierto de las inclemencias del tiempo.
- Correcta capacitación del personal.

2.4.2.6. Instalación eléctrica

- La instalación eléctrica debe ajustarse al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y ser realizado por un instalador homologado.
- Las tomas de corriente estarán provistas de neutro de enclavamiento y serán blindadas.
- En los trabajos en condiciones de humedad muy elevada, es preciso el empleo de transformador portátil de seguridad de 24V o protección mediante transformador de separación de circuitos.
- Cuando existan líneas de tendido eléctrico aéreas que puedan afectar a la seguridad en la obra será necesario desviarlas fuera del recinto de la obra o dejarlas sin tensión. Si esto no fuera posible, se colocarán barreras o avisos para que los vehículos y las instalaciones se mantengan alejados de las mismas.

2.4.2.7. Instalaciones finales

- Mantener las herramientas y máquinas en buen estado.
- Evitar trabajar con más peso del recomendado.

2.4.2.8. Trabajos con maquinaria

- Serán siempre realizados por operarios capacitados para ello.
- Se mantendrán siempre en buen estado técnico y con una correcta limpieza.
- Se cumplirán siempre las normas del Reglamento de Seguridad en Máquinas para evitar accidentes
- Los trabajos y el movimiento de la maquinaria serán realizados dentro de los límites señalizados para este fin.

2.4.2.9. Señalización

La normativa vigente establece una serie de características sobre las dimensiones, colores, símbolos y formas de las señales que proporcionan una determinada información clara relativa a la seguridad.

Los pictogramas serán lo más sencillos posible, evitándose detalles inútiles para su comprensión. Las señales se instalarán preferentemente a una altura y en una posición apropiadas en relación al ángulo visual, teniendo en cuenta posibles obstáculos, en la proximidad inmediata del riesgo u objeto que deba señalizarse o, cuando se trate de un riesgo general, en el acceso a la zona de riesgo.

Según el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, se diferencian los siguientes tipos de señales existentes:

- a) Señales de advertencia. Tendrán forma triangular. Pictograma negro sobre fondo amarillo (el amarillo deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal), con bordes negros. Como excepción, el fondo de la señal sobre “materias nocivas o irritantes” será de color naranja, en lugar de amarillo, para evitar confusiones con otras señales similares utilizadas para la regulación del tráfico por carretera.
- b) Señales de prohibición. Tendrán forma redonda. Pictograma negro sobre fondo blanco, con bordes y banda rojo.
- c) Señales de obligación. Tendrán forma redonda. Pictograma blanco sobre fondo azul (el azul deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal).
- d) Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios. Tendrán forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal).
- e) Señales de salvamento o socorro. Tendrán forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo verde (el verde deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal).

Para la señalización de zonas con riesgo de caídas, choques o golpes de colocará una cinta con franjas alternas amarillas y negras, con una inclinación aproximada de 45°.

2.4.2.10. Protección contra caídas de personas u/y objetos

Para la protección de personas y objetos contra las caídas, existen determinados elementos:

- Tapas de aberturas. Son tableros que se colocan en los huecos horizontales de servicios y patinejos.
- Barandillas de protección. Se colocan en el perímetro de huecos verticales y plataformas de trabajo siempre que exista un desnivel superior a 2 metros.
- Redes de seguridad. Sus dimensiones se ajustarán al hueco a proteger y estarán fabricadas en poliamida de alta densidad.
- Escaleras portátiles. Serán preferentemente de aluminio o hierro y estarán dotadas de zapatas y reunirán las garantías necesarias de solidez, estabilidad y seguridad.

2.4.2.11. Andamios

Los andamios tendrán que armarse y organizarse de manera adecuada para asegurar su estabilidad y permitir que los trabajadores puedan permanecer en ellos con las debidas condiciones de seguridad.

Antes de su primera utilización, deberán ser sometidos a la práctica de un reconocimiento y a una prueba a plena carga por una persona competente.

Son más seguros los andamios de última generación fabricados en acero galvanizado. Es más seguro acceder a las plataformas de trabajo a través de escaleras de mano montadas entre ellas según los modelos así comercializados.

El andamio se montará con todos sus componentes. Los que no existieran serán solicitados al fabricante para su instalación. Los montadores se atenderán estrictamente a las instrucciones del manual de montaje y mantenimiento dadas por el fabricante del modelo de andamios metálicos modulares a montar.

La anchura del andamio será la necesaria para permitir una buena circulación de los trabajadores y el adecuado almacenamiento de las herramientas y materiales que se necesiten.

Las plataformas de trabajo estarán cercadas con barandillas perimetrales componentes suministrados por el fabricante del andamio para tal menester, con las siguientes dimensiones generales: 100 cm de altura, conseguidos por la barra pasamanos, barra intermedia y rodapié de 15 cm, de chapa o de madera.

Los componentes del andamio estarán libres de oxidaciones graves, aquellas que realmente mermen su resistencia.

El andamio no se utilizará por los trabajadores hasta el momento en el que, comprobada su seguridad por el Encargado, éste autorice el acceso al mismo.

2.4.2.12. Escaleras de mano

Los largueros serán de una sola pieza y estarán sin deformaciones o abolladuras.

Estarán pintadas con pinturas antioxidantes. No presentarán uniones soldadas y cualquier suplemento se realizará con dispositivos adecuados.

Tendrán una longitud máxima de 5 m a salvar. En su extremo inferior presentarán unas zapatas antideslizantes de seguridad y en su parte de apoyo superior estarán firmemente ancladas. Se colocarán de tal forma que su apoyo inferior diste de la proyección vertical del superior $\frac{1}{4}$ de la longitud del larguero entre apoyos.

Cuando hay que salvar más de 3 m de altura, el ascenso y descenso se efectuará dotando al operario de cinturón de seguridad amarrado a un cable de seguridad paralelo.

Nunca se transportará un peso igual o superior a 25 kg.

No se apoyará la escalera sobre superficies inestables, como sacos, cajones, tablones, etc.

2.4.2.13. Puntales

Los puntales se dispondrán sobre durmientes de madera nivelados y aplomados. Los tablones durmientes de apoyo de los puntales que deban trabajar inclinados con respecto a la vertical serán acuñados. Los puntales se clavarán al durmiente y a la solapa para conseguir una mayor estabilidad. La superficie del lugar de apoyo estará perfectamente consolidada. El reparto de la carga sobre las superficies de apuntaladas se realizará uniformemente repartido.

Estarán en perfectas condiciones de mantenimiento con ausencia de óxido, pintados con todos sus componentes. Carecerán de deformaciones en el fuste (abolladuras o torcimientos).

Los puntales se izarán o descenderán en paquetes fijados por dos extremos suspendidos por eslingas.

2.4.2.14. Vallas

Los tipos de vallas a colocar serán de tres tipos: vallas de protección de peatones, valla de cerramiento de obra y valla de cabeza de vaciado. En función de la actividad a ejecutar se colocarán distintos tipos de vallas.

El vallado de cerramiento de la obra tendrá una altura de 2,00 m y se situará como mínimo a 1,50 m de la cabeza de la excavación. Podrán permitir la visibilidad o ser ciegas.

Las vallas de protección del talud serán de las siguientes características: todas las barandillas constarán de un pasamanos colocado a 90 cm de altura, un listón intermedio a 45 cm aproximadamente y un rodapié de 15 cm.

Todos los elementos estarán en perfectas condiciones ya sean ejecutados en madera o acero.

Esta valla deberá estar suficientemente retirada del borde para que no se produzcan desprendimientos de tierras en su colocación.

2.4.2.15. Cadenas

La carga máxima de trabajo de una cadena no debe exceder de 1/5 de su carga de rotura efectiva. Se desechará cualquier cadena cuyo diámetro se haya reducido en más de un 5% por efecto del desgaste o que tenga algún eslabón doblado, aplastado o estirado. No se emplearán cadenas con deformaciones, alargamientos, desgastes, eslabones rotos, etc.

Para su almacenamiento se colgarán caballetes o ganchos, para evitar la presencia de humedad y oxidación. En presencia de frío se cargará menos de lo indicado, sobre todo cuando la temperatura sea menor de 0°C.

Se lubricarán convenientemente con el tipo de grasa recomendada por el fabricante.

2.4.2.16. Eslingas

Se empleará el tipo de eslinga en función del tipo de trabajo a ejecutar.

La resistencia de la eslinga varía en función del ángulo que forman los ramales entre sí. Cuanto mayor sea el ángulo, menor será la carga que pueda resistir. Como norma general no debe utilizarse un ángulo superior a 90°.

Habrá que comprobar el desgaste de las eslingas. Los nudos y las soldaduras disminuyen la resistencia de las eslingas. Se inspeccionará periódicamente y se sustituirán cuando se considere necesario.

El almacenamiento se realizará sin estar en contacto con el suelo.

2.4.3. Medidas preventivas de la maquinaria de obra

Además de las medidas de carácter individual y colectivo, se deben tener en cuenta ciertas consideraciones acerca de la maquinaria empleada.

2.4.3.1. Camión de transporte

Todos los camiones estarán en perfectas condiciones de mantenimiento y conservación. Las operaciones de carga y descarga del material se efectuarán en los lugares señalados para tal efecto. Antes de iniciar las maniobras de carga y descarga se instalará el freno de mano y los calzos de inmovilización de las ruedas. Las operaciones de aparcamiento y salida de camiones serán dirigidas por un señalista, así como las operaciones de carga y descarga.

El ascenso y descenso de las cajas de los camiones se efectuará mediante escalerillas metálicas, dotadas de ganchos de inmovilización y seguridad.

Las cargas se instalarán sobre la caja de una forma uniforme compensando pesos.

Las pistas interiores de circulación de camiones tendrán un ancho mínimo de 6m y una pendiente máxima del 12 % en tramos rectos y del 8 % en curvas. El colmo máximo permitido para materiales sueltos será con pendiente del 5 % debiendo protegerse la carga con una lona para evitar desplomes del mismo.

2.4.3.2. Camión grúa

Antes de realizar cualquier trabajo se instalarán los calzos inmovilizadores en las cuatro ruedas y los gatos estabilizadores. Las maniobras de carga y descarga serán dirigidas por un especialista en prevención de los riesgos.

Los ganchos de cuelgue estarán dotados de pestillos de seguridad. Se prohíbe sobrepasar la carga máxima fijada por el fabricante del camión, en función del brazo de grúa.

Las rampas de acceso de los camiones grúa no sobrepasarán el 20 %. Se estacionarán a una distancia superior a 2 m del borde de cualquier corte en el terreno. Se prohíbe la permanencia de personas en torno al camión grúa a distancia inferiores a 5 m.

Nunca se situará ningún operario bajo una carga suspendida.

2.4.3.3. Grúa autotransportada

Queda expresamente prohibido el estacionamiento y desplazamiento de la grúa autopropulsada a una distancia inferior a los 2 m del borde de las zanjas. En caso de ser necesaria una aproximación inferior a la citada se deberá entibar la zona de la zanja afectada por el estacionamiento del camión grúa, dotándose además al lugar de un tope firme y fuerte para la rueda trasera del camión, para evitar los deslizamientos y vuelcos de la máquina.

Para evitar los riesgos catastróficos, está previsto que el Encargado controle que la puesta en estación y servicio de la grúa autopropulsada se realiza siguiendo las instrucciones dadas por su fabricante. En consecuencia, controlará el cumplimiento de las siguientes condiciones técnicas:

- No se izarán cargas sin antes haber puesto en servicio los calzos hidráulicos de apoyo de la grúa.
- El gancho simple estará dotado de pestillo de seguridad.
- El gancho doble se usará estribando a ambos ganchos.
- Se vigilarán constantemente las variaciones posibles por fallo del firme durante las operaciones de carga y transporte de cargas suspendidas.

Para evitar los riesgos catastróficos por maniobras erróneas, está previsto que las maniobras de carga, o de descarga, estarán siempre guiadas por un especialista, en previsión de los riesgos por maniobras incorrectas.

Para evitar el riesgo de caída de personas por maniobras peligrosas, se prohíbe expresamente caminar sobre el brazo telescópico de la grúa autopropulsada. Las maniobras de estacionamiento de la grúa autotransportada serán guiadas por un operario destinado a tal efecto al que se dotará de los elementos necesarios para la realización de estas labores.

La grúa estará correctamente estacionada, atendiendo de manera especial a los siguientes aspectos:

- La grúa estará perfectamente nivelada.
- Todos los gatos hidráulicos destinados a aumentar la base de apoyo de la grúa estarán desplegados en su totalidad.
- Ningún elemento de apoyo de la grúa estará cargando sobre algún elemento que presente debilidad estructural (tapas de arquetas de hormigón o fundición, zanjas recientemente abiertas o blandones del terreno) recabando de la propiedad información respecto alguna deficiencia de este estilo.
- Toda la zona de influencia de la grúa autopropulsada en sus movimientos estará libre de obstáculos. Además, ningún operario permanecerá en dicha zona, en especial en aquellas en las que el gruista no disponga de visibilidad.
- En el caso de que se invada la vía de circulación, se señalizará mediante la colocación de conos de balizamiento.

2.4.3.4. Compresores

- Se ubicarán en los lugares indicados para ello en la obra.
- El movimiento del compresor por parte de los operarios se efectuará a una distancia nunca inferior a 2 m del borde de cualquier corte del terreno.
- El transporte mediante eslingas se efectuará tomándolo de 4 puntos fijos del compresor.
- El compresor quedará en estación con la lanza de arrastre en posición horizontal, con las ruedas sujetas mediante tacos antideslizantes.
- Durante su empleo las carcasas permanecerán cerradas, para evitar atrapamientos y ruidos.
- La zona dedicada en obra para la ubicación del compresor quedará acordonada en un radio de 4 m, instalándose señales de “obligatorio el uso de protectores auditivos” para sobrepasar la distancia de 4m.
- Los compresores a utilizar si no son silenciosos, se ubicarán a una distancia mínima de la zona de trabajo no inferior a 15 m.
- Las mangueras estarán siempre en perfectas condiciones de uso, sin grietas o desgastes.
- Los mecanismos de conexión o empalme estarán unidos a las mangueras mediante racores de presión según cálculo.
- No se pasará con vehículos por encima de las mangueras, elevándolas si se considera necesario.

2.4.3.5. Motores eléctricos

Estarán provistos de cubiertas permanentes u otros resguardos adecuados dispuestos de tal manera que prevengan el contacto de las personas u objetos a no ser que sean de tipo cerrado o estén instalados en altura no inferior a 3 m sobre el suelo o están en locales cerrados o exclusivos.

2.4.3.6. Apisonadoras

- Antes de ponerlos en funcionamiento se revisará la colocación de todos sus elementos.
- Se evitarán los desplazamientos laterales.

- Las zonas en fase de compactación quedarán cerradas al paso mediante señalización.
- El personal que realice su manejo conocerá perfectamente su funcionamiento.

2.4.3.7. Hormigonera eléctrica

Se situará en los lugares indicados para ello en la obra. Nunca se situarán distancias inferiores a 3 m del borde de la excavación. Las zonas donde se ubican quedan señalizadas mediante cinta o valla y una señal de peligro, así como un rótulo con la leyenda: “prohibido utilizar a personal no autorizado”.

Se dispondrá un camino de acceso fijo a la hormigonera para los *dumpers*, separado del camino de las carretillas manuales.

Se establecerá un entablado de un mínimo de 2 m de lado para superficie de estancia del operador de hormigoneras.

Estas hormigoneras estarán protegidas por una carcasa metálica para evitar el contacto con los operarios. Estarán dotadas de freno de basculamiento del bombo. La alimentación eléctrica se realizará de forma aérea a través del cuadro auxiliar, en combinación con la tierra y los disyuntores del cuadro general eléctrico. La botonera de mandos eléctricos será de accionamiento estanco. El cambio de ubicación de la hormigonera a gancho de grúa se efectuará mediante la utilización de un balancín que la suspenderá de cuatro puntos seguros.

El personal encargado del manejo de la hormigonera estará autorizado mediante acreditación escrita de la constructora.

2.4.3.8. Máquinas pequeñas y herramientas

Se considerarán las pequeñas herramientas tales como taladros, rozadoras, cepilladora metálica, sierras, radiales, etc. Estas máquinas estarán protegidas por la carcasa y resguardos.

Las reparaciones o manipulaciones se realizarán paradas y por personal especializado. Si se encuentran averiadas se señalarán con una señal de peligro: “No conectar, equipo averiado”. Las máquinas o herramientas con capacidad de corte tendrán el disco protegido mediante una carcasa antiproyecciones.

En ambientes húmedos, la alimentación de las máquinas no protegidas con doble aislamiento se realizará mediante conexión a transformadores de 24 V.

Se prohíbe la utilización de estas herramientas por personal no especializado y no se dejarán herramientas de corte abandonadas en el suelo.

2.4.3.9. Instalaciones provisionales

Los cuadros principales y de distribución irán provistos de protección magnetotérmica y de relé diferencial con base de enchufe y clavija de conexión. Cualquier máquina conectada a un cuadro principal o auxiliar se efectuará a través de una manguera siempre con hilo de tierra incorporado.

Los cuadros eléctricos permanecerán cerrados y señalizados y sólo serán manipulados por el personal especializado. Se situarán sobre patas soportes o colgarán pendientes de tableros de madera. Las tomas de tierra se realizarán mediante picas hincadas en el terreno. Los trabajos necesarios para la instalación o reparación se realizarán dejando la línea que alimenta ese cuadro sin tensión.

El cuadro de mando irá provisto de relés magnetotérmicos para cada línea de distribución. Como cabecera de cada línea dispondrá de un interruptor diferencial y sensibilidad igual a 30 mA para alumbrado y 300 mA para fuerza.

Cada toma de corriente alimentará a un único aparato, máquina o herramienta.

Todos los conductores utilizados serán antihumedad y con aislamiento nominal de 1000 V como mínimo.

El tendido de mangueras se realizará a una altura de 2 m en lugares peatonales y de 5 m en los de vehículos. El tendido de cables para cruzar viales de obra se efectuará enterrado. Se señalará el paso mediante una cubrición permanente de tablonos. Además, el cable irá protegido en el interior de un tubo rígido.

2.5. Normas de actuación preventiva

2.5.1. Seguridad durante la construcción

2.5.1.1. Obligaciones de las partes implicadas

La empresa constructora estará obligada a cumplir las directrices en el Estudio de Seguridad a través de un Plan de Seguridad y Salud, coherente con los sistemas de ejecución que la misma vaya a utilizar. Además, tendrá que cumplir las estipulaciones previas del Estudio y el Plan de Seguridad y Salud, respondiendo solidariamente de los daños que se deriven de la infracción del mismo por su parte o de los posibles subcontratistas y empleados

La Dirección Facultativa considerará el Estudio de Seguridad como parte integrante de la ejecución de la obra, correspondiente a la aprobación, el control y la supervisión de la ejecución

del Plan de Seguridad y Salud, autorizando previamente cualquier modificación en éste, dejando constancia escrita en el Libro de Incidencias.

Además, periódicamente se llevarán a cabo las pertinentes certificaciones del Presupuesto de Seguridad y Salud, poniendo en conocimiento de la Propiedad y de los organismos el cumplimiento por parte de la empresa constructora de las medidas de Seguridad contenidas en el Estudio de Seguridad.

2.5.1.2. Medidas preventivas al inicio de los trabajos

Antes de comenzar a realizar los trabajos, el método de instalación y trabajo a seguir y los circuitos de circulación que afecten a la obra deberán estar aprobados por la Dirección Facultativa.

Será necesario realizar un estudio de acondicionamiento de las zonas de trabajo para prever la colocación de plataformas, torres de paso y formas de acceso, y poderlos emplear de forma conveniente.

El personal estará instruido sobre la utilización correcta de los equipos de protección individual para la realización de su trabajo. En los riesgos puntuales y esporádicos de caída de altura se emplearán obligatoriamente el cinturón de seguridad, ante la imposibilidad de disponer de la adecuada protección colectiva o de la insistencia de regulación con respecto a la integración de la seguridad en el proyecto de ejecución.

2.5.1.3. Medidas durante la realización de los trabajos

Durante la realización del trabajo, las zonas de trabajo y circulación deberán permanecer limpias, ordenadas y bien iluminadas. Las herramientas y máquinas estarán en perfecto estado, empleándose las más adecuadas para cada uso, siendo utilizadas por personal autorizado o experto a criterio del encargado de la obra.

Los elementos de protección colectiva permanecerán en todo momento instalados y en perfecto estado de mantenimiento, siendo necesario reponerlos en caso de rotura o deterioro. Además, la señalización será revisada a diario de forma que en todo momento permanezca actualizada a las condiciones reales de trabajo.

2.5.1.4. Protecciones personales

Durante la ejecución de todos aquellos trabajos que conlleven un riesgo de proyección de partículas, se establecerá la obligatoriedad de uso de gafas de seguridad. Así mismo, en aquellos trabajos que se desarrollen en entornos con niveles de ruidos superiores a los permitidos por la

normativa vigente, se deberán emplear protectores auditivos homologados según Norma Técnica MT-2.

La totalidad del personal que desarrolle trabajos en el interior de la obra utilizará cascos protectores que cumplan las especificaciones indicadas en la norma Técnica MT-1 de Cascos de Seguridad.

Durante la ejecución de todos aquellos trabajos que se desarrollen en ambientes de humos de soldadura, se facilitará a los operarios mascarillas respiratorias con filtro mecánico y de carbono activo contra humos metálicos.

Como medida preventiva frente a golpes en extremidades inferiores, se dotará al personal de botas de seguridad adecuadas. Además, todos los operarios utilizarán cinturón de seguridad dotado de arnés en aquellas operaciones en las que se realicen trabajos en altura.

2.5.1.5. Organización general de seguridad en obra

- Comité de seguridad y salud: vigilante de seguridad.

En las obras cuyo número de trabajadores exceda de 25 debe constituirse un Comité de Seguridad y Salud formado por un técnico cualificado en materia de seguridad y que representa a la Dirección de la Empresa, dos trabajadores pertenecientes a las categorías profesionales o de oficio que más intervengan a lo largo del desarrollo de la obra, y un Vigilante de Seguridad, elegido por sus conocimientos y competencia profesional en materia de Seguridad y Salud

Las funciones de este Comité serán las reglamentarias estipuladas en el artículo 8º de la Ordenanza General de Seguridad en el Trabajo.

Respecto al Vigilante de Seguridad establece:

- Será el miembro del Comité de Seguridad que, delegado por el mismo, vigile de forma permanente el cumplimiento de las medidas de seguridad tomadas en la obra.
- Informará al Comité de las anomalías observadas y será la persona encargada de hacer cumplir la normativa de Seguridad estipulada en la obra, siempre y cuando cuente con facultades apropiadas.
- La categoría del Vigilante, será cuando menos de oficial y tendrá dos años de antigüedad en la empresa, siendo por lo tanto trabajador fijo de plantilla.

Aparte de estas funciones específicas cumplirá todas aquellas que le son asignadas por el art. 9º de la Ordenanza General de Seguridad en el Trabajo:

- Obligaciones generales del vigilante de seguridad:
 - Promover el interés y cooperación de los trabajadores en materia de seguridad.
 - Comunicar a la Dirección Facultativa o Jefatura de Obra las situaciones de riesgo detectadas y la prevención adecuada.
 - Examinar las condiciones relativas al orden limpieza, ambiente, instalaciones y máquinas con referencia a la detección de riesgos profesionales.
 - Prestar los primeros auxilios a los accidentados.
 - Conocer con detalle el Plan de Seguridad y Salud de la obra.
 - Colaborar en la investigación de los accidentes.

- Obligaciones específicas del vigilante de seguridad:
 - Controlar la observancia de las normas de seguridad.
 - Dirigir la puesta en obra de las unidades de seguridad.
 - Efectuar las mediciones de la obra ejecutada en el capítulo de seguridad.
 - Dirigir las cuadrillas de seguridad.
 - Redactar los partes de accidente.
 - Controlar las existencias y acopios del material de seguridad.
 - Revisar la obra diariamente para detectar las posibles deficiencias en materia de seguridad.
 - Controlar las autorizaciones de manejo de maquinaria.

El nombramiento del Comité de Seguridad, en su caso, quedaría reflejado en un acta, debiendo entregarse copia de la misma a la Dirección Facultativa.

- Coordinador en materia de seguridad y salud:

Tanto durante la fase de redacción como en la fase de aplicación y control en obra del Estudio de Seguridad y Salud, deberá existir la figura del Coordinador en materia de Seguridad y Salud, que corresponderá al técnico competente designado por el promotor, el cual, bien durante la fase de proyecto o bien integrado en la Dirección Facultativa durante la ejecución de la obra, elabore (en el primero de los casos) y/o coordine y supervise (en el segundo caso) la correcta planificación y aplicación a los diferentes trabajos a desarrollar en la/s obra/s de los principios y

tareas que se recogen y especifican en el Estudio de Seguridad y Salud elaborado a tal fin, tal como se refleja en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre.

- Parte de accidente y deficiencias:

Respetándose cualquier modelo normalizado que pudiera ser de uso normal en la práctica del contratista, los partes de accidente y deficiencias observadas recogerán como mínimo los datos expuestos a continuación, con una tabulación ordenada.

- Parte de accidente:
 - Identificación de la obra.
 - Día, mes y año en que se ha producido el accidente.
 - Hora de producción del accidente.
 - Nombre del accidentado, categoría profesional y oficio del accidentado.
 - Domicilio del accidentado.
 - Lugar en el que se produjo el accidente.
 - Causas del accidente.
 - Importancia aparente del accidente.
 - Posible especificación sobre fallos humanos.
 - Lugar, persona y forma de producirse la primera cura (médico, practicante, socorrista, personal de obra).
 - Lugar de traslado para hospitalización.
 - Testigos del accidente.
- Parte de deficiencias:
 - Identificación de la obra.
 - Fecha en que se ha producido la observación.
 - Lugar en el que se ha hecho la observación.
 - Informe sobre la deficiencia observada.
 - Plan de mejora de la deficiencia en cuestión.

2.5.2. Medicina preventiva y primeros auxilios

2.5.2.1. Botiquín de primeros auxilios

Se prevé la atención primaria a los accidentados mediante el uso de botiquines de primeros auxilios, manejados por personal competente. Contendrán el material especificado en la Ordenanza General de seguridad y Salud en el Trabajo. Serán revisados mensualmente y se repondrá de inmediato el material consumido.

2.5.2.2. Reconocimiento médico

Con el fin de lograr evitar en lo posible las enfermedades profesionales en la obra, así como los accidentes derivados de los trastornos físicos, psíquicos, alcoholismo y resto de las toxicomanías peligrosas, se prevé que el Contratista y los Subcontratistas, en cumplimiento de la legislación laboral vigente, realicen los reconocimientos médicos previos a la contratación de los trabajadores de la obra y los preceptivos de ser realizados al año de su contratación, y que asimismo, exija puntualmente este cumplimiento, al resto de las empresas que sean subcontratadas por cada uno de ellos para la obra.

En los reconocimientos médicos, además de las exploraciones competencia de los facultativos, se detectará lo oportuno para garantizar que el acceso a los puestos de trabajo se realice en función de la aptitud o limitaciones físico-psíquicas de los trabajadores como consecuencia de los reconocimientos efectuados.

2.5.2.3. Evacuación de accidentados

La evacuación de accidentados, que por sus lesiones lo requieran, está prevista mediante la contratación de un servicio de ambulancias, que el Contratista definirá exactamente a través de su plan de seguridad y salud.

La dirección y teléfono del Centro de Urgencias asignado estarán expuestos en un lugar visible para una rápida y efectiva asistencia a los accidentados.

2.5.2.4. Instalaciones de higiene y bienestar

Considerando el número previsto de operarios, se dispondrá de vestuarios y servicios higiénicos debidamente dotados. El vestuario dispondrá de taquillas individuales, con llave y asientos.

El agua potable que se suministra a los distintos servicios será procedente de la red general de abastecimiento que exista en la zona.

Los servicios higiénicos dispondrán de un lavabo y una ducha con agua fría y caliente para cada diez trabajadores, y dos W.C. por cada veinticinco trabajadores, disponiendo de espejos y calefacción. Los lavabos se instalarán en un número suficiente, lo más cerca posible de los retretes.

La limpieza y conservación de estos locales serán efectuadas por un trabajador con la dedicación necesaria, o por un servicio de limpieza ajeno.

El número de instalaciones sanitarias y la construcción e instalación de letrinas, retretes estarán provistos de un sistema de descarga automática de agua o tratamiento químico; las tuberías y demás elementos de las instalaciones sanitarias, deberán ajustarse a las prescripciones de las autoridades competentes. Las duchas y lavabos no deben utilizarse para ningún otro fin.

2.5.3. Mantenimiento preventivo

Las herramientas, máquinas y medios auxiliares deben disponer del sello de “Seguridad Comprobada (GS), certificado de AENOR u otro organismo equivalente de carácter internacional reconocido, o un certificado del fabricante, responsabilizándose de la calidad de los equipos y herramientas destinadas para su utilización en la obra.

Periódicamente se revisará la instalación eléctrica provisional de la obra corrigiendo los defectos de aislamiento y comprobándose las protecciones diferenciales y la toma de tierra.

En las máquinas eléctricas portátiles, el usuario revisará diariamente los cables de alimentación y conexiones, así como el correcto funcionamiento de sus protecciones.

Las herramientas manuales serán revisadas diariamente, reparándose o sustituyéndose cuando su estado denote un mal funcionamiento o represente un peligro para el usuario.

Los accesos a la obra se mantendrán en buenas condiciones de visibilidad y en los casos que se considere oportuno se regarán las superficies transitadas para eliminar los ambientes polvorientos.

2.5.4. Plan de emergencia

El Plan de Emergencia es un documento que establece los procedimientos de actuación en caso de accidente en la planta. En este documento se analizan los riesgos de la planta y se darán todos los procedimientos con nombramiento de las personas implicadas, además del plan de evacuación, punto de encuentro y avisos a organismos.

Esto permitirá una buena organización ante posibles situaciones de emergencia que se produzcan en la planta, además de minimizar las consecuencias.

2.5.5. Plan de Seguridad y Salud

El contratista está obligado a redactar un Plan de Seguridad y Salud adaptándose a este Estudio de Seguridad y Salud. Este Plan será remitido a la Administración con un informe favorable del Coordinador en materia de Seguridad y Salud para su aprobación.

Antes de comenzar las obras, el Adjudicatario comunicará por escrito a la Dirección Facultativa el nombre del máximo responsable entre el personal que se encuentre habitualmente en obra, quien tendrá en su poder una copia del Plan de Seguridad y Salud que se elabore.

El Plan de Seguridad a presentar para su aprobación por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud debe incluir específicamente un Plan de emergencia en el que se detallen las actuaciones a desarrollar en el caso de un accidente o incendio. En concreto, se especificará como mínimo:

- Nombre, teléfono y dirección del centro donde deben acudir normalmente los accidentados.
- Teléfono de paradas de taxis próximas.
- Teléfono de Cuerpos de Bomberos próximos.
- Teléfono de ambulancias próximas.

Cuando tenga lugar algún accidente que precise asistencia facultativa, aunque sea leve y la asistencia médica se reduzca en una primera cura, se realizará una investigación del mismo y además de los trámites oficialmente establecidos, se pasará como muy tarde dentro del día siguiente al accidente, un informe a la Dirección Facultativa de la obra en el que se especifique:

- Nombre del accidentado.
- Día, hora y lugar del accidente.
- Descripción del mismo.
- Causas del accidente.
- Medidas preventivas para evitar su repetición.
- Fechas límite para la adopción de medidas preventivas.

La Dirección Facultativa podrá aprobar este informe o exigir la adopción de medidas complementarias no indicadas en el mismo.

2.5.6. Libro de incidencias

En cada centro de trabajo existirá, con fines de control y seguimiento del Plan de Seguridad y Salud, un Libro de Incidencias que constará de hojas por duplicado y que será facilitado por el Colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el Plan de Seguridad y Salud.

Deberá mantenerse siempre en obra y en poder del Coordinador. Tendrán acceso al Libro, la Dirección Facultativa, los contratistas y subcontratistas, los trabajadores autónomos, las personas con responsabilidades en materia de prevención de las empresas intervinientes, los representantes de los trabajadores, y los técnicos especializados de las Administraciones públicas competentes en esta materia, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo.

2.5.7. Conclusiones

Con todo lo descrito en los documentos que integran el presente Estudio de Seguridad y Salud, quedan definidas las medidas de prevención que inicialmente se consideran necesarias para la ejecución de las distintas unidades de obra que conforman la planta.

Si se realizase alguna modificación, o se modificara algún sistema constructivo de los aquí previstos, es obligado constatar las interacciones de ambas circunstancias en las medidas de prevención contenidas en el presente Estudio de Seguridad y Salud, debiéndose redactar, en su caso, las modificaciones necesarias.