
ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

CAPÍTULO I

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO FÓRMICO

Curso 2015-2016
Tutor: Rafael Bosh

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona



Borja Sieiro Pereira
Gil Garcia Casassas
Margalida Servera Monserrat
Raphaella Tkatchenko
Raúl Ferra Gimenez de la
Fuente

Capítulo I: Especificaciones del proyecto

1.1- Definición del proyecto	3
1.1.1. Objetivos y bases del proyecto.....	3
1.1.2. Alcance del proyecto.....	3
1.1.3. Localización de la planta	4
1.1.4. Meteorología de la región.....	5
1.1.5- Nomenclatura de la memoria	6
1.2 Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad de la planta	8
1.3 Métodos de obtención de Acido Fórmico	11
1.3.1 PROCESO USRR	11
1.3.2 Proceso Kemira-Leonard	12
1.3.3 Proceso BASF	13
1.4 Descripción del proceso.....	14
1.4.1. Primera etapa	14
1.4.2. Segunda etapa	15
1.5 Características de los compuestos	18
1.6- Aplicaciones del ácido fórmico	25
1.7-Balances de Materia	26
1.8 Constitución de la planta.....	37
1.8.1 Descripción cualitativa de la planta	37
1.9 Plantilla de trabajadores	41
1.10- Programación temporal y montaje de la planta	42
1.11 SERVICIOS DE PLANTA	45
1.11.1 Equipos de frío	45
1.11.1.1. Torres de refrigeración	45
1.11.2. Equipos de calor.....	48
1.11.2.1. Lista de consumidores	48
1.11.2.2. Calderas de vapor	48
1.11.3. Aire comprimido	52
1.9.4. Nitrógeno	54
1.9.5. Electricidad	56
1.9.6. Sistema de Alimentación Interrumpida	58
1.9.7. Grupo Electrónico	58
1.9.8. Descalcificadora de agua.....	61
1.9.9 Consumos	63

1.1- Definición del proyecto

1.1.1. Objetivos y bases del proyecto

El objetivo del proyecto es la síntesis de ácido fórmico a partir de metanol y monóxido de carbono.

En todo momento se debe tener presente la viabilidad técnica del proceso, así como cumplir las normativas y legislaciones vigentes, a lo largo de la elaboración de todo el proyecto.

Una vez diseñada la planta, será importante detallar la puesta en marcha i la producción continuada durante el periodo de trabajo.

Las bases tenidas en cuenta a la hora de hacer el diseño de la planta son:

- Capacidad de producción: 75.000 toneladas anuales.
- Funcionamiento de la planta: 300 días al año de operación, con 65 días de parada.
- Presentación del producto: Se debe presentar a granel en cisternas de 23 toneladas con una pureza mínima del 90% en peso.

1.1.2. Alcance del proyecto

Los puntos principales que se llevarán a cabo en el proyecto y que serán incluidos en la memoria son:

- Diseño y especificaciones de las unidades reacción y proceso.
- Diseño y especificaciones de las unidades de almacenamiento tanto de materias primas, como de producto.
- Diseño del sistema de control y automatismos para el buen funcionamiento de la planta.
- Especificación de las unidades de servicio que requiere la planta.
- Diseño del sistema de seguridad e higiene adecuado de la planta para la prevención de accidentes teniendo en cuenta la legislación vigente.
- Evaluación medioambiental de las posibles emisiones, así como su impacto ambiental y unidades necesarias para cumplir con la legislación medioambiental vigente.
- Evaluación económica para verificar la viabilidad de la planta diseñada.
- Estudio de la puesta en marcha, parada y operación de la planta.
- Elaboración de los diferentes diagramas y planos necesarios siendo estos, P&D y diagramas de implantación.

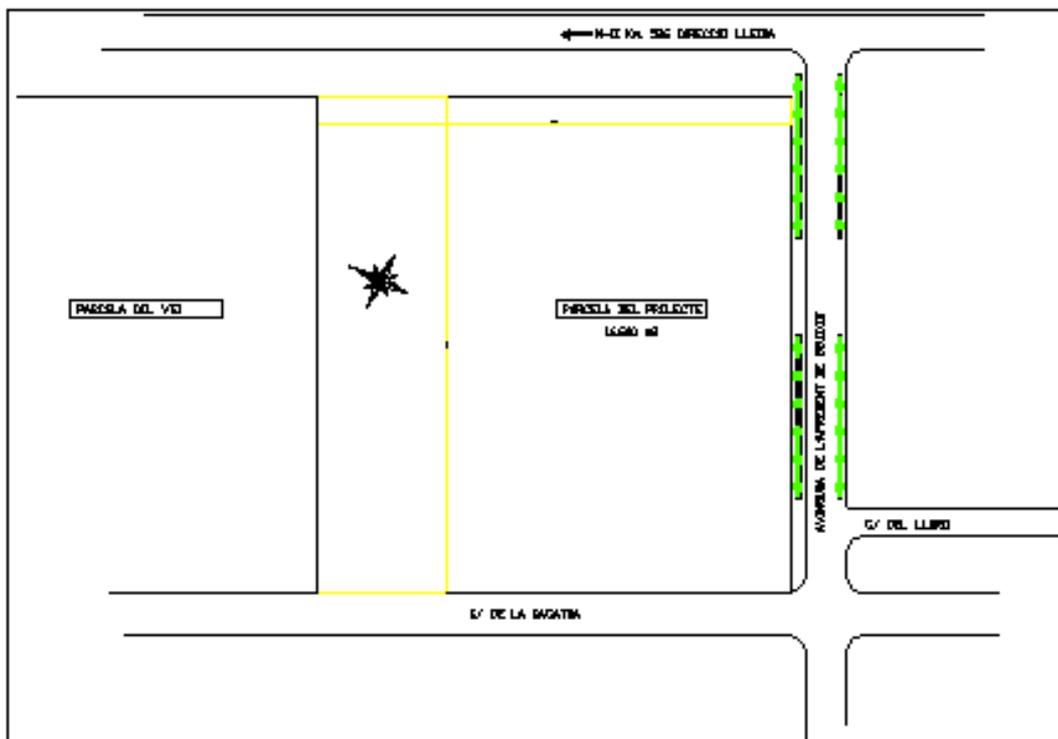


Figura 1.1: Plano de la Parcela

Hay que destacar la gran importancia de la localización de la planta química pues es un punto importante en el desarrollo de un proyecto de estas características. Es importante un fácil acceso a las instalaciones vía carretera o ferroviaria que permita la llegada y salida de los productos que se usan para la síntesis de ácido fórmico.

También es importante una buena comunicación con otros complejos de carácter industrial y vías de comercio cercanas para así poder obtener las materias primas lo antes posible.

Finalmente, y no menos importante, la localización de la planta determina un factor muy importante, la meteorología del lugar que viene explicada a continuación.

1.1.4. Meteorología de la región

Igualada se caracteriza por tener un clima mediterráneo. A efectos reales, el mar actual ejerce como regulador de la temperatura por lo que los inviernos son suaves y los veranos agradables gracias a las brisas marinas que limitan las temperaturas máximas.

En un proyecto de este estilo, es importante conocer la temperatura máxima y mínima histórica en los últimos 100 años y tenerlas en cuenta en los diseños de los equipos.

La temperatura máxima en Igualada fue de 43°C en Julio del año 1982 y de -6,7°C en febrero de 1956.

Sin embargo, lejos de esas excepciones, las medias anuales de temperatura en Igualada son mucho más suaves siendo Agosto el mes más caluroso del año con un promedio de 22,8°C y enero el más frío con un promedio de 7,3°C.

También es importante destacar las precipitaciones que se dan en el lugar.

El mes más seco es Julio con una media de 29 l/m² mientras que el mes más lluvioso resulta ser Setiembre con una media de 72 l/m² pues el clima catalán se destaca por fuertes lluvias torrenciales en esas fechas.

La probabilidad de nieve es bastante baja, sin embargo, la probabilidad de granizo es más elevada pues es típico del clima catalán y resulta de gran importancia a la hora de tener en cuenta en el diseño de los aparatos, pues condiciones de este estilo podrían producir una mayor deterioración de estos.

HUMEDAD RELATIVA

La velocidad media a 10 metros es de 2.3 m/s con dirección dominante al este, según los datos recogidos por el servicio meteorológico de Catalunya al año 2014. A la humedad relativa es de 77 % de media.

SISMOLOGIA

Cataluña se puede considerar como una zona de actividad sísmica moderada, aunque con una posibilidad que se produzcan acontecimientos con un potencial de daño elevado, tal como recoge el registro histórico e instrumental realizado por el “Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya”. Existen determinadas áreas de Catalunya que se encuentran expuestas a un riesgo mayor que se produzcan situaciones de emergencia sísmica. Sabadell, lugar de emplazamiento de la planta, se encuentra dentro de la zona sísmica 2, con una intensidad máxima percibida de VII en la escala MSK (IGC, 2015).

Los regímenes de vientos mas característicos de la zona son el Mestral (de componente Noroeste) durante los meses de octubre a marzo y el Xaloc (de componente Sureste) entre mayo y setiembre.

1.1.5- Nomenclatura de la memoria

En este apartado se especifica un resumen de la nomenclatura utilizada por AFOR, durante todo el proyecto.

En la tabla 1.2 se detallan las áreas que forman la planta con su nomenclatura propia.

Tabla 1.2: Abreviaciones de las áreas que componen la planta

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
A-100	Almacén de materias primas
A-200	Reacción de carbonización
A-300	Separación de subproductos R1
A-400	Reacción de hidrólisis
A-500	Almacén de extractante (DMF)
A-600	Separación Final/Purificación
A-700	Almacén de producto final
A-800	Oficinas, recepción, vestuarios, lavabos y duchas, comedor, parking...
A-900	Carga y descarga
A-1000	Depuración/Tratamiento de residuos
A-1100	Taller de mantenimiento
A-1200	Almacén de material de seguridad de la planta
A-1300	Servicios
A-1400	Laboratorios/Sala de control
A-1500	Ampliaciones de la planta

La tabla 1.3 se especifica la codificación usada para los diferentes equipos presentes en la planta..

Tabla 1.3. Codificación

CÓDIGO	EQUIPO
B	Bomba
C	Columna de destilación
Cm	Compresor
D	Descalcificadora
E	Columna de extracción
I	Intercambiador de calor
M	Mezclador
R	Reactor
T	Tanque de almacenaje

En la tabla 1.4 se especifica la codificación propia de los diferentes fluidos que circulan por la planta.

En la tabla 1.5 se especifican los códigos correspondientes a las mezclas, de los fluidos durante el proceso.

Tabla 1.4: Abreviaciones de los corrientes de mezcla de proceso

CÓDIGO	FLUIDO
F1	Monóxido de carbono
F2	Metanol
F3	Formiato de metilo
F4	Agua
F5	Ácido fórmico
F6	Metoxido de sodio
F7	DME
N	Nitrógeno

Tabla 1.5: Abreviaciones de los fluidos puros

CÓDIGO	CORRIENTES
MX1	F1 + F3
MX2	F2 + F3
MX3	F1 + F2 + F3
MX4	F2 + F4 + F5
MX5	F2 + F4 + F3 + F5
MX6	F2 + F4
MX7	F2 + F4 + F5
MX8	F4 + F5
MX9	F4 + F5 + F7
MX10	F2 + F6

1.2 Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad de la planta

Las comunicaciones y accesibilidad a la planta son de vital importancia para la provisión de materias primas y la distribución del producto, por lo tanto, un punto clave es decidir su ubicación.

El transporte nacional de mercancías en España se hace en su inmensa mayoría a través de la red de carreteras, complementándose con el transporte aéreo, marítimo y ferroviario.

Seguidamente se hace un estudio de las infraestructuras de transporte situadas en las proximidades del municipio de Igualada.

Comunicación viaria:

Como anteriormente se ha mencionado el transporte terrestre es el más comúnmente utilizando para el transporte de mercancías. Existe una amplia red de autopistas, autovías y carreteras. La vía mas frecuente para llegar al municipio de Igualada es autovía A-2 situada al norte de Igualada, es una de las seis autovías radiales de España que comunica Barcelona y Madrid pasando por Guadalajara, Zaragoza y Lérida, la cual mediante el tramo La Jonquera - Barcelona de autopista del mediterráneo regula en gran medida el tráfico procedente de los puntos de Europa que se sitúan al este de los Pirineos. La carretera C-37 cruza una parte de Cataluña de suroeste a noreste, el tramo de Igualada Manresa forma parte del Eje Diagonal. La carretera C-15 que junto con la C-37 que forma el Eje Diagonal que es el principal itinerario de comunicación entre las comarcas del interior de Cataluña con la con la zona central de la mediterránea enlazando diferentes poblaciones entre las cuales esta Manresa, Igualada, Vilafranca del Penedés i Vilanova i la Geltrú. La C-15 esta situada al sur de Igualada y recorre desde Vilanova y la Geltru hasta Igualada.



Figura 1.2. Localización geográfica

Comunicación ferroviaria:

Referente a la comunicación ferroviaria unas redes de comunicaciones en Barcelona existen líneas de corto, medio y largo alcance (AVE). Estas líneas comunican con casi todo España, así como Cataluña y Francia. El corredor mediterráneo es un corredor ferroviario que discurre por el este de España paralelo a la costa mediterránea, este esta compuesto por varias líneas de alta velocidad, así como también de líneas convencionales y de mercancías... es una de las principales redes de transporte tanto de mercancías como de personas de la península ibérica con el resto del continente Europeo. La línea ferroviaria Llobregat-Ainoa la cual pasa por Igualada tiene transito de mercancías que conecta igualada con el puerto de Barcelona.

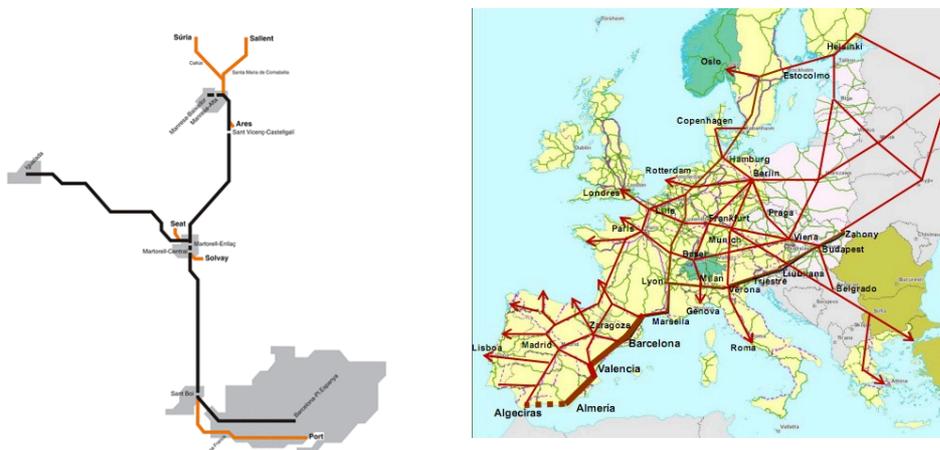


Figura 1.3. Comunicación ferroviaria

Comunicación Marítima:

Relativo a la comunicación marítima se dispone del puerto de Barcelona (el puerto industrial de Barcelona comprende el Puerto Libre o Zona Franca de Barcelona) que se encuentra a unos 65Km de Igualada y el de Tarragona que se ubica a unos 82 Km de Igualada que es uno de los puertos marítimos mas importantes de la costa mediterránea, gran parte de la actividad de este puerto esta relacionada con el transporte industrial y de mercancías.

Estos puertos son las dos principales rutas marítimas de transporte de mercancías de Cataluña las cuales engloban tanto transporte marítimo de corta distancia (TMCD) como están grandes rutas marítimas internacionales.

Cabe resaltar el ZAL (Zona de Actividades Logísticas) el cual esta integrada en el puerto de Barcelona. Es una infraestructura que mejora la eficiencia logística de empresas dedicadas al transporte de mercancías, así como empresas con grandes volúmenes de producción o comercialización.

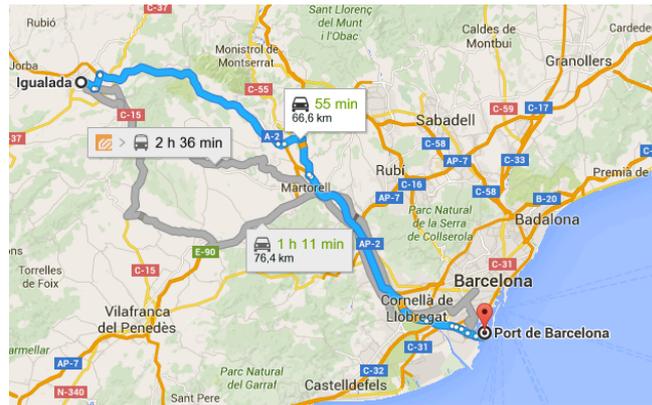


Figura 1.4. Comunicación marítma

Comunicación aérea:

El aeropuerto de Barcelona (El Prat) se encuentra a unos 71Km de distancia de Igualada, es uno de los aeropuertos mas importantes de España. Aunque cabe destacar que el transporte de mercancías vía aérea no es de los mas destacados nacionalmente.

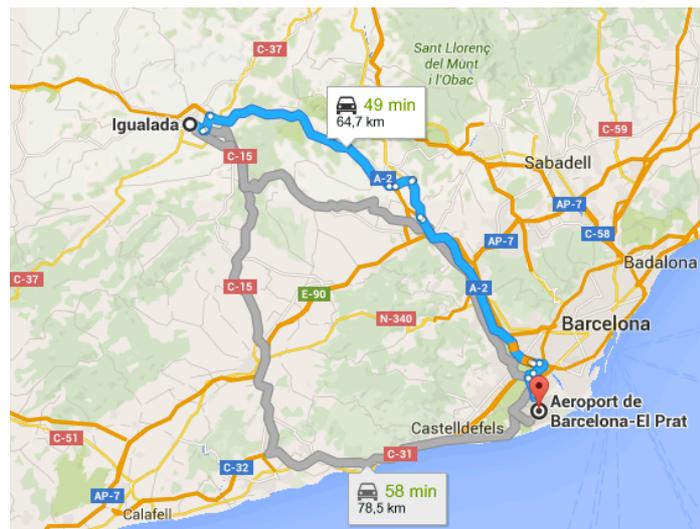


Figura 1.5. Comunicación aérea

1.3 Métodos de obtención de Acido Fórmico

La capacidad mundial de producción de ácido fórmico en 1988 era de 330000 tonás/año. Antiguamente gran cantidad del ácido fórmico utilizado era subproducto de la producción de ácido acético por la oxidación en fase líquida de butano o nafta. Actualmente los procesos dedicados a la producción de ácido fórmico han aumentado.

La producción de ácido fórmico por la hidrólisis de formiamida tuvo un papel importante en Europa (en 1972 un tercio de la producción mundial de ácido fórmico fue mediante este proceso), pero el consumo de amoníaco y de ácido sulfúrico junto con la producción inevitable de sulfato de amonio hacen que este método sea económicamente poco viable. Como consecuencia se prefiere la hidrólisis directa del formiato de metilo.

Otro método implica la formación de ácidos libres a partir de sus sales (el formiato de sodio y el formiato de metilo se utilizan para ese método). En 1970 la hidrólisis del formiato de metilo a metanol y ácido fórmico fue comercialmente desarrollado por varias firmas debido a ser un método económicamente viable.

Los tres procesos industriales utilizados para la producción de ácido fórmico se especifican a continuación:

1.3.1 PROCESO USRR

El proceso USRR produce alrededor de unos 40000 tn/año.

Descripción del proceso:

El monóxido del carbonio y el metanol reaccionan en una columna de reacción (a) en presencia de un catalizador i un estabilizador, alrededor de 3MPa produciendo formiato de metilo. El formiato de metilo se envía a la columna de destilación (b) donde se lleva a cabo la separación de formiato de metilo como destilado y metanol más el catalizador por colas, donde dicha destilación se lleva a cabo a 0.2MPa. Una vez llevado a cabo la destilación se pasa al reactor (c) donde el formiato de metil se hidroliza con agua en dos etapas. El reactor, es un reactor de lecho fijo con burbujeo a la parte inferior de este. En la primera etapa del hidrólisis el intercambiador empacado de cationes ácidos es usado como catalizador (f), donde se hidroliza parcialmente el formiato de metilo. En la segunda etapa, se lleva a cabo la hidrólisis con autocatalisis de el ácido fórmico producido en la primera etapa. La reesterificación se preve utilizar compresión y enfriamiento aproximadamente a 45°C. El metanol i el formiato de metilo son destilados a la columna de baja ebullición(d), donde los componentes son separados. El destilado se devuelve a la columna de destilación del formiato de metilo (b), y por colas se obtiene ácido fórmico i agua donde se envían a la columna de ácido fórmico (e) a bajas presiones donde se elimina mas agua. El ácido fórmico con un contenido del 85 % en peso que se elimina en un corriente lateral, aumentando así su concentración hasta un 98 % en peso a la columna situada posteriormente.

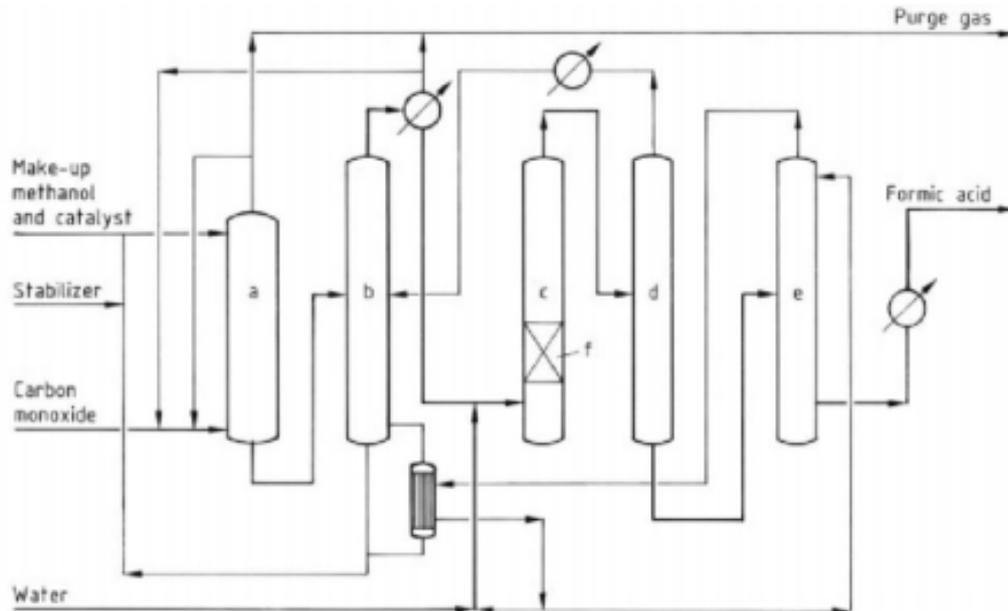


Figura 1.6: Diagrama de bloque del proceso USRR

1.3.2 Proceso Kemira-Leonard

El proceso Kemira – Leonard produce alrededor de unos 20000 tn/año.

Descripción del proceso:

El monóxido de carbono comprimido y el metanol es introducido al reactor (a) para dar formiato de metilo. Esta reacción es llevada a cabo a 4MPa i 80°C, utilizando como catalizador alcóxidos. El catalizador se introduce en mezcla con metanol. Este producto intermedio pasa a la columna de formiato de metilo (b) donde este es extraído por arriba en forma de destilado. El metanol y el catalizador disuelto es recirculado al primer reactor. El catalizador desactivado, principalmente formiato de sodio se cristaliza y es extraído. Posteriormente se pasa a un reactor preliminar (c) donde el formiato de metilo reacciona con agua en proporciones equimolares. Estas sustancias se usan como alimento para el reactor principal (d) junto con las recirculaciones de formiato de metilo, agua y metanol. El tiempo de residencia de dicho reactor es suficientemente grande para establecer el equilibrio. Dicho reactor se introduce formiato de metilo en exceso donde la reacción se lleva a cabo a 120°C i 0.9MPa. seguidamente se descarga el reactor a presión atmosférica en un tanque flash (e). Seguidamente se evaporan cantidades de formiato de metilo, agua y un poco de producto de interés, ácido fórmico, donde estos son recirculados al reactor principal. El metil formiato y el metanol son separados al vacío en una columna de separación de ácidos (g). El destilado se separa en forma de formiato de metilo y metanol a la columna de recirculación (g). Las columnas (h) y (i) se utilizan para aumenta la calidad del ácido fórmico donde la concentración obtenida alcanza el 98 % en peso.

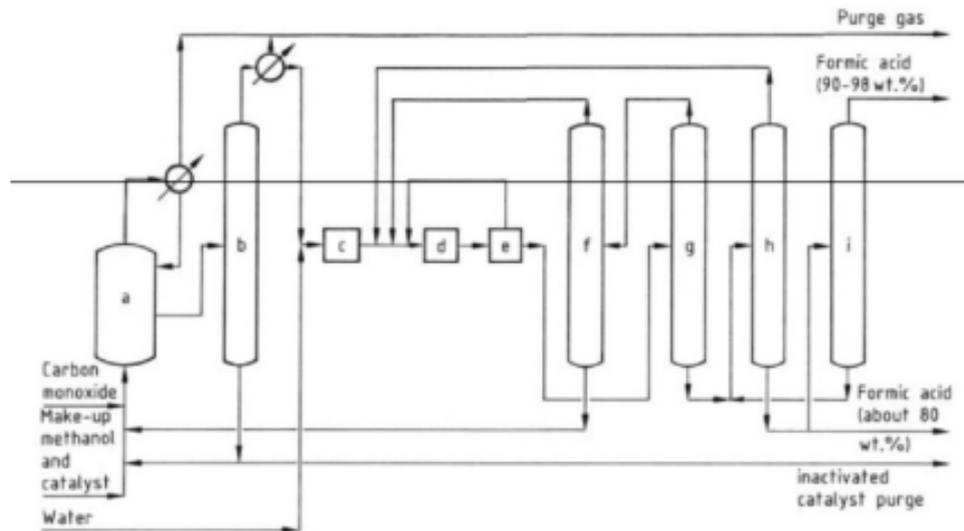


Figura 1.7: Diagrama de bloque del proceso Kemira-Leonard

1.3.3 Proceso BASF

El proceso BASF produce alrededor de unos 10000 tn/año.

Descripción del proceso:

El monóxido de carbono y el metanol son introducidos al reactor (a) en presencia de metóxido de sodio. El formiato de metilo que se forma, se introduce a una columna (b), que alimenta con destilado el reactor (c). El metanol y el catalizador disueltos que salen por la parte inferior de la columna (b) son reciclados al reactor (a). Seguidamente en el reactor (c) el formiato de metilo se hidroliza con exceso de agua aproximadamente 5 moles de agua por un mol de formiato de metilo. De esta manera se consigue desplazar el equilibrio en la dirección del ácido fórmico a temperaturas y presiones elevadas. El producto de la reacción se introduce en una columna de baja ebullición (d) donde se elimina el formiato de metilo y metanol como destilado. Por la parte inferior de dicha columna se obtiene ácido fórmico con una pequeña cantidad de agua donde esta es extraída con amidas secundarias. La mayor parte del agua se recicla al reactor (c). Seguidamente el extractante con ácido fórmico y un poco de agua son destilados en una columna de deshidratación (f) donde se elimina la suficiente agua como destilado donde se recicla al reactor (c), y por la parte inferior donde se encuentra el producto de interés, se introduce a la columna de ácido puro (g). Esta columna funciona al vacío de tal forma que se obtiene ácido fórmico entre el 90-98% en peso por la parte superior de esta. De tal manera la parte inferior se obtiene el extractante que se recicla a la columna de extracción.

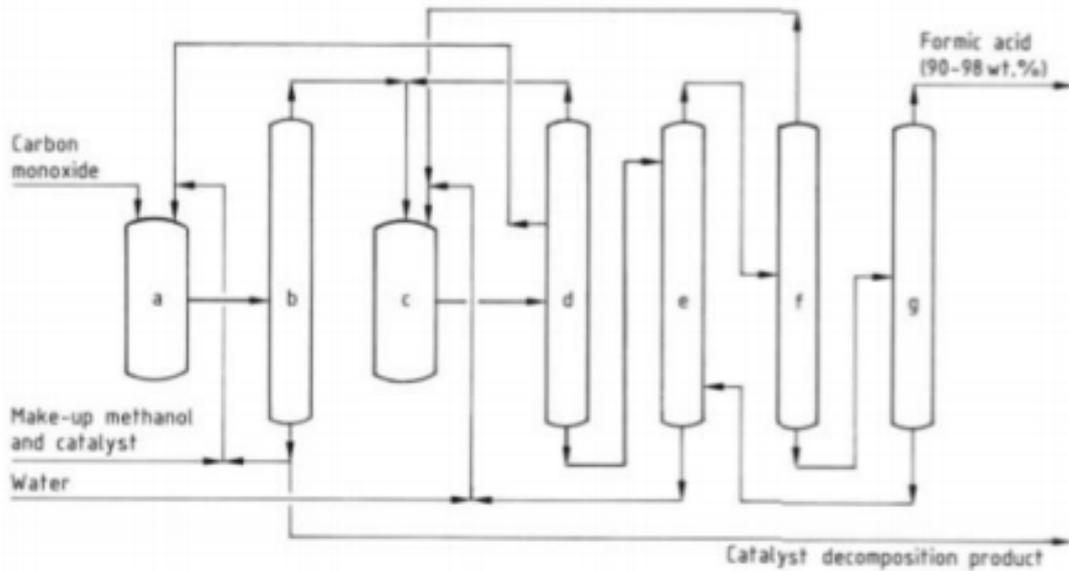


Figura 1.8: Diagrama de bloque del proceso BASF

1.4 Descripción del proceso

La obtención de ácido fórmico se hará mediante la hidrólisis del Formiato de Metilo. Para ello, se llevará a cabo dos etapas:

- 1° Carbonilación de metanol utilizando monóxido de carbono en presencia de un catalizador.
- 2° Hidrólisis del formiato de metilo a ácido fórmico y metanol.

1.4.1. Primera etapa

En primer lugar, se introducen los reactivos en el reactor de tanque agitado:

- Metanol con pureza 100%, en estado líquido, y en exceso, pero solo se gasta 30% de lo que entra.
- Monóxido de carbono en estado gaseoso, el cual se utiliza un 96% de lo que entra.
- Catalizador de metóxido sódico 2,5% en masa.

La reacción es exotérmica y tiene lugar a 85°C y 45,6 bar.



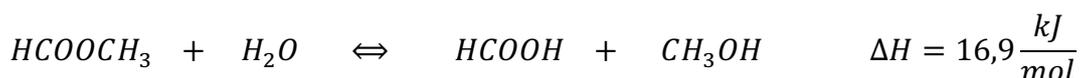
Al ser una reacción de equilibrio, en el corriente de salida del reactor saldrán todas las especies en concentraciones equilibradas. Por ello, se hace una separación líquido-gas empleando una columna flash, la cual separará el $\text{CO}_{(g)}$ del resto de sustancias.

Las condiciones de la columna flash serán de 85°C y una presión de 5 bar. El monóxido al ser gas, saldrá por la parte superior de la columna, y recirculado. Por otro lado, el metanol y el formiato de metilo, al estar en estado líquido, saldrán por la parte inferior y serán enviados a una columna de rectificación, la cual separará el metanol del formiato de metilo, siendo este último el compuesto más volátil, saliendo por el corriente de destilados y se le envía a la segunda etapa del proceso para ser hidrolizado.

El metanol, sale por el corriente del reboiler y es enviado a recirculación. Esta columna trabaja a presión atmosférica.

1.4.2. Segunda etapa

El formiato de metilo proveniente del destilado de la columna de rectificación de la 1^o etapa, se introduce a un reactor de tanque agitado, juntamente con un corriente de agua. La reacción que tiene lugar es endotérmica, y las condiciones del reactor son de 80°C y 5 bar de presión.

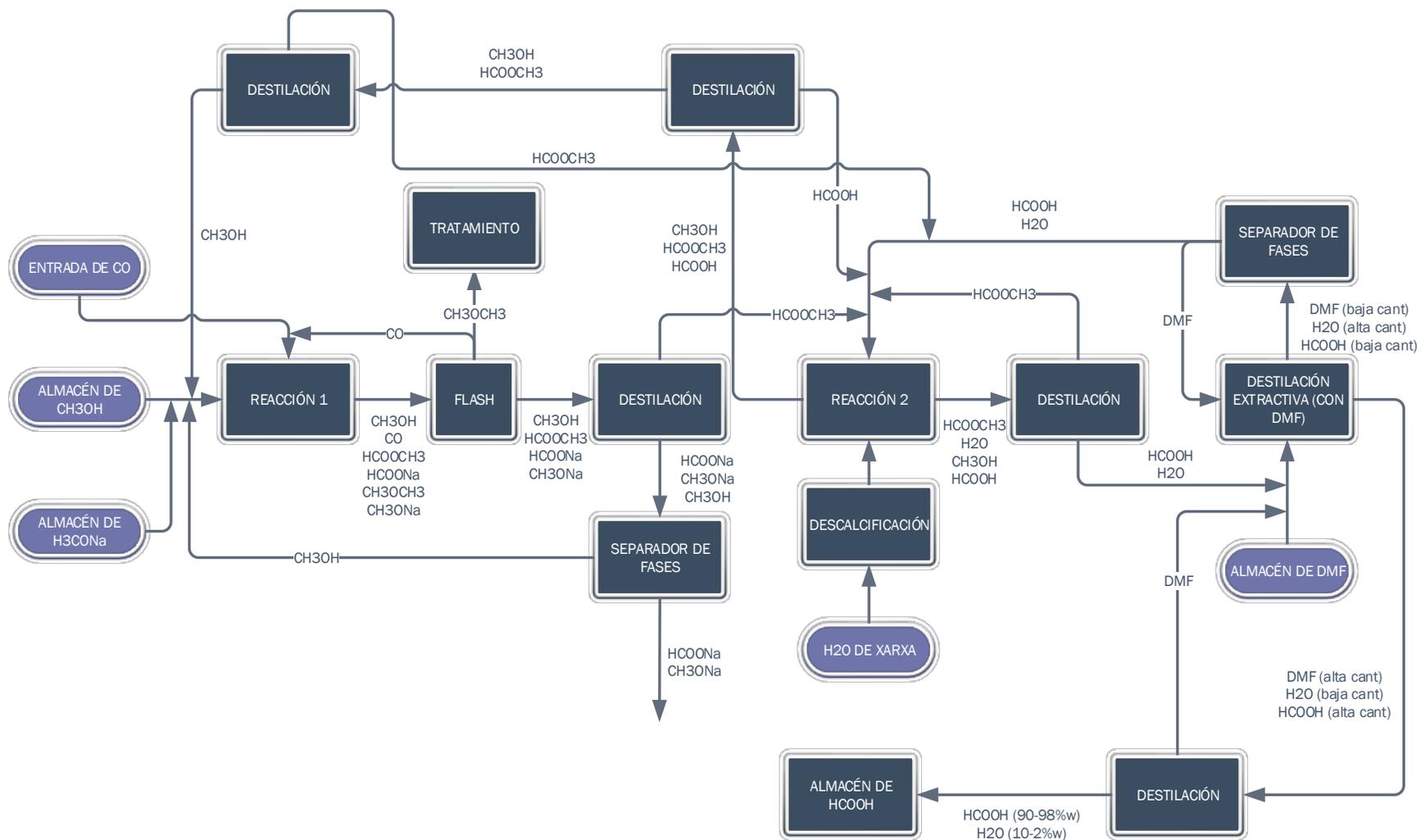


En esta etapa también se obtienen todas las especies implicadas en la reacción, ya que ésta es de equilibrio. Por lo tanto, para separar el producto deseado de todas las demás especies, el corriente de salida del reactor llevará a todos los productos a una zona de purificación compuesta por columnas de rectificación y una columna extractiva.

Seguidamente, se presentan los pasos que tienen lugar para la purificación del ácido fórmico

- El corriente de salida del reactor, alimentará a una primera columna de destilación, que trabajará a presión atmosférica. Por el corriente de destilado saldrá en composiciones elevadas, metanol y formiato de metilo, y en bajas composiciones agua y ácido fórmico. Por el corriente de colas, saldrá únicamente agua y ácido fórmico.
- Los componentes que salen por el corriente de colas de la primera columna, es enviado a una columna extractiva, donde se separará el ácido fórmico del agua con la ayuda de un extractante, DMF, ya que no sería posible realizar esta separación en una columna de rectificación, debido a la proximidad del punto de ebullición de estas especies. Habiendo separado el ácido fórmico del agua, el siguiente paso será separarlo del extractante utilizado. Para ello, se empleará una columna de rectificación, la cual, por corriente de colas saldrá DMF, que será recirculado, y por el corriente de destilado, saldrá el ácido fórmico, con una pureza del 90%. Se envía el producto a tanques de almacenamiento.

- El corriente de destilado de la primera columna de destilación, se envía a una segunda columna de destilación, que trabajará a condiciones atmosféricas. En esta segunda columna, saldrá por el corriente de destilado metanol, agua y formiato de metilo en elevadas composiciones, y por el corriente de colas, saldrá ácido fórmico, el cual se recircula al reactor de hidrólisis.
- El corriente de destilado de la segunda columna de destilación alimentará una tercera columna, donde a su vez, por el corriente de destilado, saldrá agua y formiato de metilo, que será recirculado hacia los reactores de hidrólisis para volver a reaccionar. Por el corriente de cola, saldrá metanol, que se recirculará a la primera etapa del proceso, para volver a ser carbonilado.



1.5 Características de los compuestos

En este apartado se especifican las diferentes características de los compuestos químicos presentes en la planta AFOR. Entre los que se encuentran:

- Las materias primeras: metanol, monóxido de carbono y agua
- El catalizador: metóxido de sodio
- El extractante: DMF
- Los productos intermedios: formiato de metilo
- Producto final: Ácido fórmico

Tabla 1.5.1 Propiedades físicas y químicas del metanol

Metanol

Forma	Líquido
Color	Incoloro
Densidad relativa de mezcla vapor/aire a 20°C (aire=1)	1,01
Densidad relativa (agua=1) (g/cm ³)	0,79
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1,1
Peso molecular	32,04
Presión de vapor a 20°C (hPa)	130,3 (a 20°C) / 546,6 (a 50°C)
Punto ebullición (°C)	65
Punto inflamación (°C)	12
Temperatura de autogñición (°C)	464
Temperatura crítica (°C)	239,58
Punto de fusión (°C)	-97,5
Presión crítica (atm)	79,9
Factor compresibilidad	0,22
Calor de vaporización al punto de ebullición normal (cal/mol)	8426
Entalpia de formación estándar (298K) (Kcal/mol)	-48,08
Solubilidad en agua (ml/100ml) a 20°C)	miscible
Límite inferior de explosividad, % en volumen en el aire	5,5
Límite superior de explosividad, % en volumen en el aire	36

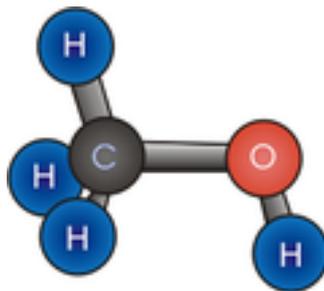


Figura 1.9. Estructura molécula Metanol

Tabla 1.5.2 Propiedades físicas y químicas del CO

Monóxido de Carbono

Forma	Gas comprimido
Densidad relativa (agua=1) (g/cm ³)	0,79
Densidad relativa de vapor (aire=1)	0,97
Peso molecular	28,01
Presión de vapor a 20°C (hPa)	58,8
Punto ebullición (°C)	-191,5
Punto inflamación (°C)	gas inflamable
Temperatura de autognición (°C)	605
Temperatura crítica (°C)	-140,05
Punto de fusión (°C)	-205
Presión crítica (atm)	34,53
Factor compresibilidad	0,29
Calor de vaporización al punto de ebullición normal (cal/mol)	1444
Entalpia de formación estándar (298K) (Kcal/mol)	-26,42
Solubilidad en agua (ml/100ml) a 20°C)	2,3
Límite inferior de explosividad, % en volumen en el aire	12,5
Límite superior de explosividad, % en volumen en el aire	74,2

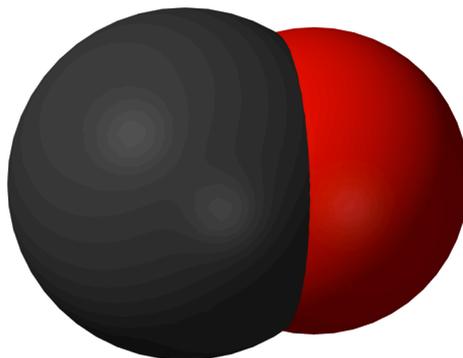


Figura 1.10. Molécula de CO

Tabla 1.5.3 Propiedades físicas y químicas del agua

Agua	
Forma	Líquido
Color	Incoloro
Densidad relativa (agua=1) (g/cm ³)	1
Peso molecular	18,02
Punto ebullición (°C)	100
Temperatura crítica (°C)	647,35
Punto de fusión (°C)	0
Presión crítica (atm)	218,29
Factor compresibilidad	0,26
Calor de vaporización al punto de ebullición normal (cal/mol)	9717
Entalpia de formación estandar (298K) (Kcal/mol)	-57,8
pH	6,0-8,0 (a 25°C)

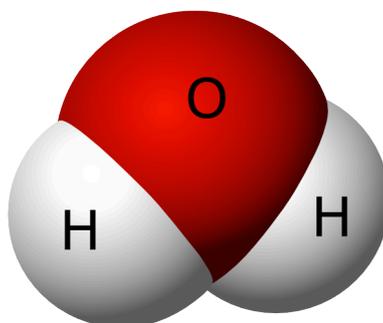


Figura 1.11. Molécula de agua

Tabla 1.5.4 Propiedades físicas y químicas del Formiato de metilo

Formiato de Metilo	
Forma	Líquido
Color	Incoloro
Densidad relativa de mezcla vapor/aire a 20°C (aire=1)	1,7
Densidad relativa (agua=1) (g/cm ³)	0,97
Densidad relativa de vapor (aire=1)	2,1
Peso molecular	60,05
Presión de vapor a 20°C (hPa)	639,9 (20°C) / 2261,5 (55°C)
Punto ebullición (°C)	32-34
Punto inflamación (°C)	-19
Temperatura de autogñición (°C)	449
Temperatura crítica (°C)	214,17
Punto de fusión (°C)	-100
Presión crítica (atm)	59,2
Factor compresibilidad	0,25
Calor de vaporización al punto de ebullición normal (cal/mol)	6740
Entalpia de formación estándar (298K) (Kcal/mol)	-83,6
Solubilidad en agua (ml/100ml) a 20°C)	30 (elevada)
Límite inferior de explosividad, % en volumen en el aire	5
Límite superior de explosividad, % en volumen en el aire	23
pH	4-5 (a 200 g/l i 20°C)

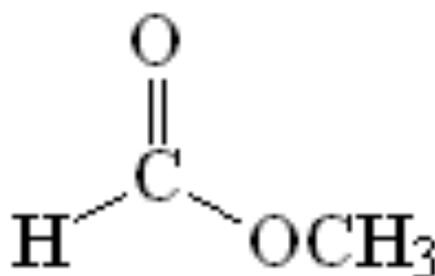

Figura.1.12 Estructura molecular de formiato de metilo

Tabla 1.5.5 Propiedades físicas y químicas del Metóxido de sodio

Metóxido de sodio

Forma	Polvo
Color	Blanco
Densidad relativa de mezcla vapor/aire a 20°C (aire=1)	-
Densidad relativa (agua=1) (g/cm ³)	0,97
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1,87
Peso molecular	54
Presión de vapor a 20°C (hPa)	67 (20°C) / 128 (25°C)
Punto ebullición (°C)	573
Punto inflamación (°C)	33
Temperatura de autognición (°C)	70-80
Temperatura crítica (°C)	
Punto de fusión (°C)	127
Presión crítica (atm)	
Factor compresibilidad	
Calor de vaporización al punto de ebullición normal (cal/mol)	-
Entalpia de formación estándar (298K) (Kcal/mol)	-
Solubilidad en agua (ml/100ml) a 20°C)	reacciona
Límite inferior de explosividad, % en volumen en el aire	7,3
Límite superior de explosividad, % en volumen en el aire	36
pH	13 (10g/L a 20°C)

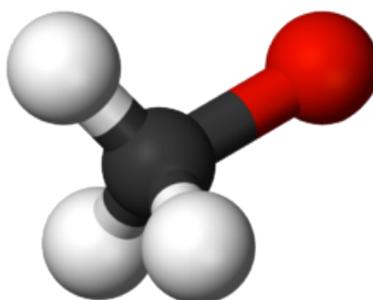

Figura 1.13. Molécula de metóxido sódico

Tabla 1.5.6 Propiedades físicas y químicas de DMF

DMF	
Forma	Líquido
Color	Incoloro
Densidad relativa de mezcla vapor/aire a 20°C (aire=1)	1
Densidad relativa (agua=1) (g/cm ³)	0.95
Densidad relativa de vapor (aire=1)	2,5
Peso molecular	73,09
Presión de vapor (25°C)	492 Pa
Punto ebullición (°C)	153
Punto inflamación (°C)	58
Temperatura de autogñición (°C)	445
Punto de fusión (°C)	-61
Límite de explosividad, % en volumen en el aire	2.2-16
pH	7 (200g/l, 20°C)

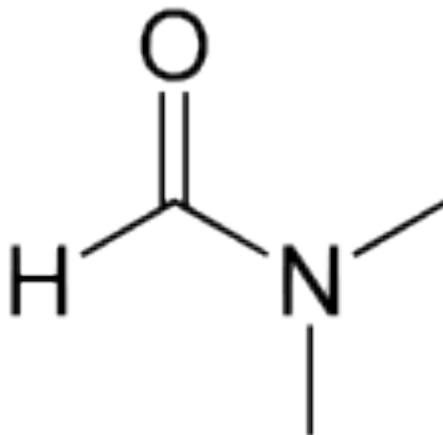
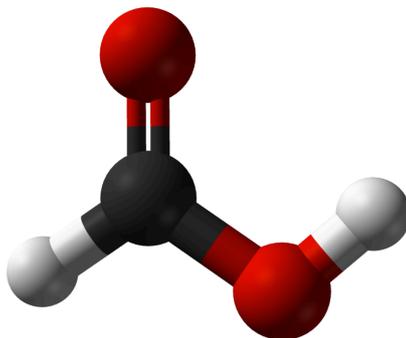

Figura 1.14. Molécula de DMF

Tabla 1.5.7 Propiedades físicas y químicas de HCOOH

Ácido fórmico

Forma	Líquido
Color	Incoloro
Densidad relativa de mezcla vapor/aire a 20°C (aire=1)	1,03
Densidad relativa (agua=1) (g/cm ³)	1,22
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1,6
Peso molecular	46,03
Presión de vapor a 20°C (hPa)	42,00 a 20°C / 169,99 a 50°C
Punto ebullición (°C)	101
Punto inflamación (°C)	49,5°C copa cerrada
Temperatura de autogñición (°C)	520
Temperatura crítica (°C)	307
Punto de fusión (°C)	8,2-8,4
Presión crítica (atm)	72,9
Factor compresibilidad	0,19
Calor de vaporización al punto de ebullición normal (cal/mol)	5240
Entalpia de formación estandar (298K) (Kcal/mol)	-90,49
Solubilidad en agua (ml/100ml) a 20°C)	miscible
Límite inferior de explosividad, % en volumen en el aire	18
Límite superior de explosividad, % en volumen en el aire	57
PH	2,2 (a 2,2 g/L i 20°C)


Figura. 1.15. Estructura molecular del HCOOH

1.6- Aplicaciones del ácido fórmico

- En la industria del cuero es usado para desgrasar el pelo del cuero, broncear y teñir.
- Aditivos de pinturas.
- Coagulante en la producción de caucho.
- Es un conservante y agente antibacteriano en el industria de la alimentación para ganado, se aplica en el ensilado de piensos, para promover la fermentación de ácido láctico y evitar la formación de ácido butírico.
- En la industria avícola se utiliza para matar la bacteria *E.coli*.
- Industria química farmacéutica.
- Prevenir trastornos de gases intestinales, se esta investigando usar para reemplazar los antibióticos incluidos en el alimento.
- Se utiliza también en lugar de ácidos minerales para productos de limpieza.
- Para limpiar acero.
- Es usado por los apicultores como acaricida contra la *Acarapisosis* y la acaros *Varroa*.
- Se esta estudiado el uso del ácido fórmico en la fabricación de papel , el papel fabricado en china tiene sulfito y este se esta tratando de substituir por ácido fórmico.
- Se esta analizando la posible utilización en baterías y pilas de combustible.

1.7-Balances de Materia

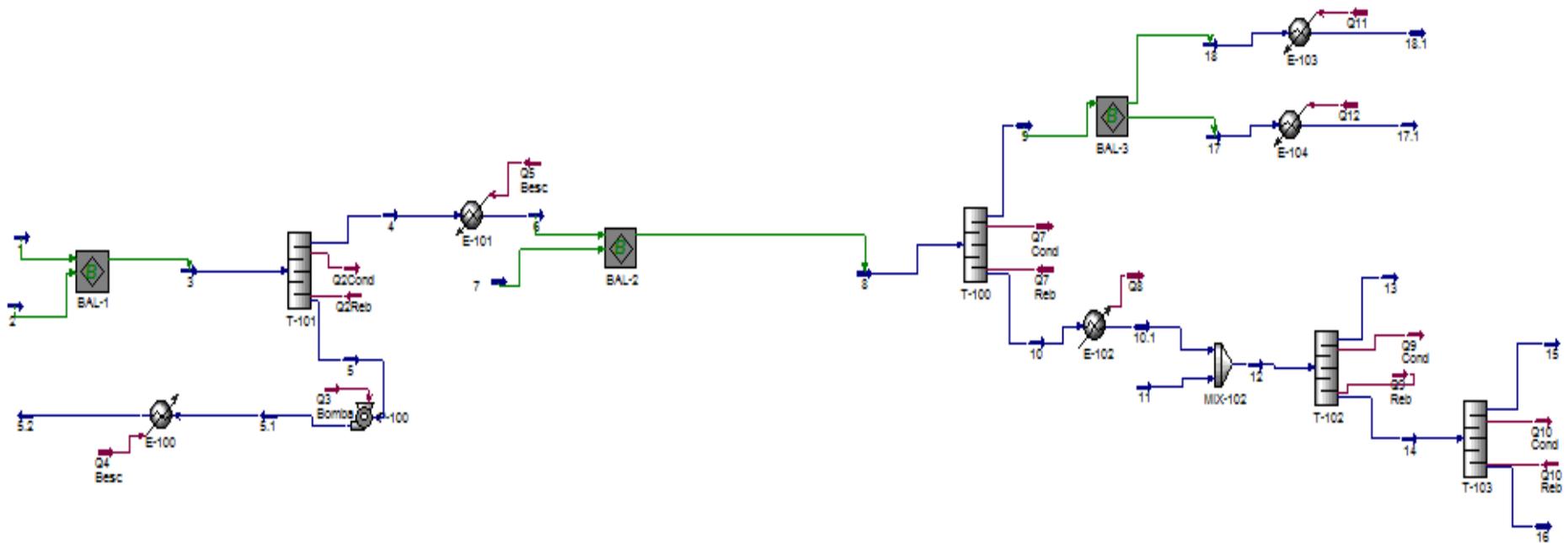


Figura 1.7.1 Diagrama del proceso, obtenido mediante Aspen Hysys

Continuación Tabla 1.7.1. Balance de materia del proceso

Corriente	49	50	51	52	53	54
Fracción de Vapor	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Temperatura (°C)	135,45	100,12	104,30	104,30	143,30	153,30
Presión (Kpa)	101,30	101,30	101,30	101,30	101,30	101,30
Flujo Molar (Kmol/h)	579,95	1603,08	938,00	658,52	407,00	305,80
Flujo Másico (Kg/h)	33742,77	29394,39	38030,00	26690,00	29770,00	22330,00
Cabal Volumétrico (m ³ /h)	33,08	29,30	35,98	25,25	28,16	21,13
Fracción Molar						
Metanol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Monóxido de Carbono	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formiato de metilo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ácido Fórmico	0,37	0,01	0,80	0,80	0,10	0,11
Agua	0,09	0,99	0,20	0,20	0,90	0,89
Metóxido de sodio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMF	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Continuación Tabla 1.7.1. Balance de materia del proceso

Corriente	55	56	57	58
Fracción de Vapor	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura (°C)	20,00	153,33	20,00	28,68
Presión (Kpa)	101,30	101,30	101,30	101,30
Flujo Molar (Kmol/h)	265,29	314,66	0,85	2099,96
Flujo Másico (Kg/h)	10751,13	22991,64	62,00	37831,00
Cabal Volumétrico (m ³ /h)	8,97	24,11	0,07	37,91
Fracción molar				
Metanol	0,00	0,00	0,00	0,00
Monóxido de Carbono	0,00	0,00	0,00	0,00
Formiato de metilo	0,00	0,00	0,00	0,00
Ácido Fórmico	0,80	0,00	0,00	0,00
Agua	0,20	0,00	0,00	1,00
Metóxido de sodio	0,00	0,00	0,00	0,00
DMF	0,00	1,00	1,00	0,00

1.8 Constitución de la planta

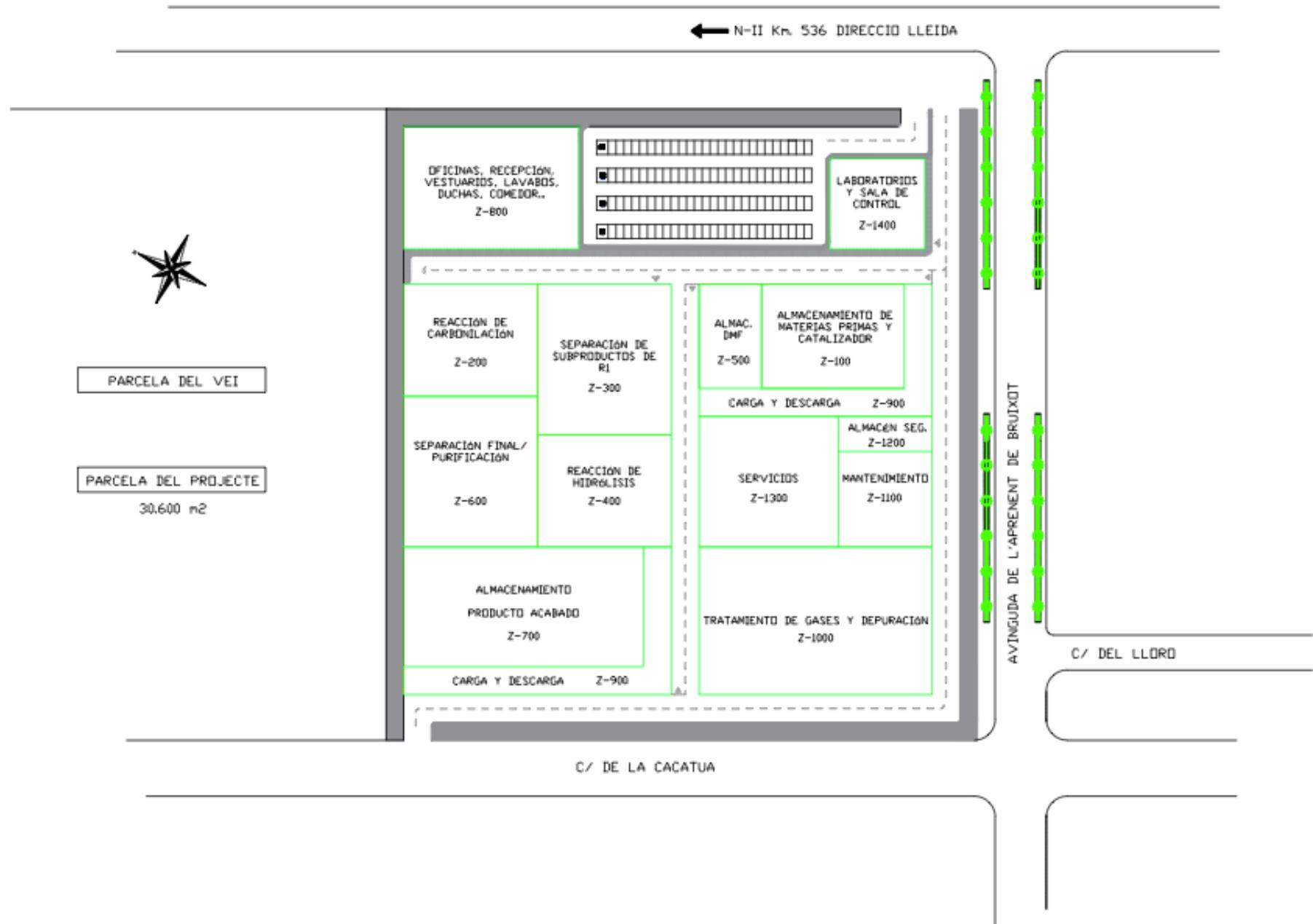
1.8.1 Descripción cualitativa de la planta

La planta de producción de ácido fórmico se distribuye en diferentes áreas, estas comprenden tanto la zona de producción, almacenaje, como las oficinas, laboratorios y zonas de control, el almacén de material de seguridad, los servicios...

La planta de producción de ácido fórmico diseñada cuenta con diferentes áreas, especificadas a continuación:

Tabla 1.8.1. Descripción cualitativa de la planta

ZONA	Descripción
A-100	Almacén de materias primas
A-200	Reacción de carbonización
A-300	Separación de subproductos R1
A-400	Reacción de hidrólisis
A-500	Almacén de extractante (DMF)
A-600	Separación Final/Purificación
A-700	Almacén de producto final
A-800	Oficinas, recepción, vestuarios, lavabos y duchas, comedor, parking...
A-900	Carga y descarga
A-1000	Depuración/Tratamiento de residuos
A-1100	Taller de mantenimiento
A-1200	Almacén de material de seguridad de la planta
A-1300	Servicios
A-1400	Laboratorios/Sala de control
A-1500	Ampliaciones de la planta



- **Área 100. Zona de almacenaje de materias primas:**

En esta área se establece el almacenamiento de materias primas. Se localizan los tanques de las materias primas necesarias para la producción de ácido fórmico.
- **Área 200. Área de reacción de carbonización:**

El área 200, es una de las zonas claves de la planta, debido a que en ella se encuentran los dos reactores de carbonización en los que se produce la reacción de formación de formiato de metilo a partir de metanol y monóxido de carbono.
- **Área 300. Separación de subproductos R1**

Esta zona de la planta está constituida por una columna de destilación flash y una columna de destilación del formiato de metilo.
- **Área 400. Reacción de Hidrólisis**

El área 400 es la segunda área de reacción, donde se encuentran dos reactores para la formación del producto final (ácido fórmico), a partir de la reacción del formiato de metilo con el agua.
- **Área 500. Almacén de extractante (DMF)**

Esta área es un área de almacenamiento del extractante usado en la columna extractiva (E-601).
- **Área 600. Separación final y purificación**

El área 600 es de vital importancia debido a que se produce la separación y purificación final del ácido fórmico, mediante cuatro columnas de destilación y una columna extractiva.
- **Área 700. Almacén de producto final**

El área 700 es una área de almacenamiento del ácido fórmico como producto final
- **Área 800. Oficinas, recepción, vestuarios, lavabos y duchas, comedor, parking...**

Esta área está formada por las oficinas donde se desempeñan los trabajos burocráticos y la gestión de la planta. En ella se encuentran los despachos, la sala de reuniones y la sala de actos. En esta área también se dispone de vestuarios, lavabos y duchas, el parking y el comedor.
- **Área 900. Carga y descarga:**

El área 900 es la zona de donde se localizan las bocas de carga y descarga de los diferentes tanques de almacenaje, tanto productos como los reactivos. En ella están ubicadas dos balanzas para contabilizar la carga del camión.
- **Área 1000. Depuración/Tratamiento de residuos**

El área 1000 es el agua de tratamiento de residuos donde se encuentra la EDAR propia de la planta y el tratamiento de los diferentes residuos gaseosos que son tratados mediante un sistema de oxidación térmica regenerativa (RTO).

También están almacenados los residuos sólidos para ser llevados a tratamientos externos.

- **Área 1100. Taller de mantenimiento.**

En esta área se localiza tanto es el personal de mantenimiento de la planta, como los diferentes utensilios necesarios para esta labor.

- **Área 1200. Almacén de material de seguridad de la planta.**

En esta área se localizan los diferentes materiales de seguridad de la planta, para que en caso de emergencia se realice una actuación rápida y eficaz. En ella están los sistemas de protección contra incendios.

- **Área 1300. Servicios.**

En la área de servicios está localizada la caldera de vapor, la descalcificadora, torres de refrigeración, aire comprimido, servicio de nitrógeno, grupo electrógeno, sistema SAI.

- **Área 1400. Laboratorios/Sala de control.**

Los laboratorios de la planta están localizados en el área 1400, estos desempeñan dos funciones, la primera es de control de calidad y una segunda función de I+D, para que la empresa evolucione científico-técnicamente y AFOR sea una empresa de vanguardia en el campo de producción.

En esta área también están ubicadas las salas de control, en las que se desempeña un trabajo clave para el correcto funcionamiento de la planta las 24 horas del día. En esta planta se monitorizan y controlan diferentes parámetros.

- **Área 1500. Ampliaciones de la planta.**

El área 1500 es una área reservada para posibles ampliaciones de la planta de producción de ácido fórmico AFOR.

1.9 Plantilla de trabajadores

En este apartado se detallan el número de trabajadores de la necesarios en la planta, así como las horas de trabajo, la organización temporal de los distintos turnos y las correspondientes vacaciones.

La planta de producción de ácido fórmico trabaja en continuo las 24 horas del día, durante 300 días al año un total de 7200 horas al año, con 65 días de paradas para realizar limpieza y mantenimiento. Según detalla el BOE-A-2013-3750, el número de horas anuales máximo para un trabajador de la industria química es de 1752. En la planta se requieren de 4 turnos: mañana, tarde, noche y fines de semana.

Los operarios y el personal de seguridad de la planta trabajan 40 horas semanales. Para disponer de operarios en la planta las 24 horas del día se dispondrá de tres turnos rotativos: uno la mañana de 6:00 a 14:00, uno por la tarde de 14:00 a 22:00 i otro por la noche de 22:00 a 6:00.

Los trabajadores están divididos en diferentes grupos cubriendo las diferentes áreas que requiere la planta:

- **Directivos y Técnicos:** los trabajadores que componen este grupo se encargan de planificar, organizar, dirigir, coordinar y controlar las actividades para un correcto funcionamiento de la planta con ayuda de los jefes de cada sección.
AFOR contará con 2 directivos y 4 técnicos.
- **Jefes de sección o especialistas:** las funciones de los trabajadores que forman este grupo consisten en coordinar, supervisar y controlar las diferentes secciones de la planta. Los jefes de sección se distribuirán en los turnos de tal forma que en cada turno haya dos especialistas en la planta.
La planta AFOR contará con 12 jefes de sección con titulaciones de ingeniero químico, industrial entre otras.
- **Operarios:** son los encargados de estar en la planta, su objetivo consiste en ejecutar las tareas de operación y mantenimiento de los equipos que constituyen la planta, su actividad es supervisada por los jefes de sección.
La planta AFOR contará con un total de 40 operarios distribuidos por las diferentes áreas de la planta.
- **Administración y marketing:** los encargados de administración y marketing de la planta, realizan las tareas que no integran las de producción. Estos trabajadores realizan de los departamentos de contabilidad, marketing, informática, comercial y recursos humanos.
La planta AFOR contará con un total de 4 personas especializadas en marketing, i un total de 16 personas encargadas de la administración.
- **Técnicos de laboratorio:** son los encargados del control de calidad de los productos. También se requiere de equipos de investigación (I+D) para innovar y encontrar métodos de producción más económicos.
La planta AFOR contará con un total de 8 personas encargadas del laboratorio, entre las cuales se encontrarán (6 de control de calidad y 2 de I+D).

- **Subcontratas:** engloban el personal que se contrata de manera externa como los servicios de limpieza, y mantenimiento de equipos especiales, personales de seguridad que vigilan la entrada a la planta. Este grupo implica un coste fijo.

1.10- Programación temporal y montaje de la planta

A continuación se presenta una planificación temporal del montaje de la planta de producción de ácido fórmico, una vez aceptado la construcción de la planta AFOR.

Para el desarrollo de la planificación se ha realizado un listado previo de tareas imprescindibles para llevar a cabo la obra, en las que se especifica su duración y orden y precedencia de tareas.

La información necesaria para fijar una programación para el montaje de la planta, se establece en la tabla 1.10.1.

Tabla 1.10.1: Duración y orden de precedencia de las tareas a realizar para la implantación de la planta.

Nº	Tareas	Duración (días)	Precedencia
1	Ingeniería del detalle	120	0:1
2	Licencia de obras y actividades	180	0:2
Urbanización			
3	Limpieza de terrenos	30	0:3
4	Excavaciones y cimientos	60	3:4
5	Instalación de suministros	30	4:5
6	Aceras y viales	30	3:6
Edificación de oficinas y aparcamientos			
7	Edificación de oficinas	90	5:7
8	Aparcamiento	30	4,6:8
9	Instalación de equipos	270	5:9
10	Instalación de soportes, barandillas, escaleras y plataformas	30	9:10
Instalación de tuberías			
11	Instalación de tuberías de proceso	45	9,10:11

12	Instalación de tuberías de servicio	45	9:12
Instrumentación			
13	Instalación de instrumentación	30	11-12:13
14	Conexión de instrumentos-equipos	15	9,13-14
Sistema eléctrico			
15	Instalación del sistema eléctrico	30	5:15
16	Conexión del sistema eléctrico-equipos	15	9,15:16
Aislamiento			
17	Aislamiento de equipos	30	14:17
18	Aislamiento de tuberías	30	14:18
Acabados			
19	Pintura	15	17,18:19
20	Limpieza	15	19:20

A continuación se presenta un diagrama de Gantt (figura 1.10.1) que es la representación gráfica del tiempo que requiere cada tarea necesaria para el montaje de la planta y el tiempo total que requiere este. Nos proporciona una visión grafica de la ejecución del montaje de la planta.

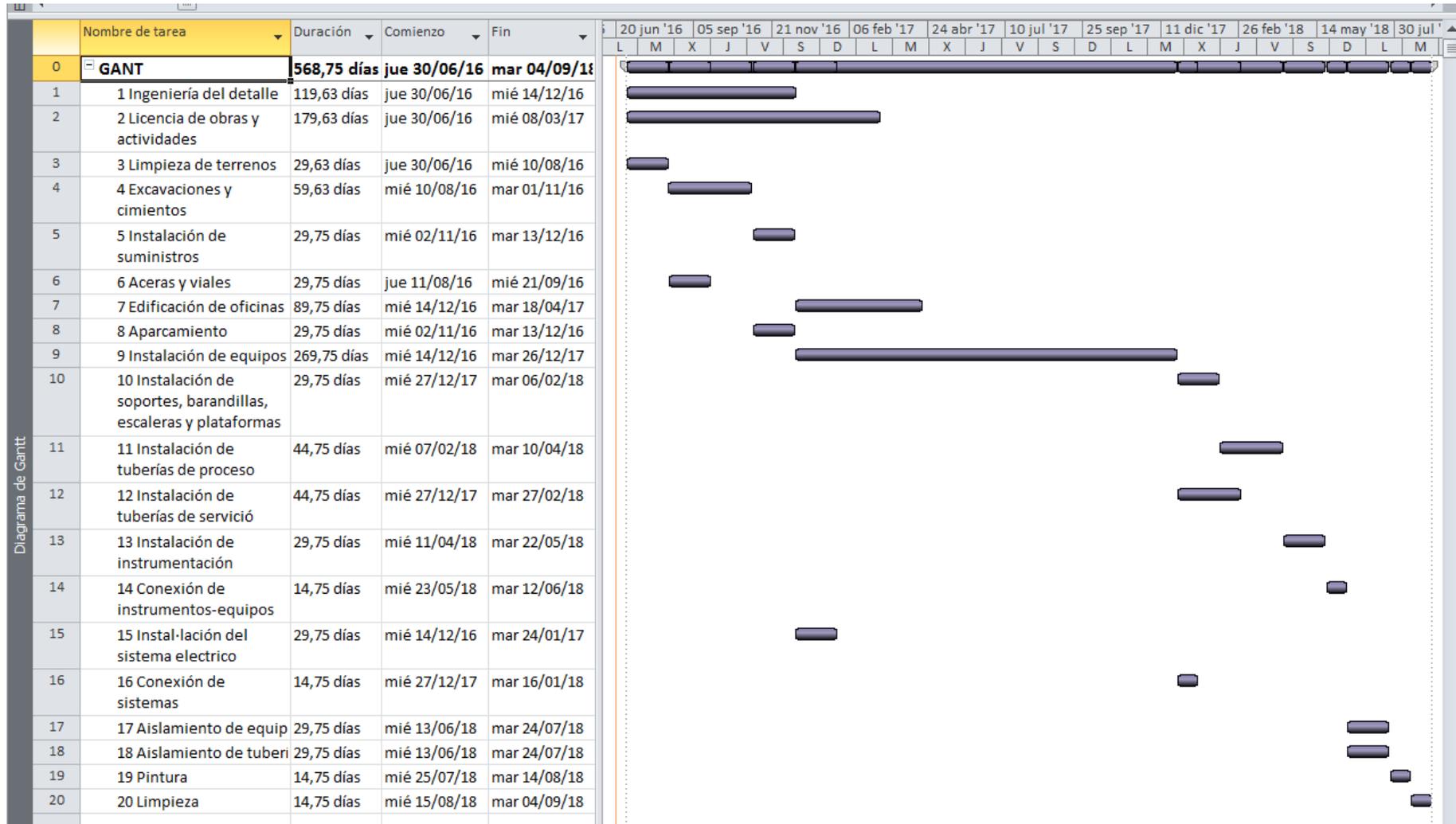


Figura 1.10.1. Diagrama de GANTT-Distribución temporal.

1.11 SERVICIOS DE PLANTA

A continuación se presentan la descripción detallada y las consideraciones tenidas en cuenta respecto a los servicios necesarios para el funcionamiento de la planta, entre los cuales se contemplan:

- Terreno: Resistencia de 2kg/cm^2 a 1,5m de profundidad sobre gravas
- Energía eléctrica: Conexión desde la línea de 20kV a pie de parcela.
- Gas natural: Conexión a pie de parcela a media presión de $1,5\text{kg/cm}^2$
- Agua de incendios: La máxima presión es de 4kg/cm^2
- Agua de red: Acometida a pie de parcela a 4kg/cm^2 con diámetro de 200mm
- Alcantarillado: Red unitaria en el centro de la calle, a profundidad de 3,5m con un diámetro del colector de 800mm.

Partiendo de la base especificada arriba, de la que se dispone para diseñar los equipos que satisfarán las necesidades de la planta, se procede a especificar cada uno éstos.

1.11.1 Equipos de frío

Dado que la demanda de agua fría en determinados puntos del proceso es de una temperatura de entrada del equipo superior a 20°C , se decide que la instalación de torres de refrigeración será suficiente para satisfacer las necesidades de los intercambiadores de calor, evitando así, el gasto innecesario de la instalación de equipos chiller.

1.11.1.1. Torres de refrigeración

Las torres de refrigeración son la mejor opción cuando se trata de la elección de un equipo de bajo consumo y fácil mantenimiento y operación, pese a su limitación de salto térmico.

Sin embargo, con la utilización de agua de red como fluido refrigerante, se presentan factores que pueden complicar la operatividad y seguridad de dicho equipo, debido a las sales minerales presentes, que se concentran, en la evaporación, de cada ciclo de refrigeración, provocando:

- Incrustaciones en las conducciones y rellenos: Estas incrustaciones son responsables por la reducción de la eficiencia y capacidad de la torre, debido al aumento de la resistencia a la transmisión de calor, afectando directamente al coeficiente global de transmisión de calor.

También es relevante el peso añadido por dichas incrustaciones, tal cosa puede afectar a la estructura del equipo.

- Crecimiento de microorganismos: Gracias a las condiciones de temperatura, humedad y ausencia de luz, existe un alto riesgo del crecimiento y proliferación de microorganismos como la *Legionella*, causando así un problema sanitario.
- Corrosión de cañerías y torre: Al concentrarse las sales minerales, éstas participan de una reacción de reducción-oxidación, provocando la corrosión del material, ya sea las tuberías, como la propia torre.
- Mantenimiento:

Con el fin de reducir y a ser posible evitar los problemas citados anteriormente, se sigue unas pautas de mantenimiento de la torre, explicadas a continuación, entre las cuales se encuentran:

- Adición de biocidas: Para evitar los problemas sanitarios
- Adición de desincrustantes: Para evitar la reducción de eficiencia de transmisión de calor debido a las incrustaciones
- Anticorrosivos: Aplicando una pasivación de los materiales utilizados, para evitar la corrosión de éstos.

Por lo tanto se establecen revisiones periódicas y completas en todo el equipo con el fin de controlar los parámetros físicoquímicos y microbiológicos, así como se instalarán tratamientos adecuados para cumplir con la normativa.

- Legislación

Nacional: RD 865/2003 (BOE 18/07/03)
Autonómica: D 352/2004.

- Prevención

Para evitar la sobrecarga de equipo, se trabajará de manera alterna, así como se procurará tener en vigor tratamientos y medidas para asegurar el control de la calidad de agua de refrigeración.

- Elección del equipo:

El equipo seleccionado proviene de la casa EWK, el cual proporciona equipos con carcasa en PRFV, libres de corrosión, con larga vida y resistencia a todo tipo de ambientes.



Figura 1.9.1. Ilustración de la torre de refrigeración seleccionada.

El modelo se ha elegido con un rango de potencia que satisfaz la potencia de disipación calculada en el apartado 11.11.1 de Manual de Cálculo.

La distancia entre las torres viene determinada por la UNE 100.03.2005.IN, y el diseño de la misma viene protegido por la ley de Propiedad Intelectual.

- Equipos consumidores

A continuación se presentan los equipos de la planta que requieren la entrada de agua fría a temperatura igual o superior a 22°C.

Tabla 1.9.1. Lista de equipos consumidores de agua de la torre de refrigeración

Equipo	Caudal [kg/h]	T entrada °C	T salida °C
I-302	31 712	22	37
I-402	37 830	22	37
I-601	127 228	22	37
I-603	17 467	22	37
I-605	9 070	22	37
I-607	137 901	22	37
I-610	34 946	22	37
I-611	273 96	22	37

- Condiciones de las torres de refrigeración

A la tabla 1.9.2 se presentan las condiciones de entrada, salida de la torre, así como la potencia requerida.

Tabla 1.11.2. Condiciones de la torre de refrigeración

Caudal m ³ /h	Capacidad calorífica [kJ/m ³ K]	Salto térmico [°C]	Potencia disipada (kW)	Canti dad Equip os	Potencia por equipo
421,5	4180	15	7342	2	3671,0

1.11.2. Equipos de calor

Para satisfacer la demanda de calor en diferentes puntos de la planta, se decide instalar calderas de vapor ya que éste es un conductor bastante eficiente de energía térmica, además de versátil y seguro.

1.11.2.1. Lista de consumidores

A continuación se dispone la lista de los equipos que requieren vapor saturado. Las condiciones de temperatura y presión elegidas para determinar qué modelo de caldera se necesita, vendrá dada por el caso más extremo.

Se sobredimensiona la necesidad de caudal de vapor un 10% para cubrir posibles errores.

Tabla 1.9.2. Lista de equipos que requieren vapor saturado.

Equipo	Caudal de vapor [kg/h]	Temperatura entrada [°C]	Temperatura salida [°C]
I-602	10 550	180	179,5
I-604	3 716	180	179,5
I-606	5 270	180	179,5
I-608	3 825	180	179,5
I-303	3 049	180	179,5
I-201	14 720	180	179,5
I-402	6 205	180	179,5
T-701	39,4	100	100
T-702	39,4	100	100
T-703	39,4	100	100
T-704	39,4	100	100
TOTAL		56 926 kg/h	

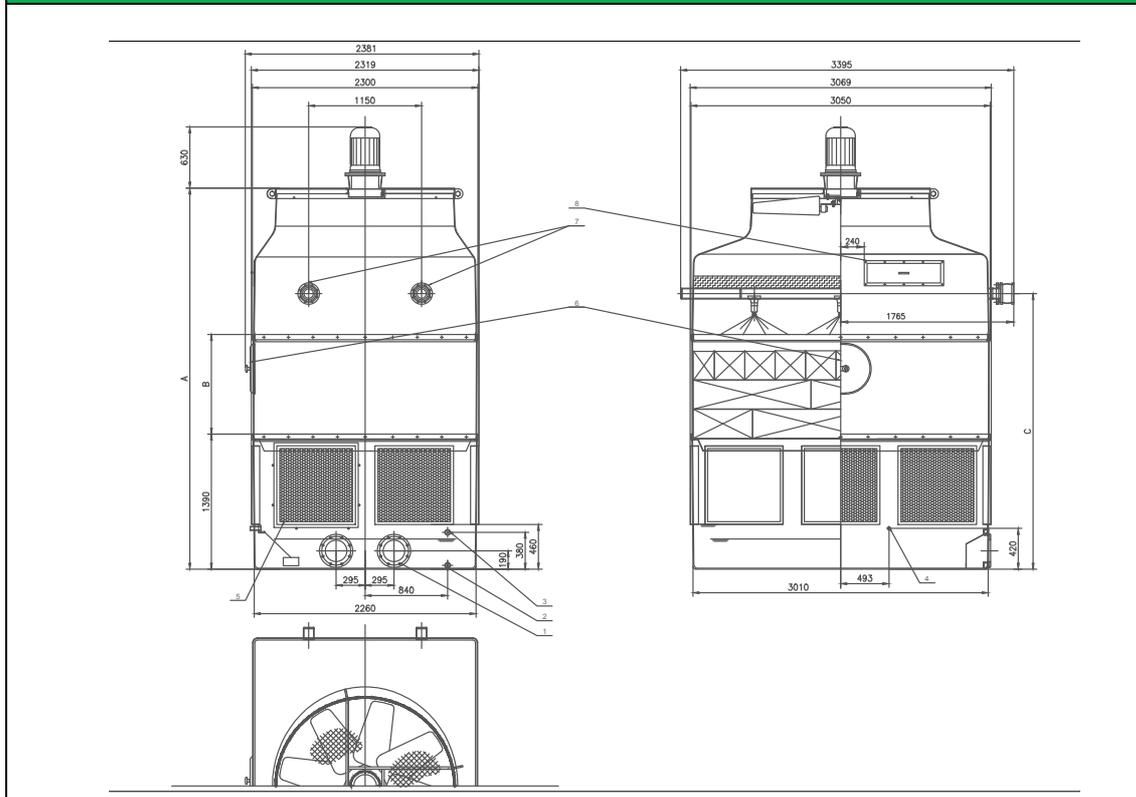
1.11.2.2. Calderas de vapor

El equipo proporcionará un vapor de 184 °C a 10 bar. A continuación se muestra las condiciones de los corrientes de entrada y salida, así como el calor que la caldera requerirá para trabajar a estas condiciones.

Tabla 1.11.3. Condiciones de entrada y salida de la caldera.

Caudal [kg/h]	T salida [°C]	T entrada [°C]	Potencia [kW]	Cantidad Equipos	Potencia/ equipo [kW]
56926	184	179,5	217	2	108

	HOJA 1 DE 1		HOJA DE ESPECIFICACIONES DE TORRES DE REFRIGERACIÓN	
	ÍTEM			
	AREA			
	PLANTA	ÁCIDO FÓRMICO	FECHA	
	LOCALIDAD	IGUALADA	REVISADO	
DATOS GENERALES				
DENOMINACIÓN		TORRE DE REFRIGERACIÓN		
FINALIDAD		DISMINUIR TEMPERATURA DEL AGUA POR DISIPACIÓN DE CALOR EN AIRE		
DATOS DE OPERACIÓN				
POTENCIA DISIPACIÓN kW		3671		
TEMPERATURA SALIDA °C		22		
TEMPERATURA ENTRADA °C		37		
PRODUCTO MANIPULADO		AGUA		
DATOS DE CONSTRUCCIÓN				
PROVEEDOR		EWK		
MODELO		680		
POT DISIPACIÓN		1234 kW (con salto térmico de 5°C)		
POT VENTILADOR		7,5		
LONGITUD (m)		3,4		
ALTURA (m)		4,5		
ANCHO (m)		2,38		
PESO VACIO (Kg)		1016		
PESO SERVICIO (Kg)		3347		



- Elección del equipo

Se ha buscado una caldera que satisfaga las necesidades de la planta, pero también un equipo con la máxima eficiencia, con economizadores de humos, donde el calor que se encuentra en los gases de escape se recupere, y donde las emisiones sean mínimas, usando preferiblemente Bio-diesel o BIO gases como combustible, alcanzando así un balance neutro de emisión de CO₂, con sistemas de control de la calidad del agua integrado.



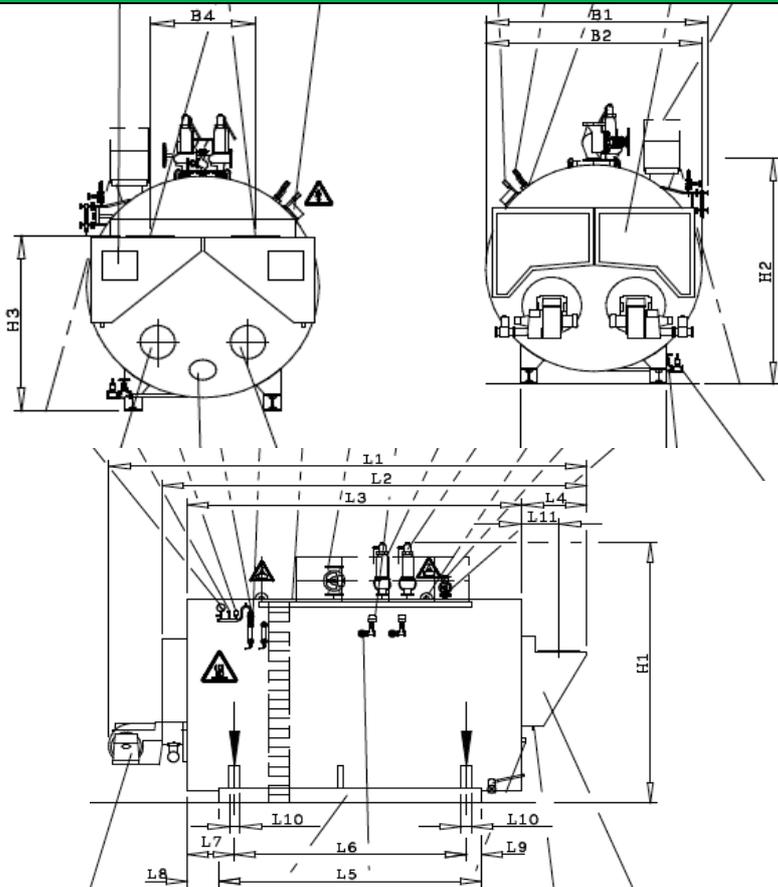
Figura 1.11.2. Caldera de vapor UNIVERSAL ZFR – BOSH.

El equipo seleccionado proviene de la casa *BOSH INDUSTRIEKESSEL BmbH*, el cual presenta las características que se buscaban.

Esta es una caldera de gran volumen de agua con tecnología de tres pasos con dos hogares y pasos de humos totalmente separados, proporcionando un suministro fiable de vapor y de calor con una gran potencia.

El equipo cubre un rango de demanda de vapor de 18.000 kg/h a 55.000 kg/h, con una presión de hasta 30 bar y temperatura de hasta 300°C.

Finalmente se decide instalar 2 calderas de vapor, cubriendo la necesidad requerida de la planta así como evitar la sobrecarga que habría si se utilizara solo 1 equipo, además de disminuir el riesgo de detención del proceso.

	HOJA 1 DE 1		HOJA DE ESPECIFICACIONES DE CALDERA DE VAPOR	
	ÍTEM			
	AREA			
	PLANTA	ÁCIDO FÓRMICO	FECHA	
	LOCALIDAD	IGUALADA	REVISADO	
DATOS GENERALES				
DENOMINACIÓN	CALDERA DE VAPOR			
FINALIDAD	Proporcionar calor mediante vapor.			
DATOS DE OPERACIÓN				
PROVEEDOR	BOSH			
MODELO	UNIVERSAL ZFR-X			
CANTIDAD	2			
POTENCIA CAUDAL	28 283 kg/h en cada caldera			
CONSUMO	109 kW			
DIMENSIONES				
Marca L ₁ (Longitud)	Marca H ₁ (altura)	Marca B ₁ (Ancho)		
8,9 m	3,8 m	3,7 m		
VISTA				
				

1.11.3. Aire comprimido

El suministro de aire comprimido va direccionado a las válvulas neumáticas. Para estimar el consumo de este servicio, dada a la dificultad de predecir la cantidad exacta requerida, se ha estimado como base de cálculo los casos más extremos. Dicho cálculo se muestra detallado en el apartado 11.11.3.

El aire utilizado proviene del ambiente, por lo tanto se requiere principalmente la instalación de un filtro, un compresor y secador, ya que el aire atmosférico que aspira un compresor contiene humedad, que al enfriarse el aire, ésta se convierte en condensado, causando daños graves en el sistema de distribución de aire y los equipos. Por lo tanto, es sumamente importante que este servicio sea compuesto por ese grupo de equipos, para lograr una protección óptima del sistema neumático proporcionando aire limpio y seco.

- Lista de consumidores

Tal como se ha mencionado anteriormente, los equipos consumidores de este servicio son las válvulas neumáticas.

A la tabla 1.11.4 se dispone un listado de los accesorios que requieren el suministro.

Tabla 1.11.4. Lista de consumidores de aire comprimido.

Tipo de válvula	Cantidad	Consumo [m ³ /h]	Consumo total [m ³ /h]
Control	50	1,2	60

- Elección del equipo

Los equipos que componen el sistema de aire comprimido serán proveídos por la casa PUZKA. En la figura 1.9.3 se puede ver los principales equipos que componen el sistema de este servicio.

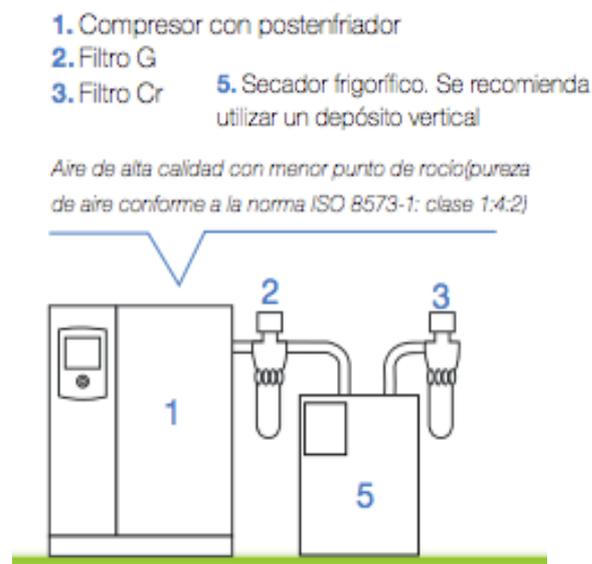


Figura 1.9.3. Instalaciones típicas de sistema de aire comprimido.

	HOJA 1 DE 1		HOJA DE ESPECIFICACIONES AIRE COMPRIMIDO				
	ÍTEM						
	AREA						
	PLANTA		ÁCIDO FÓRMICO	FECHA			
	LOCALIDAD		IGUALADA	REVISADO			
DATOS GENERALES							
DENOMINACIÓN		Sistema de aire comprimido					
FINALIDAD		Proporcionar aire comprimido a partir del aire atmosférico					
DATOS DE OPERACIÓN							
PROVEEDOR		PUZCA					
MODELO		Compresor RTC 40	Secador frigorífico PLX 30				
CANTIDAD		1 de cada equipo					
PESO		748 kg	44 kg				
CAUDAL MÁXIMO		208	180				
MÁXIMA PRESIÓN		13 bar	13 bar				
DIMENSIONES							
COMPRESOR			SECADOR FRIGORÍFICO				
LONGITUD	ANCHO	ALTURA	LONGITUD	ANCHO	ALTURA		
1247mm	1060 mm	1630mm	370 mm	500 mm	764 mm		
VISTA							
							

1.9.4. Nitrógeno

Este servicio, al tratarse del suministro de un gas inerte, se encarga de evitar que las sustancias inflamables almacenadas, entren en contacto con el O₂ y combustionen.

Además, en las circunstancias de llenado o vaciado de los equipos, la humedad del espacio se sustituye por nitrógeno completamente seco, evitando así la entrada de aire y eliminando la humedad.

Para calcular el caudal de este servicio para satisfacer las necesidades de la planta, se han tenido ciertas consideraciones y aproximaciones, explicadas detalladamente en el apartado 11.11.4.

- Lista de consumidores

Los equipos que requerirán este servicio son en general tanques de almacenamiento, reactores y mezcladores. En la tabla 1.9.5 se presentan la lista de todos esos equipos y el caudal de N₂ que requieren para condiciones de llenado/vaciado y en condiciones de operación.

Tabla 1.9.5. Lista de consumidores de servicio de N₂

Equipo	Volumen [m ³]	τ [h]	Llenado/Vaciado N ₂ [m ³ /h]	Operación N ₂ [m ³ /h]
T-101	245	24	10,21	4,9
T-102	245	24	10,21	4,9
T-103	245	24	10,21	4,9
T-104	245	24	10,21	4,9
T-501	17	144	0,118	0,34
T-502	17	144	0,118	0,34
T-503	17	144	0,118	0,34
T-504	17	144	0,118	0,34
T-601	210	24	8,75	4,2
T-602	210	24	8,75	4,2
T-603	210	24	8,75	4,2
T-604	210	24	8,75	4,2
R-201	30	0,67	45	0,6
R-202	30	0,67	45	0,6
R-401	70	1	70	1,4
R-402	70	1	70	1,4
M-201	4	0,67	6	0,08
M-202	16	0,67	24	0,32
M-203	16	0,67	24	0,32
M-401	13	1	13	0,26
M-402	19	1	19	0,38
M-403	31	1	31	0,62
M-601	12	24	0,5	0,24
Total			424 m³/h	44 m³/h

	HOJA 1 DE 1		HOJA DE ESPECIFICACIONES TANQUES DE N ₂	
	ÍTEM			
	AREA			
	PLANTA	ÁCIDO FÓRMICO	FECHA	
	LOCALIDAD	IGUALADA	REVISADO	
DATOS GENERALES				
DENOMINACIÓN	TANQUE CRIOGÉNICO DE N ₂			
FINALIDAD	VENTEO E INERTIZACIÓN			
DATOS DE OPERACIÓN				
PROVEEDOR	LINDE			
MODELO				
CANTIDAD	2			
POTENCIA CAUDAL	600 m ³ /h			
PRESIÓN OPERACIÓN	18 bar			
DIAMETRO	3 m			
ALTURA	14 m			
VISTA				
<p>The technical drawing shows a vertical cryogenic tank. The side view on the left shows the tank's cylindrical body with a hemispherical top and bottom. It features a Linde logo and 'THE LINDE GROUP' text. Dimensions include a total height of 14 m and a diameter of 3 m. Labels L/11-1, L/11-2, and L/11-3 indicate specific components or connections. The top view on the right shows the circular top of the tank with various ports and valves. Dimensions include a diameter of 1620 mm, a distance of 1381 mm between two top ports, and a distance of 546 mm from the center to a port. Angles of 45°, 90°, 180°, 270°, and 0° are marked to indicate the orientation of the ports. A distance of 1170 mm is shown from the center to a specific port, and 884 mm is shown from the center to another port. A distance of 354 mm is shown from the center to the bottom of the tank.</p>				

1.9.5. Electricidad

Para estimar el consumo eléctrico que tendrá la planta, se considera como base de cálculo la potencia de la suma de bombas y de servicios, ya que se desconoce el gasto energético que pueden tener los demás equipos. Por ello, se sobredimensionará un 30% la potencia requerida para suplir la necesidad del servicio eléctrico.

- Lista de consumidores

A continuación se disponen el listado de los equipos de los cuales se conocen la demanda energética. Cabe recordar que el factor de simultaneidad de éstos es de 0,5.

Tabla 1.9.6. Lista de equipos de bombeo de la planta.

Zona	Cantidad de equipos	Potencia (kW)
100	4	1,282
200	2	0,641
300	6	1,923
400	6	1,923
500	2	0,641
600	20	6,41

Tabla 1.9.7. Lista de equipos del sistema de servicios de la planta.

Servicio	Equipo	Cantidad	Potencia kW
agua	torre	2	7,5
vapor	caldera	2	109
aire	compresor	2	30
	Secador	2	0,663

- TRAF0

En el apartado 11.11.5 de Manual de Cálculo, se muestra detalladamente el procedimiento para el cálculo del dimensionamiento del TRAF0 a partir de la totalidad de la potencia requerida en los equipos citados en las tablas 1.9.6 y 1.9.7.

Tabla 1.9.8. Demanda TRAF0.

Potencia kW	160,0
Factor	0,85
kVA	188,21
Sobredimensionamiento 30%	1,3
kVA Total	244,68

	HOJA 1 DE 1		HOJA DE ESPECIFICACIONES TRANSFORMADOR				
	ÍTEM						
	AREA						
	PLANTA	ÁCIDO FÓRMICO	FECHA				
	LOCALIDAD	IGUALADA	REVISADO				
DATOS GENERALES							
DENOMINACIÓN	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO						
FINALIDAD	TRANSFORMACIÓN DE BAJA A MEDIA TENSIÓN						
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
PROVEEDOR	PROMELSA						
POTENCIA	315 kVA						
MEDIA TENSIÓN	Tensión nominal kV	4,16	7,62	10,5	Tensión máx. servicio kV	12	17,5
		3,22	2,9	3		24	36
BAJA TENSIÓN	Tensión nominal V	230	398	400	Tensión máx. Diseño	1,1 kV	
		460	480	600			
FRECUENCIA	50, 60 Hz						
AISLADOR	Porcelana, Polimérico						
TIPO MONTAJE	Exterior, Interior						
NORMATIVA	IEC-60076	NTP 370.002		IEC-354	IEC-296		
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	NÚCLEO			BOBINAS			
	Enrollado/ Apilados		Columnas/	Alambre de cobre electrolítico esmaltado			
TANQUE	Acero laminado en frío						
FLUIDO AISLANTE	Aceite dieléctrico mineral/ Flashpoint 155 °C						
DIMENSIONES	ALTURA	ANCHO	LONGITUD	PESO			
	1,28 m	0,85 m	1,12 m	985 kg			
VISTA							
							

1.9.6. Sistema de Alimentación Interrumpida

Para ocasiones de fallo de suministro eléctrico o cualquier anomalía eléctrica, con el objetivo de evitar que se interrumpa el sistema de control del proceso y el sustento energético de algunos de los equipos, se decide que estos equipos y controladores del proceso, irán conectados a una toma SAI.

- Lista de consumidores y elección del equipo

Se estima que la necesidad eléctrica de los equipos y sistemas informáticos preferentes, no sobrepasará un valor de 40kW, con lo cual, se elige un equipo SAI de la casa ENDATA, el cual cubrirá dichas necesidades en caso de interrupción temporal.

1.9.7. Grupo Electrónico

Este sistema se encarga de generar energía eléctrica cuando hay un déficit de la misma, a través de un motor de combustión interna.

Para la elección de un equipo que se ajuste a las necesidades de la empresa, se tiene en cuenta un sobredimensionamiento para cubrir la potencia necesaria para el arranque del motor.

La estimación del consumo eléctrico de la planta, hecha en el apartado 1.9.5 era de 160 kW. Suponiendo que el motor del grupo electrónico necesite un 50% más para vencer su inercia, se obtiene que la dimensión de la potencia de este sistema será aproximadamente de **240 kW**

- Elección del equipo

El equipo seleccionado pertenece a la casa INMESOL, el cual puede proporcionar una potencia continua de 400 kVA y una potencia de emergencia de 435 kVA.

Las características del grupo elegido, se presentan en la *Hoja de Especificación Grupo Electrónico*.

	HOJA 1 DE 1		HOJA DE ESPECIFICACIONES EQUIPO SAI	
	ÍTEM			
	AREA			
	PLANTA	ÁCIDO FÓRMICO	FECHA	
	LOCALIDAD	IGUALADA	REVISADO	
DATOS GENERALES				
DENOMINACIÓN	Sistema de Alimentación Ininterrumpida			
FINALIDAD	Proporcionar alimentación a la red			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				
PROVEEDOR	ENDATA			
MODELO	SERIE C-40			
POTENCIA NOMINAL	40 kVA			
TENSIÓN NOMINAL	ENTRADA	415 V	FRECUENCIA NOMIAL	
	SALIDA	415 V	50/60 Hz(seleccionable)	
Rendimiento en modo interactivo	> 97 %			
Temperatura	0-40°C			
Nivel audible a 1m	Máximo 55 dBA			
DIMENSIONES	ALTURA	ANCHO	LONGITUD	PESO
	1,6 m	0,8 m	0,55 m	210 kg
VISTA				
				

	HOJA 1 DE 1		HOJA DE ESPECIFICACIONES GRUPO ELECTRÓGENO	
	ÍTEM			
	AREA			
	PLANTA	ÁCIDO FÓRMICO	FECHA	
	LOCALIDAD	IGUALADA	REVISADO	
DATOS GENERALES				
DENOMINACIÓN	GRUPO ELECTRÓGENO			
FINALIDAD	GENERAR ELECTRICIDAD A PARTIR DE COMBUSTIÓN			
CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR				
PROVEEDOR	INMERSOL			
MODELO	IV-445 – GAMA INDUSTRIAL			
POTENCIA PRP	345 kWm			
POTENCIA LTP	377 kWm			
N CILINDROS	6			
CILINDRADA	12,78 L			
Motor arranque	7 kW			
REFRIGERACIÓN	Líquida			
CARACTERÍSTICAS DEL ALTERNADOR				
POTENCIA PRP	420 Kva			
POTENCIA LTP	462 Kva			
EFICIENCIA	94,5 %			
CONSUMO DEL GRUPO ELECTRÓGENO				
Potencia utilizada	50%	75%	100%	
Consumo (L/h)	43	62	84	
DIMENSIONES				
LONGITUD	ANCHO	ALTO	depósito combustible	
4,2 m	1,6 m	2,24 m	534 kg	
VISTA				
				

1.9.8. Descalcificadora de agua

Tanto el agua utilizado en las torres de refrigeración, como el agua utilizado en el proceso, como reactivo en la zona donde tiene lugar la hidrólisis, necesitan pasar por un tratamiento de descalcificación, tal como se puede intuir de su nombre, ese sistema reduce la concentración de calcio presente en el agua que viene de la red.

- Lista de consumidores

A continuación se presenta la lista de los consumidores, comprendiendo equipos y también corrientes del proceso, que necesitan el suministro de agua descalcificada.

Este consumo será el caudal en m³/h que hará falta descalcificar, sin embargo, se elige un equipo que sea capaz de descalcificar también el volumen total de agua necesario para el circuito cerrado de calderas y torres de refrigeración.

Tabla 1.9.8.1. Lista de consumidores de agua descalcificada.

Consumidor	Caudal [m ³ /h]
Torre de refrigeración	33
Proceso de hidrólisis	37
Total	70

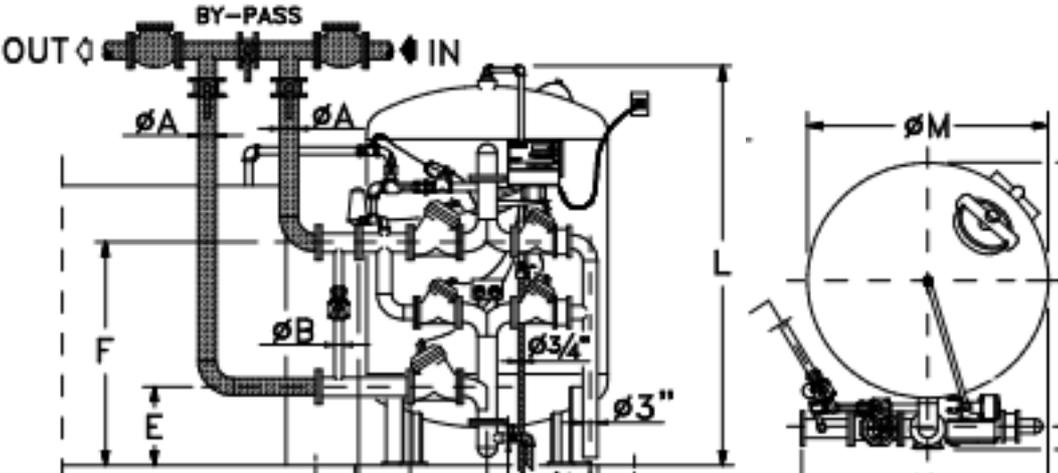
- Elección de equipo

El equipo elegido es el Ultra-Line HB de Culligan, capaz de descalcificar hasta 227 m³/h, presentan na larga debido a que los tanques están fabricados en acero de alta resistencia y recubierto con resina epoxi.

Además, son totalmente automático y con precisas válvulas de diafragma, cumpliendo así con los requisitos necesarios para satisfacer las necesidades de la planta.



Figura 1.9.8.1. Descalcificadora ULTRALINE HB 1550-6600

	HOJA 1 DE 1		HOJA DE ESPECIFICACIONES DESCALCIFICADORA	
	ÍTEM			
	AREA			
	PLANTA	ÁCIDO FÓRMICO	FECHA	
	LOCALIDAD	IGUALADA	REVISADO	
DATOS GENERALES				
DENOMINACIÓN	Descalcificadora			
FINALIDAD	Reducir concentración de calcio en agua			
DATOS DE OPERACIÓN				
PROVEEDOR	CULLIGAN			
MODELO	ULTRALINE HB 1550-6600			
CAPACIDAD	Hasta 227 m ³ /h			
CANTIDAD	2			
PESO VACÍO	10.485 kg			
PESO OPERACIÓN	19.585 kg			
MATERIAL	acero inoxidable AISI 316			
DIMENSIONES				
DIÁMETRO (øM)		ALTURA (L)		
2,5 m		3,1 m		
VISTA				
				

1.9.9 Consumos

Una vez realizado el diseño y dimensionamiento de todos los equipos que componen el sistema de servicios de la planta, a continuación se muestra un resumen del consumo de cada servicio.

- Consumo de agua: Viene determinado principalmente por la necesidad inicial de las torres de refrigeración y por las pérdidas de agua por evaporación, arrastre de gotas y drenaje.
- Consumo de gas natural: Direccionado a cubrir las necesidades de la caldera, la cual se ocupa de proporcionar vapor saturado a los equipos de intercambio de calor.
- Consumo eléctrico: Para suplir la necesidad de aporte de energía a los equipos que componen el sistema de servicio así como otros equipos de la planta.

Tabla 1.9.9. Resumen del consumo anual de los servicios.

Servicio	Consumo anual (300 días)
Agua	252,6 m ³
Gas natural	4.593.600 m ³
Electricidad	1.764.000 kVA