



FACULTAD DE CIENCIAS

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO DE LA UNIDAD DE IMPREGNADO PARA LA EXPANSIÓN
DE TABACO MEDIANTE DIÓXIDO DE CARBONO**

AUTOR:

D. FRANCISCO JAVIER ALTAMIRANO PLEITÉ

JULIO, 2021



FACULTAD DE CIENCIAS

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO DE LA UNIDAD DE IMPREGNADO PARA LA EXPANSIÓN
DE TABACO MEDIANTE DIÓXIDO DE CARBONO**

AUTOR:

D. FRANCISCO JAVIER ALTAMIRANO PLEITÉ

TUTORES:

**LOURDES CASAS CARDOSO
CASIMIRO MANTELL SERRANO
DPTO. DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TECNOLOGÍA DE LOS
ALIMENTOS**

FIRMA DEL ALUMNO.

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO 1: Memoria Descriptiva

1. RESUMEN
2. ABSTRACT
3. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN
4. ALCANCE
5. ANTECEDENTES
6. NORMAS Y REFERENCIAS
7. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS
8. REQUISITOS DE DISEÑO
9. RESULTADOS FINALES
10. PLANIFICACIÓN

DOCUMENTO 2: Anexos

- ANEXO 1:** ETAPAS DEL PROCESO
- ANEXO 2:** BALANCE DE MATERIA
- ANEXO 3:** DISEÑO DE LOS IMPREGNADORES
- ANEXO 4:** DIMENSIONAMIENTO EQUIPOS AUXILIARES
- ANEXO 5:** REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOCUMENTO 3: Planos

- PLANO 1:** DIAGRAMA DE FLUJO
- PLANO 2:** IMPREGNADOR
- PLANO 3:** TANQUE DE ALTA PRESIÓN T1

PLANO 4: TANQUE DE BAJA PRESIÓN T2

PLANO 5: TANQUE DE PROCESO T3

DOCUMENTO 4: Pliego de Condiciones

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES
2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS
3. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS
4. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES LEGALES
5. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

DOCUMENTO 5: Estado de Mediciones

1. INTRODUCCIÓN
2. IMPREGNADORES
3. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO₂
4. INTERCAMBIADOR DE CALOR
5. BOMBA CENTRÍFUGA
6. SILENCIADOR
7. COMPRESORES
8. SISTEMA DE CONTROL

DOCUMENTO 6: Presupuesto

1. INTRODUCCIÓN
2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN GENERAL

DOCUMENTO 7: Estudio Básico de Seguridad y Salud

1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETO DEL ESTUDIO

3. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Y OBRA

4. INSTALACIONES PROVISIONALES Y ASISTENCIA SANITARIA

5. MAQUINARIA DE OBRA

6. MEDIOS AUXILIARES

7. RIESGOS LABORALES

8. RIESGOS LABORALES ESPECIALES

9. PREVISIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

10. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

11. FICHAS DE SEGURIDAD QUÍMICA

12. NORMATIVA APLICADA

DOCUMENTO 8: Estudio Preliminar de Impacto Ambiental

1. INTRODUCCIÓN

2. ALCANCE

3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

4. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

DOCUMENTO 1:
MEMORIA

ÍNDICE- MEMORIA

1. RESUMEN.....	3
2. ABSTRACT.....	4
3. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN	5
4. ALCANCE	6
5. ANTECEDENTES	7
5.1 EXPANSIÓN DE TABACO: PROCESO DIET	7
5.2 PROPIEDADES DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	8
5.3 IMPREGNADO. CONCEPTOS GENERALES	9
5.4 CO ₂ -HIDRATOS. BREVE INTRODUCCIÓN.....	9
5.5 CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN	10
6. NORMAS Y REFERENCIAS.....	13
6.1 DISPOSICIONES LEGALES	13
6.2 NORMATIVA APLICADA	13
6.3 SOFTWARE EMPLEADO.....	13
7. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	14
8. REQUISITOS DE DISEÑO.....	15
9. RESULTADOS FINALES	16
9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	16
9.2 DISEÑO DEL IMPREGNADOR.....	17
9.2.1 INTRODUCCIÓN	17
9.2.2 NÚMERO DE IMPREGNADORES.....	18
9.2.3 BALANCE DE MATERIA.....	19
9.2.4 VOLUMEN DE DIÓXIDO DE CARBONO.....	20
9.2.5 DIMENSIONES DE LOS IMPREGNADORES	21

9.2.6 MATERIAL.....	21
9.2.7 ESPESOR DEL CILINDRO	21
9.2.8 TIPO DE CABEZAL Y DIMENSIONES.....	21
9.2.9 DISEÑO DE LAS BRIDAS.....	22
9.2.10 DISEÑO DE LAS ABERTURAS DEL IMPREGNADOR.....	24
9.3 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS AUXILIARES.....	27
9.3.1 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR- IC1	27
9.3.2 ELECCIÓN DE LA BOMBA- B1.....	29
9.3.3 DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO ₂	31
9.3.4 ELECCIÓN DE LOS COMPRESORES	36
9.3.5 ELECCIÓN DEL SILENCIADOR- S1	37
9.4 SISTEMAS DE CONTROL.....	39
9.4.1 CONTROL DE LA PRESION DE LOS IMPREGNADORES	39
9.4.2 CONTROL DE FLUJO DE CO ₂	40
9.5 ETAPAS DEL PROCESO	40
9.5.1. PURGA.....	41
9.5.2 PRIMERA PRESURIZACIÓN	41
9.5.3 SEGUNDA PRESURIZACIÓN.....	41
9.5.4 LLENADO CON CO ₂ LÍQUIDO	41
9.5.5 IMPREGNADO	42
9.5.6 DRENAJE	42
9.5.7 PRIMERA DESPRESURIZACIÓN	42
9.5.8 SEGUNDA DESPRESURIZACIÓN.....	42
9.5.9 VENDEO A LA ATMÓSFERA Y PURGA DEL IMPREGNADOR I2	43
10. PLANIFICACIÓN	44

1. RESUMEN

En una época donde la demanda de tabaco alcanzaba máximos históricos con un consumo medio en España de 130 cajetillas por cada adulto al año, la mayor empresa tabacalera del mundo, Philip Morris, junto con Airco DIET decidieron patentar un nuevo proceso que permitiera ahorrar costes de producción, así como mejorar las cualidades del producto final. En 1978, ingenieros de ambas compañías diseñaron el proceso de expansión del tabaco denominado proceso DIET- Dry Ice Expanded Tobacco- por el cual la hoja de tabaco aumenta su volumen en presencia de dióxido de carbono. Pese a la decreciente demanda actual en el consumo de tabaco, el proceso DIET sigue siendo la mejor alternativa en la producción de todos los tipos de tabaco que se consumen hoy en día.

En la actualidad Airco DIET es la poseedora de la patente del proceso DIET, pero son muchos los documentos que Philip Morris ha dejado al alcance de todos donde se detallan los primeros estudios que se llevaron a cabo durante la confección del proceso.

El proceso de expansión del tabaco está compuesto por varias etapas las cuales podrían agruparse en tres unidades principales: Unidad de Acondicionamiento, Unidad de Impregnado y Unidad de Expansión. La operación de mayor trascendencia en el proceso DIET es el impregnado, pues es cuando se incorpora el dióxido de carbono a las células de la hoja del tabaco.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es diseñar los equipos que conforman la Unidad de Impregnado para cumplir con los objetivos planteados en la propuesta.

El elemento principal de la Unidad es el reactor donde se trata al tabaco. Dicho reactor se denomina impregnador. El equipo diseñado dispone de dos reactores que operan en serie con un volumen útil de 2400 L cada uno y que soportan una presión de 33 bar aproximadamente. El proceso se realiza a unas condiciones de presión y temperatura de 29,5 bar y -7°C respectivamente para garantizar una producción de 6000 toneladas anuales (1250 kg/h) de tabaco expandido cumpliendo con los requisitos de diseño descritos en la propuesta de Trabajo Fin de Grado. La Unidad se completa con el dimensionamiento de los cambiadores de calor, bombas, compresores y tuberías, así como con los elementos de control necesarios para el correcto funcionamiento de la planta.

Por último, se incorporan el Estudio Básico de Seguridad y Salud y el Estudio Preliminar de Impacto Ambiental, así como un breve estudio económico o Presupuesto en el que se detallan los costes que supondrían la instalación de la Unidad de Impregnado completa en suelo industrial.

2. ABSTRACT

At a time when the demand for tobacco reached historical highs with an average consumption in Spain of 130 packs per adult and year, the largest tobacco company in the world, Philip Morris, together with the Airco DIET company decided to patent a new process that would save production costs, as well as improving the qualities of the final product. In 1978, engineers from both companies designed the tobacco expansion process known as DIET process (Dry Ice Expanded Tobacco) by which the tobacco leaf increases its volume due to the presence of carbon dioxide. Despite the decreasing demand for tobacco consumption, the DIET process continues to be the best alternative in the production of all types of tobacco nowadays.

At present, Airco DIET company is the patent holder of the DIET process. However, Philip Morris has enabled many documents detailing the first studies that were carried out during the process designing.

The tobacco expansion process consists of many stages which could be grouped into three main units: Conditioning Unit, Impregnation Unit and Expansion Unit. The most important operation in the DIET process is impregnation since it is when carbon dioxide is incorporated into the cells of the tobacco leaf.

The aim of this Final Degree Project is to design the equipment for the Impregnation Unit in order to meet the objectives established in the proposal.

The most important part of the Unit is the reactor where the tobacco is treated. This reactor is known as impregnator. The designed equipment has two reactors operating in series with a useful volume of 2400 L each and supporting a pressure of approximately 33 bar. The process is carried out at 29,5 bar and -7°C to guarantee a production of 6000 tons per year (1250 kg / h) of expanded tobacco, complying with the design requirements described in the Final Degree Project proposal. The Unit is completed with the sizing of the heat exchangers, pumps, compressors and pipes, as well as with the control elements necessary for the correct operation of the plant.

Finally, the Basic Health and Safety Study and the Preliminary Environmental Impact Study are incorporated, as well as a brief economic study or Budget detailing the costs involved in installing the complete Impregnated Unit on industrial floor.

3. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es el diseño de la unidad de impregnado de un proceso de expansión del tabaco denominado Proceso DIET, así como el dimensionamiento de los equipos auxiliares. El proceso analizado realiza esta expansión de la hoja del tabaco utilizando dióxido de carbono.

El proceso de expansión del tabaco se utiliza para reducir el contenido de sustancias perjudiciales tales como la nicotina o alquitrán debido a la disminución en la densidad de la hoja de tabaco. Además, el proceso de expansión del tabaco mejora el producto final desde el punto de vista de la combustión del tabaco, incrementando la aceptación del producto por parte del consumidor. Por último, reduce los costes de producción al requerir una menor cantidad de materia prima en la elaboración de cada cigarrillo.

Al desarrollarse el proceso con dióxido de carbono, será necesario fijar las condiciones más favorables de presión y temperatura que permitan la formación del compuesto clave en la expansión del tabaco. Dicho compuesto es el CO₂-Hidrato, un complejo cristalino formado por moléculas de agua que encierran en su interior moléculas de dióxido de carbono.

El producto obtenido tras el impregnado deberá reunir una serie de condiciones para continuar su tratamiento en el proceso global de expansión. Estas condiciones son las de conseguir un contenido de CO₂-Hidratos en el tabaco igual o superior al 2%.

Por último, en el trabajo se incorpora el Presupuesto General de Ejecución del proceso, así como el Estudio Preliminar de Impacto Ambiental y un Estudio Básico de Seguridad y Salud.

4. ALCANCE

El alcance de este Trabajo Fin de Grado engloba el diseño y dimensionamiento de la Unidad de Impregnado, así como de sus equipos auxiliares para cumplir con los objetivos antes mencionados. Al tratarse de una etapa intermedia en un proceso global de expansión de tabaco se debe definir qué unidades serán diseñadas y analizadas, y cuáles se encuentran fuera del alcance de este proyecto.



Tal y como se muestra en el diagrama de bloques, el proceso global de expansión consta de tres etapas bien diferenciadas: Acondicionamiento, Impregnado y Expansión. En la etapa de Acondicionamiento, el tabaco es tratado en función de las especificaciones que debe poseer el producto final: humedad, aromas, tamaño de picadura, etc. Posteriormente, en el Impregnado, el tabaco incorpora el dióxido de carbono a sus células en unas determinadas condiciones de presión y temperatura. En esta etapa está enfocado el alcance de este Trabajo Fin de Grado. Por último, en la etapa de Expansión, el tabaco es introducido en hornos donde el dióxido de carbono sublima dentro de las células del tabaco aumentando su volumen.

La Unidad de Impregnado del tabaco se diseñará para la obtención de un producto conforme a las calidades requeridas para las etapas posteriores. Como ya se ha indicado anteriormente, se buscará obtener un porcentaje de al menos 2% en CO₂-Hidratos al ser éste un valor óptimo para una correcta expansión de tabaco. No se pretenderá obtener valores mayores debido a que encarecería innecesariamente el proceso, mientras que, por debajo de este valor, la expansión se vería notablemente afectada.

5. ANTECEDENTES

5.1 EXPANSIÓN DE TABACO: PROCESO DIET

Las siglas DIET (Dry Ice Expanded Tobacco) hacen referencia al proceso por el cual el tabaco es expandido en presencia de CO₂. Este método de expansión fue diseñado y patentado por las compañías Airco DIET y Philip Morris en el año 1978 como alternativa a otros métodos que utilizaban componentes que eran perjudiciales para el medio ambiente. Las primeras plantas DIET fueron inauguradas en 1987 y han evolucionado radicalmente introduciendo mejoras constantes hasta el día de hoy. En la actualidad, Airco DIET es el líder mundial en expansión de tabaco con más de 100 plantas DIET construidas a lo largo de los últimos 35 años, siendo la primera de todas ellas la Tabacalera de Cádiz, operativa durante más de un cuarto de siglo hasta su cierre en 2014.

El proceso DIET utiliza las propiedades físicas y térmicas del dióxido de carbono para ampliar el tabaco. El tabaco ya cortado se introduce en un recipiente denominado Impregnador donde será sumergido en CO₂ líquido a altas presiones. Una vez impregnado, el tabaco se extrae y se calienta, de este modo el dióxido de carbono dentro de las células sublima y aumenta más de 100000 veces su volumen. Las presiones internas resultantes inflan las células de tabaco para proporcionar un aumento de volumen de entre el 100% y el 140% aproximadamente.



Figura 1: *Tabaco sin expandir vs expandido*

La expansión del tabaco por medio del proceso DIET conlleva numerosas ventajas. Por un lado, supone un ahorro de los costes de fabricación ya que, utilizando el tabaco expandido, la planta puede lograr con resultados óptimos un volumen de producción de cigarrillos dos veces superior al que produciría con tabaco sin expandir. Por otro lado, el CO₂ que no ha sido absorbido por el tabaco, se recupera y se reutiliza en los siguientes lotes de producción. Esto conlleva una reducción de la emisión de dióxido de carbono y un ahorro en los costes de fabricación. Por último, el

fumador se expone a menores niveles de sustancias perjudiciales tales como la nicotina o el alquitrán al tratarse de un cigarrillo cuya densidad de tabaco ha disminuido significativamente.

5.2 PROPIEDADES DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El dióxido de carbono es un gas inodoro e incoloro presente en la atmósfera a una concentración de 417 ppm (datos de concentración promedio del año 2020 proporcionados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos). Se trata de un gas soluble en agua a presión atmosférica y está formado por un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno mediante un enlace covalente doble.



Figura 2: *Molécula de dióxido de carbono*

Es un gas importante para la naturaleza ya que las plantas lo absorben durante la fotosíntesis, proceso por el cual utilizan la energía solar para convertir el CO₂ y agua en azúcares y oxígeno que se libera a la atmósfera.

El dióxido de carbono se forma mediante la combustión de sustancias orgánicas y es un producto de la respiración de todos los seres vivos aerobios. Puede ser licuado por medio de métodos convencionales de compresión y condensación. Este compuesto puede extraerse de las corrientes de salida de calderas y chimeneas, de la producción de fertilizantes con amoníaco o como producto de fermentaciones. Una vez que se extrae, el dióxido de carbono se diluye en soluciones de etanolamina la cual permite que una vez calentada, libere CO₂ gas con un alto porcentaje de pureza que será posteriormente comprimido, condensado y almacenado en tanques presurizados.

A presiones por debajo de los 5.18 bar el CO₂ líquido pasa a su estado sólido (hielo seco) el cual sublima directamente a su fase vapor sin transcurrir por la fase líquida. Cuando el CO₂ sólido o hielo seco se comprime en bloques a presión atmosférica, este sublima muy lentamente a -78°C por lo que se utiliza para el mantenimiento de alimentos congelados durante su transporte.

Tal y como les ocurre a otros líquidos criogénicos como el nitrógeno o el oxígeno líquido, el dióxido de carbono líquido no se humedece por su gas. Este fenómeno provoca que el coeficiente de transferencia de calor entre el líquido y el gas sea prácticamente nulo y el gas no condense en la superficie del líquido, incluso a diferencias de temperatura considerables.

Debido a su baja viscosidad, este líquido criogénico exhibe otra propiedad conocida como “film boiling” o efecto Leidenfrost por el cual se forma una capa de vapor que evita la transferencia de calor entre el líquido y una superficie caliente.

Atendiendo a las propiedades termodinámicas del dióxido de carbono, se puede comenzar a trabajar en aquellas variables que optimicen el proceso de expansión de tabaco.

5.3 IMPREGNADO. CONCEPTOS GENERALES

La etapa previa y más importante para que se produzca la expansión del tabaco se denomina impregnado. En ella estará enfocado el alcance de este Trabajo Fin de Grado.

El proceso de impregnado se desarrolla en modo batch o discontinuo por el cual el tabaco es sometido a unas condiciones de presión y temperatura determinadas en una atmósfera compuesta de CO₂ gas y líquido.

El objetivo del impregnado es formar un material cristalino estable en las paredes de las células el cual, al sublimarse, generará una gran cantidad de gas que atravesará las células del tabaco a gran velocidad y producirá en ellas un estiramiento, lo cual ocasiona que las mismas adquieran un volumen mayor al que tenían a la entrada. (Volumen similar al que ocupaban originalmente cuando eran hojas verdes "Original green leaf state").

La presión y las condiciones termodinámicas creadas en el ciclo de impregnado ocasionan que las moléculas de agua que contiene el tabaco se combinen con las moléculas de CO₂ formando una sustancia sólida conocida como "*CO₂-Hidrato*" la cual es muy estable a presión atmosférica y temperaturas por debajo de -45°C. Durante la despresurización se forma también CO₂ sólido, también conocido como "*hielo seco*", que se encuentra a una T^a de -78°C a presión atmosférica y, al depositarse sobre el tabaco, sirve como refrigerante para mantener la masa de tabaco por debajo de -45°C, de forma que puede ser almacenado y transportado hasta el proceso siguiente sin pérdidas de CO₂-Hidratos.

5.4 CO₂-HIDRATOS. BREVE INTRODUCCIÓN

De forma general, los hidratos son compuestos sólidos formados por jaulas rígidas de moléculas de agua que encierran moléculas de gas. Las moléculas de agua son denominadas “anfitrión” mientras que los otros compuestos, que ocupan intersticios en la estructura cristalina sin formar vínculos químicos, se les denomina “huésped”.

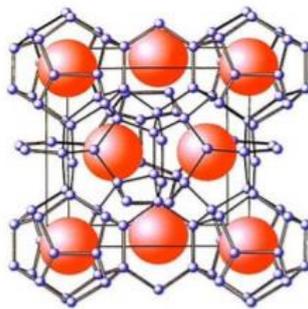


Figura 3: Estructura de un hidrato de gas (Bjorn Kvamme, "Petroleum seismology")

Existen tres tipos de hidratos atendiendo a su estructura: Hidratos tipo I, Hidratos tipo II e Hidratos tipo H. La estructura básica a partir de la cual derivan los distintos tipos de hidratos es la jaula 5^{12} . Dicha jaula la componen 12 caras pentagonales formadas por moléculas de agua que están unidas entre sí por enlaces de hidrógeno con un oxígeno en cada vértice. En función del gas que deba albergar la estructura, estas jaulas se conectan entre sí a través de sus vértices (Hidratos tipo I), a través de sus caras (Hidratos tipo II) o formando una estructura mixta (Hidratos tipo H) (Carroll, 2014).

Los hidratos de dióxido de carbono corresponden a los Hidratos de tipo I. En esta estructura, la jaula 5^{12} incluye dos caras hexagonales adicionales para formar jaulas $5^{12}6^2$. Como resultado, un complejo cristalino formado por dos jaulas 5^{12} y seis jaulas $5^{12}6^2$ con un total de 46 moléculas de agua, un radio promedio de la cavidad de entre 3,95 y 4,33 Å y un peso molecular de 21,59 g/mol (Zhu et al., 2021).

Para la formación de hidratos se requiere una correcta combinación de bajas temperaturas y altas presiones, un gas formador de hidrato o huésped y una cantidad de agua suficiente.

5.5 CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN

Existen numerosos estudios publicados (Bozzo et al., 1975) donde se describen diversas pruebas realizadas a escala de planta piloto utilizando CO_2 a altas presiones (>65 bar) y bajo porcentaje de humedad ($>15\%$). En estas condiciones, se obtiene un alto grado de expansión. Sin embargo, los equipos y la operación presentan un coste muy elevado al ser un proceso que requiere altas presiones, por lo que se han desarrollado diversos trabajos (Fischer et al., 1997) orientados a conseguir un producto de semejante calidad pero trabajando a presiones más bajas. Si el proceso se diseñaba para trabajar en el rango de 29-30 bar en un Impregnador diseñado para operar a una presión máxima de 33,1 bar los resultados económicos del proceso mejoraban considerablemente. El único cambio necesario para poder realizar el proceso a estas presiones es que el agua que

contiene el tabaco debe ser elevada hasta el 21-22% para conseguir un producto de calidad equivalente.

Las diferentes situaciones del proceso han sido representadas sobre diagramas P-T (**Figura 4**). En dicha figura se diferencian dos zonas: una zona naranja donde es posible el proceso DIET y una zona verde donde ocurre el proceso DIET a bajas presiones (Bozzo et al., 1975).

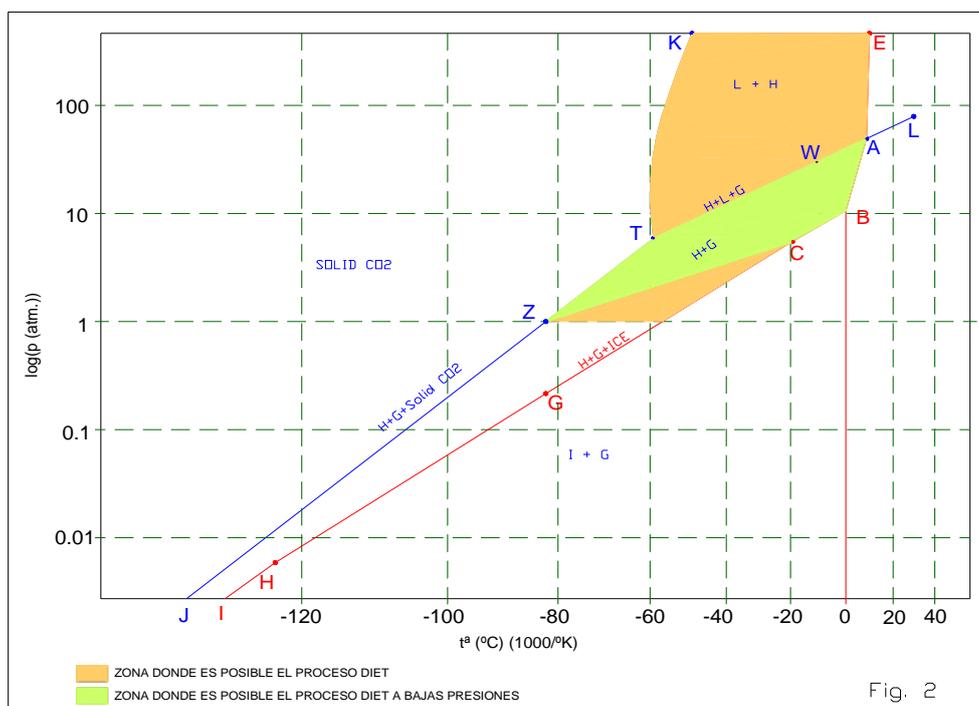


Figura 4: Diagrama de fase CO₂-Hidrato

En la **Figura 4** se puede apreciar que el área de CO₂ líquido limitada por los puntos E-A-T-K y el área de CO₂ gas A-B-I-J-T-A permiten la formación de hidratos (H). Por otro lado, el área bajo la recta B-I, zona de CO₂ hielo y gas (I + G), y la zona a la izquierda de K-T-J, zona de CO₂ sólido, son regiones donde no es posible la formación de hidratos, aunque podrían existir de haberse formado anteriormente.

El área de CO₂ gas A-B-C-Z-T-A tiene la ventaja de que permite la formación de hidratos a bajas presiones lo cual garantiza un flujo continuo de tabaco en el proceso de impregnado. Sin embargo, al no haber CO₂ líquido en el sistema, no puede existir la auto refrigeración necesaria para mantener las condiciones alcanzadas sin pérdidas de CO₂-Hidratos. Esto es debido a que no se produce evaporación del CO₂ líquido y, por consiguiente, no habrá absorción de calor para lograr dicho cambio de estado. Igualmente, al no existir esa evaporación del CO₂ líquido, no existe la suficiente

agitación procedente del cambio de fase. En definitiva, para suplir esas carencias habría que recurrir a fuentes externas de refrigeración y agitación encareciendo aún más el proceso.

La operación en la región E-A-T-K no presenta ventaja alguna ya que el proceso tendría que llegar a la línea A-T-Z y seguir a lo largo de ella hasta llegar a la presión atmosférica cuando se descargue el tabaco. Además, las altas presiones en esta zona harían que el coste del Impregnador fuera prohibitivo.

El proceso depende de la coexistencia de gas y líquido en el Impregnador y operando a lo largo del tramo A-T-Z se dan esas condiciones dado que existe CO₂ líquido y gas a lo largo de la línea A-T y CO₂ sólido y gas a lo largo de la línea T-Z.

La reacción de formación de hidratos es exotérmica y necesita de un fuerte enfriamiento para optimizarla, así mismo una agitación violenta entre el CO₂ y el agua, actúa como un catalizador que acelera la formación de hidratos. Ambos sucesos ocurren cuando el CO₂ líquido se evapora y el CO₂ sólido se sublima durante la despresurización. La reacción y entalpía de formación de CO₂-Hidratos es la que se muestra a continuación (Larson, 1955).



6. NORMAS Y REFERENCIAS

6.1 DISPOSICIONES LEGALES

En el presente TFG se han tenido en cuenta aspectos como la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera, el almacenamiento de productos químicos, las especificaciones del producto final... etc. Por ello, el estudio realizado se ajusta a las siguientes normativas:

- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Ley 40/2010, de 29 de diciembre, de almacenamiento geológico de dióxido de carbono.
- Real Decreto 579/2017, de 9 de junio por el que se regulan determinados aspectos relativos a la fabricación, presentación y comercialización de los productos del tabaco y los productos relacionados.
- Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10.

6.2 NORMATIVA APLICADA

La normativa aplicada al diseño de la unidad y equipos auxiliares es la siguiente:

- Código ASME sección VIII división 1 para el diseño de recipientes a presión.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Normas UNE:
 - UNE 157001/2014, para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

6.3 SOFTWARE EMPLEADO

- Paquete Office (Word, Excel, PowerPoint) para el desarrollo, procesado y cálculo del presente TFG.
- Aspen Plus™ V11 para el diseño del intercambiador de calor.
- ProjectLibre™ versión 1.9.3 para la planificación del presente TFG.
- SolidWorks® para la elaboración de planos.

En el [Anexo 6: Referencias Bibliográficas](#), se encuentra toda la Bibliografía empleada para el desarrollo del presente TFG.

7. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Impregnador: Recipiente hermético donde se lleva a cabo el proceso de impregnado.

CO₂-Hidrato: Compuesto cristalino formado por la unión de moléculas de dióxido de carbono y agua bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.

Brida: Reborde circular en el extremo de los Impregnadores o aberturas que sirve para sujetar ambos extremos.

Heater: Intercambiador simple.

OV: "Oven Volatiles", método de determinación de la humedad en el tabaco.

R134: Refrigerante 1,1,1,2-Tetrafluoroetano.

ANSI: "American National Standards Institute"

ASME: "American Society of Mechanical Engineers"

BI: Beneficio Industrial

DIET: "Dry Ice Expanded Tobacco", proceso de expansión de tabaco por medio de dióxido de carbono

EBSS: Estudio Básico de Seguridad y Salud

GGE: Gastos Generales de Estructuras

IVA: Impuesto de Valor Añadido

LMTD: Diferencia de temperatura media logarítmica

NPSH: "Net Positive Suction Head"

PEC: Presupuesto de Ejecución por Contrata

PEG: Presupuesto de Ejecución General

PEM: Presupuesto de Ejecución Material

TEMA: "Tubular Exchanger Manufacturers Association"

TFG: Trabajo fin de grado

WN: "Weld Neck"

8. REQUISITOS DE DISEÑO

El diseño de las unidades del presente Trabajo Fin de Grado vendrá condicionado por la propuesta aprobada y la legislación vigente en términos de protección ambiental y seguridad en el trabajo.

La unidad de impregnado será diseñada para cubrir una producción anual de 6000 toneladas de tabaco expandido. La cantidad de tabaco por lote a procesar vendrá determinada a partir del ritmo de producción de la planta.

El tabaco procedente de la etapa anterior en el proceso global de expansión del tabaco, acondicionamiento, ingresa en la unidad de impregnado con una humedad del 22%.

El dióxido de carbono a emplear será reutilizado en varios ciclos optimizando al máximo las capacidades de la planta y minimizando el impacto ambiental provocado por las emisiones a la atmósfera conforme a la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

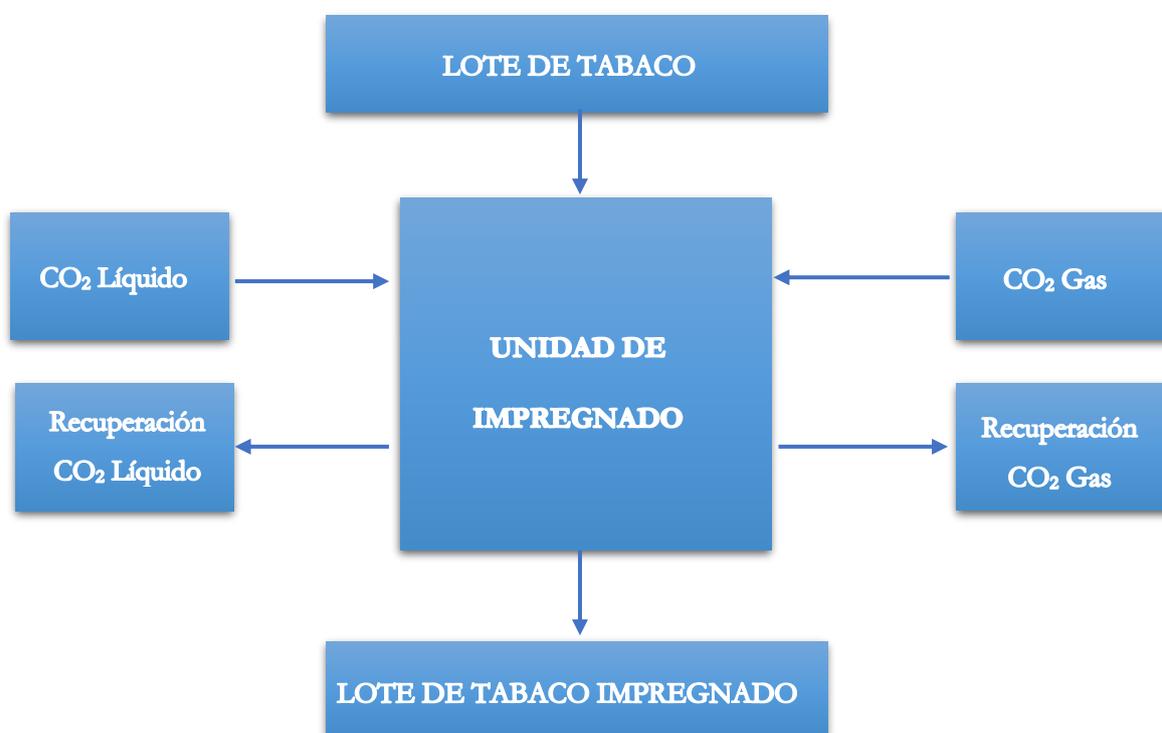
En la unidad de impregnado se obtendrá un producto final con un porcentaje de CO₂-Hidratos de al menos 2% en peso del lote. Este tabaco con esa cantidad de CO₂-Hidrato incorporado en sus células se conduce a la etapa posterior de expansión.

9. RESULTADOS FINALES

9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En este Trabajo Fin de Grado se realiza el diseño de la unidad de impregnado y sus equipos auxiliares. Esta unidad tiene como objetivo principal suministrar la presión, temperatura y condiciones de transferencia de calor óptimas para producir la mayor cantidad de CO₂-Hidratos posible.

El proceso se encuentra descrito en el siguiente diagrama de bloques, el cual servirá de base para llevar a cabo el diseño de todas las unidades y equipos que lo conforman:



Tal y como se muestra en el diagrama, el centro del proceso es una unidad de impregnado a la que se le debe suministrar dióxido de carbono en fase líquida y gaseosa para tratar una determinada cantidad de tabaco.

Las características del tabaco que ingresa al Impregnador dependerán del tratamiento previo que se le haya dado al mismo. Para este proceso en concreto, la variable más significativa que posee es la humedad, la cual debe estar en torno al 22%.

Las condiciones de presión y temperatura del dióxido de carbono a la entrada del Impregnador se encuentran descritas en el apartado “Antecedentes”. Partiendo de dichas condiciones se deben

diseñar los equipos para cumplir con los requerimientos y asegurar que el tabaco que ingresa al Impregnador incorpore en su estructura el compuesto CO₂-Hidrato.

Por otro lado, la unidad deberá contar con un sistema de recuperación del dióxido de carbono que permita volver a utilizarlo en los siguientes ciclos.

Una vez que el tabaco esté debidamente impregnado, evacuará el Impregnador en dirección a la siguiente y última etapa del proceso global de expansión del tabaco. Esto correspondería a un ciclo completo de impregnado.

Para una mejor identificación de las unidades diseñadas, en el plano número 1 del presente Trabajo Fin de Grado se presenta el diagrama de bloques del proceso diseñado.

9.2 DISEÑO DEL IMPREGNADOR

9.2.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de los Impregnadores se hará conforme al Código ASME sección VIII División 1 subsección A para diseño de recipientes a presión.

El Impregnador es el recipiente principal donde se lleva a cabo el proceso de impregnado antes descrito. Es un recipiente cilíndrico con una tapa superior por donde se carga el tabaco húmedo y una tapa inferior por donde se descarga una vez finalizado el ciclo de impregnado.

La unidad será diseñada para una producción anual de 6000 toneladas de tabaco operando en dos turnos de 8 horas durante 300 días al año. Estos días laborables resultan de restarle a un año natural, los días correspondientes a mantenimiento y limpieza de equipos. Debido a que se trata de una operación donde se trabaja fundamentalmente con tabaco y dióxido de carbono en estado líquido y gaseoso, el mantenimiento seleccionado será aquel que elimine los restos de estos componentes que han podido quedar adheridos a la pared y rejillas del Impregnador. Además, habrá que asegurar el buen estado de los elementos que aseguran la hermeticidad del recipiente como pueden ser las juntas de las tapaderas o el sistema hidráulico. Por lo tanto, cada semana se dedicará un día a la comprobación del buen estado de los equipos, limpieza y verificación de todos sus componentes. Además, se reservan una serie de días al año para realizar pruebas y reajustes de las condiciones de operación y los equipos para intentar lograr un mejor resultado acorde con los objetivos propuestos.

Por lo tanto, con el ritmo de producción propuesto, la capacidad productiva de la planta rondará los 1250 kg/h de tabaco tratado.

9.2.2 NÚMERO DE IMPREGNADORES

A la hora de decidir el número de Impregnadores que participan en el proceso hay que atender a las cantidades de tabaco a procesar. El ciclo total de impregnado dura aproximadamente 25 minutos. En este tiempo se incluye la operación en sí -12 minutos- la carga y descarga del lote procesado -5 minutos- y limpieza general entre ciclo y ciclo -8 minutos- (Fischer et al., 1997). El cálculo de la cantidad de tabaco por lote a procesar (W) viene dado por el producto del tiempo de procesado (t) y la cantidad de tabaco a procesar por unidad de tiempo (\dot{Q}):

$$t = \frac{W}{\dot{Q}} \quad \text{(Ec. 1)}$$

$$W = \dot{Q} \cdot t = 1250 \frac{kg}{h} \cdot \frac{25}{60} h = 520,83 kg$$

Como es lógico, al aumentar el número de Impregnadores, la cantidad de tabaco a tratar por lote disminuirá proporcionalmente.

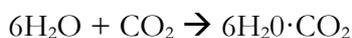
Por lo tanto, lo que se busca es un equilibrio entre unas dimensiones de Impregnador(es) y su capacidad para cumplir con los objetivos productivos de la planta.

Haciendo uso de un solo Impregnador, la planta dispondría de poco margen de operabilidad. De producirse una avería en el Impregnador, todo el proceso de expansión de tabaco se vería paralizado. Por otro lado, al ser una etapa intermedia en el proceso global de expansión, el caudal al que opera un solo Impregnador podría provocar un excesivo tiempo de almacenamiento o cuello de botella durante el cual el tabaco podría perder parte de ese CO_2 absorbido.

Por ello se ha optado por incorporar dos Impregnadores que trabajen de forma secuencial en cargas de 260 kg. Así, mientras un lote se procesa en un Impregnador, el otro se prepara para recibir el siguiente lote de tabaco. Gracias a esta disposición, la planta contaría con una mayor flexibilidad a la hora de procesar los lotes. El tabaco impregnado pasaría a la siguiente etapa en menores cantidades disminuyendo su tiempo de almacenamiento. De haber una avería en uno de los dos Impregnadores, no se produciría la parada total de la producción, aunque claro está, habría una disminución en el ritmo de producción.

9.2.3 BALANCE DE MATERIA

Para poder llevar a cabo el dimensionamiento de los Impregnadores, se precisa conocer las cantidades de cada componente que participan en el proceso. Para ello, se realiza el balance de materia al Impregnador conociendo que la reacción de formación de CO₂-Hidratos es la siguiente:



Las corrientes de entrada al Impregnador son dos:

- **F0**- que corresponde al lote de tabaco cuya composición es 22% de agua y el resto (78%), tabaco.
- **S0**- que corresponde a la corriente de dióxido de carbono que tendrá que reaccionar con el agua presente en el tabaco.

Se obtienen, una vez terminado el ciclo, otras dos corrientes de salida:

- **F**- la corriente que contiene el lote de tabaco impregnado en CO₂
- **S**- la corriente de CO₂ que no ha quedado retenida en el tabaco.

Gracias a la estequiometría de la reacción y las condiciones del tabaco a la entrada y salida del Impregnador, se podrán conocer las cantidades de cada componente que participa en el proceso.

En la siguiente tabla se recogen los resultados obtenidos en el balance de materia realizado en el [Anexo 2: Balance de materia](#).

Corriente	F0	S0	F	S
Kg Corriente	260,42	23,34	261,15	22,6
Fracc. Masa (X_{H2O})	0,22	0	0,2	0
Kg H₂O	57,29	0	52,8	0
Fracc. Masa (X_{Tabaco})	0,78	0	0,78	0
Kg Tabaco	203,13	0	203,13	0
Fracc. Masa (X_{CO2})	0	1	0	1
Kg CO₂	0	23,34	0	22,6
Fracc. Masa (X_{hidrato})	0	0	0,02	0
Kg Hidrato	0	0	5,22	0

Tabla 1: Resultados balance de materia

Atendiendo a la estequiometría y los resultados obtenidos tras el balance de materia se puede concluir que:

- Se requieren 23,34 kg de dióxido de carbono para reaccionar con los 57,29 kg de agua de la corriente de entrada al reactor.
- De los 23,34 kg de dióxido de carbono, sólo reaccionan 0,74 kg para alcanzar la cantidad de CO₂-Hidratos a la salida del reactor.
- Se obtiene un total de 5,22 kg de CO₂-Hidratos en la corriente de salida o tabaco impregnado.

No obstante, esa cantidad de agua que tiene que reaccionar con el dióxido de carbono estará repartida entre las hebras de tabaco que ocuparán un volumen elevado en el interior del reactor. Con el fin de que se dé la reacción de formación de CO₂-Hidratos, el dióxido de carbono debe abarcar todo el volumen de tabaco para que pueda reaccionar con la humedad presente en él. Es por ello que la cantidad de dióxido de carbono a emplear será mucho mayor.

El volumen de dióxido de carbono que se utilizará en el proceso se calculará a partir de la porosidad del lecho de tabaco.

9.2.4 VOLUMEN DE DIÓXIDO DE CARBONO

El cálculo de la porosidad del lecho se ha realizado en el [Anexo 3: Diseño de los Impregnadores- Porosidad del lecho](#). El resultado obtenido ha sido el siguiente:

$$V_{\text{Lecho}} = V_{\text{CO}_2} = 924,33 \text{ L}$$

Estos 924,33 L de CO₂, que equivalen a unos 894 kg, exceden los 23,34 kg estequiométricos necesarios para la formación de CO₂-Hidratos. Sin embargo, es conveniente que haya un exceso de dióxido de carbono pues, una vez se produzca la despresurización del Impregnador, el excedente servirá como refrigerante en forma de hielo seco para mantener en el lote las condiciones logradas durante el impregnado. Además, el CO₂ que no quede retenido vuelve al Tanque de Proceso donde podrá volver a ser utilizado en ciclos posteriores sin desperdiciar nada.

Conociendo este nuevo dato del volumen de dióxido de carbono, se podrá dimensionar el recipiente. Como situación menos favorable para el dimensionamiento del Impregnador se supondrá que el volumen de CO₂ transferido no se adentra entre los huecos o poros del lecho. Resultando el volumen total la suma del volumen del tabaco y el volumen del dióxido de carbono.

9.2.5 DIMENSIONES DE LOS IMPREGNADORES

El cálculo de las dimensiones de los Impregnadores se detalla en el [Anexo 3: Diseño de los Impregnadores-Dimensiones de los impregnadores](#). A continuación, se muestran los resultados en cuanto a radio y altura del cilindro obtenidos en dicho Anexo.

$$\text{Volumen de Diseño Impregnador} = 2411,3 \text{ L}$$

$$\text{Radio (r)} = 0,58 \text{ m; Altura (L)} = 2,31 \text{ m}$$

9.2.6 MATERIAL

El material seleccionado para la estructura principal del Impregnador será el acero inoxidable SA-240, 304 (Nomenclatura según el código ASME). Se trata de un acero austenítico con un alto contenido en níquel (8-10%) que le confiere una gran protección frente a la corrosión. Es un acero que es usado comúnmente en la industria para recipientes a presión, procesos químicos y producción de alimentos. Se trata de un acero de bajo coste con unas prestaciones muy buenas.

9.2.7 ESPESOR DEL CILINDRO

El cálculo del espesor del cilindro de los Impregnadores se ha realizado siguiendo el Código ASME sección VIII División 1 para el diseño de recipientes a presión.

Para el espesor del cilindro de los Impregnadores se ha obtenido un valor de:

$$t = 19,89 \text{ mm}$$

El desarrollo del cálculo del espesor del cilindro se encuentra en el [Anexo 3: Diseño de los Impregnadores- Espesor del cilindro](#).

9.2.8 TIPO DE CABEZAL Y DIMENSIONES

Se selecciona un cabezal toriesférico, concretamente uno tipo Korbbogen. Este cabezal es ideal para presiones intermedias. Se calcula en primer lugar su espesor aplicando el código ASME:

$$e = 28,37 \text{ mm}$$

$$V = 199,26 \text{ L}$$

Como se puede comprobar, el espesor obtenido en el cabezal (28,16 mm) es mayor que el del cilindro (19,89). Con el fin de que toda la superficie del reactor posea el mismo grosor, se utilizará el valor de “e” como el espesor mínimo que tendrá el Impregnador en ambas secciones.

$$t = e = 28,37 \text{ mm}$$

Un desarrollo más detallado del diseño de los cabezales se encuentra en el [Anexo 3: Diseño de los Impregnadores- Tipo y dimensiones de cabezal.](#)

Teniendo en cuenta que existen dos cabezales, uno superior y otro inferior, el volumen total del reactor vendrá dado por la expresión:

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{CILINDRO}} + 2 \cdot V_{\text{CABEZAL}} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$V_{\text{TOTAL}} = 2411,3 + 2 \cdot 199,26 = 2809,81 \text{ L}$$

9.2.9 DISEÑO DE LAS BRIDAS

Para poder introducir y extraer el tabaco durante los ciclos de impregnado, se requiere que las tapaderas del reactor puedan acoplarse y desacoplarse con facilidad. Sin embargo, durante el proceso se debe mantener una presión de operación constante. Por este motivo, se requiere la instalación de unas bridas soldadas a los cabezales y cilindro y enfrentadas entre sí para que, con la ayuda de un sistema hidráulico de abrazaderas, se asegure la hermeticidad del recipiente.

Las bridas deben cumplir con unos estándares para asegurar un óptimo rendimiento. Se ha optado por realizar el diseño siguiendo la norma ANSI, compatible con la norma ASME utilizada para el diseño del Impregnador.

El primer parámetro que seleccionar es la máxima presión que la brida puede soportar. La norma ANSI hace una clasificación en función de las máximas presiones que soportan las bridas cuyas equivalencias en presiones nominales se muestran en la siguiente tabla:

CLASIFICACION ANSI	EQUIVALENCIA PN
Clase 150	PN20 Bar
Clase 300	PN50 Bar
Clase 400	PN68 Bar
Clase 600	PN110 Bar
Clase 900	PN150 Bar
Clase 1500	PN260 Bar
Clase 2500	PN420 Bar

Tabla 2: *Equivalencias presiones ANSI*

La máxima presión que se alcanza en el reactor son 30 bar aproximadamente. Por tanto, las bridas de Clase 300 cumplirían con los requerimientos.

A continuación, se debe seleccionar el tipo de brida. Existen varios tipos: con cuellos para soldar (WN-Welding Neck), deslizantes (SO-Slip On), roscadas (TH-Threaded), para junta con solapa (LJ-Lap Joint), con asiento para soldar (SW-Socket Welding) y ciegas (BL-Blind).

Las bridas con cuellos para soldar (WN) presentan la ventaja de que su extremo se suelda al cilindro donde se soporta, proporcionando un conducto de área prácticamente constante sin posibilidades de producir turbulencias en los fluidos que circulan. Además, este tipo de bridas son las recomendadas para servicios severos, ya sea por alta o baja temperatura, altas presiones o en aquellos servicios donde las fugas de cualquier tipo deben mantenerse al mínimo.



Figura 5: *Bidas WN*

La brida que irá acoplada al cilindro y cabezales del Impregnador será del tipo WN ANSI/ASME B16.47 Serie-A Clase 300 con medidas estandarizadas.

9.2.10 DISEÑO DE LAS ABERTURAS DEL IMPREGNADOR

Por último, se deben realizar algunas aberturas en el Impregnador que cumplirán las siguientes funciones:

- Introducir y extraer la materia prima durante los ciclos de impregnado.
- Conectar la parte alta del Impregnador con la parte baja para equilibrar presiones.
- Incorporar los elementos de control para regular la presión en el interior del recipiente.

9.2.10.1 BOQUILLAS DEL CILINDRO

El cilindro contará con tres aberturas. Dos de ellas servirán para incorporar la tubería que regula la presión en la parte alta y baja del Impregnador. La restante, para introducir el elemento de control de presión dentro del recipiente.

El diseño de todas las boquillas se ha realizado siguiendo el código ASME sección VIII división 1 subsección A.

Todas las aberturas del cilindro poseerán las mismas características que se citan a continuación:

- Boquillas de tipo “Set-on”, colocadas en el borde sin proyección al interior del cilindro. El diámetro de la abertura en el tanque coincide con el diámetro interno de la boquilla.
- Boquillas sin refuerzo (sobreespesor colocado en el extremo inferior de la boquilla reforzando la unión con el cilindro).
- Formando un ángulo de 90° con el eje longitudinal del tanque.

La boquilla que incorpora el elemento de control al reactor se denotará N1. Las dos restantes, ambas idénticas, se identificarán como N2 y N3.

Boquilla N1

La información de partida para realizar el diseño de la abertura en el cilindro del Impregnador es conocer el diámetro de la misma. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea este diámetro, más agresivo será para el recipiente dicha perturbación e irá en detrimento de sus capacidades para soportar las tensiones del proceso.

El diámetro para acoplar el elemento de control de presión al reactor no superará los 4 cm (como situación menos favorable):

$$d = 40 \text{ mm}$$

Conocido el diámetro de boquilla, ha de seleccionarse el material. Se ha optado por el acero SA350 específico para boquillas en un rango de temperatura intermedias (-40°C a 60°C). Con esta información, se conoce la tensión máxima permitida del material (S):

$$S = 240 \text{ MPa}$$

Por último, la eficiencia de la junta (E). Este valor depende del tipo de soldadura, categoría y su radiografiado. Para esta boquilla, se obtiene el siguiente valor:

$$E = 0,85$$

Con esta información, ya es posible calcular el espesor de la boquilla:

$$t = 14,95 \text{ mm}$$

La proyección de la boquilla sobre el tanque será:

$$H = 37,38 \text{ mm}$$

Boquillas N2-N3

El procedimiento de cálculo para estas boquillas será el mismo que para la boquilla N1. Aquí la excepción será el diámetro de la abertura, el cual será de 6 cm para poder acoplar la tubería.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Boquillas N2 y N3	
d (mm)	60
Material	SA350
S (MPa)	240
E	0,85
t (mm)	22,43
H (mm)	56,07

Tabla 3: Resultados boquillas N2 y N3

Estas boquillas además precisarán de una brida para poder acoplar la tubería. Para las dimensiones obtenidas, se selecciona un tipo de brida estandarizada.

Será una brida con cuello para soldar (WN) ANSI/ASME B16,5 Clase 300 con diámetro nominal 65.

El diseño de las boquillas (N1, N2 y N3) y bridas se encuentran en el Plano 2 del Documento “Planos”. En el [Anexo 3: Diseño de los Impregnadores- Boquillas del cilindro](#) se recogen los procedimientos de cálculo de las mismas.

9.2.10.2 DISEÑO DE LAS BOQUILLAS DE LOS CABEZALES

Estas aberturas tendrán la función permitir el flujo de dióxido de carbono al reactor. Se trata de dos boquillas idénticas (N4 y N5) colocadas en cada uno de los cabezales. Ambas cumplen con las siguientes características:

- Boquillas de tipo “Set-on”.
- Boquilla radial (formando un ángulo de 90° con el diámetro del recipiente)
- Boquilla sin refuerzo.

Para estas boquillas, el diámetro de abertura será de 9 cm, el máximo valor permitido por el código ASME que no precisa incorporar un refuerzo. El resto de variables coincide con las boquillas descritas previamente.

Las dimensiones de las boquillas serán las siguientes:

Boquillas N4 y N5	
d (mm)	90
Material	SA350
S (MPa)	240
E	0,85
t (mm)	33,64
H (mm)	84,1

Tabla 4: Resultados boquillas N4 y N5

Estas boquillas estarán conectadas a las tuberías que suministran el CO₂ mediante unas bridas. Las bridas serán de tipo cuello soldado (WN) ANSI/ASME B16,5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

Las dimensiones del Impregnador con boquillas y bridas ya acopladas se muestran en el Plano 2 del Documento “Planos”. En el [Anexo 3: Diseño de los Impregnadores- Boquillas de cabezales](#), los procedimientos de cálculo de las mismas.

9.3 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS AUXILIARES

9.3.1 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR- IC1

Antes de trasvasar el CO₂ líquido al Impregnador, éste debe alcanzar la temperatura óptima de operación. Esta temperatura rondará los -7°C. Con este rango de temperatura se conseguirá cumplir con dos objetivos principales:

- Que el dióxido de carbono se encuentre en estado líquido a la presión de operación (29,5 bar) cuando llegue al Impregnador.
- Que la temperatura del dióxido de carbono esté por encima de la temperatura de congelación del agua presente en el tabaco, -8,7°C (Hoelzel, 1976). De esta manera, se evitará la formación de bloques de hielo una vez entren en contacto el CO₂ y el agua del tabaco.

El refrigerante seleccionado para el proceso es el 1,1,1,2-Tetrafluoroetano, conocido industrialmente como R134a. Es uno de los refrigerantes hidrofluorocarburos más utilizados en la actualidad pues no daña la capa de ozono, posee baja toxicidad y es compatible con la mayoría de materiales.

Para llevar a cabo el diseño del intercambiador de calor, se ha hecho uso del simulador Aspen Plus V11. En él se ha realizado en un primer lugar un balance energético para determinar por un lado el calor que es necesario extraer a la corriente de CO₂ líquido; y por otro lado conocer qué cantidad de refrigerante se necesita emplear a partir de ese calor calculado.

La metodología para llevar a cabo la simulación se encuentra en el [Anexo 4: Dimensionamiento equipos auxiliares- Diseño intercambiador de calor.](#)

Los resultados obtenidos en el primer balance energético:

	CO ₂	R134a
T ^a Entrada (°C)	25	-70
T ^a Salida (°C)	-6,5	-30
Caudal másico (kg/h)	17875,2	110597
Calor (kW)	1363,83	

Tabla 5: Resultados primer balance energético

Una vez realizado este primer balance, se procedió a realizar un diseño más detallado del intercambiador. Se ha optado por un intercambiador de carcasa y tubos, ya que son compactos y eficientes, sobre todo en intercambios entre fluidos que sufren un cambio de fase.

A la hora de diseñar el intercambiador, se introdujeron los parámetros que se obtuvieron en el balance energético para obtener un diseño aproximado. Posteriormente, se llevó a cabo una optimización de este intercambiador para hacerlo más económico.

Los resultados de las corrientes tras la optimización se muestran a continuación:

	CO ₂	R134a
T ^a Entrada (°C)	25	-60
T ^a Salida (°C)	-6,32	-43,71
Caudal másico (kg/h)	17875,2	110597
Calor (kW)	588,08	

Tabla 6: Resultados corrientes tras optimización

Las características del intercambiador son las siguientes:

Calor intercambiado (kW)	588,08
Área requerida (m ²)	22,44
Área real (m ²)	22,42
Exceso área (%)	-0,008
Coefficiente transferencia U (J/s-m ² -K)	539,55
UA (J/s-K)	12107,4
LMTD (°C)	48,57
Factor de corrección LMTD	0,79

Tabla 7: Características intercambiador

Diseño mecánico:

Tipo intercambiador (TEMA)	B-E-M
Material	Acero al carbono
Localización fluido caliente	Tubos
Diámetro externo carcasa (cm)	32,89
Espesor carcasa (cm)	1,68
Longitud tubos (m)	3,9
Número de tubos	98
Diámetro externo tubos (cm)	1,9
Orientación tubos	Triangular (30°)
Pitch (cm)	2,38
Tipo de bafles	Segmentado simple
N.º de bafles	12
Coste total estimado (€)	12732

Tabla 8: *Diseño mecánico intercambiador*

9.3.2 ELECCIÓN DE LA BOMBA- B1

La bomba B1 tendrá la función de trasvasar el CO₂ líquido que se obtiene en el intercambiador de calor a los Impregnadores. En primer lugar, se ha aplicado la ecuación de Bernoulli para determinar la altura a la que la bomba debe elevar el líquido. La altura de la bomba resultó:

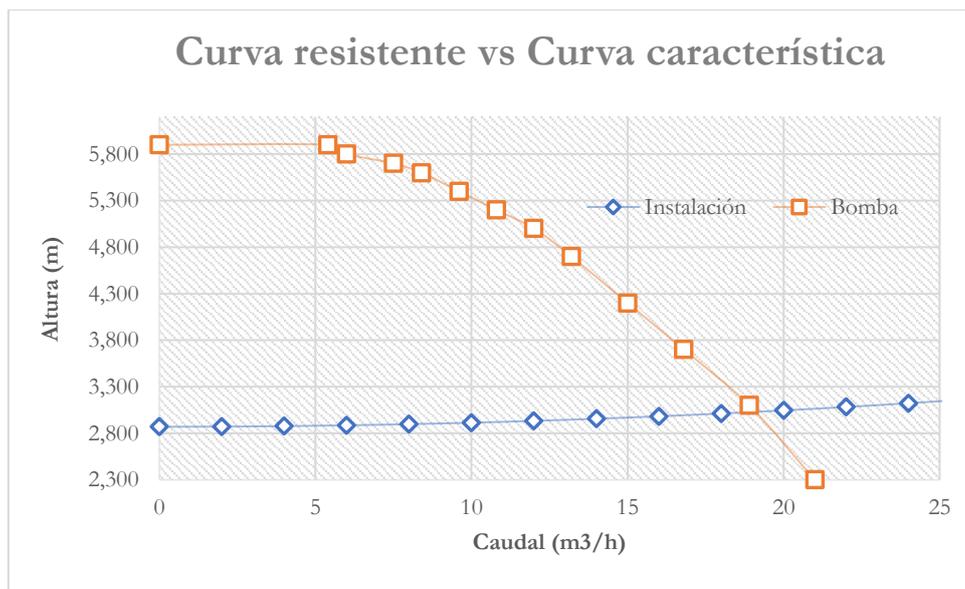
$$hb = 3,02 m$$

Una vez calculada la altura de la bomba y conociendo el caudal que se debe suministrar a los Impregnadores ($Q = 18,49 \text{ m}^3/\text{h}$), se procedió a seleccionar la bomba en los catálogos de los diferentes fabricantes de bombas.

Se ha optado por el catálogo de equipos “Calpeda” al ofrecer una amplia variedad de bombas centrífugas que operan a bajas temperaturas y altas presiones. En concreto, la serie de bombas centrífugas Calpeda NR, NR4. Estas bombas se encuentran con motores de 2900 rpm (serie NR) y 1450 rpm (serie NR4). Debido a la poca altura a la que se necesita elevar el fluido, el motor de 1450 rpm ofrecerá los mejores rendimientos. Para concretar qué modelo dentro de la serie NR4 es el adecuado para la altura y caudal seleccionados, se hace uso de la gráfica proporcionada por el catálogo del fabricante.

El modelo seleccionado es la bomba NR4 50/160 con un diámetro de impulsor tipo C de 137mm.

Con la curva característica de la bomba y la curva resistente de la instalación se determinó el nuevo punto de operación:



Gráfica 1: Curva característica y resistente

$$Q = 18,98 \text{ m}^3; \mathbf{hb} = 3,01 \text{ m}$$

Estos datos definitivos permiten calcular la potencia de la bomba, la cual resulta:

$$\mathbf{Pb} = 150,8 \text{ W}$$

La eficiencia de la bomba seleccionada para el caudal requerido se proporciona en la curva característica de la bomba. Esta eficiencia tiene un valor de 55%.

Relacionando la potencia proporcionada por la bomba (0,37 kW) con la requerida mediante este valor de eficiencia, se comprueba en el catálogo que la bomba seleccionada es la correcta.

Por último, se calculó el NPSH disponible de la bomba. Este dato comparado con el NPSH requerido, dará una idea de si existe cavitación en la bomba. El requerimiento para que no se de este fenómeno es el siguiente:

$$\mathbf{NPSHd} > \mathbf{NPSHr} + 0,5$$

Tras calcular el NPSHd se comprobó que éste era inferior al NPSHr y por tanto podría darse la cavitación. Dicho inconveniente se solucionó situando la bomba unos metros por debajo del tanque de abastecimiento.

Todos los cálculos que respaldan la selección de la bomba junto con un boceto y dimensiones de la misma están en el [Anexo 4: Dimensionamiento equipos auxiliares- Elección de la bomba.](#)

9.3.3 DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO₂

La metodología empleada para diseñar los tanques de almacenamiento será similar a la del diseño del Impregnador. El diseño se hará según el código ASME sección VIII división 1 subsección A para el diseño de recipientes a presión.

Se tendrán en cuenta los volúmenes que deben albergar y las presiones que deben soportar. Todos los tanques estarán fabricados del mismo material hasta hora utilizado en los Impregnadores: acero inoxidable SA240, 304.

El desarrollo matemático para el diseño de cada uno de los tanques se encuentra en el [Anexo 4: Dimensionamiento equipos auxiliares- Diseño de tanques de almacenamiento.](#)

9.3.3.1 DISEÑO DEL TANQUE DE ALTA PRESIÓN- T1

Este tanque almacena CO₂ en estado gaseoso a 10 bar. Su función es suministrar dicho gas en las etapas de purga y primera presurización; y recuperar el gas en la etapa de primera despresurización. Tiene la función auxiliar de suministrar gas al Tanque de Proceso en el caso que fuera necesario.

Para dimensionar el tanque, lo primero que deberá calcularse será su volumen. Este parámetro deberá estar relacionado con la cantidad de gas que es necesario en cada una de las etapas.

- Volumen necesario en la etapa “Purga” = 7,5 m³
- Volumen necesario en la etapa “Primera Presurización” = 2,025 m³
- Volumen auxiliar = 25% extra del volumen total

El volumen total necesario para abastecer ambos Impregnadores será:

$$V = (2,025 + 7,5) \cdot 2 \cdot 1,25 = 23,81 \text{ m}^3$$

Conociendo este volumen, las dimensiones del tanque son las que se muestran a continuación:

Cilindro		
Volumen	23,81	m ³
Radio	1,21	m
Diámetro	2,41	m
Altura	4,82	m
Pd (máx.[Pop-1,1;Pop+2])	12	bar
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor t₀ = 15,17 mm		

Tabla 9a: Dimensiones cilindro T1

Cabezal (toriesférico)		
De	2,43	m
R	1,946	m
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor e = 21,54 mm		
Nuevo espesor t = 21,54 mm		
R	1945,72	mm
r	374,55	mm
h1	64,62	mm
h2	424,11	mm
H	510,27	mm
V	1,82	m ³

Tabla 9b: Dimensiones cabezal T1

Por último, solo queda incorporar las aberturas por las que circularía el gas desde y hacia los Impregnadores. Para este tanque de almacenamiento, serán necesarias 4 boquillas:

- **Boquilla NT1.1-** por la que circula el gas CO₂ hacia los Impregnadores.
- **Boquilla NT1.2-** por la que abastecería de gas al Tanque de Proceso (T3) en caso de ser necesario.
- **Boquilla NT1.3-** por la que ingresaría gas desde el Tanque de Baja (T2).
- **Boquilla NT1.4-** por la que se recuperaría gas en las etapas de despresurización.

Cada una de estas boquillas tendrá acoplada una brida donde irá soldada la tubería por donde circula el gas. El diseño de estas aberturas y bridas se lleva a cabo de manera similar a las de los Impregnadores.

Todas ellas, al estar en las mismas condiciones de presión y temperatura, tendrán las mismas dimensiones y propiedades mecánicas.

Los resultados se muestran a continuación:

Boquillas NT1.1; NT1.2; NT1.3; NT1.4	
Pd (bar)	12
R (mm)	90,00
S (MPa)	240
E	0,85
t (mm) = 33,30	
H (mm) = 83,26	

Tabla 10: Dimensiones boquillas T1

La brida que irá soldada a estas boquillas será de tipo WN (Weld Neck- con cuello para soldar) ANSI/ASME B16.5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

La metodología de cálculo se detalla en el [Anexo 4: Dimensionamiento equipos auxiliares- Diseño del Tanque T1](#). En el Plano 3 del Documento “Planos” se incorpora el dispositivo diseñado a escala 1:50 con las dimensiones calculadas acotadas.

9.3.3.2 DISEÑO DEL TANQUE DE BAJA PRESIÓN- T2

Este tanque solamente tiene dos funciones: Recuperar el gas CO₂ durante la segunda despresurización a 3,5 bar y suministrar gas CO₂ al Tanque de Alta Presión.

- Volumen recuperado en la etapa “Segunda Despresurización” = 4,179 m³
- Volumen a suministrar al Tanque de Alta Presión = 25% extra del volumen total.

El volumen total necesario para abastecer ambos Impregnadores será:

$$V = 4,179 \cdot 2 \cdot 1,25 = 10,45 \text{ m}^3$$

Con este volumen, las dimensiones del tanque se muestran a continuación:

Cilindro		
Volumen	10,45	m³
Radio	0,92	m
Diámetro	1,83	m
Altura	3,66	m
Pd (máx. [Pop·1,1; Pop+2])	5,5	bar
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor t₀ = 5,26 mm		

Tabla 11a: Dimensiones cilindro T2

Cabezal (toriesférico)		
De	1,84	m
R	1,471	m
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor e = 7,46 mm		
Nuevo espesor t = 7,46 mm		
R	1471,41	mm
r	283,25	mm
h1	22,38	mm
h2	326,33	mm
H	356,17	mm
V	0,80	m³

Tabla 11b: Dimensiones cabezal T2

Este recipiente contará solamente con dos aberturas:

- **Boquilla NT2.1-** por la que suministra gas CO₂ al Tanque T1.
- **Boquilla NT2.2-** por la que ingresa el gas CO₂ proveniente de los Impregnadores durante la despresurización.

A continuación, se muestran dimensiones de estas dos boquillas:

Boquillas NT2.1; NT2.2	
Pd (bar)	5,5
R (mm)	90,00
S (MPa)	240
E	0,85
t (mm) = 33,19	
H (mm) = 82,96	

Tabla 12: Dimensiones boquillas T2

La brida que irá soldada a estas boquillas será de tipo WN (Weld Neck- con cuello para soldar) ANSI/ASME B16.5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

La metodología de cálculo se detalla en el [Anexo 4: Dimensionamiento equipos auxiliares- Diseño del Tanque T2](#). En el Plano 4 del Documento “Planos” se incorpora el dispositivo diseñado a escala 1:50 con las dimensiones calculadas acotadas.

9.3.3.3 DISEÑO DEL TANQUE DE PROCESO- T3

Este tanque será el encargado de llevar a cabo las siguientes tareas en el proceso:

- Aumentar la presión en el Impregnador hasta la presión de operación (P_{op}).
- Trasladar el CO_2 gas al intercambiador donde condensará y será trasvasado por la parte inferior del Impregnador.
- Recoger el CO_2 líquido sobrante en la etapa de drenaje.

Por tanto, el primer parámetro a calcular para determinar las dimensiones del Tanque de Proceso será su volumen.

- Volumen suministrado durante la etapa “Segunda Presurización” = $1,49 \text{ m}^3$
- Volumen suministrado al intercambiador = $0,92 \text{ m}^3$

El volumen total que debe contener el Tanque de Proceso para abastecer ambos Impregnadores:

$$\mathbf{V = (1,49 + 0,92) \cdot 2 = 4,82 \text{ m}^3}$$

A partir de este volumen se pueden calcular las dimensiones del tanque:

Cilindro		
Volumen	4,82	m ³
Radio	0,71	m
Diámetro	1,42	m
Altura	2,83	m
Pd (máx. [Pop·1,1; Pop+2])	32,45	bar
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor t₀ = 24,41 mm		

Tabla 13a: Dimensiones cilindro T3

Cabezal (toriesférico)		
De	1,45	m
R	1,160	m
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor e = 34,81 mm		
Nuevo espesor t = 34,81 mm		
R	1160,45	mm
r	223,39	mm
h1	104,44	mm
h2	238,99	mm
H	378,25	mm
V	0,37	m ³

Tabla 13b: Dimensiones cabezal T3

El Tanque de Proceso necesitará la incorporación de 4 aberturas para llevar a cabo las siguientes funciones:

- **Boquilla NT3.1-** por la que circula el gas CO₂ hacia los Impregnadores en forma gaseosa.
- **Boquilla NT3.2-** por la que abastece de gas al intercambiador de calor.
- **Boquilla NT3.3-** por la que ingresaría gas desde el Tanque de Alta (T1).
- **Boquilla NT3.4-** por la que se recuperaría CO₂ en la etapa de drenaje.

Las dimensiones de las 4 boquillas descritas se muestran en la siguiente tabla:

Boquillas NT3.1; NT3.2; NT3.3; NT3.4	
Pd (bar)	32,45
R (mm)	90,00
S (MPa)	240
E	0,85
t (mm) = 33,64	
H (mm) = 84,10	

Tabla 14: Dimensiones boquillas T3

La brida que irá soldada a estas boquillas será de tipo WN (Weld Neck- con cuello para soldar) ANSI/ASME B16.5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

La metodología de cálculo se detalla en el [Anexo 4: Dimensionamiento equipos auxiliares- Diseño del Tanque T3](#). En el Plano 5 del Documento “Planos” se incorpora el dispositivo diseñado a escala 1:20 con las dimensiones calculadas acotadas.

9.3.4 ELECCIÓN DE LOS COMPRESORES

9.3.4.1 COMPRESOR- CP1

Este compresor tiene la función de comprimir el CO₂ gas desde el Tanque de Baja Presión (T2) al Tanque de Alta Presión (T1). En concreto, tendrá que aumentar la presión de 3,5 bar del primer tanque hasta los 10 bar del segundo. Se ha optado por seleccionar un compresor de pistón de transmisión por correa pues suministra un caudal de gas constante y el rango de presiones que se desea conseguir no es elevado.

Se ha seleccionado un compresor de la marca Mehrer al disponer de un catálogo variado con numerosos modelos que ofrecen un amplio abanico de configuraciones en cuanto a presiones, capacidad y materiales.

La serie de compresores TRx200 y TRx300 son ideales pues ofrecen una compresión 100% libre de aceite, un bajo mantenimiento y un alto rendimiento para la compresión de gases tales como el nitrógeno, hidrogeno y, claro está, dióxido de carbono.

Dentro de esta serie de compresores, el modelo TRZ 200 de 2 etapas ofrece las siguientes prestaciones:

Máximo rango de compresión por etapa	1:5.5
Máxima presión de succión	7 bar
Máxima presión de descarga	26 bar
Volumen desplazado por cada revolución	481 cm ³
Máxima potencia en el eje	5 kW
Rango de velocidad	380-750 rpm
Refrigeración	Aire

Tabla 15: *Características CP1*

Este compresor cumple con los requisitos para elevar la presión entre los dos tanques, por lo tanto, será el que se incorpore al proceso.

9.3.4.2 COMPRESOR- CP2

Este compresor tiene la función de elevar la presión desde el Tanque de Alta Presión (T1) a 10 bar, hasta los 30 bar del Tanque de Proceso (T3).

Por comodidad y familiarización con la marca, se vuelve a seleccionar un compresor Mehrer. Esta vez, el compresor debe comprimir aún más el gas proveniente de T1. Por ello, se ha optado por el modelo TRZ 300 de 2 etapas. En la siguiente tabla se muestran sus cualidades más importantes:

Máximo rango de compresión por etapa	1:5.5
Máxima presión de succión	11 bar
Máxima presión de descarga	31 bar
Volumen desplazado por cada revolución	1659 cm ³
Máxima potencia en el eje	10 kW
Rango de velocidad	380-750 rpm
Refrigeración	Aire

Tabla 16: *Características CP2*

9.3.5 ELECCIÓN DEL SILENCIADOR- S1

A fin de cumplir con la legislación vigente en materia de emisiones acústicas, se precisa la instalación de un equipo que ayude a amortiguar los ruidos que se ocasionan durante la expulsión del gas CO₂ en el proceso. Según el Real Decreto 1367/2007, del 19 de octubre, el límite máximo permitido en sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial es de 90 dB (Tabla A2- Valores límite de inmisión máximos de ruido aplicables a infraestructuras ferroviarias y aeroportuarias-, Anexo III).

El silenciador S1 tendrá la función de recoger el gas proveniente de los Impregnadores durante las etapas de purga y venteo y expulsarlos a la atmósfera. Durante la etapa de venteo, el gas llegará al silenciador a una presión de 3,5 bar. Por ello, la empresa asturiana “silen&system” ofrece una gama de silenciadores diseñados específicamente para venteo de gases presurizados.

Esta empresa ofrece las series de silenciadores SP30, SP40 y SP50. Los silenciadores SP están diseñados de forma que permite la libre dilatación de los elementos que lo conforman. El exterior está protegido con una capa de silicato inorgánico de zinc y capa de acabado mediante pintura de alta temperatura (SA 2,5). Las partes metálicas interiores se tratan con pintura de alta temperatura.

Para seleccionar entre estos tres tipos de silenciadores, habría que hacer un estudio de la frecuencia de las ondas que se producen en la descarga y relacionarla con la atenuación del silenciador en la curva de atenuación sonora media. Dado que no se cuenta con informaciones de las frecuencias de ondas, se optará por seleccionar aquel silenciador que proporcione de media una mayor atenuación del sonido. Dicho esto, el silenciador SP30 ofrece una atenuación media de 30 dB para altas y bajas frecuencias:

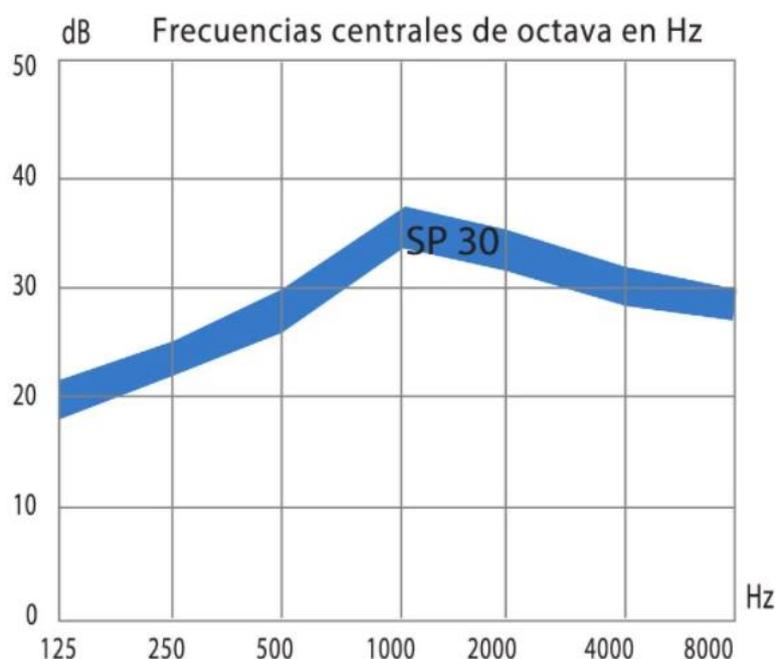


Figura 6: *Atenuación SP30*

Solo quedaría elegir el tipo de SP30 en función de sus dimensiones. El fabricante ofrece múltiples combinaciones en función del peso, altura, diámetro, longitud, etc. El único requisito que existe es que el silenciador debe descargar el gas en el menor tiempo posible. Con una sección de paso pequeña se lograría una velocidad de gas elevada pero un reducido caudal. Por el contrario, una sección de paso mayor supondría una menor velocidad de gas, pero un caudal elevado. Se opta por lo tanto por escoger un rango intermedio entre las dimensiones de silenciador que ofrece la marca.

Las dimensiones del silenciador se encuentran en el [Anexo 4: Dimensionamiento equipos auxiliares- Elección del silenciador.](#)

9.4 SISTEMAS DE CONTROL

Para asegurar las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso, se requiere la incorporación de un sistema de control que mantenga de manera automatizada las variables de operación.

El control se llevará a cabo mediante un controlador lógico o autómatas programables (PLC) cuya programación se encuentra fuera del alcance de este TFG. No obstante, se hará una breve descripción de los elementos que conforman este sistema de control y las respuestas que darán frente a las desviaciones.

En el Plano 1 aparece en diagrama de bloques del proceso diseñado, con los elementos de control del proceso.

9.4.1 CONTROL DE LA PRESION DE LOS IMPREGNADORES

Durante el ciclo de impregnado, se debe mantener en el Impregnador una presión de operación constante de 29,5 bar. Durante la etapa de llenado con CO₂ líquido, el trasvaso del fluido al Impregnador provoca una sobrepresión en el reactor conforme el CO₂ va ocupando el volumen del recipiente. Para regular la presión en el interior, se dispondrá de los siguientes elementos:

- Transmisor de presión (PT)- Colocado en el cilindro de cada Impregnador, transmitirá una señal estándar (4-20mA/2 hilos) al regulador si se detectara una presión superior a los 30 bar.
- Controlador e indicador de presión (PIC)- Recibe la señal del transmisor, la muestra y transmite la señal al actuador.
- Actuador- Actuador de la válvula (v11) eléctrica motorizada que recibe la señal del controlador y se acciona para liberar el gas a través del silenciador S1.

El transmisor de presión que irá acoplado a cada Impregnador será un Transmisor de Presión Piezo-Resistivo Serie 21 Y de la marca Keller al proporcionar un rango de presiones de entre 1 y 1000 bar; y un rango de temperaturas de entre -40°C y 120°C.

La válvula v11 será una válvula de disco Schubert & Salzer modelo 5030 de DN 90.

9.4.2 CONTROL DE FLUJO DE CO₂

En la etapa de llenado con CO₂ líquido se debe trasvasar a los Impregnadores un volumen específico de dióxido de carbono. Ese volumen será controlado a través del caudal y el tiempo que transcurre durante el llenado. Para el control de flujo se disponen de los siguientes elementos:

- Transmisor de flujo (FT): Colocado en la tubería que conecta la bomba B1 con los Impregnadores. Compuesto por un sensor y un transmisor que mide el caudal del líquido por ultrasonido y transmiten la señal al controlador.
- Controlador e indicador de flujo (FIC): Recibe la señal del transmisor de flujo, la muestra y actúa deteniendo la bomba B1 cuando transcurre aproximadamente 3 minutos a caudal constante de 18,9 m³/h.
- Actuador: Arrancador de la bomba B1 que recibe la señal del controlador y detiene la bomba.

El sensor seleccionado será un sensor SITRANS FUS SONO 3300 acoplado al transmisor SITRANS FUS060 de la marca SIEMENS. Ofrece un rango de caudales de entre 10a 2200 m³/h con una presión máxima de 40 bar y una temperatura mínima de -10°C.

9.5 ETAPAS DEL PROCESO

Una vez diseñados y dimensionados todos los equipos que forman parte del proceso, se procede a enumerar las etapas en las cuales los equipos operan de manera conjunta para alcanzar los requisitos del producto final. En total serán nueve etapas que conforman un ciclo completo en un Impregnador y comienzo del siguiente ciclo del otro Impregnador.

El lote de tabaco a expandir se introduce por la parte superior de los Impregnadores. Seguidamente, las tapas de cada Impregnador se cierran gracias al accionamiento de un sistema hidráulico que, con la ayuda de unas agarraderas, aseguran que los recipientes queden herméticos. El diseño del sistema hidráulico y agarraderas quedan fuera del alcance de este proyecto.

A continuación, se describe lo que sucede en cada etapa. Un análisis más detallado de las tareas que se realizan en cada etapa se encuentra en el [Anexo 1: Etapas del proceso.](#)

9.5.1. PURGA

El objetivo de la purga es eliminar el aire que queda dentro del Impregnador. Lo ideal sería conseguir una atmósfera cercana al 100% de CO₂. Si queda alguna cantidad de aire en el sistema se reduciría la presión parcial del CO₂ en el Impregnador y como consecuencia, una disminución de la temperatura del CO₂ líquido.

La cantidad de gas que debe pasar por el Impregnador es la equivalente al volumen de tres Impregnadores, es decir, unos 7,5 m³ a presión atmosférica (Fischer et al., 1997). La densidad del CO₂ es aproximadamente 1,5 veces la del aire. De modo que a la hora de desplazar el aire es importante que no se creen turbulencias para que ambos gases no se mezclen. Por ello, la velocidad del gas CO₂ en esta etapa debe ser baja. Al final, el resultado es que hay menos de un 1% de aire en volumen dentro del Impregnador. Si el aire no se elimina correctamente este se acumulará en el sistema de recuperación de CO₂, y se incrementará en cada ciclo.

9.5.2 PRIMERA PRESURIZACIÓN

El motivo por el que se realiza la presurización en dos etapas es evitar la compactación del tabaco en el fondo del Impregnador, lo cual dificultaría el impregnado y el drenaje del líquido. En esta primera presurización se introduce el gas procedente del Tanque de Alta Presión en el Impregnador por la parte inferior, de modo que el movimiento ascendente del gas ayude a soltar el tabaco en aquellas zonas donde se encuentre más compactado. Esto facilita el posterior paso del CO₂ líquido.

9.5.3 SEGUNDA PRESURIZACIÓN

En esta segunda etapa de presurización, el gas procedente del Tanque de Proceso se introduce por la parte superior del Impregnador. Si se introdujera el gas por la parte inferior se correría el riesgo de obstruir las rejillas de la parte superior con tabaco, lo cual iría en perjuicio de la despresurización. Por otro lado, a fin de evitar que el tabaco se compacte en el fondo por el efecto de la elevada presión, se debe instalar una tubería exterior que conecta la parte alta y baja con el objetivo de reducir el diferencial de presiones.

9.5.4 LLENADO CON CO₂ LÍQUIDO

El llenado con CO₂ líquido se realiza por la parte inferior del Impregnador mientras se mantiene unido el Impregnador con el Tanque de Proceso por la parte superior. En este punto, el llenado implicaría una sobrepresión dentro del Impregnador a medida que líquido va adentrándose. Para

evitar esto y mantener siempre una presión de operación constante de 29,5 bar, los Impregnadores cuentan con unos reguladores de presión que accionarían válvulas para liberar el gas a la atmósfera.

9.5.5 IMPREGNADO

Una vez finalizado el trasiego de líquido comienza el periodo de impregnado, el cual dura de 15 a 20 segundos con el fin de asegurar que el tabaco queda perfectamente impregnado.

9.5.6 DRENAJE

En esta etapa se recupera el exceso de líquido el cual retorna por gravedad al Tanque de Proceso. Parte del líquido que queda retenido en los huecos del lote de tabaco servirá como refrigerante en las etapas de despresurización posteriores, manteniendo las condiciones logradas durante el impregnado.

9.5.7 PRIMERA DESPRESURIZACIÓN

Antes de proceder a abrir el Impregnador la presión debe ser reducida hasta la atmosférica mediante despresurización. Esta despresurización se realiza en tres etapas: primera despresurización, segunda despresurización y venteo a la atmósfera. Las despresurizaciones deben ser controladas de una forma muy cuidadosa de forma que se obtenga la mayor formación de CO₂-Hidratos y la menor formación de hielo posible.

La primera despresurización tiene lugar desde el Impregnador al Tanque de Alta Presión. La apertura de la válvula debe ser lenta y durar unos 45 segundos (Fischer et al., 1997). Una vez concluida la apertura de la válvula, ésta debe permanecer unos segundos abiertas para asegurar que las presiones se igualan en ambos puntos-10 bar-.

9.5.8 SEGUNDA DESPRESURIZACIÓN

Esta segunda despresurización tiene lugar entre el Tanque de Baja Presión y el Impregnador. La apertura de la válvula debe realizarse de forma similar a la anterior por el mismo motivo. Una vez finalizada la apertura de la válvula, se deja durante unos segundos abiertas para igualar las presiones entre los dos tanques-3,5 bar-.

9.5.9 VENTEO A LA ATMÓSFERA Y PURGA DEL IMPREGNADOR I2

El soplado o venteo a la atmósfera se realiza a la velocidad más elevada posible. Con el fin de optimizar el proceso al máximo, el gas remanente en el Impregnador se hará pasar por el otro Impregnador iniciando su etapa de purga. Esto dará comienzo a un nuevo ciclo.

10. PLANIFICACIÓN

Para la elaboración del presente TFG se ha seguido una programación elaborada previamente al comienzo del mismo. Dicha programación, llevada a cabo en el software ProjectLibre, consta de una tabla (ver **Figura 7**) donde se recogen todas las tareas a realizar desde la recopilación de información inicial hasta la entrega de todo el documento. Dichas tareas se representan en un Diagrama de Gantt (ver **Figura 8**) donde se pueden apreciar las interacciones entre las etapas de elaboración del Proyecto.

	Nombre	Duracion	Inicio	Terminado	Predecesores
1	Desarrollo inicial	31 days	16/11/20 8:00	16/12/20 17:00	
2	Recopilacion de informac...	31 days	16/11/20 8:00	16/12/20 17:00	
3	Descripcion del proyecto	4,75 days	20/11/20 10:00	24/11/20 17:00	
4	Objeto y alcance	3 days	26/11/20 8:00	28/11/20 17:00	
5	Capacidad de la planta	10 days	30/11/20 8:00	9/12/20 17:00	
6	Normativa general	2 days	10/12/20 8:00	11/12/20 17:00	
7	Desarrollo de la propuesta	2,125 days	17/12/20 8:00	19/12/20 9:00	1
8	Entrega de la propuesta	1,875 days	15/01/21 9:00	16/01/21 17:00	7
9	Capitulo antecedentes	10,75 days	3/01/21 10:00	13/01/21 17:00	
10	Diagrama del proceso	5 days	11/01/21 8:00	15/01/21 17:00	
11	Dimensionamiento imp...	20 days	16/01/21 8:00	4/02/21 17:00	10
12	Volumen recipiente	7 days	16/01/21 8:00	22/01/21 17:00	
13	Material	3 days	23/01/21 8:00	25/01/21 17:00	12
14	Espesor	7 days	26/01/21 8:00	1/02/21 17:00	13
15	Tipo de cabezal	3 days	2/02/21 8:00	4/02/21 17:00	14
16	Exposición informe preliminar	1 day	5/02/21 8:00	5/02/21 17:00	11
17	Dimensionamiento equ...	60 days	3/02/21 8:00	3/04/21 17:00	
18	Diseño tanque proceso	15 days	3/02/21 8:00	17/02/21 17:00	
19	Diseño tanques de gas	15 days	18/02/21 8:00	4/03/21 17:00	18
20	Diseño int.calor	15 days	5/03/21 8:00	19/03/21 17:00	19
21	Diseño bombas y compre...	15 days	20/03/21 8:00	3/04/21 17:00	20
22	Redaccion del documento	20 days	4/04/21 8:00	23/04/21 17:00	17
23	Entrega informe intermedio	1 day	14/05/21 8:00	14/05/21 17:00	22
24	Elaboracion estudio econo...	15 days	15/05/21 8:00	29/05/21 17:00	23
25	Elaboracion estudio amabi...	15 days	15/05/21 8:00	29/05/21 17:00	23
26	Elaboracion Anexos	15 days	15/05/21 8:00	29/05/21 17:00	23
27	Unificacion del documento ...	10 days	30/05/21 8:00	8/06/21 17:00	26
28	Revision final	5 days	9/06/21 8:00	13/06/21 17:00	27
29	Entrega	1 day	26/06/21 8:00	26/06/21 17:00	28

Figura 7: Tabla de tareas

DISEÑO DE LA UNIDAD DE IMPREGNADO PARA LA EXPANSION DE TABACO MEDIANTE DIOXIDO DE CARBONO

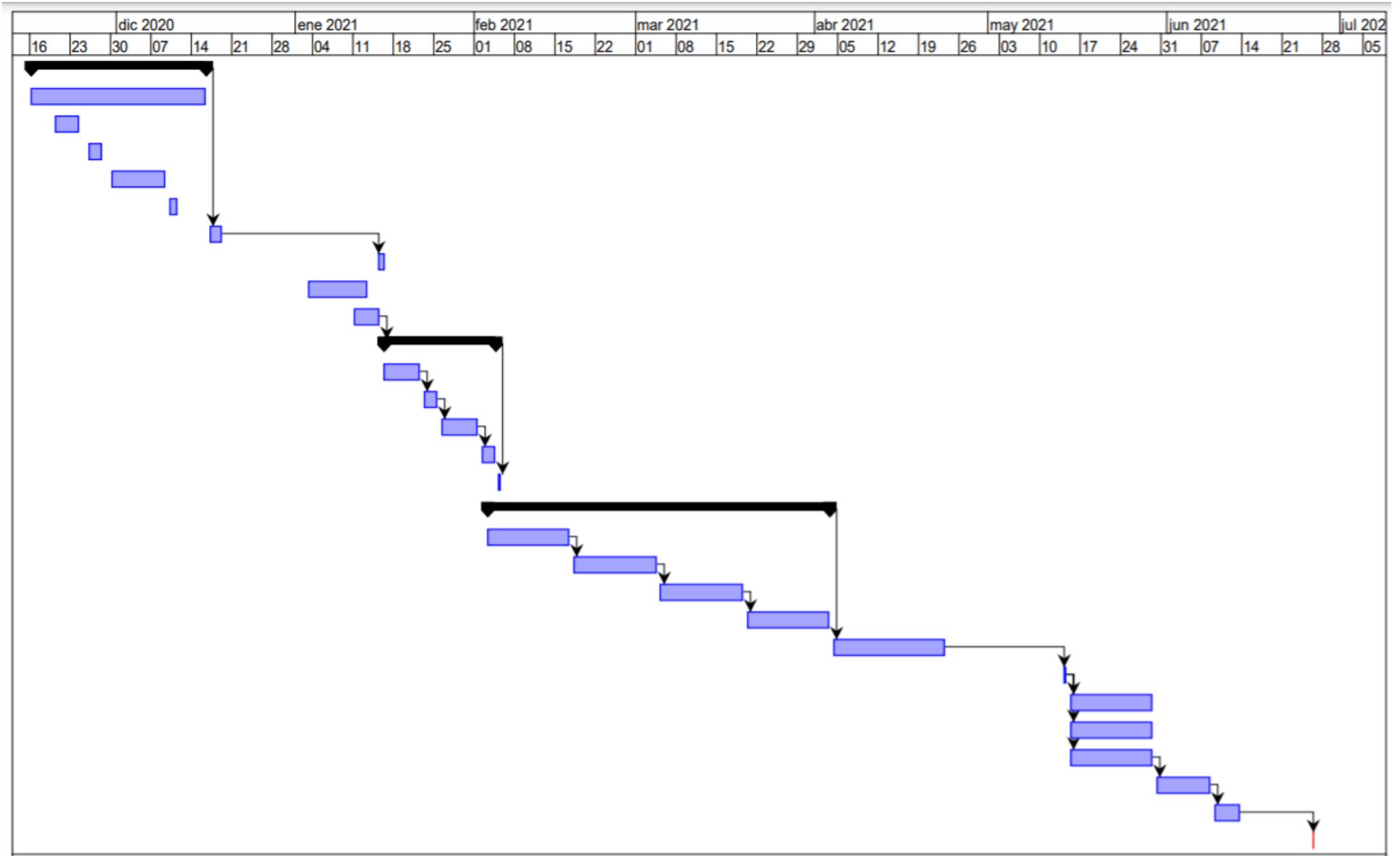


Figura 8: Diagrama de Gantt

DOCUMENTO 2:

ANEXOS

ÍNDICE- ANEXOS

ANEXO 1: ETAPAS DEL PROCESO	2
1.1 PURGA	2
1.2 PRIMERA PRESURIZACIÓN	3
1.3 SEGUNDA PRESURIZACIÓN	4
1.4 LLENADO CON CO ₂ LÍQUIDO	5
1.5 IMPREGNADO	6
1.6 DRENAJE	7
1.7 PRIMERA DESPRESURIZACIÓN	8
1.8 SEGUNDA DESPRESURIZACIÓN	9
1.9 VENTEO Y PURGA DEL IMPREGNADOR (I2)	10
ANEXO 2: BALANCE DE MATERIA	11
ANEXO 3: DISEÑO DE LOS IMPREGNADORES	14
3.1 CÁLCULO DE LA POROSIDAD DEL LECHO	14
3.2 DIMENSIONES DE LOS IMPREGNADORES	15
3.3 ESPESOR DEL CILINDRO	15
3.4 TIPO Y DIMENSIONES DE CABEZAL	17
3.5 DISEÑO DE LAS ABERTURAS DEL IMPREGNADOR	19
3.5.1 BOQUILLAS DEL CILINDRO	19
3.5.2 BOQUILLAS DE CABEZALES	22
ANEXO 4: DIMENSIONAMIENTO EQUIPOS AUXILIARES	24
4.1 DISEÑO INTERCAMBIADOR DE CALOR- IC1	24
4.2 ELECCIÓN DE LA BOMBA- B1	30
4.3 DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO ₂	39
4.3.1 DISEÑO DEL TANQUE DE ALTA PRESIÓN- T1	39
4.3.2 DISEÑO DEL TANQUE DE BAJA PRESIÓN- T2	42

4.3.3 DISEÑO DEL TANQUE DE PROCESO.....	44
4.4 ELECCIÓN DEL SILENCIADOR	46
ANEXO 5: FICHAS DE SEGURIDAD QUÍMICA	49
5.1 FICHA DEL DIÓXIDO DE CARBONO.....	49
ANEXO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

ANEXO 1: ETAPAS DEL PROCESO

A continuación, se detallan las operaciones que se llevan a cabo en cada una de las 9 etapas del proceso. Cada operación está acompañada de una imagen donde se muestra en color verde por dónde circula el CO₂ y los equipos que intervienen en dicha operación.

1.1 PURGA

Para desplazar el aire del primer Impregnador (I1) se abren las válvulas v5, v8, v11 y v1 (esta última se abre un 25%), comunicando el Tanque de Alta Presión (T1) con el Impregnador (I1). El gas CO₂ pasa a través de I1 y es liberado a la atmósfera por el silenciador (S1).

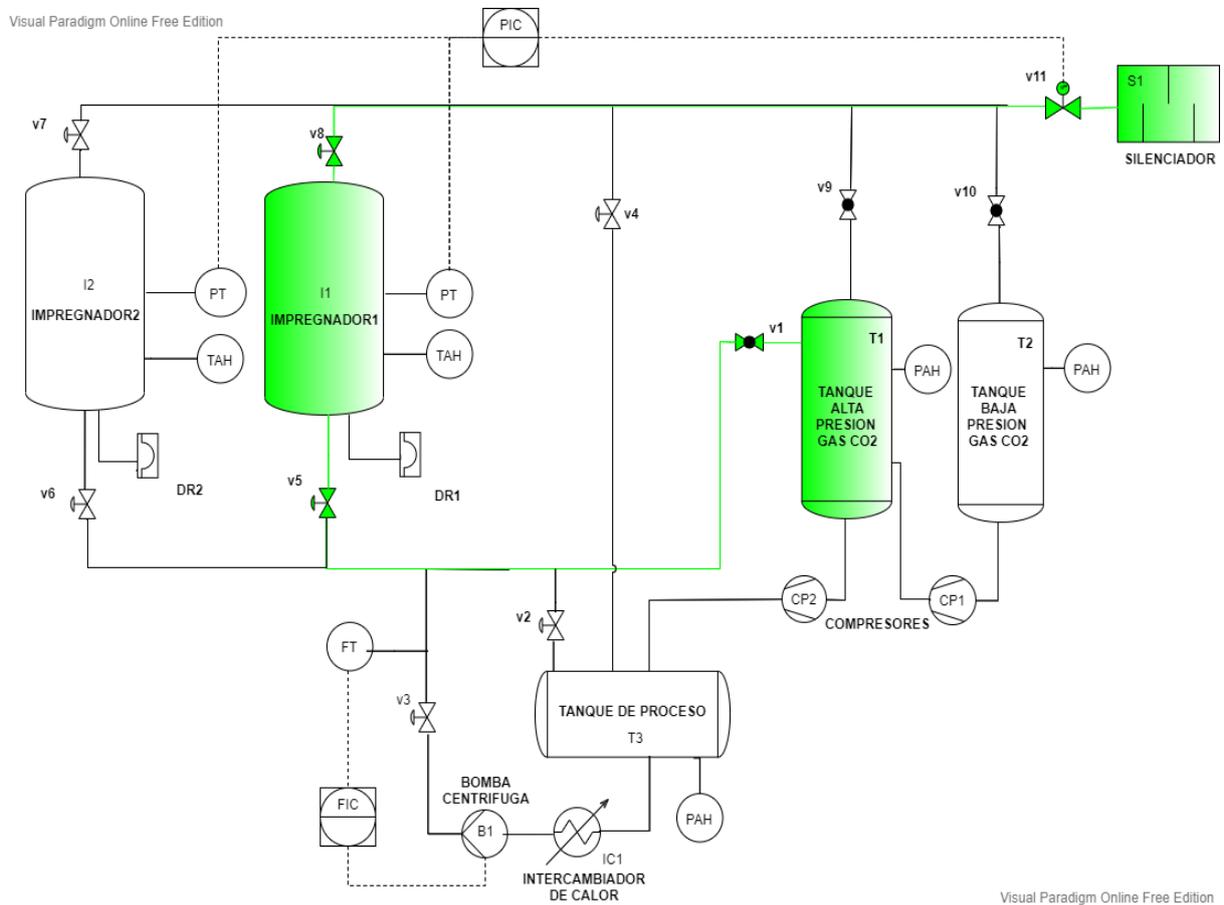


Figura 1: Etapa 1: Purga

1.2 PRIMERA PRESURIZACIÓN

La válvula v11 se cierra y la v1 se abre hasta el 50%. La presión aumenta en el Impregnador (I1) hasta igualar la que existe en el tanque T1.

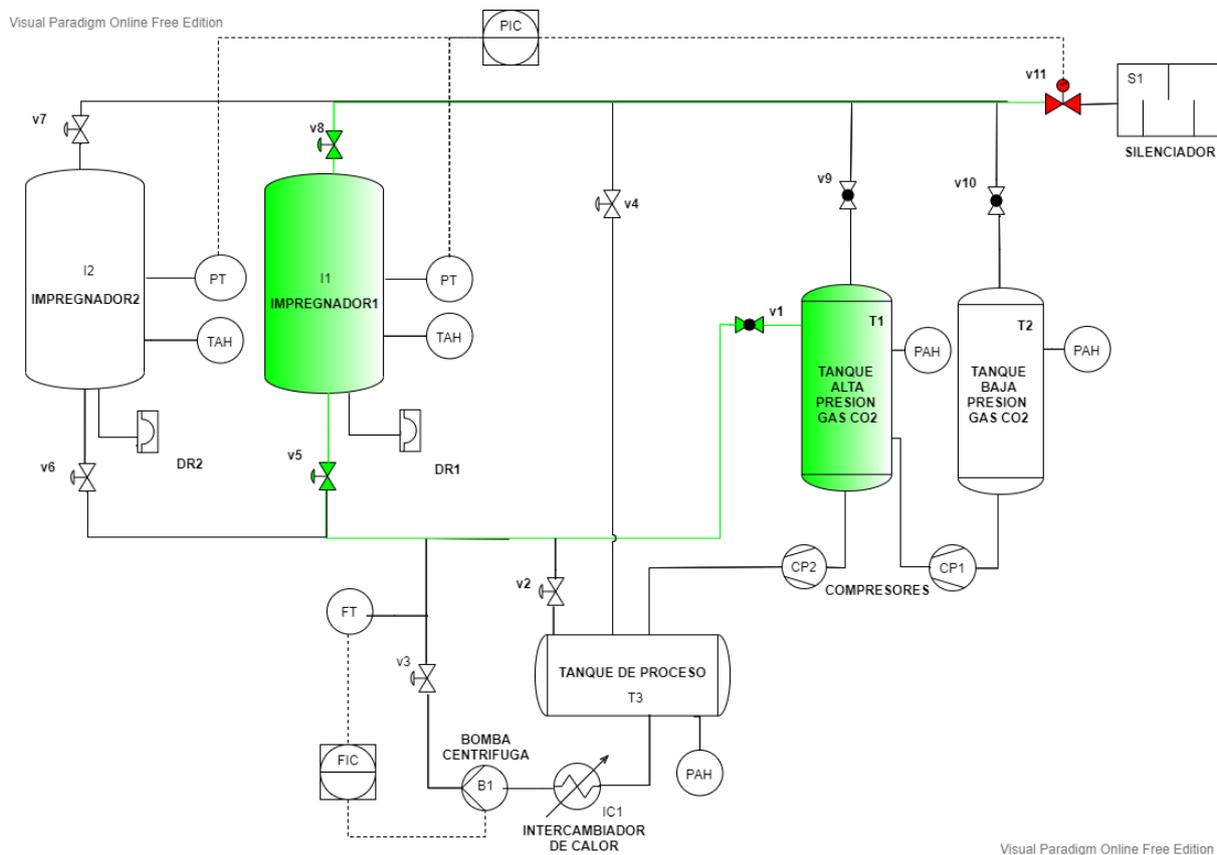


Figura 2: Etapa 2: Primera presurización

1.3 SEGUNDA PRESURIZACIÓN

La válvula v1 se cierra bloqueando el flujo de gas desde el Tanque de Alta Presión (T1) y el Impregnador (I1). Las válvulas v5 y v8 permanecen abiertas. La válvula v4 entre el Tanque de Proceso (T3) y el Impregnador (I1) se abre y la presión aumenta hasta igualar la del Tanque de Proceso (T3).

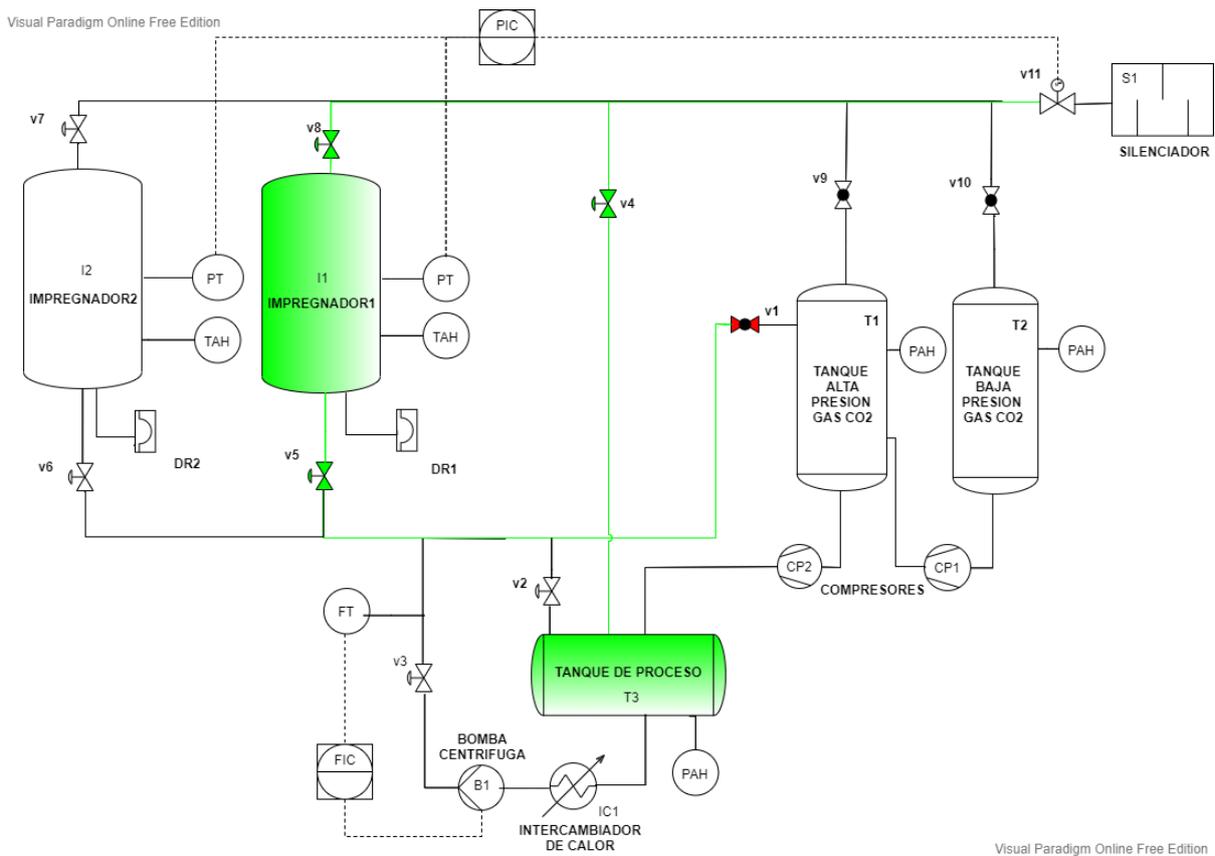


Figura 3: Etapa 3: Segunda presurización

1.4 LLENADO CON CO₂ LÍQUIDO

Las válvulas v4, v5 y v8 permanecen abiertas. La válvula v3 entre el Impregnador (I1) y la Bomba (B1) se abre y el líquido procedente del Intercambiador de Calor (IC1) es impulsado por la Bomba (B1) hasta el Impregnador (I1). La cantidad de CO₂ líquido que debe ser trasvasado se controla por un regulador de caudal. La válvula v11 se abre de manera automática cuando la presión en el interior del Impregnador (I1) es superior a 30 bar.

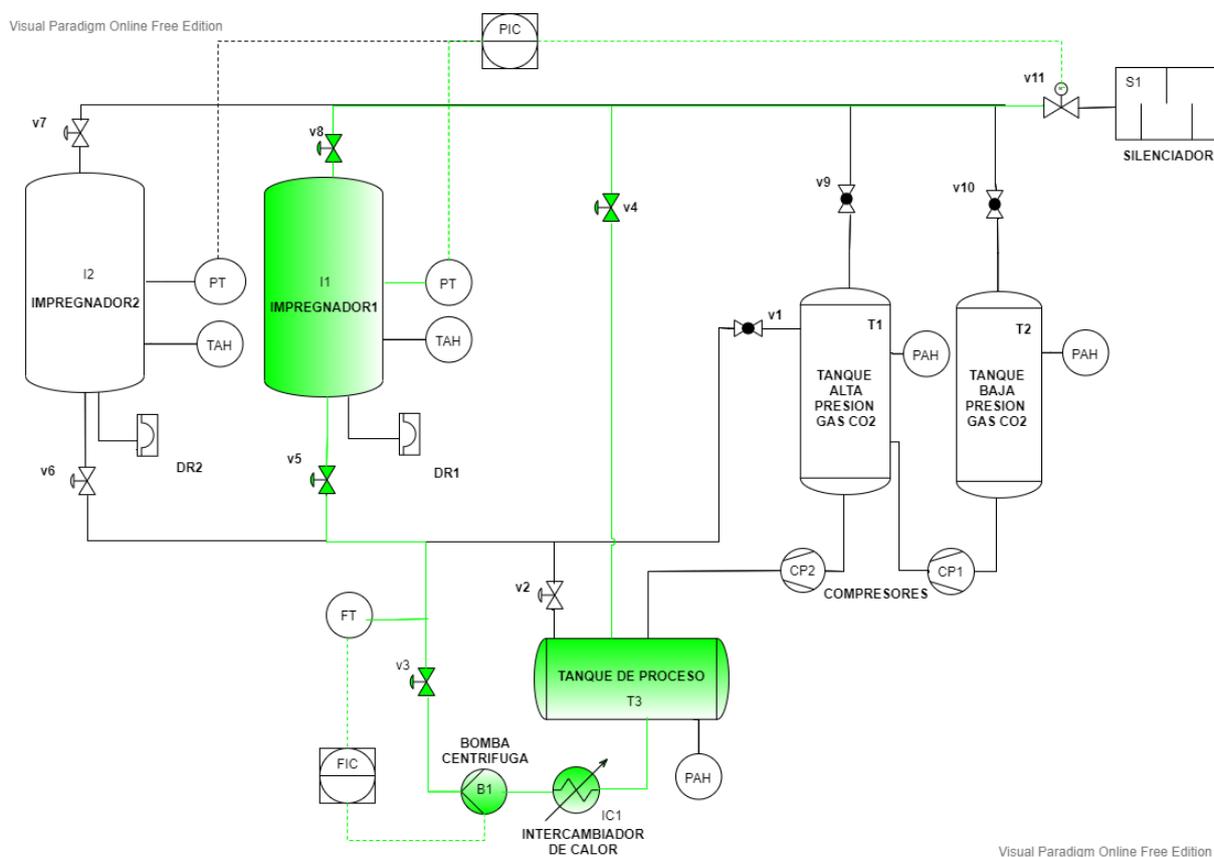


Figura 4: Etapa 4: Llenado con CO₂ líquido

1.5 IMPREGNADO

La válvula v3 entre el Impregnador (I1) y la Bomba (B1) se bloquea. Las válvulas v4, v5 y v8 permanecen abiertas.

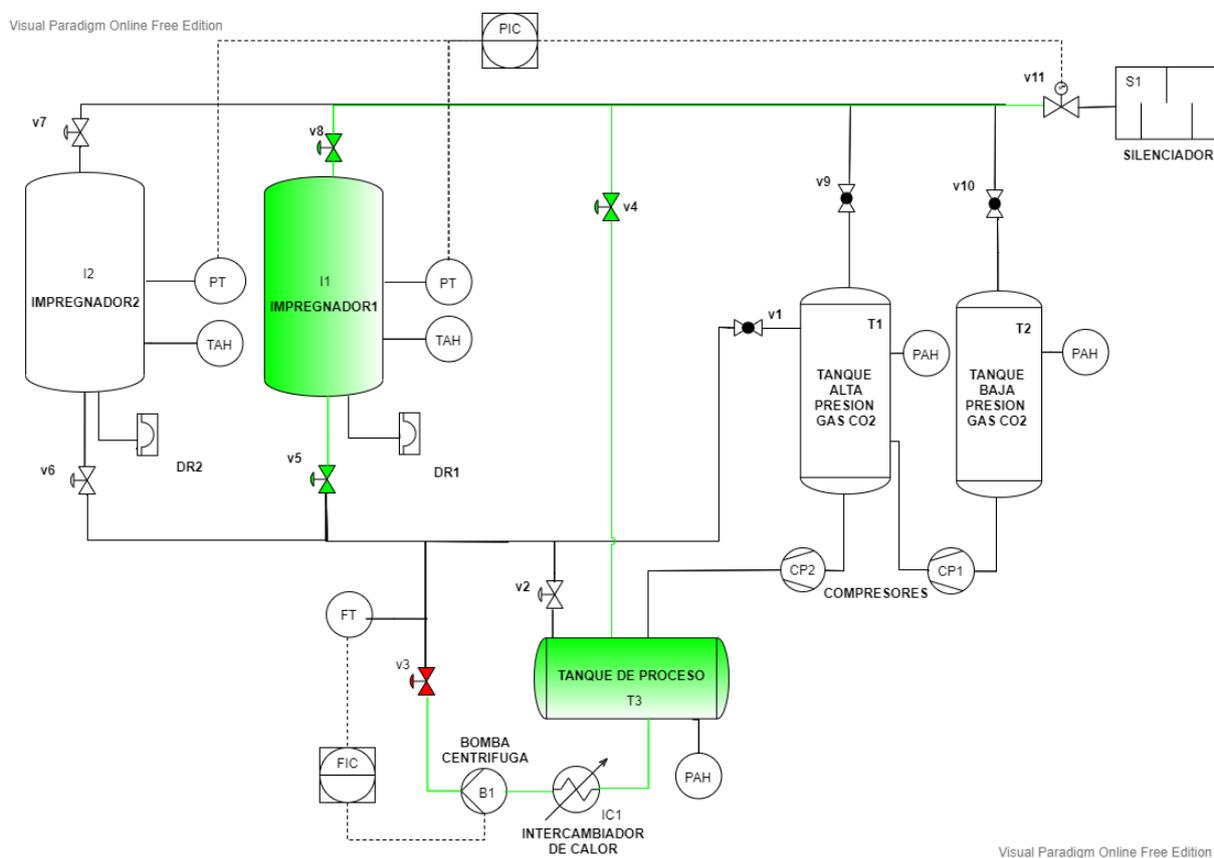


Figura 5: Etapa 5: Impregnado

1.6 DRENAJE

La válvula v2 se abre y el CO₂ líquido cae por gravedad desde el Impregnador (I1) hasta el Tanque de Proceso (T3). Este líquido podrá ser reutilizado en ciclos posteriores. Las válvulas v4, v5 y v8 permanecen abiertas.

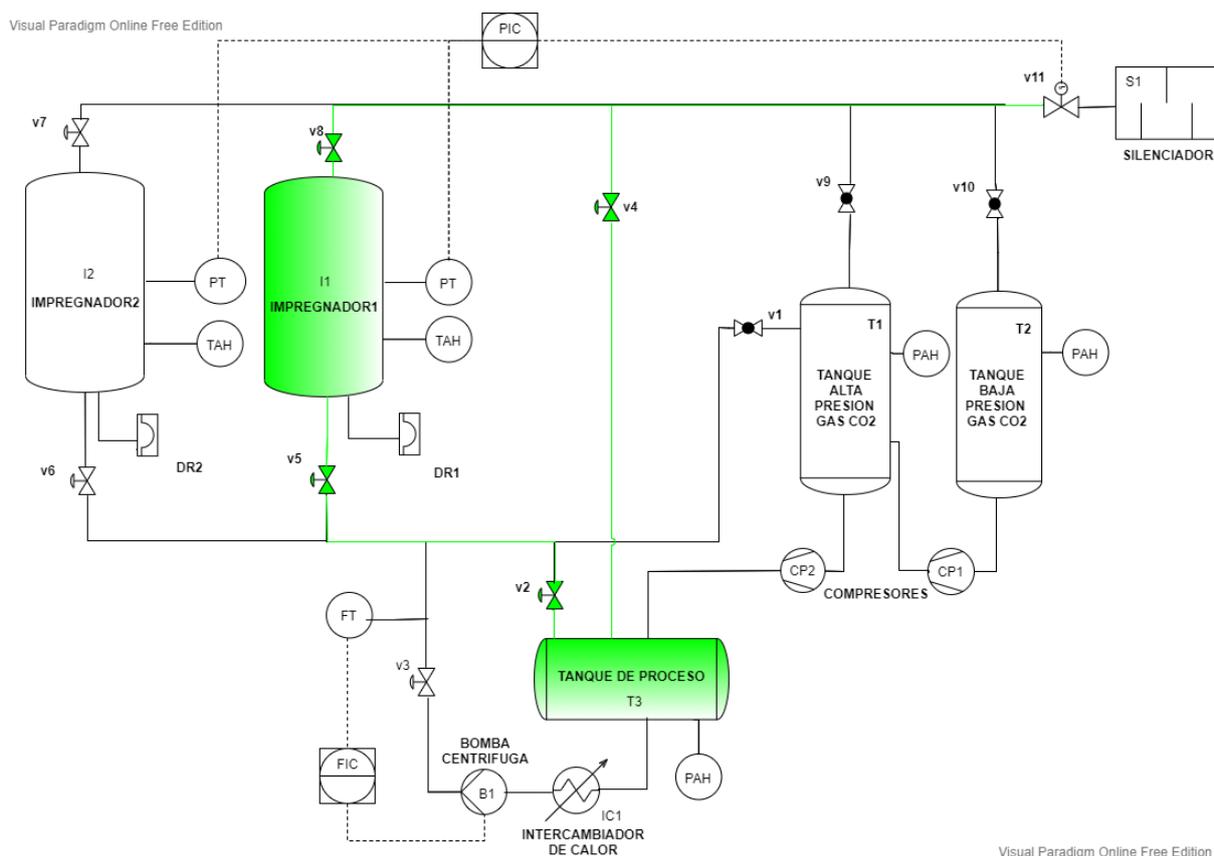


Figura 6: Etapa 6: Drenaje

1.7 PRIMERA DESPRESURIZACIÓN

Se cierra la válvula v2 que y se detiene el drenaje. La válvula v4 que comunica el Tanque de Proceso (T3) con el Impregnador (I1) se cierra. Se abre la válvula v9 que comunica el Tanque de Alta (T1) con el Impregnador (I1). Las válvulas v5 y v8 permanecen abiertas.

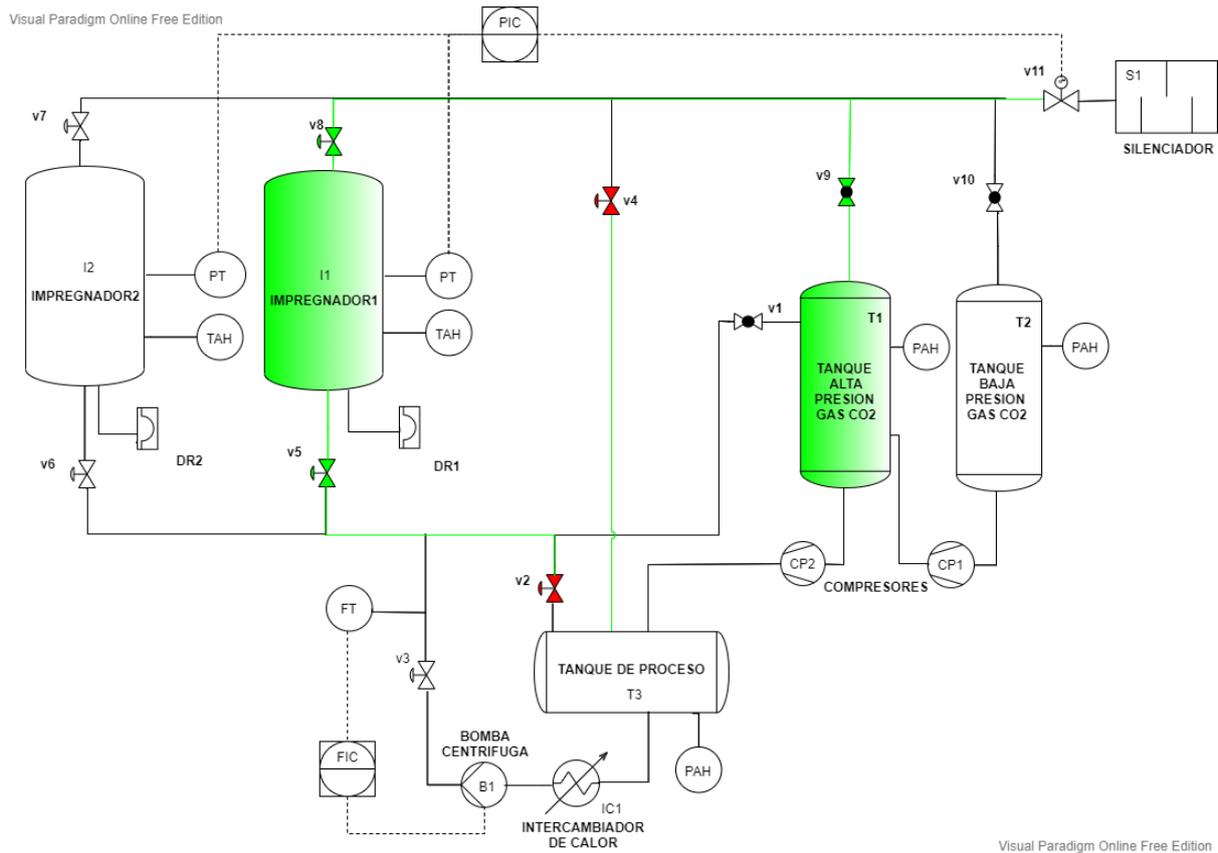


Figura 7: Etapa 7: Primera despresurización

1.8 SEGUNDA DESPRESURIZACIÓN

La válvula v9 que comunica el Tanque de Alta (T1) con el Impregnador (I1) se cierra. Se abre la válvula v10 que comunica el Tanque de Baja (T2) con el Impregnador (I1). Las válvulas v5 y v8 permanecen abiertas.

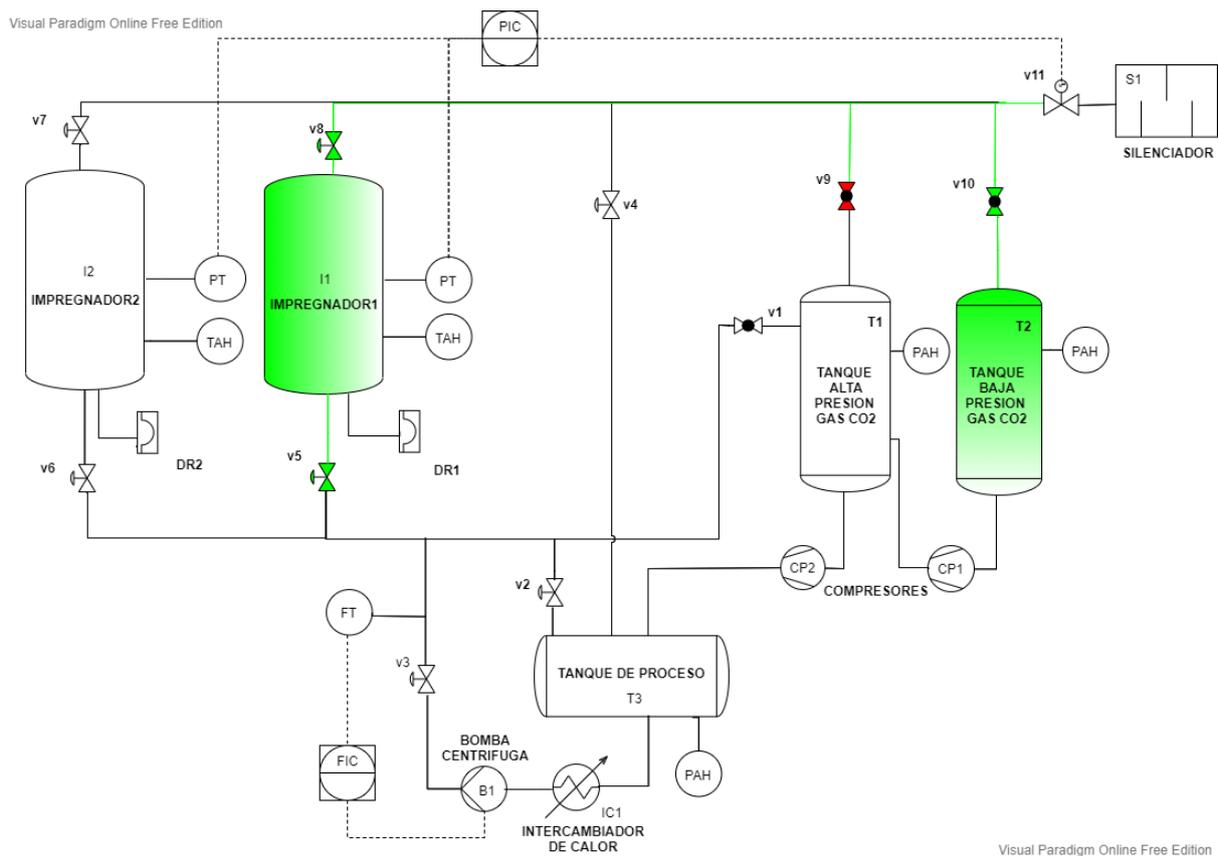


Figura 8: Etapa 8: Segunda despresurización

1.9 VENTEO Y PURGA DEL IMPREGNADOR (I2)

La válvula v10 que comunica el Tanque de Baja (T2) con el Impregnador (I1) se cierra. A continuación, y por este orden, se cierra la válvula v8 y se abre las válvulas v6, v7 y v11 conduciendo el gas por el interior del Impregnador (I2) y comunicándolo con el silenciador (S1).

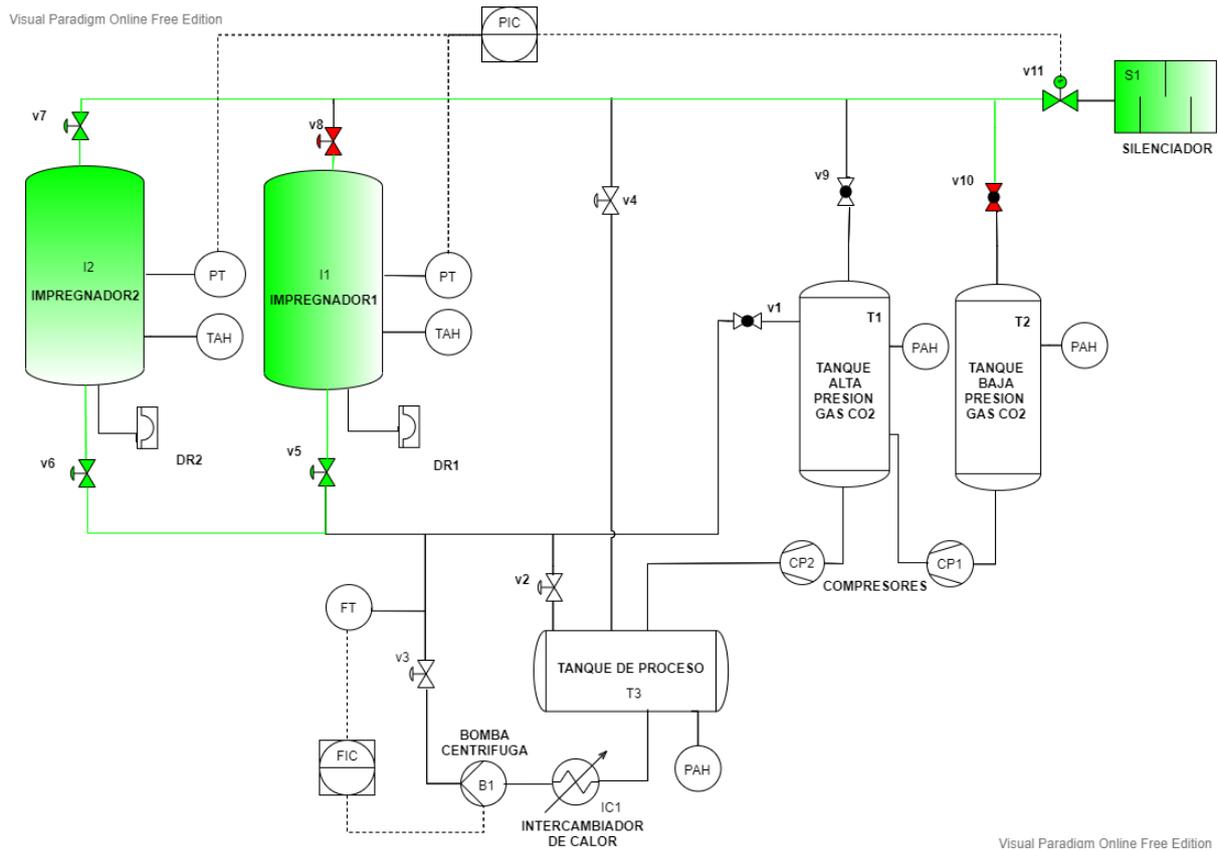
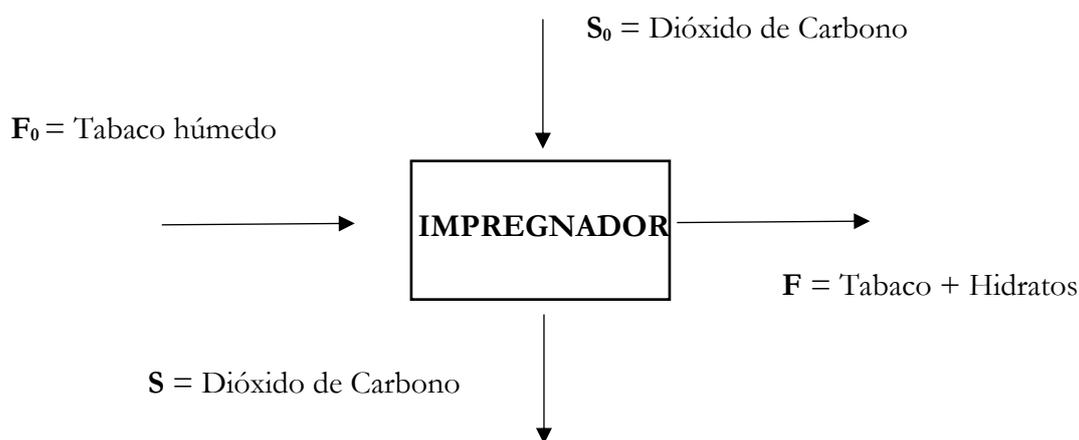


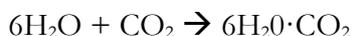
Figura 9: Etapa 9: Venteo y purga del Impregnador I2

ANEXO 2: BALANCE DE MATERIA

A continuación, se llevará a cabo el balance de materia global a la unidad para calcular las cantidades de cada componente que participa en el proceso. El esquema de las corrientes que ingresan al Impregnador es el siguiente:



Para realizar el balance de materia al Impregnador, primero se debe conocer la reacción de formación de CO₂-hidratos:



Como se puede apreciar, para que se formen CO₂-Hidratos solo es necesario el agua presente en el tabaco y dióxido de carbono.

Las condiciones iniciales que se deben dar en el lote de tabaco (**F₀**) que ingresa al Impregnador son las siguientes:

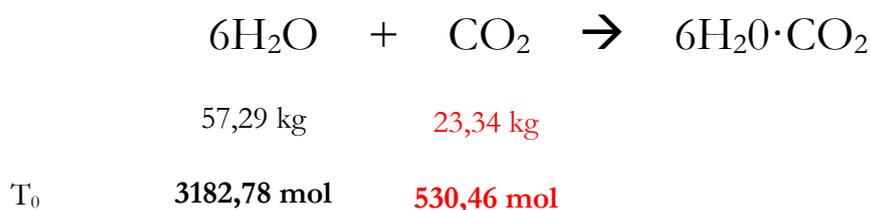
Lote de tabaco **F₀** = 260,42 kg

- Humedad del lote = 22% OV
 - Agua = $0,22 \cdot 260,42 = 57,29$ kg
 - Tabaco = $(1-0,22) \cdot 260,42 =$ kg

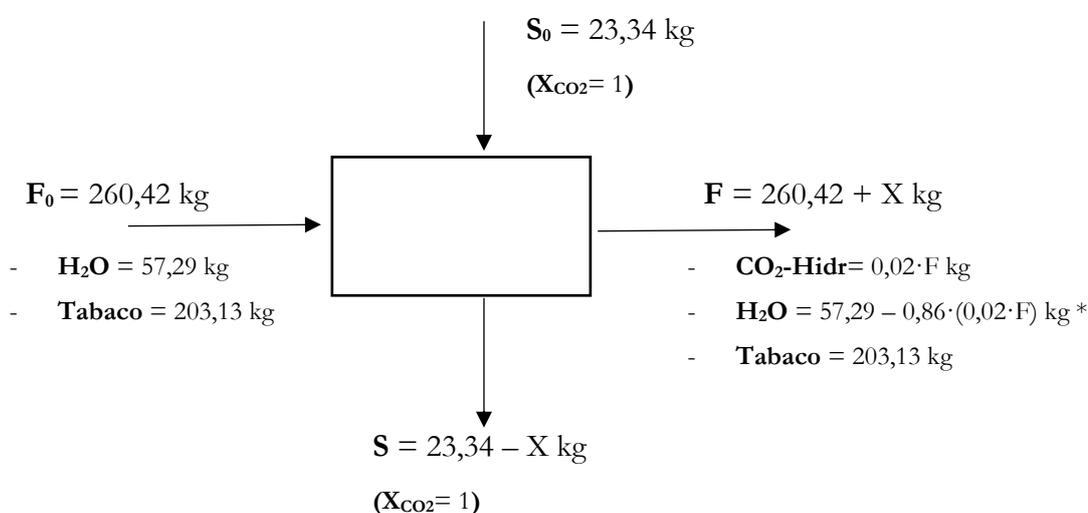
Al finalizar el ciclo de impregnado, el tabaco que sale del Impregnador debe tener un 2% en peso de CO₂-Hidratos:

- CO₂-Hidratos formados = $0,02 \cdot \mathbf{F}$

Con esta información de partida y conociendo la reacción de formación de CO₂-Hidratos, se puede calcular cuánto dióxido de carbono debe reaccionar con el agua por estequiometría:



Ahora ya se conoce qué cantidad de CO₂ se necesita para reaccionar con el agua. Representándolo de nuevo en el esquema:



*Se conoce que en una molécula de CO₂-Hidrato el 86% es agua y el resto (14%) CO₂.

La resolución del balance sería:

$$F = CO_{2Hidr} + H_2O + Tabaco \quad (\text{Ec. 1})$$

$$F = 0,02F + (57,29 - 0,86 \cdot 0,02F) + 203,13$$

$$F = 261,15 \text{ kg}$$

$$CO_{2-Hidr} = 5,22 \text{ kg} \quad H_2O = 52,8 \text{ kg}$$

$$CO_2 \text{ consumido (X)} = F - F_0 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$CO_2 \text{ consumido (X)} = 261,15 - 260,42 = 0,73 \text{ kg}$$

En la siguiente tabla se recogen los resultados de cada corriente:

Corriente	F0	S0	F	S
Kg Corriente	260,42	23,34	261,15	22,6
Frac. Masa (X_{H_2O})	0,22	0	0,2	0
Kg H ₂ O	57,29	0	52,8	0
Frac. Masa (X_{Tabaco})	0,78	0	0,78	0
Kg Tabaco	203,13	0	203,13	0
Frac. Masa (X_{CO_2})	0	1	0	1
Kg CO ₂	0	23,34	0	22,6
Frac. Masa ($X_{hidrato}$)	0	0	0,02	0
Kg Hidrato	0	0	5,22	0

Tabla 1: Resultados balance de materia

ANEXO 3: DISEÑO DE LOS IMPREGNADORES

3.1 CÁLCULO DE LA POROSIDAD DEL LECHO

Para calcular la porosidad del lecho será necesario conocer los datos de densidad real, densidad aparente y la masa total del lote.

Para la densidad aparente del lote se asume que ha sufrido una ligera compactación en la etapa previa al demostrarse que mejora notablemente el rendimiento del proceso de impregnado (Fischer et al., 1997).

- Densidad real = 1620 kg/m³
- Densidad aparente = 240 kg/m³
- Masa lote = 260,42 kg
- Volumen lecho = 260,42/240 = 1,085 m³

Ecuación para el cálculo de la porosidad:

$$\epsilon = 100 - \left(\frac{Tw \cdot Sv}{Rv} \cdot 100 \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

- Tw - Peso del lote
- Sv - Volumen específico (inverso de la densidad real)
- Rv - Volumen lecho

Sustituyendo los datos en la ecuación (3):

$$\epsilon = 100 - \left(\frac{260,42 \cdot 1620^{-1}}{\frac{260,42}{240}} \cdot 100 \right) = 85,19$$

Conociendo la porosidad o el porcentaje de volumen de huecos en el lecho, se puede conocer el volumen de CO₂ que se necesita introducir al reactor.

$$V_{\text{CO}_2} = V_{\text{Tabaco}} \cdot \epsilon \quad (\text{Ec. 4})$$

$$V_{\text{Lecho}} = V_{\text{CO}_2} = 1,085 \cdot 0,8519 = 0,92 \text{ m}^3 = 924,33 \text{ L}$$

3.2 DIMENSIONES DE LOS IMPREGNADORES

Ahora que se conoce qué volumen de CO₂ debe ingresar en el Impregnador, el volumen total del recipiente vendrá dado por la suma del volumen que ocupa el tabaco más el que ocupa el del dióxido de carbono:

$$\text{Volumen Impregnador} = \text{Volumen tabaco} + \text{Volumen CO}_2 \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{Volumen Impregnador} = 1085'08 + 924'33 = \mathbf{2009,41 \text{ L}}$$

Se sobredimensiona este volumen un 20% por motivos de seguridad:

$$\text{Volumen Diseño Impregnador} = \beta \cdot \text{Volumen Impregnador} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\text{Volumen Diseño Impregnador} = 1,2 \cdot 2009,41 = \mathbf{2411,3 \text{ L}}$$

Con el dato del volumen del cilindro se puede determinar su radio y altura. Para ello habrá que relacionar la fórmula para el cálculo del volumen y la relación óptima de radio y altura:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad (\text{Ec. 7}) \quad \left. \vphantom{V = \pi \cdot r^2 \cdot L} \right\} \text{Radio (r) = 0,58 m}$$

$$2 = \frac{L}{2r} \quad (\text{Ec. 8}) \quad \left. \vphantom{2 = \frac{L}{2r}} \right\} \text{Altura (L) = 2,31 m}$$

3.3 ESPESOR DEL CILINDRO

Para calcular el espesor del cilindro según el código ASME subsección A párrafo UG-27 para recipientes a presión, se atiende a las siguientes ecuaciones:

$$t = \frac{Pd \cdot R}{S \cdot E - 0,6Pd} \quad \text{para tensiones circunferenciales} \quad (\text{Ec.9})$$

$$t = \frac{Pd \cdot R}{2S \cdot E + 0,4Pd} \quad \text{para tensiones longitudinales} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

- t- espesor
- S- tensión máxima permitida del material
- R- radio interno
- P_d- presión de diseño
- E- Eficiencia de la junta

S- tensión máxima permitida del material

El valor de la tensión máxima permitida del material seleccionado (Acero SA-240, 304) viene dado en tablas del código ASME subsección C, apartado UCS para aceros al carbono y de baja aleación.

Tensión máxima permitida del Acero SA-240, 304 a 20°C (**S**) = 16389,3 Psi = **113 Mpa**

P_d- presión de diseño

Para calcular la presión de diseño, se parte de la máxima presión a la que opera el equipo. Se calcula a partir de la expresión:

$P_d = \text{Max} [P_{op} \cdot 1,1; P_{op} + 2]$ siendo P_{op} la presión de operación; **$P_{op} = 29,5 \text{ bar}$**

$P_d = \text{Max} [32,45; 31,5]$; **$P_d = 32,45 \text{ bar}$**

E- Eficiencia de la junta

Para determinar la eficiencia de la junta, se recurre a la subsección B, apartado UW para recipientes soldados. Se seleccionan las variables que más se adecuen al diseño

- Soldadura categoría B- Soldadura circunferencial, mayor seguridad.
- Tipo 1- soldadura por ambos lados excluyendo juntas adicionales.
- Radiografiado- por zonas

Relacionando estas variables en la tabla UW-12 del Código ASME (Ver **Figura 10**) se obtiene la eficiencia de junta:

$$E = 0,85$$

Table UW-12 Maximum Allowable Joint Efficiencies for Arc and Gas Welded Joints						
Type No.	Joint Description	Limitations	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
				(a) Full [Note (1)]	(b) Spot [Note (2)]	(c) None
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means that will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips that remain in place are excluded.	None	A, B, C, and D	1.00	0.85	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	(a) None except as in (b) below (b) Circumferential butt joints with one plate offset; see UW-13(b)(4) and Figure UW-13.1, sketch (i)	A, B, C, and D A, B, and C	0.90 0.90	0.80 0.80	0.65 0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip	Circumferential butt joints only, not over $\frac{5}{16}$ in. (16 mm) thick and not over 24 in. (600 mm) outside diameter	A, B, and C	NA	NA	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	(a) Longitudinal joints not over $\frac{7}{16}$ in. (10 mm) thick (b) Circumferential joints not over $\frac{5}{16}$ in. (16 mm) thick	A B and C [Note (3)]	NA NA	NA NA	0.55 0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	(a) Circumferential joints [Note (4)] for attachment of heads not over 24 in. (600 mm) outside diameter to shells not over $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) thick (b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over $\frac{5}{16}$ in. (16 mm) in nominal thickness where the distance from the center of the plug weld to the edge of the plate is not less than $1\frac{1}{2}$ times the diameter of the hole for the plug.	B C	NA NA	NA NA	0.50 0.50
(6)	Single full fillet lap joints without plug welds	(a) For the attachment of heads convex to pressure to shells not over $\frac{5}{16}$ in. (16 mm) required thickness, only with use of fillet weld on inside of shell; or (b) for attachment of heads having pressure on either side, to shells not over 24 in. (600 mm) inside diameter and not over $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) required thickness with fillet weld on outside of head flange only	A and B A and B	NA NA	NA NA	0.45 0.45
(7)	Corner joints, full penetration, partial penetration, and/or fillet welded	As limited by Figure UW-13.2 and Figure UW-16.1	C and D [Note (5)]	NA NA	NA NA	NA NA
(8)	Angle joints	Design per U-2(a) for Category B and C joints	B, C, and D	NA	NA	NA

Figura 10: Tabla UW-12 Código ASME

Para el cálculo del espesor se hace uso de las dos ecuaciones antes formuladas (**Ec. 9 y 10**). Aquella que proporcione el valor más elevado, será el que habrá que seleccionar como válido para el espesor del cilindro.

$$\text{Ec. 9:} \quad t = 19,89 \text{ mm}$$

$$\text{Ec. 10:} \quad t = 10,39 \text{ mm}$$

3.4 TIPO Y DIMENSIONES DE CABEZAL

La forma del cabezal seleccionado es toriesférico, de tipo Korbboegen. Para calcular sus dimensiones se debe conocer antes su espesor, que vendrá dado por la siguiente expresión:

$$e = \frac{0,885Pd \cdot R}{S \cdot E - 0,1Pd} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

- e- espesor
- Pd- presión de diseño
- R- radio esférico interior
- S- tensión máxima permisible del material
- E- eficiencia de la junta soldada

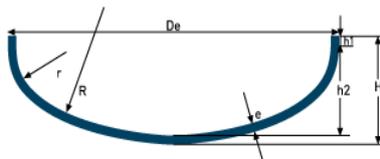


Figura 11: *Cabezal torioesférico Korbboogen*

R- radio esférico interior

Este parámetro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R = 0,8 \cdot De \quad (\text{Ec. 12})$$

donde De es el diámetro interno más el espesor calculado anteriormente (Ec. 9).

$$De = Di + e \quad (\text{Ec. 13})$$

$$De = 1150 + 19,89 = 1169,89 \text{ mm}$$

$$R = 0,8 \cdot 1169,89 = 945,55 \text{ mm}$$

Sustituyendo en la expresión del espesor (Ec. 11),

$$e = 28,37 \text{ mm}$$

Debido a que el espesor calculado del cabezal es mayor al del cilindro, se selecciona este último como el espesor mínimo que tendrá el Impregnador en ambas secciones.

$$t = e = 28,37 \text{ mm}$$

A continuación, se calculan las dimensiones del cabezal:

Dimensiones:

$$R = 945,55 \text{ mm}$$

$$r = 0,154 \cdot De; r = 180,71 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 14})$$

$$h1 \geq 3e; h1 = 85,1 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$h2 = 0,225 \cdot R - 0,635e; h2 = 194,74 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$H = h1 + h2 + e; H = 308,2 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 17})$$

$$V = 0,1298 \cdot (Dint)^3; V = 199,26 \text{ L} \quad (\text{Ec. 18})$$

Teniendo en cuenta que existen dos cabezales, uno superior y otro inferior, el volumen total del reactor vendrá dado por la expresión:

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{\text{CILINDRO}} + 2 \cdot V_{\text{CABEZAL}} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$V_{\text{TOTAL}} = 2411,3 + 2 \cdot 199,26 = 2809,81 \text{ L}$$

3.5 DISEÑO DE LAS ABERTURAS DEL IMPREGNADOR

3.5.1 BOQUILLAS DEL CILINDRO

El cilindro contará con 3 boquillas de tipo “Set-on” sin refuerzo y formando un ángulo de 90° con el eje longitudinal del recipiente. La primera de ellas, N1, permitirá la incorporación de elemento de control en el reactor. Las dos restantes, N2 y N3, ambas idénticas, acoplan la tubería que iguala la presión en la parte alta y baja del Impregnador.

Boquilla N1

Para su diseño debe conocerse:

- Presión de diseño, Pd
- Diámetro interno, d.
- El material y por tanto su tensión máxima permisible, S.
- La eficiencia de la junta, E.

La presión de diseño que tendrá que soportar la boquilla coincide con la del Impregnador:

$$Pd = 32,45 \text{ bar}$$

Se ha supuesto un diámetro de 4 cm como situación menos favorable para introducir el elemento de control:

$$d = 40 \text{ mm}$$

El material seleccionado es el acero SA350 específico para boquillas que operen en un rango de temperaturas de entre -40° y 60°C. La tensión máxima permisible de este material:

$$S = 240 \text{ MPa}$$

La eficiencia de la junta depende del tipo de soldadura, categoría y su radiografiado:

- Soldadura categoría B- Soldadura circunferencial, mayor seguridad.
- Tipo 1- soldadura por ambos lados excluyendo juntas adicionales.
- Radiografiado- por zonas.

Relacionando estas variables en la tabla UW-12 del Código ASME (**Figura 10**) se obtiene una eficiencia de junta:

$$E = 0,85$$

Con estos datos se procede a calcular el espesor de la boquilla. Para calcularlo, se aplica la ecuación:

$$t = d \cdot \frac{e^{\left(\frac{Pd}{S \cdot E} - 1\right)}}{2} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$t = 40 \cdot \frac{e^{\left(\frac{3,245}{240 \cdot 0,85} - 1\right)}}{2} = 14,95 \text{ mm}$$

Para calcular la proyección que tendrá la boquilla sobre el cuerpo del recipiente:

$$H = 2,5 \cdot t \quad (\text{Ec. 21})$$

$$H = 2,5 \cdot 14,95 = 37,38 \text{ mm}$$

Boquillas N2-N3

Los datos para calcular sus dimensiones son:

- Pd- 32,45 bar
- d- 60 mm
- S- 240 MPa
- E- 0,85

Se aplican las ecuaciones (Ec. 20) y (Ec. 21) sustituyendo los datos y se obtiene el espesor y proyección de las boquillas:

$$t = 60 \cdot \frac{e^{\left(\frac{3,245}{240 \cdot 0,85} - 1\right)}}{2} = 22,43 \text{ mm}$$

$$H = 2,5 \cdot 22,43 = 56,07 \text{ mm}$$

Estas boquillas llevarán además incorporada una brida para poder acoplarse a la tubería. Con las dimensiones que se han obtenido, se puede seleccionar el tipo de brida estandarizada.

Se ha optado por una brida con cuello para soldar (WN-Weld Neck) ANSI/ASME B16,5 Clase 300 con diámetro nominal 65. Un boceto con las dimensiones se encuentra a continuación.

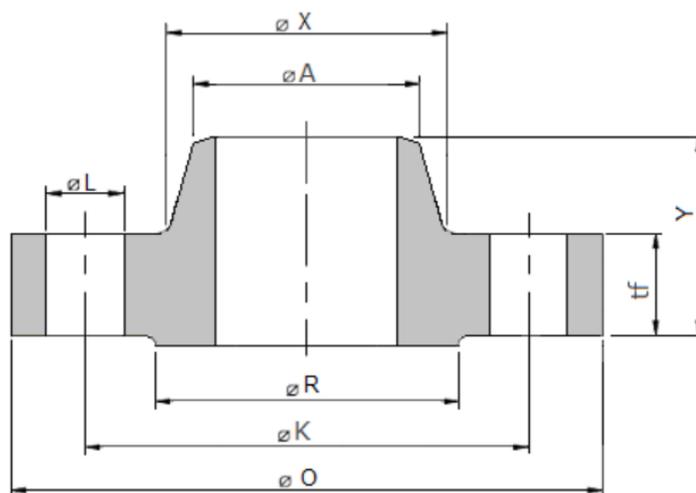


Figura 12a: Boceto brida WN (Brida DIN - DN Brida, n.d.)

Dimensiones en pulgadas y (milímetros)

Tamaño Nominal Tubería	Ø exterior O	Mínimo espesor tf	Ø Hub X	Ø Superior Hub A	Longitud Hub Y	Ø Raised Face R	Taladros			Ø Tornillo
							Ø K centro tal.	Nº tal	Ø tal. L	
1/2 (15)	3.75 (95)	0.5 (12.7)	1.5 (38)	0.84 (21.3)	2 (51)	1.38 (34.9)	2.62 (66.7)	4	5/8 (15.875)	1/2 (12.7)
3/4 (20)	4.62 (115)	0.56 (14.3)	1.88 (48)	1.05 (26.7)	2.19 (56)	1.69 (42.9)	3.25 (82.6)	4	3/4 (19.05)	5/8 (15.875)
1 (25)	4.88 (125)	0.62 (15.9)	2.12 (54)	1.32 (33.4)	2.38 (60)	2 (50.8)	3.5 (88.9)	4	3/4 (19.05)	5/8 (15.875)
1 1/4 (32)	5.25 (135)	0.69 (17.5)	2.5 (64)	1.66 (42.2)	2.5 (64)	2.5 (63.5)	3.88 (98.4)	4	3/4 (19.05)	5/8 (15.875)
1 1/2 (40)	6.12 (155)	0.75 (19.1)	2.75 (70)	1.9 (48.3)	2.63 (67)	2.88 (73)	4.5 (114.3)	4	7/8 (22.225)	3/4 (19.05)
2 (50)	6.5 (165)	0.81 (20.7)	3.31 (84)	2.38 (60.3)	2.69 (68)	3.62 (92.1)	5 (127)	8	3/4 (19.05)	5/8 (15.875)
2 1/2 (65)	7.5 (190)	0.94 (23.9)	3.94 (100)	2.88 (73)	2.94 (75)	4.12 (104.8)	5.88 (149.2)	8	7/8 (22.225)	3/4 (19.05)
3 (80)	8.25 (210)	1.06 (27)	4.62 (117)	3.5 (88.9)	3.06 (78)	5 (127)	6.62 (168.3)	8	7/8 (22.225)	3/4 (19.05)
3 1/2 (90)	9 (230)	1.12 (28.6)	5.25 (133)	4 (101.6)	3.13 (79)	5.5 (139.7)	7.25 (184.2)	8	7/8 (22.225)	3/4 (19.05)

Figura 12b: Dimensiones Brida WN

3.5.2 BOQUILLAS DE CABEZALES

Se trata de dos boquillas (N4 y N5) situada una en cada cabezal conectando la tubería que transporta el CO₂ al Impregnador. Ambas poseen estas características:

- Boquillas de tipo “Set-on”.
- Boquilla radial (formando un ángulo de 90° con el diámetro del recipiente)
- Boquilla sin refuerzo.

Estas boquillas tendrán un diámetro de 9 cm al ser este el máximo valor permitido por el código ASME para no tenga que incorporarse un refuerzo. Los datos para calcular sus dimensiones son los siguientes:

- Pd- 32,45 bar
- d- 90 mm
- S- 240 MPa
- E- 0,85

Sustituyendo en las ecuaciones (Ec. 20) y (Ec. 21) se obtiene el espesor y proyección de la boquilla:

$$t = 90 \cdot \frac{e^{\left(\frac{3,245}{240 \cdot 0,85} - 1\right)}}{2} = 33,64 \text{ mm}$$

$$H = 2,5 \cdot 33,64 = 84,1 \text{ mm}$$

Para acoplar las tuberías que transportan el CO₂, a las boquillas se le incorpora una brida con cuello para soldar (WN-Weld Neck) ANSI/ASME B16,5 Clase 300 con diámetro nominal 90. El boceto de la brida y sus dimensiones se observan en las **Figuras 12a y 12b**.

ANEXO4: DIMENSIONAMIENTO EQUIPOS AUXILIARES

4.1 DISEÑO INTERCAMBIADOR DE CALOR- IC1

El diseño del intercambiador de calor IC1 se ha llevado a cabo en el simulador Aspen Plus. Antes de proceder con la simulación se tuvo que definir bien las condiciones de entrada y salida de cada corriente al intercambiador. Entre ellas:

- El dióxido de carbono debe ingresar al Impregnador en estado líquido a la presión de operación (29,5 bar).
- La temperatura del dióxido de carbono debe estar por encima de la temperatura de congelación del agua presente en el tabaco (-8,7°C en esas condiciones).

El refrigerante para alcanzar las condiciones mencionadas será el 1,1,1,2-Tetrafluoroetano también conocido como R134a.

La simulación se realizó en dos etapas diferenciadas. La primera, un primer balance energético con dos intercambiadores simples para averiguar qué cantidad de calor había que extraer a la corriente de CO₂ y cuánto refrigerante se debía usar. La segunda etapa, conociendo el calor y cantidad de disolvente, se realizó un diseño del intercambiador optimizando al máximo todas las variables.

1ª Etapa

En primer lugar, se define las condiciones de la corriente de CO₂ que se debe enfriar:

	CO ₂
T ^a Entrada (°C)	25
T ^a Salida (°C)	-6,5
Caudal másico (kg/h)	17875,2

Tabla 2: Corriente CO₂

Introduciendo esos datos en el primer intercambiador (Heater 1) se obtiene el calor que se debe extraer a esta corriente para alcanzar su temperatura final:

$$Q = -1363,83 \text{ kW}$$

Si se incorpora ahora un nuevo intercambiador (Heater 2) en el cual el refrigerante aumenta su temperatura gracias al calor intercambiado en el primer intercambiador, se obtendrá la temperatura a la que saldría el refrigerante en ese intercambio. Para relacionar los calores de ambos intercambiadores, se conecta el Heater 1 mediante una corriente de energía al Heater 2. De este modo, se elimina una variable de diseño. Ver **Figura 13**.

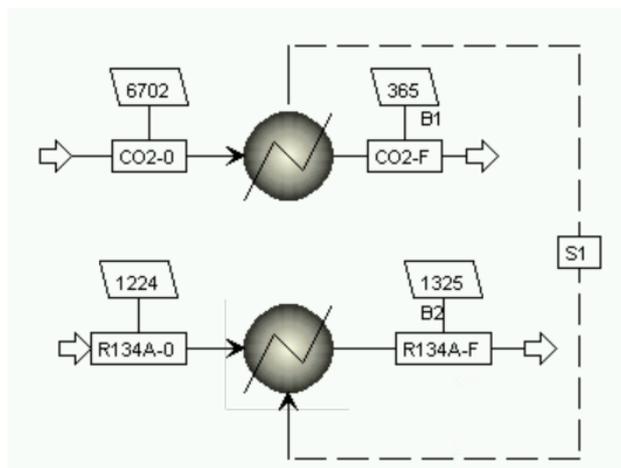


Figura 13: Diagrama flujo Heater 1 y Heater 2

Por último, se debe conocer qué cantidad de refrigerante ha de usarse. Al incorporar el segundo intercambiador, se ha tenido que suponer un caudal másico para cerrar el balance. Para conocer el caudal necesario para lograr el intercambio a una temperatura específica de refrigerante, se realizó una Especificación de Diseño. En ella, se exigió al simulador variar el caudal masico del refrigerante hasta alcanzar su temperatura deseada de salida. Tras este análisis se concluyó lo siguiente:

	Variable	Initial value	Final value	Units
▶	MANIPULATED	110597	110597	KG/HR
▶	TREFR	-26,3778	-30,0084	C

Figura 14: Resultados simulación 1

Los resultados de las corrientes tras esta primera etapa de simulación se detallan en la siguiente tabla:

	CO ₂	R134a
T ^a Entrada (°C)	25	-70
T ^a Salida (°C)	-6,5	-30
Caudal másico (kg/h)	17875,2	110597
Calor (kW)	1363,83	

Tabla 3: Resultados primera simulación

2ª Etapa

En esta segunda etapa se realizó otra simulación, ahora con los datos obtenidos previamente en la 1ª etapa. En este caso, se incorpora un solo intercambiador de carcasa y tubos. En él entrarán en contacto ambas corrientes y se producirá el intercambio energético. El diagrama de flujo en el simulador se muestra a continuación:

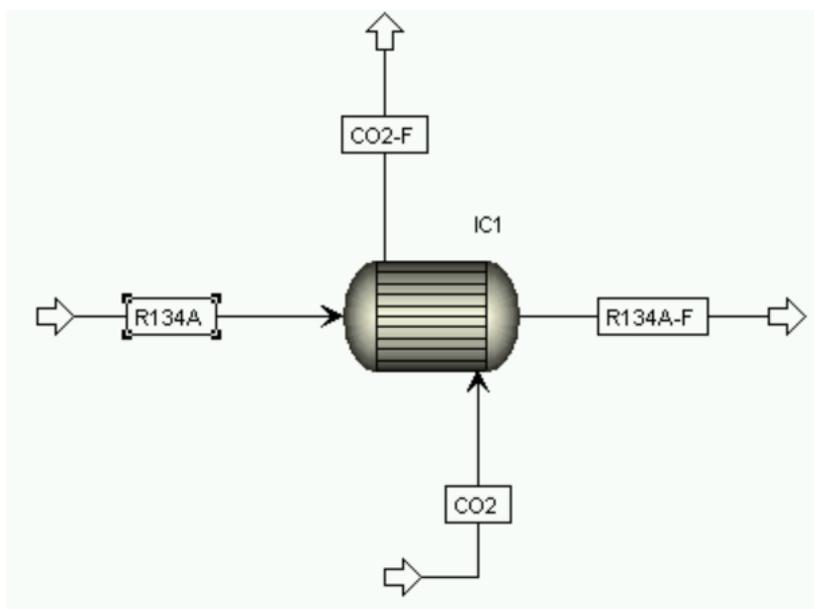


Figura 15: Diagrama flujo intercambiador carcasa

La corriente de CO₂ gas que se debe condensar y alcanzar la temperatura deseada circula por el interior de los tubos al ser el fluido de mayor presión. El refrigerante, circulará por el interior de la carcasa.

Se realizó una primera simulación con un método corto o abreviado (shortcut) con la que se obtuvieron resultados con una mejora en los rendimientos de las corrientes. Esta mejora se traduce en un menor rango de temperatura del refrigerante para lograr la temperatura objetivo del CO₂:

	Inlet		Outlet	
Hot stream:	CO2		CO2-F	
Temperature	25	C	-6,52377	C
Pressure	29,5	bar	29,1965	bar
Vapor fraction	1		0,569306	
1st liquid / Total liquid	1		1	
Cold stream	R134A		R134A-F	
Temperature	-60	C	-41,6606	C
Pressure	1	bar	0,846569	bar
Vapor fraction	0		0	
1st liquid / Total liquid	1		1	
Heat duty	663,537	kW		

Figura 16: Resultados simulación 2

Se observa que el refrigerante entra ahora a -60°C y sale a -41°C con una ligera caída de presión. El calor intercambiado, además, pasa a ser 663,53 kW.

Este método abreviado sin embargo no proporciona qué configuración tendría el intercambiador. Para ello, habría que cambiar a método riguroso y correr de nuevo la simulación.

Hecho esto, el simulador sugiere un diseño de intercambiador con el que se cumplirían los requerimientos. No obstante, se pueden realizar mejoras para disminuir el calor necesario y el área de intercambio. Entre estas mejoras se encuentra el factor de resistencia a la suciedad (fouling factor). Según bibliografía, para este tipo de fluidos se ha especificado un factor de 0,003.

Los resultados definitivos tras esta mejora se muestran a continuación:

	CO ₂	R134a
T ^a Entrada (°C)	25	-60
T ^a Salida (°C)	-6,32	-41,66
Caudal másico (kg/h)	17875,2	110597
Calor (kW)	588,08	

Tabla 4: Resultados segunda simulación

Las características del intercambiador se detallan en la siguiente tabla:

Calor intercambiado (kW)	588,08
Área requerida (m ²)	22,44
Área real (m ²)	22,42
Exceso área (%)	-0,008
Coefficiente transferencia U (J/s-m ² -K)	539,55
UA (J/s-K)	12107,4
LMTD (°C)	48,57
Factor de corrección LMTD	0,79

Tabla 5: Características intercambiador

Su diseño mecánico sería el siguiente:

Tipo intercambiador (TEMA)	B-E-M
Material	Acero al carbono
Localización fluido caliente	Tubos
Diámetro externo carcasa (cm)	32,89
Espesor carcasa (cm)	1,68
Longitud tubos (m)	3,9
Número de tubos	98
Diámetro externo tubos (cm)	1,9
Orientación tubos	Triangular (30°)
Pitch (cm)	2,38
Tipo de bafles	Segmentado simple
N.º de bafles	12
Coste total estimado (€)	12732

Tabla 6: Diseño mecánico intercambiador

Se trata de un intercambiador de tipo BEM denominado así por TEMA-Tubular Exchanger Manufacturers Association (Asociación de Fabricantes de Intercambiadores Tubulares en español). Las siglas BEM hacen referencia a la configuración del intercambiador:

- B: Cabezal de extremo frontal tipo casquete.
- E: Coraza de un solo paso
- M: Cabezal de extremo posterior de espejo fijo.

Por último, el simulador ofrece unos bocetos del intercambiador a partir de las dimensiones obtenidas en la simulación. En el primer boceto, se aprecia un plano de perfil de todo el intercambiador (**Figura 17**). En el segundo, la configuración de los tubos por donde circula el fluido CO₂ (**Figura 18**).

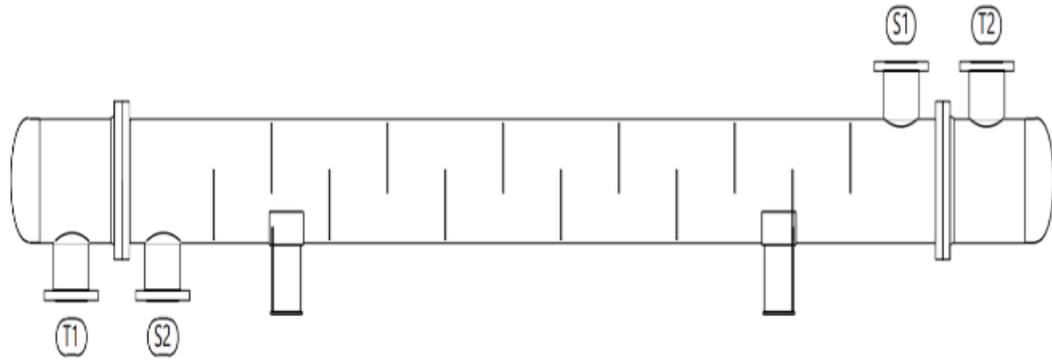


Figura 17: *Carcasa, vista de perfil*

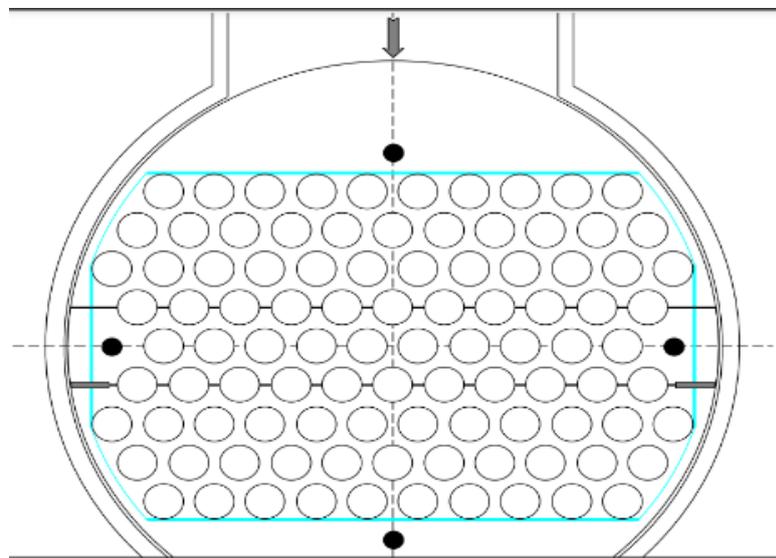


Figura 18: *Sección intercambiador*

4.2 ELECCIÓN DE LA BOMBA- B1

Para el diseño de la bomba B1 se ha aplicado en primer lugar la ecuación de Bernoulli para determinar la altura a la que la bomba debe elevar el líquido:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 + hb = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + hf + hl \quad (\text{Ec. 22})$$

Siendo:

- v_1 & v_2 -la velocidad del fluido en el punto 1 & 2.
- P_1 & P_2 -la presión del fluido en el punto 1 & 2.
- z_1 & z_2 -la altura del fluido en el punto 1 & 2.
- g - aceleración de la gravedad.
- ρ - densidad del fluido.
- hf -pérdida de carga por fricción.
- hl - perdida de carga por accesorios.
- hb - altura de la bomba.

Siendo el punto 1 el intercambiador de calor y el punto 2 el Impregnador más lejano.

La diferencia de alturas (z_2-z_1) se calcula teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los Impregnadores están situados a cierta altura con respecto al suelo para poder llevar a cabo la descarga de tabaco una vez finalice el impregnado, así como labores de limpieza y mantenimiento. Se propone colocar los Impregnadores a una altura de 2 metros con respecto al nivel del suelo.
- Hay que añadir la altura que ocupa el CO_2 líquido una vez se llene el reactor. Dicha altura se puede calcular conocidas las dimensiones del Impregnador y la cantidad de CO_2 líquido a trasvasar.

La presión en ambos extremos es la misma (29,5 bar). Se supondrá además una velocidad de succión similar a la de descarga.

Tras estas aclaraciones, la ecuación de Bernoulli queda de esta forma:

$$hb = \Delta z + hf + hl \quad (\text{Ec. 23})$$

Como se puede comprobar, la altura a proporcionar por la bomba dependerá de la diferencia de alturas entre los depósitos y las pérdidas de carga por fricción y accesorios.

La altura a la que se encuentra el CO₂ en el Impregnador se puede calcular a partir de su volumen y el radio del Impregnador:

$$\text{Volumen de CO}_2 = 924,33 \text{ L}$$

$$\text{Radio Impregnador} = 0,58 \text{ m}$$

$$\text{Altura del líquido} = 0,87 \text{ m}$$

$$\text{Diferencias de altura total } (\Delta z) = 2 + 0,87 = 2,87 \text{ m}$$

Los datos necesarios para el cálculo de las pérdidas de carga se muestran en la siguiente tabla:

Viscosidad	0,000105	Pa·s
Densidad	962,87	kg/m ³
Q	18490	m ³ /h
*Longitud tubería	10,7	m
**Diámetro tubería	0,09	m
Sección	0,018	m ²
Velocidad	0,29	m/s
N.º de codos	3	-
N.º de válvulas	1	-
Material tubería	Acero inox.	-
Rugosidad	0,002	mm

Tabla 7: Datos para cálculo pérdidas de carga

*La longitud de tubería se ha calculado a partir de las distancias mínimas entre unidades de una instalación aconsejada por el Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Energéticas (Gracia & Martín, 2008) tal y como se muestra en la **Figura 19**.

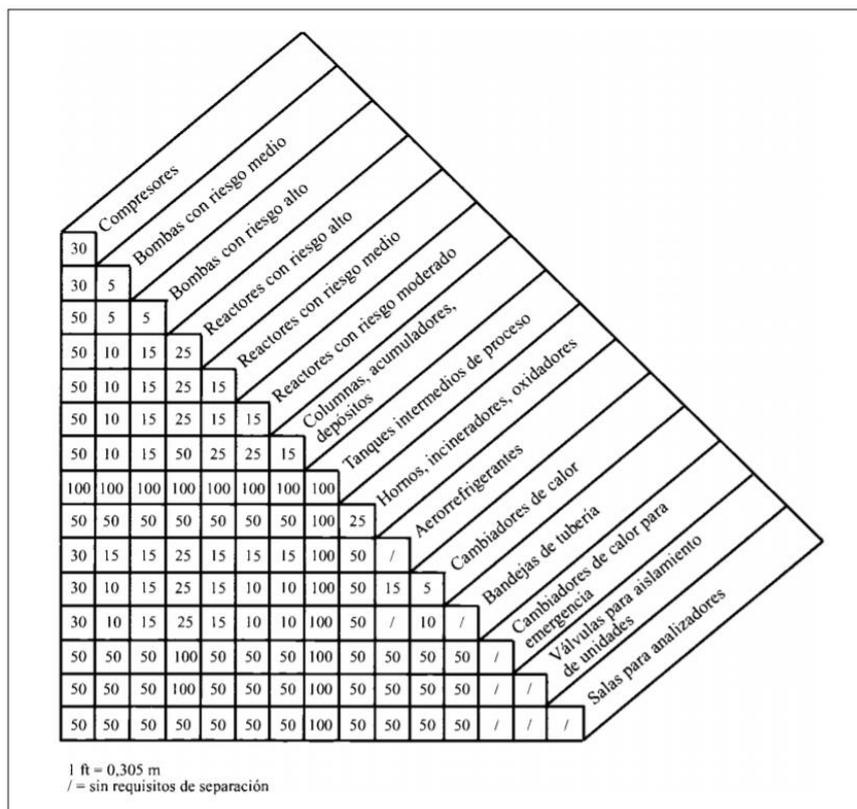


Figura 19: Distancias mínimas

**El diámetro de tubería proviene de los cálculos efectuados para diseñar las aberturas de los Impregnadores. Eso ha condicionado que toda la red de tuberías posea ese diámetro.

Con los datos de la tabla se obtienen estos valores de pérdidas de carga:

$$f = 0,014$$

$$k = 2,89$$

$$H_f = 0,054 \text{ mm}$$

$$H_l = 0,096 \text{ mm}$$

Sustituyendo en la ecuación (Ec. 23):

$$hb = 2,87 + 0,0541 + 0,096 = 3,02 \text{ m}$$

Conociendo la altura de la bomba y el caudal que se necesita suministrar, se puede comenzar a buscar en los catálogos de bombas.

Para concretar qué modelo dentro de la serie NR4 es el adecuado para la altura y caudal seleccionados, se hace uso de la gráfica proporcionada por el catálogo del fabricante:

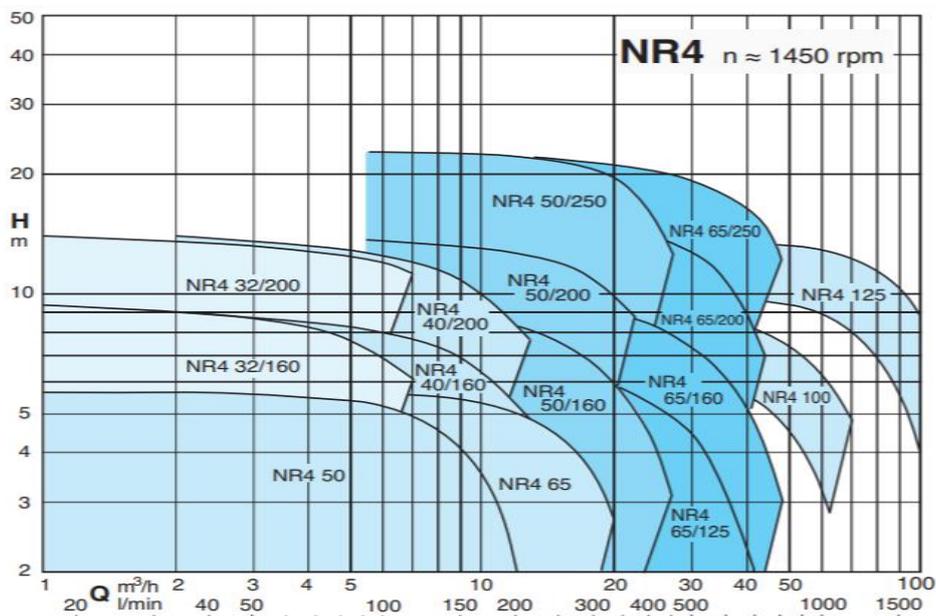


Figura 20: Series de bomba Calpeda

Se puede comprobar que para un caudal de 18,49 m³/h y una altura de 2,89 metros, el modelo NR4 50/160 es el más apropiado. Extrayendo su curva característica se podrá especificar aún mejor las características de la bomba:

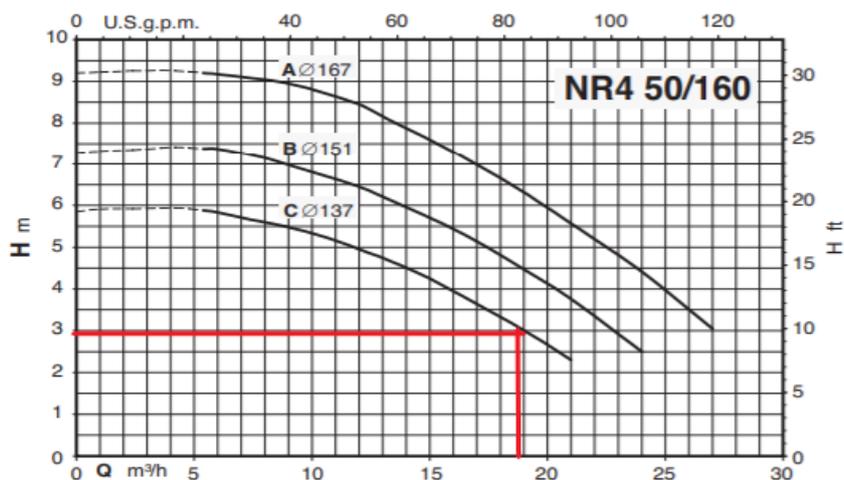


Figura 21: Curva característica bomba NR4 50/160

La intersección del valor del caudal a suministrar con la altura requerida proporcionará el valor del diámetro que tendrá el impulsor: diámetro tipo C, 137mm.

La altura de la bomba (hb) puede representarse como una función del caudal de la siguiente manera:

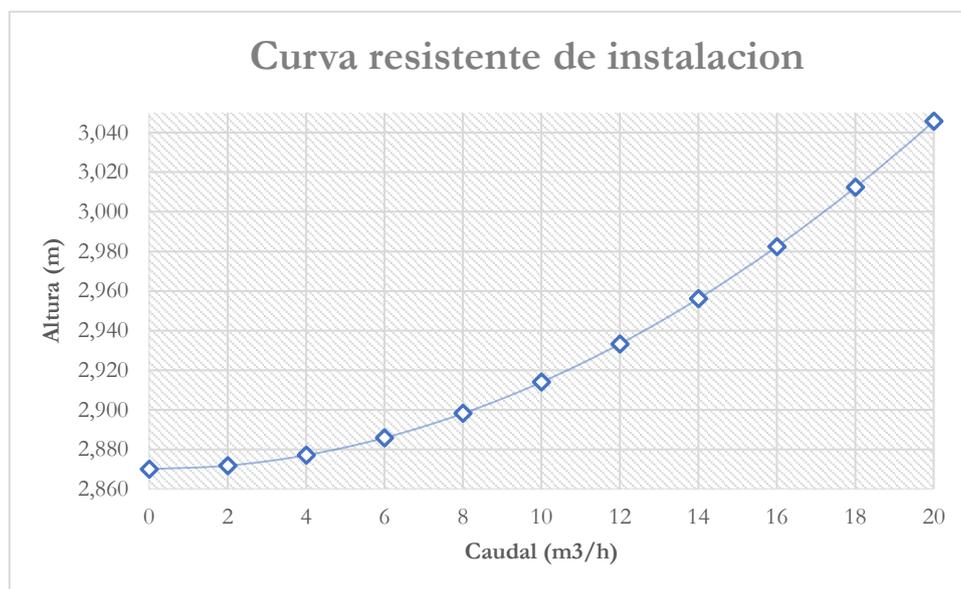
$$hb = \Delta z + hf + hl$$

$$hb = \Delta z + f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \sum k \frac{v^2}{2g}$$

$$hb = \Delta z + \left(f \frac{L}{D} + \sum k \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

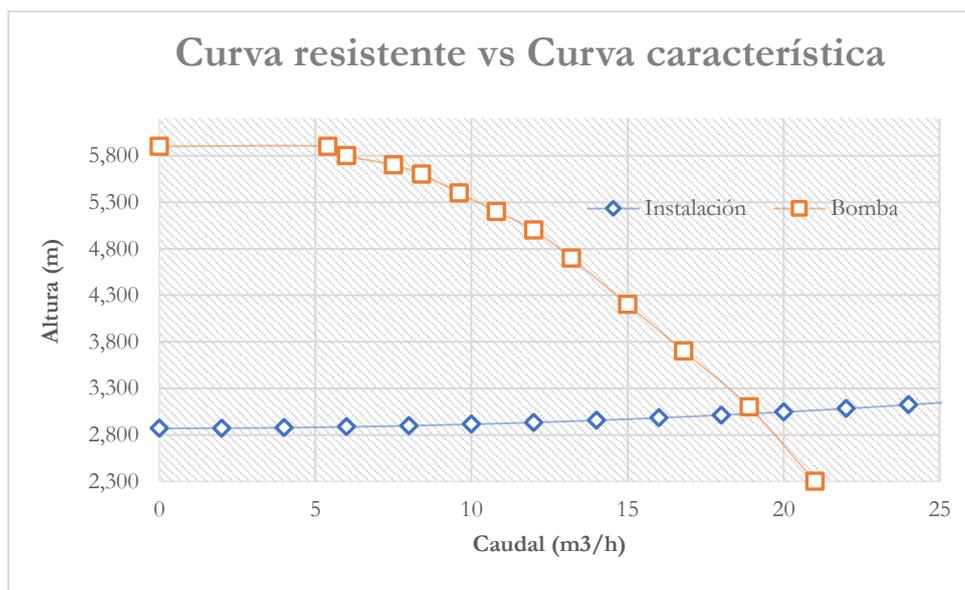
$$hb = \Delta z + \left(f \frac{L}{D} + \sum k \right) \cdot \frac{8}{g\pi^2 D^4} Q^2$$

Esta expresión permite conocer la curva resistente de la instalación.



Gráfica 1: *Curva resistente de la instalación*

Intersecando la curva de resistencia de la instalación con la curva característica de la bomba seleccionada, se obtendrá el nuevo punto de funcionamiento:



Gráfica 2: Curva característica y resistente

El nuevo punto de funcionamiento sería:

$$Q = 18,98 \text{ m}^3/\text{h} ; H = 3,01 \text{ m}$$

El caudal ha sido ligeramente modificado con respecto al anterior. La altura de la bomba sin embargo ha permanecido invariable. Con este nuevo valor de caudal, se calcula la potencia de la bomba:

$$P_{bt} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h_b \quad (\text{Ec. 24})$$

$$P_{bt} = 150,8 \text{ W}$$

El fabricante proporciona también la eficiencia de la bomba para un determinado caudal. La eficiencia para esta bomba tiene un valor de 55%. Sabiendo esto, se comprueba si la potencia de la bomba seleccionada es suficiente para elevar el fluido relacionándola con la potencia teórica antes calculada (Ec. 24).

$$\eta = \frac{P_{bt}}{P_{br}} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

- P_{bt} - es la potencia teórica antes calculada
- P_{br} - es la potencia real de la bomba.
- η - es la eficiencia.

$$P_{br} = \frac{P_{bt}}{\eta} = \frac{150,8}{0,55} = 274,19 \text{ W}$$

3 ~	230V 400V		P ₂	
	A	A	kW	HP
NR4 50/160C	1,65	0,95	0,37	0,5
NR4 50/160B	2,6	1,5	0,55	0,75
NR4 50/160A/B	3,3	1,9	0,75	1
NR4 50/200B/B	5	2,9	1,1	1,5
NR4 50/200A/B	5	2,9	1,1	1,5
NR4 50/250C/B	6	3,5	1,5	2
NR4 50/250B/B	8,6	5	2,2	3
NR4 50/250A/A	11,1	6,4	3	4

Figura 22: *Potencia bombas Calpeda*

La potencia proporcionada por la bomba es superior a la requerida. Por tanto, se asume que la elección de la bomba ha sido la correcta.

Por último, queda calcular el NPSH disponible de la bomba. Este dato comparado con el NPSH requerido, dará una idea de si existe cavitación en la bomba. El requerimiento para que no se de este fenómeno es el siguiente:

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr} + 0,5 \tag{Ec. 26}$$

El NPSHr es un dato que proporciona el fabricante. Para la bomba y caudal seleccionados, el NPSHr tiene un valor de 4,3 metros aproximadamente.

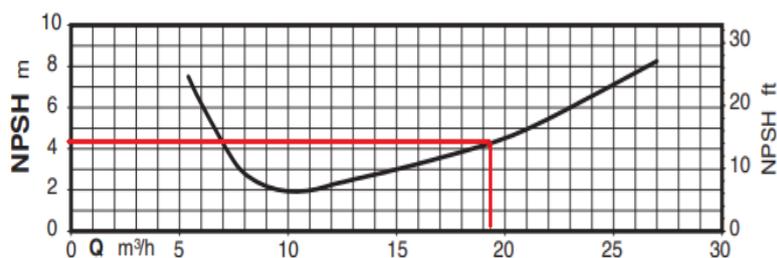


Figura 23: *NPSHr bomba*

Para el cálculo del NPSHd:

$$\text{NPSHd} = \frac{P_l - P_v}{\rho \cdot g} \pm H_a - h_a \tag{Ec. 27}$$

Donde:

- P_l- es la presión del líquido
- P_v- la presión de vapor del liquido

- H_a -la altura donde se coloca la bomba (Signo dependiente de si se coloca por debajo del tanque +, o por encima -)
- H_a - la pérdida de carga en el tramo de succión.

Los cálculos para las pérdidas en el tramo de succión se han realizado suponiendo que no existen codos ni accesorios. Las únicas pérdidas se deben a la fricción.

Se ha supuesto en un principio que la bomba se sitúa a la misma altura que el tanque de abastecimiento ($H_a = 0$). De esta forma:

$$NPSH_d = \frac{(29,5 - 29,37) \cdot 10^5}{962,87 \cdot 9,81} - 0,0025 = 1,35 \text{ m}$$

Se comprueba que la altura disponible es menor que la altura requerida por la bomba. Esto hará que aumente las probabilidades de que la bomba cavite. Este inconveniente se puede resolver situando la bomba unos metros por debajo del tanque. Se propone disminuir 4 metros la altura de la bomba y asegurar por tanto que no exista cavitación.

$$NPSH_d = \frac{(29,5 - 29,37) \cdot 10^5}{962,87 \cdot 9,81} + 4 - 0,0025 = 5,35 \text{ m}$$

$$NPSH_d = 5,35 > NPSH_r = 4,3 + 0,5$$

El fabricante ofrece unos bocetos de la bomba junto con la información de sus medidas en función del modelo de bomba seleccionada.

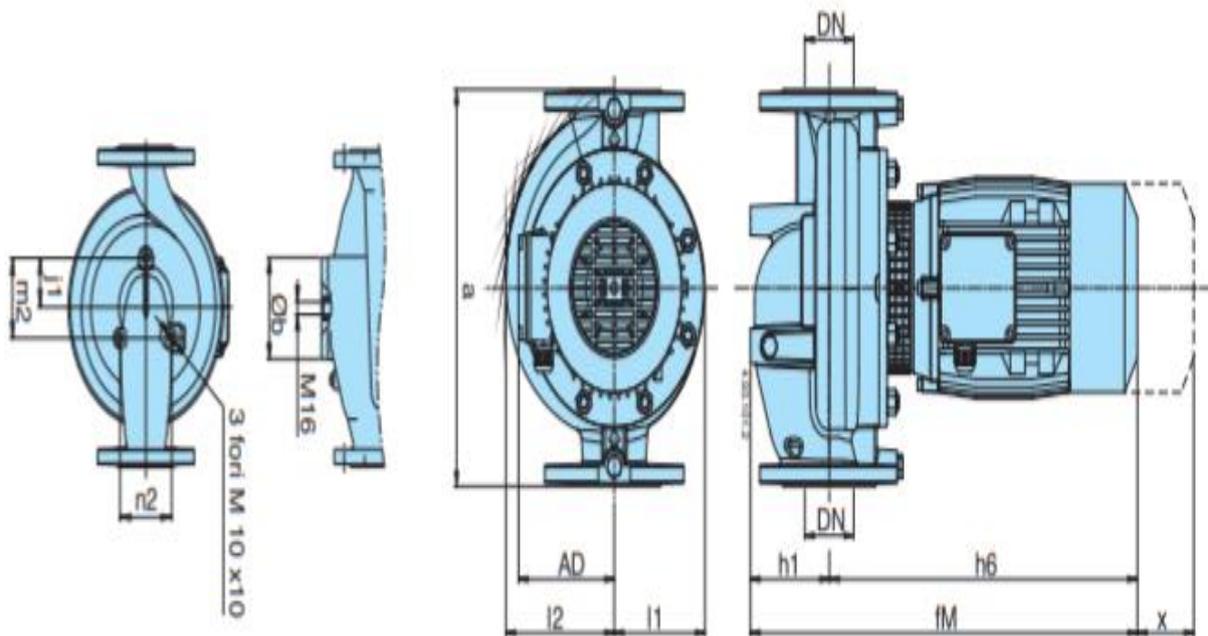


Figura 24: Vista de alzado, planta y perfil (Catálogo Bombas Calpeda, n.d.)

TYPE	mm												kg	
	DN	a	fM	h1	h6	n2	m2	j1	Øb	AD	l1	l2		x
NR 50D/A-C/B	50	320	360	90	270	-	-	-	98	111	93	100	70	21,7-23,8
NR 32/160A/A-B/A	32	340	421	80	341	76	90	50	-	128	102	102	60	28,6-27
NR 32/200B	32	440	469	85	384	84	104	60	-	128	126	126	60	36,3
NR 32/200A/A-S/A	32	440	495	85	410	84	104	60	-	138	126	126	60	44-47
NR 40/125A/A-B/A-C	40	320	420	81	339	80	80	49	-	128	93	98	70	29,5-27,5-26,5
NR 40/160B/A	40	320	430	81	349	80	80	49	-	128	119	119	75	35,0
NR 40/160A/A	40	320	470	81	389	80	80	49	-	128	119	119	75	40,0
NR 40/200A/A-B	40	440	496	81	430	95	102	62	-	138	140	140	75	56,6-53,4
NR 50/125C/A-F/A	50	340	437	90	347	79	85	45	-	128	96	115	75	31,5-29,5
NR 50/125A/B	50	340	477	90	387	79	85	45	-	128	96	115	75	36,1
NR 50/160C/B	50	340	480	90	390	79	85	45	-	128	120	128	75	41,6
NR 50/160A/B-B/A	50	340	506	90	416	79	85	45	-	138	120	128	75	51,8-48,5
NR 50/200D/B	50	440	516	100	416	79	85	45	-	138	140	140	80	59,7
NR 50/200A/A-B/A	50	440	544	100	444	79	85	45	-	160	140	140	80	77,2-69,7
NR 50/250C/B	50	440	657	100	557	79	85	45	-	185	175	175	85	114
NR 50/250B/B	50	440	707	100	557	79	85	45	-	185	175	175	85	121
NR 50/250A/B	50	440	732	100	632	79	85	45	-	185	175	175	85	149,5
NR 65/125F/B	65	340	494	105	389	110	110	60	-	128	121	145	95	46

Figura 25: Tabla de medidas Bomba NR4 50/160

4.3 DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO₂

Se emplea la misma metodología que en el diseño de los Impregnadores. Se aplica el código ASME sección VIII división 1 subsección A para el diseño de recipientes a presión.

Todos los tanques estarán fabricados de acero inoxidable SA240, 304. Para determinar sus dimensiones, habrá que calcular primero el volumen de CO₂ que deben albergar.

4.3.1 DISEÑO DEL TANQUE DE ALTA PRESIÓN- T1

4.3.1.1 Dimensiones del Tanque

Este tanque almacena CO₂ en estado gaseoso a 10 bar. Su función es suministrar dicho gas en las etapas de purga y primera presurización; y recuperar el gas en la etapa de primera despresurización. Tiene la función auxiliar de suministrar gas al Tanque de Proceso (T3) en el caso que fuera necesario.

Etapas de purga:

La cantidad de gas que debe pasar por el Impregnador es la equivalente al volumen de tres Impregnadores es decir unos **7,5 m³**. Con esto, se intenta conseguir una atmósfera cercana al 100% de CO₂.

Etapas de primera presurización:

Con la primera presurización se inyecta el gas en el Impregnador para aumentar desde la presión atmosférica (P1) hasta la presión del tanque (P2), 10 bar.

El volumen que debe ocupar el gas se calcula restándole al volumen del Impregnador el volumen que ocupa el tabaco sin los huecos. Es decir:

$$V = V_{\text{Impregnador}} - V_{\text{tab}} \cdot (1 - \epsilon) \quad (\text{Ec. 28})$$

$$V = 2411,3 - 1085 \cdot (1 - 0,8519) = 2250,62 \text{ L} = \mathbf{2,025 \text{ m}^3}$$

Haciendo uso de la ecuación de los gases ideales se podrá calcular el incremento de moles que debe haber para alcanzar la presión indicada:

$$P_i V = n_i R T \quad (\text{Ec. 29})$$

$$n_1 = \frac{P_1 V}{RT} = \frac{1 \cdot 2250,62}{0,082 \cdot 298} = 92,1 \text{ mol}$$

$$n_2 = \frac{P_2 V}{RT}$$

$$n_2 = \frac{10 \cdot 2250,62}{0,082 \cdot 298} = 921,02 \text{ mol}$$

$$\Delta n = 921,02 - 92,1 = 828,92 \text{ mol}$$

Por último, se calcula qué volumen ocuparían esos moles en el tanque (V_{t1}) de Alta Presión:

$$V_{t1} = \frac{\Delta n \cdot R \cdot T}{P_2} = \frac{828,92 \cdot 0,082 \cdot 298}{10} = 2025,56 \text{ L} = \mathbf{2,025 \text{ m}^3}$$

Volumen auxiliar:

El tanque deberá contener un volumen extra por si fuera necesario suministrar cierto volumen de gas al Tanque de Proceso. Ese volumen extra supondrá un 25% más del volumen total.

Volumen total necesario

Los volúmenes calculados hacían referencia a un solo Impregnador. Para abastecer ambos Impregnadores el volumen se duplica.

$$V = (2025,56 + 7500) \cdot 2 \cdot 1,25 = \mathbf{23813,9 \text{ L} = 23,81 \text{ m}^3}$$

Con este volumen se puede calcular las dimensiones del tanque. Para ello se recurre de nuevo a las ecuaciones (7) y (8) para el cálculo del radio y altura del tanque:

$$\left. \begin{array}{l} 23,81 = \pi \cdot r^2 \cdot L \\ 2 = \frac{L}{2r} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \mathbf{\text{Radio (r)} = 1,21 \text{ m}} \\ \mathbf{\text{Altura (L)} = 4,82 \text{ m}} \end{array}$$

Para el espesor del cilindro se deben conocer los siguientes datos:

- R- radio del cilindro (1,21 m)
- Pd- presión de diseño (12 bar)
- S- tensión máxima permisible del material (113 MPa)
- E- Eficiencia de la junta (0,85)

Se sustituyen esos datos en las ecuaciones (9) y (10) y se escoge el valor más alto:

$$\text{Ec. 9: } t = \frac{Pd \cdot R}{S \cdot E - 0,6Pd} = \mathbf{15,17 \text{ mm}}$$

$$\text{Ec. 10: } t = \frac{Pd \cdot R}{2S \cdot E + 0,4Pd} = 11,15 \text{ mm}$$

Para los cabezales del recipiente se vuelve a optar por unos toriesféricos de tipo Korbogen. Para calcular su espesor y dimensiones se recurren a las ecuaciones (Ec. 11), (Ec. 12) (Ec. 14) (Ec. 15) (Ec. 16) (Ec. 17) (Ec. 18) . Los resultados son los siguientes:

$$\begin{aligned} e &= \mathbf{21,54 \text{ mm}} & h_2 &= \mathbf{424,11 \text{ mm}} \\ R &= \mathbf{1945,72 \text{ mm}} & h_1 &= \mathbf{64,62 \text{ mm}} \\ r &= \mathbf{374,55 \text{ mm}} & H &= \mathbf{510,27 \text{ mm}} \end{aligned}$$

$$V = \mathbf{1,82 \text{ m}^3}$$

Como se puede comprobar, el espesor del cabezal (21,54 mm) es mayor que el del cilindro (15,17 mm). Tal y como se hizo con los Impregnadores, el espesor de ambas secciones se iguala. En la siguiente tabla se detallan las dimensiones del tanque:

Cilindro		
Volumen	23,81	m ³
Radio	1,21	m
Diámetro	2,41	m
Altura	4,82	m
Pd (máx.[Pop·1,1;Pop+2])	12	bar
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor t0 = 15,17 mm		

Tabla 8a: Dimensiones cilindro T1

Cabezal (toriesférico)		
De [D+t]	2,43	m
R [0,8·De]	1,946	m
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor e = 21,54 mm		
Nuevo espesor t = 21,54 mm		
R	1945,72	mm
r [0,154·De]	374,55	mm
h1 [≥ 3e]	64,62	mm
h2 [0,225·R-0,635e]	424,11	mm
H[h1+h2+e]	510,27	mm
V [0,1298·dint ³]	1,82	m ³

Tabla 8b: Dimensiones cabezal T1

4.3.1.2 Diseño de las aberturas

Por último, queda diseñar las aberturas por las que circula el gas CO₂ desde y hacia los Impregnadores. Para este recipiente se precisan 4 boquillas (NT1.1; NT1.2; NT1.3; NT1.4) cuyas

dimensiones y propiedades mecánicas son idénticas. El diseño se hará siguiendo la misma metodología empleada en las boquillas de los Impregnadores. Para ello se necesita conocer:

- Pd: Presión de diseño (12 bar)
- d: Diámetro interno (90 cm)
- S: El material y por tanto su tensión máxima permisible (240 MPa)
- E: La eficiencia de la junta (0,85)

Se sustituyen estos datos en la ecuación (Ec. 20) y (Ec. 21) se obtiene el espesor y proyección de la boquilla:

$$t = 90 \cdot \frac{e^{\left(\frac{1,2}{240 \cdot 0,85} - 1\right)}}{2} = \mathbf{33,3 \text{ mm}}$$

$$H = 2,5 \cdot 33,3 = \mathbf{83,26 \text{ mm}}$$

Estas boquillas incorporarán una brida con la que acoplarán la tubería por donde transcurre el CO₂. Esta brida será de tipo WN (Weld Neck- con cuello para soldar) ANSI/ASME B16,5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

4.3.2 DISEÑO DEL TANQUE DE BAJA PRESIÓN- T2

4.3.2.1 Dimensiones del tanque

Este tanque tendrá que realizar dos funciones principales durante el proceso:

- Recuperar el gas CO₂ durante la segunda despresurización a 3,5 bar
- Suministrar gas CO₂ al Tanque de Alta Presión.

Recuperación del CO₂ gas

Haciendo uso de la ecuación de los gases ideales se puede determinar los moles que se han transferido desde el Impregnador al Tanque de Baja Presión durante la despresurización.

$$P_2V = n_2RT$$

$$n_2 = \frac{P_2V}{RT} = \frac{10 \cdot 2250,62}{0,082 \cdot 298} = 921,02 \text{ mol}$$

$$n_3 = \frac{P_3 V}{RT} = \frac{3,5 \cdot 2250,62}{0,082 \cdot 298} = 322,36 \text{ mol}$$

$$\Delta n = 921,02 - 322,36 = 598,66 \text{ mol}$$

Por último, se calcula qué volumen ocuparían esos moles en el tanque (V_{t2}):

$$V_{t2} = \frac{\Delta n \cdot R \cdot T}{P_{op}} = \frac{598,66 \cdot 0,082 \cdot 298}{3,5} = 4179,67 \text{ L} = \mathbf{4,179 \text{ m}^3}$$

Suministro de CO₂ gas al Tanque de Alta

Supondrá un incremento del 25% del volumen total del tanque.

Volumen total necesario

El volumen necesario para dos Impregnadores será:

$$V = 4,179 \cdot 2 \cdot 1,25 = \mathbf{10,45 \text{ m}^3}$$

Conociendo el volumen y sustituyendo en las ecuaciones (Ec. 7) y (Ec. 8) se obtiene el radio y altura del cilindro respectivamente. Con las ecuaciones (Ec. 9) y (Ec. 10) se obtiene el mínimo espesor que debe poseer el tanque.

Las dimensiones del tanque se recogen en las siguientes tablas:

Cilindro		
Volumen	10,45	m ³
Radio	0,92	m
Diámetro	1,83	m
Altura	3,66	m
Pd (máx. [Pop·1,1; Pop+2])	5,5	bar
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor t0 = 5,26 mm		

Tabla 9a: Dimensiones cilindro T2

Cabezal (toriesférico)		
De [D+t]	1,84	m
R [0,8·De]	1,471	m
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor e = 7,46 mm		
Nuevo espesor t = 7,46 mm		
R	1471,41	mm
r [0,154·De]	283,25	mm
h1 [≥ 3e]	22,38	mm
h2 [0,225·R-0,635e]	326,33	mm
H[h1+h2+e]	356,17	mm
V [0,1298·dint ³]	0,80	m ³

Tabla 9b: Dimensiones cabezal T2

4.3.2.2 Diseño de las aberturas

Este tanque necesitará incorporar 2 boquillas (NT2.1 y NT2.2). Para su diseño se necesita conocer los siguientes datos:

- Pd: Presión de diseño (5,5 bar)
- d: Diámetro interno (90 cm)
- S: El material y por tanto su tensión máxima permisible (240 MPa)
- E: La eficiencia de la junta (0,85)

Sustituyendo en las ecuaciones (Ec. 20) y (Ec. 21) se obtiene el espesor y proyección de las boquillas respectivamente:

$$t = 90 \cdot \frac{e^{\left(\frac{0,55}{240 \cdot 0,85} - 1\right)}}{2} = 33,19 \text{ mm}$$

$$H = 2,5 \cdot 33,3 = 82,96 \text{ mm}$$

La brida que irá soldada a estas boquillas será de tipo WN (Weld Neck- con cuello para soldar) ANSI/ASME B16.5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

4.3.3 DISEÑO DEL TANQUE DE PROCESO

4.3.3.1 Dimensiones del tanque

Este tanque tiene la función de aumentar la presión en los Impregnadores hasta la presión de operación (P_{op}), trasladar el gas CO_2 al intercambiador y recoger el CO_2 líquido en el drenaje.

Aumento de presión en la presurización:

Se debe aumentar la presión desde P_2 (10 bar) proporcionados por el Tanque de Alta Presión hasta la presión de operación (P_{op}) proporcionada por el Tanque de Proceso: 29,5 bar.

Haciendo uso de la ecuación de los gases ideales se podrá calcular el incremento de moles que debe haber para alcanzar la presión indicada:

$$P_2V = n_2RT$$

$$n_2 = \frac{P_2V}{RT} = \frac{10 \cdot 2250,62}{0,082 \cdot 298} = 921,02 \text{ mol}$$

$$n_f = \frac{P_{op}V}{RT} = \frac{29,5 \cdot 2250,62}{0,082 \cdot 298} = 2717,03 \text{ mol}$$

$$\Delta n = 2717,03 - 921,02 = 1796,01 \text{ mol}$$

Por último, se calcula qué volumen ocuparían esos moles en el Tanque (V_{t3}) de Proceso:

$$V_{t3} = \frac{\Delta n \cdot R \cdot T}{P_{op}} = \frac{1796,01 \cdot 0,082 \cdot 298}{29,5} = 1487,71 \text{ L} = \mathbf{1,49 \text{ m}^3}$$

Volumen de CO₂ al intercambiador:

El volumen necesario para llevar a cabo el llenado del Impregnador son **0,92 m³**

Volumen total necesario:

Los volúmenes calculados hacían referencia a un solo Impregnador. Para abastecer ambos Impregnadores el volumen se duplica.

Para este tanque no hará falta aplicar un factor de excedencia ya que de ser necesario una cantidad extra de CO₂, el Tanque de Alta Presión puede suministrárselo.

El volumen total que debe contener el Tanque de Proceso será:

$$V = (1487,71 + 924,3) \cdot 2 = \mathbf{4,82 \text{ m}^3}$$

En las siguientes tablas se recogen las dimensiones del tanque:

Cilindro		
Volumen	4,82	m ³
Radio	0,71	m
Diámetro	1,42	m
Altura	2,83	m
Pd (máx. [Pop·1,1; Pop+2])	32,45	bar
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor t₀ = 24,41 mm		

Tabla 10a: Dimensiones cilindro T3

Cabezal (toriesférico)		
De [D+t]	1,45	m
R [0,8·De]	1,160	m
S	113	MPa
E	0,85	
Espesor e = 34,81 mm		
Nuevo espesor t = 34,81 mm		
R	1160,45	mm
r [0,154·De]	223,39	mm
h1 [≥ 3e]	104,44	mm
h2 [0,225·R-0,635e]	238,99	mm
H[h1+h2+e]	378,25	mm
V [0,1298·dint ³]	0,37	m ³

Tabla 10b: Dimensiones cabezal T3

4.3.3.2 Diseño de las aberturas

El tanque de proceso dispone de 4 boquillas idénticas (NT3.1, NT3.2, NT3.3 y NT3.4) por las que circula el gas CO₂. La información necesaria para calcular sus dimensiones es:

- Pd: Presión de diseño (32,45 bar)
- d: Diámetro interno (90 cm)
- S: El material y por tanto su tensión máxima permisible (240 MPa)
- E: La eficiencia de la junta (0,85)

Sustituyendo en las ecuaciones (Ec. 20) y (Ec. 21) se obtiene el espesor y proyección de las boquillas respectivamente:

$$t = 90 \cdot \frac{e^{\left(\frac{3,245}{240 \cdot 0,85} - 1\right)}}{2} = \mathbf{33,64 \text{ mm}}$$

$$H = 2,5 \cdot 33,3 = \mathbf{84,10 \text{ mm}}$$

La brida que irá soldada a estas boquillas será de tipo WN (Weld Neck- con cuello para soldar) ANSI/ASME B16.5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

4.4 ELECCIÓN DEL SILENCIADOR

El tipo de silenciador seleccionado es un SP30 de la marca “silen&system” cuyas dimensiones y peso aproximado (en kg) se encuentran a continuación :

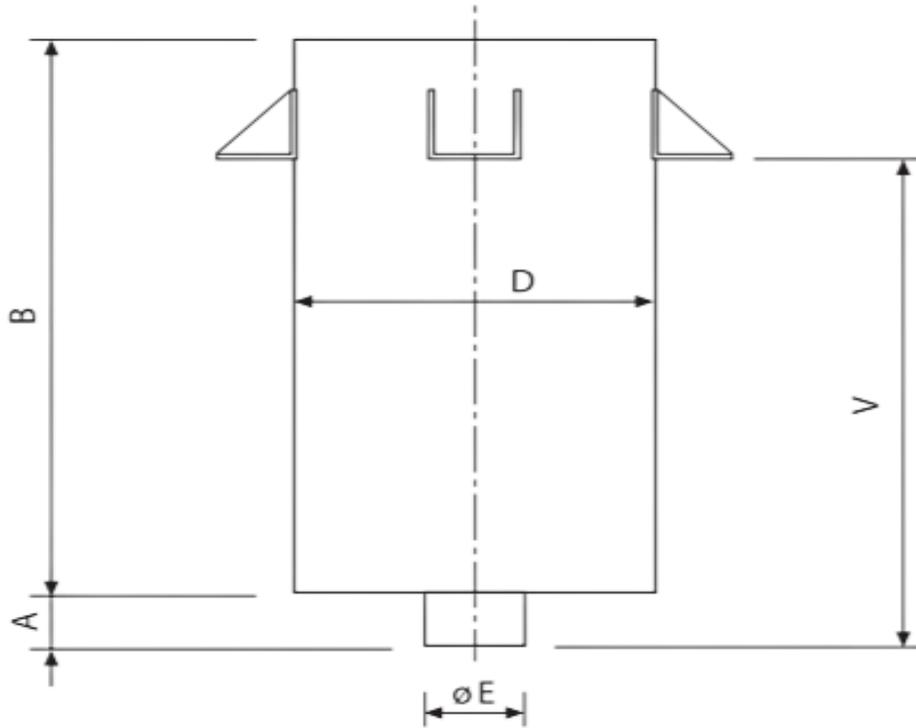


Figura 26: Vista perfil silenciador

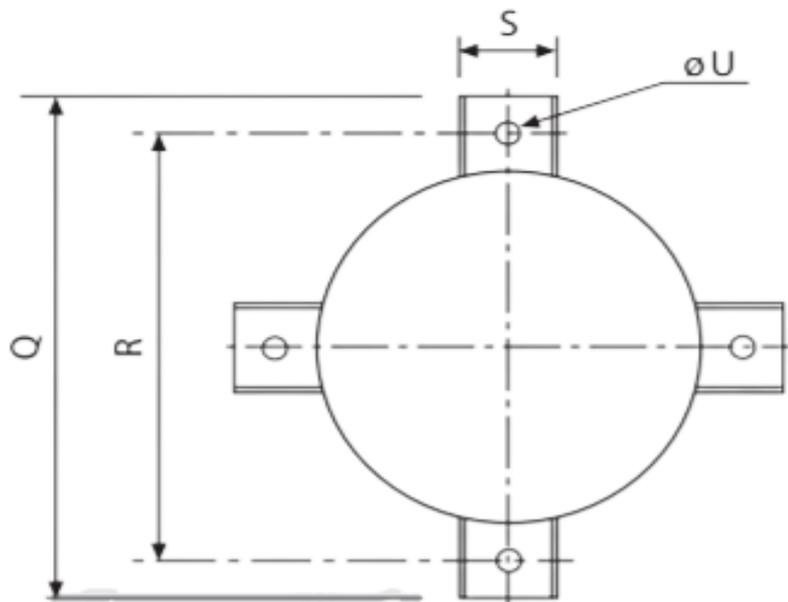


Figura 27: Vista de planta silenciador

DISEÑO DE LA UNIDAD DE IMPREGNADO PARA LA EXPANSION DE TABACO MEDIANTE DIOXIDO DE CARBONO

Cotas en mm y pesos aproximados en Kgs.

Tipo	A	B	D	Q	R	S	ø U	V	Peso
31	100	545	307	520	440	100	18	400	40
35	100	585	353	550	490	100	18	460	65
39	100	675	398	600	540	100	18	530	75
46	100	770	462	680	600	150	18	550	95
52	100	890	523	740	660	150	18	650	115
61	100	1040	603	900	820	150	18	800	150
67	100	440	675	1000	900	200	20	200	120
79	100	500	795	1100	1000	200	20	250	170
88	100	560	875	1200	1100	200	20	275	210
101	100	670	1005	1300	1200	200	20	350	290
110	150	715	1105	1400	1300	200	20	450	410
124	150	820	1250	1600	1500	200	20	500	510
143	150	930	1435	1850	1700	250	24	550	720
159	150	1010	1595	2000	1850	250	24	600	905
176	150	1110	1760	2250	2100	250	24	700	1150
197	200	1240	1970	2450	2300	250	24	900	1475
220	200	1410	2200	2650	2500	250	24	1000	1860
252	300	1730	2520	3050	2850	300	27	1200	2800
281	300	1900	2810	3350	3150	300	27	1600	3700
314	300	2100	3140	3640	3500	350	30	1500	3900
359	300	2300	3590	4200	3950	350	30	1700	5200
402	300	3000	4015	4700	4400	400	30	2300	8000
451	300	3500	4515	5200	4900	400	30	2500	11000

Figura 28: Datos dimensiones silenciador (SILEN Y SISTEM- Silenciadores Acústicos, Aislamiento e Insonorización | Silen y Sistem, n.d.)

ANEXO 5: FICHAS DE SEGURIDAD QUÍMICA

5.1 FICHA DEL DIÓXIDO DE CARBONO

DIÓXIDO DE CARBONO	ICSC: 0021
Gas carbónico Anhídrido carbónico	Octubre 2006
CAS: 124-38-9 N° ONU: 1013 CE: 204-696-9	

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado. En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación	Vértigo. Dolor de cabeza. Presión sanguínea elevada. Ritmo cardíaco acelerado. Asfixia. Pérdida del conocimiento.	Usar ventilación.	Aire limpio, reposo. Puede ser necesaria respiración artificial. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON GAS O HIELO SECO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos		Utilizar gafas de protección.	
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Protección personal: equipo autónomo de respiración. Ventilar. No utilizar agua.	<p>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</p>  <p>ATENCIÓN</p> <p>Contiene gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas Puede ser nocivo si se inhala</p> <p>Transporte Clasificación ONU Clase de Peligro ONU: 2.2</p>
ALMACENAMIENTO	
A prueba de incendio, si está en local cerrado. Fresco. Ventilación a ras del suelo.	
ENVASADO	



**Organización
Mundial de la Salud**

La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea.
© OIT y OMS 2018



**European
Commission**

DIÓXIDO DE CARBONO		ICSC: 0021
INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA		
<p>Estado físico; aspecto GAS INODORO INCOLORO COMPRIMIDO LICUADO.</p> <p>Peligros físicos El gas es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. Las pérdidas de líquido condensan formando hielo seco extremadamente frío.</p> <p>Peligros químicos Se descompone por encima de 2000°C. Esto produce monóxido de carbono tóxico.</p>	<p>Fórmula: CO₂</p> <p>Masa molecular: 44.0</p> <p>Punto de sublimación: -79°C</p> <p>Solubilidad en agua, ml/100ml a 20°C: 88</p> <p>Presión de vapor, kPa a 20°C: 5720</p> <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.5</p> <p>Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.83</p>	
EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD		
<p>Vías de exposición La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>Efectos de exposición de corta duración La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación de concentraciones altas puede causar pérdida del conocimiento. Asfixia.</p>	<p>Riesgo de inhalación Al producirse pérdidas en zonas confinadas, esta sustancia puede originar riesgo grave de asfixia.</p> <p>Efectos de exposición prolongada o repetida La sustancia puede afectar al metabolismo.</p>	
LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL		
<p>TLV: 5000 ppm como TWA; 30000 ppm como STEL.</p> <p>MAK: 9100 mg/m³, 5000 ppm; categoría de limitación de pico: II(2).</p> <p>EU-OEL: 9000 mg/m³, 5000 ppm como TWA</p>		
MEDIO AMBIENTE		
NOTAS		
<p>El dióxido de carbono se libera en muchos procesos de fermentación (vino, cerveza, etc.) y es un componente mayoritario en los gases de combustión.</p> <p>Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte.</p> <p>Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona.</p> <p>A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor.</p> <p>Otros números ONU: ONU 1845 dióxido de carbono, sólido (Hielo seco); ONU 2187 dióxido de carbono líquido refrigerado.</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>- Límites de exposición profesional (INSST 2021): VLA-ED: 5000 ppm; 9150 mg/m³</p> <p>- Clasificación UE</p>		
 GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL	 Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo
La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018		

Figura 29: Ficha seguridad CO₂

ANEXO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bozzo, A. T., Hsiao-Sheng, C., Kass, J. R., & Barduhn, A. J. (1975). The properties of the hydrates of chlorine and carbon dioxide. *Desalination*, 16(3), 303–320.
[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)88004-2](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)88004-2)
- Brida DIN - DN Brida. (n.d.). Retrieved June 20, 2021, from <http://www.dnbrida.com/brida-din.php>
- Carroll, J. J. (2014). Natural Gas Hydrates. In *Natural Gas Hydrates*. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8490-3.X0001-8>
- Catálogo Bombas Calpeda. (n.d.). Retrieved June 20, 2021, from <https://es.calpeda.com/>
- Fischer, E. B., Leister, D. L., & Jose, M. (1997). *US-5649552-A - Process and Apparatus for Impregnation and Expansion of Tobacco | Unified Patents*.
- Garrett, D. E. (1989). Equipment Cost Estimating. In *Chemical Engineering Economics* (pp. 8–21). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-6544-0_2
- Gracia, J. M. S. de, & Martín, T. G. (2008). *Seguridad industrial en plantas químicas y energéticas*.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IiTAXIJNmCwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=storch+de+gracia&ots=SU6zOj7Vev&sig=EZF3Vs2W4ptdwFTaOHS54OsS9a8>
- GUTHRIE, K. M. (1970). Capital cost estimating. *Chemical Engineering*.
- Hall, R. S., Matley, J., & McNaughton, K. J. (1986). Current costs of process equipment. *Chemical Engineering*, 89(7), 80–116.
https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=200902020184823406
- Hoelzel, C. B. (1976). *Phase Diagram for Tobacco-CO₂-Water*.
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Hoelzel+C.B+phase+diagram&btnG=
- Larson, S. D. (1955). *Phase studies of the two component carbon dioxide-water system involving the carbon dioxide hydrate*. <https://www.worldcat.org/title/phase-studies-of-the-two-component-carbon-dioxide-water-system-involving-the-carbon-dioxide-hydrate/oclc/12654624>

- Page, J. S. (1984). *Conceptual Cost Estimating Manual* (Second edi). Gulf Pub. Co., c1996.
- Peters, M. S., & Peters, J. I. (1959). Plant design and economics for chemical engineers. *Engineering Economist*, 5(1), 27–30. <https://doi.org/10.1080/00137915908965075>
- SILEN Y SISTEM- Silenciadores Acústicos, Aislamiento e Insonorización | Silen y Sistem. (n.d). Retrieved June 20, 2021, from <https://silensistem.com/>
- Ulrich, G. D. (1984). A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. *John Wiley & Sons*, 484. <https://www.amazon.es/Chemical-Engineering-Process-Design-Economics/dp/0471082767>
- Zhu, J., Xu, K., Zhang, Z., Cao, X., Huang, S., & Wu, J. (2021). Carbon clathrates as strong lightweight structures. *International Journal of Mechanical Sciences*, 202–203, 106509. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2021.106509>

DOCUMENTO 3:

PLANOS

ÍNDICE- PLANOS

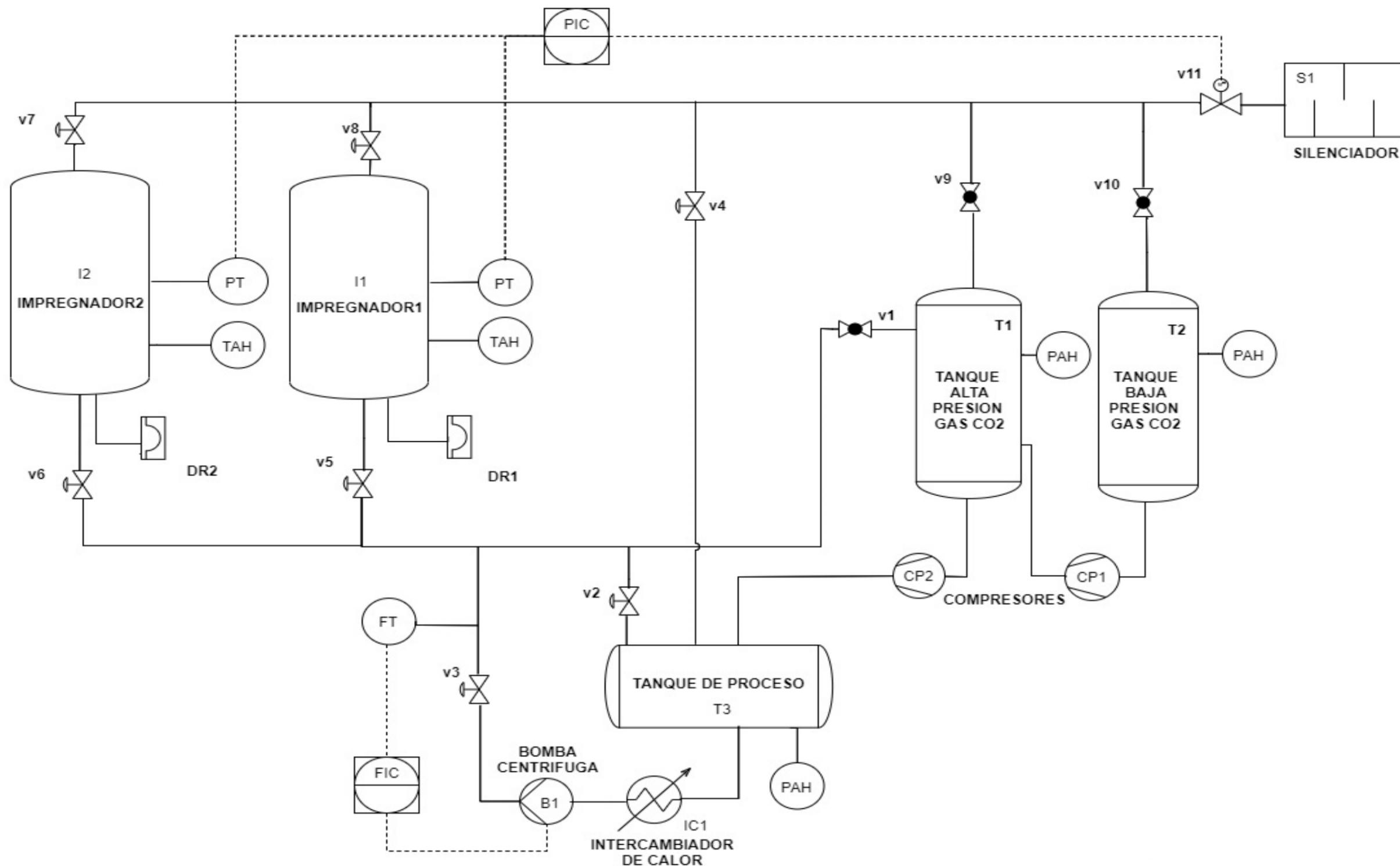
PLANO 1: DIAGRAMA DE FLUJO

PLANO 2: IMPREGNADOR

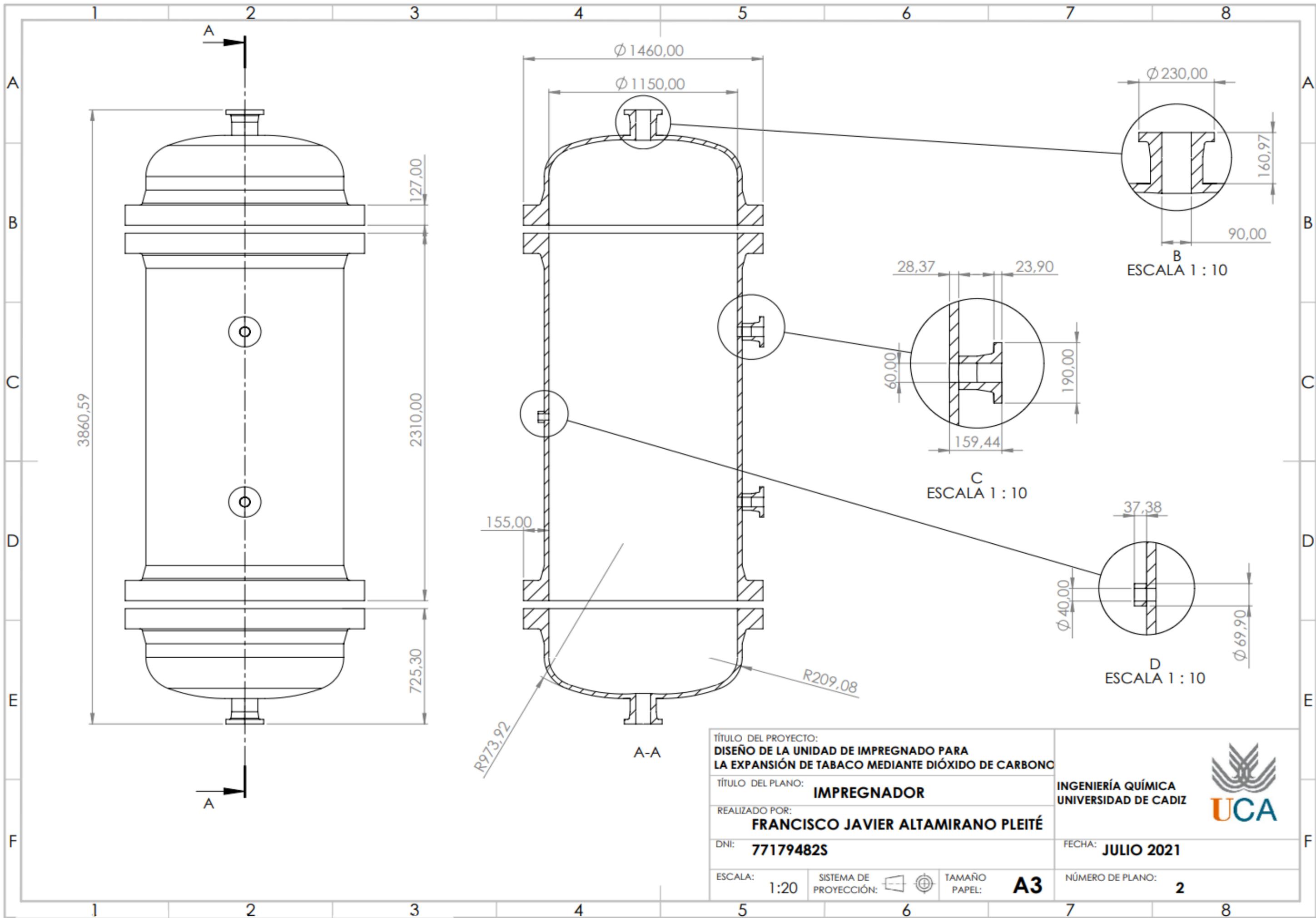
PLANO 3: TANQUE DE ALTA PRESIÓN T1

PLANO 4: TANQUE DE BAJA PRESIÓN T2

PLANO 5: TANQUE DE PROCESO T3



TÍTULO DEL PROYECTO: DISEÑO DE LA UNIDAD DE IMPREGNADO PARA LA EXPANSIÓN DE TABACO MEDIANTE DIÓXIDO DE CARBONO		INGENIERÍA QUÍMICA UNIVERSIDAD DE CADIZ 
TÍTULO DEL PLANO: DIAGRAMA DE FLUJO		
REALIZADO POR: FRANCISCO JAVIER ALTAMIRANO PLEITÉ		FECHA: JULIO 2021
DNI: 77179482S		
ESCALA: -	SISTEMA DE PROYECCIÓN: 	TAMAÑO PAPEL: A3
		NÚMERO DE PLANO: 1



TÍTULO DEL PROYECTO:
DISEÑO DE LA UNIDAD DE IMPREGNADO PARA LA EXPANSIÓN DE TABACO MEDIANTE DIÓXIDO DE CARBONO

TÍTULO DEL PLANO:
IMPREGNADOR

REALIZADO POR:
FRANCISCO JAVIER ALTAMIRANO PLEITÉ

DNI:
77179482S

ESCALA:
1:20

SISTEMA DE PROYECCIÓN:

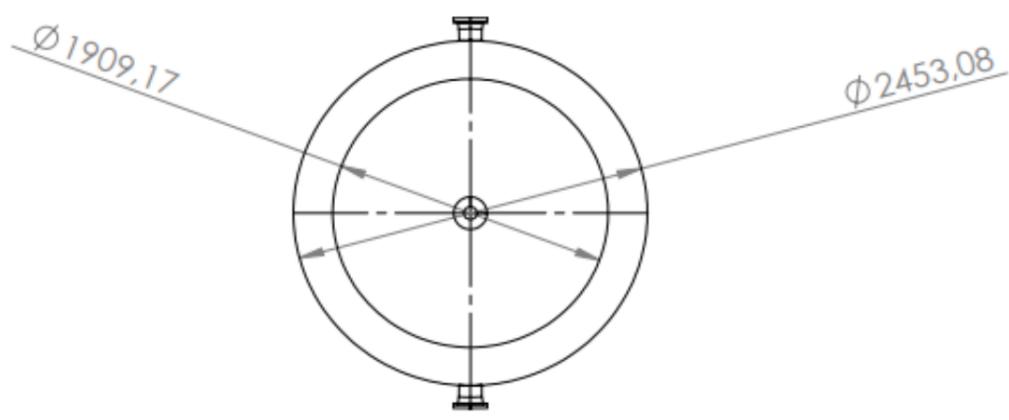
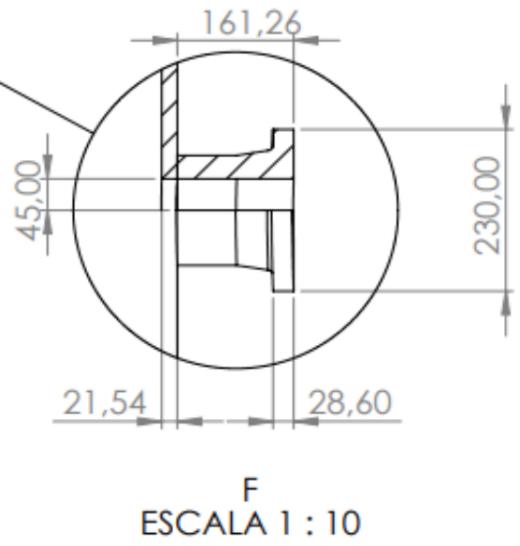
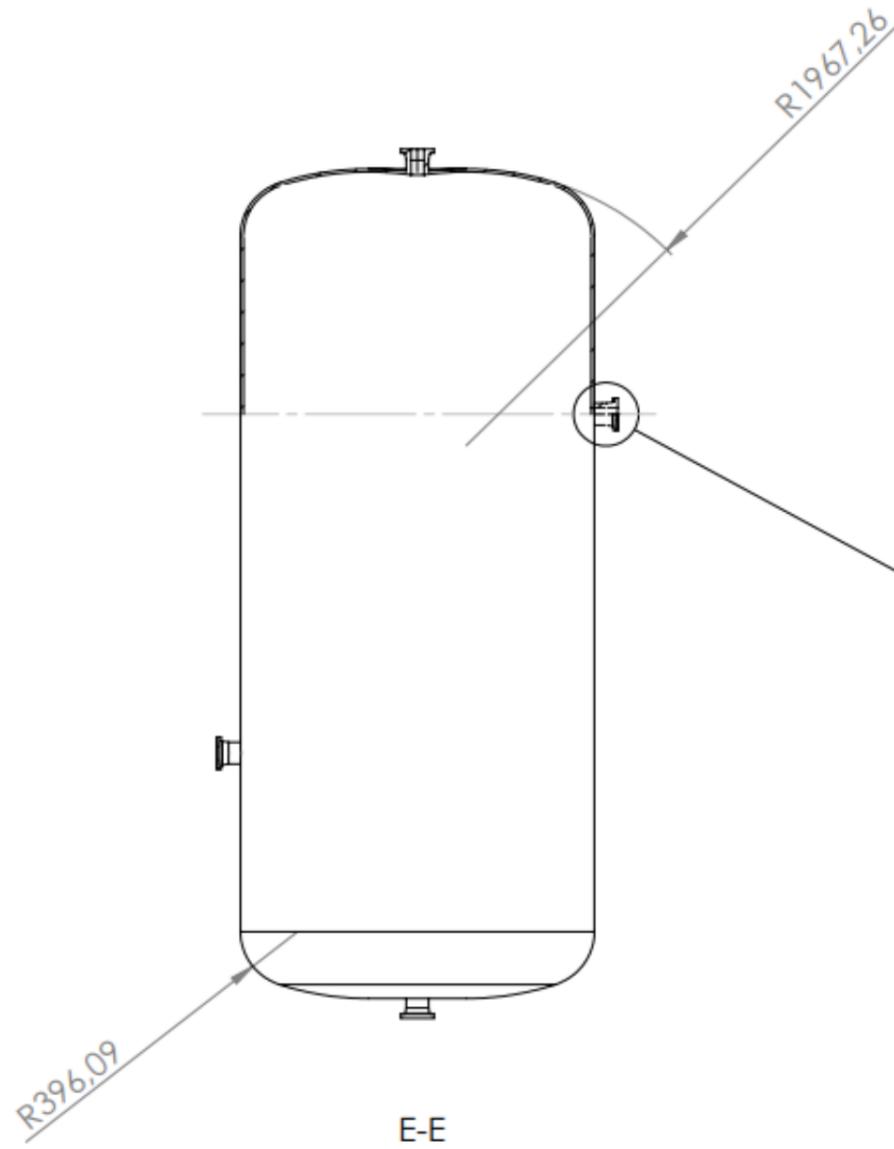
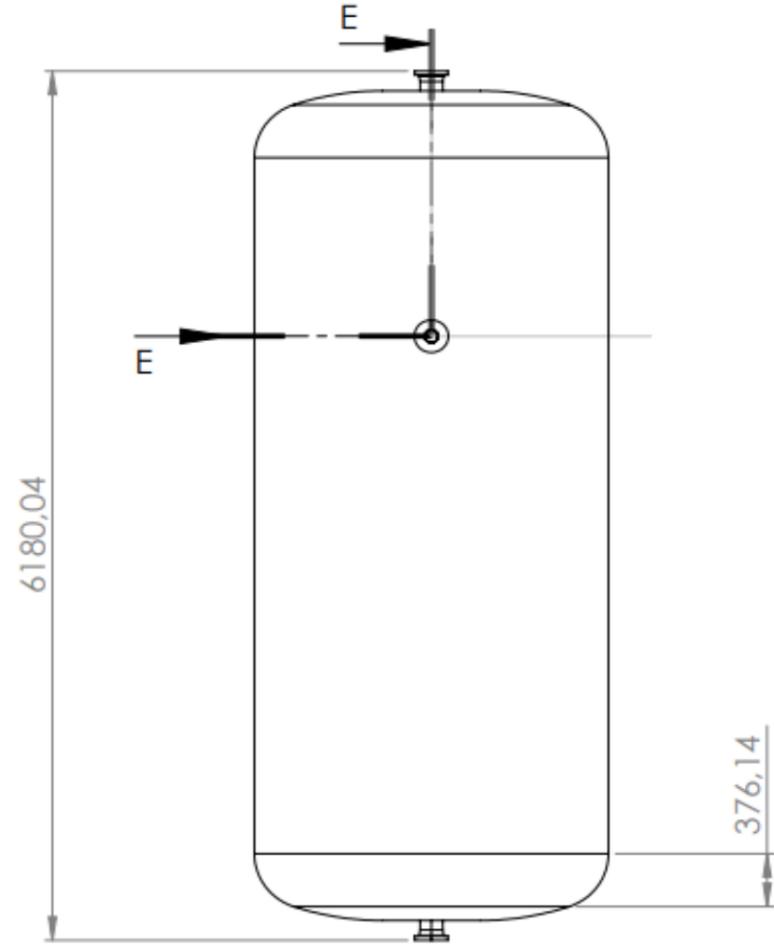
TAMAÑO PAPEL:
A3

INGENIERÍA QUÍMICA
 UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

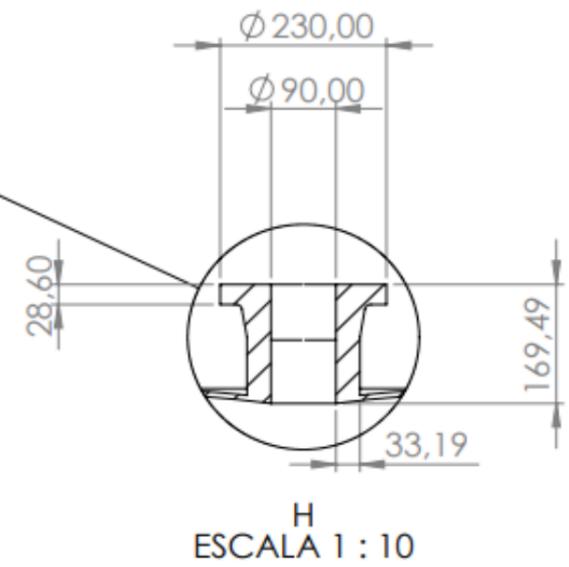
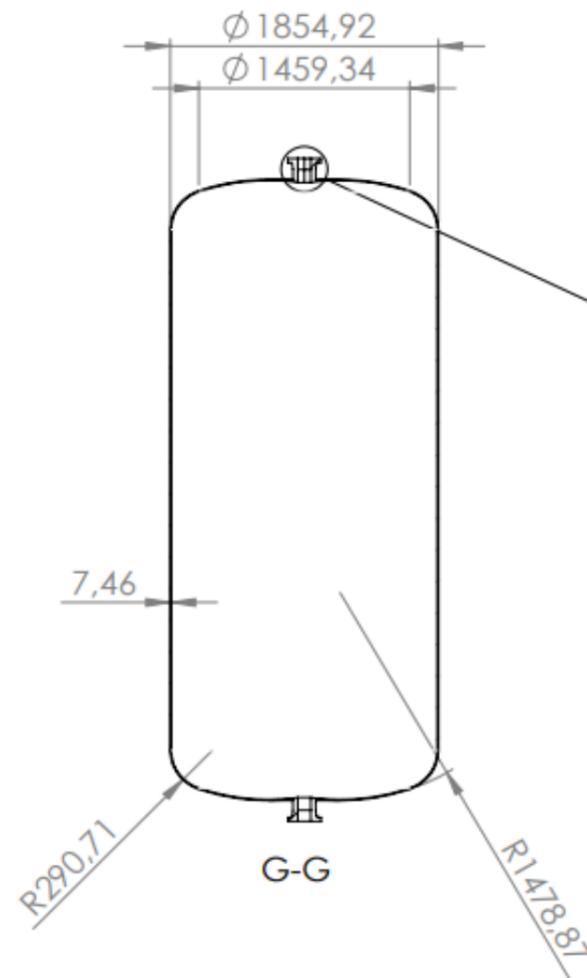
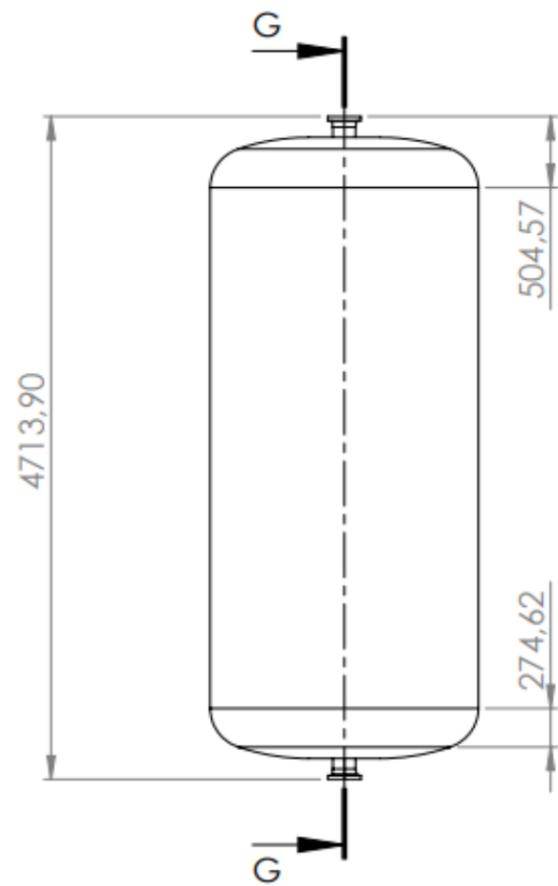


FECHA:
JULIO 2021

NÚMERO DE PLANO:
2



TÍTULO DEL PROYECTO: DISEÑO DE LA UNIDAD DE IMPREGNADO PARA LA EXPANSIÓN DE TABACO MEDIANTE DIÓXIDO DE CARBONO		INGENIERÍA QUÍMICA UNIVERSIDAD DE CÁDIZ 
TÍTULO DEL PLANO: TANQUE DE ALTA PRESIÓN T1		
REALIZADO POR: FRANCISCO JAVIER ALTAMIRANO PLEITÉ		FECHA: JULIO 2021
DNI: 77179482S		
ESCALA: 1:50	SISTEMA DE PROYECCIÓN: 	TAMAÑO PAPEL: A3
		NÚMERO DE PLANO: 3



TÍTULO DEL PROYECTO:
**DISEÑO DE LA UNIDAD DE IMPREGNADO PARA
 LA EXPANSIÓN DE TABACO MEDIANTE DIÓXIDO DE CARBONO**

TÍTULO DEL PLANO:
TANQUE DE BAJA PRESIÓN T2

REALIZADO POR:
FRANCISCO JAVIER ALTAMIRANO PLEITÉ

DNI: **77179482S**

ESCALA:
1:50

SISTEMA DE PROYECCIÓN:

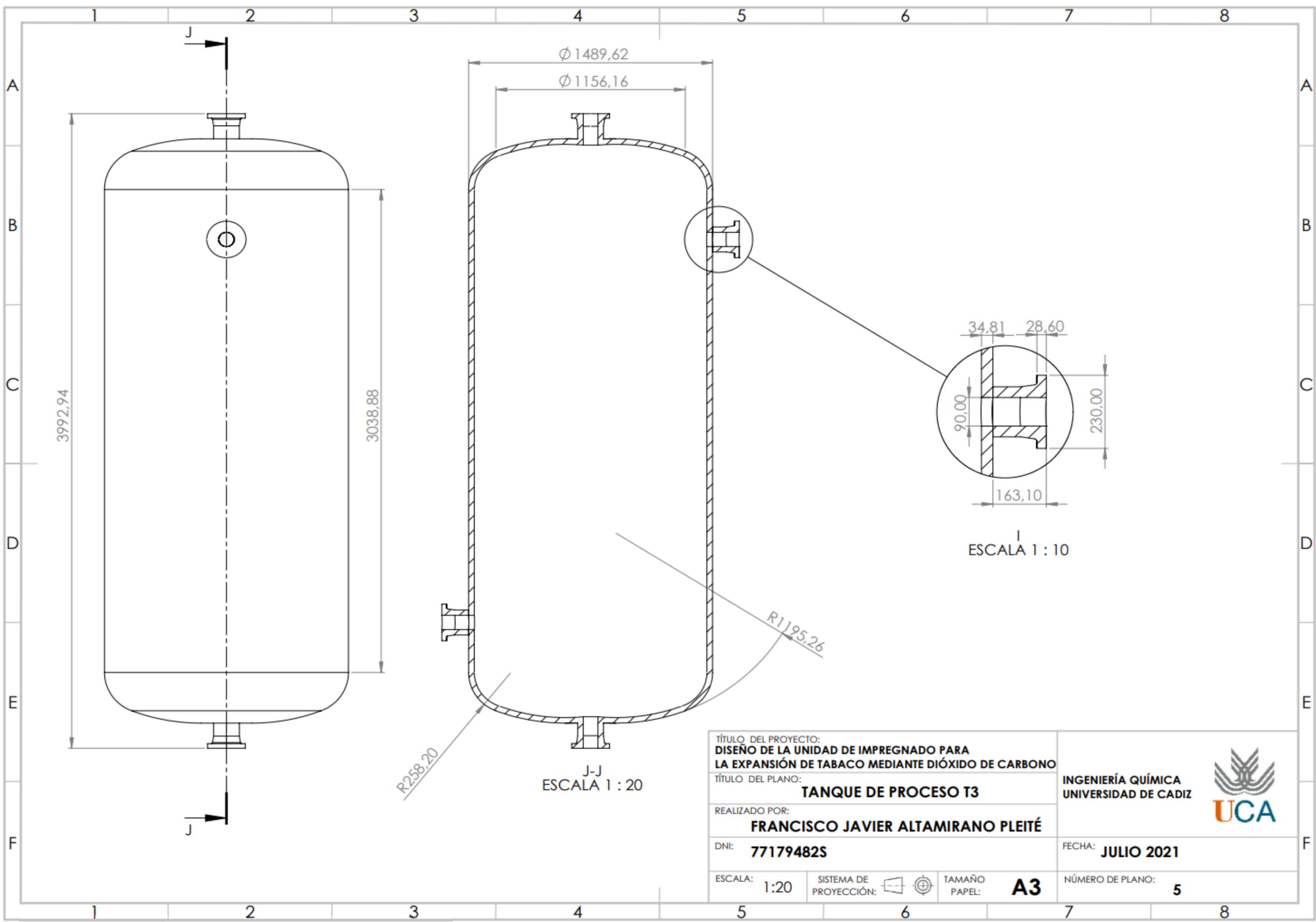
TAMAÑO PAPEL: **A3**

INGENIERÍA QUÍMICA
 UNIVERSIDAD DE CÁDIZ



FECHA: **JULIO 2021**

NÚMERO DE PLANO: **4**



TÍTULO DEL PROYECTO:
**DISEÑO DE LA UNIDAD DE IMPREGNADO PARA
 LA EXPANSIÓN DE TABACO MEDIANTE DIÓXIDO DE CARBONO**

TÍTULO DEL PLANO:
TANQUE DE PROCESO T3

REALIZADO POR:
FRANCISCO JAVIER ALTAMIRANO PLEITÉ

DNI: **77179482S**

ESCALA: 1:20 SISTEMA DE PROYECCIÓN:  TAMAÑO PAPEL: **A3**

INGENIERÍA QUÍMICA
 UNIVERSIDAD DE CÁDIZ



FECHA: **JULIO 2021**

NÚMERO DE PLANO: **5**

DOCUMENTO 4:
PLIEGO DE
CONDICIONES

ÍNDICE- PLIEGO DE CONDICIONES

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.....	5
1.1 OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES	5
1.2. DOCUMENTOS DEL PROYECTO.....	5
1.3 NORMATIVA APLICABLE	6
2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS.....	7
2.1 DISPOSICIONES GENERALES	7
2.2 TÉRMINOS DEL PLIEGO DE CONDICIONES	7
2.3 INTERPRETACIÓN TÉCNICA.....	7
2.4 OBLIGACIONES Y DERECHOS DEL CONTRATISTA	8
2.5 FACULTADES EN LA DIRECCIÓN DE LA OBRA	9
2.6 LIBRO DE ÓRDENES	10
2.7 INICIO DEL TRABAJO	10
2.8 REPLANTEO	10
2.9 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.....	11
2.10 MAQUINARIA Y EQUIPOS.....	11
2.11 CONTROL DE CALIDAD	11
2.12 ENSAYOS	12
2.13 MATERIALES.....	12
2.14 ALMACENAMIENTO.....	13
2.15 PARTIDAS DE ALZADA	13
2.16 RECEPCIÓN PROVISIONAL DE LAS OBRAS.....	13
2.17 PERIODO DE GARANTÍAS.....	13
2.18 RECEPCIÓN DEFINITIVA.....	14
2.19 DOCUMENTACIÓN FINAL DE LA OBRA.....	14
3. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS	15

3.1 FIANZAS	15
3.2 PRECIO.....	15
3.2.1 COMPOSICIÓN DE PRECIOS UNITARIOS	15
3.2.2 PRECIOS CONTRADICTORIOS.....	16
3.2.3 RECLAMACIÓN DEL AUMENTO DE PRECIOS	16
3.2.4 REVISIÓN DE LOS PRECIOS CONTRATADOS.....	16
3.3 MEJORAS Y MODIFICACIONES.....	16
3.4 PENALIZACIONES.....	16
3.5 SEGUROS Y CONSERVACIÓN DE LA OBRA.....	17
3.6 CONDICIONES DE PAGO	17
4. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES LEGALES.....	18
4.1 DISPOSICIONES LEGALES	18
4.2 CONTRATISTA.....	18
4.2.1 OBLIGACIONES.....	18
4.2.2 RESPONSABILIDAD	19
4.3 CONTRATO.....	19
4.4 ADJUDICACIÓN.....	19
4.5 ARBITRAJE Y JURISTICCION COMPETENTE.....	20
4.6 LEYES LABORALES DE ACCIDENTES EN EL TRABAJO	20
4.7 MANO DE OBRA	20
4.8 SUBCONTRATAS	20
4.9 DAÑOS EN PROPIEDADES VECINAS.....	21
4.10 RESCISIÓN DE CONTRATO.....	21
5. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES	22
5.1 DISPOSICIONES DE CARÁCTER PARTICULAR	22
5.2 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	22
5.3 MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE EQUIPOS.....	23

5.4 EQUIPOS Y MAQUINARIA	27
5.5 CONDICIONES DE EJECUCIÓN	27
5.6 ESPECIFICACIONES PARTICULARES DE LOS EQUIPOS	27
5.6.1 ESPECIFICACIONES DE LOS IMPREGNADORES.....	28
5.6.2 ESPECIFICACIONES DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO ₂	28
5.6.3 ESPECIFICACIONES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR IC1	29
5.6.4 ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA B1	30
5.6.5 ESPECIFICACIONES DEL SILENCIADOR S1.....	30
5.6.6 ESPECIFICACIONES DE LOS COMPRESORES	30
5.6.7 ESPECIFICACIONES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	31

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1 OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES

El Pliego de Condiciones establece las condiciones técnicas, económicas, administrativas y legales para que el objeto del presente TFG: “Diseño de la unidad de impregnado para la expansión de tabaco mediante dióxido de carbono”; pueda llevarse a cabo en las condiciones especificadas sin dar lugar a ambigüedades.

El presente Documento se elabora en base a la normativa vigente, no contradiciendo leyes, normas y ordenanzas nacionales o locales, sino complementándolas en aquellos aspectos específicos del proyecto.

1.2. DOCUMENTOS DEL PROYECTO

Los documentos de este TFG que definen las obras y que la propiedad entrega al contratista pueden ser de carácter contractual o meramente informativo. Son documentos contractuales aquellos que están incorporados al contrato y que sean de obligado cumplimiento, a excepción de modificaciones debidamente autorizadas.

El presente TFG está compuesto por los siguientes documentos:

- Memoria descriptiva
- Anexos
- Planos
- Pliego de Condiciones
- Mediciones
- Presupuesto
- Estudio Preliminar de Impacto Ambiental
- Estudio Básico de Seguridad y Salud

De los citados, son documentos contractuales los Planos, el Pliego de Condiciones y el Presupuesto. La Memoria descriptiva y Anexos tienen carácter meramente informativo.

Lo expuesto en el Pliego de Condiciones debe prevalecer sobre las contraindicaciones u omisiones que con relación a él puedan existir en los documentos que conformen el proyecto de obra.

Las omisiones en Planos y Pliegos de Condiciones Técnicas, o las descripciones erróneas de los detalles de la obra que sean indispensables para completar las mismas según la normativa vigente o simplemente el buen uso y costumbre, no exime al contratista de la obligación de ejecutarlas y deberá realizarlas, además, como si hubiera sido completa y debidamente especificados en dichos documentos.

1.3 NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicable al presente TFG se agrupa en:

- Normas aplicadas al diseño de las unidades y equipos:

- Normas ASME: Código ASME Sección VIII División 1, para el diseño de recipientes a presión.
- Normas ANSI/ASME: Norma ANSI/ASME B16,5 para el diseño de bridas.
- Normas DIN: DIN-28013 para el dimensionamiento de cabezales.

- Normas aplicadas al Estudio Preliminar de Impacto Ambiental:

- Normativa Estatal:

- Real Decreto 678/2014, de 1 de agosto, relativo a la mejora de la calidad del aire.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.

- Normativa Andaluza:

- Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía.

- Normas aplicadas al Estudio Básico de Seguridad y Salud:

- La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre que las disposiciones mínimas de seguridad y de salud aplicables a las obras de construcción.

Como norma general, se debe cumplir la norma más restrictiva, excepto cuando haya un conflicto entre ellas, debiéndose cumplir aquella que posea un mayor rango jurídico.

2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS

2.1 DISPOSICIONES GENERALES

Se establecen las siguientes disposiciones generales:

- Ley de contrato de trabajo y disposiciones vigentes que regulan las relaciones patrón-obrero.
- Reglamento de contratación de competencias locales.
- Ordenanza Laboral de Seguridad e Higiene en el trabajo, así como otra con carácter general.
- Ley, Reglamento y Pliego de contrataciones del Estado.
- Pliego de Cláusulas económico-administrativas particulares.

De haber contradicción entre dichas disposiciones y el presente Documento, prevalecerá lo contenido en éste.

2.2 TÉRMINOS DEL PLIEGO DE CONDICIONES

Propiedad: Los derechos de este TFG corresponden a la empresa o autoridad pública que decida incorporar este proceso a escala de demostración.

Dirección de Obra: Está constituida por el Titulado Superior y Titulado Medio que designa la propiedad en su momento. Tiene como objetivo representar a la Propiedad, defender sus intereses y establecer las relaciones contractuales con el Contratista encargado de la obra del Proyecto. Su función es asegurar que la obra se reproduzca tal y como se estipula en el Pliego, así como con su intervención se garantiza el estado de los equipos, inspección de materiales, su perfecto funcionamiento y el apoyo técnico al Contratista.

Contratista: Entidad fiscal que contrata con la Propiedad la ejecución material de toda la obra o parte de ella. Cuando en el Pliego se refiere al Contratista, no incluye a las subcontratas que éste haya podido a su vez realizar. No podrá hacer uso de la documentación del Proyecto para cualquier otro fin diferente a su desarrollo.

2.3 INTERPRETACIÓN TÉCNICA

La dirección facultativa de las obras e instalaciones recaerá sobre el ingeniero técnico o superior nombrado por la propiedad en su representación, sobre quién recaerán las labores de dirección,

control y vigilancia de las obras del presente proyecto. Las funciones de dicho ingeniero son las siguientes:

- Garantizar la ejecución de las obras ciñéndose al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.
- Definir las condiciones técnicas que en el presente Pliego de Condiciones se dejen a su decisión.
- Resolver las condiciones técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de los planos, condiciones de los materiales y ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifique las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconseje su modificación, tramitando en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con la misma.
- Asumir bajo su responsabilidad, en caso de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, por lo cual, el contratista deberá poner a su disposición y servidumbre relacionados con la misma.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- Participar en las recepciones provisionales y definitivas, así como la redacción de la liquidación de las obras conforme a las normas legales.

2.4 OBLIGACIONES Y DERECHOS DEL CONTRATISTA

Un jefe de obras será designado por el contratista como representante suyo autorizado el cual cuidará de los trabajos. Cualquier cambio que el contratista desee realizar respecto a sus representaciones y personal cualificado, y en especial, del jefe de obras, deberá ser comunicado a la dirección facultativa.

El contratista estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará a la dirección facultativa en las visitas que haga a la obra. Así mismo, asistirá a las reuniones de obra que se convoquen, no pudiendo justificar por motivo de ausencia ninguna reclamación a las órdenes cruzadas por la dirección facultativa.

Al contratista se le entregará tres copias de todos los planos necesarios para la ejecución del trabajo. De querer más copias, se le entregará cargándole un coste extra.

Se asume que el contratista ha comprobado el lugar de construcción y los planos y está conforme con las condiciones en que habrá que ejecutarse el trabajo.

El contratista deberá conocer las disposiciones laborales que pueden ser de aplicación en la realización del trabajo y cumplirlas. Además, proporcionará un número suficiente de operarios competentes y el personal supervisor y administrativo necesario a fin de cumplir con el programa de construcción.

El contratista debe cumplir las indicaciones del libro de órdenes, el cual recoge todas y cada una de las modificaciones y órdenes que se dictan en cada momento.

La propiedad notificará al contratista la reglamentación que afecte a visitas, accesos, entrada de automóviles en el recinto de la obra, pases especiales y zonas prohibidas de la línea de proceso.

Será por cuenta del contratista los gastos que a continuación se dictan:

- Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.
- Los gastos de alquiler o adquisición de terreno para depósito de materiales y maquinaria.
- Los gastos de protección de acopio y de la propia obra contra deterioro, daño o incendio, cumpliendo con los requisitos vigentes para proporcionar seguridad dentro de las obras.
- Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basura.
- Los gastos de suministro, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.
- Los gastos de montaje, conservación y retirada de instalaciones para el suministro de agua y la energía eléctrica necesaria para las obras.
- Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales
- Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

2.5 FACULTADES EN LA DIRECCIÓN DE LA OBRA

La interpretación del proyecto y proposición de ordenes complementarias que faciliten la ejecución del mismo son competencia de La Dirección de Obra. Ésta podrá ordenar, antes de la ejecución de las obras, las modificaciones de detalle del Proyecto que crea oportunas siempre que no altere las líneas generales de éste, no exceda la garantía técnica y sean razonables aconsejadas por

eventualidades surgidas durante la ejecución de los trabajos o por mejoras que crea conveniente introducir.

El Contratista deberá dar el visto a bueno a todas las alteraciones técnicas o presupuestarias derivadas de estas posibles modificaciones. Toda modificación del Proyecto propuesta por el Contratista deberá ser previamente aprobada por la Dirección de Obra, la cual evaluará antes de su aprobación o desaprobación, aceptando el primero la resolución adoptada.

2.6 LIBRO DE ÓRDENES

En él se reflejan las visitas realizadas por la Dirección de Obra, las incidencias surgidas y en general, todos aquellos datos que sirven para determinar si el Contratista ha cumplido los plazos y fases de ejecución previstas para la realización del Proyecto.

Las anotaciones en dicho libro deben ser fehacientes a efectos de determinar eventuales causas de resolución y además incidencias del contrato. De no estar conforme el Contratista, podrá alegar en su defensa todas aquellas razones y circunstancias que apoyen su postura, aportando las pruebas que estime oportunas.

2.7 INICIO DEL TRABAJO

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos, veinticuatro horas antes de su iniciación.

El Adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dará cuenta al Ingeniero Director del día en que se propone iniciar los trabajos, debiendo éste dar acuse de recibo.

2.8 REPLANTEO

La Dirección de Obra, en presencia del Contratista, replanteará las obras marcando convenientemente sobre el terreno todos los puntos de referencia para su ejecución.

El Contratista debe de hacerse cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

Todas las modificaciones serán obligatorias para el Contratista siempre que, con los precios del contrato, no alteren el Presupuesto de Adjudicación en más de los porcentajes previstos en la Ley

de Contratos del Estado y su reglamento de Aplicación vigentes, tanto por exceso como por defecto. En este caso, el Contratista no tendrá derecho a ninguna variación en los precios, ni a las indemnizaciones de ningún género por supuestos perjuicios que le puedan ocasionar las modificaciones en el número de unidades de obra o en plazo de ejecución.

2.9 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

El Contratista dará comienzo a las obras en un plazo de siete días desde la formalización del contrato, salvo que dicha fecha quedara expresamente determinada en el mismo.

La fecha de comienzo así fijada contará a efectos de plazos de ejecución y de revisión de precios en el supuesto de que tal revisión se hubiese pactado.

El Contratista presentará junto a su oferta económica un calendario de los trabajos a ejecutar en el que se precisará el tiempo necesario para ejecutar la totalidad de la obra y de cada una de sus correspondientes partes.

El plazo en el que se compromete el Contratista a ejecutar las obras quedará fijado en el contrato y su incumplimiento se entenderá como rescisión unilateral e injustificada del mismo.

2.10 MAQUINARIA Y EQUIPOS

El contratista está obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que se comprometa a aportar en la licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos deberán ser aprobados por el Director.

La maquinaria y demás de trabajo deberán estar en perfectas condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del director.

2.11 CONTROL DE CALIDAD

Los elementos de la instalación que no tienen necesidad de poner en servicio al conjunto de la propia instalación serán objeto de prueba tan pronto como se hayan acabado.

Se someterán las obras a pruebas de resistencia, estabilidad e impermeabilidad. Del mismo modo, el Contratista procederá a la puesta a punto de la instalación, verificándose pruebas generales de su funcionamiento y efectividad de tratamiento.

Dichas pruebas se efectúan a pleno rendimiento de la instalación o parte de la misma a la que afecte la prueba. Para ello:

- Se pondrá en marcha las bombas impulsando agua para asegurar que éstas y el sistema de control del caudal impulsado y el nivel de llenado de los equipos funcionan correctamente.
- Se comprobará la no existencia de pérdidas térmicas y de caudal en los tramos de tuberías. Así como pruebas de estanqueidad de los equipos, en primer lugar, con agua.
- Se comprobará el buen funcionamiento de los sensores del sistema de control, verificándolos con los paneles de control.

2.12 ENSAYOS

La Dirección de Obra determinará los materiales que deban ser ensayados antes de su utilización y el tipo y normas de ensayo, así como donde deben realizarse los mismos y el número total de ensayos a efectuar.

El Contratista debe tomar las medidas oportunas, de las que dará cuenta a la Dirección de Obra para distinguir los materiales aceptados o rechazados durante los ensayos de recepción. Los materiales rechazados deberán ser eliminados de forma que no se perturbe el ritmo de las obras.

2.13 MATERIALES

El Contratista deberá suministrar todos los materiales que se hayan de emplear en las obras, salvo que se exprese lo contrario en los Planos o Pliego de Condiciones. La Dirección de Obra se reserva el derecho de rechazar aquellos materiales que provengan de lugares cuyos productos no ofrezcan la suficiente garantía a su juicio.

Si el volumen de la obra, la marcha de la construcción y otras consideraciones lo justifican, el ingeniero puede proceder a la inspección del material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.

Con objeto de facilitar la inspección y prueba de los materiales, el contratista notificará al ingeniero como mínimo con dos semanas de antelación a la entrega.

Aquellos materiales que no se ajusten a los requisitos del Pliego de Condiciones se considerarán defectuosos y, por tanto, se retirarán inmediatamente de la obra, a menos que el ingeniero ordene lo contrario. Los materiales rechazados, cuyas irregularidades se hayan corregido sustancialmente, no se utilizarán mientras no se les haya otorgado la aprobación.

2.14 ALMACENAMIENTO

El Contratista debe cuidar convenientemente el almacenamiento de los materiales, siendo de su responsabilidad el reponer aquellos que presenten defectos o estén en malas condiciones debido a deficiencias de almacenaje u otras causas. Los daños producidos en los materiales por fenómenos meteorológicos, inundaciones, corrimientos de tierras, etc., los producidos por animales o plantas, por vehículos o tráfico, serán también de cuenta del contratista, que deberá montar el servicio de guardia preciso y garantizar la seguridad de los almacenes.

La Dirección de Obra podrá pedir al Contratista que se realicen ensayos periódicos, especialmente poco tiempo antes de utilizar aquellos materiales que sean más susceptibles de sufrir daño durante el almacenaje, como los conglomerantes hidráulicos, material electrónico, etc.

El hecho de haberse realizado los ensayos de recepción correspondientes, no le exime al Contratista de la obligación de subsanar o reponer parcial o totalmente, aquellos materiales que puedan haberse estropeado durante su almacenamiento.

2.15 PARTIDAS DE ALZADA

Una partida de alzada es una unidad de obra cuyo precio se fija en una cifra arbitraria que es el resultado de una evaluación rigurosa y sistemática, en función de la medición.

Para la ejecución material de las partidas se deberá obtener la aprobación de la Dirección de Obra. A tal efecto, antes de proceder a la ejecución, se someterá a su consideración el detalle desglosando del importe de las mismas y si resultarse conforme podrán realizarse.

2.16 RECEPCIÓN PROVISIONAL DE LAS OBRAS

Terminado el periodo de la prueba de funcionamiento con resultados satisfactorio se procederá a la recepción provisional de la forma que dispone de la legislación vigente.

2.17 PERIODO DE GARANTÍAS

El Contratista garantiza por lo general todas las obras que ejecuta, así como los materiales empleados en ella y su correcta manipulación. El plazo de garantía será de doce meses, a no ser que se especifique otro periodo en el Proyecto.

2.18 RECEPCIÓN DEFINITIVA

Dentro del mes siguiente al cumplimiento del plazo de garantía, se procederá a la recepción definitiva de las obras.

2.19 DOCUMENTACIÓN FINAL DE LA OBRA

El Contratista deberá entregar antes de la Recepción Definitiva tres ejemplares del documento elabora a la Dirección de Obra. Dicho documento deberá recoger todas las incidencias acaecidas en la obra desde su inicio hasta su finalización, así como aquellas modificaciones que durante el transcurso de la mismas hayan tenido lugar.

3. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS

Todas las unidades de obra se medirán y abonarán por su volumen, superficie, longitud y peso. Si el Contratista construye un mayor volumen del que corresponde en los dibujos que figuran en los Planos, no se abonará este exceso. Las obras auxiliares, las construcciones que deban ser rehechas y los útiles y herramientas necesarias para la ejecución de las obras correrán a cargo del Contratista.

Todos lo que intervienen en el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

3.1 FIANZAS

El Contratista prestará fianza que corresponderá con un depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario, por importe del 5% del precio total de contrata.

La fianza será devuelta al contratista en un plazo que no excederá los treinta días una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra.

De negarse el Contratista a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en nombre y representación del propietario, os ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

3.2 PRECIO

3.2.1 COMPOSICIÓN DE PRECIOS UNITARIOS

Todos los precios unitarios se entienden valorados para cada partida totalmente terminada y, en el caso de equipos y maquinaria funcionando, están comprendidos en ella la parte proporcional de costes de puesta a punto, permisos, boletines, licencias, tasas, suministros para pruebas, etc.

3.2.2 PRECIOS CONTRADICTORIOS

Surgirán precios contradictorios cuando la propiedad por medio del director de obra decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista. el contratista estará obligado a efectuar los cambios.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de Obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que se determine en el Pliego de Condiciones.

3.2.3 RECLAMACIÓN DEL AUMENTO DE PRECIOS

Si antes de la firma del contrato el Contratista no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

3.2.4 REVISIÓN DE LOS PRECIOS CONTRATADOS

Se usarán los últimos índices oficiales de revisión de precios que hayan sido aprobados por la Comisión Delegada de Asuntos Económicos y que hayan sido publicados en el BOE.

3.3 MEJORAS Y MODIFICACIONES

Debe ser conocida y aprobada por la Dirección de Obra cualquier modificación en las unidades de obra que suponga la realización de distinto número de aquellas, en más o menos de las figuradas en el estado de mediciones y presupuesto. Deberá además de constar en el Libro de Órdenes tanto la autorización como la comprobación posterior de su ejecución.

3.4 PENALIZACIONES

Si una vez finalizado el plazo de ejecución de las obras, éstas no hubieran terminado sin un motivo justificado por parte de la contrata, se aplicarán los siguientes recargos a imputar al contratista desde la fecha de finalización de las obras:

- Por día natural de retraso un 0,1% del total de los trabajos contratados, hasta el día 30, y se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

- A partir del día 31 hasta el día 60 la penalización por día natural de retraso será de un 0,5% del valor al que ascienda la fianza.

Pasados estos plazos se rescindirá el contrato quedando obligado el contratista a responder por daños y perjuicios a esta entidad. De igual manera se actuará en caso de que se dé incumplimiento del contrato por parte del contratista.

3.5 SEGUROS Y CONSERVACIÓN DE LA OBRA

El Contratista deberá proceder en todo momento en función de los mejores intereses de la Propiedad y protegerá en toda su capacidad la propiedad, equipo y herramientas de este último.

El contratista mantendrá en vigor, y a su costa, durante el periodo de construcción y de pruebas, los siguientes seguros:

- De accidentes de trabajo y demás seguros sociales de su personal, según la legislación vigente.
- De daños que puedan sufrir las obras provisionales realizadas durante el periodo de construcción y de pruebas, incluyéndose la cobertura de riesgos catastróficos.
- Seguro obligatorio de vehículos a motor, propio o contratados que intervengan en los trabajos de construcción a todo riesgo, con garantía de responsabilidad civil limitada.

3.6 CONDICIONES DE PAGO

Los pagos se realizarán mensualmente por el 100% del importe de la certificación aprobada respecto a unidades de obra completadas correspondiente al mes anterior.

Las cantidades retenidas serán reintegradas por la propiedad al contratista una vez cumplido el plazo de garantía, siempre que no se haya observado ningún defecto en la ejecución de los trabajos realizados, mala calidad de los materiales utilizados y se haya firmado el acta de recepción definitiva.

4. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES LEGALES

4.1 DISPOSICIONES LEGALES

Se disponen de las siguientes:

- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.M. 9 de Marzo de 1971).
- Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 843/2011 de los servicios médicos de empresa
- Reglamento Electrotécnico de Líneas Baja Tensión (O.M. 20-IX-73)
- Real Decreto 223/2008 de líneas eléctricas aéreas de alta tensión.
- Convenio Colectivo Provincial del Sector de la Construcción y Estatuto de los Trabajadores (28 de Febrero de 2012)
- Real Decreto 1627/1997 de obligatoriedad de la Inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Proyectos de Edificación.
- Las normas que estén en vigor en el momento.

Es de cumplimiento obligado además cuanto la Dirección de Obra dicte encaminado a garantizar la seguridad de los obreros y de la obra en general.

4.2 CONTRATISTA

4.2.1 OBLIGACIONES

El Contratista debe acreditar su capacidad técnica para la realización de la obra ante la Propiedad mediante la información que se detalla a continuación:

- Lista de obras realizadas.
- Lista de equipamiento y maquinarias.
- Personal a emplear.

Esta documentación debe ser de conformidad de la Propiedad y constituirá una razón para la denegación de la obra.

4.2.2 RESPONSABILIDAD

De la calidad y buena ejecución de las obras contratadas, el Contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio que pudieran costarle, ni por las erradas maniobras que cometiera durante la construcción, siendo a su cuenta y riesgo independientemente de la inspección que de ellas haya podido haber hecho el Técnico Director de Obra.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan, para evitar en lo posible accidentes a los obreros o a los viandantes, en todos los lugares peligrosos de la obra.

Así mismo, será responsable ante los tribunales de los accidentes que por inexperiencia o descuido sobrevinieran en el curso de las obras, debiendo atenerse en todo a las normas de prudencia, así como a las disposiciones y Reglamentos de Policía de la materia.

Las multas y fianzas que también correrán a cargo del Contratista se estipularán tras la firma del Programa de Trabajo, y se aplicarán con rigurosidad la cantidad que se estipule.

El Contratista proporcionará toda clase de facilidades a la Dirección Técnica para el replanteo, reconocimiento, mediciones, pruebas de materiales e inspecciones visuales de la ejecución de todas las unidades de obra, con objeto de comprobar el cumplimiento de las condiciones exigibles.

El único responsable será el Contratista en cuanto al pago de todos los impuestos, derechos, tasas, contribuciones y cargas sociales previstos por las leyes del país donde se ejecute la obra, por lo que tiene la obligación de ser conocedor de las mismas. Se considera que todos los precios consignados en la oferta cubren los pagos de los mismos sin excepción alguna.

4.3 CONTRATO

Debe ser firmado dentro de los diez días de notificación de la adjudicación.

4.4 ADJUDICACIÓN

La forma de adjudicación será mediante subasta cerrada. Las ofertas se evalúan sobre la base de las condiciones legales, técnicas, económicas y financieras establecidas en las mismas.

A los efectos de formular el ordenamiento prioritario de las ofertas con vistas a la adjudicación, se considerarán los aspectos siguientes:

- Documentación técnica
- Condiciones económica-financieras.
- Precio final.
- Tiempo de ejecución de la obra.

4.5 ARBITRAJE Y JURISTICION COMPETENTE

La Propiedad designará una Dirección Técnica a la que el Contratista comunicará por escrito el nombre del delegado del Contratista o jefe de obra (nombramiento que deberá ser aprobado por la Dirección Técnica).

4.6 LEYES LABORALES DE ACCIDENTES EN EL TRABAJO

El contratista viene obligado a cumplir rigurosamente todas las legislaciones vigentes, o que puedan dictarse en el curso de los trabajos.

Además, debe tener a todo el personal a sus órdenes debidamente asegurado contra accidentes de trabajo, debiendo así probarlo si a ello fuera invitado por la Dirección Técnica o la Propiedad.

4.7 MANO DE OBRA

El contratista deberá tener siempre en la obra un número de operarios proporcional a la extensión y clase de los trabajos a juicio de la Dirección Técnica. Estos serán de aptitud reconocida experimentados en su oficio y en todo momento habrá en obra un técnico o encargado apto que vigile e interprete los planos, y haga cumplir las órdenes de la Dirección y cuanto en este Pliego se especifica.

4.8 SUBCONTRATAS

El Contratista no subcontratará ni se asociará a terceros para la ejecución del trabajo sin aprobación previa por escrito de la Propiedad. Esta aprobación no eximirá al Contratista de sus responsabilidades ni obligaciones que se derivan del contrato.

4.9 DAÑOS EN PROPIEDADES VECINAS

Si se causara algún desperfecto durante las obras en las propiedades colindantes, tendrá que repararla el Contratista por su cuenta. Así mismo, adoptará cuantas medidas sean necesarias para evitar la caída de materiales o herramientas que puedan causar accidentes.

4.10 RESCISIÓN DE CONTRATO

De producirse una rescisión, se regirá por el Reglamento General de Contratación para la Aplicación de la Ley de Contratos de Estado, por el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales y demás disposiciones vigentes.

Serán causa de rescisión los siguientes motivos:

- Si existen alteraciones del contrato como modificaciones del proyecto que represente alteraciones fundamentales, modificación de las unidades de obra en número superior al 50% del total, cuando se cumpla el plazo final de las obras y falte por ejecutar más del 20% del presupuesto de la obra.
- Si se suspende la obra una vez comenzada.
- Si se abandona la obra sin causa justificada .
- Si se incumple las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe con perjuicio de los intereses de las obras.
- Quiebra o incapacidad económica por parte del Contratista.
- Si fallece o se incapacita el Contratista.

5. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

En este capítulo se dan las normas que han de cumplir los materiales, maquinaria y equipos que intervienen en las obras y cómo se realizan.

En la mayoría de los casos existen normas legales que regulan el empleo de los materiales y su ejecución; si así sucede, es suficiente elegir un material de los especificados en la norma correspondiente e indicar que ese material la ha de cumplir.

La aplicación y referencia a las normas reduce y simplifica la redacción de este capítulo del Pliego.

5.1 DISPOSICIONES DE CARÁCTER PARTICULAR

Las disposiciones de carácter particular y de ámbito técnico son:

- Normativa de Asociación Española de Normalización (AENOR).
- Normas Tecnológicas de Edificación:
 - Instalaciones de fontanería. Abastecimiento (IFA).
 - Instalaciones de salubridad. Alcantarillado (ISA).
 - Instalaciones eléctricas. Puesta en tierra (JET)

5.2 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Todos los materiales que se empleen en la construcción han de cumplir con las normas que se encuentran en el Catálogo de Normas UNE de 1992.

Para aquellos materiales que no estén especificados, se seguirán las instrucciones de la Dirección Técnica.

Estos materiales además podrán ser sometidos a pruebas o análisis por cuenta de la contrata que se crean necesarios para acreditar su calidad. Por lo que aquel material que a razón de la Dirección Técnica no reúna las condiciones exigidas será rechazado.

Los materiales de construcción que se basan en esta norma son:

- Cemento.
- Hormigón.
- Producto cerámico para la construcción.

- Producto de cemento reforzado con fibras.
- Prefabricados de cemento y caucho.
- Pinturas y barnices.
- Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción.
- Materiales impermeabilizantes para la construcción.
- Materiales refractarios.

5.3 MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE EQUIPOS

Los materiales que se han empleado en el diseño de los equipos son:

- Acero inoxidable SA240 tipo 304 para el diseño de los Impregnadores y tanques de almacenamiento de CO₂.
- Acero SA350 para el diseño de las boquillas para las aberturas de los tanques.

Las diferentes normas a las que están sujetos los materiales para la fabricación de los equipos y ensayos de estos materiales son:

- UNE 10240:1998: Recubrimientos de protección internos y/o externos para tubos de acero. Especificaciones para recubrimiento galvanizados en caliente aplicados en plantas automáticas.
- UNE 112022:1993: Recubrimientos metálicos. Recubrimientos electrolíticos de cromo. Ensayo de corrosión electrolítica (ensayo, etc.).
- UNE 112039:1994: Recubrimientos de aleación de estaño-níquel. Especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE 112040:1994: Recubrimiento electrolítico de aleación estaño-plomo. Especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE 12667:2002: Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica.
- UNE 92227:1989: Materiales aislantes térmicos. Determinación de la absorción de agua por el método de vacío.
- UNE-CEN/TR 15729:2014 IN: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Plásticos termoestables reforzados con fibra de vidrio (PRFV) basados en resinas de poliéster insaturado (UP). Informe sobre la determinación de la abrasión media tras un número definido de ciclos de ensayo.
- UNE-EN 10257-1:2012: Alambres de acero no aleado recubiertos de cmc o aleaciones de cinc para armado de cables para el transporte de energía o cables para telecomunicaciones.

- UNE-EN 10289:2001: Métodos de ensayo de corrosión de recubrimientos metálicos y no orgánicos sobre sustratos metálicos. Clasificación de probetas y piezas de protección sometidas a ensayos de corrosión.
- UNE-EN 1119:2009: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Juntas de unión para tubos y accesorios de plástico termoestable reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Métodos de ensayo de estanquidad y de resistencia al fallo de juntas flexibles no resistentes a la tracción y elementos elastoméricos de estanquidad.
- UNE-EN 1120:1996: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Tubos y accesorios de plástico termoestable reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Determinación de la resistencia al ataque químico desde el interior de un segmento de tubo sometido a deflexión.
- UNE-EN 1228:1996: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Tubos de plástico termoestable reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Determinación de la rigidez circunferencial específica inicial.
- UNE-EN 1229:1996: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Tubos y accesorios de plástico termoestable reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Métodos de ensayo para comprobar la estanquidad de la pared sometida a una presión interna a corto plazo.
- UNE-EN 12502-3:2005: Protección de materiales metálicos contra la corrosión. Recomendaciones para la evaluación del riesgo de corrosión en sistemas de distribución y almacenamiento de agua. Parte 3: Factores que influyen para materiales féreos galvanizados en caliente.
- UNE-EN 13121-1:2004: Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Parte 1: Materias primas. Condiciones de especificación y condiciones de aceptación.
- UNE-EN 13121-2:2004: Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Parte 2: Materiales compuestos. Resistencia química.
- UNE-EN 13121-3:2009+A1:2010/AC:2012: Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Parte 3: Diseño y fabricación.
- UNE-EN 13121-4:2005/AC:2007: Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Parte 4: Entrega, instalación y mantenimiento.
- UNE-EN 13467:2002: Productos aislantes térmicos para equipos de edificación e instalaciones industriales. Determinación de las dimensiones, rectangularidad y linealidad de coquillas aislantes preformadas.
- UNE-EN 13469:2015: Productos aislantes técnicos para equipos de edificación e instalaciones industriales. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua en coquillas aislantes preformadas.

- UNE-EN 14364:2015: Sistemas de canalización en materiales plásticos para evacuación y saneamiento con o sin presión. Plásticos termoendurecibles reforzados con vidrio (PRFV) a base de resina de poliéster insaturado (UP). Especificaciones para tuberías, accesorios y uniones.
- UNE-EN 2081:2010: Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Recubrimientos electrolíticos de cinc con tratamientos suplementarios sobre hierro o acero.
- UNE-EN 2082:2010: Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Recubrimientos electrolíticos de cadmio con tratamientos adicionales sobre hierro o acero.
- UNE-EN ISO 10062:2009 Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales con muy bajas concentraciones de gases contaminantes.
- UNE-EN ISO 10289:2001: Métodos de ensayo de corrosión de recubrimientos metálicos y no orgánicos sobre sustratos metálicos. Clasificación de probetas y piezas de protección sometidas a ensayos de corrosión.
- UNE-EN ISO 10289:2001: Métodos de ensayo de corrosión de recubrimientos metálicos y no orgánicos sobre sustratos metálicos. Clasificación de probetas y piezas de protección sometidas a ensayos de corrosión.
- UNE-EN ISO 12241:2010: Aislamiento técnico para equipos de edificación e instalaciones industriales. Método de cálculo.
- UNE-EN ISO 1461:2010: Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE-EN ISO 1463:2005: Recubrimientos metálicos y capas de óxido. Medida del espesor. Método de corte micrográfico.
- UNE-EN ISO 2063:2005: Proyección térmica. Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Cinc, aluminio y sus aleaciones.
- UNE-EN ISO 2064:2001: Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Definiciones y principios concernientes a la medida del espesor. (ISO 2064: 1996).
- UNE-EN ISO 2177:2005: Recubrimientos metálicos. Medida del espesor. Método coulombimétrico por disolución anódica.
- UNE-EN ISO 2178-1996: Recubrimientos metálicos no magnéticos sobre metal base magnético. Medida del espesor. Método magnético.
- UNE-EN ISO 21787:2007: Válvulas industriales. Válvulas de globo de materiales termoplásticos.
- UNE-EN ISO 2361:1996: Recubrimientos electrolíticos de níquel sobre base metálica magnética y no magnética. Medición del espesor. Método magnético.

- UNE-EN ISO 2819:1996: Recubrimientos metálicos sobre base metálica. Depósitos electrolíticos y depósitos por vía química. Lista de los diferentes métodos de ensayo de adherencia.
- UNE-EN ISO 3868:1996: Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Medida del espesor. Método basado en el principio de Fizeau de interferometría de haz múltiple.
- UNE-EN ISO 3892:2002: Recubrimientos de conversión sobre materiales metálicos. Determinación de la masa de recubrimiento por unidad de superficie. Métodos gravimétricos.
- UNE-EN ISO 4516:2002: Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Ensayos de micro dureza Vickers y Knoop.
- UNE-EN ISO 4543:1996: Recubrimiento metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Directrices generales para los ensayos de corrosión aplicables a condiciones de almacenamiento.
- UNE-EN ISO 6158:2012: Recubrimientos metálicos. Recubrimientos electrolíticos de cromo para fines industriales.
- UNE-EN ISO 6988:1996: Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Ensayo al dióxido de azufre con condensación general de humedad.
- UNE-EN ISO 7384:1996: Ensayos de corrosión en atmósfera artificial. Prescripciones generales.
- UNE-EN ISO 7441:1996: Corrosión de los metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bimetalica mediante ensayos de corrosión en medio exterior.
- UNE-EN ISO 7539-1:2013: Corrosión de metales y aleaciones. Ensayo de corrosión bajo tensión. Parte 1: guía general de métodos de ensayo.
- UNE-EN ISO 7539-2:2013: Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 2: preparación y utilización de probetas para ensayos de flexión.
- UNE-EN ISO 7539-3:2013: Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 3: preparación y utilización de probetas dobladas en U.
- UNE-EN ISO 7539-4:2013: Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 4: preparación y utilización de probetas para ensayos de tracción uniaxial.
- UNE-EN ISO 7539-5:2013: Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 5: preparación y uso de probetas con forma de anillo en C.
- UNE-EN ISO 7539-6:2013: Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 6: preparación y uso de probetas prefiguradas para ensayos bajo carga o desplazamiento constantes.

- UNE-EN ISO 8401:1996: Recubrimientos metálicos. Revisión de los métodos de determinación de la ductilidad.
- UNE-EN ISO 8497:1997: Aislamiento térmico. Determinación de las propiedades relativas a la transmisión de calor en régimen estacionario en los aislamientos térmicos para tuberías.
- UNE-EN ISO 8565:2012: Metales y aleaciones. Ensayos de corrosión atmosférica. Requisitos generales para realizar ensayos in situ.
- UNE-EN ISO 8990:1997: Determinación de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario. Métodos de la caja caliente guardada y calibrada.
- UNE-EN ISO 9220:1996 Recubrimientos metálicos. Medida del espesor del recubrimiento. Método de microscopía electrónica de barrido.
- UNE-EN ISO 9227:2012: Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina.
- UNE-EN ISO 9251:1996: Aislamiento térmico Condiciones de transmisión térmica y propiedades de los materiales. Vocabulario.
- UNE-EN ISO 9346:2009: Aislamiento térmico. Transferencia de masa. Magnitudes físicas y definiciones.

5.4 EQUIPOS Y MAQUINARIA

En el catálogo de Normas UNE de 1992 se encuentran sujetos todos los equipos y maquinaria.

5.5 CONDICIONES DE EJECUCIÓN

Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento estarán recogidos en las normas NBE y NTE, así como las correspondientes si procede a equipos, materiales o maquinaria.

5.6 ESPECIFICACIONES PARTICULARES DE LOS EQUIPOS

A continuación, se concretan las especificaciones técnicas que deben satisfacer los equipos diseñados o de adquiridos a algún fabricante para que sean aceptados en el proceso del presente TFG.

Los equipos deben entregarse con las pruebas hidráulicas que correspondan, realizadas de forma satisfactoria.

Cuando se demuestre que todos los equipos de la línea de proceso y dispositivos de control funcionan correctamente, la instalación podrá ser recepcionada.

Las especificaciones de los equipos diseñados se clasifican en los siguientes grupos:

- Especificaciones de los Impregnadores.
- Especificaciones de los tanques de almacenamiento de CO₂.
- Especificaciones del intercambiador de calor IC1.
- Especificaciones de la bomba B1.
- Especificaciones del silenciador S1.
- Especificaciones de los compresores.
- Especificaciones de los sistemas de control.

5.6.1 ESPECIFICACIONES DE LOS IMPREGNADORES

Para el proceso se precisa de dos Impregnadores con un volumen útil de 2,4 m³. Con el diseño de los cabezales tipo Korbbogen, cada recipiente posee un volumen total de 2,8 m³, ocupando cada cabezal un volumen aproximado de 0,2 m³. El reactor tendrá un diámetro interior de 1,15 metros y una altura total de 2,92 m.

Los Impregnadores estarán fabricados de acero inoxidable SA-240 tipo 304 con un espesor de pared en el cilindro y cabezal de 28,37 mm.

Cada Impregnador cuenta con un sistema hidráulico para mover las tapaderas y asegurarlas de modo que quede totalmente hermético. Las características de ese sistema hidráulico no se recogen en el presente TFG.

5.6.2 ESPECIFICACIONES DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO₂

5.6.2.1 ESPECIFICACIONES DEL TANQUE T1

El Tanque de Alta Presión es un recipiente fabricado en acero inoxidable SA-240 tipo 304 con un diámetro interno de 2,41 m y una altura de 4,82 m contando con los cabezales de tipo Korbbogen. Alberga un volumen aproximado de CO₂ de 23 m³ y el espesor de pared es de 21,54 mm.

Este recipiente posee 4 aberturas de 9 cm de diámetro donde se conectan las tuberías por donde circula el CO₂ desde y hacia los tanques. Estas aberturas llevan incorporadas además unas bridas

estandarizadas de tipo WN (cuello soldado) ANSI/ASME B16,5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

5.6.2.2 ESPECIFICACIONES DEL TANQUE T2

El Tanque de Baja Presión es otro recipiente de menor tamaño fabricado igualmente de acero inoxidable SA-240 tipo 304 con diámetro interno 1,83 m y altura total 3,66 m. Posee unos cabezales de tipo Korbbogen y puede almacenar en total un volumen aproximado de 10,45 m³. El espesor de las paredes del tanque es de 7,46 mm.

Este tanque tiene solamente dos aberturas de 9 cm de diámetro para incorporar las tuberías del proceso. A estas aberturas se les une unas bridas de tipo WN ANSI/ASME B16,5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

5.6.2.3 ESPECIFICACIONES DEL TANQUE T3

El Tanque de Proceso es el tercer y último tanque de almacenamiento de CO₂. Fabricado en acero inoxidable SA-240 tipo 304 con un volumen aproximado de 4,82 m³. Posee un diámetro interno y una altura de 1,42 m y 2,83 m respectivamente. Cabezales de tipo Korbbogen y un espesor de pared de 34,81 mm.

Este recipiente lleva acoplado 4 aberturas de 9 cm de diámetro con unas bridas tipo WN ANSI/ASME B16,5 Clase 300 con diámetro nominal 90.

5.6.3 ESPECIFICACIONES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR IC1

El Intercambiador de Calor IC1 condensará el CO₂ proveniente del Tanque de Proceso T3 para introducirlo posteriormente en los Impregnadores.

Será un intercambiador tipo B-E-M según el código TEMA fabricado en acero al carbono. Las características principales del intercambiador se muestran a continuación:

Tipo intercambiador (TEMA)	B-E-M
Material	Acero al carbono
Localización fluido caliente	Tubos
Diámetro externo carcasa (cm)	32,89
Espesor carcasa (cm)	1,68
Longitud tubos (m)	3,9
Número de tubos	98
Diámetro externo tubos (cm)	1,9
Orientación tubos	Triangular (30°)
Pitch (cm)	2,38
Tipo de bafles	Segmentado simple
N.º de bafles	12

Tabla 1: Especificaciones Intercambiador

5.6.4 ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA B1

La Bomba B1 tendrá la función de trasvasar el CO₂ condensado desde el intercambiador hasta los Impregnadores. Se trata de una bomba centrífuga de la marca Calpeda serie NR4 50/160 con diámetro de impulsor tipo C de 137 mm y un motor de 1450 rpm. El modelo en concreto tiene una potencia de 0,37 kW con un caudal máximo de 21 m³/h y una altura máxima de 2,3 m.

5.6.5 ESPECIFICACIONES DEL SILENCIADOR S1

El silenciador que recoge el gas de escape de los Impregnadores pertenece al fabricante “silen&system”. Este silenciador posee un diámetro de 1,59 m y una altura de 1,01 m. Este equipo posee paredes revestidas de material fonoabsorbente protegido con chapa perforada. El exterior se protege mediante chorreado SA 2,5, silicato inorgánico de zinc y capa de acabado mediante pintura de alta temperatura.

5.6.6 ESPECIFICACIONES DE LOS COMPRESORES

El proceso cuenta con dos compresores (CP1 y CP2) cuya función es transportar gas desde el Tanque T2 al Tanque T1, para el caso de CP1; y del Tanque T1 al Tanque T3 para el caso de CP2.

Ambos compresores pertenecen a la marca Mehrer, en concreto los modelos TRZ200 y TRZ300. Se trata de dos compresores de pistón de dos etapas refrigerados por aire con una presión máxima de descarga de 26 bar y 31 bar respectivamente. Las características principales de ambos compresores se muestran en la siguiente tabla:

	TRZ200	TRZ300
Máximo rango de compresión por etapa	1:5.5	1:5.5
Máxima presión de succión	7 bar	11 bar
Máxima presión de descarga	26 bar	31 bar
Volumen desplazado por cada revolución	481 cm ³	1659 cm ³
Máxima potencia en el eje	5 kW	10 kW
Rango de velocidad	380-750 rpm	380-750 rpm
Refrigeración	Aire	Aire

Tabla 2: *Especificaciones compresores*

5.6.7 ESPECIFICACIONES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Los elementos que conforman todo el sistema de control del proceso son los siguientes:

- Transmisor de presión de la marca Keller de señal estándar (4-20mA/ 2 hilos).
- Válvula eléctrica motorizada de disco Schubert & Salzer modelo 5030 DN 90.
- Sensor y transmisor de flujo SITRANS FUS SONO 3300/FUS060 de la marca SIEMENS

DOCUMENTO 5:
ESTADO DE
MEDICIONES

ÍNDICE- ESTADO DE MEDICIONES

1. INTRODUCCIÓN	2
2. IMPREGNADORES	2
3. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO ₂	2
4. INTERCAMBIADOR DE CALOR	3
5. BOMBA CENTRÍFUGA.....	3
6. SILENCIADOR.....	3
7. COMPRESORES.....	4
8. SISTEMAS DE CONTROL.....	4

1. INTRODUCCIÓN

El Estado de Mediciones contiene un listado completo de las partidas de obra que configuran la totalidad del proyecto. Servirá además de base para la realización del Presupuesto contenido en el siguiente Documento.

En el presente Documento se enumerarán las unidades que conforman cada quipo del proceso, así como las características más significativas de cada una de ellas.

2. IMPREGNADORES

El proceso contará con dos Impregnadores de 1,15 m de diámetro y 2,31 m de altura. Las unidades de cada uno de ellos se muestran a continuación:

REACTORES	
Descripción	Unidades
Impregnadores	2
Impregnador 1: -Material cilindro- acero SA-240, 304; 2,8 m ³ espesor 19,89mm	1
-Cabezal toriesférico- acero SA-240, 304; 0,2 m ³ espesor 28,16mm	2
-Elemento de control de presión de señal estándar (4-20mA)	1
Impregnador 2: -Material cilindro- acero SA-240, 304; 2,8 m ³ espesor 19,89mm	1
-Cabezal toriesférico- acero SA-240, 304; 0,2 m ³ espesor 28,16mm	2
-Elemento de control de presión de señal estándar (4-20mA)	1

Tabla 1: Unidades de los Impregnadores

3. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO₂

El proceso cuenta con 3 tanques de almacenamiento:

Tanques de almacenamiento CO2	
Descripción	Unidades
Tanque de Alta Presión T1 -Acero SA-240, 304; 23,81 m ³ ; espesor 15,17 mm	1
-Abertura DN90 acoplada a brida WN B16.5 clase 300	4
Tanque de Baja Presión T2 -Acero SA-240, 304; 10,45 m ³ ; espesor 5,26 mm	1
-Abertura DN90 acoplada a brida WN B16.5 clase 300	2
Tanque de Proceso-T3 -Acero SA-240, 304; 4,82 m ³ ; espesor 24,41 mm	1
-Abertura DN90 acoplada a brida WN B16.5 clase 300	4

Tabla 2: Unidades de los tanques de almacenamiento

4. INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor contendrá las siguientes unidades:

Intercambiador de Calor IC1	
Descripción	Unidades
Intercambiador de carcasa y tubos:	1
-Material: Acero al carbono	
-Tipo: B-E-M	
-Diámetro carcasa: 32,89 cm	
-Área de contacto: 22,42 m ²	
-N.º de tubos: 98 (diámetro ext. = 1,9 cm)	

Tabla 3: Unidades del intercambiador

5. BOMBA CENTRÍFUGA

La bomba centrífuga que participa en el proceso se detalla a continuación:

Bomba centrífuga B1	
Descripción	Unidades
Bomba centrífuga B1- Calpeda NR4 50/160 de 0,37 kW	1

Tabla 4: Unidades de la bomba centrífuga

6. SILENCIADOR

Las unidades del silenciador seleccionado para el proceso se muestran a continuación:

Silenciador S1	
Descripción	Unidades
Silenciador S1- Silen&sistem SP30 tipo 31	1

Tabla 5: Unidades del silenciador

7. COMPRESORES

Compresores	
Descripción	Unidades
Compresor CP1- "Mehrer TRZ 200 de 2 etapas"	1
Compresor CP2- "Mehrer TRZ 300 de 2 etapas"	1

Tabla 6: Unidades de los compresores

8. SISTEMAS DE CONTROL

El sistema de control del proceso está compuesto por las siguientes unidades:

Sistema de Control	
Descripción	Unidades
Transmisor de presión- Keller 4-20mA 2 hilos	2
Sensor y transmisor de flujo- SITRANS FUS SONO 3300/FUS060 (SIEMENS)	1
Válvula motorizada- Schubert & Salzer modelo 5030 DN 90.	1

Tabla 7: Unidades del sistema de control

DOCUMENTO 6: PRESUPUESTO

ÍNDICE- PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN	2
2. PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL.....	2
2.1 COSTE IMPREGNADORES.....	2
2.2 COSTE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	4
2.3 COSTE EQUIPOS POR CATÁLOGO.....	4
2.3.1 COSTE BOMBA B1	5
2.3.2 COSTE COMPRESORES CP1,CP2.....	5
2.3.3 COSTE INTERCAMBIADOR DE CALOR IC1	5
2.3.4 COSTE SILENCIADOR S1	5
2.3.5 COSTE SISTEMA CONTROL.....	6
2.4 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	6
2.4.1 SUPERFICIE IMPREGNADORES	7
2.4.2 SUPERFICIE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO ₂	7
2.4.3 SUPERFICIE INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	8
2.4.4 SUPERFICIE BOMBA CENTRIFUGA	8
2.4.5 SUPERFICIE COMPRESORES.....	9
2.4.6 SUPERFICIE SILENCIADOR.....	9
2.4.7 SUPERFICIE EQUIPOS TOTAL.....	10
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	11
4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN GENERAL	11

1. INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo del presupuesto se llevará a cabo, en primer lugar, una estimación de los costes que supondrían el diseño de cada equipo o, para aquellos seleccionados por catálogo, su precio de venta del fabricante. Seguidamente, se aplicará el método Guerchet de distribución en planta para el cálculo de superficies y calcular así, el precio que supondría incorporar todos los equipos a una instalación. La suma de todos esos costes conformaría el Presupuesto de Ejecución Material (PEM).

Calculado el Presupuesto de Ejecución Material, se obtendrá en base a éste el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) aplicando la normativa española. La suma de ambos presupuestos resultará en el Presupuesto de Ejecución General (PEG) del presente TFG.

El presupuesto se realiza en base al Documento 5: Estado de Mediciones, donde se enumeran todas las unidades que participan en el proceso.

2. PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL

A continuación, se detallarán los costes de los equipos diseñados, así como los adquiridos a fabricantes. Para los costes de los Impregnadores y tanques de almacenamiento se hará uso de correlaciones que permitan calcular de manera aproximada el valor total del equipo. Para aquellos que hayan sido tomados de algún fabricante, se detallará su precio de venta mostrado en catálogo.

2.1 COSTE IMPREGNADORES

Para estimar el coste de los Impregnadores se recurre a correlaciones para recipientes a presión extraídas de numerosas fuentes: Guthrie (1970), Hall et al. (1986), Page (1984), Ulrich (1984), Garrett (1989) and Peters et al. (1959). Dichas correlaciones se agrupan en el libro “Chemical Engineering Design” de R.K. Sinnott (2005) representadas gráficamente y a partir de las cuales se calculará el coste del diseño de los Impregnadores.

A continuación, a partir de la **Figura 1** se procede a calcular el coste de los Impregnadores:

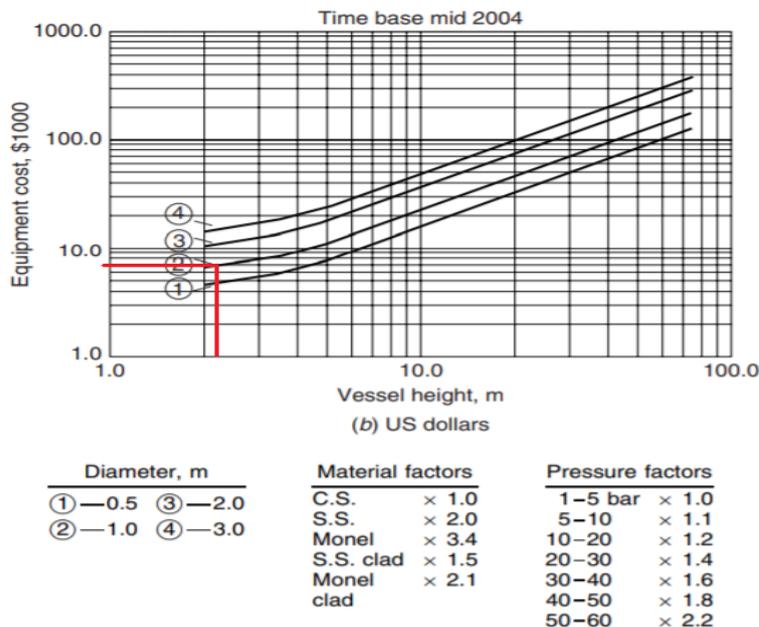


Figura 1: Coste de recipiente a presión vertical

Conociendo el diámetro del recipiente (1,15 m, recta n.º 2) y su altura (2,31 m) se obtiene el coste básico del equipo.

$$\text{Coste básico (Cb)} = 7000\$$$

Para determinar el coste total se necesita conocer los factores de material y presión:

- Material, acero inoxidable (factor de material S.S. x2.0)
- Presión de operación, $P_{op} = 29,5$ (factor de presión x1,4)

El coste total se calcularía a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Coste total (Ct)} = Cb \cdot \text{Factor de material} \cdot \text{Factor de presión} \quad \text{(Ec. 1)}$$

$$\text{Coste total (Ct)} = 7000 \cdot 2 \cdot 1,4 = 19600\$$$

Este coste se ha calculado en base al año 2004. Para obtener el valor del equipo en el año en el que se está realizando el presente TFG, 2021, habrá que aplicar los índices CEPCI: Chemical Engineering Plant Cost Index. La expresión que permite calcular el valor actual se muestra a continuación:

$$\frac{CEPCI\ 2021}{CEPCI\ 2004} = \frac{Coste\ 2021}{Coste\ 2004} \quad \text{(Ec. 2)}$$

Los índices CEPCI se pueden consultar en la página “chemengonline.com” donde se recogen todos los índices desde el año 1963. Para el año 2004 y 2021 se tienen los siguientes índices:

CEPCI 2004 = 444,2

CEPCI 2021 = 593,3

Sustituyendo los datos en la ecuación 2 se obtiene el coste para el año en cuestión:

$$\text{Coste 2021} = \frac{593,3}{442,2} \cdot 19600 = \mathbf{26297,33\$}$$

Por último, quedaría expresar dicha cantidad en euros. En el día en el que se está realizando el presente Presupuesto, el dólar estadounidense tiene un valor de 0,82 euros.

$$26297,33 \cdot 0,82 = \mathbf{21563,81€}$$

2.2 COSTE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

El cálculo de los costes de los tres tanques de almacenamiento se ha llevado a cabo siguiendo la misma metodología empleada en los Impregnadores. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

	Tanque T1	Tanque T2	Tanque T3
Diámetro (M)	2,41	1,83	1,42
Altura (M)	4,82	3,66	2,83
Coste Básico (\$)	11000	10500	10000
Factor Material	2	2	2
Factor presión	1,1	1	1,4
Coste total 2004 (\$)	24200	21000	28000
Coste total 2021 (\$)	32469,15	28175,71	37567,62
Coste total (€)	26624,71	23104,08	30805,45

Tabla 1: Coste Tanques Almacenamiento

2.3 COSTE EQUIPOS POR CATÁLOGO

A continuación, se detallan los precios de aquellos equipos que no han sido diseñados y por tanto deben de adquirirse por catálogo a un fabricante.

2.3.1 COSTE BOMBA B1

Bomba centrífuga B1			
Descripción	Unidades	Precio unitario	Total
Bomba centrífuga B1- "Calpeda NR4 50/160"	1	1.314,00 €	1.314,00€

Tabla 2: *Coste Bomba B1*

2.3.2 COSTE COMPRESORES CP1,CP2

Compresores CP1 ,CP2			
Descripción	Unidades	Precio Unitario	Total
Compresor CP1- "Mehrer TRZ 200 de 2 etapas"	1	119,95 €	119,95 €
Compresor CP2- "Mehrer TRZ 300 de 2 etapas"	1	139,95 €	139,95 €

Tabla 3: *Coste Compresores CP1, CP2*

2.3.3 COSTE INTERCAMBIADOR DE CALOR IC1

Intercambiador de Calor IC1			
Descripción	Unidades	Precio Unitario	Total
Intercambiador de carcasa y tubos	1	12.372,00 €	12.372,00 €

Tabla 4: *Coste Intercambiador de calor IC1*

2.3.4 COSTE SILENCIADOR S1

Silenciador S1			
Descripción	Unidades	Precio Unitario	Total
Silenciador S1- "Silen&sistem SP30 tipo 31"	1	890,00 €	890,00 €

Tabla 5: *Coste Silenciador S1*

2.3.5 COSTE SISTEMA CONTROL

Sistema de Control			
Descripción	Unidades	Precio unitario	Total
Transmisor de presión- Keller 4-20mA 2 hilos	2	269,99 €	539,98 €
Sensor y transmisor de flujo- SITRANS FUS SONO 3300/FUS060 (SIEMENS)	1	349,99 €	349,99 €
Válvula motorizada- Schubert & Salzer modelo 5030 DN 90.	1	220,00 €	220,00 €

Tabla 6: *Coste sistema de control*

2.4 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

En este apartado del Presupuesto se tratará de estimar la distribución en planta de los equipos mediante el cálculo de su superficie definido por el método Guerchet. Esto permitirá dar una idea del espacio total que ocuparía toda la instalación y el coste que supondría su instalación hoy en día en una planta industrial.

La superficie total de la planta vendrá dada por la suma de las superficies totales de todos los equipos mediante la expresión:

$$Stotal\ Planta = \sum Stotal\ Equipos \quad (\text{Ec. 3})$$

La superficie total de cada equipo dependerá de los siguientes términos:

$$Stotal\ Equipo = SE + SG + SV \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

- **SE-** Superficie estática del equipo. Corresponde al área de terreno que ocupa el equipo.
- **SG-** Superficie gravitacional. Es la superficie utilizada por los operarios. Resulta de multiplicar la superficie estática por el número de lados accesibles que tiene el equipo.
- **SV-** Superficie de evolución. Es la superficie reservada para los desplazamientos del personal. Se aplica un coeficiente “k”, específico a cada sector industrial, al resultado de la suma de la superficie gravitacional y estática.

$$SG = SE \cdot N^{\circ}\ de\ lados \quad (\text{Ec. 5})$$

$$SV = (SE + SG) \cdot k \quad (\text{Ec. 6})$$

2.4.1 SUPERFICIE IMPREGNADORES

SUPERFICIE ESTÁTICA, SE

La superficie estática de un Impregnador se calculará a partir de su sección circular al ser un recipiente vertical:

$$SE = \pi r^2 = \pi \cdot 0,58^2 = 1,06 \text{ m}^2$$

SUPERFICIE GRAVITACIONAL, SG

Para los equipos cuya vista en planta sea circular se considera un n.º de lados accesibles igual a 2.

$$SG = 1,06 \cdot 2 = 2,11 \text{ m}^2$$

SUPERFICIE DE EVOLUCIÓN, SV

Para este proceso en cuestión se asume un valor de k de entre 0.10-25 correspondiente a procesos de trabajo en cadena con transportador mecánico.

$$SV = (1,06 + 2,11) \cdot 0,2 = 0,63 \text{ m}^2$$

La superficie total para los dos Impregnadores será:

$$\text{Stotal Impregnadores} = SE + SG + SV = (1,06 + 2,11 + 0,63) \cdot 2 = 7,6 \text{ m}^2$$

2.4.2 SUPERFICIE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CO₂

La metodología empleada en el cálculo de las superficies de los tanques es la misma que la de los Impregnadores. Se consideran recipientes cilíndricos verticales con 2 lados accesibles. Los resultados para las superficies totales de los tanques se detallan en la siguiente tabla:

	Tanque T1	Tanque T2	Tanque T3
Diámetro (m)	2,41	1,83	1,42
SE (m²)	4,56	2,63	1,58
N.º lados	2	2	2
SG (m²)	9,12	5,26	3,17
k	0,2	0,2	0,2
SV (m²)	2,74	1,58	0,95
Stotal (m²)	16,42	9,47	5,70

Tabla 7: Superficie Tanques almacenamiento

2.4.3 SUPERFICIE INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor de carcasa y tubos se trata de un recipiente cilíndrico dispuesto de forma horizontal cuyas dimensiones son:

- Diámetro: 0,33 m
- Longitud: 3,9 m

Conociendo diámetro y longitud se calcula la superficie estática:

$$SE = \pi \left(\frac{0,33}{2} \right)^2 + 0,33 \cdot 3,9 = 1,37 \text{ m}^2$$

Se asume que el intercambiador tendrá dos lados accesibles:

$$SG = 1,37 \cdot 2 = 2,74 \text{ m}^2$$

Aplicando el factor k de 0,2 se obtiene la superficie de gravitación:

$$SV = (1,37 + 2,74) \cdot 0,2 = 0,82 \text{ m}^2$$

Sumando todas las superficies se obtiene la superficie total del intercambiador:

$$\textbf{Stotal Intercambiador} = SE + SG + SV = 1,37 + 2,74 + 0,82 = \textbf{4,93 m}^2$$

2.4.4 SUPERFICIE BOMBA CENTRIFUGA

Las dimensiones de la bomba las proporciona el fabricante en el catálogo del producto. En el [Anexo 4: Dimensionamiento de equipos auxiliares- Elección de la bomba](#) se detalla las dimensiones junto a los planos de la misma. De ahí se extrae lo siguiente:

- Ancho: 0,34 m
- Largo: 0,41 m

$$SE = 0,34 \cdot 0,41 = 0,14 \text{ m}^2$$

Se va a asumir que la bomba tendrá 4 lados accesibles:

$$SG = 0,14 \cdot 4 = 0,55 \text{ m}^2$$

$$SV = (0,14 + 0,55) \cdot 0,2 = 0,14 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{Stotal Bomba} = SE + SG + SV = 0,14 + 0,55 + 0,14 = \mathbf{0,83 m^2}$$

2.4.5 SUPERFICIE COMPRESORES

La información respecto a las dimensiones de los compresores CP1 y CP2 no la proporciona el fabricante. Es por ello por lo que se tendrá que asumir una superficie estática (SE) aproximada de 1 m². Con este valor, se pueden determinar las demás superficies:

$$SE = 1 m^2$$

El compresor tendrá un total de 4 lados accesibles:

$$SG = 4 \cdot 1 = 4 m^2$$

$$SV = (1 + 4) \cdot 0,2 = 1 m^2$$

La superficie total para ambos compresores será:

$$\mathbf{Stotal Compresores} = SE + SG + SV = (1 + 4 + 1) \cdot 2 = \mathbf{12 m^2}$$

2.4.6 SUPERFICIE SILENCIADOR

Las dimensiones del silenciador son proporcionadas por el fabricante y se encuentran en el Anexo X del presente TFG. De ahí extrae lo siguiente:

- Diámetro: 1,56 m
- Longitud: 1,01

$$SE = 1,56 \cdot 1,01 = 1,58 m^2$$

Se asume que el silenciador tendrá solamente 2 lados accesibles:

$$SG = 1,58 \cdot 2 = 3,16 m^2$$

$$SV = (1,58 + 3,16) \cdot 0,2 = 0,95 m^2$$

$$\mathbf{Stotal Silenciador} = SE + SG + SV = 1,58 + 3,16 + 0,95 = \mathbf{5,69 m^2}$$

2.4.7 SUPERFICIE EQUIPOS TOTAL

La superficie total de la planta vendrá dada por la suma de todas las superficies totales de los equipos, tal y como se expresó en la ecuación 3:

$$Stotal\ Planta = \sum Stotal\ Equipos$$

$$Stotal\ Planta = 7,6 + 16,42 + 9,47 + 5,7 + 4,93 + 0,83 + 12 + 5,69 = \mathbf{62,64\ m^2}$$

Conociendo el área que se requiere para llevar a cabo la instalación de las unidades y el precio del metro cuadrado industrial en España, se puede determinar el coste de total de la instalación:

$$Coste\ Instalación = Stotal\ planta \cdot Precio\ m^2 \quad (\text{Ec. 7})$$

En el día de la realización del presente Presupuesto, el metro cuadrado en España tiene un precio medio de 350 €/m².

$$Coste\ Instalación = 62,62 \cdot 350 = \mathbf{21.924\ €}$$

Una vez conocidos los costes de cada equipo, el sumatorio de todos ellos más el coste de la instalación resultará en el Presupuesto de Ejecución Material tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Equipo	Total
Impregnador 1	21.563,81 €
Impregnador 2	21.563,81 €
Tanques de almacenamiento	
Tanque T1	26.624,71 €
Tanque T2	23.104,08 €
Tanque T3	30.805,45 €
Bomba centrífuga B1	1.314,00 €
Compresores	
Compresor CP1	119,95 €
Compresor CP2	139,95 €
Intercambiador de Calor	12.372,00 €
Silenciador S1	890,00 €
Sistema de control	
Transmisor de presión	539,98 €
Sensor y transmisor de flujo	349,99 €
Válvula motorizada	220,00 €
Instalación	21.924,00 €
Presupuesto Ejecución Material (PEM)	161.531,73 €

Tabla 8: Presupuesto de Ejecución Material

El Presupuesto de Ejecución Material del presente TFG: “Diseño de la unidad de impregnado para la expansión de tabaco mediante dióxido de carbono” es de “CIENTO SESENTA Y UN MIL QUINIENTOS TREINTA Y UN EUROS Y SETENTA Y TRES CÉNTIMOS”.

3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

El Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) resulta de sumar al Presupuesto de Ejecución Material los Gastos Generales de Estructuras (GGE) y el beneficio industrial según lo establecido en el Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

Se establece un 13% del PEM para los Gastos Generales de Estructuras y un 6% del PEM para el beneficio industrial.

$$GGE = 0,13 \cdot PEM = 0,13 \cdot 161.531,73 = 20.999,12 \text{ €}$$

$$BI = 0,06 \cdot PEM = 0,06 \cdot 161.531,73 = 9.691,90 \text{ €}$$

$$PEC = PEM + GGE + BI = 192.222,75 \text{ €}$$

El Presupuesto de Ejecución por Contrata del presente TFG: “Diseño de la unidad de impregnado para la expansión de tabaco mediante dióxido de carbono” es de “CIENTO NOVENTA Y DOS MIL DOSCIENTOS VEINTIDOS EUROS Y SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS”.

4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN GENERAL

Para determinar el Presupuesto de Ejecución General (PEG) se aplica el Impuesto sobre el Valor Añadido (21%) al Presupuesto de Ejecución por Contrata calculado anteriormente:

$$PEG = PEC + 21\% IVA = 232.589,53 \text{ €}$$

Se concluye que: El Presupuesto de Ejecución General del presente TFG: “Diseño de la unidad de impregnado para la expansión de tabaco mediante dióxido de carbono” es de **“DOSCIENTOS TREINTA Y DOS MIL QUINIENTOS OCHENTA Y NUEVE EUROS Y CINCUENTA Y TRES CÉNTIMOS”**

**DOCUMENTO 7:
ESTUDIO BÁSICO
DE SEGURIDAD Y
SALUD**

ÍNDICE- ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETO DEL ESTUDIO.....	2
3. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Y LA OBRA.....	3
4. INSTALACIONES PROVISIONALES Y ASISTENCIA SANITARIA.....	4
5. MAQUINARIA DE OBRA	4
6. MEDIOS AUXILIARES.....	5
7. RIESGOS LABORALES	6
7.1 RIESGOS LABORALES EVITABLES Y MEDIDAS ADOPTADAS.....	6
7.2 RIESGOS LABORALES NO EVITABLES Y MEDIDAS ADOPTADAS.....	6
7.2.1 FASE GENERAL DE OBRA	6
7.2.2 FASE DE DEMOLICIONES.....	7
7.2.3 FASE DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	8
7.2.4 FASE DE ACABADOS	10
7.2.5 FASE DE INSTALACIONES.....	11
8. RIESGOS LABORALES ESPECIALES.....	11
9. PREVISIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.....	12
10. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	13
11. FICHAS DE SEGURIDAD QUÍMICA.....	13
12. NORMATIVA APLICADA.....	13
12.1 NORMATIVA GENERAL.....	13
12.2 NORMATIVA REFERIDA A LOS EPIs	14
12.3 NORMATIVA PARA INSTALACIONES Y EQUIPOS DE OBRA	14

1. INTRODUCCIÓN

Un Estudio de Seguridad y Salud (desde ahora ESS) es el documento que forma parte del presente TFG y que establece una previsión de los procedimientos, equipos y medios auxiliares a emplear en la obra, exponiendo así los riesgos laborales previstos y las medidas que se deben adoptar para evitarlos y/o reducirlos.

La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, es la norma legal por la que se determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz.

El presente ESS se realiza en base al Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre, el cual establece, en el marco de la Ley 31/1995 de 8 de noviembre, las disposiciones mínimas de seguridad y de salud aplicables a las obras de construcción.

La metodología del Estudio, así como las medidas preventivas que se deban tomar, estarán basadas además en las publicaciones:

- Criterios para la redacción de Estudios de Seguridad y Salud para obras de edificación. Fundación MUSAAT. 2012.
- Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Energéticas. J. M.^a STORCH DE GRACIA. T. GARCÍA MARTÍN.

2. OBJETO DEL ESTUDIO

El ESS debe dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué hacer?
- ¿Cómo hacerlo?
- ¿Con qué hacerlo?
- ¿Cuándo?

El promotor estará obligado a que en la fase de redacción del proyecto se elabore un Estudio de Seguridad y Salud en los proyectos de obras en que se den alguno de los supuestos siguientes:

- Presupuesto de ejecución por contrata incluido en el proyecto igual o superior 450.759 euros, incluyendo el IVA.
- Duración estimada superior a 30 días laborables, empleándose en algún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente.
- Volumen de mano de obra estimada, entendiéndose por tal la suma de los días de trabajo del total de los trabajadores en la obra sea superior a 500.
- Obras de túneles, galerías, conducciones subterráneas y presas.

En el caso de que no se diera ninguna de estas circunstancias, se elaboraría un Estudio Básico de Seguridad y Salud (desde ahora EBSS) según lo establecido en el artículo 4 del R.D. 1627/1997. Aun dándose alguno de los supuestos citados anteriormente, se ha optado por realizar un EBSS, cuyo contenido es coincidente con la memoria descriptiva del ESS y recoge aspectos genéricos en materia de prevención de riesgos, seguridad e higiene.

3. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Y LA OBRA

El proyecto en cuestión se ha llevado a cabo sin tener una localización concreta de la planta. Por ello, el emplazamiento de la obra para cumplir con el objeto del presente TFG se desconoce.

De forma general, se tienen cuenta las siguientes características y condicionantes del emplazamiento donde se realizará la obra:

- Accesos a la obra
- Topografía del terreno
- Edificaciones colindantes
- Suministro de energía eléctrica y agua
- Sistema de saneamiento
- Servidumbres y condicionantes

Por otro lado, para llevar a cabo la obra tendrán que realizarse labores de albañilería, acabados, instalación y montaje de equipos.

4. INSTALACIONES PROVISIONALES Y ASISTENCIA SANITARIA

En referencia a lo expuesto en el apartado 15 del Anexo 4 del R.D. 1627/1997, la obra deberá disponer de los servicios higiénicos que se citan a continuación:

- Vestuarios
- Lavabos con agua fría, agua caliente, y espejo
- Duchas con agua fría y caliente
- Retretes

Además, de acuerdo con el apartado A 3 del Anexo VI del R.D. 486/97, la obra dispondrá del material de primeros auxilios que se indica en la tabla siguiente. Debería disponerse, además, de la identificación y las distancias a los centros de asistencia sanitaria más cercanos. Sin embargo, tal y como se expuso anteriormente, el emplazamiento de la obra se desconoce, por lo que no pueden definirse los centros de asistencias más cercanos.

PRIMEROS AUXILIOS Y ASISTENCIA SANITARIA		
NIVEL DE ASISTENCIA	NOMBRE Y UBICACION	DISTANCIA APROX. (Km)
Primeros auxilios	Botiquín portátil	En la obra
Asistencia Primaria (Urgencias)	-	-
Asistencia Especializada (Hospital)	-	-

Tabla 1-Primero Auxilios y Asistencia Sanitaria

5. MAQUINARIA DE OBRA

La maquinaria que se prevé emplear en la ejecución de la obra se indica a continuación (no de manera exhaustiva):

- Grúas-torre
- Montacargas
- Maquinaria para movimiento de tierras
- Sierra circular
- Hormigoneras
- Camiones

- Cabrestantes mecánicos

6. MEDIOS AUXILIARES

En la tabla siguiente se relacionan los medios auxiliares que van a ser empleados en la obra y sus características más importantes:

MEDIOS AUXILIARES	
MEDIOS	CARACTERISTICAS
Andamios tubulares apoyados	<ul style="list-style-type: none"> - Deberán montarse bajo la supervisión de persona competente. - Se apoyarán sobre una base sólida y preparada adecuadamente. - Se dispondrán anclajes adecuados a las fachadas. - Las cruces de San Andrés se colocarán por ambos lados. - Correcta disposición de las plataformas de trabajo. - Correcta disposición de barandilla de segur., barra intermedia y rodapié. - Correcta disposición de los accesos a los distintos niveles de trabajo. - Uso de cinturón de seguridad de sujeción Clase A, Tipo I durante el montaje y el desmontaje.
Andamios s/ borriquetas	<ul style="list-style-type: none"> - La distancia entre apoyos no debe sobrepasar los 3,5 m.
Escaleras de mano	<ul style="list-style-type: none"> - Zapatas antideslizantes. Deben sobrepasar en 1 m la altura a salvar. - Separación de la pared en la base = 1/4 de la altura total.
Instalación eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> - Cuadro general en caja estanca de doble aislamiento, situado a $h > 1\text{m}$: <ul style="list-style-type: none"> I. diferenciales de 0,3A en líneas de máquinas y fuerza. I. diferenciales de 0,03A en líneas de alumbrado a tensión $> 24\text{V}$. I. magnetotérmico general omnipolar accesible desde el exterior. I. magnetotérmicos en líneas de máquinas, tomas de cte. y alumbrado. - La instalación de cables será aérea desde la salida del cuadro. - La puesta a tierra (caso de no utilizar la del edificio) será ≤ 80 ohmios.

Tabla 2- Medios Auxiliares

7. RIESGOS LABORALES

7.1 RIESGOS LABORALES EVITABLES Y MEDIDAS ADOPTADAS

En la siguiente tabla se enumera alguno de los riesgos laborales que pudiendo presentarse durante la obra, serían totalmente evitados mediante la adopción de las medidas que se también se incluyen:

RIESGOS EVITABLES	MEDIDAS TECNICAS ADOPTADAS
Derivados de la rotura de instalaciones existentes	Neutralización de las instalaciones existentes
Presencia de líneas eléctricas de alta tensión aéreas o subterráneas	Corte del fluido, puesta a tierra y cortocircuito de los cables
Derivados del acceso a la obra de personas ajenas	Vallado perimetral y señalización

Tabla 3- Riesgos evitables y medidas adoptadas

7.2 RIESGOS LABORALES NO EVITABLES Y MEDIDAS ADOPTADAS

A continuación, se enumeran los riesgos laborales que no pueden ser completamente evitados, así como las medidas preventivas y protecciones técnicas que deberán adoptarse para controlar y reducir este tipo de riesgos. En primer lugar, se enumerarán los aspectos generales que afectan a toda la obra. Seguidamente, algunos aspectos específicos de cada una de las fases en las que esos aspectos pueden dividirse.

7.2.1 FASE GENERAL DE OBRA

- Caídas de operarios al mismo nivel
- Caídas de operarios a distinto nivel
- Caídas de objetos sobre operarios
- Caídas de objetos sobre terceros
- Choques o golpes contra objetos
- Fuertes vientos
- Trabajos en condiciones de humedad
- Contactos eléctricos directos e indirectos
- Cuerpos extraños en los ojos

- Sobreesfuerzos

Las medidas preventivas y protecciones colectivas serían las siguientes:

- Orden y limpieza de las vías de circulación de la obra
- Orden y limpieza de los lugares de trabajo
- Recubrimiento, o distancia de seguridad (1m) a líneas eléctricas de B.T.
- Iluminación adecuada y suficiente (alumbrado de obra)
- No permanecer en el radio de acción de las máquinas
- Puesta a tierra en cuadros, masas y máquinas sin doble aislamiento
- Señalización de la obra (señales y carteles)
- Cintas de señalización y balizamiento a 10 m de distancia
- Vallado del perímetro completo de la obra, resistente y de altura $\geq 2m$
- Marquesinas rígidas sobre accesos a la obra
- Pantalla inclinada rígida sobre aceras, vías de circulación o colindantes
- Extintor de polvo seco, de eficacia 21A - 113B
- Evacuación de escombros
- Escaleras auxiliares
- Información específica
- Cursos y charlas de formación
- Grúa parada y en posición veleta
- Grúa parada y en posición veleta

Los equipos de protección individual (EPIs) con los siguientes elementos:

- Cascos de seguridad
- Calzado protector
- Ropa de trabajo
- Ropa impermeable o de protección
- Gafas de seguridad
- Cinturones de protección del tronco

7.2.2 FASE DE DEMOLICIONES

Riesgos:

- Desplomes en edificios colindantes
- Caídas de materiales transportados

- Desplome de andamios
- Atrapamientos y aplastamientos
- Atropellos, colisiones y vuelcos
- Contagios por lugares insalubres
- Ruidos
- Vibraciones
- Ambiente pulvígeno
- Electrocuaciones

Las correspondientes medidas preventivas y protecciones colectivas serían las siguientes:

- Observación y vigilancia de los edificios colindantes
- Apuntalamientos y apeos
- Pasos o pasarelas
- Cabinas o pórticos de seguridad en máquinas
- Redes verticales
- Barandillas de seguridad
- Arriostramiento cuidadoso de los andamios
- Riegos con agua
- Andamios de protección
- Conductos de desescombro
- Anulación de instalaciones antiguas

Los elementos que conformarían los EPIs:

- Botas de seguridad
- Guantes contra agresiones mecánicas
- Mascarilla filtrante
- Protectores auditivos
- Cinturones y arneses de seguridad
- Mástiles y cables fiadores

7.2.3 FASE DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

Riesgos:

- Desplomes, hundimientos y desprendimientos del terreno
- Desplomes en edificios colindantes

- Caídas de materiales transportados
- Atrapamientos y aplastamientos
- Atropellos, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de máquinas
- Contagios por lugares insalubres
- Ruidos
- Vibraciones
- Ambiente pulvígeno
- Interferencia con instalaciones enterradas
- Electrocuaciones
- Condiciones meteorológicas adversas

Las correspondientes medidas preventivas y protecciones colectivas serían las siguientes:

- Observación y vigilancia del terreno
- Talud natural del terreno
- Entibaciones
- Limpieza de bolos y viseras
- Observación y vigilancia de los edificios colindantes
- Apuntalamientos y apeos
- Achique de aguas
- Pasos o pasarelas
- Separación de tránsito de vehículos y operarios
- Cabinas o pórticos de seguridad en máquinas (Rops y Fops)
- No acopiar junto al borde de la excavación
- Plataformas para paso de personas, en bordes de excavación
- No permanecer bajo el frente de excavación
- Barandillas en bordes de excavación (0,9 m)
- Rampas con pendientes y anchuras adecuadas
- Acotar las zonas de acción de las máquinas
- Topes de retroceso para vertido y carga de vehículos

Los elementos que conformarían los EPIs:

- Botas de seguridad
- Botas de goma
- Guantes de cuero
- Guantes de goma

7.2.4 FASE DE ACABADOS

Riesgos:

- Caídas de operarios al vacío
- Caídas de materiales transportados
- Ambiente pulvígeno
- Lesiones y cortes en manos
- Lesiones, pinchazos y cortes en pies
- Dermatitis por contacto con materiales
- Incendio por almacenamiento de productos combustibles
- Inhalación de sustancias tóxicas
- Quemaduras
- Electrocutión
- Atrapamientos con o entre objetos o herramientas
- Deflagraciones, explosiones e incendios

Las correspondientes medidas preventivas y protecciones colectivas serían las siguientes:

- Ventilación adecuada y suficiente (natural o forzada)
- Andamios
- Plataformas de carga y descarga de material
- Barandillas
- Escaleras con peldaños y protegidas
- Evitar focos de inflamación
- Equipos autónomos de ventilación
- Almacenamiento correcto de los productos

Los elementos que conformarían los EPIs:

- Gafas de seguridad
- Guantes de cuero o goma
- Botas de seguridad
- Cinturones y arneses de seguridad
- Mástiles y cables fiadores
- Mascarilla filtrante
- Equipos autónomos de respiración

7.2.5 FASE DE INSTALACIONES

Riesgos:

- Caídas a distinto nivel por el hueco del ascensor
- Lesiones y cortes en manos y brazos
- Dermatitis por contacto con materiales
- Inhalación de sustancias tóxicas
- Quemaduras
- Golpes y aplastamientos de pies
- Incendio por almacenamiento de productos combustibles
- Electrocuciiones
- Contactos eléctricos directos e indirectos
- Ambiente pulvígeno

Las correspondientes medidas preventivas y protecciones colectivas serían las siguientes:

- Ventilación adecuada y suficiente (natural o forzada)
- Escalera portátil de tijera con calzos de goma y tirantes
- Protección del hueco del ascensor
- Plataforma provisional para ascensoristas
- Realizar las conexiones eléctricas sin tensión

Los elementos que conformarían los EPIs:

- Gafas de seguridad
- Guantes de cuero o goma
- Botas de seguridad
- Cinturones y arneses de seguridad
- Mástiles y cables fiadores
- Mascarilla filtrante

8. RIESGOS LABORALES ESPECIALES

En la tabla se muestra a continuación una relación (no exhaustiva) de aquellos trabajos que son necesarios para el desarrollo de la obra pero que implican riesgos especiales para la seguridad y

salud de los trabajadores y que por ello están incluidos en el Anexo II del R.D. 1626/1997. Se indican, además, las medidas que deben adoptarse para controlar y reducir los riesgos que se derivan de este tipo de trabajos:

TRABAJOS CON RIESGOS ESPECIALES	MEDIDAS ESPECIALES PREVISTAS
Riesgo grave de caídas de altura, sepultamientos y hundimientos	Disposición de sistemas de agarre y sujeción a una estructura fija.
En proximidad de líneas eléctricas de alta tensión	Señalizar y respetar la distancia de seguridad (5m). Pórticos protectores de 5 m de altura. Calzado de seguridad.
Con exposición a riesgo de ahogamiento por inmersión	Equipos de personas altamente cualificadas y primeros auxilios disponibles en las inmediaciones.
Que impliquen el uso de explosivos	Especialistas supervisando la tarea. Equipos de protección especial antiexplosivos.
Que requieren el montaje y desmontaje de elementos prefabricados pesados	Uso de una maquinaria específica con profesionales cualificados para la tarea.

Tabla 4- *Riesgos especiales y medidas previstas*

9. PREVISIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

Con el fin de facilitar futuras labores de mantenimiento y reparación de la instalación en condiciones de seguridad y salud, así como servir como elementos de seguridad durante el desarrollo de la obra, se citan a continuación una serie de elementos a incluir en el presente EBSS.

- Ganchos de servicio
- Elementos de acceso a cubierta (puertas, trampillas)
- Barandillas en cubiertas planas
- Grúas desplazables para limpieza de fachadas
- Ganchos en ménsula (pescantes)
- Pasarelas de limpieza

10. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La distribución de los diferentes equipos que participan en el proceso descrito en el presente TFG, así como la distancia entre los mismos, se ha llevado a cabo siguiendo las pautas y recomendaciones del Manual de Seguridad Industrial En Plantas Químicas y Energéticas de J. M^a Storch De Gracia y T. García Martín.

Las tablas en las que se ha basado la distribución y distancias mínimas entre las unidades y equipos se recogen en el Capítulo 4.2 del [Anexo 4: Dimensionamiento de equipos auxiliares.](#)

11. FICHAS DE SEGURIDAD QUÍMICA

El único compuesto químico que se utiliza durante el desarrollo del presente TFG es el dióxido de carbono (CO₂) en estado líquido y gaseoso. Es por ello por lo que se considera pertinente recoger en este EBSS los peligros asociados a la manipulación de dicho reactivo.

En el [Anexo 5: Fichas de seguridad Química](#) se incluye la ficha de seguridad del CO₂ expedida por la Organización Internacional del Trabajo.

12. NORMATIVA APLICADA

12.1 NORMATIVA GENERAL

Ley de Prevención de Riesgos Laborales	Ley 31/95
Reglamento de los Servicios de Prevención.	RD 39/97
Disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción. (transposición Directiva 92/57/CEE)	RD 1627/97
Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud.	RD 1299/2006
Modelo de libro de incidencias.	Orden 20-09-86
Modelo de notificación de accidentes de trabajo.	Orden 16-12-87
Reglamento Seguridad e Higiene en el Trabajo de la Construcción.	Orden 20-05-52

Cuadro de enfermedades profesionales.	RD 1299/2006
Ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo.	Orden 09-03-71
Ordenanza trabajo industrias construcción, vidrio y cerámica.	Orden 28-08-79
Señalización y otras medidas en obras fijas en vías fuera de poblaciones.	Orden 31 -08-87
Protección de riesgos derivados de exposición a ruidos.	RD 286/2006
Disposiciones mín. seg. y salud sobre manipulación manual de cargas (Directiva 90/269/CEE)	RD 487/97
Reglamento sobre trabajos con riesgo de amianto.	RD 396/2006
Estatuto de los trabajadores.	RD Legislativo 2/2015
Regulación de la jornada laboral.	RD 2001/83

12.2 NORMATIVA REFERIDA A LOS EPIs

Condiciones comerciales y libre circulación de EPI (Directiva 89/686/CEE)	RD 159/95
Disp. mínimas de seguridad y salud de equipos de protección individual. (transposición Directiva 89/656/CEE).	RD 773/97
EPI contra caída de altura. Disp. de descenso.	UNE-EN ISO 341
Requisitos y métodos de ensayo: calzado seguridad/protección/trabajo.	UNE-EN ISO 344/A1
Especificaciones calzado seguridad uso profesional.	UNE-EN ISO 345/A1
Especificaciones calzado protección uso profesional.	UNE-EN ISO 346/A1
Especificaciones calzado trabajo uso profesional.	UNE-EN ISO 347/A1

12.3 NORMATIVA PARA INSTALACIONES Y EQUIPOS DE OBRA

Disp. mín. de seg. y salud para utilización de los equipos de trabajo (transposición Directiva 89/656/CEE).	RD 1215/1997
MIE-BT-028 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión	Orden 30-09-80
ITC MIE-AEM 3 Carretillas automotoras de manutención.	Orden 26-05-89

Reglamento Seguridad en las Máquinas.	RD 1849/2000
Requisitos de seguridad y salud en máquinas. (Directiva 89/392/CEE).	RD 1644/2008
ITC-MIE-AEM2. Grúas-Torre desmontables para obra.	RD 836/2003
ITC-MIE-AEM4. Grúas móviles autopropulsadas usadas	RD 837/2003

**DOCUMENTO 8:
ESTUDIO
PRELIMINAR DE
IMPACTO
AMBIENTAL**

ÍNDICE- ESTUDIO PRELIMINAR DE IMPACTO

AMBIENTAL

1.INTRODUCCIÓN	2
2. ALCANCE	2
3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	3
3.1 LEGISLACION ESTATAL	3
3.1.1 ÁMBITO GENERAL.....	3
3.1.2 LEGISLACIÓN AUTONÓMICA ANDALUZA	3
4. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	4
4.1 LEGISLACION ESTATAL	4
4.1.1 ÁMBITO GENERAL.....	4
4.1.2 ÁMBITO LABORAL.....	4
4.1.3 ÁMBITO: FOCOS MÓVILES EMISORES DE RUIDO/VIBRACIONES	5
4.2 LEGISLACIÓN AUTONÓMICA ANDALUZA.....	5

1. INTRODUCCIÓN

A la hora de llevar a cabo el diseño de una planta o de una unidad, se deben tener en cuenta los factores relacionados con el proceso y que pueden tener una repercusión en el medioambiente. Es por ello, que todo proyecto debe de estar acompañado de un estudio de impacto ambiental que asegure salvaguardar la integridad del espacio donde se sitúa, así como el bienestar de las personas y seres vivos que habitan en él.

Se deben tener en cuenta aspectos como la gestión de residuos (orgánicos e inorgánicos), tratamiento de aguas, el impacto visual, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación acústica, olores, etc.

Este documento de Evaluación Ambiental se elabora conforme a la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. Dentro de esta Ley se distinguen dos tipos de evaluaciones ambientales para proyectos: la Evaluación Ambiental Simplificada y la Evaluación Ambiental Ordinaria.

La diferencia entre ambas evaluaciones se basa fundamentalmente en el tiempo que duran los procedimientos y en la complejidad de los informes que se evalúan en cada una. Así, mientras que la Evaluación Ambiental Ordinaria puede llegar a durar hasta 4 meses tras la recepción completa del expediente en el Órgano Ambiental (pudiéndose prolongar hasta 3 meses más), la Evaluación Ambiental Simplificada se prolonga 3 meses desde la recepción de toda la documentación asociada, la cual se trata de un Documento Ambiental de contenido más reducido que la anterior.

El tipo de proyecto de este Trabajo Fin de Grado se recoge en los Anexos I y II de la Ley 21/2013 de 9 de diciembre, en el Grupo 5 y Grupo 6 respectivamente, para Industria química, petroquímica, textil y papelera.

2. ALCANCE

Durante el proceso que concierne el alcance de este Trabajo Fin de Grado, se han diseñado los equipos para mitigar y amortiguar en la medida de lo posible todo impacto medioambiental en el entorno donde se realice.

El diseño de las unidades y equipos auxiliares no se han realizado con relación a un emplazamiento de la planta en concreto. Por este motivo, se desconoce los efectos perjudiciales que dicho proceso provocaría en la zona.

Este Estudio Preliminar de Impacto Ambiental se reduce entonces a enumerar las leyes a las que se atiene las unidades y equipos diseñados en el presente Trabajo Fin de Grado en cuanto a las emisiones acústicas y de gases a la atmósfera.

3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Durante la etapa de venteo ([ver Capítulo 9.5.9 del Documento “Memoria”](#)) se libera a la atmósfera un volumen controlado de CO₂ gas que no puede ser aprovechado en etapas ni ciclos posteriores. El presente TFG ha llevado a cabo el diseño de las unidades atendiendo a la siguiente normativa:

3.1 LEGISLACION ESTATAL

3.1.1 ÁMBITO GENERAL

Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera

Real Decreto 678/2014, de 1 de agosto, relativo a la mejora de la calidad del aire.

Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire.

Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

3.1.2 LEGISLACIÓN AUTONÓMICA ANDALUZA

Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía.

Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.

4. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Para hacer frente a la contaminación acústica que supone la emisión del gas CO₂ a la atmósfera durante la etapa de venteo, se ha incorporado a la unidad de impregnado un silenciador ([ver Capítulo 9.3.5 de la Memoria del presente TFG](#)). Con instalación de este equipo se pretende cumplir con la siguiente normativa:

4.1 LEGISLACION ESTATAL

4.1.1 ÁMBITO GENERAL

- Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

4.1.2 ÁMBITO LABORAL

- Instrumento de Ratificación de 24 de noviembre de 1980, del Convenio número 148 de la OIT, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo
- 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.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

4.1.3 ÁMBITO: FOCOS MÓVILES EMISORES DE RUIDO/VIBRACIONES

4.1.3.1 MAQUINARIA DE USO AL AIRE LIBRE

·Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.

4.2 LEGISLACIÓN AUTONÓMICA ANDALUZA

·Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.