

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: EXTRACCIÓN SUPERCRÍTICA DEL
ACEITE DE LAS SEMILLAS DEL HIGO
CHUMBO (OPUNTIA FICUS-INDICA)

Autora: Elisa GUTIÉRREZ DE LA CRUZ

Fecha: Junio 2014





Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

INTRODUCCIÓN

La preocupación actual por el medio ambiente, así como los nuevos hábitos de consumo y el auge de consumo de productos de origen natural, hace que se estudien nuevos procesos de fabricación no contaminantes, que respeten el entorno y eviten el uso de productos químicos. Surge así los procesos con fluidos supercríticos, entre los que se encuentra la extracción supercrítica, proceso usado para dicho proyecto.

Gracias a este nuevo método de extracción es posible acortar el tiempo de extracción, disminuir o eliminar el consumo de solvente orgánicos, aumentar el rendimiento de extracción y mejorar la calidad del extracto. A diferencia de los procesos tradicionales, que requieren altos tiempos de residencia y grandes cantidades de solvente orgánicos.

Con motivo del uso de esta tecnología se lleva a la producción de alimentos sanos y de mayor calidad, con la seguridad de estar utilizando una técnica limpia y respetuosa con nuestro entorno.

OBJETIVO

El objetivo del presente documento es el diseño íntegro de una planta de extracción del aceite contenido en las semillas del higo chumbo, mediante tecnología de fluidos supercríticos a escala piloto. Se realizará el estudio y diseño del extractor a la presión a utilizar, además del dimensionamiento de los equipos complementarios necesarios.

MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS

La materia prima fundamental en esta planta son las semillas del fruto de higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*), de las cuales se extraerá su aceite, gracias a una corriente de dióxido de carbono en estado supercrítico. Por tanto, las únicas materias primas necesarias son el dióxido de carbono y las semillas procedentes del higo chumbo.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

PROCESO

La planta piloto consta principalmente de dos extractores, en los cuales se produce la extracción del aceite de las semillas del futo, dos separadores ciclónicos, dos intercambiadores de calor y una bomba. El proceso se muestra en la figura adjunta.

La planta va a ser alimentada por una corriente de 0,025 Kg/h de dióxido de carbono, este va a estar almacenado en botellas de 37,5 Kg. No será necesario almacenar grandes cantidades de dióxido de carbono, ya que el usado se va a recircular tras un proceso de limpiado.

Por otro lado, la carga del extractor será de 5 Kg de semillas en cada extracción. Por lo que serán necesarias 1,67 Kg de semillas en una hora. Estos frutos se almacenarán en silos en la zona de carga de los extractores para facilitar dicha maniobra.

El proceso de extracción se realiza con dióxido de carbono en estado supercrítico, por lo que hay que adecuar la planta para éste alcance dicho estado.

En primer lugar, el dióxido de carbono sale de la bombona a 50 bar y temperatura ambiente, por lo que es necesario aumentarle la temperatura y la presión para que alcance el estado supercrítico. Para aumentar la presión es necesario un sistema de bombeo, y para ello, el gas debe pasar a estado líquido. Por ello, la corriente de gas que sale de la bombona se hace pasar por un intercambiador de calor, descendiendo su temperatura hasta los 5°C, cambiando el dióxido de carbono a estado líquido. Esta corriente líquida se bombea, aumentando la presión hasta los 400 bar. Ahora ya sólo es necesario volver a aumentar la temperatura de la corriente, para ello se conecta otro intercambiador de calor. Así la corriente se encuentra a 35°C y 400 bar, estando por encima de la presión y temperatura crítica del dióxido de carbono (73,83 bar y 31,1°C).

La corriente de fluido supercrítico es la que va a pasar por el extractor, haciendo posible la extracción del aceite contenido en las semillas cargadas en el interior del extractor. El paso al extractor se realiza a través de una válvula de tres vías que circula el fluido hacia el extractor 1 o el 2, ya que uno estará preparado para la extracción y el otro estará listo para ser limpiado y cargado de nuevo. De esta manera es posible que el proceso opere en continuo.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

El extractor ha sido diseñado para soportar presiones hasta de 500 bar y 80°C. En su interior se alberga una canasta donde se realiza la carga de material a extraer. Consta de un sistema de apertura fácil y de poleas para poder cargar y descargar la canasta.

El extracto pasa al sistema de separación, que consta de un separador ciclónico para cada extractor, el paso vendrá regulado por una válvula reguladora de presión que controla la presión en el extractor.

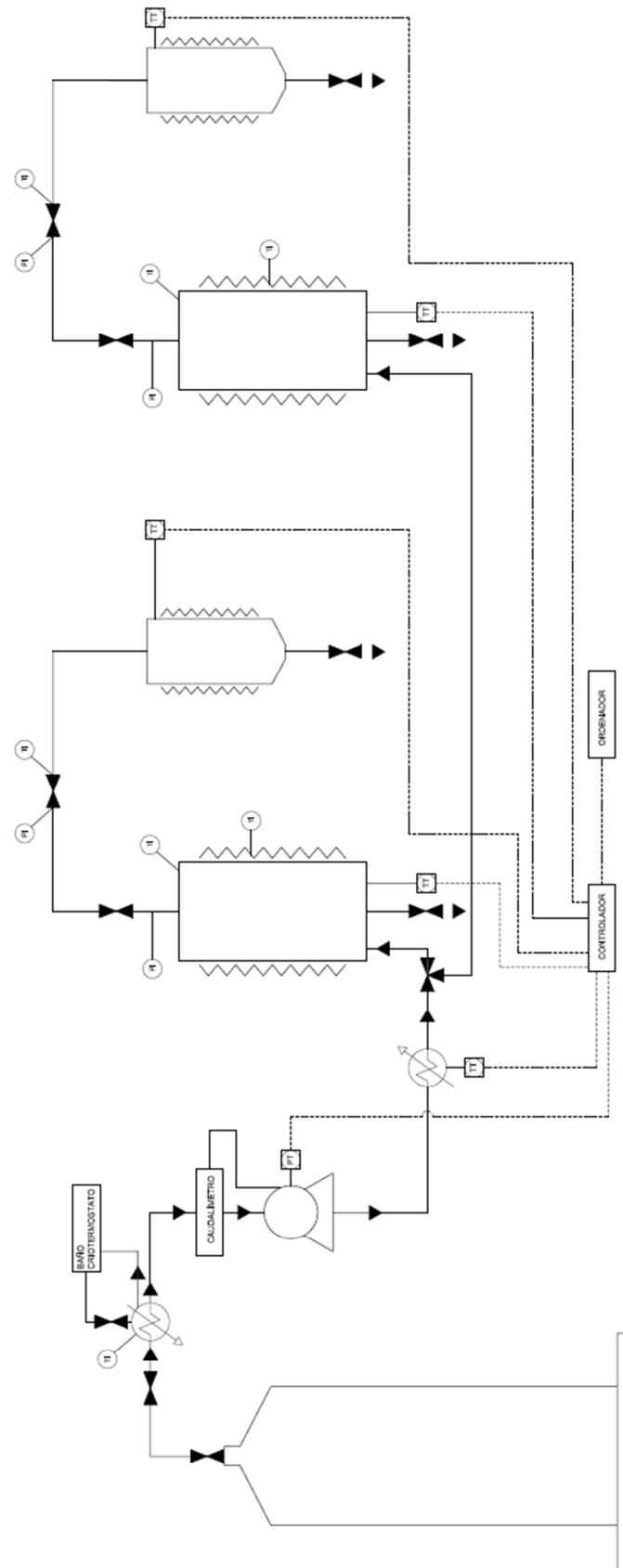
En el ciclón se produce la separación del producto extraído y el disolvente por diferentes métodos.

Finalmente el aceite se recoge directamente del interior del ciclón a través de una válvula y el disolvente se recircula a la bombona, tras pasar por un proceso de condensación y presurización.

CONCLUSIONES

Como conclusión, cabe destacar que se ha partido de la necesidad de diseñar un proceso de obtención de aceite a partir de las semillas de higo chumbo, y se ha diseñado de manera que proporciona una solución viable tanto tecnológica como económicamente. Ya que el proceso elegido es el de mayor rendimiento de la extracción, como demuestran estudios de experimentación.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)



DOCUMENTOS DEL PROYECTO

DOCUMENTO 1: “Memoria y Anexos”
 “Memoria descriptiva”
 “Anexos”
 “Bibliografía”

DOCUMENTO 2: “Planos”

DOCUMENTO 3: “Pliego de Condiciones”

DOCUMENTO 4: “Presupuesto”

DOCUMENTO 1: Memoria y Anexos

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Índice de la Memoria

1	VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	14
1.1	Viabilidad Técnica: objeto y justificación del proyecto.....	14
1.1.1	Objeto del proyecto fin de carrera.....	14
1.1.2	Justificación del proyecto.....	14
1.2	Viabilidad legal.....	15
1.3	Viabilidad Económica.....	15
2	ANTECEDENTES.....	16
3	MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.....	18
3.1	Dióxido de Carbono.....	18
3.2	La semilla de higo chumbo.....	19
3.2.1	Selección del Higo Chumbo.....	20
3.2.2	Uso actual del Higo Chumbo.....	21
3.2.3	Proceso de separación de las semillas.....	21
3.3	El aceite de higo chumbo.....	23
4	EXTRACCIÓN SUPERCRTICA DEL HIGO CHUMBO.....	25
4.1	Introducción a los fluidos supercríticos.....	25
4.1.1	Propiedades Termodinámicas.....	26
4.1.2	Polaridad.....	27
4.1.3	Poder de Dilución.....	28
4.1.4	Termodinámica del ciclo.....	30
4.1.5	Propiedades de transporte.....	31
4.2	Selección de Alternativas.....	32
4.3	Esquema de la planta piloto.....	33
4.4	Procesos Específicos.....	36
4.4.1	Carga del lecho.....	36
4.4.2	Presurización y calentamiento.....	37
4.4.3	Operación.....	37
4.4.4	Cambio de extractor.....	38
4.4.5	Despresurización y recogida de productos.....	38
4.4.6	Despresurización total.....	39
5	DISEÑO DEL EXTRACTOR.....	40
5.1	Introducción.....	40
5.2	Características del diseño.....	41
5.3	Envolvente de caucho de silicona.....	42

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

5.4	Mantenimiento de la temperatura del extractor	44
5.5	Registro de Inspección.....	46
5.6	Válvula de seguridad	46
6	OTRAS UNIDADES DE PROCESO	47
6.1	Intercambiadores de calor.....	47
6.1.1	Introducción.....	47
6.1.2	Caracterización de las corrientes de entrada.....	49
6.1.3	Selección del tipo de intercambiador.....	50
6.1.4	Intercambiador de carcasa y tubos.....	52
6.1.5	Intercambiador Eléctrico	53
6.2	Separador ciclónico.....	55
6.2.1	Proceso de separación.....	55
6.2.2	Funcionamiento del separador de tipo ciclónico	56
6.2.3	Elección del tipo de separador ciclónico	58
6.2.4	Características del diseño	60
6.2.5	Caída de presión	61
7	SISTEMA DE TUBERÍAS	62
7.1	Introducción	62
7.2	Diseño de tuberías.....	62
7.3	Características de diseño.....	65
7.4	Caída de Presión	66
7.5	Diseño de bombas	66
8	REUTILIZACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO.....	67
9	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO	68
9.1	Instrumentación	68
9.1.1	Instrumentos de caudal	68
9.1.2	Instrumentos de temperatura	68
9.1.3	Instrumentos de presión.....	69
9.1.4	Instrumentos de nivel	69
9.2	Control	70
9.2.1	Fundamentos de Control.....	71
9.2.2	Control en la planta piloto	72
10	NORMAS Y REFERENCIAS	73
10.1	Disposiciones Legales y Normas aplicadas	73
11	UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA	75
11.1	Ubicación	75

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

11.2	Distribución.....	75
12	MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD	76
12.1	Medio Ambiente.....	76
12.1.1	Gestión de residuos generados en la planta.....	76
12.1.2	Prevención y control integrados en la contaminación.....	77
12.1.3	Impacto Medioambiental de la Planta Piloto de Extracción Supercrítica	77
12.2	Seguridad.....	80
12.2.1	Objeto del estudio de seguridad.....	80
12.2.2	Clasificación de Sustancias	81
12.2.3	Transporte y almacenamiento.....	81
12.2.4	Condiciones generales de seguridad en los lugares de trabajo.....	83
12.2.5	Análisis de riesgos en la planta piloto	85
12.2.6	Riesgos laborales	86
12.2.7	Señalización e iluminación.....	87
12.2.8	Protección contra incendios y explosión.....	91
12.2.9	Equipos de Protección Individual.....	92
12.2.10	Servicios de prevención	93
12.2.11	Plan de Emergencia	93
13	PLANIFICACIÓN	95
13.1	Operación	95
13.2	Mantenimiento	95
14	OPERACIONES DE MANTENIMIENTO	95
14.1	Introducción	95
14.1.1	Mantenimiento preventivo.....	96
14.1.2	Mantenimiento Predictivo	97
14.1.3	Mantenimiento Correctivo.....	97
14.1.4	Mantenimiento Autónomo.....	98
14.2	Operaciones de Mantenimiento para cada equipo.....	99
14.2.1	Mantenimiento de los extractores.....	99
14.2.2	Mantenimiento del intercambiador de calor de carcasa y tubos.....	99
14.2.3	Mantenimiento del separador ciclónico.....	100
14.2.4	Mantenimiento de la bomba	100
14.2.5	Mantenimiento del sistema de tuberías	100
14.2.6	Mantenimiento de las válvulas	100
14.2.7	Mantenimiento de los extintores.....	100

MEMORIA DESCRIPTIVA

1 VIABILIDAD DEL PROYECTO

1.1 Viabilidad Técnica: objeto y justificación del proyecto

1.1.1 Objeto del proyecto fin de carrera

El objetivo del presente documento es el de realizar el diseño íntegro de una planta de extracción del aceite contenido en las semillas del higo chumbo, mediante tecnología de fluidos supercríticos a escala piloto.

Se realizará el estudio y diseño de la planta piloto completa. Este diseño abarca desde el extractor a presión a utilizar, el dimensionamiento de los equipos complementarios necesarios; así como el mecanismo de carga y descarga del extractor y un sistema de reutilización del dióxido de carbono.

1.1.2 Justificación del proyecto

Este proyecto surge por la utilización en la industria cosmética del aceite extraído de las semillas del fruto de la chumbera. El uso de este aceite en cosméticos es debido a sus magníficas propiedades lo que lo hace apto para todo tipo de pieles.

Pese a ser un aceite que empieza a darse a conocer actualmente, en Marruecos este aceite es usado desde la antigüedad por las mujeres bereberes para reafirmar el busto, como cicatrizante y para proteger la piel de los efectos atmosféricos como el aire seco del desierto.

Con el presente proyecto se pretende diseñar la planta donde tendrá lugar la extracción de dicho aceite por el método más eficaz, mediante fluidos supercríticos. La elección de una extracción supercrítica se basa en que la cantidad de semillas en la pulpa del fruto es del 12%, por lo que el proceso de extracción debe tener el mayor rendimiento posible. Tras trabajos de investigación se demuestra que la extracción supercrítica es el método de extracción de mayor rendimiento.

Además en la extracción supercrítica, la penetración del disolvente en el interior de las semillas es más rápida, lo que reduce el tiempo de extracción, evitando el daño de las semillas.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Por otro lado, al tratarse de un producto de uso humano hay que evitar el uso de sustancias tóxicas. Debido a la solubilidad del aceite en el dióxido de carbono, en este caso sólo es necesario el uso de dióxido de carbono, no es necesario la adición de un co-solvente.

1.2 Viabilidad legal

El presente proyecto cumple todas las normativas vigentes vinculadas con los aspectos tratados en el mismo, no existiendo ninguna legislación que afecte al proyecto impidiendo su ejecución u operación una vez que la planta piloto esté en marcha.

1.3 Viabilidad Económica

De acuerdo con el Documento N° 4: Presupuesto, se puede afirmar que el proyecto es viable económicamente. Cabe destacar que pese a ser un proyecto en escala piloto la rentabilidad mínima es superior a la mínima recomendada para una planta química, que es del 15%.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

2 ANTECEDENTES

La preocupación por el medio ambiente dio lugar a la creación de nuevas técnicas no contaminantes. Así como la posibilidad de trabajar con productos naturales, sin dañar ninguna de sus propiedades, fueron algunas de las causas que dieron lugar a la creación de nuevas técnicas de extracción, como es la extracción supercrítica. Mediante este método de extracción se puede aportar un valor añadido al producto o eliminar sustancias que no son buenas para la salud como grasas o cafeína.

A nivel industrial, los fluidos supercríticos se utilizan en el sector agroalimentario, farmacéutico y en cosmética, entre otros.

En España ya existen empresas dedicadas a extracción supercrítica, entre las que destacan SOLUTEX y ALTEX.

SOLUTEX es una de las empresas líderes mundiales en la tecnología con dióxido de carbono supercrítico, con sede en Miami y dos plantas una en Mallén (Zaragoza) y otra en Andra Pradesh (India). Con esta tecnología obtienen Omega-3 de alta concentración, aceites esenciales procedentes de cítricos, especialidades naturales derivadas de cítricos, ajowan, menta o lemongrass; diversos extractos procedentes de oleorresinas, brócoli, jazmín, la mimosa, entre otros

Por otro lado, ALTEX es creada para dar acceso industrial al dióxido de carbono supercrítico en procesos de extracción y purificación avanzados, así como el tratamiento de materiales. Ellos no producen directamente sino que se ceden la infraestructura a la empresa interesada en dicha tecnología o en la producción del producto de otra manera. Actualmente se encuentran inversos en diversos proyectos con tecnologías supercríticas.

Además de estas dos grandes empresas dedicadas exclusivamente a la producción mediante tecnología supercrítica, existen empresas donde parte de sus procesos se realizan mediante fluidos supercríticos, como es el caso de IDOKI empresa española cosmética dedicada al cabello, que utiliza la tecnología supercrítica para la obtención de esencias que añaden a sus productos.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

La tecnología con fluidos supercríticos está en continua mejora lo que la hace más atractiva para ciertos procesos, por lo que su implantación industrial está aumentando a nivel mundial.

3 MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS

3.1 Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono es un gas inocuo que en condiciones supercríticas se convierte en un disolvente muy selectivo y sirve como elemento separador eficaz. Entre sus ventajas cabe destacar la fácil separación de sustancias a temperaturas suaves sin provocar daño en el producto; su gran capacidad selectiva; su comportamiento no polar como disolvente que disuelve selectivamente los compuestos insolubles en agua como los aceites vegetales, mantequilla, grasas o hidrocarburos. Sin embargo, el dióxido de carbono no disuelve los componentes hidrofílicos como los azúcares y las proteínas, y especies minerales, como sales o metales.

El dióxido de carbono no es un gas contaminante y puede obtenerse de los flujos de residuo (por ejemplo, de una planta de fertilizantes). Por lo tanto, hace que la extracción sea una técnica más limpia y segura que los procesos convencionales y nos permite conservar los principios activos de las sustancias.

Además, el dióxido de carbono resulta muy atractivo por ser una sustancia barata y abundante, de forma pura, en todo el mundo. También cabe destacar su baja toxicidad e inflamabilidad.

Para modificar el poder disolvente en moléculas polares y así mejorar las propiedades, se puede añadir a la corriente principal, en este caso dióxido de carbono, un disolvente orgánico. Por lo general, el co-solvente se elige entre los alcoholes de cadena corta, ésteres o cetonas. Por razones obvias, el etanol es preferible en muchos casos, ya que es abundante y barato en las formas puras (de calidad alimentaria), no resulta peligroso y no es muy tóxico.

Estos equipos basados en el poder extractor del dióxido de carbono, se utilizan para realizar extractos en matrices sólidas o líquidas sin presencia de disolventes orgánicos por distintos motivos: toxicidad, coste, eficacia o ecología.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

3.2 La semilla de higo chumbo

Se trata de un sólido de forma redondeada, cuyo tamaño puede oscilar entre 1 y 5 mm de diámetro. En la figura 1 y 2 se muestra una imagen del fruto y de las semillas del higo chumbo, respectivamente.



Figura 1: Fruto del Nopal o higo chumbo



Figura 2: Semillas del Higo chumbo ya separadas del fruto.

Las propiedades más relevantes de las semillas de higo chumbo, están reflejadas en la siguiente tabla, figura 3:

NUTRIENTE	CONTENIDO
Carbohidratos	9,57 g
Proteínas	0,73g
Grasas	0,51g
Fibra	3,60 g
Vitamina C	14 mg
Vitamina B6	0, 046 mg
Vitamina B9	0, 06 mg
Calcio	56 mg
Magnesio	85 mg

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

Fósforo	24 mg
Sodio	5 mg
Potasio	220 mg
Agua	87,55 g

Figura 3: Nutrientes contenidos en 100 g de semillas. Fuente: www.botanical-online.com

3.2.1 Selección del Higo Chumbo

El higo chumbo o tunas es el fruto comestible de la chumbera, tuna o nopal, como es conocida popularmente, la especie es *Opuntia ficus-indica*. Es un género de plantas de la familia de las cactáceas, oriunda del continente americano, donde crecen de forma silvestre. Fueron introducidas en Europa por los conquistadores y se naturalizaron fácilmente en la región mediterránea.

Actualmente, la producción mundial de higo chumbo se centra en los países de América del Sur, México e Italia. A ellos se han unido en los últimos años otras zonas dentro de la franja climática templada o cálida, como Brasil, Estados Unidos (mayoritariamente en Texas), Sudáfrica, Marruecos y Túnez. En España la mayor parte de la producción se centra en la cuenca del Mediterráneo y el norte de África.

Como descripción del fruto destaca su forma ovalada y esférica, carnosa con espinas finas y transparentes. En algunos casos su color es verde y se torna amarillo o escarlata hasta alcanzar la maduración. Su pulpa es jugosa y gelatinosa de color rosa o crema pálido con tiernas semillas. Su sabor es delicioso, indefinido, parecido a la fresa y el plátano.

Para la producción de aceite el fruto utilizado procederá generalmente de Marruecos, ya que es la zona más cercana que comercializan directamente las semillas del fruto separadas ya del fruto, lo que reducirá el coste en tratamientos de la semilla para adecuarla al proceso de extracción.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

3.2.2 Uso actual del Higo Chumbo

Actualmente el principal uso del higo es como fruto para el consumo como alimento. Son muy populares en México, Chile, Noroeste de Argentina, Perú, las Islas Canarias, Andalucía, Marruecos y el Levante español.

Se trata de un fruto rico en vitaminas, destacando el beta caroteno (vitamina A), niacina o vitamina B3, tiamina o B1, riboflavina o B2 y ácido ascórbico. Entre los minerales significativos se encuentran calcio, potasio y fósforo.

También tiene un uso medicinal, los frutos son considerados astringentes.

En la actualidad, además del consumo como alimento, se está utilizando en la industria de cosméticos, como componentes de cremas o aceites para el rostro, el cuerpo y el cabello. Es un aceite muypreciado en esta industria.

3.2.3 Proceso de separación de las semillas

Las semillas del higo chumbo están dentro del fruto en contacto con la pulpa, ésta debe ser eliminada para obtener semillas limpias con el fin de mejorar su aspecto y que no entorpezcan en el proceso de extracción. Los procesos de extracción de la pulpa no deben de afectar a la calidad de las semillas.

El proceso de separación viene determinado por los siguientes pasos:

- Molienda de frutos

Para ello se utiliza una molidora de presión mecánica por rodillos perfilados, como la que se muestra en la figura 4. Ésta provoca el estallido del fruto formando una mezcla de sustancia gelatinosa, semilla y jugo. Esta mezcla pasa a través de una malla metálica, donde las porciones pequeñas son las que pasan.

Estas porciones pequeñas pasan a un separador ciclónico, en este por fuerzas centrifugas separa las semillas del jugo y la materia gelatinosa.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

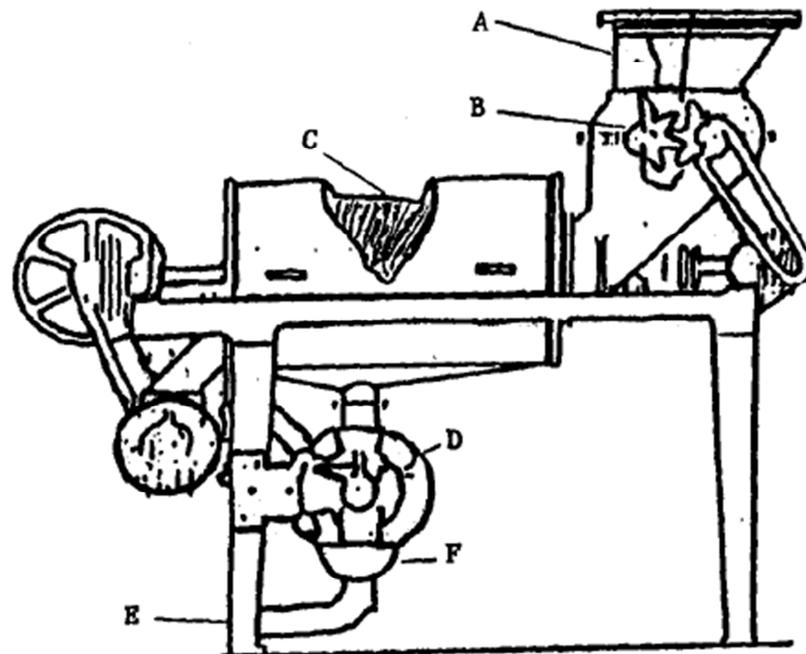


FIGURA 14. Esquema de una moledora de tomate. A, tolva alimentadora; B, molinillos trituradores; C, cilindro tamiz; D, Separador centrífugo; E, manguera de jugo; F, salida de semillas y restos de pericarpio.

Figura 4: Esquema de la Moledora

- Separación de la semilla de su gelatina

Entre varios métodos posibles esta etapa se realiza por fermentación. La fermentación ocurre de manera natural al mezclar las semillas, pulpa y el jugo a temperatura ambiente durante un período de entre 2 y 6 días, dependiendo de la temperatura ambiente. Durante la fermentación el gel es descompuesto y pasado un tiempo las semillas viables se van al fondo del recipiente.

- Lavado

El lavado y secado debe hacerse de forma rápida para evitar germinación. Para ello se usan canaletas metálicas por donde circula agua con las semillas. Las canaletas tienen tapas perpendiculares a la pendiente de agua con una altura suficiente como para permitir rebalsar el agua junto con algunos materiales finos. Las semillas quedan retenidas por las tapas y se pueden recolectar. Cuando por el extremo de las tapas no salen más impurezas, se sacan las tapas y se arrastran las semillas con agua para recibirlas al final de la canaleta.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- Centrifugado

Es recomendable para eliminar el agua libre que se encuentra con las semillas.

- Secado

El secado se realiza con tamices al sol o con secadores de aire rotativos a aire forzado. También se pueden combinar las dos opciones, realizando un ciclo de secador rotatorio disminuyendo así el tiempo al sol, abaratando costes de energía.

Este proceso no se realiza en la planta piloto diseñada en el presente proyecto fin de carrera. Ya que existen empresas que suministran directamente las semillas ya separadas del fruto, lo que supone una disminución de los costes de operación. En la planta el único tratamiento de la semilla necesario es la reducción del tamaño, para ello las semillas son trituradas quedándose con un diámetro medio de 1-10 μm . Para ello se utiliza un triturador de 500 vatios de potencia nominal con una agitación de 10000 rpm. Gracias a este paso aumenta el rendimiento de la extracción.

3.3 El aceite de higo chumbo

El aceite de higo chumbo, también conocido como aceite de Nopal, es un tipo de aceite poco conocido actualmente en nuestro país, su uso mayoritario es en el mundo de la cosmética. Extraído de las semillas del fruto de la chumbera, este aceite es utilizado tanto para el rostro, cuerpo y cabello.

Es un aceite fluido que penetra muy rápidamente sin dejar ninguna película grasa en la epidermis, lo que lo hace apto para todo tipo de pieles. Sobre todo es muy adecuado para las pieles reseca, maduras y deshidratadas.

Entre sus características cabe destacar:

- Apariencia:

- Color: amarillo dorado,
- Textura: fina, de fácil absorción.
- Olor: ligeramente ácido pero agradable.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

– Usos:

- Nutritivo, se absorbe fácilmente.
- Gracias a sus ácidos Omegas 3, 6, 7, y 9, restablece la firmeza y el tono de la piel.
- Su riqueza en ácido linoleico, más del 68%, le da propiedades excelentes contra la sequedad cutánea.
- Revitalizante natural.
- Alto contenido en vitamina E, lo que le da un alto poder cicatrizante.

4 EXTRACCIÓN SUPERCRÍTICA DEL HIGO CHUMBO

4.1 Introducción a los fluidos supercríticos

Este proyecto se basa en una extracción sólido- fluido donde el fluido se encuentra en estado supercrítico, lo primero que hay que aclarar es qué es un fluido supercrítico.

Un fluido supercrítico (SCF) es una sustancia que se encuentra por encima de su presión y temperatura críticas. Considérese el siguiente diagrama presión-temperatura de una sustancia pura:

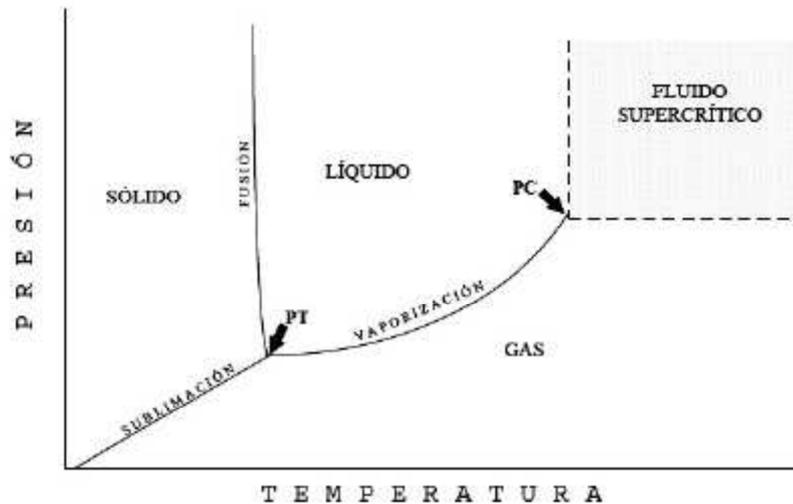


Figura 5: Diagrama Presión –Temperatura de una sustancia pura.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

En el diagrama aparecen dos puntos característicos: el punto triple, PT, donde coexisten los tres estados, sólido, líquido y gaseoso; y el punto crítico, PC, al final de la curva de vaporización, caracterizado por una presión crítica y una temperatura crítica. El punto crítico representa las condiciones de presión y temperatura en las que dejan de existir como tales las fases líquida y gaseosa, apareciendo la fase llamada fluido supercrítico.

Los fluidos supercríticos se caracterizan por exhibir un buen poder disolvente en estado puro o agregado con un co-solvente. A medida que se varía la presión o la temperatura, o ambas a la vez, la densidad del SCF también se modifica. Este hecho es de gran importancia si se considera que el poder disolvente de una sustancia depende de su densidad, puesto que es función de las fuerzas intermoleculares resultantes del empaquetamiento de las moléculas del disolvente, alrededor de las moléculas del soluto, fuerzas que a su vez dependen de la densidad. De esta forma, el poder disolvente de los SCF puede ser como el de los líquidos, dependiendo de la presión y la temperatura. Además de estas características peculiares con respecto a la densidad y al poder disolvente, los fluidos supercríticos presentan otras propiedades físico-químicas particulares relacionadas con la transferencia de materia.

4.1.1 Propiedades Termodinámicas

Un fluido más allá del punto crítico, donde $P > P_c$ y $T > T_c$, se encuentra en estado supercrítico. En el punto crítico en sí, la compresibilidad del líquido se convierte en infinita:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0 \text{ y } \left(\frac{\partial^2 P}{\partial^2 V}\right)_T = 0$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

lo que significa que el peso específico del líquido varía rápidamente a cualquier ligero cambio sobre la presión a temperatura constante. Por otra parte, incluso fuera de la región crítica en sí, los SCF exhiben una gran cantidad de cambios en la densidad, y por lo tanto su poder disolvente y en otras propiedades físico-químicas con la presión o la temperatura.

4.1.2 Polaridad

Los disolventes están clasificados de acuerdo a una escala de polaridad en función de su capacidad de disolver las moléculas polares o no polares. El agua es un disolvente muy polar, siendo capaz de disolver todo tipo de compuestos que pueden ser ionizados o que contenga restos hidrófilos como azúcares, proteínas o aminoácidos. Por el contrario, los disolventes orgánicos como alcanos ligeros (hexano o heptano) o hidrocarburos clorados no disuelven estos compuestos, sólo disuelven las moléculas hidrofóbicas que no son del todo solubles en agua como grasas, aceites, hidrocarburos o aceites esenciales, se les llama disolventes no polares.

Otros disolventes, como alcoholes, aminas o cetonas, exhiben un comportamiento intermedio. La mayoría de los fluidos supercríticos se comportan como disolventes no polares mostrando una fuerte afinidad con los lípidos y los hidrocarburos, pero débil ante las moléculas oxigenadas o hidroxilados. Por lo que es requerido en muchos casos para afinar su polaridad mediante la adición de un co-solvente polar (etanol o alcoholes ligeros, ésteres o cetonas).

Al ser un disolvente no polar en estado supercrítico se adhiere perfectamente al aceite contenido en las semillas, lo que permite su extracción.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

4.1.3 Poder de Dilución

Los equilibrios de fase de las mezclas líquidas son muy complejos, y se pueden encontrar muchos tipos de diagramas de fase distintos. Recientes avances en el modelado termodinámico permiten predecir el equilibrio de fases de mezclas, aunque sin embargo, algunas siguen siendo necesarias para establecer algunos parámetros de interacción que no se puede calcular todavía, especialmente para los líquidos polares (por ejemplo, en el caso de fuertes enlaces de hidrógeno).

No obstante, por "simples" que sean los sistemas y la relativamente baja solubilidad, la correlación empírica propuesta por *Chrastil* se puede utilizar para interpretar los resultados experimentales con una buena fiabilidad y sin ningún tipo de cálculos complicados:

$$C = \rho^k \cdot e^{[a/T+b]}$$

Siendo:

C: concentración de solutos

a, b, y k: constantes empíricas

Esta correlación muestra la extrema dependencia de la solubilidad con la densidad del fluido ρ .

También muestra que:

- La solubilidad aumenta con la densidad (o presión) a temperatura constante.
- La solubilidad puede aumentar cuando la temperatura se eleva a presión constante.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

En todos los casos, la solubilidad disminuye drásticamente cuando el líquido es despresurizado a temperatura constante por debajo de su presión crítica, con una variación de solubilidad de varios órdenes de magnitud. Esta es la base de la mayoría de los procesos de SCF, ya que se utilizan como disolventes en la región supercrítica para extraer selectivamente algún componente antes de ser despresurizado para hacer que el soluto precipite y permita la separación fluido-soluto.

Por último, en nuestro caso, la corriente de extracto está compuesta por el dióxido de carbono en estado supercrítico y el aceite extraído de las semillas de higo chumbo, es muy fácil de separar. Para la separación de dicha corriente sólo es necesario despresurizarla, variando así la solubilidad del dióxido de carbono y provocando la separación.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

4.1.4 Termodinámica del ciclo

El diagrama básico en el diseño y operación de una planta de SCF es el diagrama de presión-entalpía (llamado diagrama de *Mollier*), o también el diagrama temperatura-entropía, Figura 6. En estos diagramas, es fácil representar el comportamiento de los fluidos que, en la mayoría de los casos, puede ser asimilado como puro, salvo cuando se le añade una cantidad significativa de co-solvente. En el presente proyecto, se toma el caso del dióxido de carbono puro, ya que no se añade ningún co-disolvente.

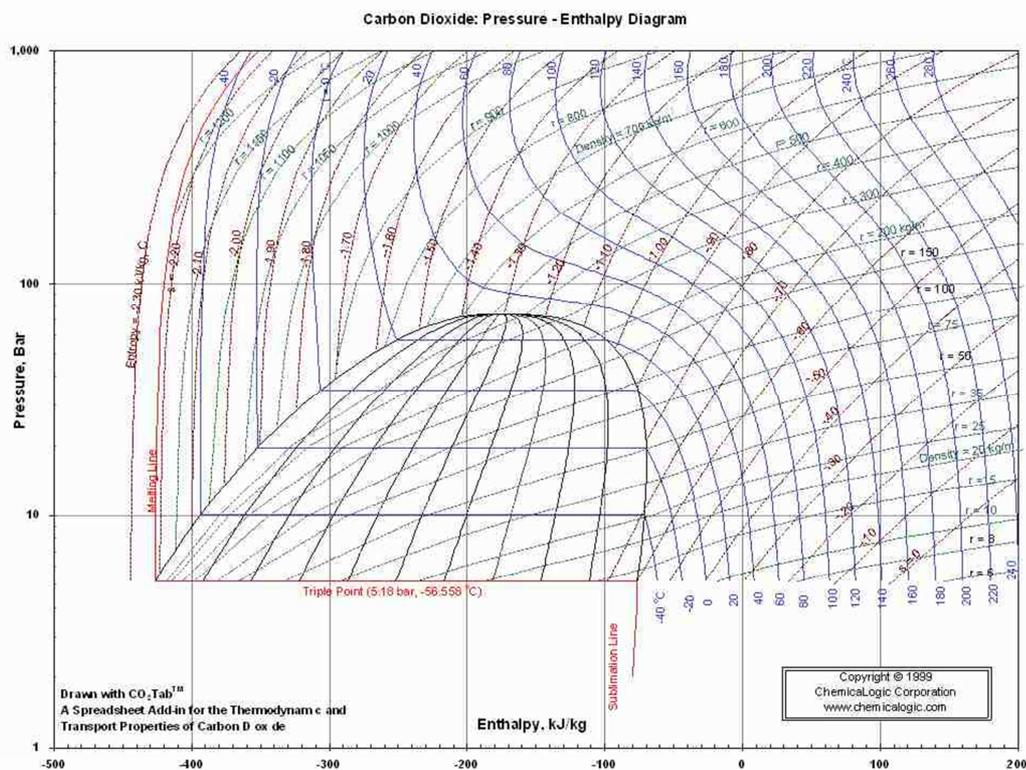


Figura 6: Diagrama de Mollier (T,S) del Dióxido de Carbono. Fuente: www.chemicallogic.com

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

4.1.5 Propiedades de transporte

Por otra parte, las propiedades de transporte de los SCF son muy atractivas ya que son densas como líquidos, pero "ligeros" como el gas (muy baja viscosidad, a difusividades intermedias). Así, la transferencia de masa (y del mismo modo la transferencia de calor) es más rápido en los SCF en comparación con disolventes líquidos o agua. Por otra parte, SCF difunden rápidamente en un medio poroso, facilitando tanto la extracción de materiales sólidos como la impregnación de solutos.

En la siguiente tabla se muestra las propiedades de transporte del dióxido de carbono en estado supercrítico, comparándolo con el mismo fluido en estado sólido y líquido.

		Líquidos	SCF	Gases
Densidad, ρ	Kg/m ³	600-1600	100-900	0,6-2
Viscosidad, η	Pa·s	10 ⁻³	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	10 ⁻³
Difusividad, D	m ² /s	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻³

Figura 7: Comparación de las propiedades medias de los gases, líquidos y SCF. Fuente: "The properties of Gases and Liquids" RR Reid, Prausnitz JM, Poling E.

Esta técnica se aplica por ejemplo en la purificación de principios activos, dentro de la industria farmacéutica. También es usada para la obtención de extractos herbales a partir de plantas aromáticas para fabricar aceites esenciales, colorantes naturales, usados en la industria cosmética. Por otro lado la extracción supercrítica también es usada para la eliminación del alcohol de bebidas, para la extracción de grasas o el colesterol de los alimentos, para descafeinar el café, para la recuperación de la nicotina, dentro de la industria alimentaria. En industrias relacionadas con el tratamiento de aguas, cabe destacar operaciones de desinfección o descontaminación de aguas residuales.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

4.2 Selección de Alternativas

La forma de obtener este tipo de aceite es por extracción. Como técnicas de extracción caben destacar dos tipos principalmente, los métodos tradicionales y la extracción supercrítica.

Los métodos tradicionales de extracción requieren altos tiempos de residencia y grandes cantidades de solventes orgánicos. Además de que son métodos contaminantes y con altos gastos energéticos. En cambio, el disolvente y la materia prima tienen un contacto íntimo y repetido, mejorando el proceso de extracción. Además, la instrumentación usada es muy simple.

La técnica para la extracción de solutos de matrices sólidas usando como disolvente un fluido supercrítico tiene como objetivo acortar el tiempo de extracción, disminuir el consumo de solvente, aumentar el rendimiento de extracción y mejorar la calidad del extracto.

Todas estas ventajas se deben a las propiedades de los fluidos supercríticos como son:

- Alto coeficiente de difusión y viscosidad más baja que los líquidos.
- Ausencia de tensión superficial, la cual aumenta la operación de extracción dada la rápida penetración de estos al interior de los poros de la matriz heterogénea.
- La selectividad durante la extracción puede ser manipulada dada la variación de las diferentes condiciones de operación, temperatura y presión, afectando a la solubilidad de varios componentes en el fluido supercrítico.
- La extracción con fluidos supercríticos no deja residuos químicos.
- La extracción con fluidos supercríticos permite su fácil recuperación por procesos de reciclaje, como es el caso del dióxido de carbono en el presente proyecto.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Como desventajas de la técnica de extracción con fluidos supercríticos cabe destacar, que es un técnica compleja y difícil de optimizar, por la cantidad de factores a controlar. Por otro lado, al trabajar a altas presiones provoca retenciones en la industria por el mantenimiento y la seguridad. Por último, el alto coste de los equipos requeridos.

Como conclusión, la elección de una extracción supercrítica se basa en que la cantidad de semillas en la pulpa del fruto es del 12%, por lo que el proceso de extracción debe tener el mayor rendimiento posible. Además en la extracción supercrítica, la penetración del disolvente en el interior de las semillas es más rápida, lo que reduce el tiempo de extracción, evitando el daño de las semillas.

Por otro lado, al tratarse de un producto de uso humano hay que evitar el uso de sustancias tóxicas. En el tipo de extracción elegido sólo es necesario el uso de dióxido de carbono, no es necesario la adición de un co-solvente.

Por todos estos motivos, el proceso de extracción elegido es el supercrítico.

4.3 Esquema de la planta piloto

La planta diseñada consiste en un sistema integrado de extracción supercrítica formado por diferentes unidades. Las unidades principales que intervienen son las siguientes:

- Dos intercambiadores de calor
- Un baño termostático
- Una bomba
- Dos extractores
- Dos separadores ciclónicos

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

La planta está diseñada para poder operar hasta una presión de 500 bar y una temperatura de 80°C. Las condiciones de operación seleccionadas son 35°C y 400 bar. En estas condiciones seleccionadas, el disolvente, cuyo caudal será de 0,025 kg CO₂/s, fluirá desde la bombona de almacenaje por el sistema de conducción a través de un intercambiador de calor conectado al baño termostático, HE-1, donde bajará su temperatura hasta 5 °C. Al alcanzar esta temperatura, pasará a fase líquida ya que la temperatura de vaporización del dióxido de carbono a la presión de botella, 50 bar, es de 14,28°C.

Estando en estado líquido alcanzará la bomba de impulsión de desplazamiento positivo, Pump-1, la cual lo enviará hacia el extractor a la presión y caudal de operación seleccionados.

Al abandonar la bomba, la corriente del disolvente pasa entonces por el segundo intercambiador de calor, HE-2, donde alcanzará la temperatura final de trabajo. A la salida de este intercambiador, el disolvente se encontrará a las condiciones de operación seleccionadas, en estado supercrítico.

En este momento el dióxido de carbono ya está en condiciones para la extracción, para ello, mediante la correcta colocación de una válvula de tres vías, el fluido pasará al extractor que está cargado de materia prima y preparado para el proceso de extracción.

Una vez llegado al extractor, la corriente atravesará el interior de dicho equipo (pasando a través de las semillas) durante tres horas, el tiempo que se ha estimado como el necesario para que el extracto abandone el equipo con el soluto disuelto.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

Tras el proceso de extracción, la corriente de disolvente rica en extracto pasará por la válvula reductora de presión. En este punto la corriente se estrangula y, mediante un proceso isentálpico regulado, se controlará tanto la presión en el extractor. Este proceso generará temperaturas inferiores a 0°C en la corriente de disolvente, por lo que el equipo de esta zona estará convenientemente termostatizado mediante una resistencia a lo largo de la línea para evitar su congelación. Entonces, en las condiciones de operación elegidas, la corriente de disolvente cargada de extracto entra en el separador, donde tiene lugar la separación del extracto del disolvente. El separador está diseñado para que sea capaz de soportar las mismas condiciones de operación que el extractor.

Todo el material decantado en el separador se traslada a unos depósitos herméticos situados a la salida del ciclón.

El dióxido de carbono gasificado en el separador, fluirá a través de un sistema de recuperación del gas hacia una instalación de reciclado de dióxido de carbono. Esta instalación se basa en un filtro, que retiene los pequeñas restos de aceite que contiene el dióxido de carbono, y una bombona de almacenaje de dicho gas.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

4.4 Procesos Específicos

4.4.1 Carga del lecho

El procedimiento de carga comenzará introduciendo la materia prima en el interior de la canasta. Para esta operación, la canasta se encontrará suspendida del puente grúa. La cantidad de materia prima será pesada con anterioridad a la carga, para conocer la cantidad exacta introducida.

A continuación, se engancha la canasta a las cuerdas de izaje del polipasto del puente grúa, y según las medidas de seguridad, se introducirá en el extractor.

Una vez cargado el extractor se cerrará la abertura roscada superior, se coloca la manta calefactora y se realizan las conexiones pertinentes. Cuando estas se concluyan, se comprobarán los siguientes puntos:

- Las válvulas BPR deberán estar programadas para la presión de operación.
- La válvula de salida del disolvente, V-1, se encontrará cerrada.
- La válvula V-2, se encuentra totalmente abierta.
- Las válvulas de entrada a cada uno de los extractores, V-5 y V-6, deberán de estar cerradas.
- La válvula de salida de cada uno de los extractores, V-9 y V-10, se encontrarán cerradas.
- Las válvulas a la salida del recolector del ciclón, V-10 y V-11, estarán cerradas.
- Las válvulas de salida del sistema, V-13 y V-14, se encontrarán abiertas.
- Colocación de la válvula de tres vías, V-4, hacia el extractor que esté cargado.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

4.4.2 Presurización y calentamiento

Se comienza activando el baño criotermostato, que es el encargado de refrigerar el intercambiador de calor, HE-1, cuando se alcance la temperatura deseada, 5°C, se procede a abrir la válvula V-1, empezando a presurizar el sistema. Por otro lado, empiezan a operar el intercambiador de calor, HE-2, junto con la manta calefactora, hasta que cada uno de ellos mantenga su temperatura.

No se procederá a encender el intercambiador de calor, HE-1, sin que por el sistema fluya disolvente, ya que se produciría un deterioro del sistema junto con el riesgo de explosión.

Tampoco se hará funcionar la bomba de alta presión Pump-1 sin que el intercambiador, HE-1, esté a su temperatura de operación.

La presurización del extractor se hará de forma paulatina hasta alcanzar la presión de operación con la que se vaya a trabajar. Esta regulación es posible gracias a la reguladora de presión, BPR.

4.4.3 Operación

Una vez alcanzada la temperatura y presión de consigna en el sistema, se procederá a la apertura de la válvula V-5 o V-6, la que corresponda con el extractor que esté operando. A partir de este momento comenzará el proceso de extracción en el interior del extractor y la recogida de muestras en línea en el sistema de separación. Durante el proceso, la válvula BPR es la encargada de mantener estable las condiciones de presión de operación en el extractor.

A lo largo del proceso se controlarán los indicadores de presión y temperatura en cada momento, tanto en la pantalla de control como los analógicos.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

4.4.4 Cambio de extractor

Para poder trabajar en continuo es necesario cambiar del extractor que ha terminado de operar al que se encuentra cargado, preparado para empezar la extracción. Este cambio es posible gracias a la colocación de las válvulas, por tanto, lo primero es cerrar la válvula de salida del extractor, V-7 o V-8. A continuación se debe de cerrar la válvula de entrada al extractor, V-5 o V-6, aislando así tanto el extractor como el ciclón que acaban de operar. Una vez aislado, se procede a la despresurización y recogida del producto extraído.

Por último es necesario el cambio de la posición de la válvula de tres vías, V-4, hacia el extractor que se encuentra cargado y comprobar que se encuentran las válvulas de entrada al extractor y de salida del mismo están abiertas, mientras que las dos de salida del ciclón y, V-9 o V-10, están cerradas.

4.4.5 Despresurización y recogida de productos

Tras el cambio de extractor, se procede a la despresurización pero sólo del extractor y el ciclón que acaban de operar. Para ello, se deja despresurizar el extractor hasta que se encuentre a presión atmosférica. Cuando se encuentre a presión y temperatura ambiente se procede a la descarga de la materia prima.

Una vez abierto, se enganchará el sistema de izaje al polipasto del puente grúa y se trasladará la canasta hacia el exterior, donde se procederá a descargar su interior por medio del sistema roscado de la base de ésta en el sitio pertinente.

A su vez se realizará la recogida de la muestra colectada en los habitáculos herméticos instalados para la ocasión a la salida del ciclón.

Una vez terminado con el proceso se realizará una limpieza del extractor, eliminando los restos de semilla. Finalmente, se colocará cada dispositivo tal y como se encontraba en el momento inicial del proceso.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

4.4.6 Despresurización total

En el momento que se desee parar la planta debe de despresurizarse toda la planta siguiendo un orden establecido para que no existan daños en los equipos.

El proceso de despresurización debe ser el siguiente:

- Apagado del intercambiador de calor, HE-2, y la manta calefactora.
- Bajada del caudal de la bomba de forma paulatina hasta que se pare.
- Cerrar la válvula V-1 de entrada de disolvente.
- Apagar el baño criotermostático y el intercambiador de calor, HE-1.
- Dejar despresurizar los extractores hasta que se encuentren a presión atmosférica.

5 DISEÑO DEL EXTRACTOR

5.1 Introducción

En el diseño de la planta se decide colocar dos extractores idénticos para hacer posible el trabajo en continuo, así mientras uno está realizando el proceso propio de la extracción, el otro se está descargando, limpiando y cargando de nuevo para la siguiente extracción.

Cada uno de estos extractores consiste en un autoclave de alta presión, con un sistema de abertura rápida en la parte superior. La materia prima a tratar, la semilla de higo chumbo, se encuentra depositada en el interior de una canasta de fácil manejo que se introducirá en el autoclave. La corriente de disolvente atravesará las semillas en la condiciones de proceso. Esta canasta está diseñada para albergar un volumen útil de 10 litros y un caudal máximo de diseño de 0,025 Kg/s.

El diseño mecánico de cada extractor, debido a las condiciones de operación 400 bar y 35 °C, es preciso acudir a las indicaciones del código A.S.M.E., sección VIII, división 1, al tratarse de un recipiente sometido a altas presiones.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

5.2 Características del diseño

Se propone un extractor cilíndrico vertical con una canasta interna. Se realiza por separada el diseño de la canasta y el extractor, entre ambos se coloca una capa de caucho de silicona para ajustar la canasta en el interior del extractor, así como para que el flujo de disolvente se dirija hacia la canasta.

La canasta está formada por 685 mm de longitud (5,4'') y 137 mm de diámetro interno (27,0''). La base de la canasta consta de un filtro difusor, que evita los caminos preferenciales del flujo de disolvente durante el proceso de extracción. Esta estructura irá enroscada al cuerpo del extractor. Por otro lado, en la cabeza de la canasta se encuentra colocado el enganche que hará posible la carga y descarga, así como la limpieza de la canasta. Además de una capa de filtro difusor, para evitar que se escapen restos del material de la extracción a los siguientes equipos. El espesor necesario para la canasta, siguiendo el Código A.S.M.E., sección VIII, división 1, es de 111 mm (4,35'').

El extractor, a su vez, consta de una longitud de 735 mm (29,0'') y 361 mm de diámetro interno (14,2''). La base y la cabeza del extractor serán semiesféricas, ya que es la recomendada por el código de recipientes a presión (Código A.S.M.E., sección VIII, división 1), por requerir un menor espesor para soportar la misma presión, lo cual implica una ventaja desde el punto de vista económico. Los espesores necesarios son 103 mm (4,06'') para el cuerpo del extractor y 43 mm (1,67'') tanto para la base como para la cabeza.

Como material de construcción se usará el acero al carbono SA-285 grado y acabado superficial será 2B tanto para la canasta como para el extractor. Por otro lado, el espacio existente entre la canasta y el extractor va relleno con una lámina de caucho de silicona, para que la canasta encaje perfectamente y el flujo de disolvente pase completamente a través de la materia a extraer.

El diseño completo de la canasta está detallado en el anexo 2: Diseño del Extractor.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

5.3 Envoltente de caucho de silicona

La envoltente de caucho de silicona es una lámina de dicho material de 1 mm de espesor colocada en la superficie interna del extractor. Gracias a ella, la canasta encaja perfectamente en el interior del extractor y también hace posible que el flujo de disolvente pase completamente a través de la materia a extraer.

La silicona, un polímero sintético, está compuesta por una combinación química de silicio-oxígeno. La misma es un derivado de la roca, cuarzo o arena. Es esterilizada por Óxido de Etileno, radiación y repetidos procesos de autoclave.

Se utiliza este material debido a sus buenas características para el presente diseño, ya que soporta sin problemas las condiciones de diseño, por ser una sustancia inerte y estable a altas temperaturas (-60°C a 250°C). La silicona es flexible y suave al tacto, no mancha ni se desgasta, tiene una larga vida útil, no exuda nunca, evitando su deterioro, ensuciamiento y/o corrosión sobre los materiales que estén en contacto con la misma, tiene gran resistencia a todo tipo de uso y no es contaminante.

Si se compara con otros materiales con propiedades semejantes:

Materiales	Propiedades comparadas con el caucho de silicona	Temperatura servicio (°C)
Caucho de Silicona	Gran biocompatibilidad Resistencia a la intemperie, ozono, radiación y humedad Buen aislante Larga vida útil Resistencia a la deformación por compresión	- 60 a + 250
Latex	Menor biocompatibilidad Menor transparencia Menores propiedades eléctricas	- 20 a + 120
PVC	Menores propiedades de esterilización Baja estabilidad ante temperaturas extremas Menor biocompatibilidad	- 40 a + 130
Poliuretano Vinilos	Menor elasticidad Menor biocompatibilidad Presencia de plastificantes y toxinas Menor transparencia	- 40 a + 160
EPDM	Baja repelencia al agua	- 30 a + 140

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

	Cambios ante temperaturas extremas Menor resistencia a la deformación por compresión Menor resistencia a la intemperie Menor vida útil	
--	--	--

Figura 8: Propiedades de materiales sintéticos frente al caucho de silicona. Fuente: www.raholin.com

Por todas las propiedades reflejadas en la figura 8, se elige el caucho de silicona, ya que el rango de temperaturas es el que más se aproxima a las propiedades deseadas.

Gracias a su composición química de silicio-oxígeno, el caucho de silicona posee unas propiedades particulares especiales como son:

- **Propiedades mecánicas:** resistencia a la tracción de 70 Kg/cm² con una elongación promedio de 400%. A diferencia de otros materiales, la silicona mantiene estos valores aun después de largas exposiciones a temperaturas extremas.
- **Propiedades Eléctricas:** posee flexibilidad, elasticidad y es aislante, manteniendo sus propiedades dieléctricas aun ante la exposición a temperaturas extremas.
- **Biocompatibilidad:** cumple con la Biocompatibility Guidelines de la FDA (*Food and Drugs Administration, USA*). Esta es inolora, insípida y no hace de soporte para el desarrollo de bacterias, no es corrosivo con otros materiales. La silicona curada con platino consiste únicamente en un copolímero de dimetil y metilvinil siloxano reforzado con silicio térmicamente curado por platino, translúcido y altamente flexible bajo cualquier condición.
- **Resistencia Química:** resiste algunos químicos, incluyendo algunos ácidos, oxidantes químicos, amoníaco y alcohol propílico. La silicona se hincha cuando se expone a solventes no polar como el benceno y el tolueno, retornando a su forma original cuando el solvente se evapora.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

5.4 Mantenimiento de la temperatura del extractor

Alrededor del extractor se colocará una manta calefactora para mantener la temperatura de operación constante, además también protege a los operarios de contactos con superficies calientes. El diseño de dicha manta se basa en el cálculo de la potencia de la manta calefactora. El espacio ocupado por dicha manta será todo el cuerpo del extractor, es decir 735 mm.

Cuando dos cuerpos se encuentran a temperaturas diferentes, se produce un flujo del cuerpo más caliente al más frío, hasta que se alcanza el equilibrio térmico. El cambio de calor se produce de tres formas:

- **Por conducción**

En este caso el calor se transmite de molécula a molécula sin cambio aparente de materia, por lo que esta forma de cambio de calor interesa esencialmente a los sólidos.

La elevación de temperatura aumenta la excitación de las partículas más elementales de la materia, transmitiéndose dicha excitación a las más próximas de su entorno y con ello su energía calorífica, continuándose el proceso en el cuerpo en cuestión de la zona más caliente a la más fría.

Por lógica se comprende que cuanto más denso, compacto y pesado es un cuerpo, más próximas están las moléculas entre sí y, por tanto, el cambio se realiza con mayor facilidad.

- **Por convección**

Esta forma de propagación es propia de los fluidos (líquidos y gases).

Las moléculas en contacto con un cuerpo a temperatura más alta «A» se calientan, disminuyendo su densidad y desplazándose por gravedad. Si a su vez entran en contacto con un cuerpo más frío «B», ceden calor, aumentando su densidad y desplazándose en sentido contrario, formándose así un ciclo de convección.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

○ **Por radiación**

La radiación está constituida por ondas electromagnéticas de diferentes longitudes. Mientras las dos formas de transmisión anteriores (conducción y convección) necesitan de un soporte material; la transmisión por radiación puede realizarse en el vacío.

Todos los cuerpos, incluso a temperaturas bajas, emiten calor por radiación y la cantidad de calor irradiado aumenta cuando se eleva la temperatura del cuerpo.

Por ello, cuando un cuerpo se encuentra en presencia de otro más caliente, absorbe más energía de la que emite y viceversa, siendo la cantidad transmitida la diferencia entre la emitida por ambos.

De los tres métodos de intercambio de calor descritos anteriormente, la manta calefactora tiene un intercambio por conducción con la superficie del extractor. La conducción de calor normalmente describe la transmisión de calor a través de las moléculas en sólidos, líquidos y gases producidos por un gradiente de temperatura. Considerando que el gradiente de temperatura existente es de 55°C, el caudal calorífico calculado es de 3223,807 W/m.

Esta potencia es la necesaria si hubiese que calentar el extractor, pero no es necesario el calentamiento del extractor, ya que gracias al intercambiador de calor anterior al extractor el disolvente entra al extractor a la temperatura de operación. Por lo que la manta necesaria es suficiente que tenga una potencia por debajo de esta misma.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

5.5 Registro de Inspección

Otro aspecto importante a la hora del diseño del recipiente extractor es el registro de inspección. El código A.S.M.E., sección VIII, división 1 en el apartado UG-46 dice que todos los recipientes sometidos a presión, a corrosión interna, erosión o abrasión mecánica deben proveerse de un registro de hombre, un registro para la mano u otras aberturas de inspección para ser revisados y limpiados.

El código establece que para diámetros de recipientes entre 12'' y 18'', es necesario dos aberturas con tubo roscado de 1½'' de diámetro.

Como la norma aconseja que las aberturas de inspección pequeñas se coloquen en la cabeza o en zonas cercanas, las dos aberturas necesarias se colocarán en los dos extremos y tendrán un diámetro de 1½''.

5.6 Válvula de seguridad

Debido a que el extractor trabaja a presión, es necesario que disponga de una válvula de seguridad o alivio. Dicha válvula se abrirá cuando se produzca sobrepresión en el interior del extractor liberando la misma y volviendo el sistema a condiciones seguras.

6 OTRAS UNIDADES DE PROCESO

6.1 Intercambiadores de calor

6.1.1 Introducción

Un intercambiador de calor es un dispositivo que facilita la transmisión de calor de una corriente de fluido a otra.

Una primera clasificación de intercambiadores de calor los divide en:

- Intercambiadores de una corriente: aquellos en los que varía la temperatura de un solo fluido, este es el caso de muchos evaporadores y condensadores
- Intercambiadores de dos corrientes: aquellos en los que cambia la temperatura de dos fluidos.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

En el presente Proyecto Fin de Carrera se precisa por un lado, enfriar la corriente gaseosa que sale de la bombona de dióxido de carbono, condensando el dióxido de carbono. Por otro lado, es necesario aumentar la temperatura de la corriente de dióxido de carbono que sale de la bomba, Pump1, para alcanzar la temperatura de operación. En el primero de los casos se va utilizar un intercambiador de dos fluidos, así se aprovecha la energía retirada. El intercambiador que va a aumentar la temperatura, se usará de un fluido, ya que se encuentra a altas presiones y es lo más recomendado.

Dentro de los intercambiadores de dos corrientes existen diversas configuraciones geométricas de flujo, las cuales se explican a continuación:

- Dos corrientes en flujo paralelo (intercambiadores de corrientes paralelas): Los dos fluidos fluyen en direcciones paralelas y en el mismo sentido. Este tipo de intercambiador puede constar de una coraza en el interior de la cual se disponen un gran número de tubos, es muy usado en altas presiones y para el caso de líquidos. Otro tipo de intercambiador con esta geometría de flujo, es el de placas que consta de placas separadas por juntas, este es adecuado para gases y bajas presiones.
- Dos corrientes en contracorriente (intercambiador de contracorriente): en este caso los fluidos se desplazan en direcciones paralelas pero en sentido opuesto. Los más comunes son los de carcasa y tubos y los de placas. En la práctica son los más usados ya que tienen mayor eficacia que los de flujo paralelo para un número dado de unidades de transferencia.
- Dos corrientes de flujo cruzado: las corrientes fluyen en direcciones perpendiculares. La corriente caliente generalmente fluye por el interior de un haz de tubos, mientras que la fría fluye a través del haz en perpendicular a los tubos. Tiene una eficacia intermedia entre el flujo a contracorriente y el paralelo.
- Dos corrientes en contraflujo cruzado: las corrientes fluyen en direcciones perpendiculares y en sentido opuesto.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- Dos corrientes a pasos múltiples: cuando los tubos de un intercambiador de carcasa y tubos están dispuestos en uno o más pasos en el interior de la coraza, de tal manera que algunos de los pasos producen un flujo paralelo mientras que otros producen un flujo a contracorriente.

En el presente proyecto, el intercambiador de dos corrientes será de carcasa y tubos con flujo a contracorriente, ya que son los de mayor eficacia y los más utilizados en la industria química, por lo que será más sencillo localizar un proveedor.

El intercambiador de una sólo corriente será de tipo eléctrico, ya que la temperatura que se desea alcanzar debe de ser exactamente la elegida como la de operación para asegurar que la extracción se está realizando en las condiciones deseadas.

6.1.2 Caracterización de las corrientes de entrada

Como se puede comprobar en el esquema de la planta (Figura 15), las corrientes que tienen un intercambiador de calor son las líneas 1 y 4.

La corriente de salida de la bombona de dióxido de carbono, línea 1, está compuesta exclusivamente por esta sustancia. Es necesaria una bajada de temperatura de dicha corriente para condensar el dióxido de carbono, que pasará a la bomba. El descenso de temperatura sería desde temperatura ambiente, que se encuentra la bombona, en torno a 25°C hasta 5°C, ya que la temperatura de condensación del dióxido de carbono a la presión de la bombona, 50 bar, es de 14,28°C.

La otra corriente es el caso contrario, es necesario una subida de temperatura para pasar el dióxido de carbono a estado supercrítico. Esta subida de temperatura será mayor de 5°C a 35°C, la temperatura de operación.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

6.1.3 Selección del tipo de intercambiador

El tipo de intercambiador de calor elegido para cada caso son los siguientes:

- Para la corriente de salida de la bombona es necesario un intercambiador de tipo carcasa y tubos, ya que es el más recomendado y empleado en la industria química. Dentro de este tipo de intercambiadores se ha elegido un intercambiador de tubo fijo. El tubo va soldado a la carcasa.

Según la norma TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association), los intercambiadores se describen por tres letras, que indican: el tipo de cabezal distribuidor, carcasa y cabezal de salida o retorno. Todas las opciones posibles para configurar el intercambiador se reflejan en la figura 6 del anexo1.

El intercambiador que se va a diseñar va a ser del tipo BEM:

- B: distribuidor desmontable para acceso de tubos. Es el tipo más utilizado junto al A, pero este caso es más económico que el A.
- E: un paso por carcasa
- M: panel de tubos fijos. Las placas tubulares están soldadas a la carcasa, por tanto, no es extraíble. Se usa en el caso en que el fluido que pasa por carcasa sea muy limpio.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

En la figura 9 se muestra la nomenclatura de un intercambiador según la norma TEMA.

- | | |
|---|--|
| 1. Stationary Head-Channel | 21. floating Head Cover-External |
| 2. Stationary Head-Bonnet | 22. Floating Tubesheet Skirt |
| 3. Stationary Head Flange-Channel or Bonnet | 23. Packing Box |
| 4. Channel Cover | 24. Packing |
| 5. Stationary Head Nozzle | 25. Packing Gland |
| 6. Stationary Tubesheet | 26. Lantern Ring |
| 7. Tubes | 27. Tiers and Spacers |
| 8. Shell | 28. Transverse Baffles or Support Plates |
| 9. Shell Cover | 29. Impingement Plate |
| 10. Shell Flange-Stationary Head End | 30. Longitudinal Baffle |
| 11. Shell Flange-Rear Head End | 31. Pass Partition |
| 12. Shell Nozzle | 32. Vent Connection |
| 13. Shell Cover Flange | 33. Drain Connection |
| 14. Expansion Joint | 34. Instrument Connection |
| 15. Floating Tubesheet | 35. Support Saddle |
| 16. Floating Head Cover | 36. Lifting Lug |
| 17. Floating Head Cover Flange | 37. Support Bracket |
| 18. Floating Head Backing Device | 38. Weir |
| 19. Split Shear Ring | 39. Liquid Level Connection |
| 20. Slip-on Backing Flange | 40. Floating Head Support |

FIGURE N-2

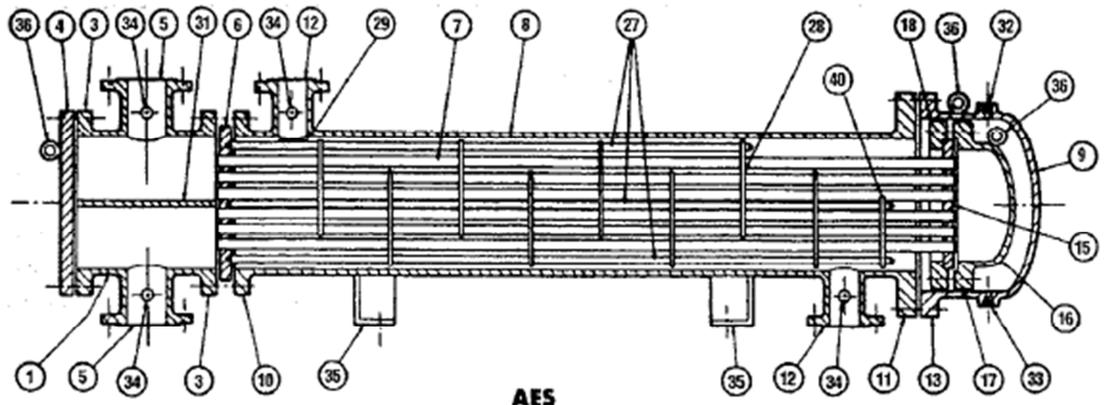


Figura 9: Nomenclatura de los componentes de un intercambiador. Fuente: “Standards of the tubular exchanger manufacturers association”, 8th edition

- El otro intercambiador elegido es uno eléctrico, porque garantiza un óptimo intercambio en poco espacio. Además que controla la temperatura de salida para que sea exactamente la de salida.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

6.1.4 Intercambiador de carcasa y tubos

6.1.4.1 Criterios para determinar el fluido que circula por la carcasa y el que circula por los tubos

Los criterios a tener en cuenta para decidir qué fluido circula por cada lado son:

- El fluido más sucio irá por el interior de los tubos, donde la limpieza es más sencilla usando agua a presión o por limpieza mecánica.
- El fluido más corrosivo también irá por los tubos, ya que se minimiza el uso de una metalurgia más noble.
- El fluido que esté a mayor presión también irá por los tubos.

De acuerdo a estos criterios se decide que el dióxido de carbono al encontrarse a mayor presión circule por los tubos, mientras que por la carcasa se elige un fluido refrigerante, una mezcla al 50% de agua- etilenglicol.

6.1.4.2 Diseño del Intercambiador

El tipo de intercambiador elegido es de carcasa y tubos, como se indica en apartados anteriores. Los cálculos se detallan en el anexo 3: Cálculos para el diseño del intercambiador de calor de carcasa y tubos.

Se ha acudido a un fabricante de intercambiadores de calor y se ha elegido un intercambiador que cumple con los requisitos de diseño. Como requisito estaba el área requerida que es de $0,005 \text{ m}^2$ ($0,054 \text{ ft}^2$), se elige un modelo que proporcione esta área.

El modelo elegido es el 03014, para tubos de $3/8''$ cuya área es de $2,7 \text{ ft}^2$, con un solo paso por tubos para que sea a contracorriente puro. En el anexo 7 se muestra el catálogo del intercambiador. Las principales características del intercambiador son las siguientes:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- **Carcasa**

La carcasa del intercambiador de calor tendrá un diámetro de 1'', construida en acero al carbono.

- **Tubo**

El tubo del intercambiador será de acero al carbono SS 90/10, con un diámetro de 5/8'' y una longitud de 4,50''.

6.1.5 Intercambiador Eléctrico

El parámetro de diseño de este tipo de intercambiador es la potencia necesaria para subir la temperatura del fluido. Todos los cálculos están detallados en el Anexo 4: Diseño del intercambiador eléctrico.

El valor obtenido de potencia es de 0,34 W. Con estos requisitos de diseño se elige un proveedor, el elegido es la empresa TRE "C". El tipo de intercambiador será uno de 100 mm de longitud de tubo realizado en acero inoxidable AISI 309.

Como material de construcción se elige el acero inoxidable AISI 309, ya que como se refleja en la figura 10, son válidos tanto el acero inoxidable AISI 304, 309 y 321. De estas tres opciones el acero inoxidable AISI 309 es el elegido por su mayor contenido en níquel y cromo, lo que le hace tener mayor resistencia a altas temperaturas.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Aplicaciones Application Anwendung Aplicación	W/cm ²	Temp. °C (Celsius degrees)	Materiale Guaina		Tube Material		Rohr Material		Material Tubo					
			FE C-Steel	CU Copper	ANSI 304	ANSI 309	ANSI 321	ANSI 316L	ANSI 316 321/304	Incoloy800	Inconel 600-601	Titanium	Teflon	Porcelain
H2SO4 Acido Sulfurico Schwefelsaure Acido Sulfurico	6	< 20						◆	◆			◆	◆	◆
Air/Gas Air/Gas Luft/Gas Aire/Gas	6	300												
Air/Gas Air/Gas Luft/Gas Aire/Gas	2	900			◆	◆	◆			◆				
Acqua Water Wasser Agua	< 15	120	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
AcquaCloro Wasser-Chlorine Wasser-Chlor Agua-Cloro	< 15	90								◆			◆	◆
Acqua Demin. Demin Water Demin Wasser Agua Demin.	< 7	95		◆				◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Acqua Salata Sea Water Meerwasser Agua de Mar	< 10	80								◆	◆	◆	◆	◆
Bitume Bitumen Bittumen Bebun	< 0,7				◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	
Oil Oil Öl Aceite	< 4		◆		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Gasolio Diesel Oil Diesel Öl Gasóleo	3	60					◆	◆	◆	◆				
Oil Lubrificante Lubricant Oil Schmiermittel Öl Aceite Lubrificante	3	90					◆	◆	◆					
Oil Diatermico Thermal Oil Thermisch Öl Aceite Térmico	< 5	350					◆	◆	◆					
Oil Vegetale Vegetable Oil Pflanzensöl Aceite Vegetal	4	200			◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆

Figura 10: Materiales de construcción del intercambiador de calor.

Fuente: www.resistencias-electricas.com

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

6.2 Separador ciclónico

6.2.1 Proceso de separación

La corriente de salida del extractor está formada por el disolvente, el dióxido de carbono, y el aceite extraído, este conjunto forma el extracto. Para poder separar el disolvente del producto extraído, el aceite se utiliza un separador de tipo ciclónico.

La recuperación del aceite es alcanzada gracias a la manipulación de la presión y la temperatura de la corriente de dióxido de carbono, debido a que la solubilidad de los componentes deseados es proporcional a la presión del sistema.

Esta variación de presión y temperatura tiene lugar antes de la entrada al ciclón, en esa posición está colocada una válvula reguladora de presión, BPR. Esta válvula es un dispositivo de compensación de presión que provoca la caída de presión necesaria para condensar el material a separar. Cuando el gas pasa por la válvula, la caída de presión asociada provoca la precipitación de las sustancias contenidas en el fluido. Al mismo tiempo, la válvula debe ajustar la caída de temperatura asociada con esta expansión y modularla dependiendo de la señal que reciba del sistema de control. La razón principal de la modulación de la temperatura es evitar la congelación de las sustancias a extraer dentro de la válvula y evitar que el conducto se obstruya.

El separador ciclónico es alimentado con la corriente proveniente del regulador de presión. Esta corriente contiene la mezcla de dióxido de carbono y el aceite extraído, que es el que interesa recuperar. En la cámara del separador se induce la acción de las fuerzas centrífugas que actúan sobre las partículas condensadas más pesadas haciéndolas migrar hacia la pared interna del equipo, en tanto que los gases escapan por un conducto instalado en el centro del separador. Las partículas de diámetro superior al de diseño, son recuperadas al fondo del separador, en tanto que las partículas más finas pueden ser arrastradas por la corriente de gas. Es necesario tratar la corriente gaseosa para que pueda ser reutilizada ya que puede contener algún resto de aceite, para ellos se instala un filtro en el sistema de recirculación del dióxido de carbono.

6.2.2 Funcionamiento del separador de tipo ciclónico

En un ciclón, la trayectoria del gas comprende un doble vórtice, en donde el gas dibuja una espiral descendente en el lado externo y ascendente en el lado interno. En la siguiente figura 11 se ilustran dichos vórtices.

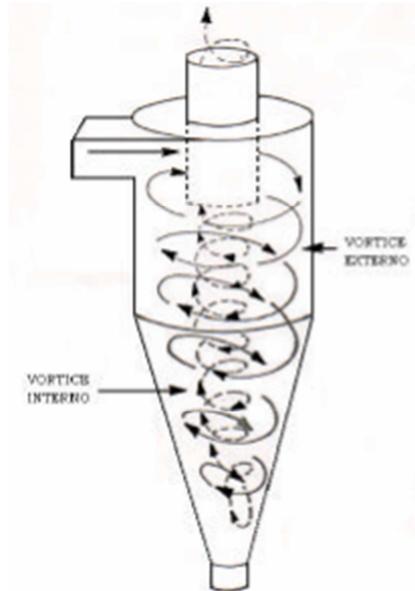


Figura 11: Vórtices en un ciclón

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

En un ciclón el gas entra en la cámara superior tangencialmente y desciende en espirales hasta el ápice de la sección cónica; luego asciende en un segundo espiral, con diámetro más pequeño, y sale por la parte superior a través de un conducto vertical centrado. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, se deslizan por las paredes, y son recogidos en la parte inferior.

El diseño apropiado de la sección cónica del ciclón obliga al cambio de dirección del vórtice descendente, el vórtice ascendente tiene un radio menor, lo que aumenta las velocidades tangenciales; en el cono se presenta la mayor colección de partículas, especialmente de las partículas pequeñas al reducirse el radio de giro.

Ya en la cámara del separador se induce la acción de las fuerzas centrifugas que actúan sobre las partículas condensadas más pesadas haciéndolas migrar hacia la pared interna del equipo, en tanto que los gases escapan por un ducto instalado en el centro del separador. Las partículas de diámetro superior al de diseño, son recuperadas al fondo del separador, en tanto que las partículas más finas pueden ser arrastradas por la corriente de gas.

6.2.3 Elección del tipo de separador ciclónico

Los ciclones constituyen uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión. Estos son básicamente construcciones simples que no cuentan con partes móviles, lo cual facilita las operaciones de mantenimiento; pueden estar hechos de una amplia gama de materiales y pueden ser diseñados para altas temperaturas y presiones de operación.

Además los ciclones presentan eficiencias mayores que la cámara de sedimentación gravitacional, pero en cambio eficiencias menores que los filtros de talegas, lavadores y precipitadores electrostáticos.

Dentro de los ciclones existen tres familias de ciclones:

- Ciclones de alta eficiencia.
- Ciclones convencionales.
- Ciclones de alta capacidad.

En la figura 12, se representa el intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones.

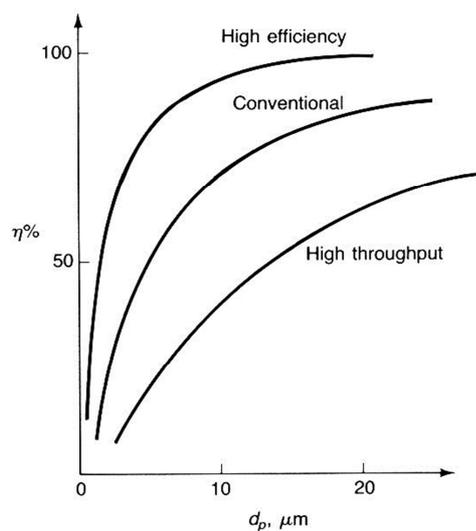


Figura 12: Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones.
Fuente: “Diseño óptimo de ciclones”, Echeverri Londoño C.A.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. Incluso pueden remover partículas de 5 μm con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes.

Sin embargo los ciclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

Por otro lado, los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de 20 μm , aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas, como es el caso de los multiciclones que han alcanzado eficiencias de recolección del 80 al 95 % para partículas de 5 μm .

El ciclón que se va a diseñar es de alta eficiencia, porque este parámetro es el que se persigue para obtener el producto totalmente puro.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

6.2.4 Características del diseño

En el presente proyecto existen dos ciclones cada uno de ellos va en conjunto con un extractor, así existen dos módulos independientes que permiten el trabajo en continuo. Al igual que los extractores, los ciclones son idénticos entre sí.

El tipo de ciclón elegido es uno de alta eficiencia con entrada tangencial y diámetro de 0,324 m. En función del diámetro de ciclón, se definen las dimensiones del ciclón según el método de Swift, así se obtienen las siguientes dimensiones recogidas en la figura 14 y representadas en la figura 13.

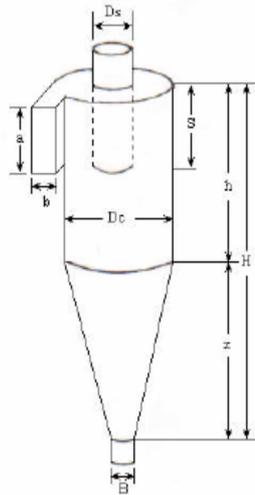


Figura 13: Dimensiones del ciclón

<i>Dimensión</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valores</i>
Diámetro de ciclón, Dc	m	0,324
Altura de entrada, a	m	0,1
Ancho de entrada, b	m	0,1
Altura de salida, S	m	0,164
Diámetro de salida, Ds	m	0,131
Altura parte cilíndrica, h	m	0,461
Altura parte cónica, z	m	0,822
Altura total del ciclón, H	m	1,283
Diámetro salida partículas, B	m	0,131

Figura 14: Dimensiones del ciclón

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Por otro lado, como material de construcción se usa el acero al carbono SA-283 grado C (Figura 2 del anexo 1) para placas según las normas ASME, secciones II y VIII. Debido a que es un acero de bajo coste y sus restricciones no interfieren en la finalidad de su diseño, ya que se está por debajo de 454 °C (850 °F) y 50,8 mm (2 in) de espesor. Su acabado superficial será 2B en toda la pieza a no ser que se especifique lo contrario.

Siguiendo también el Código A.S.M.E., sección VIII, división 1, se obtiene un espesor mínimo de 11 mm (42'') tanto para el cuerpo y como para la parte cónica del ciclón.

Todos los cálculos se encuentran detallados en el anexo 5: Diseño del Separador Ciclónico.

6.2.5 Caída de presión

El cálculo de la caída de presión es fundamental en el diseño del ciclón y está relacionado directamente con las dimensiones del ciclón, ya que cuando se reduce el diámetro del conducto de salida del gas se incrementa tanto la eficiencia de recolección como la caída de presión.

Para el diámetro de diseño, 0,324 m, la caída de presión es de 16183,21 Pa.

7 SISTEMA DE TUBERÍAS

7.1 Introducción

A continuación, se va a diseñar el sistema de tuberías de la planta piloto. Dicho diseño va a consistir en seleccionar el material de construcción de las tuberías, el diámetro y espesor de dichas conducciones, así como la caída de presión que va a experimentar el fluido.

Para poder impulsar dichos fluidos es necesario el uso de bombas, en este punto también se calculará la potencia necesaria y la altura máxima a la que se podrán colocar.

Por último, se indicará las válvulas necesarias así como el tipo de cada una de ellas.

7.2 Diseño de tuberías

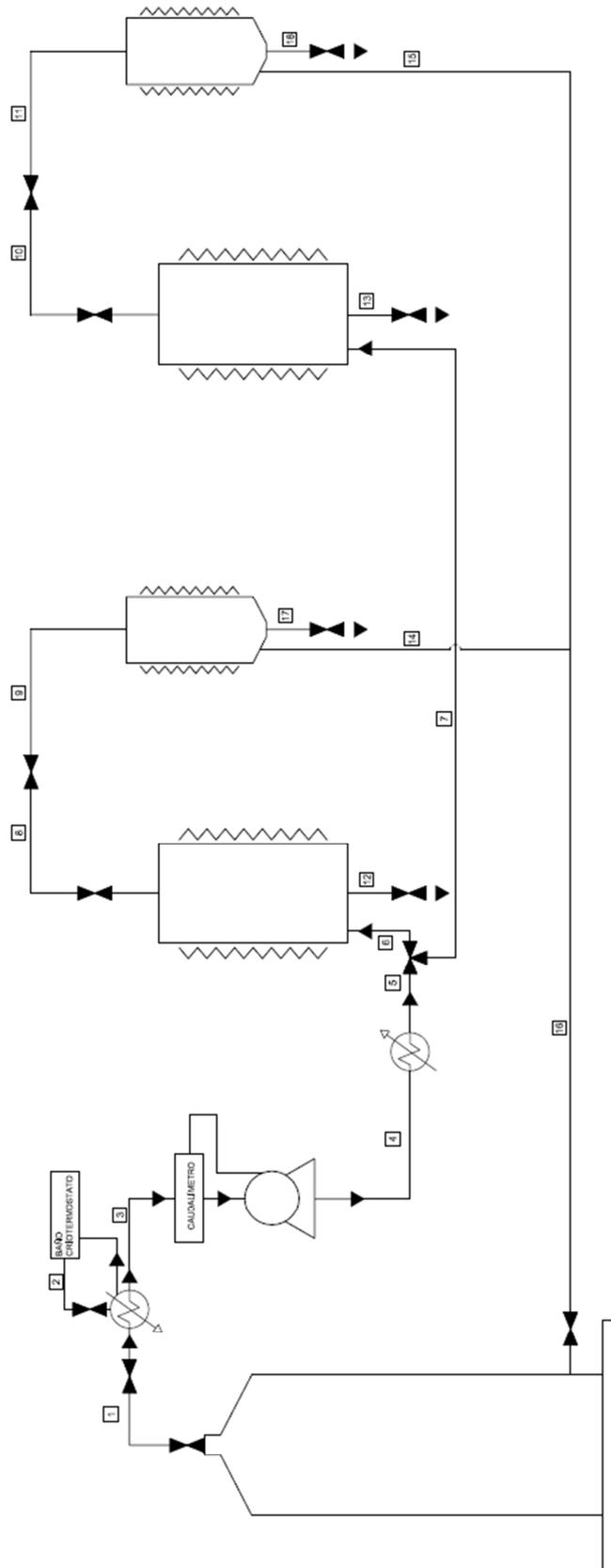
Para el diseño de tuberías se ha dividido la planta en 18 líneas diferentes, como se indica en la figura 15:

- LÍNEA 1: es la que sale de la bombona de dióxido de carbono y llega al intercambiador de calor.
- LÍNEA 2: la que conduce el fluido refrigerante desde baño criotermostato hasta el intercambiador de calor.
- LÍNEA 3: la que sale del intercambiador y va hasta la bomba.
- LÍNEA 4: la línea que va desde la bomba hasta el segundo intercambiador de calor.
- LÍNEA 5: la línea que sale del intercambiador hasta la válvula de tres vías.
- LÍNEA 6: la línea de entrada al primer extractor.
- LÍNEA 7: la línea de entrada al segundo extractor.
- LÍNEA 8: la que conduce el extracto desde el extractor 1 hasta la válvula reguladora de presión.
- LÍNEA 9: la que sale de la BPR y entra al ciclón 1.
- LÍNEA 10: la línea que une el extractor 2 con la BPR 2.
- LÍNEA 11: va desde la salida de la BPR 2 hasta entrar al ciclón.
- LÍNEA 12: el conducto de salida del extractor 1.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- LÍNEA 13: la línea de salida del extractor 2.
- LÍNEA 14: la línea de salida del dióxido de carbono del ciclón 1.
- LÍNEA 15: la línea de salida del dióxido de carbono del ciclón 2.
- LÍNEA 16: el conducto que va desde la unión de las líneas 14 y 15 hasta la bombona de dióxido de carbono.
- LÍNEA 17: la línea de recogida del producto extraído del ciclón 1.
- LÍNEA 18: la línea de recogida del producto extraído del ciclón 2.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)



Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

7.3 Características de diseño

Debido a que en cada línea pasa el fluido en condiciones diferentes, cada tubería tendrá un diámetro y un espesor distinto. El cálculo completo del diseño de tuberías se encuentra en el Anexo 6: Diseño del sistema de tuberías.

En este caso, la preocupación mayor a tener en cuenta es que en ciertos tramos de tubería la presión y la temperatura tendrán valores extremos. Ya que no se utilizarán productos corrosivos.

Como el material de construcción elegido es el acero al carbono SA-106 grado B, para todas las líneas de tuberías.

Los valores de diámetro y espesor que se obtienen, se encuentran recogidos en la figura 16:

Línea	Caudal volumétrico (m^3/s)	Velocidad (m/s)	Sección (m^2)	Diámetro Nominal		Espesor (mm)
				(mm)	(in)	
1	0,000189	2	0,000095	15	1/2	2
2	0,000024	2	0,000012	6	1/8	1
3	0,000027	1,5	0,000018	6	1/8	2
4	0,000023	2	0,000011	6	1/8	2
5	0,000029	2	0,000014	6	1/8	3
6	0,000029	2	0,000014	6	1/8	3
7	0,000029	2	0,000014	6	1/8	3
8	0,000029	2	0,000014	6	1/8	3
9	0,000029	2	0,000095	15	1/2	2
10	0,000189	2	0,002803	6	1/8	3
11	0,000029	2	0,002803	15	1/2	2
12	0,000189	5	0,000095	65	2 1/2	2
13	0,014013	5	0,002803	65	2 1/2	2
14	0,014013	2	0,000095	15	1/2	2
15	0,000189	2	0,000095	15	1/2	2
16	0,000189	2	0,000095	15	1/2	2
17	0,014013	5	0,002803	65	2 1/2	2
18	0,014013	5	0,002803	65	2 1/2	2

Figura 16: Diámetro de las líneas de tubería

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

7.4 Caída de Presión

El cálculo de la caída de presión en el sistema de tuberías se lleva a cabo utilizando la ecuación de Darcy.

$$h_L = [f \cdot (L/D)] \cdot (v^2/2g)$$

Siendo:

L: longitud de la tubería (m).

D: diámetro interno de la tubería (m).

v: velocidad del fluido (m/s).

f: factor de fricción.

En el Anexo 6: Diseño del sistema de tuberías, se encuentra el valor de caída de presión en el sistema de tuberías, considerando el número máximo de accesorios que se pueden encontrar en cada tramo. Conociendo esta pérdida de presión ya se puede proceder al diseño de las bombas.

7.5 Diseño de bombas

En la planta sólo se ha instalado una bomba que se encuentra entre los dos intercambiadores de calor, para suministrarle al fluido la presión necesaria para que se produzcan el cambio de estado de líquido a supercrítico.

En el anexo 6 se muestra el cálculo completo tanto de la potencia requerida por el fluido como el NPSH. En la siguiente tabla están resumidos estos valores obtenidos:

Potencia absorbida (m)	1,167
Potencia absorbida (W)	0,286
NPSH (m)	0,49

Figura 17: Parámetros de la bomba

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

En el anexo 10 se puede observar la bomba elegida, modelo 1810 del suministrador Catpumps, cuya potencia es de 15,4 KW.

8 REUTILIZACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO

Una de las partes del objetivo del presente proyecto es el diseño de una forma de recuperación del dióxido de carbono. Gracias a este diseño se reducen los costes de producción, ya que se reduce la compra externa de dicho gas. La cantidad de dióxido de carbono almacenada se reduciría a una sola botella de 37,5 Kg, que se tendría por si existe algún problema con la reutilización o una fuga de dicho gas.

La reutilización es posible gracias a la colocación de un filtro en la línea 18 de la planta, dicho filtro se encarga de eliminar los restos de aceite que el gas ha podido arrastrar.

Eliminando los restos de aceite ya queda el gas totalmente limpio, siendo posible su uso en un nuevo proceso de extracción.

El filtro elegido para este proceso es de la empresa Parker y el modelo A5R-6C04-023, las características de dicho filtro están recogidas en el anexo 8.

9 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO

El objetivo del control y la instrumentación es:

- Conseguir una optimización de la planta
- Aumentar la seguridad de la planta
- Reducir la mano de obra

En la Figura 18 se muestra un esquema sobre la instrumentación de la planta.

9.1 Instrumentación

La instrumentación de la planta piloto es el conjunto de aparatos destinados a medir las variables de proceso, tales como caudales, temperaturas, presiones y niveles.

Los instrumentos que se van a instalar en la planta son los siguientes:

9.1.1 Instrumentos de caudal

Se instalará un caudalímetro en la corriente de salida del intercambiador de calor HE1, justo antes de la entrada a la bomba, Pump1. La instalación se realiza para conocer el flujo de entrada a la planta, para asegurar que siempre está entrando en la planta la cantidad de disolvente necesario para el proceso.

9.1.2 Instrumentos de temperatura

Se medirá la temperatura en todos los equipos donde ocurra un cambio de temperatura, así como en los equipos donde puede variar la temperatura al empezar a operar. Más concretamente se mide la temperatura en:

- Los dos intercambiadores de calor.
- El interior de cada extractor.
- La manta calefactora.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- La válvula BPR1, que controla la entrada al ciclón.
- El interior de cada uno de los ciclones.

9.1.3 Instrumentos de presión

La presión se medirá en la impulsión de la bomba y en cada extractor, para que no ocurra un aumento excesivo de la presión, ya que se trabaja a altas presiones.

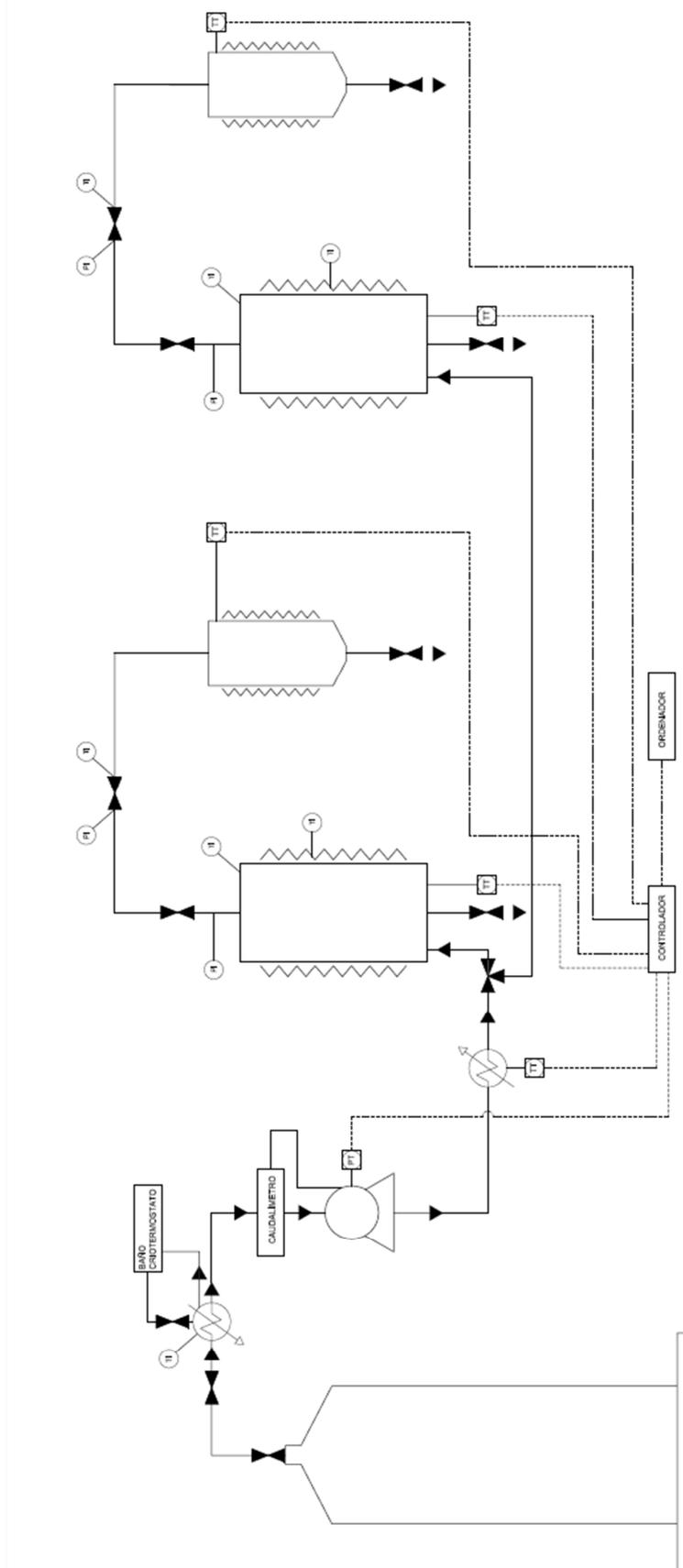
Existirá un instrumento de presión en los siguientes puntos:

- En la bomba de salida del primer intercambiador de calor.
- En la salida de cada extractor.
- En las dos válvulas BPR, para controlar la salida del extractor.

9.1.4 Instrumentos de nivel

Es necesario conocer el nivel de la bombona de dióxido de carbono, ya que la falta de este gas puede provocar daños en los equipos. Se colocará en la bombona donde se almacenará el dióxido de carbono recuperado de procesos de extracción anteriores.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)



9.2 Control

9.2.1 Fundamentos de Control

El objetivo del control es mantener las variables de proceso en el punto de consigna (“set point”) deseado, empleando aparatos destinados a tal fin. Un lazo de control se compone de:

- Medidor, es el instrumento que mide la variable que se quiere controlar.
- Transmisor, es el instrumento que transforma la señal del medidor a señal eléctrica proporcional a la variable medida, para que puede ser interpretada por el controlador.
- Controlador, el cual recibe la señal correspondiente a la variable medida y calcula la acción de control.
- Convertidor eléctrico neumático, el encargado de transformar la señal eléctrica en neumática.
- Actuador, recibe la presión y se abre o cierra en función de esta presión.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.2.2 Control en la planta piloto

En la planta piloto objeto del presente proyecto fin de carrera, existen una serie de variables que necesitan ser controladas. Como son las siguientes:

1) La presión en el extractor.

El extractor va a disponer de un lazo de control de la presión conectado tanto a la válvula de entrada de dióxido de carbono como a la válvula reguladora de presión, BPR, de tal forma que:

- Si se produjera un aumento de la presión, cercano a la presión de diseño del extractor, 500 bar, saltaría una alarma y se paralizaría la planta, evitando así la entrada de dióxido de carbono en el extractor.
- La presión de operación es 400 bar, el dióxido de carbono entraría a esa presión. Para mantener dicha presión en el extractor y que no se produzca un aumento o disminución de la misma, la válvula BPR se abre o cierra en función de un aumento o disminución.

2) La temperatura en el extractor.

El extractor trabaja a 35°C y la temperatura de diseño es de 80 °C. Si la temperatura del extractor aumenta hasta alcanzar una temperatura cercana a la de diseño, se activaría una alarma que avisa dicha subida y, al igual que en el caso de la subida de presión, se paraliza toda la planta.

Para evitar la paralización de la planta, y con ello, la pérdida de materias primas y disolvente, existen discos de rotura colocados por zonas críticas de la planta, como son, a la entrada del extractor y en su salida. Estos discos se romperán si la planta alcanza temperaturas superiores a 70 °C y presiones de 450 bar.

10 NORMAS Y REFERENCIAS

10.1 Disposiciones Legales y Normas aplicadas

Legislación de seguridad

- Plan de autoprotección: RD-1468/2008
- Señalización de seguridad: RD-485/1997
- Protección contra incendios: RD-560/2010
- Almacenamiento de productos químicos: 379/2001

Legislación de medio ambiente

- Emisión a la atmosfera: Ley 34/2007
- Plan de Evaluación de Impacto Ambiental: Ley 21/2013
- Protección Ambiental Integrada: RD- 4/2009

Legislación para el proceso químico

- Real Decreto 944/2010, de 23 de Julio, por el que se modifica el RD-1599/1995, para productos cosméticos para adaptarlo al Reglamento (CE) n.º 1272/2008, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.
- Real Decreto 1101/2011, de 22 de julio, por el que se aprueba la lista positiva de los disolventes de extracción que se pueden utilizar en la fabricación de productos alimenticios y de sus ingredientes.
- Real Decreto 769/1999, de 7 de Mayo, que dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos a presión.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- Real Decreto 2060/2008, de 12 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.

11 UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

11.1 Ubicación

La planta piloto de extracción supercrítica puede ser instalada en cualquier centro de estudio que cuente con las infraestructuras adecuadas para albergar las dimensiones del equipo.

No será necesario ningún tipo de acondicionamiento extra, aparte de ser un emplazamiento en interior y con disponibilidad de toma de corriente trifásica y ventilación.

11.2 Distribución

Como se muestra en el plano nº 1, la distribución de los equipos de la planta piloto de extracción:

- Silos para la recepción y almacenamiento de las semillas (2 unidades)
- Depósitos de almacenamiento del dióxido de carbono (2 unidades)
- Extractor (2 unidades)
- Separador ciclónico (2 unidades)
- Intercambiador de calor (2 unidades)
- Bomba
- Baño termostatzado

12 MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD

12.1 Medio Ambiente

12.1.1 Gestión de residuos generados en la planta

En la planta piloto objeto del presente PFC se generan fundamentalmente dos tipos de residuos:

- Residuos sólidos: una vez abierta la canasta, se obtienen los restos de semillas no extraídos y una pequeña cantidad de dióxido de carbono. Debido a la presencia del dióxido de carbono, dichos sólidos constituyen un residuo peligroso. Por eso, será necesario que una empresa gestora de residuos sea la encargada de retirarlos.
- Residuos gaseosos: los residuos gaseosos de la presente planta piloto será el dióxido de carbono obtenido tras el proceso de separación. Este residuo no supone ningún problema, gracias al sistema de recuperación del dióxido de carbono instalado en la planta.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

12.1.2 Prevención y control integrados en la contaminación

La ley 16/2002 incorpora en la Directiva Europea 96/61/CE la cual tiene clasificados los procesos y operaciones unitarias en función de la producción de productos contaminantes.

Para esta directiva ninguna de las sustancias utilizadas para el proceso de extracción, ni el dióxido de carbono ni las semillas, son contaminantes.

12.1.3 Impacto Medioambiental de la Planta Piloto de Extracción Supercrítica

La Evaluación del Impacto Medioambiental (EIA) es un procedimiento jurídico-administrativo de recogida de información, análisis y predicción destinada a anticipar, corregir y prevenir los posibles efectos directos e indirectos que la ejecución de una determinada obra o proyecto causa sobre el medio ambiente, permitiendo a la Administración adoptar las medidas adecuadas a su protección.

La Evaluación de Impacto Ambiental valorará los efectos directos e indirectos de cada propuesta de actuación sobre la población humana, la fauna, la flora, la gea, el suelo, el aire, el clima, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas previsiblemente afectados.

Asimismo, comprenderá la estimación de los efectos sobre los bienes materiales, el patrimonio cultural, las relaciones sociales y las condiciones de sosiego público, tales como ruidos, vibraciones, olores, emisiones luminosas y la de cualquier otra incidencia ambiental relevante derivada del desarrollo de la actuación.

Siguiendo la ley 21/2013, de 9 de diciembre, la presente planta deberá someterse a un plan de Evaluación de Impacto Ambiental debido a que pertenece al grupo 5: Industria química, petroquímica, textil y papelera. Pertenece a dicho grupo porque el dióxido de carbono es un producto químico inorgánico. A continuación está la clasificación del grupo.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Grupo 5. Industria química, petroquímica, textil y papelera.

a) Instalaciones para la producción a escala industrial de sustancias mediante transformación química o biológica, de los productos o grupos de productos siguientes:

1. Productos químicos orgánicos:

- i. Hidrocarburos simples (lineales o cíclicos, saturados o insaturados, alifáticos o aromáticos).
- ii. Hidrocarburos oxigenados, tales como alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, ésteres y mezclas de ésteres acetatos, éteres, peróxidos, resinas epoxi.
- iii. Hidrocarburos sulfurados.
- iv. Hidrocarburos nitrogenados, en particular, aminas, amidas, compuestos nitrosos, nítricos o nitratos, nitrilos, cianatos e isocianatos.
- v. Hidrocarburos fosforados.
- vi. Hidrocarburos halogenados.
- vii. Compuestos orgánicos metálicos.
- viii. Materias plásticas (polímeros, fibras sintéticas, fibras a base de celulosa).
- ix. Cauchos sintéticos.
- x. Colorantes y pigmentos.
- xi. Tensioactivos y agentes de superficie.

2. Productos químicos inorgánicos:

- i. Gases y, en particular, el amoníaco, el cloro o el cloruro de hidrógeno, el flúor o fluoruro de hidrógeno, los óxidos de carbono, los compuestos de azufre, los óxidos del nitrógeno, el hidrógeno, el dióxido de azufre, el dicloruro de carbonilo.
- ii. Ácidos y, en particular, el ácido crómico, el ácido fluorhídrico, el ácido fosfórico, el ácido nítrico, el ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico, el ácido sulfúrico fumante, los ácidos sulfurados.
- iii. Bases y, en particular, el hidróxido de amonio, el hidróxido potásico, el hidróxido sódico.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- iv. Sales como el cloruro de amonio, el clorato potásico, el carbonato potásico (potasa), el carbonato sódico (sosa), los perboratos, el nitrato argéntico.
 - v. No metales, óxidos metálicos u otros compuestos inorgánicos como el carburo de calcio, el silicio, el carburo de silicio.
3. Fertilizantes a base de fósforo, nitrógeno o potasio.
 4. Productos fitosanitarios y de biocidas.
 5. Productos farmacéuticos mediante un proceso químico o biológico.
 6. Productos explosivos.
- b) Plantas para el tratamiento previo (operaciones tales como el lavado, blanqueo, mercerización) o para el teñido de fibras o productos textiles cuando la capacidad de tratamiento supere las 10 t diarias.
 - c) Las plantas para el curtido de pieles y cueros cuando la capacidad de tratamiento supere las 12 t de productos acabados por día.
 - d) Plantas industriales para:
 1. La producción de pasta de papel a partir de madera o de otras materias fibrosas similares.
 2. La producción de papel y cartón, con una capacidad de producción superior a 200 t diarias.
 - e) Instalaciones de producción y tratamiento de celulosa con una capacidad de producción superior a 20 t diarias.

Respecto al organismo competente, como se trata de un proyecto cuya repercusión no sobrepasa el ámbito territorial de Andalucía, el órgano competente será el designado por la Junta de Andalucía.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

12.2 Seguridad

12.2.1 Objeto del estudio de seguridad

El presente Estudio de Seguridad establece las previsiones respecto a la prevención de riesgos de accidentes laborales y enfermedades profesionales.

Su implantación y seguimiento es labor de los Técnicos responsables de la planta, de acuerdo con el Real Decreto 1627/1997 de 24 de Octubre, por el que se implanta la obligatoriedad de la inclusión de los Estudios y Planes de Seguridad e Higiene en el Trabajo en los Proyectos de Edificación y Obras Públicas.

La vigencia del Plan se inicia desde la fecha en que se produzca la aprobación del presente Plan, previo informe favorable de la Dirección Facultativa.

El plan puede ser modificado en función del proceso de ejecución y de las posibles incidencias que puedan surgir a lo largo del mismo, previa aprobación de la Dirección Facultativa, y cuando ello no suponga disminución del importe total del presupuesto económico, ni de los niveles de protección contenidos en dicho Estudio.

Las modificaciones aprobadas se incluyen en una nueva revisión del Plan, a la que se da la difusión necesaria, siendo, a partir de este momento, de obligado cumplimiento en el interior del recinto y para todo el personal que realice su trabajo en ella.

El Estudio de Seguridad y Salud debe servir de base para la gerencia de la industria, así como los trabajadores que participen en la misma. Se podrán modificar algunos de los aspectos señalados en este estudio con los requisitos que establece la citada normativa.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

12.2.2 Clasificación de Sustancias

En la planta piloto del presente proyecto la sustancia a clasificar es únicamente el dióxido de carbono. Este, tal y como se refleja en su ficha de seguridad (anexo 1), no es una sustancia peligrosa. Por el Real Decreto 1101/2011 está clasificado como disolvente para procesos de extracción de sustancias alimenticias. (El presente proyecto no describe un proceso de extracción de sustancia alimentarias pero el producto final es para uso humano, por lo que la normativa también puede ser aplicada al presente caso).

12.2.3 Transporte y almacenamiento

Un aspecto importante es el embalaje, tanto en el transporte como en el envase final, toda sustancia debe ir correctamente etiquetada para su perfecta identificación en todo momento. En el caso del dióxido de carbono, siguiendo el Real Decreto 1101/2011, de 22 de Julio, especifica el etiquetado necesario para productos que intervienen en procesos de extracción. En el artículo 6 indica el etiquetado del dióxido de carbono:

- La denominación de venta.
- Una mención clara que indique que la sustancia es de la calidad apropiada.
- El lote
- El nombre o la razón social y la dirección del fabricante, del envasador o de un vendedor establecido en la Unión Europea;
- La cantidad neta expresada en unidades de volumen;
- En caso necesario, las normas particulares de conservación o de utilización.

Para el producto final por el Real Decreto 944/2010, de 23 de Julio, en su artículo 15 muestra el etiquetado del cosmético. Como puntos esenciales de dicho artículo, la etiqueta debe contener la siguiente información:

- Denominación del producto.
- El nombre o la razón social y la dirección o el domicilio social del fabricante.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- El contenido nominal en el momento del acondicionamiento, indicado en peso o en volumen, salvo para los envases que contengan menos de 5 g o menos de 5 ml, las muestras gratuitas y las dosis únicas.
- La fecha de caducidad mínima.
- Las precauciones particulares de empleo.
- El número de lote de fabricación o la referencia que permita la identificación de la fabricación.
- País de origen cuando se trate de productos cosméticos fabricados fuera del territorio comunitario.
- La función del producto, salvo si se desprende de su presentación.
- La lista de ingredientes por orden decreciente de importancia ponderal en el momento de su incorporación. Esta lista irá precedida de la palabra "ingredientes" o "ingredients".

12.2.4 Condiciones generales de seguridad en los lugares de trabajo

Seguridad estructural

Los edificios y locales de los lugares de trabajo poseen la estructura y solidez apropiadas a su tipo de utilización. Para las condiciones de uso previstas, todos sus elementos, estructurales o de servicio, incluidas las plataformas de trabajo, escaleras y escalas.

Tienen la solidez y resistencia necesarias para soportar cargas o esfuerzos a que sean sometidos.

Disponen de un sistema de armado, sujeción o apoyo que asegure su estabilidad.

Espacios de trabajo y zonas peligrosas

1. Las dimensiones de los locales de trabajo permiten que los trabajadores realicen su trabajo sin riesgos para su seguridad y salud y en condiciones ergonómicas aceptables. Sus dimensiones mínimas deben de ser las siguientes:
 - 3 m de altura, excepto para locales de servicio, oficinas y despachos, que pueden tener 2,5 m de altura.
 - 2 m² de superficie libre por trabajador.
 - 10 m³, no ocupados, por trabajador
2. Se han tomado las medidas adecuadas para la protección de los trabajadores autorizados a acceder a las zonas de los lugares de trabajo donde los trabajadores pueden verse afectados por riesgos de caída, caída de objetos y contacto o exposición a elementos agresivos.
3. Las zonas de los lugares de trabajo donde los trabajadores pueden verse afectados por riesgos de caída, caída de objetos y contacto o exposición a elementos agresivos, deben estar claramente señalizados.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Suelos, aberturas y desniveles, y barandillas

1. Los suelos de los locales son fijos, estables y no resbaladizos, sin irregularidades ni pendientes peligrosas.
2. Las aberturas o desniveles que supongan un riesgo de caída de personas se protegen mediante barandillas u otros sistemas de protección de seguridad equivalentes.
3. Las barandillas son de materiales rígidos, tienen una altura mínima de 90 cm y disponen de una protección que impide el paso o deslizamiento por debajo de las mismas o la caída de objetos sobre personas.

Vías de circulación

Las vías de circulación de los lugares de trabajo, tanto las ubicadas en el exterior de los edificios como en el interior, incluyendo pasillos, puertas, escaleras, rampas y muelles de carga, se utilizan conforme a su uso previsto, de forma fácil y con total seguridad para los peatones o vehículos que circulan por ellas y para el personal que trabaje en las proximidades.

La anchura mínima de las puertas exteriores y de los pasillos es de 80 cm y 1m, respectivamente.

Vías y salidas de evacuación

Las vías y salidas de evacuación, así como las vías de circulación y puertas que den acceso a ellas, se ajustan a lo dispuesto a la normativa específica.

Las vías y salidas de evacuación desembocan lo más directamente posible en el exterior o en una zona de seguridad.

Instalación eléctrica

La instalación eléctrica de los lugares de trabajo se ajusta a lo dispuesto en la normativa específica.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

La instalación eléctrica no entraña riesgos de incendio o explosión. Los trabajadores están debidamente protegidos contra los riesgos de accidente causados por contactos directos o indirectos.

La instalación eléctrica y los dispositivos de protección tienen en cuenta la tensión, los factores externos condicionantes y la competencia de las personas que tienen acceso a partes de la instalación eléctrica.

12.2.5 Análisis de riesgos en la planta piloto

Los objetivos del análisis de riesgos son la prevención de la ocurrencia y la mitigación de los efectos de accidentes en instalaciones industriales potencialmente peligrosas. Dicho análisis consiste en:

- Identificar los riesgos que puede presentar una instalación para personas, bienes y medio ambiente.
- Tipificarlos en una serie de accidentes mayores cuya ocurrencia es factible.
- Determinar el alcance que puede tener estos accidentes.
- Definir las zonas vulnerables.
- Calcular los daños que pueden provocar.
- Analizar las causas de los accidentes, eventualmente cuantificando sus frecuencias.
- Determinar las medidas de protección y prevención para evitar su ocurrencia o mitigar sus consecuencias.
- Determinar el nivel de riesgos asociados a sus instalaciones.

En este proyecto se van a identificar los equipos que tienen mayor riesgo de posibles accidentes:

1. Extractores: debido a que trabaja a presión mucho mayor de la atmosférica y temperatura también alta, existe riesgo de explosión. Dicho riesgo es alto, ya que la presión de operación es muy alta. Pero gracias a la instalación de elementos de seguridad, como son las válvulas de seguridad y discos de ruptura, hacen que el riesgo sea menor.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

2. Bomba: también existe riesgo por ser la encargada del aumento de la presión en el sistema, con lo cual puede existir explosión. Para evitarlo está dotado de válvula de seguridad y discos de ruptura, que actúan en caso de aumento de presión por encima de la de diseño, disminuyendo así el riesgo.

12.2.6 Riesgos laborales

Riesgos generales en la industria y normas básicas de seguridad

Los riesgos generales en la planta piloto se deben a los edificios, a las estructuras, a la instalación eléctrica, a la maquinaria y los distintos depósitos existentes en la misma.

- *Riesgos más frecuentes*
 - Caídas por tropiezo con conducciones o maquinaria.
 - Peligro de atrapamiento en las máquinas.
 - Niveles de ruido considerables por funcionamiento de la maquinaria.
- *Normas básicas de seguridad*
 - Limpieza y orden en la zona de trabajo.
 - Limpieza y reparación de la maquinaria una vez parada.
 - Los depósitos de materias primas y producto terminado se sitúan en terrenos nivelados y si están en el paso se protegen con mallas.
 - Las bombonas de almacenamiento de dióxido de carbono se señalarán con rótulos de gas licuado.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Riesgos en el trabajo de laboratorio y normas básicas de seguridad

En el laboratorio se realizan todos los estudios y análisis necesarios para comprobar que tanto la materia prima recibida como los productos finales cumplen con las características descritas y pasan el control de calidad pertinente.

- *Riesgos más frecuentes*
 - Caída por tropiezo.
 - Uso de materiales peligrosos.
 - Problemas respiratorios.

- *Normas básicas de seguridad*
 - Limpieza y orden en la zona de trabajo.
 - Uso correcto de los equipos de manipulación.
 - Evitar el contacto directo de agentes químicos con la piel.
 - Extremar el cuidado con el uso de materiales auxiliares irritantes.

12.2.7 Señalización e iluminación

En el Real Decreto 485/1997, de 14 de Abril se establecen las disposiciones mínimas de carácter general relativas a la señalización de seguridad y salud a fin de:

- Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones y determinaciones.
- Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de emergencia que requiera medidas de protección o evacuación.
- Orientar y guiar a los trabajadores que realicen determinadas maniobras peligrosas.

Tipos de señales:

- En forma de panel:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Señales de advertencia: poseen forma triangular con pictograma negro sobre fondo amarillo. Se colocarán en señales de advertencia en:

- Riesgo de tropezar
- Caídas a distinto nivel

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Señales de prohibición: Tienen forma redonda, con pictogramas en negros y bordes o bandas en rojo.

Estará prohibido fumar y encender fuego en toda la planta.

También se prohibirá la entrada a la planta de todas las personas no autorizada.

Señales de obligación: Tienen forma redonda, con fondo azul y pictograma en blanco.

Principalmente están relacionadas con el uso de las protecciones personales, que serán tratadas en el siguiente punto.

Señales relativas con la lucha contra incendios: Forma rectangular o cuadrada, con pictogramas en blanco sobre fondo rojo.

Los extintores y las BIE's deben tener señales indicativas de su presencia en lugares visibles.

También se indicará la dirección que se debe seguir en caso de evacuación.

Señales de salvamento o socorro: Forma rectangular o cuadrada con pictograma en blanco sobre fondo verde.

Se dispondrá de señalización de salida de socorro y teléfono de salvamento.

Las duchas de seguridad, así como los lavaojos dispondrán de su señal en un lugar visible.

Se colocará la señal correspondiente que indique la ubicación del botiquín.

- Es necesario la existencia de alumbrado de emergencia.
- Cintas de señalización:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Para señalar obstáculos, caídas a distinto nivel, zonas de caídas de objetos, etc. Se señalizan con los paneles descritos anteriormente o bien se limita la zona de exposición al riesgo con cintas de tela.

- Cintas de delimitación de la zona de trabajo:

Se limitan con cintas de franjas alternas verticales de colores rojo y blanco.

- Señales acústicas de emergencia que deberán conocer todos los operarios de la planta.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

12.2.8 Protección contra incendios y explosión

Llegado el momento en el que el incendio no ha podido ser evitado, es necesario contar con un sistema de extinción. Debido a las características de la planta, estos van a ser extintores y bocas de incendio equipadas (BIE).

El diseño de las instalaciones de protección contra incendios se hace según lo especificado en el Real Decreto 560/2010, de 7 de Mayo, como en la Ordenanza Municipal de Prevención contra incendios. De acuerdo con ésta, la instalación se compone de extintores y equipo de manguera.

Extintores

Los extintores son equipos autónomos que contienen un agente extintor, que puede ser proyectado o dirigido sobre el fuego por la acción de una presión interior.

Es importante señalar que tienen una eficacia limitada, sólo se pueden emplear en los primeros momentos del fuego.

El agente extintor debe ser el adecuado para el fuego previsible.

Se dispondrá de extintores junto a los aparatos con mayor riesgo, como son:

BOMBA

EXTRACTORES

CUADRO ELECTRICO (extintor seco)

También se dispondrá de extintores a la salida de la planta.

La altura máxima de colocación es de 1,70 m, su acceso debe estar libre de obstáculos y tener la señalización adecuada.

Un aspecto muy importante en este punto es la formación de los empleados. Todos los empleados de la planta deben recibir formación sobre extinción de incendios, desde el uso del extintor al empleo de mangueras.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Bocas de Incendio Equipadas

A diferencia de los extintores, no son equipos autónomos ya que dependen de una fuente externa de suministro de agua, pero puede dirigirse su punto de aplicación.

Está formada por un armario, una manguera, una boquilla, una válvula de apertura y un manómetro para comprobar la presión de servicio.

Se instalará una boca de incendio equipada en la zona central de la planta. La justificación está en que las BIE's tienen una longitud de actuación de 25 m, que es la longitud de la manguera.

La BIE se colocará a una altura de 1,5 m, con fácil accesibilidad y libre de obstáculos y con la señalización adecuada.

Protección contra explosiones físicas

Debido a la presencia de recipientes a presión (extractores) se pueden producir explosiones físicas.

Las medidas de seguridad que se han tomado en este caso es aumentar la distancia entre la zona de extracción y las restantes, así como la instalación de válvulas de seguridad y discos de ruptura.

12.2.9 Equipos de Protección Individual

Se entiende por Equipos de Protección Individual (EPI), todo equipo destinado a ser llevado o sujeto por un trabajador para que lo proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar a su seguridad o salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

Toda persona que se encuentre en la planta deberá llevar:

- Gafas de protección
- Casco de protección
- Zapatos de seguridad
- Ropa de seguridad

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Para el caso de fugas de dióxido de carbono cada trabajador debe tener un equipo respiratorio autónomo.

12.2.10 Servicios de prevención

Conforme con lo previsto en el Real Decreto 39/1997, de 17 de Enero, que aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, la empresa dispone de la organización necesaria para este servicio.

Entre los empleados existe un delegado de prevención, según se describe en el artículo 35 de la ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Las competencias que debe tener dicho representante están recogidas en el artículo 36 y 37 de dicha ley. El delegado de prevención es el representante de los trabajadores en materias específicas de prevención de riesgos laborales.

La planta se dispone de un Botiquín de primeros auxilios. También se dispone de forma a uno de los trabajadores como socorrista, para atender a pequeñas curas que se requieran y asegurar la reposición y el mantenimiento del contenido del botiquín.

12.2.11 Plan de Emergencia

Cuando se produce un accidente, es necesario contar con un plan de emergencia (PE), cuyo objetivo es coordinar los esfuerzos de todas las personas que pueden verse afectadas por el accidente.

Los accidentes generan una situación de emergencia, la cual se puede clasificar según los recursos necesarios para la supresión en los niveles siguientes:

- Nivel de emergencia 1: la supresión de la emergencia se consigue con los recursos de la planta.
- Nivel de emergencia 2: para conseguir la supresión de la emergencia es necesario además de los recursos de la planta, la presencia de los bomberos.
- Nivel de emergencia 3: son necesarios los recursos internos de la planta, los bomberos y otros servicios externos. Es el caso más grave.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Una vez que se han clasificado las emergencias se debe determinar las acciones a emprender en cada caso: alerta, alarma, intervención o apoyo.

En los planes de emergencia es importante que cada persona conozca perfectamente su papel. Existen varios equipos de emergencia, cada uno de los cuales tiene una función asignada:

- Equipos de alarma y evacuación (EAE)
- Equipos de primeros auxilios (EPA)
- Equipos de primera y segunda intervención (EPI Y ESI)
- Jefe de intervención
- Jefe de emergencia

En todo Plan de Emergencia es necesaria su implantación, para ello se nombra un responsable del Plan. Dentro de la implantación se debe realizar:

- El mantenimiento y mejora de factores técnicos
- Adiestramiento de los medios humanos
- Simulacros de emergencia
- Programas de mantenimiento
- Investigación de siniestros

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

13 PLANIFICACIÓN

Una vez que la planta del presente proyecto está construida, se procederá a su puesta en marcha y operación habitual.

13.1 Operación

Como se ha comentado en apartados anteriores de la memoria la planta está diseñada para procesar 40 Kg/día de semillas del higo chumbo mediante 2 extractores, los cuales permiten que la planta trabaje en continuo.

En el anexo 1 concretamente la figura 16 aparece el diagrama de Gantt desglosado en las operaciones unitarias de todo el proceso.

13.2 Mantenimiento

En la figura 16 del anexo 1, se puede ver con claridad las horas de funcionamiento en continuo de algunos equipos, como los intercambiadores de calor, la bomba y el baño criotermostato, el mantenimiento de estos equipos se realizará en momentos de parada programadas de la planta. Así como también se puede observar las horas en las que no están operando los extractores y los separadores ciclónicos, estas son las destinadas a procesos de mantenimiento de estos equipos, para evitar la parada imprevista de la planta, afectando así a la planificación de producción.

14 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

14.1 Introducción

Antes de exponer los planes de mantenimiento de la planta objeto del presente proyecto, es necesario diferenciar los tipos de mantenimiento existentes.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

14.1.1 Mantenimiento preventivo

La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo de forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda de usuario u operario.

Su propósito es prever los fallos manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos. Siendo la característica principal de este mantenimiento inspeccionar los equipos y detectar los fallos en su fase inicial, y corregirlos en el momento oportuno. Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtiene experiencia en la detección de fallos repetitivos o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como definir los puntos débiles.

Ventajas del Mantenimiento Preventivo

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado y sus condiciones de operación.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos o máquinas.
- Mayor duración de equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en almacén, y por tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Menor coste de reparaciones.

Fases del Mantenimiento Preventivo

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listado de trabajos a realizar periódicamente.
- Control de frecuencias, Indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.
- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

14.1.2 Mantenimiento Predictivo

Mantenimiento basado en detectar un fallo antes de que ocurra, para dar tiempo a solucionarlo sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción. Estos controles pueden llevarse a cabo de forma periódica o continua, en función de tipos de equipos, sistema productivo, etc. Para ello, se utilizan instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas.

Ventajas del Mantenimiento Predictivo

- Reduce tiempos de parada.
- Permite seguir la evolución de un efecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión de personal de mantenimiento.
- La verificación del estado de la maquinaria permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto,
- Toma de decisiones sobre la parada de una línea en momentos críticos.
- Confección de normas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones para ser usado en el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de la averías.
- Permite el análisis estadístico del sistema.

14.1.3 Mantenimiento Correctivo

- *No planificado*

Corrección de averías o fallos, cuando éstos se presentan, y no de forma planificada, como es el caso del Mantenimiento Preventivo.

Esta forma de mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan el fallo, pues se desconoce si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

El ejemplo de este Mantenimiento correctivo no planificado es la habitual reparación urgente tras una avería que obligó a parar la planta o la máquina en concreto.

– *Planificado*

El Mantenimiento Correctivo planificado consiste en la reparación de un equipo o máquina cuando se dispone de personal, repuestos y documentos técnicos para realizarlo.

14.1.4 Mantenimiento Autónomo

El Mantenimiento Autónomo es una parte fundamental en el Mantenimiento Productivo Total, TPM (*Total Productive Maintenance*), junto a otros como el Mantenimiento Preventivo, la Mejora Continua, la Capacitación-Formación del personal, los Equipos e Instalaciones.

Este mantenimiento es básicamente prevención del deterioro de los equipos y componentes de los mismos. El mantenimiento llevado a cabo por los operarios y los preparados del equipo, puede y debe contribuir significativamente a la eficacia del equipo. Este Mantenimiento Autónomo incluye:

- Limpieza diaria, que se tomará como un proceso de inspección.
- Inspección de los puntos claves del equipo, en busca de fugas, fuentes de contaminación, exceso o defecto de lubricación, etc.
- Lubricación básica periódica de los puntos clave del equipo.
- Pequeños ajustes.
- Formación- Capacitación técnica.
- Registrar todos los fallos que no pueden recuperarse en el momento de su detección y que requieren una programación para solucionarse.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

14.2 Operaciones de Mantenimiento para cada equipo

El mantenimiento de la planta se a llevar a cabo en función del equipo destino y del tipo de mantenimiento.

14.2.1 Mantenimiento de los extractores

Predictivo: una vez al año se le realizará, a cada extractor, una inspección y limpieza del interior.

Preventivo: debido a las altas presiones a las que trabaja cada extractor, se realizarán medidas de los espesores semestralmente por ultrasonidos para estudiar su evolución, así como se realizará una prueba hidrostática que compruebe la hermeticidad de las soldaduras. También se comprobarán los elementos de seguridad.

14.2.2 Mantenimiento del intercambiador de calor de carcasa y tubos

Predictivo: medidas de caída de presión a lo largo del intercambiador.

Preventivo: se realizará una inspección anual en la cual se llevarán a cabo las siguientes operaciones:

- Apertura del cabezal e inspección de la placa.
- Limpieza de la zona de carcasa con productos químicos porque el refrigerante forma incrustaciones sobre los tubos.
- Comprobación de que los tubos se encuentren todos en buen estado.
- Prueba de presión

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

14.2.3 Mantenimiento del separador ciclónico

Predictivo: al igual que a cada extractor se abrirá y se procederá a limpiarlo e inspeccionarlo, pero en este caso mensualmente.

Preventivo: el separador ciclónico, al no tener partes móviles ni trabajar a alta presión, no necesita un mantenimiento exhaustivo, con controlar la pureza del producto extraído es suficiente.

14.2.4 Mantenimiento de la bomba

Predictivo: se tomarán medidas de las vibraciones mensuales, con la máquina en servicio.

Preventivo: se realizará una prueba de fuga anualmente.

14.2.5 Mantenimiento del sistema de tuberías

Preventivo: debido al trabajo en altas presiones en algunos tramos de tubería, se comprobará el espesor de dichos tramos, mediante ultrasonidos. Además se realizará, anualmente, una prueba hidrostática que compruebe la hermeticidad de los accesorios de la tubería y las juntas soldadas.

14.2.6 Mantenimiento de las válvulas

El mantenimiento de las válvulas de la planta será del tipo Preventivo. Consistirá en un engrase manual de todas ellas con una periodicidad mensual.

14.2.7 Mantenimiento de los extintores

Cada tres meses es necesario comprobar:

- Su accesibilidad
- Carga (peso y presión)
- Estado de las partes mecánicas y comprobación del precinto

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

El personal de la planta será el encargado de realizar estas actividades de mantenimiento.

Cada año se debe:

- Verificación de carga y presión
- Estado completo: manguera, boquilla, válvula, etc.

Estas comprobaciones se realizarán por el fabricante de los extintores.

Cada cuatro años se realizará una prueba hidráulica (retimbrado), la cual será llevada a cabo por el fabricante.

ANEXOS

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Índice de Anexos

1.	ANEXO1: FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS	105
2.	ANEXO2: DISEÑO DEL EXTRACTOR.....	122
2.1.	Introducción al diseño.....	122
2.2.	Caracterización de los parámetros de operación.....	122
2.3.	Diseño de la Canasta.....	124
2.3.1.	Dimensionamiento de la Canasta	124
2.3.2.	Espesor de la canasta	125
2.3.3.	Base de la canasta	127
2.3.4.	Cabeza de la canasta.....	132
2.3.5.	Peso de la Canasta	134
2.3.6.	Pérdida de carga de la canasta	135
2.4.	Diseño del Extractor	137
2.4.1.	Consideraciones previas.....	137
2.4.2.	Dimensiones del Extractor.....	137
2.4.3.	Espesor del Cuerpo del Extractor.....	138
2.4.4.	Cabeza del extractor	139
2.4.5.	Base del extractor.....	140
2.4.6.	Peso del extractor.....	141
2.4.7.	Pérdida de carga.....	142
2.5.	Sellante O-ring.....	143
2.6.	Manta calefactora.....	145
2.7.	Método de Izaje	148
3.	ANEXO 3: CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR, HE1	149
3.1.	Caracterización de las corrientes	149
3.2.	Cálculo del calor intercambiado y del caudal de refrigerante.....	149
3.3.	Determinación de la temperatura media logarítmica.....	151
3.4.	Coeficiente global de transmisión de calor.....	152
3.5.	Cálculo del Área de intercambio necesaria.....	153
4.	ANEXO 4: DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR ELÉCTRICO.....	154
4.1.	Caracterización de las corrientes	154
4.2.	Cálculo del calor intercambiado y del caudal de refrigerante.....	154
5.	ANEXO 5: DISEÑO DEL SEPARADOR CICLÓNICO	156
5.1.	Introducción	156
5.2.	Caracterización de la corriente de entrada.....	157

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

5.3.	Dimensionamiento del ciclón	158
5.4.	Material de Construcción.....	160
5.5.	Cálculo del espesor	160
5.6.	Cálculo de propiedades del ciclón	163
5.6.1.	Tiempo de relajación.....	166
5.6.2.	Exponente del vórtice.....	167
5.6.3.	Velocidad de saltación.....	168
5.6.4.	Estimación de la Caída de Presión.....	170
5.6.5.	Variación de las condiciones de trabajo.....	171
6.	ANEXO 6: DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS	173
6.1.	Características de cada línea	173
6.2.	Cálculo del diámetro de cada línea	175
6.3.	Cálculo de espesor	176
6.4.	Caída de Presión	177
6.5.	Diseño de Bomba.....	180
7.	ANEXO 7: SISTEMA DE VÁLVULAS	184
8.	ANEXO 8: TANQUES DE ALMACENAMIENTO	187
9.	ANEXO 9: SOLDADURA.....	188
9.1.	Circunstancias para la realización de la soldadura	188
9.2.	Requisitos de la Norma.....	188
9.3.	Economía de la soldadura	191
10.	ANEXO 10: PROVEEDORES.....	192
10.1.	Extractor.....	192
10.2.	Envolvente de Caucho de Silicona.....	193
10.3.	Filtro Difusor.....	195
10.4.	Sellante O-ring	196
10.5.	Método de izaje	199
10.6.	Intercambiador de calor de Carcasa y tubos.....	203
10.7.	Intercambiador Eléctrico	204
10.8.	Tuberías.....	209
10.9.	Bomba	211
10.10.	Sistema de válvulas	213
10.11.	Tanques de Almacenamiento	218
10.12.	Filtro para reutilización del Dióxido de Carbono.....	219
10.13.	Caudalímetro	220
10.14.	Indicadores y Transmisores de Presión, Temperatura y Nivel.....	220

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

1. ANEXO1: FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIOXIDO DE CARBONO		ICSC: 0021
		Octubre 2005
Gas ácido carbónico		Anhidrido carbónico
CAS:	124-38-9	CO ₂
RTECS:	FF340000	Masamolecular: 44,0
NU:	1013	
CE / EINECS:	204-696-9	



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: estar permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN	Los envases pueden arder en un incendio.		En caso de incendio: mantener fría botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Vértigo. Dolor de cabeza. Presión sanguínea elevada. Ritmo cardíaco acelerado. Asfixia. Pérdida del conocimiento.	Ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON LIQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	EN CASO DE CONGELACION: acapar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	En contacto con líquido: congelación.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal: equipo autónomo de respiración. Ventilación: NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido.	Clasificación NJ Clasificación de Peligros NU: 2.2 Clasificación GHS Atención Puede ser nocivo si se inhala. Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (transport = emergency/Caro): TEC (R+20)S1013 o 2032A	A prueba de incendio si está en local cerrado. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo.
<p>IPCS International Programme on Chemical Safety</p> <p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IFCG y la Comisión Europea © IPCS, CE 2007</p>	

VEASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIOXIDO DE CARBONO		ICSC: 0021
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Gas licuado comprimido, incoloro e inodoro.</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. A velocidades elevadas pueden generarse cargas electrostáticas y puede inflamarse cualquier mezcla explosiva presente. Las pérdidas de líquido condensan formando hielo seco extremadamente frío.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia se descompone al calentarse intensamente, por encima 2000°C produciendo monóxido de carbono tóxico.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 5000 ppm como TWA, 30000 ppm como STEL; (ACGIH-2005). MAK: 5000 ppm, 9100 mg/m³; Categoría de limitación de peso: II(2); (DIFG 2006).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este líquido se evapora muy rápidamente originando una saturación total de aire con grave riesgo de asfixia.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación a niveles elevados puede originar pérdida de conciencia. Asfixia.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: La sustancia puede afectar al metabolismo.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: -79°C Solubilidad en agua, m³/100 ml a 20°C: 88 Presión de vapor, kPa a 20°C: 5720 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,5</p>	<p>Coefficiente de reparto octano/agua (cm³ kg Row): 0,83</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>El dióxido de carbono se utiliza en muchos procesos de fermentación (vino, cerveza, etc.) y es un componente mayoritario en los gases de combustión. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Cuando abrir el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Otros números de clasificación: NU para el transporte: NU 1345 dióxido de carbono, sólido (Hielo seco), NU 2187 dióxido de carbono líquido refrigerado.</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límite de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 5000 ppm; 9150 mg/m³</p> <p>Nota: Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la ILO.</p>		
<p>Nota legal: Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de cualquier legislación. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IFCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>		
© IPCS, CE 2007		

Figura 1: Ficha seguridad CO₂. Fuente: www.insht.es

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ACERO AL CARBONO Y DE BAJO CONTENIDO DE ELEMENTOS DE ALEACION*				
Forma	Composición nominal	Especificación		APLICACION
		Número	Grado	
Placa	C	SA-283	C	Calidad estructural. Para recipientes a presión puede usarse con limitaciones; ver nota 1
	C	SA-285	C	Calderas para servicio estacionario y otros recipientes a presión
	C - Si	SA-515	55	Principalmente para servicio a temperaturas media y alta
	C - Si	SA-515	60	- " -
	C - Si	SA-515	65	- " -
	C - Si	SA-515	70	- " -
	C - Si	SA-516	55	Para servicio a temperaturas moderada y baja
	C - Si	SA-516	60	- " -
	C - Mn - Si	SA-516	65	- " -
C - Mn - Si	SA-516	70	- " -	
Bridas y accesorios	C - Mn - Si	SA-105		Para servicio a alta temperatura
	C - Si	SA-181	I	Para servicio general
	C - Mn	SA-350	LF1	Para servicio a baja temperatura
	C - Mn - Si		LF2	
Tubería	C - Mn	SA-53	B	Para servicio general
	C - Mn	SA-106	B	Para servicio a alta temperatura
Tornillería	1Cr-1/5 Mo.	SA-193	B7	Para servicio a alta temperatura; tornillos pasantes de 2 1/2 pulg de diámetro o menos
		SA-194	2H	Para tuercas para servicio a alta temperatura
		SA-307	B	Tornillo de máquina para uso general
* Datos de los materiales de uso más frecuentes tomados de las normas ASME, secciones II y VIII.				

Figura 2: Propiedades de los materiales de construcción de los equipos.
Fuente: E.F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES (Continuación)											
NOTAS:											
1. La placa SA-283 ABCD puede usarse para partes de presión en recipientes sujetos a presión siempre que se cumplan todos los requisitos siguientes:											
1) Que los recipientes no se usen para contener sustancias letales, sean líquidas o gaseosas.											
2) Que el material no se utilice en la construcción de calderas de vapor sin fuego directo (ver párrafo U-1 (g)).											
3) Que la temperatura de aplicación del material esté comprendida entre -20°F y 650°F.											
4) Para cascos, cabezas y boquillas, sólo se use si el espesor de las placas en las que se aplique soldadura de resistencia no exceda de 5/8 de pulg.											
2. Para temperaturas de servicio superiores a 850°F se recomienda usar aceros muertos que contengan no menos de 0.10% de silicio residual. Los aceros muertos que han sido deoxidados con grandes cantidades de aluminio y los aceros rebordados pueden tener propiedades de escurrimiento plástico y ruptura por esfuerzo en el intervalo de temperatura superior a los 850°F, un poco inferiores a las que se han tomado como base para los valores de la tabla.											
3. Por exposición prolongada a temperaturas superiores aproximadas de 800°F, la fase de carburo del acero al carbono puede convertirse en grafito.											
4. Arriba de 850°F se utilizará sólo acero muerto.											
5. No se permite arriba de 450°F; valor de esfuerzo permitido 7000 lb/pulg ² .											
6. No se usará el material en espesores mayores de 2 pulg.											
7. Para tubo soldado los valores máximos de esfuerzo permitido son 15% menores. No se tolerará ningún incremento en estos valores de esfuerzo por haberse efectuado radiografía.											
8. Los valores de esfuerzo a usar para temperaturas inferiores a -20°F cuando los aceros cumplan con el suplemento (5) SA-20, serán los que se dan en la columna de -20 a 650°F.											
MODULO DE ELASTICIDAD PARA MATERIALES FERROSOS											
Material	Millones de lb/pulg ² , para temperatura F, de										
	70	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
Aceros al carbono con C ≤ 0.30%	29.5	28.8	28.3	27.7	27.3	26.7	25.5	24.2	22.4	20.4	18.0
Aceros al carbono con C < 0.30%	29.3	28.6	28.1	27.5	27.1	26.5	25.3	24.0	22.3	20.2	17.9
Aceros con alto contenido de elementos de aleación	28.3	27.6	27.0	26.5	25.8	25.3	24.8	24.1	23.5	22.8	22.1
Los valores en las Gráficas de Presión Externa son sólo para calcular dicha presión.											

Figura 5: Propiedades de los materiales de acero al carbono.

Fuente: *E.F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión. Diseño y calculo".*

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

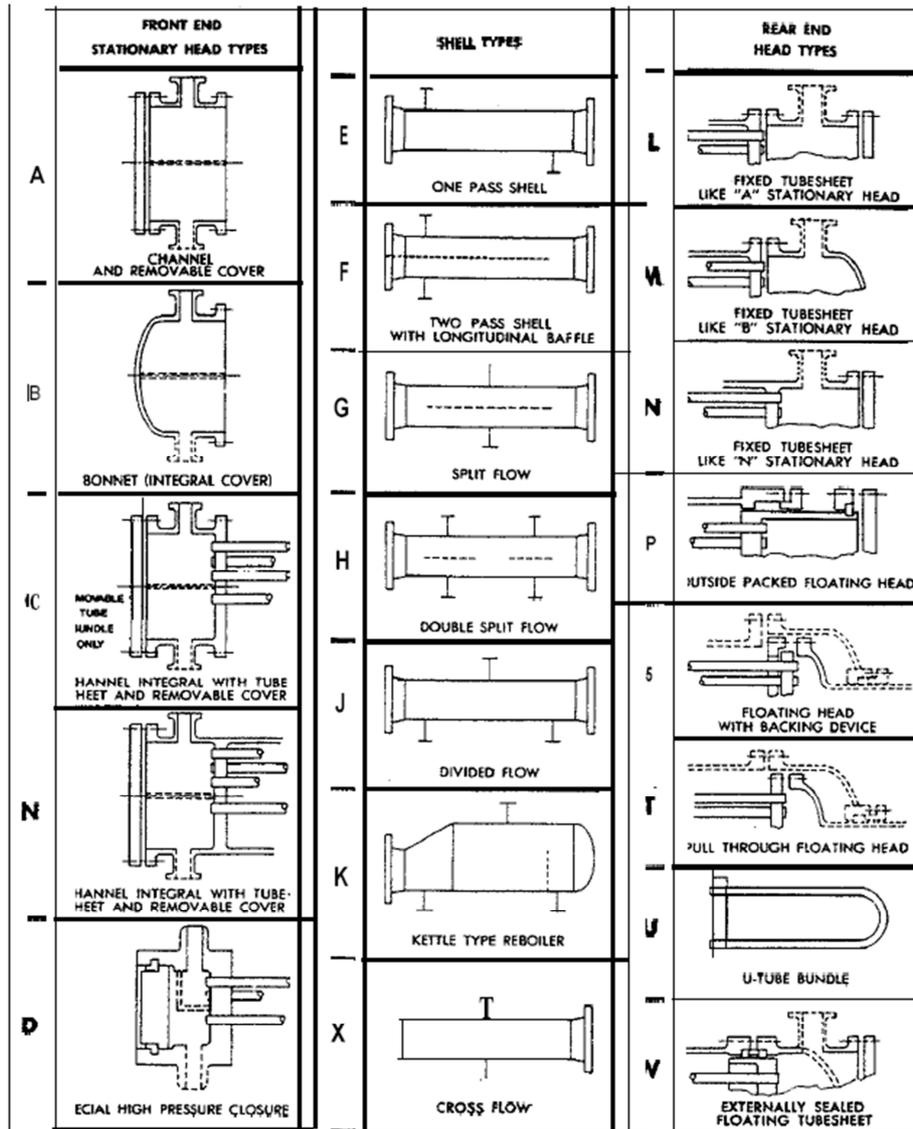


Figura 6: Posibles Configuraciones del intercambiador de calor de carcasa y tubos.
Fuente: "Standards of the tubular exchanger manufacturers association", 8th edition

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Tabla 2. Diversos: un intervalo de valores de diversos coeficientes totales.
 U expresado en $\text{Kcal./}(\text{hr.})(\text{m}^2)(^{\circ}\text{C.})$, como se encuentra en la práctica. En condiciones especiales pueden obtenerse valores más altos o más bajos.

Tipo de cambiador o recuperador de calor	Clase de resistencia que rige		Fluido típico	Aparatos típicos
	Convección libre, U	Convección forzada, U		
Líquido a líquido	122-293	732-1464	Agua	Cambiadores de calor, líquido a líquido
Líquido a líquido	24-49	98-244	Aceite	Radiadores de agua caliente
Líquido a gas (presión atm.)	5-15	10-49		
Líquido a líquido hirviendo	98-293	244-732	Agua	Refrigeradores de salmuera
Líquido a líquido hirviendo	24-98	122-293	Aceite	Enfriadores de aire, economizadores
Gas (presión atm.) a líquido	5-15	10-49		
Gas (presión atm.) a gas	2.9-10	10-29		Recalentadores de vapor de agua
Gas (presión atm.) a líquido hirviendo	5-15	10-49		Calderas de vapor
Vapor condensado a líquido	244-976	732-3904	Vapor de agua-agua	Calentadores de líquidos condensadores
Vapor condensado a líquido	49-146	98-293	Vapor de agua-aceite	Tubos de vapor de agua en aire. Calentadores de aire
Vapor condensado a líquido	195-390	293-1464	Vapor orgánico-agua	
Vapor condensado a líquido		73-1464	Mezcla vapor de agua-gas	Evaporadores que forman incrustaciones
Vapor condensado a gas (presión atm.)	5-15	29-78		Tubos con camisa de vapor orgánico
Vapor condensado a líquido hirviendo	195-488			
Vapor condensado a líquido hirviendo	1464-3904		Vapor de agua-agua	
Vapor condensado a líquido hirviendo	244-732		Vapor de agua-aceite	
Vapor condensado a líquido hirviendo		244-1952	Vapor de agua-líquido orgánico	

Figura 7: Posibles valores de coeficiente global de transmisión de calor.
 Fuente: R.H.Perry y C.H.Chilton, "Manual del ingeniero químico".

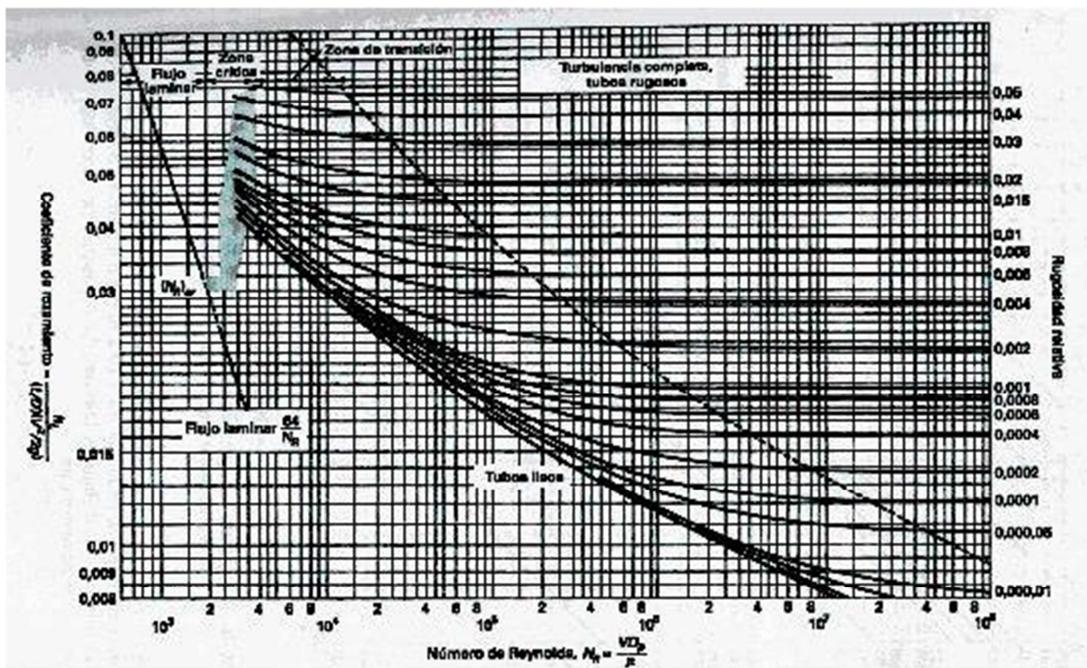


Figura 8: Gráfica de Moody, para determinar el factor de fricción.
 Fuente: Yunus A. Çengel, "Transferencia de calor".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ϵ (mm)		Material
Plástico (PE, PVC)	0,0015		Fundición asfaltada
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01		Fundición
Tubos estirados de acero	0,0024		Acero comercial y soldado
Tubos de latón o cobre	0,0015		Hierro forjado
Fundición revestida de cemento	0,0024		Hierro galvanizado
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024		Madera
Fundición centrifugada	0,003		Hormigón

Figura 9: Rugosidad de los materiales. Fuente: www.miliarium.com

Tipo de accesorio o válvula	Pérdida por fricción, número de cargas de velocidad K_f	Pérdida por fricción, longitud equivalente de tubería recta en diámetros de tubería L_e/D
Codo, 45°	0.35	17
Codo, 90°	0.75	35
Te	1	50
Retorno en U	1.5	75
Manguitos de acoplamiento	0.04	2
Manguitos de unión	0.04	2
Válvulas de compuerta		
Abiertas	0.17	9
Semiabiertas	4.5	225
Válvulas de globo		
Abiertas	6.0	300
Semiabiertas	9.5	475
Válvulas de ángulo, abiertas	2.0	100
Válvula de retención		
De bola	70.0	3500
De bisagra	2.0	100
Medidor de flujo	7.0	350

Fuente: R. H. Perry y C. H. Chilton, *Chemical Engineer's Handbook*, 5a. ed., Nueva York, Mc. Graw-Hill, Inc., 1973. Reproducido con permiso.

Figura 10: Pérdida por fricción de cada accesorio de la tubería.
Fuente: R.H.Perry y C.H.Chilton, "Manual del ingeniero químico".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

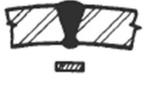
TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS					
TIPOS NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:			
		a. Radiogra- fiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada	
1		Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.	1.00	0.85	0.70
2	 En juntas circunferenciales únicamente	Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar	0.90	0.80	0.65
3		Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo	-	-	0.60
4		Junta a traslape de doble filete completo	-	-	0.55
5		Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón	-	-	0.50
6		Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón	-	-	0.45

Figura 11: Norma UW-12. Tipos de juntas soldadas.

Fuente: E.F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión. Diseño y calculo".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS									
LIMITACIONES AL APLICAR LOS DISTINTOS TIPOS DE SOLDADURA	NOTAS								
<p style="text-align: center;">PARA EL TIPO 1 NINGUNA</p> <p style="text-align: center;">PARA EL TIPO 2, NINGUNA</p> <p>Excepto soldadura a tope con una placa desplazada; para uniones circunferenciales únicamente.</p> <p style="text-align: center;">PARA EL TIPO 3</p> <p>Para uniones circunferenciales únicamente, no más de 5/8 de pulg de espesor y no más de 24 pulg de diámetro exterior.</p> <p style="text-align: center;">PARA EL TIPO 4</p> <p>Uniones longitudinales de no más de 3/8 de pulg de espesor. Uniones circunferenciales de no más de 5/8 de pulg de espesor.</p> <p style="text-align: center;">PARA EL TIPO 5</p> <p>a) Uniones circunferenciales para juntas de cabezas de no más de 24 pulg de diámetro exterior a cascos de no más de 1/2 pulg de espesor. Se excluyen las juntas de cabezas hemisféricas a cascos.</p> <p>b) Uniones circunferenciales para juntas a cascos de no más de 5/8 de pulg de espesor nominal, cuando la distancia del centro de la soldadura de tapón a la orilla de la placa no sea menor de 1 1/2 veces el diámetro del orificio para el tapón.</p> <p style="text-align: center;">PARA EL TIPO 6</p> <p>a) Para la unión de cabezas convexas hacia la presión a cascos de no más de 5/8 de pulg de espesor requerido, sólo aplicando soldadura de filete en el interior del casco o</p> <p>b) Para la unión de cabezas con la presión en cualquiera de sus lados, a cascos de no más de 24 pulg de diámetro interior y no más de 1/4 de pulg de espesor requerido con soldadura de filete en el exterior de la brida de la cabeza solamente.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. En esta tabla se indican los tipos de juntas soldadas que son permitidas por las normas en procesos de soldadura por arco y con gas. 2. La forma de los bordes por unir mediante soldadura a tope deberá ser tal que permita lograr una fusión y penetración completas. 3. Las juntas a tope deberán estar libres de socavaciones, traslapes y lomos y valles bruscos. Para asegurarse de que se llenen completamente de soldadura las ranuras, el metal de soldadura puede acumularse como refuerzo. El espesor del refuerzo no debe exceder de las medidas siguientes. <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Espesor de la placa, pulg</td> <td style="padding-right: 10px;">Refuerzo máx., pulg</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;">hasta 1/2 inclusive</td> <td style="padding-right: 10px;">3/32</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;">de 1/2 hasta 1 inclusive</td> <td style="padding-right: 10px;">1/8</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;">más de 1"</td> <td style="padding-right: 10px;">3/16</td> </tr> </table> 4. Antes de soldar el segundo lado de una junta a tope de doble cordón, las impurezas de la soldadura del primer lado deben separarse por rebabeo, a esmeril o por fusión para que haya metal firme para penetración y fusión completas. Para la soldadura de arco sumergido se recomienda formar por rebabeo una ranura en el cráter. 5. Las máximas eficiencias permitidas para la junta que se dan en esta tabla se usarán en los cálculos de las cargas, al hacer las uniones por los procedimientos de soldadura por arco o con gas. 	Espesor de la placa, pulg	Refuerzo máx., pulg	hasta 1/2 inclusive	3/32	de 1/2 hasta 1 inclusive	1/8	más de 1"	3/16
Espesor de la placa, pulg	Refuerzo máx., pulg								
hasta 1/2 inclusive	3/32								
de 1/2 hasta 1 inclusive	1/8								
más de 1"	3/16								

Figura 12: Limitaciones al aplicar las distintas juntas soldadas.
Fuente: E.F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión. Diseño y calculo".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

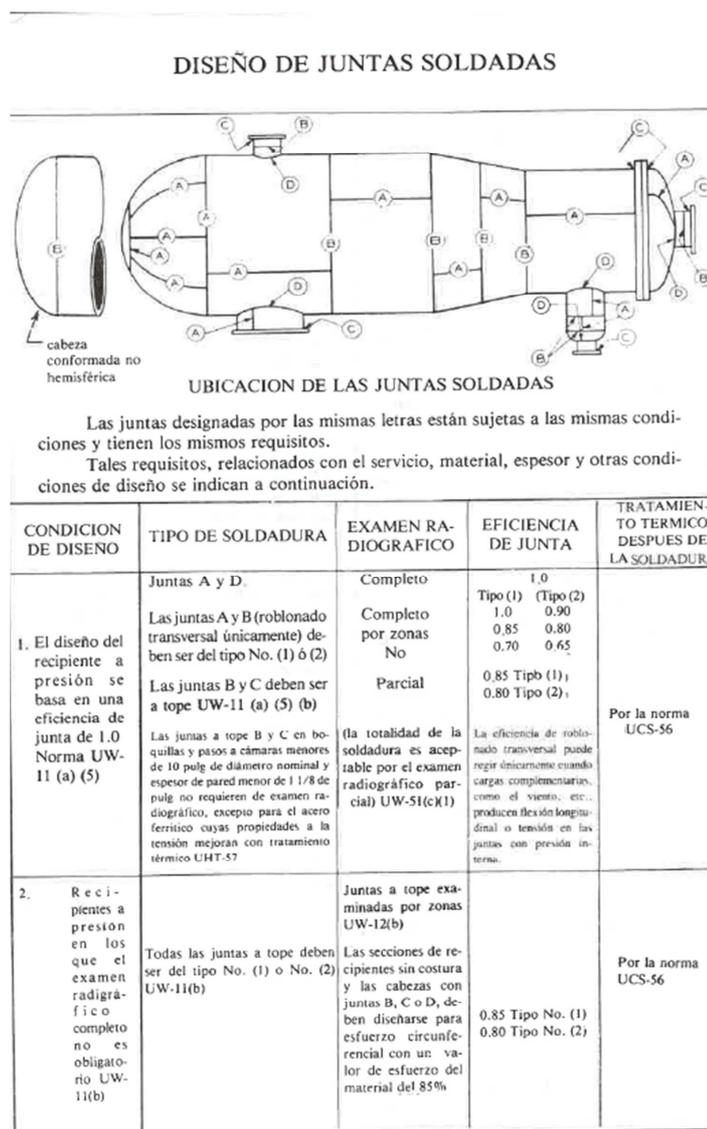


Figura 13: Diseño de juntas soldadas.

Fuente: E.F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión. Diseño y calculo".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS (CONT.)				
CONDICION DE DISEÑO	TIPO DE SOLDADURA	EXAMEN RADIOGRAFICO	EFICIENCIA DE JUNTA	TRATAMIENTO TERMICO DESPUES DE LA SOLDADURA
3. El recipiente se diseña para presión externa únicamente o el diseño está basado en UW-12(c) (ver tabla).	Cualquier junta soldada UW-11(c).	No se requiere examen radiográfico.	0.70 Tipo (1) 0.65 Tipo (2) 0.60 Tipo (3) 0.55 Tipo (4) 0.50 Tipo (5) 0.45 Tipo (6) En todos los demás cálculos de diseño se usará el 80% del valor de esfuerzo del material.	Por la norma UCS-56.
4. Recipientes que contengan sustancias tóxicas y peligrosas UW-2(a).	Las juntas A serán del tipo (1), UW-2(a)(1)(a). Las juntas B y C serán del tipo No. (1) o No. (2) UW-2(a)(1)(b). Las juntas D llevarán soldadura de penetración total a través de todo el espesor de la pared del recipiente o la boquilla UW-2(a)(1)(c).	Completo Todas las juntas a tope en cascos y cabezas deben examinarse radiográficamente por completo, excepto los tubos de intercambiadores y los intercambiadores UW-2(a)(2), (3) y UW-11(a)(4)	1.0 1.0 0.9* * para usarse en cálculos de esfuerzo longitudinal (roblando transversal).	Los recipientes fabricados de aceros al carbón o con bajo contenido de elementos de aleación deben tratarse térmicamente después de haberse soldado, UW-2(c).
5. Los recipientes que operen a menos de -20°F se requiere prueba de impacto del material o del metal de aporte UW-2(b)	Las juntas A serán del tipo No. (1) (excepto para acero inoxidable 304) Las juntas B serán del tipo No. (1) o del No. (2), UW-2(b) (1) y (2) Las juntas C llevarán soldaduras de penetración completa que se extiendan a toda la sección de la junta. Las juntas D llevarán soldaduras de penetración completa que se extiendan por toda la sección de la junta UW-2(b) (2) y (3)	Completo Por zonas No	Tipo (1) Tipo (2) 1.0 0.90 0.85 0.80 0.70 0.65	Por la norma UCS-56.
6. Calderas con presión de diseño mayor de 50 lb/pulg ²	Las juntas A serán del tipo No. (1) Las juntas B serán del tipo No. (1) o (2) UW-2(c)	Todas las juntas a tope en cascos y cabezas deben ser radiografiadas por completo excepto cuando así lo indican las normas UW-11(a) (4) UW-2(c)	1.0 1.0 Tipo (1) 0.9 Tipo (2)	Los recipientes fabricados con acero al carbono o de acero con bajo contenido de elementos de aleación deberán tratarse térmicamente después de haberse soldado, UW-2(c).

Figura 14: Diseño de juntas soldadas (Continuación 1).

Fuente: E.F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión. Diseño y calculo".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo
(Opuntia ficus-indica)

DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS (CONT.)				
CONDICION DE DISEÑO	TIPO DE SOLDADURA	EXAMEN RADIOGRAFICO	EFICIENCIA DE LA JUNTA	TRATAMIENTO TERMICO DESPUES DE LA SOLDADURA
7. Recipientes a presión sujetos a fuego directo	Las juntas A serán del tipo No (1) Las juntas B serán del tipo No. (1) o No. (2) cuando el espesor sea mayor de 5/8 de pulg UW-2(d)	Completo Por zonas No	Tipo (1) Tipo (2) 1.0 0.90 0.85 0.80 0.70 0.65	Quando el espesor en las juntas soldadas en aceros al carbono (P-No. 1) sea mayor de 5/8 de pulg, así como cualquier espesor para aceros con bajo contenido de elementos de aleación (diferentes del P-No. 1), es obligatorio el tratamiento térmico después de la soldadura.
8. Soldadura de electroescoria.	Todas las soldaduras a tope UW-11(a)(6) Cualquier soldadura	Completo Examen por ultrasonido en lugar de radiografiado	1.0 Tipo (1) 0.9 Tipo (2)	Por código UCS-56
9. Cierre final de recipientes	Cualquier tipo de soldadura UW-11(a)(7)	Completo Examen por ultrasonido cuando la construcción impide el radiografiado.	1.0 Tipo (1) 0.9 Tipo (2)	Por código UCS-56

Figura 15: Diseño de juntas soldadas (Continuación 2).

Fuente: E.F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión. Diseño y calculo".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

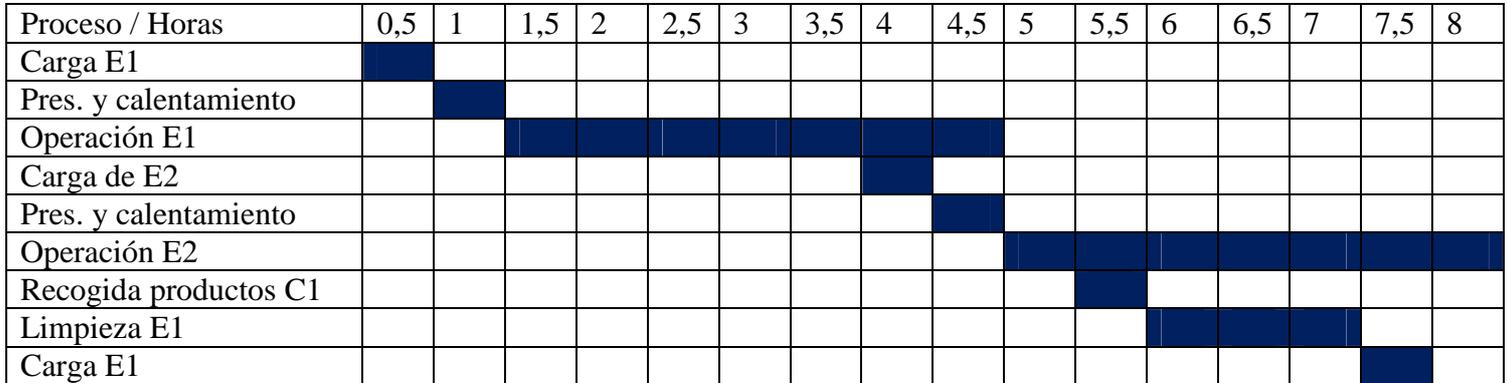


Figura 16: Diagrama de Gantt

LÍQUIDO	Conductividad térmica (k)	Calor específico (C _p)	Viscosidad dinámica (μ)	Densidad (ρ)	Numero de Prandtl (Pr)
Agua	0.61 W/mK	4072.71 J/kg K	0.000868 Pa s	996.58 kg/m ³	5.78
Agua-etilenglicol 30%	0.49 W/mK	3729.95 J/kg K	0.001864 Pa s	1035.02 kg/m ³	14.29
Agua-etilenglicol 50%	0.43 W/mK	3297.63 J/kg K	0.003367 Pa s	1053.25 kg/m ³	25.82
Etilenglicol	0.25 W/mK	2408.62 J/kg K	0.017195 Pa s	1112.13 kg/m ³	164.58

Figura 17: Características físicas de los líquidos de refrigeración.

Fuente: www.e-guassch.com

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

t(°C)	-50	-40	-30	-20	-10	0	10
P(bar)							
1	2,403	2,296	2,198	2,109	2,026	1,951	1,880
2	4,873	4,646	4,442	4,255	4,085	3,928	3,784
3	7,414	7,055	6,733	6,442	6,177	5,934	5,711
4	10,034	9,526	9,075	8,669	8,303	7,969	7,663
5	12,739	12,064	11,470	10,941	10,465	10,033	9,640
6	15,538	14,675	13,923	13,258	12,665	12,129	11,643
7	1155,755	17,364	16,437	15,625	14,904	14,258	13,673
8	1155,992	20,139	19,016	18,043	17,184	16,419	15,731
9	1156,230	23,008	21,667	20,515	19,509	18,617	17,818
10	1156,467	25,982	24,394	23,046	21,879	20,851	19,934
20	1158,813	1119,813	1078,048	1032,125	48,795	45,648	43,035
30	1161,118	1122,604	1081,518	1036,625	985,771	77,333	71,056
40	1163,384	1125,334	1084,890	1040,948	991,661	933,318	108,323
50	1165,612	1128,007	1088,171	1045,111	997,231	941,517	870,489
60	1167,805	1130,627	1091,366	1049,128	1002,523	949,064	883,203
70	1169,963	1133,194	1094,480	1053,011	1007,569	956,075	894,280
80	1172,089	1135,713	1097,519	1056,770	1012,393	962,634	904,154
90	1174,182	1138,185	1100,487	1060,416	1017,020	968,806	913,099
100	1176,244	1140,613	1103,388	1063,955	1021,468	974,642	921,302
200	1195,392	1162,802	1129,374	1094,812	1058,791	1020,927	980,760
300	1212,373	1182,053	1151,308	1119,963	1087,853	1054,818	1020,700
400		1199,169	1170,456	1141,446	1112,039	1082,149	1051,709
500		1214,648	1187,545	1160,335	1132,943	1105,317	1077,420

t(°C)	20	30	40	50	60	70	80
P (bar)							
1	1,815	1,754	1,697	1,644	1,594	1,5474	1,5031
2	3,650	3,525	3,409	3,301	3,200	3,1047	3,0150
3	5,505	5,314	5,137	4,971	4,817	4,6719	4,5355
4	7,381	7,121	6,880	6,655	6,445	6,2493	6,0650
5	9,279	8,946	8,638	8,352	8,086	7,8369	7,6034
6	11,198	10,790	10,413	10,063	9,738	9,4348	9,1508
7	13,140	12,653	12,203	11,788	11,402	11,0433	10,7074
8	15,106	14,535	14,011	13,527	13,079	12,6624	12,2733
9	17,095	16,438	15,836	15,281	14,768	14,2923	13,8485
10	19,110	18,361	17,678	17,050	16,470	15,9332	15,4332
20	40,806	38,866	37,153	35,621	34,238	32,9802	31,8283
30	66,202	62,250	58,925	56,060	53,548	51,3167	49,3119
40	97,510	89,782	83,774	78,869	74,734	71,1683	68,0394
50	140,532	123,995	113,019	104,805	98,258	92,8294	88,2032
60	784,972	171,486	149,201	135,098	124,789	116,6919	110,0440
70	810,026	268,984	198,315	171,921	155,337	143,2873	133,8636
80	828,801	699,939	281,328	219,584	191,481	173,3417	160,0380
90	844,105	743,739	484,090	287,528	235,732	207,8317	189,0221
100	857,159	771,414	622,640	389,912	291,658	247,9632	221,3241
200	937,723	891,127	840,193	784,233	723,192	658,6143	594,1590
300	985,353	948,648	910,500	870,900	829,966	788,0056	745,5433
400	1020,670	989,008	956,729	923,879	890,554	856,9055	823,1460
500	1049,235	1020,764	992,028	963,072	933,967	904,8086	875,7146

Figura 18: Valores de densidad para el Dióxido de Carbono.
Fuente: www.airliquide.com

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

P (bar)	t (°C)	-50	-40	-30	-20	-10	0	10
1		0,1864	0,1884	0,1905	0,1927	0,1949	0,1972	0,1995
2		0,1914	0,1926	0,1940	0,1957	0,1976	0,1995	0,2015
3		0,1968	0,1970	0,1978	0,1989	0,2003	0,2019	0,2036
4		0,2027	0,2018	0,2017	0,2022	0,2031	0,2043	0,2057
5		0,2092	0,2070	0,2060	0,2057	0,2061	0,2068	0,2079
6		0,2163	0,2126	0,2105	0,2095	0,2092	0,2095	0,2102
7		0,5019	0,2186	0,2153	0,2134	0,2124	0,2122	0,2125
8		0,5017	0,2252	0,2205	0,2175	0,2159	0,2151	0,2149
9		0,5016	0,2325	0,2260	0,2219	0,2195	0,2181	0,2175
10		0,5014	0,2405	0,2320	0,2266	0,2232	0,2212	0,2201
20		0,4996	0,4930	0,4973	0,5145	0,2768	0,2623	0,2529
30		0,4979	0,4905	0,4936	0,5085	0,5407	0,3413	0,3070
40		0,4963	0,4882	0,4902	0,5031	0,5309	0,5876	0,4220
50		0,4948	0,4861	0,4870	0,4979	0,5223	0,5697	0,6807
60		0,4933	0,4840	0,4841	0,4934	0,5147	0,5549	0,6397
70		0,4919	0,4820	0,4812	0,4892	0,5078	0,5423	0,6097
80		0,4905	0,4802	0,4786	0,4853	0,5017	0,5315	0,5865
90		0,4892	0,4784	0,4761	0,4817	0,4961	0,5220	0,5677
100		0,4880	0,4767	0,4737	0,4783	0,4909	0,5137	0,5524
200		0,4776	0,4630	0,4555	0,4536	0,4563	0,4631	0,4745
300		0,4703	0,4535	0,4435	0,4383	0,4369	0,4384	0,4422
400			0,4466	0,4349	0,4279	0,4243	0,4231	0,4238
500			0,4414	0,4286	0,4202	0,4153	0,4126	0,4116

P (bar)	t (°C)	20	30	40	50	60	70	80
1		0,2019	0,2042	0,2064	0,2087	0,2110	0,2132	0,2154
2		0,2036	0,2057	0,2078	0,2100	0,2121	0,2142	0,2163
3		0,2054	0,2073	0,2093	0,2112	0,2132	0,2152	0,2172
4		0,2073	0,2090	0,2107	0,2125	0,2144	0,2163	0,2182
5		0,2092	0,2106	0,2122	0,2139	0,2156	0,2174	0,2192
6		0,2112	0,2124	0,2137	0,2152	0,2168	0,2184	0,2201
7		0,2132	0,2141	0,2153	0,2166	0,2180	0,2195	0,2211
8		0,2153	0,2159	0,2169	0,2180	0,2193	0,2207	0,2221
9		0,2174	0,2178	0,2185	0,2194	0,2205	0,2218	0,2231
10		0,2196	0,2197	0,2202	0,2209	0,2218	0,2229	0,2242
20		0,2465	0,2422	0,2392	0,2373	0,2362	0,2355	0,2354
30		0,2866	0,2734	0,2643	0,2581	0,2536	0,2505	0,2483
40		0,3553	0,3204	0,2991	0,2851	0,2754	0,2685	0,2635
50		0,5121	0,4017	0,3511	0,3220	0,3033	0,2905	0,2815
60		0,9419	0,5878	0,4386	0,3756	0,3404	0,3182	0,3031
70		0,7887	1,8617	0,6212	0,4603	0,3918	0,3536	0,3293
80		0,7098	1,3078	1,2315	0,6118	0,4666	0,3999	0,3616
90		0,6593	0,9272		0,9195	0,5801	0,4616	0,4014
100		0,6237	0,7869	1,3854	1,3739	0,7489	0,5432	0,4504
200		0,4900	0,5105	0,5362	0,5659	0,5958	0,6158	0,6163
300		0,4480	0,4552	0,4634	0,4721	0,4803	0,4870	0,4910
400		0,4258	0,4286	0,4321	0,4357	0,4389	0,4416	0,4432
500		0,4117	0,4126	0,4140	0,4155	0,4169	0,4179	0,4184

Figura 19: Valores de calor específico a presión constante para el Dióxido de Carbono.
Fuente: www.airliquide.com

1. ANEXO2: DISEÑO DEL EXTRACTOR

1.1. Introducción al diseño

El extractor está diseñado para un trabajo en semicontinuo, por carga de lotes, para poder trabajar en continuo se instalan dos extractores en la planta. Así mientras un extractor está operando el otro se encuentra en proceso de descarga, limpieza y volver a cargar.

Cada extractor consta de una canasta en su interior, dentro de la que se encuentra la materia sólida a extraer y será atravesada por la corriente de disolvente en las condiciones de proceso. Esta canasta está diseñada para albergar un volumen útil de 10 litros y un caudal máximo de diseño de 0,025 Kg/s. Se realiza por separado el diseño de la canasta y el extractor.

Todo el extractor estará diseñado en acero al carbono, atendiendo a las características de gran resistencia frente a un bajo coste.

El diseño mecánico, tanto del extractor como de la canasta, se realizará bajo las indicaciones del código A.S.M.E., sección VIII, división 1.

No se analizará ningún tipo de deformación por discontinuidad ya que la geometría del recipiente es suficientemente simple como para analizarla con las prescripciones de las normas del código A.S.M.E.

1.2. Caracterización de los parámetros de operación

Por un lado se encuentra las limitaciones de las semillas y por otro hay que definir los parámetros de operación y los de diseño.

Las limitaciones de las semillas se recogen en la Figura 1:

<i>Parámetros</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valores</i>
Porosidad	-	0,68
Diámetro máximo	m	0,001
Densidad	Kg/m ³	520

Figura 1: Limitaciones de la semilla de higo chumbo

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Las condiciones de operación se definen a partir de datos experimentales, cedidos por la investigadora Hatim Gousrire. Las condiciones de operación son elegidas en función del rendimiento de la extracción. Estos datos son datos realizados en una planta experimental con un extractor de 100 ml.

Las condiciones experimentadas son las siguientes:

Pression (bar)	Température (°C)	Rendement ESC(%)
100	35	2,7284
	40	2,1299
	45	1,0705
	50	0,9562
200	35	4,9947
	40	5,0853
	45	5,1338
	50	5,5779
300	35	5,4074
	40	5,0000
	45	5,39
	50	6,1149
400	35	6,5018
	40	4,8637
	45	5,2876
	50	5,1519
500	35	6,8
	40	6,2811
	45	6,2073
	50	6,2661

Figura2: Rendimiento de la extracción de aceite de higo chumbo.
Fuente: *Trabajo Fin de Master de HatimGousrire*

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Las condiciones de operación elegidas son a 400 bar y 35°C, se eligen estas porque tienen un rendimiento alto y la presión no es excesivamente alta, como es el caso de 500 bar y 35°C que tienen el valor de rendimiento mayor.

Conociendo las condiciones de operación, se toman las condiciones de diseño del extractor que serán las máximas que el equipo pueda soportar sin que se produzcan desperfectos. Estas condiciones de diseño son 500 bar y 80°C.

Por último, la canasta interior del extractor será cargada con 5 Kg de semillas de higo chumbo.

1.3. Diseño de la Canasta

1.3.1. Dimensionamiento de la Canasta

El dimensionamiento de la canasta se hará de acuerdo con los datos bibliográficos de diseño de recipientes a presión, concretamente los expuestos por Megyesy, en su Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo.

Se elige una relación L/D óptima igual a 5. Esta relación, al ser alta, facilita la homogenización del fluido lo máximo posible a lo largo del extractor y evita los posibles perfiles de concentración y temperatura.

Si además se conoce que la canasta es un cuerpo cilíndrico, resulta el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} L = \frac{4V}{\pi D^2} \\ L = 5D \end{cases} \quad [1]$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones y sustituyendo los datos:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{5\pi}} = 137 \text{ mm} \sim 5,4 \text{ in}$$
$$L = 5D = 685 \text{ mm} \sim 27,0 \text{ in}$$

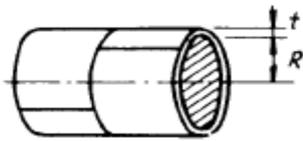
Por lo tanto las dimensiones internas del cuerpo de la canasta son de 137 mm (5,4 in) de diámetro y 685 mm (27,0 in) de longitud.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

1.3.2. Espesor de la canasta

Para el cálculo del espesor es necesario definir la presión de diseño. Esta presión ya está definida en apartados anteriores y tiene un valor de 500 bar (7251,9 psi).

Con este valor de la presión de diseño se calcula el espesor mínimo del casco cilíndrico de la canasta según el código A.S.M.E., sección VIII, división 1. Tomando que el esfuerzo se rige en la costura longitudinal.



$$t = \frac{PR}{SE-0,6P} + C \text{ (in)} \quad [2]$$

Figura 3: Cálculo espesor de casco cilíndrico.

Donde:

P: Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida (psi).

S: Valor del esfuerzo del material (psi).

E: Eficiencia de la junta.

R: Radio interno (in).

t: Espesor de casco (in).

C: Corrosión permisible según el Reglamento de Aparatos a Presión (in).

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Como material de construcción se usará el acero al carbono SA-283 grado C (Figura 2 de anexo 1) para placas según la norma del código A.S.M.E., secciones II y VIII. Este acero es de bajo coste y sus restricciones no interfieren en la finalidad de su diseño, ya que no contienen sustancias letales, ni se usa para la construcción de calderas y la temperatura de diseño está entre -20°F y 650°F. El acabado superficial será 2B en toda la canasta al no ser que se especifique lo contrario.

Los valores para sustituir en la ecuación 2:

$$P = 7251,9 \text{ psi.}$$

$$S = 12700 \text{ psi. Para una temperatura de } 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = 0,70.$$

$$R = 2,688 \text{ in.}$$

$$C = 0,039 \text{ in.}$$

$$t = \frac{7251,9 \cdot 2,688}{12700 \cdot 0,7 - 0,6 \cdot 7251,9} + 0,039$$

$$t = 4,353 \text{ in (111 mm)}$$

Por lo tanto, el espesor del cuerpo de la canasta es de 111 mm.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

1.3.3. Base de la canasta

La base de la canasta será un difusor que permita el flujo del disolvente por todo el extractor sin crear caminos preferenciales. Consiste en una media filtrante de fibra de vidrio especial para altas temperaturas rodeada de una malla de acero galvanizado por las dos caras. Además contiene un velo de protección para evitar tanto el desprendimiento de las fibras, como el contacto directo con el material a tratar.

Dicho filtro difusor irá instalado en el interior de una estructura de acero. Dicha estructura irá roscada interiormente al cuerpo de la canasta mediante una rosca métrica externa de la serie 9h (serie en pulgadas 3A), de avance simple y de paso fino. Deberá ser de ajuste apretado y sin holgura.

La elección de la rosca se obtiene definiendo los siguientes parámetros:

- Diámetro nominal (D): Se denomina diámetro nominal al diámetro mayor originado por la ranura helicoidal. Diámetro nominal elegido es 137 mm, el diámetro de la canasta.
- Ubicación de la Rosca:
 - Rosca Externa
 - Rosca Interna

Para el presente caso se elige una rosca externa para la estructura de acero.

- Paso (Ph): Es la distancia longitudinal que avanza una rosca cada vuelta que gira, o bien es la distancia entre dos puntos de la hélice situados en la misma generatriz. Para un tipo de rosca determinado, a cada diámetro nominal le corresponde una serie de pasos normalizados, que puede ser: Paso fino, paso normal y paso grueso.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

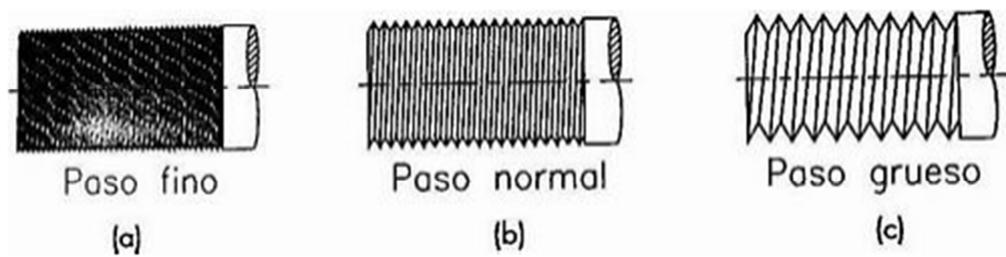


Figura 4: Pasos normalizados de una rosca

El paso elegido es el fino para un mayor ajuste.

– Tipos de roscas:

<i>Tipo</i>	<i>Aplicaciones</i>	<i>Figura</i>
MÉTRICO	Tornillería y uso común	
WITHWORTH	Instalaciones hidráulicas, conducciones y fontanería	
TRAPEZOIDAL	En elementos transformadores de giro en desplazamiento o viceversa	
REDONDA	Reduce la acumulación de tensiones mecánicas, es muy resistente a esfuerzos y golpes	
DIENTES DE SIERRA	Cuando los esfuerzos axiales son importantes en el sentido del flanco más vertical	

El tipo de rosca que se va a utilizar es la métrica, ya que lo único que interesa es que exista un buen ajuste, no existen esfuerzos, ni tensiones en torno a la rosca.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

– Clase de Ajuste para roscas:

- Ajuste Suelto
- Ajuste Normal
- Ajuste Apretado

El ajuste utilizado será el apretado, ya que el equipo de estar perfectamente cerrado. Además para las roscas métricas también hay que definir la holgura deseada, que en este caso será nula.

Por último, para definir la rosca a utilizar en el diseño se usa la siguiente nomenclatura siguiendo la norma ISO:

- Calidad:
 - C: Roscas de paso grueso
 - F: Roscas de paso fino
 - EF: Roscas de paso extra fino
- El diámetro de cresta o diámetro mayor
- Clase de Ajuste para rosca en pulgadas
 - 1: Ajuste Suelto
 - 2: Ajuste Normal
 - 3: Ajuste Apretado
- Ubicación de la Rosca en pulgadas
 - A: Rosca Externa
 - B: Rosca Interna
- Especificaciones adicionales del ajuste para métrica
 - Rosca Externa
 - e: ajuste más suelto y holgura más amplia
 - f: ajuste normal y holgura normal
 - g: ajuste muy poco suelto y holgura pequeña
 - h: ajuste perfecto y holgura cero
 - Rosca Interna
 - G: ajuste más suelto y holgura más amplia
 - H: ajuste perfecto y holgura cero

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- Clase de ajuste para rosca métrica
3-9: 9 es el más suelto y 3 el más apretado

Por lo tanto la rosca vendrá definida por:

Rosca métrica:

MF137x3_3h

Ahora quedaría definir el paso “Ph”, un parámetro importante en la identificación de un tornillo. Se ha elegido un paso de 2 mm (16 hilos por pulgada).

Por último queda definir las dimensiones necesarias para la longitud de rosca descrita, siendo el ángulo de 60° para roscas métricas, por lo que en radianes nos quedará $\beta=1,047$ rad.

$$h_t = \frac{ph}{2\tan[\beta/2]} \quad [3]$$

Sustituyendo en la ecuación anteriores obtienen las dimensiones del roscado:

$$h_t = 1,73 \text{ mm}$$

En la figura 4 se detallan las dimensiones de la rosca:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

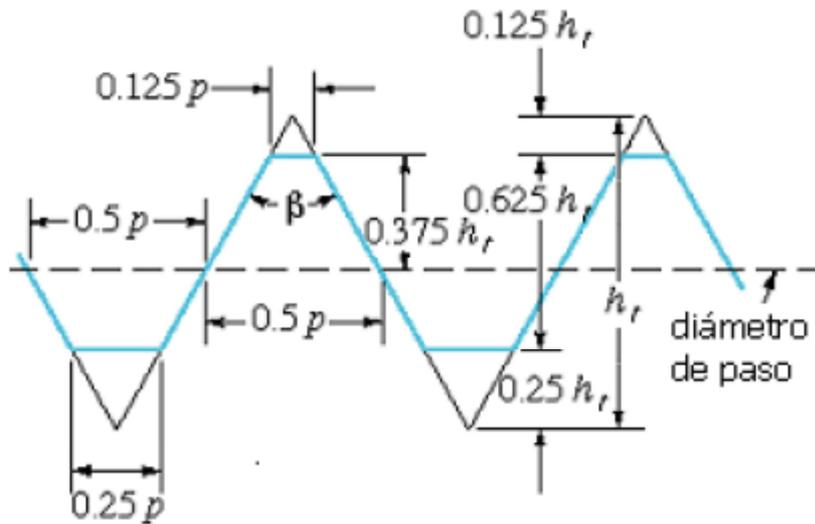


Figura 4: Dimensiones de la rosca

Debido a la utilización de un elemento sellante del tipo O-ring, no será necesario una torque inicial de apriete para la adecuación del sellante, como se verá en otras secciones a continuación. Por lo tanto, el cierre se realizará de forma manual hasta el punto de presión máxima que pueda realizar el trabajador, ya que ésta siempre será suficiente.

Esta rosca facilitará la maniobra de descarga del material a extraer, y gracias a sus dimensiones aguantará el peso de la materia a extraer.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

1.3.4. Cabeza de la canasta

La cabeza de la canasta sólo lleva una capa de filtro y un sistema de enganche. El filtro es igual que el de la base de la canasta y es colocado para evitar que el material a extraer salga del extractor. Por otro lado, el sistema de enganche a una polea es necesario debido a las dimensiones del extractor para facilitar su proceso de manipulación y mantenimiento.

Este enganche consta de una placa de acero soldada al cuerpo de la canasta y en el centro de dicha placa se va a colocar un perno de ojo que es el que engancha con el sistema de poleas. El diseño de dicho perno viene determinado por el código A.S.M.E.

Como material de construcción se usará el acero al carbono A 515-70, ya que es el recomendado por el autor Megyesy, seguido a lo largo de todo el proyecto.

Por otro lado, hay que tener en cuenta el peso máximo de la canasta, que será el que tendrá que soportar dicho enganche. Este peso es de 200 Kg (440lb), por lo que la fuerza máxima que tendrá que soportar es de 1962 N.

Por lo que las dimensiones mínimas de las orejas para levantar utilizando grilletes, definidas por el código A.S.M.E., son las que aparecen en la siguiente tabla:

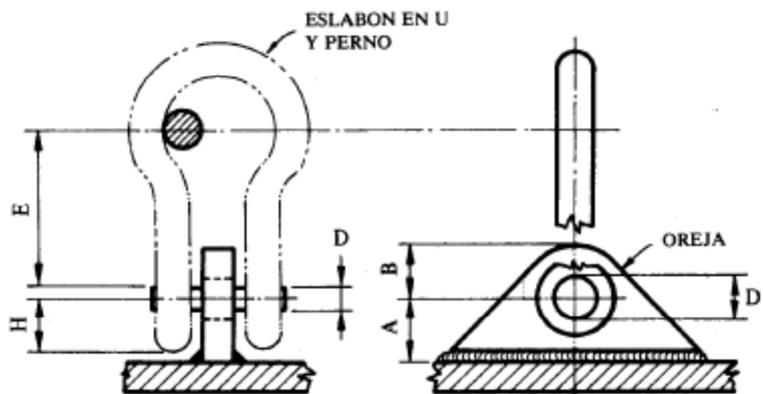


Figura 5: Dimensiones del perno

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

<i>DIMENSIONES MÍNIMAS DE LAS OREJAS PARA LEVANTAR UTILIZANDO GRILLETES O MOSQUETONES</i>		
Material	Acero al carbono 515 Grado 70	
Carga máxima	440	lb
Diámetro del perno del grillete, D	5/16	in
Diámetro del agujero de la oreja, D ₁	3/8	in
H	0,50	in
A	0,65	in
Borde cortado a cizalla, B	7/8	in
Corte a gas rolado	3/4	in
Brazo del momento, E	0,84	in

Figura 6: Dimensiones del perno

El espesor y la longitud del perno serán determinadas por cálculo suponiendo que sólo hay esfuerzo cortante en la sección mínima. El cálculo del espesor se realiza siguiendo la ecuación 4:

$$t = \frac{P}{2S(R - D_1/2)} \quad [4]$$

Donde:

t: Espesor requerido de la oreja (in)

P: Carga(lb)

S: Esfuerzo cortante permitido(lb/in²)

R: Radio del borde cortado a cizalla(in)

D₁: Diámetro del agujero de la oreja (in)

Los valores de dichos parámetros son los siguientes:

P= 440lb

S=17500 lb/in². Para una temperatura de 100 °C

R= 7/8 in

D₁=3/8 in

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

$$t = \frac{440}{2 \cdot 17500 \cdot \left(\frac{7}{8} - \frac{3}{16}\right)}$$

$$t = 0,018 \text{ in } (0,47 \text{ mm} \sim 1 \text{ mm})$$

Por otro lado, la longitud se calculará mediante la fórmula para las fuerzas que actúan en las soldaduras sometidas a tensión o compresión según la misma norma, que se ve recogida en la Figura 7. Siendo $t = 0,02 \text{ in}$, se toma un tamaño mínimo de la soldadura de filete de $3/16 \text{ in}$ (5 mm).

Espesor de la placa más gruesa, pulg.	1/2	3/4	1/2	2/4	6	Más de 6
Tamaño mínimo de la soldadura de filete, pulg	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8

Figura 7: Tamaño de la soldadura.

Fuente: E.F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión"

Siendo la soldadura a filete, se recomienda que las áreas de garganta sean por lo menos un 50% mayor que el área de sección transversal de la oreja.

Para diseñar las orejas debe suponerse que toda la carga actúa en una sola, y debe considerarse todas las direcciones posibles de la carga (durante el embarque, almacenaje, montaje y maniobras de manejo). En el presente caso se toma el ángulo que forma cada línea del estrobo con la horizontal de 30° .

1.3.5. Peso de la Canasta

El peso total de la canasta vacía, vendrá definido por las siguientes ecuaciones:

$$V_{Mat. \text{ canasta}} = L \cdot \left[\left(\pi \cdot \frac{D_{Ext}^2}{4} \right) - \left(\pi \cdot \frac{D_{Int}^2}{4} \right) \right] (m^3) \quad [5]$$

$$M_{Canasta} = V \cdot \rho (Kg) \quad [6]$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Donde:

L: Longitud de la canasta (m)

D_{ext} : Diámetro externo de la canasta (m)

D_{int} : Diámetro interno de la canasta (m)

V: Volumen de la canasta (m^3)

ρ : Densidad del material de construcción de la canasta (Kg/m^3).

De las ecuaciones anteriores, se conocen todos los parámetros calculados en los apartados anteriores:

$$D_{int} = 137 \text{ mm}$$

$$D_{ext} = 248 \text{ mm}$$

$$L = 685 \text{ mm}$$

$$\rho_{acero} = 7801 \text{ Kg/m}^3 \text{ (acero al carbono 1\% C)}$$

$$V_{Mat. \text{ canasta}} = 0,685 \cdot \left[\left(\pi \cdot \frac{0,248^2}{4} \right) - \left(\pi \cdot \frac{0,137^2}{4} \right) \right] = 0,023 \text{ m}^3$$

$$M_{Canasta} = 0,023 \cdot 7801 = 179,35 \text{ Kg}$$

El peso tanto del difusor como de las juntas soldadas se considerará despreciable ante el peso de la canasta, por lo que el peso total del conjunto será de 179,35 Kg (394,58 lb).

1.3.6. Pérdida de carga de la canasta

Para el cálculo de la pérdida de carga a lo largo de la canasta no se tienen en cuenta la pérdida de carga producida por el filtro. Para la resolución se utiliza la ecuación de Ergun, en su forma adimensional:

$$\left(\frac{P_0 - P_L}{L} \right) = \frac{G^2}{D_p \cdot \rho} \cdot \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon^3} \left[\frac{150}{Re'} + 1,75 \right] \quad [7]$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Donde:

$P_0 - P_L$: Pérdida de carga en el lecho (Pa).

L: Longitud del lecho (m).

G: Velocidad másica del fluido ($\text{kg/m}^2\text{s}$).

μ : Viscosidad del fluido ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$).

ε : Porosidad del lecho.

D_p : Diámetro de partícula (m).

ρ : Densidad del fluido (Kg/m^3).

Re': Número de Reynolds modificado, su expresión es la siguiente:

$$\text{Re}' = \frac{\rho V D_p}{\mu} \left(\frac{1}{1 - \varepsilon} \right) \quad [8]$$

Los datos son las siguientes, para un caudal máximo de diseño de 0,025Kg/s:

L: 0,300 m de lecho empaquetado.

V: $1,7 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$.

μ : $1,73 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$.

ε : Máximo empaquetado = 0,68.

D_p : 0,001 m.

ρ : $875,71 \text{ Kg/m}^3$.

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación 8 para el cálculo del Re'. Con este valor ya se puede calcular la pérdida de carga:

$$\text{Re}' = \frac{875,71 \cdot 1,7 \cdot 0,001}{1,73 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{1 - 0,68} \right)$$

$$\text{Re}' = 315788,59$$

$$(P_0 - P_L) = \frac{875,71}{0,001} \cdot \frac{1,7^2}{0,300} \cdot \frac{(1 - 0,68)}{0,68^3} \left[\frac{150}{315788,59} + 1,75 \right]$$

$$P_0 - P_L = 18,721 \cdot 10^6 \text{ Pa} \sim 19 \text{ bar}$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Se obtiene 19bar, lo que supone un 2,84% de pérdidas. Al ser menor del 5%, se considera adecuado y se tendrá en cuenta a la hora del diseño de las bombas.

El cálculo de la pérdida de carga en la canasta se extrapolará para todo el extractor, aunque posteriormente se verifique en algunos puntos del diseño, ya que esta irá sellada por una placa de caucho de silicona ubicada en el interior del cuerpo, definiendo así la circulación del disolvente. Esta placa se detallará en apartados posteriores.

1.4. Diseño del Extractor

1.4.1. Consideraciones previas

Hay que especificar que el diseño se basará íntegramente en el análisis de la presión interna del recipiente, ya que al tratarse de un extractor destinado a pruebas en planta piloto sólo sufrirá como presión externa la de su acoplamiento a la estructura. Por lo que no se tendrá en cuenta los esfuerzos debidos a vientos, cargas sísmicas o vibración.

1.4.2. Dimensiones del Extractor

El cuerpo del extractor envolverá la canasta, se deja un milímetro de diferencia para una envolvente de caucho de silicona que se coloca alrededor de la canasta, esta envolvente se describe en el apartado 5.3 de la memoria.

Longitudinalmente, se dejarán 50 mm desde la cabeza de la canasta hasta la abertura superior del extractor, para dejar espacio suficiente para el perno de enganche.

Por lo tanto, las dimensiones internas del cuerpo cilíndrico del extractor vienen definidas por:

$$D = 361 \text{ mm} \sim 14,3''$$

$$L = 735 \text{ cm} \sim 29''$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Por lo que el extractor tendrá unas medidas de 361 mm (~ **14,3"**) de diámetro y una longitud de 735 mm (~ **29"**).

1.4.3. Espesor del Cuerpo del Extractor

El cálculo del espesor del extractor se realiza de la misma manera que la canasta, según el código A.S.M.E., sección VIII, división 1. Tomando que el esfuerzo se rige en la costura longitudinal. Siendo la expresión:

$$t = \frac{PR}{SE-0,6P} + C \text{ (in)} \quad [9]$$

Donde:

P: Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida(psi).

S: Valor del esfuerzo del material (psi).

E: Eficiencia de la junta.

R: Radio interno (in).

t: Espesor de casco (in).

C: Corrosión permisible según el Reglamento de Aparatos a Presión (in).

Como material de construcción se usa el acero al carbono SA-283 grado C (Figura 2 del anexo 1) para placas según las normas A.S.M.E., secciones II y VIII. Este acero es de bajo coste y sus restricciones no interfieren en la finalidad de su diseño, ya que la temperatura de trabajo máxima está comprendida entre la especificada por la norma. Su acabado superficial será 2B en toda la pieza al no ser que se especifique lo contrario.

Sustituyendo los valores en la ecuación 9:

P= 7251,9 psi.

S= 12700 psi. Para una temperatura de 100 °C

E= 1. Radiografiada totalmente. Bajo la norma UW-12 se especifica que sea una junta a tope hecha por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre la superficie interior y exterior del casco. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.

R= 7,15 in.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

$$C = 0,12 \text{ in.}$$

$$t = \frac{7251,9 \cdot 7,15}{12700 \cdot 1 - 0,6 \cdot 7251,9} + 0,12 = 4,06 \text{ in}$$

$$t = 4,06 \text{ in (103,3mm~104mm)}$$

Tomamos 104 mm de espesor para toda la sección del extractor.

1.4.4. Cabeza del extractor

Para el diseño de la cabeza del extractor se elige una de tipo hemisférico cuyo diámetro será el mismo del cuerpo del extractor y su espesor se calcula siguiendo el código A.S.M.E., sección VIII, división 1. Siendo la expresión:

$$t = \frac{PR}{2SE-0,2P} + C \text{ (in)} \quad [10]$$

Donde:

P: Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida(psi).

S: Valor del esfuerzo del material (psi).

E: Eficiencia de la junta.

R: Radio interno (in).

t: Espesor de casco (in).

C: Corrosión permisible según el Reglamento de Aparatos a Presión (in).

Como material de construcción se usa el acero al carbono SA-283 grado C (Figura 2 del anexo 1) para placas según las normas A.S.M.E., secciones II y VIII. Este acero es de bajo coste y sus restricciones no interfieren en la finalidad de su diseño. Su acabado superficial será 2B en toda la pieza.

Sustituyendo los valores en la ecuación 10:

$$P = 7251,9 \text{ psi.}$$

$$S = 12700 \text{ psi. Para una temperatura de } 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

E = 1. Radiografiada totalmente. Bajo la norma UW-12 se especifica que sea una junta a tope hecha por doble cordón de soldadura.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

$$D = 4,9 \text{ in.}$$

$$C = 0,12 \text{ in.}$$

$$t = \frac{7251,9 \cdot 4,9}{2 \cdot (12700 \cdot 1) - 0,2 \cdot 7251,9} + 0,12 = 1,67 \text{ in}$$

$$t = 1,67 \text{ in (42,31 mm} \sim 43\text{mm)}$$

Se toman 43 mm de espesor la cabeza del extractor. Esta cabeza irá roscada al cuerpo del extractor, para permitir el movimiento de la canasta. El tipo de rosca utilizado es una rosca métrica externa de la serie 9h (serie en pulgadas 3A), de avance simple y de paso fino. Deberá ser de ajuste apretado y sin holgura. Siguiendo la nomenclatura de la norma ISO, descrita en el apartado 2.3.3 del presente anexo, la rosca vendrá definida:

Rosca métrica:

MF361x3_3h

El paso y las dimensiones de la rosca son idénticos a la descrita en el apartado 2.3.3, donde se describe la base de la canasta.

Al igual que ocurre con la base de la canasta esta rosca llevará colocada una sellante del tipo O-ring y, por tanto, no será necesario una torque inicial de apriete para la adecuación del sellante. Por lo que el cierre será suficiente con la presión máxima que el operario pueda ejercer manualmente. La sellante O-ring viene descrita en el apartado 2.5 del presente anexo.

1.4.5. Base del extractor

La base del extractor está formada por una semiesfera de acero al carbono SA-283 grado C (Tabla 2 del anexo 1) para placas según las normas A.S.M.E., secciones II y VIII. Su acabado superficial será 2B en toda la pieza.

El cálculo del espesor se realiza siguiendo la ecuación 10, tomando como radio el mismo que el cuerpo del extractor.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

$$t = \frac{7251,9 \cdot 4,9}{2 \cdot (12700 \cdot 1) - 0,2 \cdot 7251,9} + 0,12 = 1,67 \text{ in}$$

$$t = 1,67 \text{ in (42,31 mm} \sim 43\text{mm)}$$

El espesor de la base del extractor será de 43 mm ($\sim 1,67''$).

1.4.6. Peso del extractor

El peso del extractor es igual al sumatorio del peso del cuerpo del extractor, el de la base y el de la cabeza.

El peso del cuerpo se define, tal y como se apuntó para la canasta, por las siguientes ecuaciones:

$$V_{Cuerpo} = L \cdot \left[\left(\pi \cdot \frac{D_{Ext}^2}{4} \right) - \left(\pi \cdot \frac{D_{Int}^2}{4} \right) \right] \quad [11]$$

$$M_{Ext} = V \cdot \rho \quad [12]$$

Conociendo los valores de los parámetros de las ecuaciones, se calcula el peso del cuerpo:

$$D_{int} = 361 \text{ mm}$$

$$D_{ext} = 567 \text{ mm}$$

$$L = 703 \text{ mm}$$

$$\rho_{acero} = 7801 \text{ Kg/m}^3 \text{ (acero al carbono 1\% C)}$$

$$V_{Cuerpo} = 0,703 \cdot \left[\left(\pi \cdot \frac{0,567^2}{4} \right) - \left(\pi \cdot \frac{0,361^2}{4} \right) \right] = 0,110 \text{ m}^3$$

$$M_{Cuerpo} = 0,110 \cdot 7801 = 863,94 \text{ Kg}$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Por otro lado se calcula el peso de la cabeza y la base del extractor, sabiendo que su forma es de media esfera:

$$V_{cabeza/base} = \frac{\frac{4}{2}\pi \cdot \left(\frac{D_{Ext}^3}{8} - \frac{D_{Int}^3}{8} \right)}{2} \quad [13]$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 13:

$$D_{int} = 361 \text{ mm}$$

$$D_{ext} = 445 \text{ mm}$$

$$V_{cabeza/base} = \frac{\frac{4}{3}\pi \cdot \left(\frac{0,445^3}{8} - \frac{0,361^3}{8} \right)}{2} = 0,010 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del peso se utiliza la ecuación 12 y como material de construcción el mismo acero que el cuerpo:

$$M_{cabeza} = 0,010 \cdot 7801 = 83,88 \text{ Kg}$$

Considerando el peso de las juntas soldadas como despreciables ante el peso del extractor, por lo que el peso total del extractor será:

$$M_{extractor} = M_{cuerpo} + M_{cabeza} + M_{base} \quad [14]$$
$$M_{extractor} = 863,94 + (83,88 \cdot 2) = 1031,72 \text{ Kg (2269,78 lb)}$$

1.4.7. Pérdida de carga

La pérdida de carga, será despreciable frente a la producida en la canasta, ya que se considera mínima la cantidad de fluido que pueda atravesar el exterior de la canasta al instalarse una envolvente de caucho de silicona. Esta envolvente se detalla en el siguiente apartado.

1.5. Sellante O-ring

Esta es una de las partes más importantes del diseño, ya que sobre ella recae el éxito de la presurización y la mínima pérdida de carga.

Se le denomina O-ring al anillo toroidal o junta tórica, que se emplea para sellar uniones como bridas, empaques de pistones hidráulicos, neumáticos y sello de algún fluido. Su función principal es asegurar la estanqueidad de fluidos, por lo general, se encuentra en equipos para impedir el intercambio de líquidos o gases en las uniones entre piezas desmontables.

El o-ring es el elemento ideal para prevenir la fuga de fluidos bajo distintas condiciones de servicio. Esta clase de juntas tóricas se colocan en ranuras diseñadas para tal efecto en los elementos de cierre, comúnmente ejes y tapas.

Por un lado, la elección del material de la junta sellante o-ring se realiza en función de la presión y temperatura de operación, para seleccionar el material capaz de soportar dichas condiciones. Por otro lado, el dimensionamiento del habitáculo donde se encontrará el O-ring será un paso fundamental para la elección del modelo de sellante. Ambas elecciones se realizan siguiendo los parámetros definidos por el proveedor elegido, ERIKS.

En primer lugar, el material elegido es el fluorocarbono o viton, un material muy utilizado en la actualidad para todo tipo de aplicaciones. Este es un copolímero hecho de fluoruro de vinilideno y hexafluoropropileno. El viton es compatible con un amplio rango de fluidos, sean hidrocarburos halogenados, ácidos, agua y otros; así como que sellan en un amplio rango de presiones y temperaturas. Además pueden ser empleados como sellos estáticos o dinámicos y permiten el sellado en todas las direcciones, radial, axial u oblicua. También hay que destacar su bajo coste, su amplia disponibilidad de medidas, dimensiones y compuestos, su bajo peso, su larga vida útil y su posibilidad de reutilización. El tipo de sellante elegido es el fluorocarbono o viton 514320 black, ya que es el que soporta mayores presiones de entre los modelos del material elegido. Las características del material están reflejadas en el anexo 10: Catálogos de equipos.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Por otro lado, una vez elegido el material se procede al dimensionamiento del habitáculo de la sellante. Primeramente, hay que asegurar que las medidas de las piezas son las perfectas para que el sellado se produzca de manera efectiva y sin daño para el material O-ring. Por este motivo, la separación máxima entre las dos piezas no puede ser mayor de 0,2 mm a temperaturas superiores a los 70°C, evitando así los fenómenos de extrusión.

El diseño se realiza para un sellado principal estático de clavos.

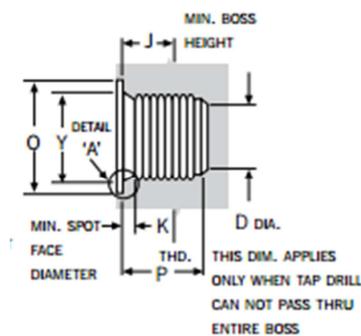


Figura 8: Parámetros definidos por el proveedor. Fuente: www.eriks.com

Como diámetro exterior se elige uno de 50,80 mm (2'') ya que cumple con los requisitos necesarios para aguantar satisfactoriamente con las condiciones del presente documento. Se elige este diámetro del anillo tanto para la cabeza del extractor como para la base de la canasta.

Con el diámetro elegido, los valores de demás parámetros definidos por el proveedor son los siguientes:

Sección nominal W		Dimensiones de la rosca					
Diam. mm	Diam. in	J min	D min	K	Y min	P min	O min
50,80 mm	2	0,750	1,781	0,132	3,480	0,906	2,750

Figura 9: Dimensiones de la rosca

Por lo tanto, y de forma resumida se ha elegido un O-ring definido como AS568-932 de Fluorocarbono 51414, de 50,80 mm de diámetro exterior.

1.6. Manta calefactora

Alrededor del extractor se colocará una manta calefactora para mantener la temperatura de operación constante, además también protege a los operarios de contactos con superficies calientes. El diseño de dicha manta se basa en el cálculo de la potencia de la manta calefactora. Ésta mantendrá las condiciones de operación internas estables, a parte, de proteger a los operarios de la superficie externa.

La manta tiene un intercambio por conducción con la superficie del extractor. Se calcula el gradiente de temperatura que existe en una sola dirección, y que la temperatura es constante en planos perpendiculares a ella.

La densidad lineal de flujo de calor (q) a través de una pared cilíndrica hueca de varias capas es:

$$q = \frac{T_0 - T_\infty}{\sum \text{Resistencias}} \quad [15]$$

Donde:

q : transferencia de calor (W/m).

T_0 : Temperatura del fluido de la extracción (°C).

T_∞ : Temperatura ambiente de la habitación donde se ubica el equipo (°C)

$\sum \text{Resistencias}$: sumatorio de todas las resistencias que se oponen al flujo de calor.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

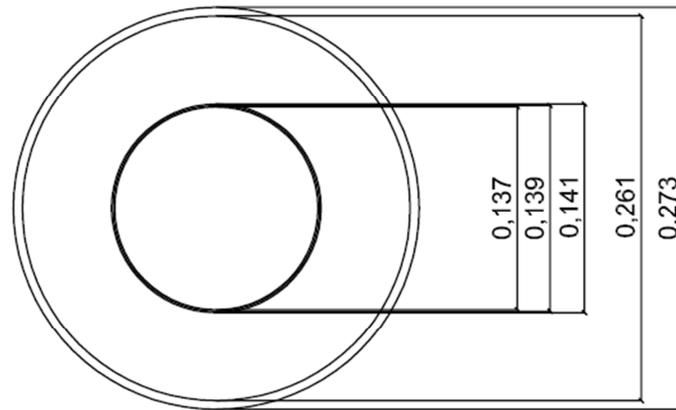


Figura 10: Diferentes envolventes del extractor

Para el cálculo de la transferencia de calor, se desarrollan todas las resistencias. Estas resistencias se encuentran en paralelo, por lo que por similitud con un circuito eléctrico:

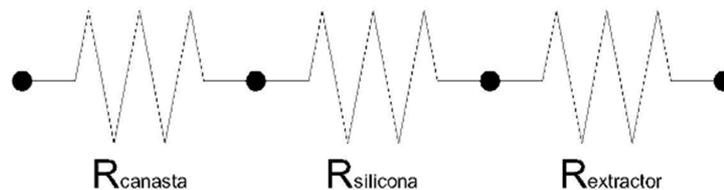


Figura 11: Circuito eléctrico semejante a las resistencias

Donde:

$R_{cd,canasta} = \frac{\ln(r_{ext,can}/r_{int,can})}{2\pi k_{acero}}$ [16]; Resistencia al flujo de calor por conducción, por la superficie de la canasta.

$R_{cd,silicona} = \frac{\ln(r_{int,extr}/r_{ext,can})}{2\pi k_{silicona}}$ [17]; Resistencia al paso de calor por conducción, por la envolvente de caucho de silicona.

$R_{cd,extractor} = \frac{\ln(r_{ext,extr}/r_{int,extr})}{2\pi k_{acero}}$ [18]; Resistencia al paso de calor por conducción, por cuerpo del extractor.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

En la siguiente tabla se encuentra los valores de los parámetros de cada una de las resistencias:

	<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
Extractor	$r_{\text{interior,canasta}}$ (m)	0,068
	$r_{\text{exterior,canasta}}$ (m)	0,179
	$K_{\text{acero al 1\%C}}$ (W/m·°C)	43
Envolvente de la canasta	$K_{\text{caucho de silicona}}$ (W/m·°C)	0,15
Canasta	$r_{\text{interior,extractor}}$ (m)	0,180
	$r_{\text{exterior,extractor}}$ (m)	0,283
	$K_{\text{acero al 1\%C}}$ (W/m·°C)	43

Figura 12: Parámetros de las resistencias

Si se realiza el sumatorio de las tres resistencias, se obtiene el término R' de la ecuación 15:

$$R' = \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext,can}}}{r_{\text{int,can}}}\right)}{2\pi k_{\text{acero}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{int,extr}}}{r_{\text{ext,can}}}\right)}{2\pi k_{\text{silicona}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext,extr}}}{r_{\text{int,extr}}}\right)}{2\pi k_{\text{acero}}} \quad [19]$$

Para obtener el valor de la resistencia, se sustituye los valores de la figura 10 en la ecuación 19:

$$R' = \frac{\ln\left(\frac{0,179}{0,068}\right)}{2\pi \cdot 43} + \frac{\ln\left(\frac{0,180}{0,179}\right)}{2\pi \cdot 0,15} + \frac{\ln\left(\frac{0,283}{0,180}\right)}{2\pi \cdot 43}$$

$$R' = 0,012 \text{ mK/W}$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Por lo tanto, sabiendo que la temperatura del interior de la canasta es de 80°C y la externa del aire que rodea al extractor, 25°C; se calcula el caudal calorífico sustituyendo en la ecuación 15:

$$q = \frac{(25 - 80)}{0,012} = -4937,358 \text{ W/m}$$

El símbolo negativo representa que la energía debe ser aportada en el sistema. Por lo tanto, se necesita una manta comercial que suministre 4937,358 W/m.

1.7. Método de Izaje

Debido al peso del conjunto del extractor y sus dimensiones es necesario el diseño de un método para la carga, descarga y limpieza.

Como se comenta en el apartado 2.3 del presente anexo, será la canasta la parte del extractor que se va a mover para la carga y descarga de la materia prima, así como será la zona que necesite limpieza tras el proceso de extracción. Para hacer esto posible, se coloca un anillo en el pasador soldado a la cabeza de la canasta.

Gracias a este anillo se puede sujetar el enganche de una polea que permitirá mover la canasta dependiendo de las necesidades del proceso.

El sistema de poleas usado será uno comercial con una carga máxima de 200 Kg (440 lb) y con desplazamiento horizontal, para poder sacar la canasta y colocarla fuera del extractor. En el anexo 10 se adjunta los datos del fabricante.

2. ANEXO 3: CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR, HE1

2.1. Caracterización de las corrientes

La corriente a enfriar se encuentra a temperatura ambiente, aproximadamente a 25°C, y se precisa que a la salida del intercambiador se encuentre a 5°C. Para ello, se precisa de una mezcla de Etilenglicol y Agua, al 50%. Se utiliza esta mezcla como fluido refrigerante, ya que se trabaja a una temperatura cercana a la temperatura de congelación del agua, al mezclarse el agua con etilenglicol, éste actúa como anticongelante, además también tiene propiedades anticorrosivas.

Por el lado del tubo pasará la corriente del Dióxido de Carbono y por la carcasa la mezcla refrigerante. Esta mezcla se encuentra a 0°C y el Dióxido de Carbono a temperatura ambiente.

2.2. Cálculo del calor intercambiado y del caudal de refrigerante

Aplicando un balance de energía al intercambiador, se obtiene de la ecuación 20:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [20]$$

Para el fluido caliente, se obtiene la ecuación.....:

$$Q = \dot{m}_C \cdot C_{p_C} \cdot \Delta T_C \quad [21]$$

Y para el fluido frío, ecuación.....:

$$Q = \dot{m}_F \cdot C_{p_F} \cdot \Delta T_F \quad [22]$$

Donde:

Q : es el calor intercambiado entre ambos fluidos (J/h)

\dot{m}_C : es el caudal másico del fluido caliente (kg/h)

\dot{m}_F : es el caudal másico del fluido frío (kg/h)

ΔT_C : es la diferencia de temperatura experimentada por el fluido caliente (K)

ΔT_F : es la diferencia de temperatura que experimenta el fluido frío (K)

C_{p_C} y C_{p_F} : son respectivamente, los calores específicos para los fluidos caliente y frío (J/kg·K)

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Por otro lado, no se conoce el valor del caudal de refrigerante ni la temperatura de salida del refrigerante. La temperatura de salida, es un valor necesario de fijar para poder diseñar el intercambiador. Se toma como temperatura de salida de la corriente refrigerante 15°C.

Por tanto, con las consideraciones anteriores se puede calcular el calor puesto en juego, así como el caudal de refrigeración necesario.

Las propiedades de los fluidos se encuentran en la figura 13 y los datos de las corrientes en la figura 14:

PROPIEDADES	CO₂	H₂O-Etilenglicol
K (W/m·K)	1,289	0,430
ρ (Kg/m³)	132,263	1053,250
C_p (J/Kg·K)	0,457	3,297
μ (Kg/m·s)	0,0000148	0,00336
Pr	0,77	25,82

Figura 13: Propiedades de las corrientes. Fuentes: Para el dióxido de carbono: www.airliquide.com. Para el refrigerante: www.e-guasch.com

	CORRIENTE CALIENTE	CORRIENTE FRÍA
CAUDAL (Kg/h)	0,025	0,0058
T_{ENTRADA} (K)	298	273
T_{SALIDA} (K)	278	295
T_m (K)	288	284

Figura 14: Caracterización de las corrientes caliente y fría.

Para realizar un balance de energía al intercambiador se van a tomar las propiedades de los fluidos a la temperatura media entre la entrada y salida.

Si se calcula el calor necesario para conseguir el enfriamiento deseado para la corriente de entrada a la bomba, según la ecuación 21:

$$Q = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot \Delta T_c = 0,025 \cdot 0,840 \cdot (298 - 278) = 0,421 \text{ W}$$

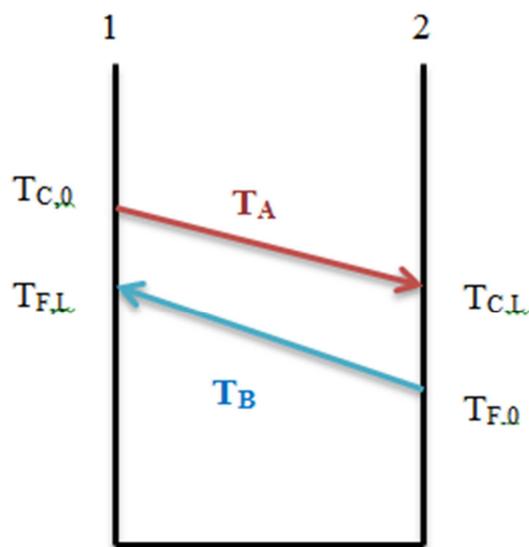
Como este mismo calor es el que tiene que retirar la corriente de refrigerante, así se puede calcular el caudal de refrigerante, según la ecuación 22:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

$$m'_F = \frac{Q}{C_{pF} \cdot \Delta T_F} = \frac{0,228}{3,298 \cdot (295 - 273)} = 0,00315 \text{ Kg/h}$$

2.3. Determinación de la temperatura media logarítmica

Para determinar la media logarítmica de las temperaturas, se considera que las corrientes son a contracorriente. En la figura 15 se muestra la variación de temperatura de los fluidos que realizan el intercambio de calor.



EN CONTRACORRIENTE

Figura 15: Variación característica de la temperatura de los fluidos para intercambiadores a contracorriente.

Los subíndices C y L corresponden con las corrientes calientes y frías, respectivamente. Así como L y 0, se refieren a un intercambiador de longitud L, donde 0 corresponde a la entrada al intercambiador y L a la salida.

Por tanto, el cálculo de la temperatura media logarítmica viene dada por la ecuación 23:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{C,0} - T_{F,L}) - (T_{C,L} - T_{F,0})}{\ln \left[\frac{T_{C,0} - T_{F,L}}{T_{C,L} - T_{F,0}} \right]} \quad [23]$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Los subíndices C y L corresponden con las corrientes calientes y frías, respectivamente. Así como L y 0, se refieren a un intercambiador de longitud L. Sustituyendo por los valores determinados:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(298 - 295) - (278 - 273)}{\ln \left[\frac{298 - 295}{278 - 273} \right]} = 3,916 K$$

Como resultado de realizar un balance energético a un elemento del intercambiador, se obtiene la ecuación 24:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad [24]$$

Donde:

Q: es el calor intercambiado entre los dos fluidos (J/s)

U: es el coeficiente global de transmisión de calor ($W/m^2 \cdot K$)

A: es el área de intercambio de calor (m^2)

El factor de corrección de la media logarítmica de temperaturas no se aplica, porque se trata de un intercambiador de un solo paso por tubos.

2.4. Coeficiente global de transmisión de calor

El coeficiente global de transmisión de calor se va a tomar de la bibliografía, en concreto de la Tabla 7 del Anexo 1, para una corriente líquida que enfría un gas por convección libre, se toma un valor de U de:

$$U = 10 \frac{Kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

En unidades del S.I.:

$$U = 11,63 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Una vez, que la planta esté en funcionamiento será posible determinar con exactitud el coeficiente de transmisión global.

2.5. Cálculo del Área de intercambio necesaria

Aplicando la ecuación 25 obtenemos el valor del área requerida:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad [25]$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{0,228}{11,630 \cdot 3,916} = 0,005 \text{ m}^2 = 50 \text{ cm}^2$$

Por lo que el área de intercambio de calor es de 50 cm².

3. ANEXO 4: DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR ELÉCTRICO

3.1. Caracterización de las corrientes

La corriente a calentar se encuentra a 5°C, temperatura que adquirió en su paso por el primer intercambiador de calor. Se precisa que a la salida del intercambiador se encuentre a la temperatura de operación, 35°C.

Este cambio de temperatura se realiza en un intercambiador eléctrico, ya que la temperatura debe de ser estable y exactamente la elegida para que el proceso de extracción se produzca a la temperatura exacta con la que se experimentó.

3.2. Cálculo del calor intercambiado y del caudal de refrigerante

Aplicando un balance de energía al intercambiador, se obtiene de la ecuación 26:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [26]$$

Donde:

Q : es el calor intercambiado entre ambos fluidos (J/h)

\dot{m} : es el caudal másico del fluido (kg/h)

ΔT : es la diferencia de temperatura experimentada por el fluido (K)

C_p : el calor específico para el fluido (J/kg·K)

Las propiedades de los fluidos se encuentra en la figura 13 y los datos de las corrientes en la figura 16:

PROPIEDADES	CO₂
CAUDAL (Kg/h)	0,025
C_p (J/Kg·K)	0,457
T_{ENTRADA} (K)	278
T_{SALIDA} (K)	308

Figura 16: Propiedades de las corrientes

Con estos valores ya se puede calcular el calor necesario para conseguir el calentamiento deseado para la corriente de entrada al extractor, según la ecuación 26:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T = 0,025 \cdot 0,457 \cdot (308 - 278) = 0,342 \text{ W}$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Por tanto, la potencia que necesita que se le suministre es de 0,342 W. A partir de este parámetro de diseño se elegirá el modelo suministrado por el proveedor.

4. ANEXO 5: DISEÑO DEL SEPARADOR CICLÓNICO

4.1. Introducción

A continuación se realizan los cálculos de propiedades y dimensionamiento de un ciclón de alta eficiencia según diversos autores de la bibliografía. Se explicará a su vez diferentes parámetros a tener en cuenta al variar las condiciones de trabajo para que la eficiencia se mantenga en los niveles óptimos.

Los ciclones se diseñan habitualmente de tal modo que se satisfagan ciertas limitaciones bien definidas de caída de presión.

En la separación de partículas, lo que conlleva a la eficiencia de recolección puede cambiar sólo en una cantidad relativamente pequeña mediante una variación en las condiciones operacionales. El factor de diseño primario que se utiliza para controlar la eficiencia de recolección es el diámetro del ciclón. Un ciclón de diámetro más pequeño que funciona a una caída de presión fija alcanza la eficiencia más alta. Sin embargo, los ciclones de diámetro pequeño requieren varias unidades en paralelo, para lograr una capacidad especificada. Se acostumbra diseñar un solo ciclón para una capacidad particular, recurriendo a varias unidades en paralelo sólo cuando la eficiencia de recolección prevista es inadecuada para una sola unidad.

Cuando se reduce el diámetro del conducto de salida del gas se incrementa tanto la eficiencia de recolección como la caída de presión. Al aumentar la longitud del ciclón, casi siempre se observa un incremento en la eficiencia de recolección.

Un ciclón operará bien, si el receptor es hermético. Es probable que la causa individual más importante para un funcionamiento deficiente del ciclón sea la fuga de aire hacia la salida de polvo del mismo. Una fuga ligera de aire en este punto provocará una reducción muy notable en la eficiencia de recolección.

Es esencial proporcionar la suficiente capacidad de descarga y recepción para evitar que el material recogido se acumule dentro del ciclón.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

4.2. Caracterización de la corriente de entrada

La corriente de entrada está formada por el extracto, este es una mezcla de dióxido de carbono con el aceite, el producto de interés. Los valores de los parámetros de dicha corriente se encuentra en la figura 17:

<i>Parámetros de Diseño</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor parámetro</i>
Presión	bar	500
Temperatura	°C	80
D _{máximo} partícula	m	0,001
Densidad partícula	Kg/m ³	520
Viscosidad gas	Kg/m·s	0,0000173
Densidad gas	Kg/m ³	875,715
Velocidad entrada gas	m/s	2

Figura 17: Parámetro de Diseño del ciclón.
Fuente: www.airliquide.com

4.3. Dimensionamiento del ciclón

En la figura 18 aparece los parámetros que se van a definir para el dimensionamiento del ciclón. La figura 19, se presenta un resumen de las características de los ciclones de alta eficiencia de entrada tangencial en función del diámetro del ciclón, D_c , para diferentes autores. En el presente proyecto se utiliza el método de Swift para el cálculo, ya que reporta los valores más altos de factor de configuración y números de cabezas de velocidad, coeficientes que harán tener una mayor eficiencia en la separación.

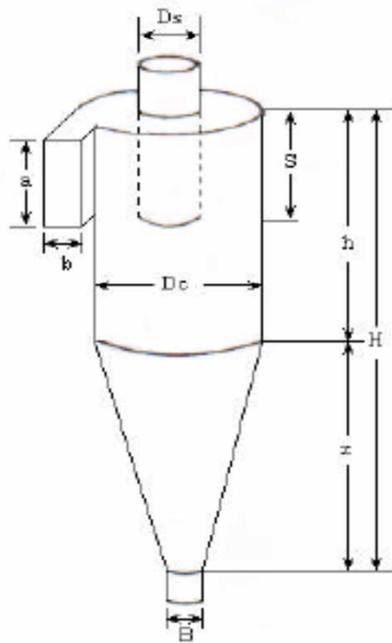


Figura 18: Dimensiones del ciclón

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

<i>Dimensión</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Tipo de ciclón</i>		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro de ciclón	Dc/Dc	1,0	1,0	1,0
Altura de entrada	a/Dc	0,5	0,44	0,5
Ancho de entrada	b/Dc	0,2	0,21	0,2
Altura de salida	S/Dc	0,5	0,5	0,625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0,5	0,4	0,5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1,5	1,4	1,5
Altura parte cónica	z/Dc	2,5	2,5	2,5
Altura total del ciclón	H/Dc	4,0	3,9	4,0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0,375	0,4	0,375
Factor de configuración	G	551,22	698,65	585,71
Número de cabezas de velocidad	N_H	6,4	9,24	6,4
Número de vórtices	N	5,5	6,0	5,5

Figura 19: Características de los ciclones de alta eficiencia.

Fuente: C.A.Echeverri Londoño, "Diseño óptimo de ciclones".

En la siguiente figura 18, se muestra todo el dimensionamiento del ciclón de alta eficiencia en función de un Dc calculado siguiendo la ecuación 27:

$$Dc = \sqrt[2]{\frac{A}{(K_a \cdot K_b)}} \quad [27]$$

Donde:

A: Área de entrada al ciclón (m²)

k_a: Altura de entrada al ciclón (m)

k_b: Ancho de entrada al ciclón (m)

Sustituyendo los valores en la ecuación 27:

$$Dc = \sqrt[2]{\frac{0,01}{(0,44 \cdot 0,21)}}$$

$$Dc = 0,323 \text{ m} \sim 324 \text{ mm}$$

Conociendo el valor del diámetro, ya se pueden calcular todas las características del ciclón, como queda recogido en la figura 20:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

<i>Dimensión</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valores</i>
Diámetro de ciclón	Dc	m	0,324
Altura de entrada	a	m	0,1
Ancho de entrada	b	m	0,1
Área de entrada	a·b	m	0,01
Altura de salida	S	m	0,164
Diámetro de salida	Ds	m	0,131
Altura parte cilíndrica	h	m	0,461
Altura parte cónica	z	m	0,822
Altura total del ciclón	H	m	1,283
Diámetro salida partículas	B	m	0,131
Factor de configuración	G	-	698,65
Número de cabezas de velocidad	N_H	-	9,24
Número de vórtices	N	-	6

Figura 20: Dimensiones del ciclón

4.4. Material de Construcción

Como material de construcción se usa el acero al carbono SA-283 grado C (Figura 2 del anexo 1) para placas según las normas ASME, secciones II y VIII. Debido a que es un acero de bajo coste y sus restricciones no interfieren en la finalidad de su diseño, ya que no contienen sustancias letales y la temperatura de diseño está entre 29°C (-20°F) y 344°C (650°F). Su acabado superficial será 2B en toda la pieza.

4.5. Cálculo del espesor

Al realizar un proceso a alta presión, se debe realizar el cálculo del espesor del ciclón. Éste se realizará de igual forma que se hizo anteriormente, bajo la norma del código A.S.M.E. Div.1, Sec. VIII, para recipientes sometidos a presión interna. Para el cuerpo cilíndrico, tomando que el esfuerzo se rige en la costura longitudinal.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

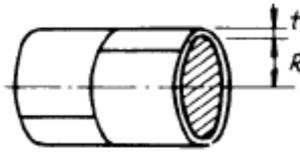


Figura 21: Imagen del espesor

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \quad [28]$$

Donde:

P: Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida (psi).

S: Valor del esfuerzo del material (psi).

E: Eficiencia de la junta.

R: Radio interno (in).

t: Espesor de casco(in).

C: Corrosión permisible según el Reglamento de Aparatos a Presión (in).

Como se comenta en apartados anteriores, el material de construcción del ciclón es acero al carbono SA-283 GRADO C. Sustituyendo los valores propios para este material en la ecuación 28, se obtiene el espesor:

P= 725,19 psi.

S= 12700 psi. Para una temperatura de 100 °C

E= 1

R= 6,47 in.

C= 0,039 in.

$$t = \frac{725,19 \cdot 2,05}{12700 \cdot 1 - 0,6 \cdot 725,19} + 0,039$$

$$t = 0,421 \text{ in (11 mm)}$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Se toma 11 mm de espesor para todo el cuerpo cilíndrico del ciclón.

De la misma manera se realiza el cálculo para la parte cónica, siendo el valor del espesor el definido por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cos \alpha \cdot (SE - 0,6P)} \quad [29]$$

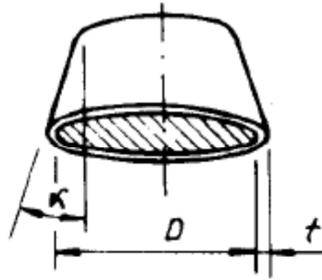


Figura 22: Espesor de casco (in).

Donde:

P: Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida (psi).

S: Valor del esfuerzo del material (psi).

E: Eficiencia de la junta.

D: Diámetro interno (in).

C: Corrosión permisible según el Reglamento de Aparatos a Presión (in).

α : La mitad del ángulo en el vértice (grados).

Sustituyendo los valores en la ecuación 29:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

$$t = \frac{725,19 \cdot 6,47}{2 \cdot 0,99 \cdot (12700 \cdot 1 - 0,6 \cdot 725,19)}$$

$$t = 0,386 \text{ in } (\sim 11\text{mm})$$

Por tanto, se toman 11 mm también en la zona cónica del ciclón.

4.6. Cálculo de propiedades del ciclón

Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. Los ciclones de alta eficiencia pueden remover partículas de 5 μm con eficiencias hasta del 90% (Figura 23), pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Los ciclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el fluido a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

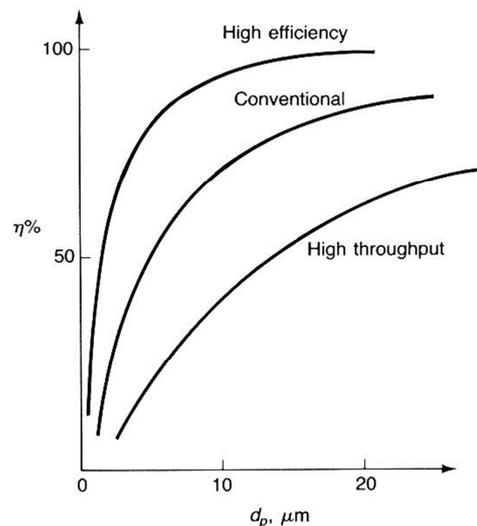


Figura 23: Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones.
Fuente: C.AEcheverri Londoño, "Diseño óptimo de ciclones".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

No existe un método teórico sencillo que permita el cálculo de la eficiencia (definido como el porcentaje de la masa de partículas entrante que es separado en el ciclón) de forma exacta. Esto es en parte debido a que, en la práctica, partículas pequeñas que teóricamente deberían salir con el gas, debido a la aglomeración y al barrido y choque con partículas mayores, serán capturadas; mientras, partículas grandes que deberían ser retenidas rebotarán contra las paredes o serán capturadas por turbulencias, escapándose del ciclón.

La teoría de *Leith y Licht* es la que mejor se adapta al comportamiento experimental (Figura 24). Esta teoría predice las eficiencias de colección de material particulado, basándose en las propiedades físicas del material particulado y el gas de arrastre, y en las relaciones entre proporciones del ciclón.

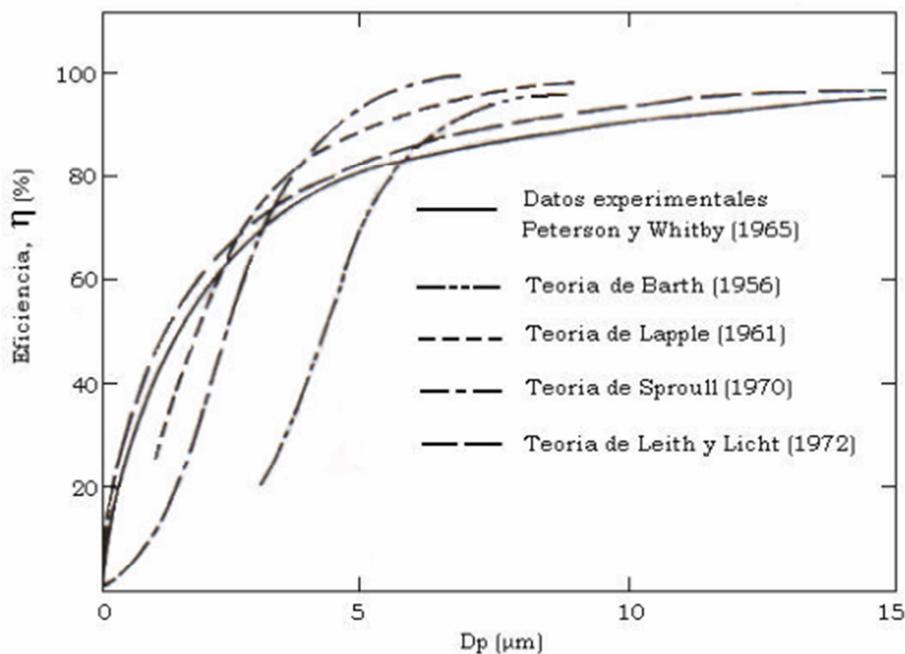


Figura 24: Eficiencia de colección del ciclón.
Fuente: C.AEcheverri Londoño, "Diseño óptimo de ciclones"

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

La eficiencia fraccional por tamaño de partículas se calcula de la manera siguiente:

$$\eta_i = 1 - e \left[-2 \cdot \left(\frac{G \cdot T_i \cdot Q \cdot (n+1)}{D_c^3} \right)^{\frac{0,5}{(n+1)}} \right] \quad [30]$$

En la cual:

η_i : Eficiencia fraccional por intervalos de tamaño.

G: Factor de configuración del ciclón.

T_i: Tiempo de relajación para cada partícula(s).

Q: Caudal de gas (m³/s).

D_c: Diámetro del ciclón (m).

n: Exponente del vórtice del ciclón

El parámetro G está relacionado con las proporciones del ciclón y T_i agrupa características del material particulado y del gas de arrastre.

La eficiencia total se calcula realizando la sumatoria del producto de las eficiencias fraccionales por la masa fraccional.

$$\eta_T = \sum \eta_i \cdot m_i \quad [31]$$

En la cual:

η_T : Eficiencia total

η_i : Eficiencia fraccional

m_i: Porcentaje másico (%)

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Para utilizar la de la eficacia fraccional se debe estar seguro que el ciclón no presenta resuspensión, ya que el valor real de la eficiencia sería mucho menor al estimado por estas ecuaciones. La ecuación 30 es la eficiencia “al vacío” o sin carga de partículas y se debe corregir con la ecuación 31 cuando la concentración de partículas es mayor de 2.0 g/m^3 a condiciones de referencia.

La eficiencia de colección de los ciclones varía en función del tamaño de la partícula y del diseño del ciclón. La eficiencia de ciclones generalmente, aumenta con:

- El tamaño de partícula y/o la densidad.
- La velocidad en el conducto de entrada.
- La longitud del cuerpo del ciclón.
- El número de revoluciones del gas en el ciclón.
- La proporción del diámetro del cuerpo del ciclón al diámetro del conducto de salida del gas.
- La concentración de las partículas.
- El pulimento de la superficie de la pared interior del ciclón.

La eficiencia del ciclón disminuirá con los aumentos en:

- La viscosidad del gas.
- El diámetro del cuerpo.
- El diámetro de la salida del gas.
- El área del conducto de entrada del gas.
- La densidad del gas.

Un factor común que contribuye a la disminución de eficiencias de control en los ciclones es el escape de aire en el conducto de salida del polvo.

Ahora se definirán cada uno de los parámetros de la ecuación 30:

4.6.1. Tiempo de relajación

El tiempo de relajación es el tiempo necesario para que una partícula alcance la velocidad terminal de caída, se evalúa de la siguiente forma:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

$$T_i = \frac{\rho_p \cdot Dp_i^2}{18\mu} \quad [32]$$

En la cual:

ρ_p = Densidad de la partícula, kg/m³.

Dp_i = Diámetro de la partícula, m.

μ = Viscosidad del gas, kg/ms.

Si se sustituye los valores de la figura 20 en la ecuación 32 se obtiene:

$$T_i = \frac{520 \cdot 0,001^2}{18 \cdot 0,0000173} = 1,667s$$

4.6.2. Exponente del vórtice

El exponente del vórtice resulta de relacionar la velocidad tangencial y el radio de giro de un movimiento en forma de vórtice. Los análisis teóricos revelan que n debe ser igual a 1.0 en ausencia de fricción de pared (vórtice libre). No obstante, las mediciones reales señalan que n puede variar de 0.5 a 0.7 de acuerdo con el tamaño del ciclón y la temperatura.

Se calcula según:

$$n = 1 - (1 - 0,67 \cdot Dc^{0,14}) \cdot \left(\frac{T}{283}\right)^{0,3} \quad [33]$$

En la cual:

n = Exponente del vórtice.

Dc = Diámetro del ciclón, m.

T = Temperatura del gas, K.

Sustituyendo los valores en la ecuación 33:

$$n = 1 - (1 - 0,67 \cdot 0,105^{0,14}) \cdot \left(\frac{353}{283}\right)^{0,3} = 0,521$$

4.6.3. Velocidad de saltación

En los ciclones, la velocidad de entrada es un parámetro fundamental, velocidades muy bajas permiten la sedimentación de partículas y neutralizan el efecto de la fuerza centrífuga generando disminución en la eficiencia de colección; velocidades muy altas pueden resuspender partículas previamente colectadas, disminuyendo también la eficiencia.

Kalen y Zenz (1974) propusieron la existencia de una “velocidad de saltación” en el ciclón para explicar porque la eficiencia de colección algunas veces descendía con incrementos en la velocidad de entrada. De lo anterior se puede observar que lo ideal es trabajar con velocidades de entrada lo suficientemente altas para aprovechar el efecto de la aceleración centrífuga, sin sobrepasar la velocidad que implica resuspensión del material ya colectado. La correlación semiempírica para la velocidad de saltación es:

$$V_S = \frac{4,913 \cdot W \cdot K_b^{0,4} \cdot D_c^{0,067} \cdot \sqrt[3]{V_i^2}}{\sqrt[3]{1-K_b}} \quad [34]$$

Donde:

V_S : Velocidad de saltación (m/s).

V_i : Velocidad de entrada del gas en el ciclón (m/s).

W : Velocidad equivalente (m/s).

La velocidad equivalente se evalúa a través de la siguiente ecuación:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot g \cdot \mu \cdot (\rho_p - \rho)}{3 \cdot \rho^2}} \quad [35]$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

En la cual:

ρ_p : Densidad de la partícula (kg/m³).

ρ : Densidad del gas portador (kg/m³).

μ : Viscosidad del gas portador (kg/m·s).

Por lo tanto, la velocidad de saltación es función de las propiedades de las partículas y del fluido, así como de las dimensiones del ciclón.

Kalen y *Zenz* desarrollaron correlaciones experimentales entre la relación velocidad de entrada/velocidad de saltación y la eficiencia del ciclón, encontrando lo siguiente:

- La máxima eficiencia de colección ocurre cuando la velocidad de entrada es 1.25 veces la velocidad de saltación.
- Cuando la velocidad de entrada es mayor a 1.35 veces la velocidad de saltación se produce resuspensión del material ya capturado.

Por tanto, sustituyendo en la ecuación 35:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot 0,0000173 \cdot (875,715 - 520)}{3 \cdot 875,715^2}} = 0,047 \text{ m/s}$$

Conociendo la velocidad equivalente, ya se puede calcular la velocidad de saltación, sustituyendo en la ecuación 34:

$$V_s = \frac{4,913 \cdot 0,047 \cdot 0,21^{0,4} \cdot 0,105^{0,067} \cdot \sqrt[3]{2^2}}{\sqrt[3]{1 - 0,21}} = 0,0183 \text{ m/s}$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

4.6.4. Estimación de la Caída de Presión

La caída de presión es un parámetro importante debido a que relaciona directamente los costos de operación. La caída de presión en un ciclón puede deberse a las pérdidas a la entrada y salida, y pérdidas de energía cinética y fricción en el ciclón.

Las eficiencias de remoción en un ciclón se pueden aumentar al incrementar las velocidades de entrada, pero esto también incrementa las caídas de presión. A mayor pérdida de presión aumentan los requerimientos de potencia en el ventilador y por lo tanto mayor consumo de energía. Existen diferentes ecuaciones para calcular la pérdida de presión en un ciclón.

Una de las ecuaciones para calcular la pérdida de presión en un ciclón es la desarrollada por *Shepherd* y *Lapple*.

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_i^2 \cdot N_H \quad [36]$$

En la cual:

ΔP : Caída de presión en el ciclón (Pa).

ρ : Densidad del gas portador (kg/m³).

V_i : Velocidad de entrada del gas en el ciclón (m/s).

N_H : Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón.

Aunque otras ecuaciones han sido formuladas a partir de consideraciones teóricas, se ha encontrado que generalmente no son tan precisas como la ecuación de *Shepherd* y *Lapple*, la cual es considerada como la más útil para calcular la caída de presión.

Sustituyendo en la ecuación 36:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot 875,715 \cdot 2^2 \cdot 9,24 = 16183,21 \text{ Pa}$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Como resumen, la siguiente tabla (Figura 24) con todas las propiedades:

<i>Dimensión</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
Tiempo de relajación, T_i	s	1,667
Exponente de vórtice	-	0,5215
Velocidad de saltación, V_s	m/s	0,0183
Velocidad equivalente, W	m/s	0,0047
Caída de presión, ΔP	bar	16183,21
Eficiencia fraccional, η_i	-	1

Figura 24: Resumen de las propiedades del ciclón.

4.6.5. Variación de las condiciones de trabajo

A menudo es necesario evaluar el funcionamiento de los ciclones cuando operan en condiciones fuera de diseño. La eficiencia de un determinado ciclón varía con las condiciones de trabajo. A continuación se presentan algunas expresiones que permiten predecir de forma aproximada dicha variación.

- **Variación del caudal**

Implica evidentemente un cambio en la velocidad de entrada al ciclón. Si no se dispone de datos experimentales, para variaciones poco importantes del caudal la nueva eficiencia puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{100-\eta_1}{100-\eta_2} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{0,5} \quad [37]$$

- **Variación de la viscosidad del gas**

El cambio en la eficiencia debido a cambios en la viscosidad del gas puede estimarse mediante la expresión:

$$\frac{100-\eta_1}{100-\eta_2} = \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)^{0,5} \quad [38]$$

Las variaciones en la viscosidad se deben principalmente a cambios de temperatura, ya que los cambios de presión no afectan de manera significativa la viscosidad.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Un incremento en la temperatura del gas tiene dos efectos principales: se incrementa tanto el caudal de gas como su viscosidad. Por lo tanto, el efecto total, es el producto de los efectos individuales.

$$\frac{100-\eta_1}{100-\eta_2} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)^{0,5} \quad [39]$$

- **Variación en la densidad del gas**

El cambio en la eficiencia debido a cambios en la densidad del gas puede estimarse mediante la expresión:

$$\frac{100-\eta_1}{100-\eta_2} \quad [40]$$

- **Variación de la concentración de partículas**

Si aumenta la concentración de partículas crecerá la eficiencia de captación; de forma aproximada:

$$\frac{100-\eta_1}{100-\eta_2} = \left(\frac{C_2}{C_1}\right)^{0,182} \quad [41]$$

Esta ecuación es necesaria para corregir la eficiencia estimada con la ecuación 30 cuando la concentración de partículas sea superior a 2.0 g/m³ medido a condiciones de referencia. En este caso η_1 será la eficiencia hallada con la ecuación 30 y C_1 toma el valor de 2.0 g/m³ y η_2 será la nueva eficiencia para una concentración de partículas C_2 a condiciones de referencia mayor de 2.0 g/m³.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

5. ANEXO 6: DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS

5.1. Características de cada línea

Cada línea está diseñada con unos valores de las condiciones más extremos que el valor de operación para evitar posibles percances en la planta.

En la figura 26, está representado la numeración seguida para cada tramo de tubería. A su vez, en la figura 25, están las condiciones de diseño elegidas para cada uno de estos tramos.

Línea	Presión	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Velocidad
	bar	°C	Kg/ m ³	Kg/m·s	m/s
1	50	25	132,263	1,486·10 ⁻⁵	2
2	1	0	1053,25	0,003367	2
3	50	0	941,517	1,368·10 ⁻⁵	1,5
4	500	0	1105,317	1,733·10 ⁻⁵	2
5	500	80	875,715	1,733·10 ⁻⁵	2
6	500	80	875,715	1,733·10 ⁻⁵	2
7	500	80	875,715	1,733·10 ⁻⁵	2
8	500	80	875,715	1,733·10 ⁻⁵	2
9	50	25	132,263	1,486·10 ⁻⁵	2
10	500	80	875,715	1,733·10 ⁻⁵	2
11	50	25	132,263	1,486·10 ⁻⁵	2
12	1	25	1,784	1,486·10 ⁻⁵	5
13	1	25	1,784	1,486·10 ⁻⁵	5
14	50	25	132,263	1,486·10 ⁻⁵	2
15	50	25	132,263	1,486·10 ⁻⁵	2
16	50	25	132,263	1,486·10 ⁻⁵	2
17	1	25	1,784	1,486·10 ⁻⁵	5
18	1	25	1,784	1,486·10 ⁻⁵	5

Figura 25: Propiedades de las corrientes. Fuente: www.airliquide.com

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

5.2. Cálculo del diámetro de cada línea

El diámetro de cada línea se calcula por las siguientes ecuaciones:

$$S = \frac{Q}{V} \quad [42]$$

$$D_i = (4 \cdot S / \pi)^{1/2} \quad [43]$$

Siendo:

S: Sección transversal de la tubería (m).

Q: Caudal volumétrico del fluido (m³/s).

V: Velocidad del fluido (m/s).

D_i: Diámetro interno de la tubería (m).

Conociendo las propiedades de cada línea, determinadas en el apartado anterior, y tomando los datos termodinámicos del dióxido de carbono de la bibliografía, concretamente de los valores proporcionados por la compañía “Air liquide” para cada temperatura y presión de operación, se obtiene los diámetros para cada línea agrupados en la figura 27.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Línea	Caudal volumétrico (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Diámetro		Diámetro Nominal	
				(m)	(in)	(mm)	(in)
1	0,000189	2	0,000095	0,0110	0,4319	15	1/2
2	0,000024	2	0,000012	0,0039	0,1530	6	1/8
3	0,000027	1,5	0,000018	0,0047	0,1869	6	1/8
4	0,000023	2	0,000011	0,0038	0,1494	6	1/8
5	0,000029	2	0,000014	0,0043	0,1678	6	1/8
6	0,000029	2	0,000014	0,0043	0,1678	6	1/8
7	0,000029	2	0,000014	0,0043	0,1678	6	1/8
8	0,000029	2	0,000014	0,0043	0,1678	6	1/8
9	0,000029	2	0,000095	0,0110	0,4319	15	1/2
10	0,000189	2	0,002803	0,0043	0,1678	6	1/8
11	0,000029	2	0,002803	0,0110	0,4319	15	1/2
12	0,000189	5	0,000095	0,0597	2,3518	65	2 1/2
13	0,014013	5	0,002803	0,0597	2,3518	65	2 1/2
14	0,014013	2	0,000095	0,0110	0,4319	15	1/2
15	0,000189	2	0,000095	0,0110	0,4319	15	1/2
16	0,000189	2	0,000095	0,0110	0,4319	15	1/2
17	0,014013	5	0,002803	0,0597	2,3518	65	2 1/2
18	0,014013	5	0,002803	0,0597	2,3518	65	2 1/2

Figura 27: Diámetro de las líneas de tubería

5.3. Cálculo de espesor

El cálculo del espesor se realiza según el código A.S.M.E., Div.1, Sec. VIII para tuberías con las siguientes características:

$$t = \frac{PR}{SE-0,6P} + C \quad [44]$$

Donde:

P: Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida (psi).

S: Valor del esfuerzo del material.

E: Eficiencia de la junta.

R: Radio interno (in).

t: Espesor de casco(in).

C: Corrosión permisible según el Reglamento de Aparatos a Presión.

Los valores de estos parámetros para el presente el material elegido para los conductos, acero al carbono SA-106 grado B, son los siguientes:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

P= depende de cada línea, los valores están recogidos en la figura 27.

S= 15000 lb/in²

E= 1. Sin costura lateral.

R= depende de cada línea, reflejado en la figura 27.

C= 0,039. Según el Reglamento de Aparatos a Presión.

En la Figura 28, se refleja los resultados para cada línea:

Línea	Espesor		Espesor de Diseño
	in	mm	
1	0,0498	1,2637	2
2	0,0391	0,9921	1
3	0,0437	1,1088	2
4	0,0899	2,2827	3
5	0,0961	2,4422	3
6	0,0961	2,4422	3
7	0,0961	2,4422	3
8	0,0961	2,4422	3
9	0,0498	1,2637	2
10	0,0961	2,4422	3
11	0,0498	1,2637	2
12	0,0401	1,0195	2
13	0,0401	1,0195	2
14	0,0498	1,2637	2
15	0,0498	1,2637	2
16	0,0498	1,2637	2
17	0,0401	1,0195	2
18	0,0401	1,0195	2

Figura 28: Espesor de cada línea de tubería

5.4. Caída de Presión

A continuación para el cálculo de las pérdidas de carga en cada línea de tubería o conexión, se utilizará la ecuación de Darcy, ecuación 45, la cual se define:

$$h_L = [f \cdot (L/D)] \cdot (v^2/2g) \quad [45]$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Siendo:

L: longitud de la tubería (m).

D: diámetro interno de la tubería (m).

v: velocidad del fluido (m/s).

f: factor de fricción. Éste se determina haciendo uso de la gráfica de Moody (anexo 1, figura 8) a partir del módulo de Reynolds y de la rugosidad relativa del material (anexo 1, figura 9).

En el caso de los distintos accesorios, se incluye un coeficiente de pérdida de carga, K (anexo1, figura 10), definido por la ecuación 46:

$$h_L = K \cdot (v^2/2g) \quad [46]$$

Por lo tanto, en el caso de que en un tramo de tubería aparezcan accesorios, la pérdida de carga total queda recogida en la ecuación:

$$h_L = K_{Total} \cdot (v^2/2g) = (K_{Tubería} + K_{Accesorios}) \cdot (v^2/2g) \quad [47]$$

Deduciéndose, a partir de la ecuación de Darcy que:

$$K_{Tubería} = f \cdot (L/D) \quad [48]$$

Del mismo modo:

$$K_{Accesorios} = K_{Accesorios1} + K_{Accesorios2} + \dots + K_{AccesoriosN} \quad [49]$$

$$K_{Accesorio} = f \cdot \left(L_{Equivalente} / D \right) \quad [50]$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

La longitud equivalente de un accesorio, $L_{\text{equivalente}}$, corresponde a la longitud de tubería recta que produciría la misma pérdida de carga que el accesorio considerado. Estos valores, se pueden encontrar tabulados o en gráficas tal como se muestran en el anexo 1, figura 10.

A continuación, se muestran los resultados de los cálculos de pérdidas de carga en el sistema de tuberías, considerando el número máximo de accesorios que se puedan encontrar en cada tramo.

Extracción Supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

			Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Línea 6	Línea 7	Línea 8	Línea 9	Línea 10	Línea 11	Línea 12	Línea 13	Línea 14	Línea 15	Línea 16	Línea 17	Línea 18	
Condiciones	Temperatura	°C	25	0	0	0	80	80	80	80	25	80	25	25	25	25	25	25	25	25	
	Presión	bar	50	1	50	500	500	500	500	500	50	500	50	1	1	50	50	50	1	1	
Características del fluido	Densidad	Kg/m³	132,263	1053,2	941,517	1105,3	875,714	875,714	875,714	875,714	132,263	875,714	132,263	1,784	1,784	132,263	132,263	132,263	1,784	1,784	
	Viscosidad	Kg/m·s	1,48E ⁻⁵	3,4E ⁻³	1,36E ⁻⁵	1,73E ⁻⁵	1,48E ⁻⁵	1,73E ⁻⁵	1,48E ⁻⁵												
	Velocidad	m/s	2	2	1,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	2	2	2	5	5
	Reynolds		213567	2502	516209	510188	505261	505261	505261	505261	213567	505261	213567	36008	36008	213567	213567	213567	36008	36008	
Características de la tubería	Longitud máx.	m	2	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	
	Diámetro	mm	12	4	5	4	5	5	5	5	12	5	12	60	60	12	12	12	60	60	
	Rugosidad	mm	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	Rugosidad relativa		0,0075	0,0225	0,018	0,0225	0,018	0,018	0,018	0,018	0,0075	0,018	0,0075	0,0015	0,0015	0,0075	0,0075	0,0075	0,0015	0,0015	
	Factor de Fricción		0,014	0,018	0,012	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,011	0,011	0,014	0,014	0,014	0,011	0,011	
Accesorios	Válvulas	Cantidad	2	1	1	0	1	0	0	2	0	2	0	1	1	0	0	0	1	1	
		K	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	Codos	Cantidad máxima	2	4	3	3	2	3	4	3	3	3	3	1	1	2	3	2	1	1	
		K	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
	Tés	Cantidad	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
		K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Coefficiente de pérdidas	K_{tubería}		2,333	9	4,8	7	5,6	5,6		2,8	1,167	2,8	1,167	0,183	0,183	2,333	2,333	3,5	0,183	0,183	
	K_{accesorios}		9,7	5,9	5,55	1,05	6,2	1,05	1,4	10,05	1,05	10,05	1,05	4,85	4,85	1,7	1,05	0,7	4,85	4,85	
	K_{Total}		12,033	14,9	10,35	8,05	11,8	6,65	1,4	12,85	2,217	12,85	2,217	5,033	5,03	4,033	3,383	4,2	5,033	5,033	
	Pérdida total de carga	m	2,453	3,0377	1,187	1,641	2,405	1,355	0,285	2,619	0,452	2,619	0,452	6,413	6,413	0,822	0,689	0,856	6,413	6,413	

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

5.5. Diseño de Bomba

Para el cálculo de la bomba es necesario hacer un balance de energía entre dos puntos:

- Punto 1: salida del intercambiador de calor, a la entrada en la conducción.
- Punto 2: a la salida de la bomba, en la conducción, antes de entrar al siguiente intercambiador.

La expresión del balance energético es la ecuación 51:

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + h_f + \frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta Z = h_A \quad [51]$$

Donde:

h_A : es el trabajo que hay que suministrarle al fluido (m).

ΔZ : es la diferencia de altura que experimenta el fluido entre el punto 1 y 2 (m).

Δv : es la diferencia de velocidad entre el punto 1 y 2 (m/s).

h_f : son las pérdidas de energía por fricción entre los puntos 1 y 2.

ΔP : es la diferencia de presión entre ambos puntos (atm).

ρ : es la densidad del fluido (Kg/m³).

g : es la aceleración de la gravedad (m/s²).

Si se desglosa para cada punto, se obtiene la ecuación 52:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + h_f + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + z_2 - z_1 = h_A \quad [52]$$

En la figura 30, se muestra los valores de cada magnitud:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Presión 1 (atm)	50
Presión 2 (atm)	500
Velocidad 1 (m/s)	1,5
Velocidad 2 (m/s)	2
Altura 1 (m)	0,5
Altura 2 (m)	1,5
Pérdida por fricción (m)	0,012

Figura 30: Valores para el cálculo de la bomba

Sustituyendo los valores de la figura 30 en la ecuación 52 se obtiene:

$$\frac{500 - 50}{940,52 \cdot 9,81} + 0,012 + \frac{2^2 - 1,5^2}{2 \cdot 9,81} + 1 = h_A$$

$$h_A = 1,167 \text{ m}$$

Conociendo el trabajo que hay que suministrar al fluido, se puede calcular la potencia de bombeo. Factor de diseño para la elección de la bomba, esta potencia queda definida en la ecuación 53:

$$W_{absorbida} = h_A \cdot \dot{Q}_m \cdot g \quad [53]$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 53, se obtiene el valor de la potencia absorbida por la bomba:

$$W_{absorbida} = 1,167 \cdot 0,025 \cdot 9,81 = 0,286 \text{ W}$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Si se consideran las pérdidas de potencia que se producen en la misma bomba, es necesario una bomba de potencia superior a la obtenida en dicho cálculo.

Un aspecto importante en el diseño de bombas es la Altura Neta de Succión Positiva ($NPSH_{disponible}$), que es la altura máxima a la que se puede colocar la bomba, si se colocase a más altura la bomba cavitara. Para que no exista cavitación $NPSH_{disponible}$ debe ser mayor a la $NPSH_{requerida}$, la requerida es proporcionada por el fabricante de bombas. Por tanto, la bomba seleccionada debe tener una altura requerida menor a la calculada.

El valor de $NPSH_{disponible}$ depende de la naturaleza del fluido que se está bombeando, de la tubería de succión, la ubicación del depósito de fluido y la presión aplicada al fluido. Esto puede expresarse como:

$$NPSH_d = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad [54]$$

Donde:

h_{sp} : es la carga de presión estática aplicada al fluido (m^2 de fluido)

h_s : diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito hasta la entrada de la bomba (m). El signo depende ubicación de la bomba con respecto al fluido:

- Si la bomba está debajo del depósito, h_s es positiva.
- Si la bomba está encima del depósito, h_s es negativa.

h_f : pérdida de carga por fricción en la tubería de succión (m)

h_{vp} : presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo (m)

La ecuación 54 puede deducirse aplicando un balance de energía al sistema de tuberías de succión. De esta manera la ecuación 54 queda:

$$NPSH_d = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + H_1 - h_f - \frac{P^V}{\rho \cdot g} \quad [55]$$

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Sustituyendo nuestros valores, en la ecuación 55:

$$NPSH_d = \frac{50}{940,52 \cdot 9,81} + 0,5 - 0,012 - \frac{57,258}{940,52 \cdot 9,81} = 0,49 \text{ m.}$$

Por tanto, la bomba deberá colocarse a 0,5 m, tal y como se tiene colocada.

6. ANEXO 7: SISTEMA DE VÁLVULAS

En la planta fluyen fluidos entre las diferentes unidades, por lo que resulta necesario el uso de válvulas que permitan regular o cortar el paso del fluido en el caso de:

- Tener que limpiar la unidad.
- Alguna avería.
- Determinación de algún fallo de operación que obligase a parar la planta.
- Corriente que necesite una modificación en el caudal para controlar la temperatura.

Válvulas para las diferentes unidades de operación:

Todas las unidades de operación de la planta poseen una válvula que controle el paso del fluido a través de la misma. Por lo tanto, hay una válvula en las siguientes unidades:

- A la salida de la bombona de dióxido de carbono, para controlar el suministro de este gas al sistema, esta es una electroválvula que ante una subida de presión o temperatura, por encima de las condiciones de diseño, se cierra automáticamente. Esta válvula se nombra como V-1.
- La V-2 está justo antes de la entrada al intercambiador de calor, ésta es una válvula antirretorno, por si se acabase el dióxido de carbono el gas no vuelva hacia la bombona.
- Existe otra válvula que regula la entrada de refrigerante en el intercambiador de calor, V-3.
- La válvula de tres vías, V-4, que conduce el dióxido de carbono hacia el extractor que se encuentre preparado.
- V-5 y V-6, se colocan justo a la entrada del extractor para aislar el extractor mientras se presuriza el sistema.
- También existe una válvula a la salida de cada extractor hacia el ciclón, para aislar el sistema de separación mientras se realiza el cambio de extractor. Estas válvulas son V-7 y V-8.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

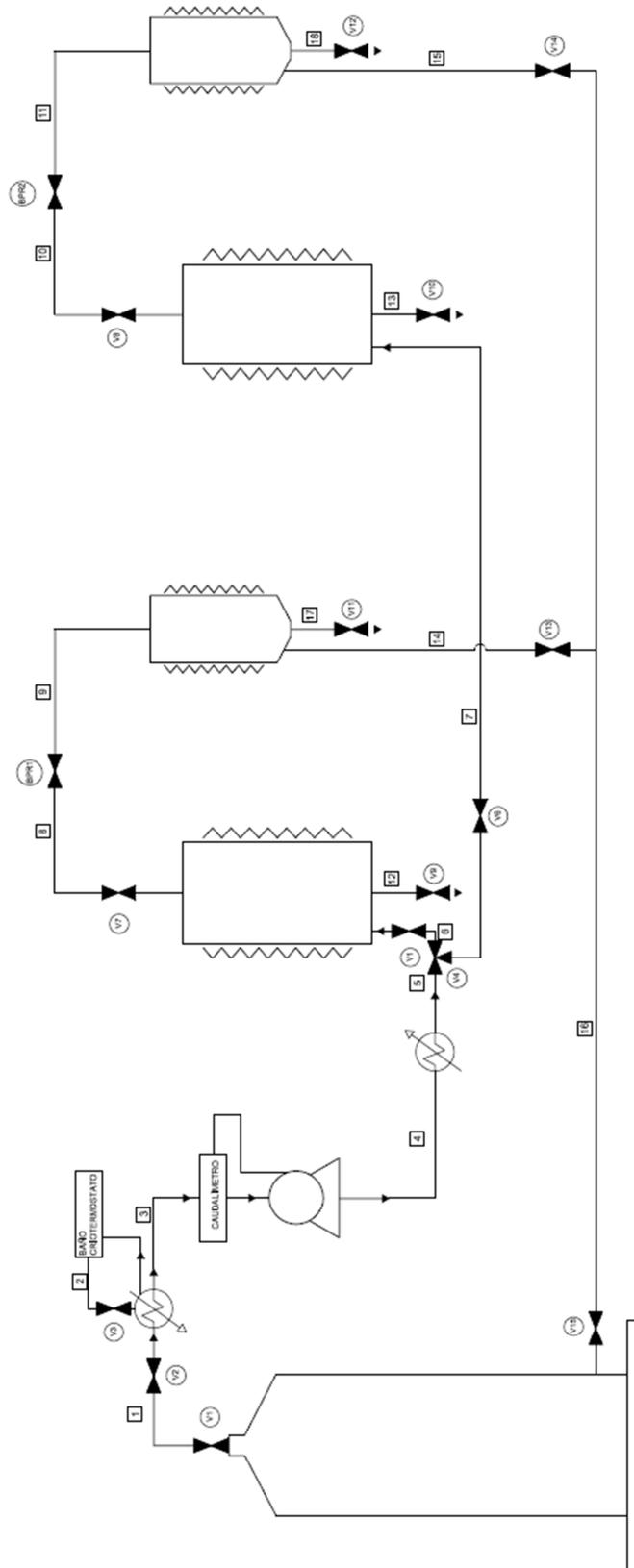
- Existe una válvula en cada extractor, V-9 y V-10, para poder limpiarlo, estas válvulas tienen disco de ruptura por si se produce sobrepresión.
- Las válvulas reguladoras de presión, BPR, son unas electroválvulas que controlan la entrada de extracto hacia el ciclón, controlando así la presión del sistema.
- Las válvulas V-11 y V-12 son colocadas para la recolección del producto extraído en la salida del separador ciclónico.
- También existe otra válvula a la salida del ciclón, V-13 y V-14, que aíslan los ciclones en el cambio de extractor.
- Por último, V-15 controla la recirculación del dióxido de carbono.

Todas estas válvulas se encuentran representadas en la figura 31.

Las válvulas manuales serán de asiento y suministradas por “Flowserve”, modelo de la serie 4, recomendado para altas presiones.

Las electroválvulas en cambio serán suministradas por “Bürkert”, modelo 2200 también válido para altas presiones. Las características de ambas se encuentran recogidas en el anexo 10: Proveedores.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)



7. ANEXO 8: TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Son necesarios dos tanques de almacenamiento, uno para las semillas y otro para el aceite obtenido. Las características necesarias para ambos tanques son la esterilización, ya que va destinados al uso humano, y colocarlos en lugares secos, para la conservación del producto.

Las dimensiones del tanque de aceite es de 1 m^3 , en él se puede almacenar aceite en un año completo de producción. Ya que la producción de aceite diaria es de 1L.

Las semillas en cambio se almacenarán durante dos meses, para evitar su deterioro al estar expuestas a temperaturas y humedad. La cantidad de semillas necesarias para la producción de la planta durante dos meses es de 2500 Kg, por lo que será necesario un tanque de almacenamiento de 5 m^3 .

Ambos tanques los suministrará la empresa “Siehechina”, las características quedan recogidas en el anexo 10.

8. ANEXO 9: SOLDADURA

Para la soldadura de recipientes sometidos a presión existen varios métodos. En cada caso particular, la elección del tipo de junta soldada que se va a realizar, depende de:

1. Las circunstancias en las que ha de realizarse la soldadura.
2. Los requisitos del Código A.S.M.E.
3. Los aspectos económicos.

8.1. Circunstancias para la realización de la soldadura

La accesibilidad de la junta es la que determinará el tipo de soldadura. Como ocurre en el presente diseño, el recipiente a presión tiene un diámetro pequeño (menor de 18”). En este tipo de recipientes no puede aplicarse la soldadura manual, por lo que se utiliza una tira de respaldo.

8.2. Requisitos de la Norma

De acuerdo al tipo de junta, la norma establece requisitos basados en el servicio, el material y la ubicación de la soldadura. Los procesos de soldadura que pueden aplicarse en la construcción de recipientes están restringidos por las normas, en el párrafo UW-27.

Siguiendo la norma se determina los siguientes parámetros de la junta:

- a. Tipo de junta soldada

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Viene determinado por la norma UW-12, recogida en la figura 11, anexo1.

El tipo de junta soldada elegida es la número 1 de la figura 11 del anexo 1, juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura. Esta elección se debe a que como se indica en la figura 12 del anexo1 este tipo de junta no tiene limitaciones, además de que se emplea placa de respaldo, requisito indispensable al tratarse de un recipiente de diámetro pequeño.

El caso del presente proyecto es del tipo 1, ya que por la norma UW-11 las juntas soldadas a tope con espesores mayores de 1,5” serán examinadas radiográficamente en toda su longitud.

b. Eficiencias de junta y reducciones de esfuerzos

En este punto se determina la eficiencia de juntas en ciertos puntos y esfuerzo permisible reducido, recogidos en la siguiente figura:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

EFICIENCIAS DE JUNTAS Y REDUCCION DE ESFUERZOS							
Párrafos del código UW-11(a), (b), (c) y UW-12 (b) y (c)							
CASCO SIN COSTURA - CABEZA SIN COSTURA							
RADIOGRAFIA	CALCULOS DEL ESPESOR DE CABEZA		CALCULOS DEL ESPESOR DEL CASCO				
	E.J.	Esfuerzo permitido, %	ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL		ESFUERZO LONGITUDINAL		
			E.J.	Esfuerzo permitido, %	E.J.	Esfuerzo permitido, %	
Completa		100	1.0	100	1.0	100	
Parcial					0.85/0.80		
Por zonas		85		85	(1) (2)	85	
No		80		80	.70/.65	100	
CASCO SOLDADO - CABEZA SIN COSTURA							
RADIOGRAFIA	CALCULOS DEL ESPESOR DE CABEZA		CALCULOS DEL ESPESOR DEL CASCO				
	E.J.	Esfuerzo permitido, %	ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL		ESFUERZO LONGITUDINAL		
			E.J.	Esfuerzo permitido, %	E.J.	Esfuerzo permitido, %	
Completa	Completa	100	1.0/0.9		1.0/0.9		
Parcial	Completa				↑ ↓		
Por zonas	Completa	85	↑ ↓		↑ ↓		
No	Completa		↑ ↓		↑ ↓		
Completa	Por zonas	100	↑ ↓		↑ ↓		
Parcial	Por zonas		↑ ↓		↑ ↓		
Por zonas	Por zonas	85	0.85/.80	100	0.85/.80	100	
No	Por zonas		↑ ↓		↑ ↓		
Completa	No	100	↑ ↓		↑ ↓		
Parcial	No		↑ ↓		↑ ↓		
Por zonas	No	85	↑ ↓		↑ ↓		
No	No	80	.70/.65		.70/.65		
CASCO SIN COSTURA - CABEZA SIN COSTURA							
RADIOGRAFIA	CALCULOS DEL ESPESOR DE CABEZA		CALCULOS DEL ESPESOR DEL CASCO				
	E.J.	Esfuerzo permitido, %	ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL		ESFUERZO LONGITUDINAL		
			E.J.	Esfuerzo permitido, %	E.J.	Esfuerzo permitido, %	
Completa	Completa	1.0/0.9		100	1.0/0.9	100	
Completa	Parcial				↑ ↓		
Completa	Por zonas	↑ ↓		85	↑ ↓		
Completa	No	↑ ↓			↑ ↓	85	
Por zonas	Completa	↑ ↓		100	↑ ↓	100	
Por zonas	Parcial	0.85/.80			↑ ↓		
Por zonas	Por zonas	↑ ↓		85	↑ ↓	85	
Por zonas	No	↑ ↓			↑ ↓		
No	Completa	↑ ↓		100	↑ ↓	100	
No	Parcial	↑ ↓			↑ ↓		
No	Por zonas	↑ ↓		85	↑ ↓	85	
No	No	.70/.65			.70/.65	100	

Figura 32: Eficiencia de las juntas soldadas.

Fuente: E.F. Megyesy, "Manual de recipientes a presión. Diseño y calculo".

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

El presente diseño es un caso de casco y cabeza sin costura con radiografía completa.

8.3. Economía de la soldadura

Si los dos factores anteriores permiten la libre elección, la economía es el factor decisivo.

La única consideración a tomar es la realización de una soldadura de calidad, de mayor resistencia y utilizar una placa delgada.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9. ANEXO 10: PROVEEDORES

9.1. Extractor

El extractor será construido con las características recogidas en la “Memoria descriptiva”, “Anexo 2” y “Planos” del presente Proyecto.

Como material de construcción se utilizará el indicado a continuación:

Grados del Acero

A-515

Placa de acero al carbón para recipientes a presión para medidas y altas temperaturas.

ALCANCE:

Esta especificación cubre acero al carbón-silicio, sobre todo para medias y altas temperaturas. Su principal uso es en calderas, tanques, válvulas y equipo a presión.

Requerimientos Químicos.			
	GRADO 60	GRADO 65	GRADO 70
Carbón, máx.:			
Hasta 1"	0.24	0.28	0.31
1" a 2"	0.27	0.31	0.33
2" a 4"	0.29	0.33	0.35
4" a 8"	0.31	0.33	0.35
Arriba de 8"	0.31	0.33	0.35
Manganeso, máx.:			
Colada	0.6	0.9	1.2
Producto	0.98	0.98	1.3
Fósforo, máx.:	0.035	0.035	0.035
sulfuro, máx.:	0.035	0.035	0.035
Silicio:			
Colada	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Producto	0.13-0.45	0.13-0.45	0.13-0.45

Requerimientos Mecánicos			
	GRADO 60	GRADO 65	GRADO 70
Fuerza tensión Ksi(Mpa)	60-80(415-550)	65-85(450-585)	70-90(485-620)
Punto de cedencia, Ksi(Mpa)	32(220)	35(240)	38(2609)
Elogación en 8 pulg. Min,%	21	19	17
Elogación en 2 pulg. Min,%	25	23	21

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.2. Envoltente de Caucho de Silicona



Propiedades de la Silicona

La silicona, un polímero sintético, esta compuesta por una conbinación química de silicio-oxígeno. La misma es un derivado de la roca, cuarzo o arena. Gracias a su rígida estructura química se logran resultado técnicos y estéticos especiales imposibles de obtener con los productos tradicionales. Puede ser esterilizada por Oxido de Etileno, radiación y repetidos procesos de autoclave.

Las principales características de la Silicona son:



- > Resistente a temperaturas extremas (-60° a 250°C)
- > Resistente a la intemperie, ozono, radiación y humedad
- > Excelentes propiedades eléctricas como aislador
- > Larga vida útil
- > Gran resistencia a la deformación por compresión
- > Apto para uso alimenticio y sanitario

PROPIEDADES PARTICULARES DE LAS SILICONAS RAHOLIN®

Dada su composición química de Silicio-Oxígeno, la silicona es flexible y suave al tacto, no mancha ni se desgasta, no envejece, no exuda nunca, evitando su deterioro, ensuciamiento y/o corrosión sobre los materiales que estén en contacto con la misma, tiene gran resistencia a todo tipo de uso, no es contaminante y se pueden elegir diferentes y novedosos colores.

Propiedades mecánicas

La silicona posee una resistencia a la tracción de 70 Kg/cm² con una elongación promedio de 400%. A diferencia de otros materiales, la silicona mantiene estos valores aun después de largas exposiciones a temperaturas extremas.

Propiedades Eléctricas

La silicona posee flexibilidad, elasticidad y es aislante, manteniendo sus propiedades dieléctricas aun ante la exposición a temperaturas extremas donde otros materiales no soportarían.

Biocompatibilidad

La biocompatibilidad de la silicona esta formulada por completo con la FDA Biocompatibility Guidelines para productos medicinales. Esta es inolora, insípida y no hace de soporte para el desarrollo de bacterias, no es corrosivo con otros materiales.

La silicona curada con platino consistente únicamente en un copolímero de dimetil y metilvinil siloxano reforzado con silicio térmicamente curado por platino, transcurido y altamente flexible bajo cualquier condición, lo que hace que califique dentro de la USP Clase VI referida a una batería de tesis biológicos definidos en USP XXIV-sección 88, usado por la FDA para aprobar artículos médicos. Gracias a su composición química, la silicona curada con Platino tienen la mayor transparencia y no son contaminantes.

Resistencia Química

La silicona resiste algunos químicos, incluyendo algunos ácidos, oxidantes químicos, amoníaco y alcohol izo propílico. La silicona se hincha cuando se expone a solventes no polares como el benceno y el

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

tolueno, retornando a su forma original cuando el solvente se evapora. Ácidos concentrados, alcalinos y otros solventes no deben ser usados con silicona.

Analisis Comparativo

Materiales	Comportamiento de cada material frente a la Silicona	Temperatura servicio, °C
Latex	Menor biocompatibilidad Menor transparencia Menores propiedades electricas	- 20 a + 120
PVC	Menores propiedades de esterilización Baja estabilidad ante temperaturas extremas Menor biocompatibilidad	- 40 a + 130
Poluretano y Vinilos	Menor elasticidad Menor biocompatibilidad Presencia de plastificantes y toxinas Menor transparencia	- 40 a + 160
EPDM	Baja repelencia al agua Cambios significantes ante temperaturas extremas Menor resistencia a la deformación por compresion Menor resistencia a la intemperie Menor vida útil	- 30 a + 140

Carlos Encina 518, Capital Federal, Argentina, C1408HAB | Tel: 4644-1612 | Fax: 4643-0727
E-mail: info@raholin.com | Web: www.raholin.com | Desarrollado por: Supercritica.com

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.3. Filtro Difusor



PLA-MET HT

Filtro metálico plano en fibra sintética.
Clase EN 779: F5

Descripción

Filtro construido mediante fibras de vidrio especiales para altas temperaturas y un velo de protección para evitar el desprendimiento de estas fibras, enmarcadas en un marco metálico con mallas en las dos caras del filtro

Características Técnicas

Media Filtrante:	Fibra de vidrio.
Marco y estructura:	Acero Galvanizado.
Eficacia Gravimétrica:	95 %
Δp Final Recomendada:	250 Pa
Temperatura:	300 °C



DIMENSIONES	CLASE	CAUDAL	Δp INICIAL	SUPERFICIE FILTRANTE
mm.		m ³ /h.	Pa	m ²
480x480x14	F5	3600	58	0.23

POL. IND. RIERA DE CALDES - De la Forja, 28 Nau C - 08184 PALAU-SOLITÀ I PLEGAMANS - Barcelona
Tel. 93 864 66 01 Fax 93 864 31 99 mtl@mrtsl.com www.mrtsl.com

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.4. Sellante O-ring

A continuación se muestran todos los materiales con los que se puede obtener los O-ring, entre todos ellos el elegido es el Viton.



Sealing Elements
Technical Handbook O-rings

We have over 130 different compounds for specific applications. Look at www.o-ring.info

6. Compound Selection

TABLE 3A-2 STANDARD ERIKS COMPOUNDS

Elastomer	Compound Number	Hardness Shore A±5	Temperature °C / °F	Application
Nitrile, NBR, Buna N	36624	70	-35 to +110 °C -31 to +230 °F	Hydraulic Oils, Vegetable Oils, Animal Fats, Acetylene, Alcohols, Water, Air, Fuels and many other products
	47702	90	-25 to +110 °C -13 to +230 °F	Chemical resistance of 36624 with higher hardness for higher pressure applications.
	Various			ERIKS is pleased to offer special compounds for special applications on request.
Ethylene Propylene, EPDM, EPM	55914	70	-55 to +130°C -67 to +266 °F	Advents, alcohols, ketones, esters, organic and inorganic acids, hydraulic fluids. Highly age resistant. Not recommended for animal fats, vegetable or mineral oils.
	55914PC	70	-50 to +150 °C -58 to +302 °F	Chemical resistance of 55914 with improved temperature range and compression set characteristics. Also for steam applications.
	55918PC	80	-50 to +150 °C -58 to +302 °F	Chemical resistance of 55914 with higher hardness for higher pressure applications.
	Various			ERIKS is pleased to offer special compounds for special applications on request.
Silicone, VMQ	714177	70	-55 to +230 °C -67 to +446 °F	For extremely high or low temperature range, air, oxygen, dry heat, ozone, hot water to 302 °F (150 °C), and glycol based brake fluids. Resistant to hydraulic fluids but is not resistant to many hydraulic fluid additives. Silicones and Fluorosilicones are recommended only for static applications.
Fluorosilicone, FVMQ	614002	70	-50 to +220 °C -58 to +434 °F	Chemical resistance as noted above, with additional resistance to fuels and paraffin based lubricants.
	Various			ERIKS is pleased to offer special compounds for special applications on request.
Fluorocarbon, FKM, Viton®	51414 black and green	70	-20 to +200 °C -4 to +392 °F	Good chemical resistance to oils, fats, fuels. Has very low compression set characteristics at high temperatures. Suitable for vacuum applications.
	514320 black and green	90	-20 to +200 °C -4 to +392 °F	Chemical resistance of 51414 with higher hardness for higher pressure applications.
	Various			ERIKS is pleased to offer a full more standard compounds for special applications on request.
Perfluorocarbon, FFKM, Kalrez® Spectrum™	6375	75	-3 to +275 °C +27 to +527 °F	Broadest range of chemical and temperature resistance for chemical processing industry. Suitable for acids, basics, amines amines, steam, ethylene oxide and many other aggressive chemicals.
	7075	75	-4 to +327 °C -25 to +621 °F	High temperature compound with superb compression set characteristics and improved resistance against steam and amines. Very suitable for temperature cycle applications
Kalrez®	4079	75	-2 to +316°C +28 to +600°F	High temperature compound with superb compression set characteristics and poor resistance against steam and amines. Suitable for temperature cycle applications.
FFKM, Kalrez®	Various			ERIKS is pleased to offer special compounds for special applications on request.
Tellex FEP PFA	FKM Core		-20 to +200 °C -4 to +392 °F	High thermal and chemical resistance. Not recommended for dynamic applications. Cannot be stretched in installation.
	VMQ Core		-60 to +200 °C -76 to +392 °F	Chemical resistance of FKM with improved compression set characteristics at low temperatures. Not recommended for vacuum applications due to high gas permeability.
	PFA Core		+260°C (PFA)	Not for dynamic applications.c

All the information in this documentation has been compiled with the greatest of care. Despite this we can bear no responsibility whatsoever for any errors present in the documentation. The recommendations are intended as guidelines. www.eriks.info

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)



6. Compound Selection

STANDARD ERIKS COMPOUNDS (WJLC-O-RINGS)

Elastomer	Hardness Shore A ± 5	Application
Silicone 75 FDA red 714006, 714206	75	For extremely high or low temperature range, air, oxygen, dry heat, ozone, hot water to 302 °F (150 °C), and glycol based brake fluids. Resistant to hydraulic fluids but is not resistant to many hydraulic fluid additives. Silicones and Fluorosilicones are recommended only for static applications. Food Quality FDA.
Fluorosilicone 75 Blue 614010	75	Solvents, alcohols, ketones, esters, organic and inorganic acids, hydraulic fluids. Highly age resistant. Not recommended for animal fats, vegetable or mineral oils.
EPDM 75 black 569303	75	Solvents, alcohols, ketones, esters, organic and inorganic acids, hydraulic fluids. Highly age resistant. Not recommended for animal fats, vegetable or mineral oils.
EPDM 75 FDA black 559187	75	Solvents, alcohols, ketones, esters, organic and inorganic acids, hydraulic fluids. Highly age resistant. Not recommended for animal fats, vegetable or mineral oils. Food Quality FDA/3A.
NBR 60 black 366304	60	Hydraulic Oils, Vegetable Oils, Animal Fats, Acetylene, Alcohols, Water, Air, Fuels and many other products.
NBR 75 black 366185	75	Hydraulic Oils, Vegetable Oils, Animal Fats, Acetylene, Alcohols, Water, Air, Fuels and many other products.
NBR 90 black 366303	90	Hydraulic Oils, Vegetable Oils, Animal Fats, Acetylene, Alcohols, Water, Air, Fuels and many other products.
HNBR 75 FDA black 886301	75	Better oil and temperature resistance than NBR.
PUR 75 black	75	Abrasion resistance.
AFLAS 75 black 223301	75	Highly steam resistant up to 200°C / 392°F
AFLAS 90 black 223302	90	Highly steam resistant up to 200°C / 392°F
Chloroprene 75 black	75	High ozone resistance.
Chloroprene 75 FDA black	75	High ozone resistance. Food Quality FDA.
Genuine Viton*	65-95	Large product family for different applications. The general-purpose types differ from the specialty types primarily in chemical resistance and low-temperature flexibility. In the specialty family, the choice is among types that are tailored for superior fluid resistance, low-temperature performance, or combinations of these properties. Learn more about the Viton® product family on the following pages.

All the information in this documentation has been compiled with the greatest of care. Despite this we can bear no responsibility whatsoever for any errors present in the documentation. The recommendations are intended as guidelines. www.eriks.info

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

El modelo de anillo elegido es el recomendado para roscas, la ficha técnica se muestra a continuación:



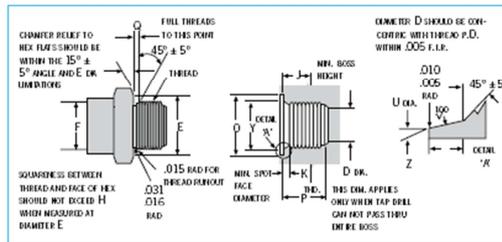
Sealing Elements
Technical Handbook O-rings

12. O-ring Gland Design

12 D. Gland Design for Static Boss Seals

O-ring boss Gaskets for Straight Thread Tube Fittings

The 900-series of dash numbers identify the size of boss seals. The digits after the 9 identify the nominal tube size in 16ths of an inch. The tube size is the outside diameter (OD). For example, size 903 is intended for use with 3/16-inch OD tube.



Boss Dimensions

AS 568 O-ring Size Nr.	Cross-section	I.D.	Tube Outside Ø	Thread	J min. THD Depth	D min.	U +.005 -.000	K +.015 -.000	Y min.	P min.	Z ±1°	Ø min.
-902	.064 ± .003	.239 ± .005	1/8	5/16-24 UNF-2B	.390	.062	.358	.074	.672	.468	12°	.438
-903	.064 ± .003	.301 ± .005	3/16	3/8-24 UNF-2B	.330	.125	.421	.074	.750	.468	12°	.500
-904	.072 ± .003	.351 ± .005	1/4	7/16-20 UNF-2B	.454	.172	.487	.093	.828	.547	12°	.563
-905	.072 ± .003	.414 ± .005	5/16	1/2-20 UNF-2B	.454	.234	.550	.093	.906	.547	12°	.625
-906	.078 ± .003	.468 ± .005	3/8	9/16-20 UNF-2B	.500	.297	.616	.097	.909	.609	12°	.688
-908	.087 ± .003	.644 ± .009	1/2	3/4-16 UNF-2B	.562	.301	.811	.100	1.188	.688	15°	.875
-910	.097 ± .003	.755 ± .009	5/8	7/8-14 UNF-2B	.656	.484	.942	.100	1.344	.781	15°	1.000
-912	.116 ± .004	.924 ± .009	3/4	1 1/16-12 UN-2B	.750	.609	1.148	.130	1.625	.906	15°	1.250
-913	.116 ± .004	.986 ± .010	13/16									
-914	.116 ± .004	1.047 ± .010	7/8	1 3/16-12 UN-2B	.750	.719	1.273	.130	1.765	.906	15°	1.375
-916	.116 ± .004	1.171 ± .010	1	1 5/16-12 UN-2B	.750	.844	1.368	.130	1.910	.906	15°	1.500
-920	.118 ± .004	1.475 ± .014	1 1/8	1 7/8-12 UN-2B	.750	1.078	1.713	.132	2.270	.906	15°	1.875
-924	.118 ± .004	1.720 ± .014	1 1/2	1 3/4-12 UN-2B	.750	1.312	1.962	.132	2.560	.906	15°	2.125
-932	.118 ± .004	2.337 ± .018	2	2 1/2-12 UN-2B	.750	1.781	2.587	.132	3.480	.906	15°	2.750

Fitting End Dimensions (MS33 656)

O-ring Size Nr.	Cross-section	I.D.	Tube Outside Ø	Thread	F +.002 -.003	D max.	U ± .010	K +.015 -.000
AS-902	.064 ± .003	.239 ± .005	1/8	5/16-24 UNF-2B	.250	.005	.549	.062
AS-903	.064 ± .003	.301 ± .005	3/16	3/8-24 UNF-2B	.312	.005	.611	.063
AS-904	.072 ± .003	.351 ± .005	1/4	7/16-20 UNF-2B	.364	.005	.674	.075
AS-905	.072 ± .003	.414 ± .005	5/16	1/2-20 UNF-2B	.426	.005	.736	.075
AS-906	.078 ± .003	.468 ± .005	3/8	9/16-20 UNF-2B	.481	.005	.799	.083
AS-908	.087 ± .003	.644 ± .009	1/2	3/4-16 UNF-2B	.660	.005	.985	.094
AS-910	.097 ± .003	.755 ± .009	5/8	7/8-14 UNF-2B	.773	.005	1.111	.107
AS-912	.116 ± .004	.924 ± .009	3/4	1 1/16-12 UN-2B	.945	.008	1.351	.125
AS-914	.116 ± .004	1.047 ± .010	7/8	1 3/16-12 UN-2B	1.070	.008	1.475	.125
AS-916	.116 ± .004	1.171 ± .010	1	1 5/16-12 UN-2B	1.195	.008	1.599	.125
AS-920	.118 ± .004	1.475 ± .014	1 1/8	1 7/8-12 UN-2B	1.507	.008	1.849	.125
AS-924	.118 ± .004	1.720 ± .014	1 1/2	1 3/4-12 UN-2B	1.756	.008	2.095	.125
AS-932	.118 ± .004	2.337 ± .018	2	2 1/2-12 UN-2B	2.381	.008	2.718	.125

All the information in this documentation has been compiled with the greatest of care. Despite this we can bear no responsibility whatsoever for any errors present in the documentation. The recommendations are intended as guidelines. www.eriks.info

9.5. Método de izaje

EUROCHAIN VL



Polipasto eléctrico de cadena
para cargas de 60 a 7.500 kg



Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Primer fabricante francés de aparatos de elevación

Primer fabricante Francés de aparatos de elevación, VERLINDE realiza la producción en gran serie de polipastos de cable, de cadena y de correa, cabrestantes, pescantes y componentes de puentes grúa en su fábrica de VERNUILLET. Desde el diseño, realizado en C.A.O. y D.A.O. hasta la realización, provenientes de un parque de máquinas que figuran entre las más modernas de Europa, asociada al know-how de hombres experimentados, cada aparato de elevación firmado por VERLINDE garantiza al usuario fiabilidad y calidad.



Nuevo estilo, nuevo concepto

VERLINDE presenta la EUROCHAIN VL, una gama de aparatos de elevación de alto rendimiento. De diseño lineal y compacto, el EUROCHAIN VL se puede adaptar a cada necesidad específica: capacidad de carga bien nivelada de 60 a 7500 kg, elevación de una o dos velocidades, dirección manual o eléctrica a 1 o 2 velocidad(es) o velocidad variable, altura de elevación, grupo F.E.M. 1 Bm, 2 m.

El EUROCHAIN VL, diseñado para aportar al usuario una máxima de seguridad, dispone de un limitador de par, de un freno de elevación de disco y en opción de un final de carrera. Es conforme a la directiva "CE" relativa a las máquinas 89/392/CEE.

El EUROCHAIN VL se presenta en:

- Fijo suspendido por gancho.
- Suspendido o acoplado a un carro de dirección manual.
- Acoplado a un carro EUROSISTEM.
- Acoplado a un carro de dirección eléctrica de 1 ó 2 velocidad(es) o a un variador de velocidad.

Además, el EUROCHAIN VL puede recibir numerosas opciones.



Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

EUROCHAIN VL

Polipasto eléctrico de cadena para cargas de 60 a 7.500 kg

Opciones

El EUROCHAIN VL puede estar equipado de numerosas opciones y puede ser objeto de adaptaciones específicas:

- Final de carrera eléctrica alta y baja.
- Alimentación no estándar.
- Contador horario.
- Mandos a distancia radio o infrarrojo tipo EUROMOTE.
- Protección IP55 en dirección.
- Limtherme en motor de elevación y o dirección.
- Final de carrera de dirección.
- Carro de dirección con bogies.
- Carro de dirección de altura perdida reducida.
- Aparejos sincronizados gemelos.
- Cadena de elevación y gancho de elevación de acero inoxidable.
- Cadena autolubrificada.
- Caja con botón en manipulador DIGICHAIN.
- Techo de protección contra la lluvia.
- Aparejo conforme a la norma VGB70. (BGVC1)
- Aparejo antideflagrante.
- Final de carrera con levas.
- Doble freno.
- Rodamiento codificador sobre arillo distanciador de elevación.
- Techo de protección contra la lluvia.
- Versión Stagemaker para el espectáculo.



Definición del grupo FEM



Directiva CE. Desde el 1ro de enero de 1995 la norma "CE" relativa a las máquinas 89/392/CEE, impone a los fabricantes de máquinas amonazar su producción en función de algunas disposiciones, normas, reglas nacionales y especificaciones técnicas.

Cada aparato VERLUNDE está marcado "CE" y se suministra con "un certificado de conformidad CE" (anexo IIA) con un certificado de incorporación (anexo IIB).

FEM: Federación Europea de la Manipulación.

SWP: Safe Working Period. Traducción para: "Período de trabajo en total seguridad" de la unidad de elevación se determina en función del tiempo medio de utilización del mecanismo de elevación, del espectro de carga y del grupo de utilización. Después de este período, es necesaria una revisión general prescrita por el fabricante.

Grupo de utilización. Según la clasificación de la FEM, hay que tomar en cuenta dos criterios fundamentales: el estado de sollicitación del aparejo y las dosis de funcionamiento (vinculadas al tiempo medio de utilización cotidiano y al movimiento de elevación del aparato).

Norma ISO. Los grupos de utilización también se pueden definir en grupo ISO (1Am = M4, 2m = M5, 3m = M6, etc.).

Estado de sollicitación. Servicio ligero. Aparato sometido excepcionalmente a la sollicitación máxima y corrientemente a sollicitaciones muy bajas. **Servicio medio.** Aparato sometido, con bastante frecuencia, a la sollicitación máxima y corrientemente a sollicitaciones bajas.

Servicio pesado. Aparato sometido con frecuencia a la sollicitación máxima y corrientemente a sollicitaciones medias. Servicio muy pesado. Aparato sometido regularmente a sollicitaciones cercanas a la sollicitación máxima.

Tiempo medio diario de funcionamiento en horas		0,5		1		2		4		8		16	
Clasificación de funcionamiento		V0,25	T2	V0,5	T3	V1	T4	V2	T5	V3	T6	V4	T7
Estado de sollicitación	1 L1 Ligero					1Bm	M3	1Am	M4	2m	M5	V4	M6
	2 L2 Medio			1Bm	M3	1Am	M4	2m	M5	3m	M6		
	3 L3 Pesado	1Bm	M3	1Am	M4	2m	M5	3m	M6				
	4 L4 Muy pesado	1Am	M4	2m	M5	3m	M6						
Grupo						1Bm	M3	1Am	M4	2m	M5	3m	M6
Factor de marcha*						25 %		30 %		40 %		50 %	
Cantidad de arranques por hora						150		180		240		300	

■ Clasificación normas F.E.M. 9511 ■ Clasificación normas ISO.

* Factor de marcha en % = $\frac{\text{Tiempo de subida} + \text{Tiempo de bajada}}{\text{Tiempo de subida} + \text{Tiempo de parada} + \text{Tiempo de bajada} + \text{Tiempo de parada}} \times 100$

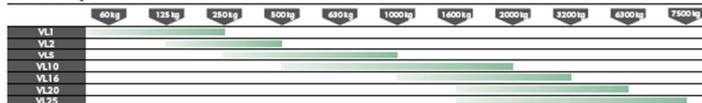
Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

EUROCHAIN VL

Polipasto eléctrico de cadena para cargas de 60 a 7.500 kg

Características técnicas											
Capacidad (kg)	Tipo de apoyo	E.E.M.	Velocidad de elevación (m/min)	Cantidad de cables	Potencia del motor de elevación (kW)	Fija suspensión por gancho	Ciclo de elevación				Cadena 606 HMM ² (mm)
							momento por empuje	por cadena	1 velocidad	2 velocidades	
60	VL1 061 b1	1Bm	16/4	1	0,20,05	*	*	*	*	*	3,1 x 9,3
	VL1 068 b2	2m	8/2	1	0,20,05	*	*	*	*	*	3,1 x 9,3
80	VL1 128 b1	1Bm	8/2	1	0,20,05	*	*	*	*	*	3,1 x 9,3
	VL1 124 b2	2m	4/1	2	0,20,05	*	*	*	*	*	3,1 x 9,3
	VL2 124 m2	2m	4	1	0,4	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL2 128 b2	2m	8	1	0,4	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
125	VL2 128 m2	2m	8/2	1	0,40,1	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL2 1216 b2	2m	16/4	1	0,80,2	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL1 254 b1	1Bm	4/1	2	0,20,05	*	*	*	*	*	3,1 x 9,3
	VL2 254 m1	1Bm	4	1	0,4	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL2 258 m1	1Bm	8	1	0,4	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL2 258 b1	1Bm	8/2	1	0,40,1	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
250	VL5 251 b1	1Bm	16/4	1	0,80,2	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL5 254 b2	2m	4/1	2	0,40,1	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL5 254 m2	2m	4	1	0,4	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL5 258 m2	2m	8	1	0,8	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL5 258 b2	2m	8/2	1	0,80,2	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL2 504 m1	1Bm	4	2	0,4	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL2 504 m1	1Bm	4	1	0,4	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL2 504 b1	1Bm	4/1	2	0,40,1	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
500	VL5 508 m1	1Bm	8	1	0,8	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL5 508 b1	1Bm	8/2	1	0,80,2	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL10 504 b1	1Bm	16/4	1	1,70,4	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL5 502 m2	2m	2	2	0,4	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL5 504 m2	2m	4	2	0,8	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL5 504 b2	2m	4/1	2	0,80,2	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL10 504 m2	2m	4	1	0,8	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL10 508 m2	2m	8	1	1,70,4	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL10 508 b2	2m	8/2	1	1,70,4	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL5 1002 m1	1Bm	2	2	0,8	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
1000	VL5 1004 m1	1Bm	4	2	0,8	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL5 1004 b1	1Bm	4/1	2	0,80,2	*	*	*	*	*	4,8 x 12,7
	VL10 1008 m1	1Bm	8	1	1,7	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL10 1004 m2	2m	4	2	1,7	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL10 1008 b1	1Bm	8/2	1	1,70,4	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL10 1004 b2	2m	4/1	2	1,70,4	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL16 1008 b2	2m	8/2	1	3,50,9	*	*	*	*	*	9 x 27
	VL10 1602 m1	1Bm	2	2	0,8	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
1600	VL10 1604 m1	1Bm	4	2	1,7	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL10 1604 b1	1Bm	4/1	2	1,70,4	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL16 1608 b1	1Bm	8/2	1	3,50,9	*	*	*	*	*	9 x 27
	VL25 1608 b2	2m	6,2/1,6	1	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
2000	VL10 2002 m1	1Bm	2	2	0,8	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL10 2004 m1	1Bm	4	2	1,7	*	*	*	*	*	6,8 x 17,8
	VL16 2004 b2	2m	4/1	2	3,50,9	*	*	*	*	*	9 x 27
	VL20 2008 b1	1Bm	8/2	1	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
2500	VL16 2504 b1	1Bm	4/1	2	3,50,9	*	*	*	*	*	9 x 27
	VL20 2504 b2	2m	4/1	2	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
3200	VL25 2506 b1	1Bm	6,2/1,6	1	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
	VL16 3204 b1	1Bm	4/1	2	3,50,9	*	*	*	*	*	9 x 27
4000	VL25 3202 b2	2m	3,2/0,75	2	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
	VL20 4004 b1	1Bm	4/1	2	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
5000	VL20 4002 b1	2m	2,7/0,7	3	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
	VL25 5002 b1	1Bm	3,2/0,75	2	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
6000	VL25 5002 b2	2m	2,1/0,5	3	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
	VL20 6002 b1	1Bm	2,7/0,7	3	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31
7500	VL25 7502 b1	1Bm	2,1/0,5	3	3,50,9	*	*	*	*	*	11,3 x 31

Gama de carga



Explicaciones de las codificaciones del EUROCHAIN VL

VL5	250	8	b	2
Tipo de cuerpo del soporte	Carga (kg)	Velocidad de elevación	Doble velocidad	Grupos de utilización: 1 = 1 Bm, 2 = 2 m

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.6. Intercambiador de calor de Carcasa y tubos

Basco/Whitlock Type AHT

API Heat Transfer

All 316 Stainless Steel, Straight Tube, Fixed Tube Sheet



Basco/Whitlock Type AHT Stainless Steel Heat Exchangers are available from 2" thru 12" in diameter and up to 96" long.

High Efficiency - Low Cost

Type AHT heat exchangers feature all 316 Stainless Steel shell construction. They are especially suited for applications involving corrosive vapors and liquids and offers high strength and thermal efficiency. Available in fixed or removable U-tube designs. Models available with ASME Code Stamp.

Product Nomenclature

Size...
R - V - 1A
 Shell Tube Tube
 Dia. OD Length
 Type...
AHT - 1 - A - SS
 Core Tube Baffle Bonnet
 Assy Pass Space Mat

Materials of Construction

Shell 316 Stainless Steel
 Tubes 316 Stainless Steel
 Tube Sheet 316 Stainless Steel
 Bonnets Cast 316 Stainless Steel
 Cast Iron, Cast Bronze
 Baffles 316 Stainless Steel
 Bolting Alloy Steel
 Gaskets Compressed Fiber
 Brackets Steel

Standard Ratings

Design Pressure Std Units 10" & 12"
 Shell Side 240 psi ... 150 psi
 Tube Side 200 psi ... 150 psi
Design Temp 400°F 400°F
Test Pressure
 Shell Side 360 psi, 2,482 kPa
 Tube Side 300 psi, 2,068 kPa

Common Specifications...

Type AHT Heat Exchangers									
Model	Shell Dia.	Tube Length	Surface			Connection Size			
			1/4"	3/8"	5/8"	Shell	1-Pass	2-Pass	4-Pass
2-8		8	1.3						
2-12	2-1/8"	12	2.0			3/4	3/4	N/A	N/A
2-18		18	3.0						
2-24		24	4.0						
3-4		4	2.8	1.8					
3-12		12	4.1	2.8					
3-14	3-1/2"	14	4.0	3.2		1	1-1/2	1	3/4
3-18		18	6.2	4.1					
3-24		24	8.4	5.5					
3-30		30	10.4	6.9					
4-12		12	7.6	5.1					
4-14		14	8.8	5.9					
4-18	4-1/8"	18	11.4	7.6		1-1/2	2	1-1/4	1
4-24		24	15.2	10.2					
4-30		30	19.0	12.7					
4-36		36	22.8	15.3					
5-12		12	12.0	8.2					
5-14		14	14.1	9.0					
5-18	5-1/8"	18	18.1	12.4		1-1/2	2-1/2	1-1/2	1
5-24		24	24.1	16.5					
5-30		30	30.2	24.7					
6-18		18	27.9	18.3					
6-24		24	37.2	24.4	11.8				
6-36	6-1/8"	36	55.8	38.5	17.7	2	3	2	1-1/2
6-48		48	76.4	48.7	23.0				
6-60		60	93.0	60.8	29.4				
8-24		24	62.4	42.4	24.8				
8-36		36	93.5	63.6	37.3				
8-48	8-1/8"	48	124.7	84.9	49.7	3	4	2-1/2	2
8-72		72	187.1	127.2	74.6				
8-96		96	249.4	169.6	99.5				
10-36		36		103.7	54.9				
10-48	10-3/4"	48		138.3	73.3	4	5	3	2-1/2
10-60		60		172.8	91.6				
10-72		72		207.4	109.9				
12-36		36		155.5	90.3				
12-48	12-3/4"	48		207.4	120.4	4	6	3	2-1/2
12-60		60		250.2	150.5				
12-72		72		311.1	180.6				

9.7. Intercambiador Eléctrico

CALENTADORES DE PROCESAMIENTO/INTERCAMBIADORES DE CALOR ELÉCTRICOS(ATEX y NO ATEX)

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Los calentadores eléctricos con brida o tapón (racor roscado) instalados en una botella presurizada con o sin aislamiento, se denominan calentadores de procesamiento o intercambiadores de calor eléctricos y se realizan para responder a las más variadas aplicaciones industriales en ámbito de calefacción de líquidos, aire o gases.



Este tipo de calentadores garantiza óptimas prestaciones y eficiencia para mantener la temperatura de consistentes volúmenes de fluidos en circulación forzada: agua, aceites industriales (combustible, térmico), gas y aire.

Los elementos calefactores que componen el haz tubular pueden plegarse en forma de "U" o con doble vuelta.

Estos calentadores pueden instalarse en posición horizontal o vertical, para el calentamiento por contacto directo de fluidos destinados a los más variados empleos en los principales sectores industriales. Estos productos son la mejor solución para el calentamiento de líquidos en convección forzada, porque constan de resistencias eléctricas blindadas que se aplican en contacto directo con el líquido a calentar.

El intercambio térmico es garantizado por el uso de tabiques diseñados especialmente para aprovechar al máximo el calor producido por las resistencias eléctricas.

El uso de materiales de primera calidad en nuestro ciclo de producción hace que nuestros calentadores eléctricos de procesamiento puedan llegar a alcanzar altas temperaturas de funcionamiento y una vida útil de mediana-larga duración.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

APLICACIONES

Estos calentadores garantizan un óptimo intercambio térmico incluso en muy poco espacio, a la vez que controlan con gran precisión la temperatura del líquido en salida, sobre todo si la potencia es gobernada por un sistema de control SCR (Solid Control Relais).

Para diseñar un eficiente calentador eléctrico para inmersión con brida es necesario conocer los siguientes parámetros técnicos:

- Lugar/Ambiente de instalación (seguro o en atmósfera explosiva)
- Dimensiones máximas de la resistencia + la manta térmica tanque/cuba que deberá contener el calentador
- Tipo de fluido a calentar (detallar sus características físicas, químicas y termodinámicas)
- Temperatura y presión de funcionamiento
- Temperatura y presión de proyecto
- Caudal del fluido en Nm³/h

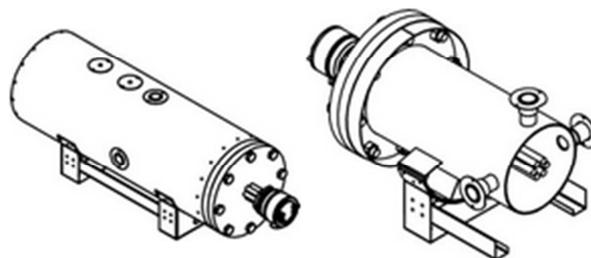
La temperatura superficial de los elementos instalados en la batería depende de la temperatura del aire en salida y de la densidad superficial (W/cm^2), así como del tipo y caudal del fluido (aire o gas) en metros por segundo (m/s).

Para garantizar la idoneidad de estos productos a la instalación en ambientes con peligro de deflagración, las conexiones eléctricas están protegidas por una o varias cubiertas o tapas herméticas especiales para atmósferas explosivas.

Los elementos calefactores blindados instalados en estos calentadores especiales han sido diseñados y colocados con una disposición especial para optimizar el intercambio térmico.

La temperatura superficial de los elementos depende de la temperatura del aire de salida necesaria para la aplicación específica y de la carga superficial admitida por la misma (W/cm^2), así como, naturalmente, del tipo de fluido a calentar y de su caudal, medido en metros por segundo (m/s) o en metros cúbicos por hora (m³/h).

La tapa de las conexiones eléctricas es la zona del calentador más sometida a la acción de la aplicación peligrosa. Cada intercambiador de calor eléctrico de este tipo puede tener una o varias tapas de conexiones antideflagrantes homologadas ATEX, o sea aptas al uso en atmósferas explosivas.



Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Estamos en condiciones de fabricar calentadores de procesamiento con tapa de conexiones antideflagrante homologada ATEX (certificada para el uso en atmósferas explosivas, Zona 1 y 2 – II2G/D ATEX), dotadas de la marca CE y realizadas de conformidad con las recientes normativas CEI y CENELEC.

Esta tipología de calentadores eléctricos se fabrica con materiales de excelente calidad, como el acero al carbono y el acero inoxidable AISI-304, AISI-321, AISI-316 e Incoloy 800 (tubo de los elementos calefactores) y el acero galvanizado (FeZn) o el acero inoxidable AISI-304/316 (estructura o chasis de contención de los elementos y tapa de protección de los contactos eléctricos IP65-IP66, así como las entradas tipo NPT o GAS de alimentación de las etapas de potencia y de los dispositivos de regulación térmica.

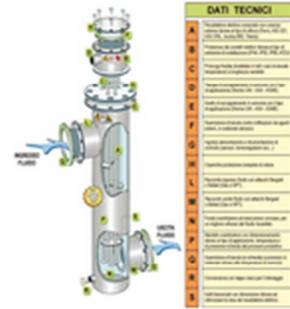
Usos más comunes

- Calentamiento de líquidos en convección forzada (aire, aceite, agua, aceite diatérmico, gasóleo) en atmósfera segura (no ATEX)
- Calentamiento de líquidos en convección forzada (biogas, metano, gases de procesamiento)
- Instalaciones de regeneración de gas
- Instalación de recuperación de gases peligrosos
- Torres de refrigeración para uso en ambientes con o sin atmósfera explosiva
- Instalaciones petroquímicas
- Plantas nucleares, refrigeración de reactores nucleares

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

DATOS TÉCNICOS

Esta tipología de calentadores consiste en un haz tubular formado por varios elementos calefactores eléctricos de varios diámetros, normalmente plegados en "U" o con doble vuelta, dispuestos en forma perpendicular a la salida de los contactos eléctricos. Cada elemento calefactor está soldado mediante método TIG o "brazing" en aleación de plata sobre bridas unificadas DIN y ANSI, o bien sobre cabezales con brida de formato no unificado cuyo tamaño varía en función de la presión y la temperatura de funcionamiento.



Las conexiones eléctricas están protegidas dentro de cajas o tapas estándar de acero al carbono o acero inoxidable IP55/IP56, así como pueden contar con tapas antideflagrantes ATEX especiales para el empleo en atmósferas explosivas.

Classe Temp. ATEX / ATEX Temp. Class												
'T6': 85°C 'T5': 100°C 'T4': 135°C 'T3': 200°C 'T2': 300 'T1': 450°C												
Lungh. Z.N. / Cold zone Lg.	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
300 mm	T6	X	T4	X	T3	X	T3	X	T2	X	T2	X
250 mm	T6	X	T4	X	T3	X	T3	X	T2	X	T2	X
200 mm	T6	X	T4	X	T3	X	T3	X	T2	X		-
150 mm	T6	X	T4	X	T3	X		-		-		-
100 mm	T6	X	T4	X	T3	X		-		-		-
0 mm	T6	X		-		-		-		-		-
Temp. Lavoro / Working Temp.	0°C		100°C		150°C		200°C		250°C		300°C	
Legenda: A = Classe Temp. / Temp. Class B = Ex-proof head Temp.-proof allowance (X)= Yes (-)= Not												

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Equipados con eficaces dispositivos de regulación térmica (termostatos de control con escala de temperatura regulable y rearme automático o manual, termostatos de seguridad superficial con seccionamiento, resistencias térmicas PT100 y/o termopares "J" o "K"), son ideales para proteger el calentador del riesgo de recalentamiento y, por consiguiente, de un eventual daño precoz del mismo. Sobre pedido del cliente, adaptamos también la medida de las entradas de alimentación eléctrica (NPT o GAS) en la tapa de las conexiones según la cantidad de elementos calefactores así como en función de la potencia y la corriente, que determinan la sección de los cables.

La carga superficial (W/cm^2) de estos tipos de resistencias eléctricas se elige en base a las condiciones de empleo específicas y al tipo de líquido a calentar; además de estos factores también se considera la temperatura máxima y el ambiente de funcionamiento, variables que influyen en la elección del material de la vaina con la que se construye el haz tubular de estos calentadores (acero al carbono, acero inoxidable AISI 304, AISI 309, AISI 321, AISI 316L, Incoloy 800-825, Inconel 600 o titanio).

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.8. Tuberías

Pulgadas		Norma ASTM													
		Espesores de la Tubería ASTM (mm)													
Dámetro Exterior	STD	XS	XXS	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40	SCH 60	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160		
1/8"	10,3	1,73	2,14				1,73		2,41						
1/4"	13,7	2,24	3,02				2,24		3,02						
3/8"	17,1	2,31	3,20				2,31		3,20						
1/2"	21,3	2,77	3,73	7,47			2,77		3,73				4,78		
3/4"	26,7	2,87	3,91	7,82			2,87		3,91				5,56		
1"	33,4	3,38	4,55	9,09			3,38		4,55				6,35		
1 1/4"	42,2	3,56	4,85	9,70			3,56		4,85				6,35		
1 1/2"	48,3	3,68	5,08	10,16			3,68		5,08				7,14		
2"	60,3	3,91	5,54	11,07			3,91		5,54				8,74		
2 1/2"	73,0	5,16	7,01	14,02			5,16		7,01				9,52		
3"	88,9	5,49	7,62	15,24			5,49		7,62				11,12		
3 1/2"	101,6	5,74	8,08				5,74		8,08						
4"	114,3	6,02	8,56	17,12			6,02		8,56		11,13		13,49		
5"	141,3	6,55	9,52	19,05			6,55		9,52		12,70		15,87		
6"	168,3	7,11	10,97	21,95			7,11		10,97		14,27		18,24		
8"	219,1	8,18	12,70	22,22		6,35	7,04	8,18	10,31	12,70	15,06	18,24	20,62	23,01	
10"	273,0	9,27	12,70		6,35	7,80	9,27	12,70	15,06	18,24	21,41	25,40	28,57	33,32	
12"	323,8	9,53	12,70		6,35	8,38	10,31	14,27	17,45	21,44	25,40	28,57	33,32	35,71	
14"	355,6	9,53	12,70		6,35	7,92	9,53	11,13	15,06	19,05	23,83	27,79	31,75	35,71	
16"	406,4	9,53	12,70		6,35	7,92	9,53	12,70	16,66	21,44	26,19	30,96	36,53	40,49	
18"	457,2	9,53	12,70		6,35	7,92	11,13	14,27	19,05	23,83	29,36	34,93	39,67	45,24	
20"	508,0	9,53	12,70		6,35	9,53	12,70	15,09	20,62	26,19	32,54	38,10	44,45	50,01	
24"	609,6	9,53	12,70		6,35	9,53	14,27	17,48	24,61	30,96	38,89	46,02	52,37	59,54	
30"	762,0	9,53	12,70		7,92	12,70	15,88								

Características

CALIDAD: A 53-07 / A 106-06 / ARSL 2007 - GRB / X42 hasta 6". Posibilidad de otras calidades
 SUPLENIS TRO: Largos comerciales y largos dobles
 TOLERANCIAS: Según normas aplicables
 CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN: EN 10204 3.1.B Otros ensayos y homologaciones, previa consulta
 CONDICIONES TÉCNICAS DE SUMINISTRO: Los tubos estarán marcados con pintura indeleble y tendrán al menos los siguientes datos:
 Anagrama del fabricante, norma, dimensiones y número de colada
 ACABADO: En negro. Posibilidad de suministro con diferentes tratamientos y acabados superficiales

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Norma ASTM

Pesos de la Tubería ASTM (Kg/m)														
Pulgadas	Diámetro Exterior	STD	XS	XXS	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40	SCH 60	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160
1/8"	10.3	0.36	0.46					0.36		0.46				
1/4"	13.7	0.63	0.80					0.63		0.80				
3/8"	17.1	0.85	1.10					0.85		1.10				
1/2"	21.3	1.27	1.62	2.55				1.27		1.62				1.94
3/4"	26.7	1.68	2.19	3.63				1.68		2.19				2.90
1"	33.4	2.50	3.23	5.45				2.50		3.23				4.18
1 1/4"	42.2	3.38	4.46	7.76				3.38		4.46				5.58
1 1/2"	48.3	4.05	5.41	9.55				4.05		5.41				7.22
2"	60.3	5.44	7.49	13.45				5.44		7.49				11.08
2 1/2"	73.0	8.68	11.42	20.41				8.68		11.42				14.88
3"	88.9	11.29	15.27	27.67				11.29		15.27				20.98
3 1/2"	101.6	13.57	18.63					13.57		18.63				
4"	114.3	16.07	22.31	41.02				16.07		22.31		28.25		33.48
5"	141.3	21.78	30.95	57.42				21.78		30.95		40.24		49.11
6"	168.3	28.26	42.56	79.18				28.26		42.56		54.20		67.22
8"	219.1	42.55	64.63		33.03	36.72	42.53	52.88	64.63	75.80	90.32	101.04	111.32	
10"	273.0	60.29	81.46		41.70	50.96	60.29	81.46	95.95	114.59	132.74	154.94	172.14	
12"	323.8	73.82	97.36		49.81	65.07	79.67	108.97	131.70	159.52	186.77	208.90	238.11	
14"	355.6	81.28	107.26		54.63	67.95	81.28	94.31	126.49	157.94	194.82	224.42	253.14	281.38
16"	406.4	93.21	123.30		62.58	77.89	93.21	123.18	159.98	203.16	245.323	286.44	332.62	364.85
18"	457.2	105.14	139.07		70.53	87.81	122.12	155.90	205.62	254.19	309.444	363.19	408.01	459.18
20"	508.0	117.07	154.97		78.47	117.07	154.97	183.12	247.79	310.90	381.04	440.93	507.54	564.14
24"	609.6	140.94	186.75		94.37	140.94	209.54	254.74	354.64	441.10	546.92	639.18	718.94	808.20
30"	762.0				147.33	234.44	291.81							

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.9. Bomba



18 Frame Block-Style Stainless Steel Triplex Plunger Pump

Model **1810**

FEATURES

Triplex plunger design provides smooth liquid flow.

Oil bath crankcase assures optimum drive-end lubrication.

Close tolerance concentricity of the ceramic plungers maximizes seal life.

Precision stainless steel seat and ceramic ball provide true sphericity and long life.

Stainless Steel Block-Style manifolds provide strength and corrosion resistance.

Optional 15,000 PSI Relieve Valve, Rupture Disc and Pressure Gauge.

SPECIFICATIONS

Flow..... 3 GPM [11.5 L/M]
 Pressure..... 10,000 PSI [700 BAR]
 RPM..... 1500 RPM [1500 RPM]
 Bore..... 0.433" [11 mm]
 Stroke 1.181" [30 mm]
 Inlet Pressure FLOODED-60 PSI [FLOODED-4 BAR]
 Max. Temperature... 140 F [60 C]
 Inlet Ports [2]... ½" NPTF [½" NPTF]
 Discharge Port.[3] 3/8" MP* [3/8" MP]
 Weight 60 LBS [27.3 kg]
 Dimensions... 19.53X12.99X6.44" [496X330X163.5 mm]

* Autoclave Engineering Medium Pressure

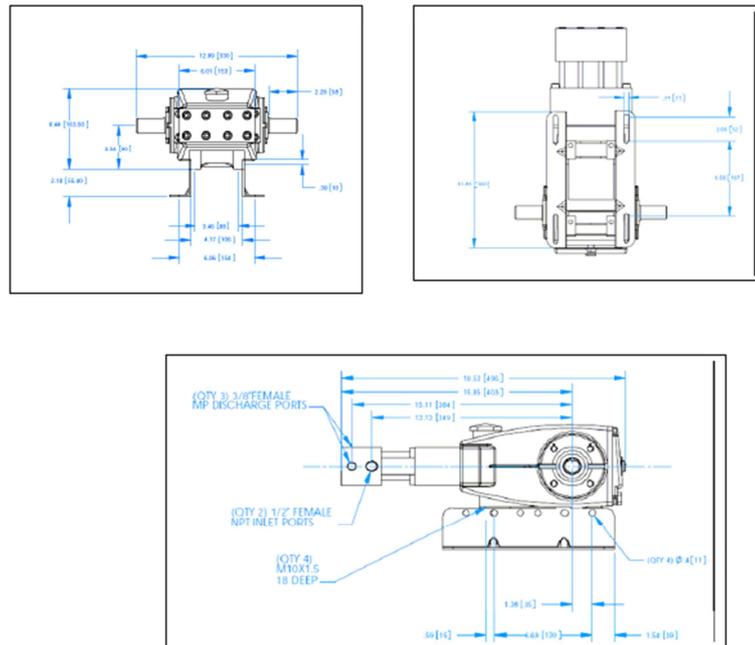
ELECTRIC HORSEPOWER REQUIREMENTS

FLOW		5000 PSI	7500 PSI	10000 PSI	RPM
GPM	L/M	3.45 BAR	5.18 BAR	7.00 BAR	
3	11.5	10.3	15.5	20.6	1500
2	7.6	6.9	10.3	13.8	1000

1681 94th Lane NE, Minneapolis, MN 55449 P-763-780-5440 F-763-780-2958

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Dimensional View



Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.10. Sistema de válvulas

Como válvulas manuales se han elegido:

Válvula de alta presión Serie 4 (EEUU)

Marcas:

Worcester Controls

Industrias:

Auxiliar, Automotriz
y Aeronáutica,
Tratamiento del
agua,
Abastecimiento y
distribución de agua,
Solventes

La Serie 4 de Flowserve Worcester es una válvula de 3 piezas resistente diseñada para manejar aplicaciones de alta presión más allá de las capacidades de la línea de válvulas Serie 44, sobre ANSI Clase 600. El exclusivo diseño de asiento garantiza un cierre hermético bidireccional y se ajusta automáticamente a los cambios de presión y variaciones de temperatura y el desgaste.

Disponibles a través de una amplia red de distribuidores a nivel nacional, las válvulas de bola de cuarto de vuelta Serie 4 y los repuestos están almacenados y listos para ser adaptados a cada aplicación.

Las características que hacen que esta válvula de bola sea resistente y confiable sea tan exclusiva incluyen cierre hermético, flujo de dos vías continuo, asientos Lubetal, una variedad de conexiones de extremo intercambiables, construcción de 3 piezas oscilante y un diseño listo para automatización.

ASPECTOS TÉCNICOS

Rango de tamaño de las válvulas de 1/4" a 2", presión de servicio 1/4"-3/4" 3000 psi, 1" 2500 psi y 1 1/4" a 2" 2000 psi. Los materiales incluyen CS, inoxidable. Los asientos son Lubetal con una especificación máxima de temperatura de 180F. Las conexiones de extremo incluyen SE, BW, SW y SWO

BH/4-04

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Características

- Capacidad de alta presión respecto de la Serie 44
 - Asientos autoajustables con cierre hermético bidireccional
 - Diseño oscilante de 3 piezas para mantenimiento en línea sencillo
 - Los materiales de revestimiento especiales disponibles incluyen Monel, A-20 y Hast C
 - Diseñado para automatización
-

Las electroválvulas elegidas son las siguientes:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

2200

bürkert
FLUID CONTROL SYSTEMS

2/2-way Solenoid Valve for higher pressures, G 1/4



- Pressure range up to 250 bar
- Direct-acting, normally closed and normally open
- Electrical connection cable plug Form A
- Also available with ATEX approval

Type 2200 can be combined with...



Type 1078
Timer unit

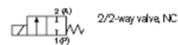


Type 2508
Cable plug

The direct-acting valve Type 2200 is delivered with circuit function normally closed. The valve is especially developed for high pressures.

The characteristic of the valve construction is the seat design and the sealing element. The conical sealing element allows the switching at high pressures with relative low coil capacity and seal setting.

Circuit function A



on request

Circuit function B



Technical data

Port connection	G 1/4
Orifice	DN 1.2 - 2.0
Body material	Stainless steel 1.4401
Coil material	Epoxy
Coil insulation class	H
Seal material	Stainless steel/PCTFE
Media	Neutral gases and liquids
Media temperature	-10° to +130°C
Ambient temperature	max. +55°C
Viscosity	max. 21 mm ² /s
Operating voltage	24V DC, 24 / 230 V / 50 Hz other voltages on request
Voltage tolerance	±10%
Cycling rate	max. 100/min.
Duty cycle	100% continuous rating
Electrical connection	DIN EN 175301-803 Form A for cable plug Type 2508
Protection class	IP65 with cable plug
Installation	As required, preferably with actuator in upright position

DTS 1000104052 EN, Version: • Status: RL (released) | freigegeben | validat: 20.08.2013

www.burkert.com

p. 1/3

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

2200

bürkert

Technical data, continued

Power consumption

Voltage AC			Voltage DC	
Power consumption				
Inrush [VA]	Hold (hot coil) [VA]	Hold (hot coil) [W]	Power consumption (hot / cold coil) [W]	
85	48	14	14 / 18	

Response times

Response times	
AC and DC Opening [ms]	Closing [ms]
20-30	20-30

Response times [ms]:
Measured at valve coil at 6 bar and +20 °C
Opening: pressure build-up 0 to 100%,
closing: pressure relief 100 to 10%

Ordering chart for valves (further versions on request)

Valves with stainless steel body, seal material stainless steel/PCTFE, with cable plug

Circuit function	Port connection	Orifice [mm]	Kv value water [m³/h]	Pressure range [bar]p	Weight [kg]	Item no. per voltage/frequency		
						024/DC	024/50	230/50
A 2/2-way valve, NC (2 K)	G 1/4	1.2	0.03	0-200	1.22	000 487	000 730	000 474
		2.0	0.09	0-100	1.22	-	000 673	000 630

*1 Measured at +20 °C, 1 bar pressure at valve inlet and free outlet.
*2 Kv-pressure with respect to atmospheric pressure.

Further versions on request

- Port connection
T Threaded port G 1/2, NPT 1/4
- Circuit function
S Normally open
- Voltage
Non-standard voltages
- Approvals
ATEX, EEx d IIC T4

Materials

Locknut	DIN 176 sSn Pb 28K thick-film-passivated
Coil	Epoxy
Stopper	Stainless steel 1.4105
Shading ring	Silber
Spring	Stainless steel 1.4310
Plunger	Stainless steel 1.4105
Guide tube	Stainless steel 1.4071
O-Ring	FKM
Nipple	Stainless steel 1.4305
Conical nipple	Stainless steel 1.4071
Seat	PCTFE
Body	Stainless steel 316L (1.4401)

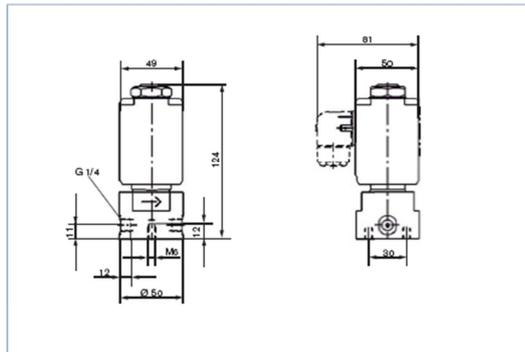
p. 2/3

DTS 1000104652 EN Version - Status: RL (released) | freigegeben | validat | printed: 20.08.2013

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)



Dimensions [mm]



To find your nearest Bürkert facility, click on the orange box → www.burkert.com

In case of special application conditions,
please consult for advice.

We reserve the right to make technical changes without notice.
© Christian Bürkert GmbH & Co. KG

08021_EU-en_00896069

p. 3/3

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.11. Tanques de Almacenamiento

Products

Kettles & Tanks



Name: Carbon Steel Storage Tank
Category: Kettles & Tanks
Model: STC Series
Capacity: 1-200 m³

Intro

Carbon Steel Storage Tank is widely used in industries such as petroleum, chemical industry, paint & printing ink, pharmacy, food etc to store liquids or powders. It is generally in two kinds: Horizontal and Vertical.

Main Features

- 1.SIEHE company provides various stainless steel storage tanks. If required, it can be jacketed for heating or cooling, pressurized or vacuumized or with agitator etc..
- 2.We also have rich application experience in measurement and control of the materials in the storage tanks.
- 3.The outside surface is coated with anti-rust paint.

Seal

Mechanical Seal, Packing Seal, Hermetic Seal, Rubber Lip Seal

Heating/Cooling

Heating: Electric heating, steam heating, hot water circulation heating, Hot oil circulation heating etc..

Cooling: jacket cooling or limpet coil inside/outside the kettle.

Remarks

Welcome to consult with our sales engineers. Together with application engineers, they will provide you with a most reasonable scheme.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.12. Filtro para reutilización del Dióxido de Carbono

A5R-6C04-023



DESCRIPTION	VALUE
PRODUCT TYPE	FILTER COMPRESSED AIR AND GAS
PORT/CONNECTION	1/8"
FLOW RATE	8.4 scfm@100 psig
FILTER RATING	Grade 6
PRESSURE RATING	1000 psig
HOUSING MATERIAL	Aluminum
ADDITIONAL DETAIL	
SYNONYM	
TRADE/BRAND NAME	Finite
CONFIGURATOR	NO
CAD DRAWING AVAILABLE	YES

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

9.13. Caudalímetro

Másicos Tipo Coriolis



Medición de caudal y densidad para líquidos y gases.

- Estabilidad garantizada mediante su Sistema Inercial exclusivo.
- Caudales desde 0,0001 a 20.000 Kg/min (de 6 a 250 mm).
- Presiones hasta 800 bar y temperaturas de -200°C a + 350°C.
- Respuesta ultrarrápida para dosificaciones de corta duración.

Para aplicaciones en: Acero, Farmacéutica - Química - Alimentaria, Generación Térmica, Petroquímica y Distribución.

Aplicación/Familia: Medida de Caudal de Líquidos.

9.14. Indicadores y Transmisores de Presión, Temperatura y Nivel

Como indicadores de temperatura se utilizarán termopares y como transmisores de temperatura sensores de tipo PT100, ambos suministrados por “Iberfluid instruments”.

Medición de Temperatura



- Sondas tipo PT100, PT1000 y termopares.
- Salida primaria de temperatura o convertidores analógicas 4-20mA.
- Cabezales con protección ATEX para ubicar en área clasificada.
- Vainas en acero inoxidable y ejecuciones especiales en materiales exóticos.
- Instalación en termopozo mediante conexión roscada o bridada.
- Opciones de comunicaciones mediante buses de campo.

Para aplicaciones en: Farmacéutica - Química - Alimentaria, Generación Térmica.

Aplicación/Familia: Medición de Temperatura.

Como indicador de nivel para la bombona de dióxido de carbono, ha sido elegido un sensor de presión ya que al estar en estado gaseoso, siempre que exista presión en la bombona contiene gas.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Para la medida de presión se utilizarán los siguientes sensores:

Sensores de Presión

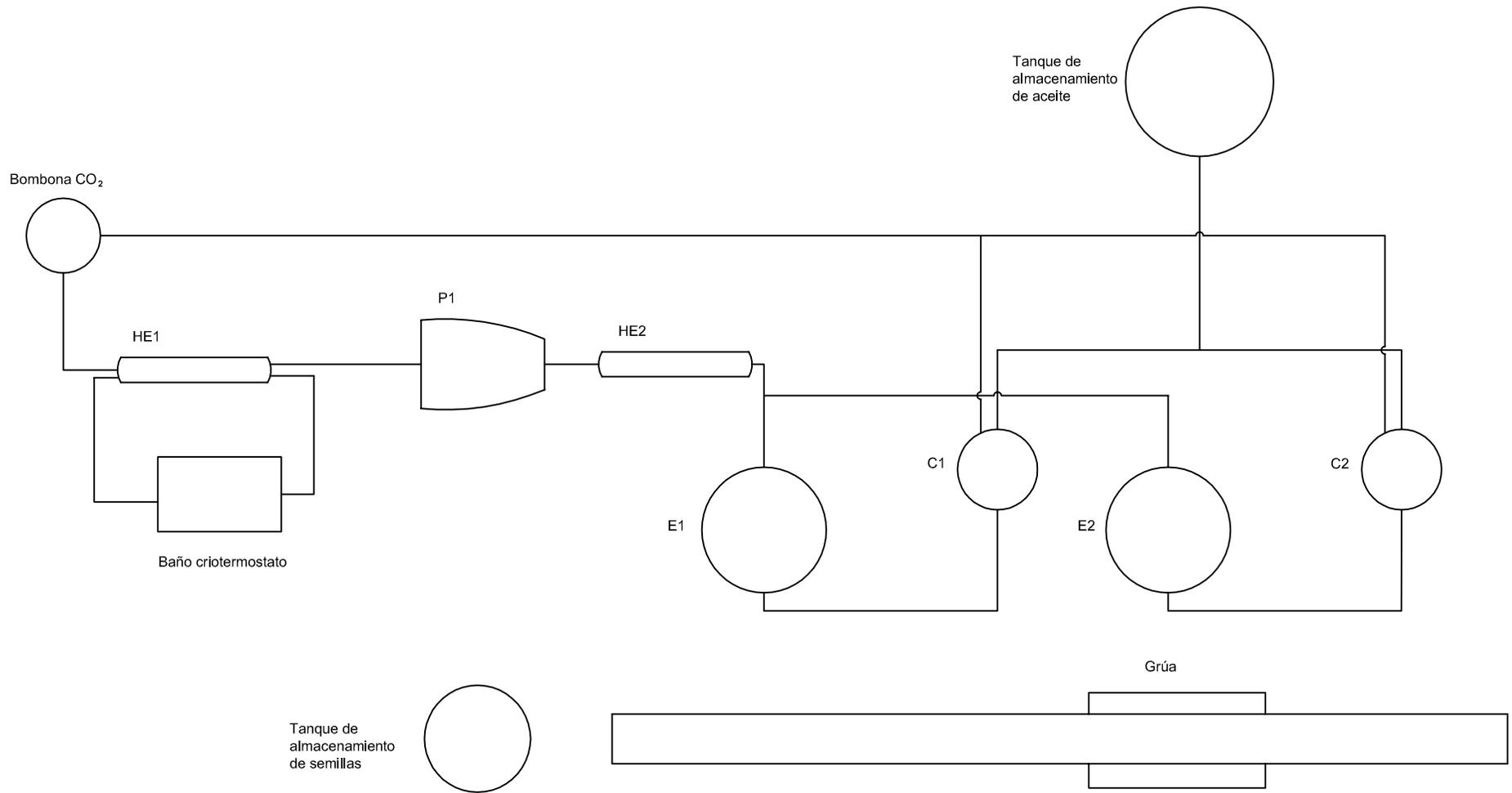


- Transmisores de presión desde pocos mBar hasta altas presiones.
- Soluciones con conexión, roscada, bridada (DIN o ANSI) o sanitaria incluyendo la opción de sello separador cuando la aplicación lo requiere.
- Medición de presión relativa, absoluta y diferencial para la obtención de presión, nivel o caudal (soluciones multivariables para equipos deprimógenos)
- Unidad electrónica configurable por teclado o mediante software. Señal de salida 4-20 mA y opcionalmente se dispone de buses de campo para comunicación de sistema de gestión.
- Transductores de presión compactos para ubicación en espacios reducidos.
- Disponibles con certificación ATEX.

Para aplicaciones en: Fabricación de Maquinaria (OEM), Farmacéutica - Química - Alimentaria, Generación Térmica.

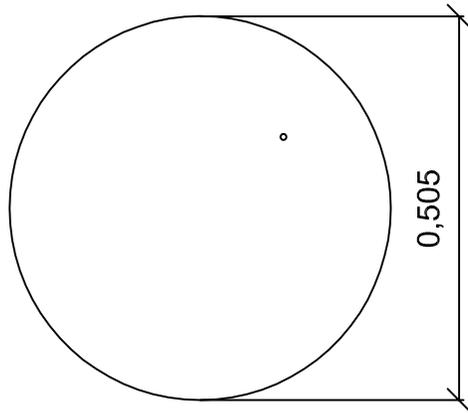
DOCUMENTO 2:

Planos

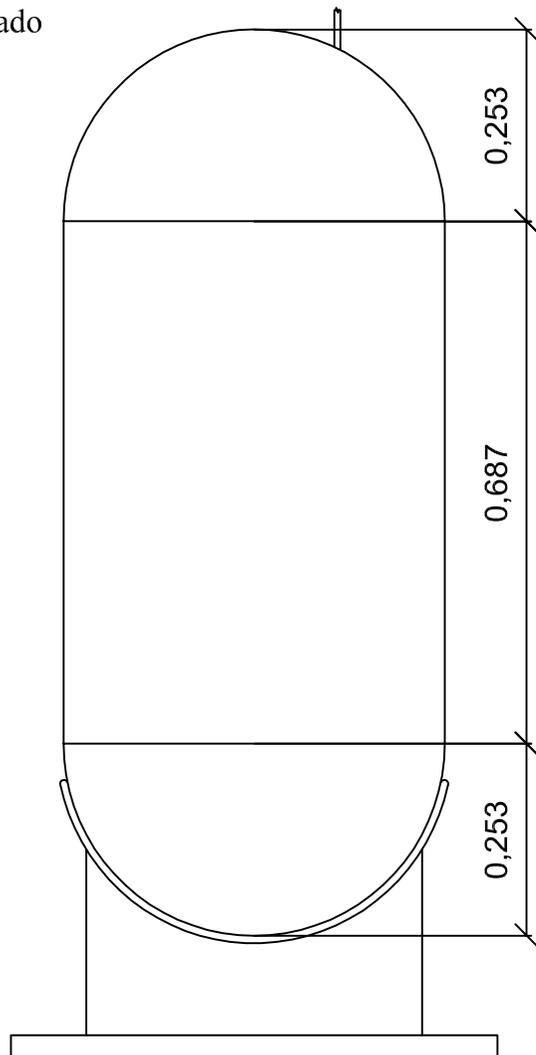


Planta de la distribución de los equipos	
Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	
Realizado por Elisa Gutiérrez de la Cruz	
Fecha: Junio 2014	
Escala: 1:25	
Plano	1
Firma:	

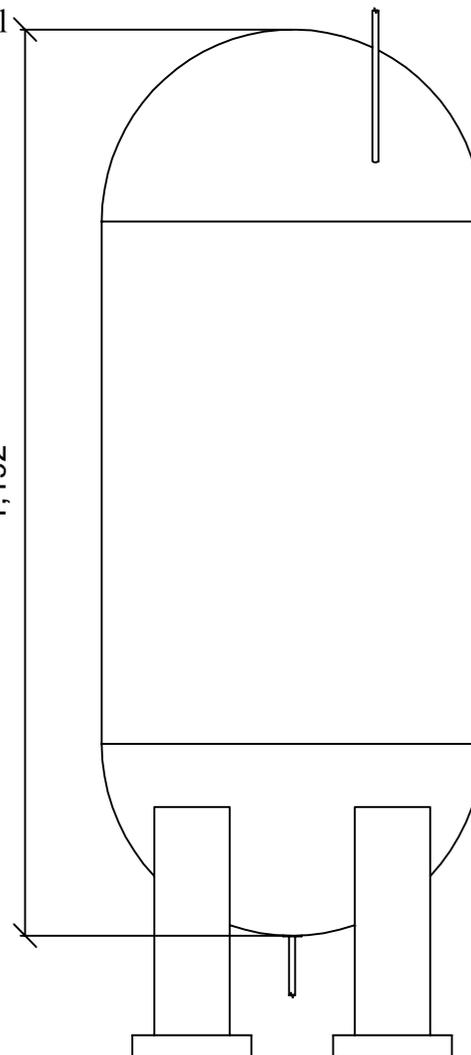
Planta



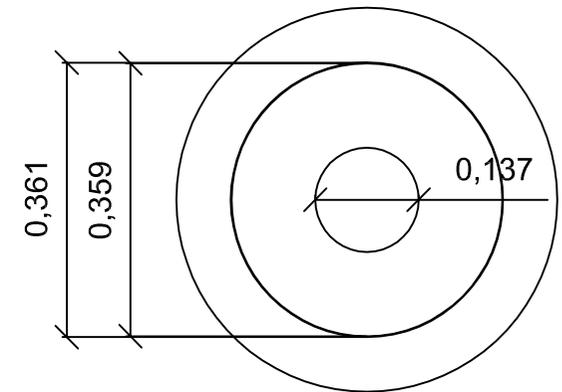
Alzado



Perfil

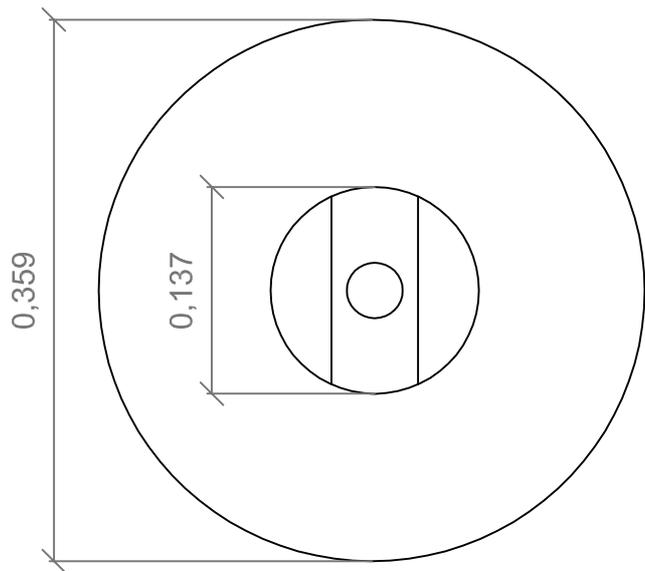


Detalle sección transversal

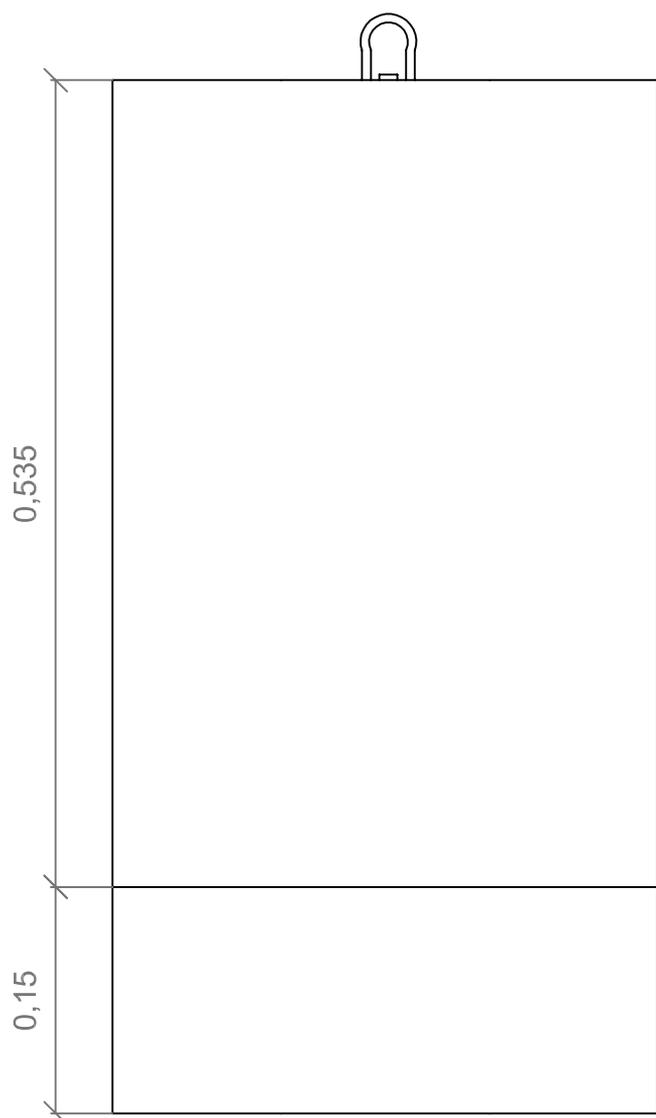
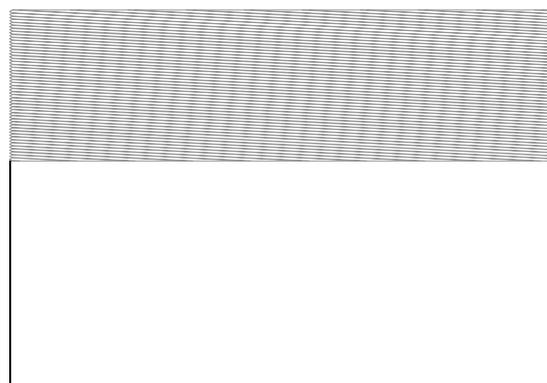


Especificaciones técnicas del extractor
Material: Acero al carbono SA-283 grado C
Envoltorio: caucho de silicona

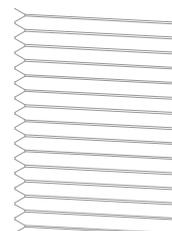
Definición del extractor	
Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	
Realizado por Elisa Gutiérrez de la Cruz	
Fecha: Junio 2014	
Escala: 1:10	
Plano 2	Firma:



Detalle base de la canasta



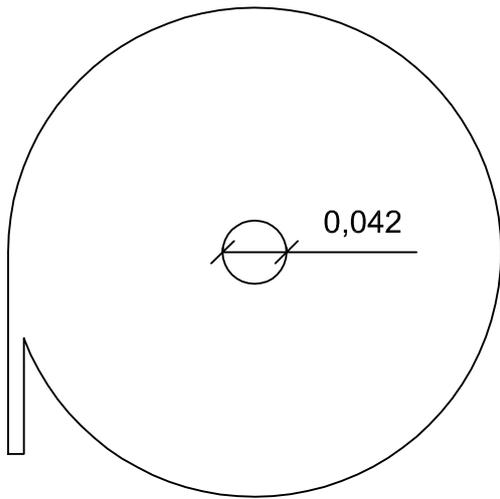
Detalle rosca E 1:1



Especificaciones técnicas de la canasta del extractor
 Material: Acero al carbono SA-283 grado C

Definición de la canasta del extractor	
Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	
Realizado por Elisa Gutiérrez de la Cruz	
Fecha: Junio 2014	
Escala: 1:5	
Plano 3	Firma:

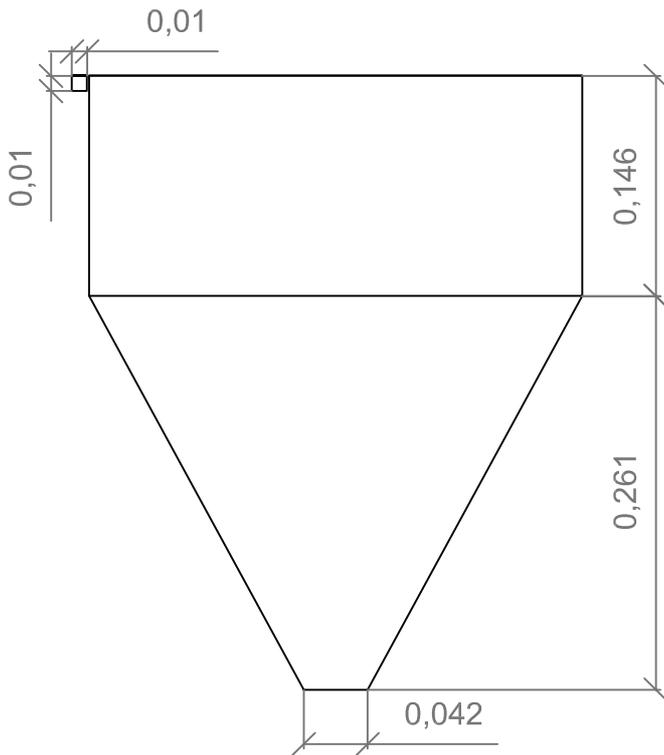
Planta



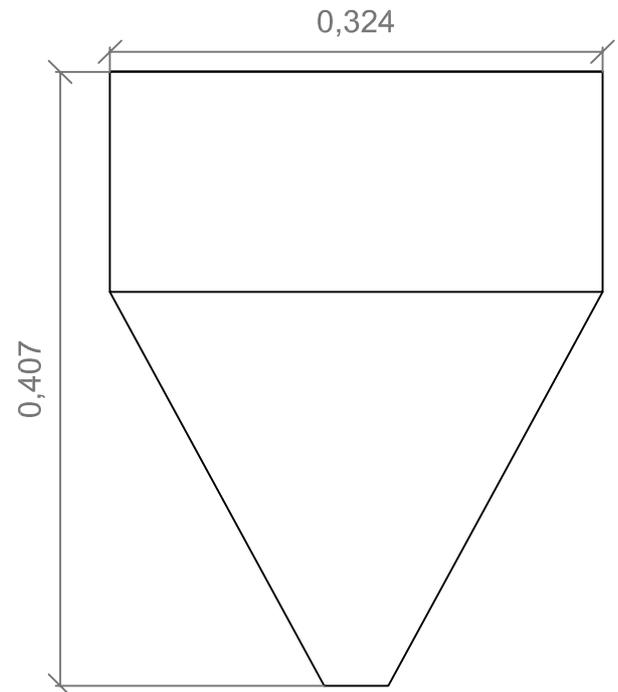
Especificaciones técnicas del ciclón

Material: Acero al carbono SA-283 grado C

Alzado



Perfil



Definición del ciclón	
Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	
Realizado por Elisa Gutiérrez de la Cruz	
Fecha: Junio 2014	
Escala: 1:5	
Plano 4	Firma:

DOCUMENTO 3: Pliego de Condiciones

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Índice del pliego de condiciones

1. DISPOSICIONES GENERALES	230
1.1. Objeto del Pliego	230
1.2. Documentos que definen el montaje y preparación de la instalación.....	230
1.3. Compatibilidad y relación entre los documentos.....	231
1.4. Actividades accesorias no especificadas en el pliego.....	231
2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.....	232
2.1. Condiciones Generales Facultativas	232
2.1.1. Director de la Instalación.....	232
2.1.2. Responsabilidades del Contratista.....	232
2.1.3. Obligaciones y Derechos del Contratista.....	232
2.1.4. La Dirección Facultativa.....	235
2.1.5. Facultades de la Dirección Facultativa.....	235
2.1.6. Responsabilidades de la Dirección Facultativa por retraso.....	235
2.1.7. Disposiciones varias.....	236
2.1.7.1. Libro de órdenes.....	236
2.1.7.2. Reclamaciones ante la Dirección Facultativa.....	236
2.1.7.3. Orden de los trabajos.....	237
2.1.7.4. Replanteo.....	237
2.1.7.5. Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución.....	238
2.1.7.6. Condiciones generales de la ejecución de los trabajos.....	238
2.1.7.7. Remisión de solicitud de ofertas.....	240
2.1.7.8. Sanciones por retraso en los trabajos	240
2.1.7.9. Trabajos defectuosos y vicios ocultos.....	240
2.1.7.10. Materiales no utilizados o defectuosos.....	241
2.1.7.11. Indemnización por retraso de los trabajos.....	241
2.1.7.12. Accidentes de trabajo y daños a terceros.....	242
2.1.7.13. Aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto....	243
2.1.7.14. Ampliación del proyecto por causas imprevistas.....	243
2.1.7.15. Recepción provisional.....	244
2.1.7.16. Plazo de garantía.....	244
2.1.7.17. Recepción definitiva	245
3. Condiciones Generales Económicas	245
3.1. Garantías de cumplimiento y fianzas	246

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

3.2.	Penalizaciones.....	246
3.3.	Adquisición de los materiales.....	247
3.4.	Mediciones.....	247
3.5.	Valoraciones.....	247
4.	Condiciones Generales	248
4.1.	El contrato.....	248
4.2.	Causas de rescisión del contrato.....	248
5.	Condiciones Técnicas.....	249
5.1.	Condiciones para el material de laboratorio y materias primas.....	249
5.2.	Instalación de equipos.....	250
5.2.1.	Pruebas y puesta en marcha.....	250
5.2.2.	Condiciones generales para los materiales.....	250
5.2.2.1.	Materiales no especificados.....	250
5.2.3.	Condiciones generales para las tuberías.....	251
5.2.3.1.	Condiciones para las válvulas.....	251
5.2.4.	Condiciones generales para los equipos.....	252
5.2.4.1.	Condiciones para los extractores, los separadores ciclónicos, los intercambiadores de calor y la bomba.....	252
5.2.4.2.	Condiciones para los tanques de almacenamiento.....	253

1. DISPOSICIONES GENERALES

1.1. Objeto del Pliego

El presente pliego tiene por objeto la ordenación, con carácter general, de las condiciones facultativas, económicas y legales que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos de montaje y obra de la planta del presente proyecto de investigación, siempre que expresamente se haga mención de este pliego en los particulares de cada una de las obras.

En este último supuesto, se entiende que el Contratista Adjudicatario de la obra se compromete a aceptar íntegramente todas y cada una de las cláusulas del presente Pliego General, a excepción de aquellas que expresamente queden anuladas o modificadas en el Pliego Particular de Condiciones de cada una de las obras.

1.2. Documentos que definen el montaje y preparación de la instalación

Los documentos que definen el montaje y preparación de la instalación y que la Propiedad entregue al Contratista, pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

Los documentos contractuales serán los Planos, el Pliego de Condiciones y el Presupuesto. Los documentos de carácter informativo en cambio, serán la Memoria y sus correspondientes Anexos.

- *Memoria:* Se describen las instalaciones con detalle y el modo de operación de la instalación en diseño.

- *Planos:* Se define el extractor y separador ciclónico necesario para la producción de aceite procedente de las semillas de higo chumbo. Así como la distribución de la planta.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (*Opuntia ficus-indica*)

- *Pliego de Condiciones:* Se regulan los derechos, responsabilidades, obligaciones y garantías mutuas entre las partes que intervienen en el desarrollo, puesta en marcha y ejecución del proyecto.
- *Presupuesto:* Se detallan cada uno de los materiales y costo unitario y total, además de los honorarios. El Contratista encargado de la realización de la instalación está obligado a seguir estrictamente todo lo especificado en el presente pliego.

1.3. Compatibilidad y relación entre los documentos

Todos los documentos que dan forma a este Proyecto son compatibles entre sí. En caso de contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo descrito en este último documento. Lo mencionado en los Planos y omitido en el Pliego de Condiciones o viceversa habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

1.4. Actividades accesorias no especificadas en el pliego

Si en el transcurso de los trabajos se hiciese necesario ejecutar cualquier clase de instalación que no se encuentre descrita en este Pliego de Condiciones, el Contratista estará obligado a realizarlas con estricta sujeción a las órdenes que, al efecto, reciba del Director de Instalación que tendrá plenas atribuciones para sancionar la idoneidad de los sistemas empleados, los cuales estarán expuestos para su aprobación de forma que, a su juicio, las instalaciones que resulten defectuosas total o parcialmente, deberán ser desmontadas o recibidas en su totalidad o en parte, sin que ello dé derecho a ningún tipo de reclamación por parte del Contratista.

2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

2.1. Condiciones Generales Facultativas

2.1.1. Director de la Instalación

La Propiedad nombrará en su representación a un Técnico Director en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las instalaciones del presente proyecto. El Contratista proporcionará toda clase de facilidades para que el Técnico Director o subalternos puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia. Cualquier duda del presente pliego debe ser resuelta por el Director de la Instalación.

2.1.2. Responsabilidades del Contratista

En la ejecución de las instalaciones que se hayan contratado, el Contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna, siendo de su cuenta y riesgo e independiente de la inspección del Ingeniero. Así mismo será responsable ante los Tribunales de los accidentes que, por inexperiencia o descuido, se pudiesen ocasionar, ateniéndose a la legislación vigente.

2.1.3. Obligaciones y Derechos del Contratista

Las presentes condiciones son de obligado cumplimiento por el Contratista a quien se adjudique la instalación, el cual debe hacer constar que las conoce y que se compromete a cumplirlas.

Todos los desperfectos ocasionados correrán por cuenta del Contratista. De éste es también obligación ejecutar cuanto sea necesario para el buen cumplimiento y ejecución del Proyecto.

El Contratista podrá sacar a su necesidad copias de los documentos originales, los cuales serán suministrados por el Ingeniero Director, que autorizará las copias con su firma. Estará asegurado el Contratista en una compañía solvente para cubrir cualquier accidente.

Correrán por cuenta del Contratista, a no ser que se especifique lo contrario en el contrato, los siguientes gastos:

- Los de puesta en campo y retirada de cualquier medio auxiliar.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- Los de protección de los materiales ante el deterioro que se pudiese causar.
- Los de limpieza.
- Los de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

Desde el comienzo de los trabajos, el Contratista designará un Jefe de Instalación como su representante que estará autorizado y que cuidará de que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Este Jefe de Instalación estará autorizado para recibir notificaciones verbales o escritas del Contratista que estarán emitidas por la Dirección Facultativa y para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la Dirección Facultativa.

Cualquier cambio que el Contratista desee hacer con respecto a sus representantes y personal, deberá comunicarlo a la Dirección Facultativa.

El Contratista, por él mismo o por medio de sus representantes estará en las instalaciones durante el trabajo y acompañará a la Dirección Facultativa en las visitas que realice.

El Contratista se verá obligado a suministrar toda la información precisa a las diferentes subcontratas e instaladores para que su labor se ajuste al Proyecto. En cualquier caso, el Contratista será el único responsable de las variaciones o errores que hubieran podido cometer en obra por desconocimiento de las especificaciones detalladas

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

El Contratista está obligado a cumplir la legislación vigente en materia de seguro contra riesgo de accidentes para su personal.

El Contratista y la Dirección de la Instalación fijarán de antemano las condiciones de seguridad en las que se llevarán a cabo los trabajos del Proyecto, así como las pruebas, ensayos, inspecciones y verificaciones necesarias, que en cualquier caso, deberán ser las prescritas por los reglamentos actuales vigentes.

Por otra parte, el Contratista será responsable de suministrar al personal los equipos necesarios para que éste trabaje en las condiciones de seguridad adecuadas. Asimismo, serán responsabilidad del Contratista los posibles daños causados en las instalaciones, ocasionados por personas ajenas.

2.1.4. La Dirección Facultativa

La Dirección Facultativa de las instalaciones recaerá en el Ingeniero que suscribe, salvo posterior acuerdo con la Propiedad.

2.1.5. Facultades de la Dirección Facultativa

Es misión específica de la Dirección Facultativa la dirección y vigilancia de los trabajos que se realicen, con autoridad técnica, legal, completa e irrevocable sobre las personas y cosas situadas en la obra y con relación a los trabajos necesarios para la ejecución del contrato, pudiendo incluso, con causa justificada, recusar en nombre de la Propiedad al Contratista si considera que adoptar esa solución es necesaria y útil para la consecución de la instalación.

La Dirección Facultativa podrá ordenar al Contratista, cuanto estime procedente para asegurar el cumplimiento del Proyecto y de las Condiciones Técnicas y la planificación de los trabajos. Tendrá que realizar tantas comprobaciones como sean necesarias o exigidas por el Proyecto, especialmente por el Pliego de Condiciones. Además deberá informar y proponer aquellos cambios que bien a instancia propia o del Contratista supongan mejoras funcionales, resistentes o de durabilidad, cuya incidencia en la planificación de los trabajos resulte determinada y que produzcan alteraciones del presupuesto del Proyecto en Ejecución.

2.1.6. Responsabilidades de la Dirección Facultativa por retraso

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos estipulados, alegando como excusa la carencia de Planos y órdenes de la Dirección Facultativa exceptuando el caso en el que el Contratista lo haya solicitado y no se les haya entregado. En este caso, la Dirección Facultativa será la responsable del retraso sufrido.

2.1.7. Disposiciones varias

2.1.7.1. Libro de órdenes

El Contratista tendrá siempre a mano y a disposición de la Dirección Facultativa un libro de órdenes con las hojas por duplicado y visado por el colegio profesional correspondiente. En el libro irán redactadas todas las órdenes que la Dirección Facultativa vea oportuno dar al Contratista.

Cada orden estará firmada por la Dirección Facultativa y por el Contratista o su representante en la instalación de los equipos.

El hecho de que en el libro de órdenes no vengan redactadas las obligaciones inherentes al puesto del Contratista, no lo exime de cumplimiento alguno.

2.1.7.2. Reclamaciones ante la Dirección Facultativa

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra la Dirección Facultativa sólo podrán presentarlas a través de la misma ante la Propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones del Pliego. Contra disposiciones de orden técnico o facultativo de la Dirección Técnica, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar sus responsabilidades mediante la exposición razonada ante la Dirección Facultativa.

2.1.7.3. Orden de los trabajos

El Director de la instalación fijará el orden en el que se deba desarrollar la realización de las distintas partes que componen el Proyecto, así como las normas a seguir en todo lo no regulado en él. En general, la determinación del orden es tarea de la Contrata, salvo aquellos casos en el que la Dirección crea oportuno su variación.

Estas órdenes serán comunicadas por escrito a la Contrata, y ésta deberá aceptar su cumplimiento, siendo directamente responsable de cualquier daño que se pudiese provocar por su incumplimiento.

2.1.7.4. Replanteo

Antes de comenzar el desarrollo del Proyecto, la Dirección Facultativa ayudada por el personal y en presencia de Contratista o su representante, procederá al replanteo de la instalación y se levantará un acta de comprobación.

El Contratista estará obligado a satisfacer los gastos de replanteo y sucesivas comprobaciones. Asimismo, será también de cuenta del Contratista los gastos de protección del material, limpieza, evacuación de desperdicios, señalización, material auxiliar y demás recursos como el desplazamiento de personal.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

2.1.7.5. Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución

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

El Contratista comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dará cuenta al Ingeniero Director, mediante oficio, del día en que se propone iniciar los trabajos.

El Contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la Reglamentación Oficial del Trabajo.

El plazo de ejecución de la obra responderá a la planificación realizada por el Cliente y coordinada por el Contratista. Dicha planificación se estima en tres meses en función de los plazos de entrega de los equipos y al trabajo de montaje, diseño y configuración.

En caso de exceder las previsiones de realización del trabajo, y no siendo esto por causas ajenas al Contratista, no se facturará ningún cargo extra.

El Cliente informará con una antelación mínima de 3 días de la disponibilidad de las instalaciones para el comienzo. El Contratista emitirá un informe escrito después de la realización del trabajo al Cliente para su aprobación.

2.1.7.6. Condiciones generales de la ejecución de los trabajos

El Contratista debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la instalación, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que el Ingeniero Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

La instalación será ejecutada a completa satisfacción de las inspecciones del Cliente y Contratista.

Todas las relaciones entre Contratista y Cliente serán registradas por escrito, no más tarde de 48 horas después de los acuerdos y canalizadas a través del Jefe de Producción.

Todas las herramientas para ejecución de la obra serán por cuenta del Contratista, salvo aquellas que por necesidad fuesen especiales de los propios equipos.

Todo el personal de la Empresa Constructora que participa en la ejecución de la los trabajos deberá estar equipado convenientemente para la prevención de accidentes de trabajo. Todo el equipo de protección personal será a cuenta del Contratista.

Los equipos se instalarán cumpliendo las normas vigentes y las instrucciones dadas por el fabricante. Si se llevasen a cabo modificaciones, se añadiesen materiales o se sustituyesen sin aprobación del Cliente, el Constructor se hará cargo de todo lo que esto puede originar.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

2.1.7.7. Remisión de solicitud de ofertas

Por la Dirección Técnica se solicitarán ofertas a las Empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones especificadas en el presente Proyecto o un extracto con los datos suficientes. En el caso de que el ofertante lo estime de interés deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación.

El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes. El presupuesto deberá estar basado en el suministro, la instalación y la configuración del sistema diseñado por el Cliente, excluyéndose cualquier otra máquina o equipo que no sea el mencionado.

2.1.7.8. Sanciones por retraso en los trabajos

Si el Constructor, no tuviese concluidos los trabajos y en disposición de inmediata utilización o puesta en servicio, dentro del plazo previsto en el artículo correspondiente, la Propiedad podrá reducir de las liquidaciones, fianzas o remuneraciones.

2.1.7.9. Trabajos defectuosos y vicios ocultos

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en las condiciones generales de índole técnico del Pliego de Condiciones en la edificación y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado.

Cuando el Ingeniero Director o su representante adviertan vicios o defectos en los trabajos efectuados, o que los materiales o los aparatos no reúnen las condiciones, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos y antes de verificarse la recepción definitiva de la instalación, podrán disponer que las partes defectuosas sean retiradas y modificadas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la Contrata.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

2.1.7.10. Materiales no utilizados o defectuosos

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos sin ser examinados y aceptados por Ingeniero Director, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios, para efectuar con ellos comprobaciones, ensayos o pruebas.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc. antes indicados serán a cargo del Contratista. Cuando los materiales no se ajustan a la calidad requerida o no están preparados, el Ingeniero Director dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas o en su defecto, a las órdenes del Ingeniero Director.

2.1.7.11. Indemnización por retraso de los trabajos

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista por causas de retraso no justificado, será el importe de la suma de perjuicios materiales causados por imposibilidad de ocupación del inmueble, debidamente justificados.

2.1.7.12. Accidentes de trabajo y daños a terceros

En caso de accidentes ocurridos con motivo en el ejercicio de los trabajos, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su cumplimiento y sin que por ningún concepto, pueda quedar afectada la Propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad obligadas por las disposiciones vigentes para evitar accidentes.

De los accidentes o perjuicios de todo género que, por no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será éste el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales.

El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran en el transcurso de los trabajos de instalación. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien y cuando corresponda, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de los trabajos.

2.1.7.13. Aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto

Cuando se trata de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o de los Planos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán por escrito al Contratista, estando éste obligado a su vez a devolver los originales y las copias, suscribiendo con su firma al enterado, que figura así mismo en todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto de la Propiedad como de la Dirección Técnica.

Cualquier reclamación que, en contra de las disposiciones tomadas por estos, crea oportuno no hacer el Contratista, habrá de dirigirla dentro del plazo de 15 días a la Dirección Facultativa, la cual dará al Contratista el correspondiente recibo si éste lo solicitase.

2.1.7.14. Ampliación del proyecto por causas imprevistas

Si por causa de fuerza mayor no se pudiesen comenzar las obras, tuviesen que ser suspendidas o no fuese posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará al Contratista una prórroga proporcionada para el cumplimiento del plazo, previo informe de la Dirección Facultativa.

Para ello, el Contratista expondrá por escrito dirigido a la Dirección Facultativa, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que se originaría en los plazos acordados razonando la prórroga que por dicha causa se solicita.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

2.1.7.15. Recepción provisional

Terminado el plazo de ejecución de la instalación y puesta en servicio, se procederá a la recepción provisional de las mismas estando presente la comisión que designe el Contratista y el Director de Instalación. Se realizarán todas las pruebas que el Director de Instalación estime oportunas para el cumplimiento de todo lo especificado en este pliego y buena ejecución y calidad de las mismas.

Si la instalación se encuentra en buen estado y ha sido ejecutada conforme a las condiciones establecidas, se dará por recibida provisionalmente comenzando en dicha fecha el plazo de garantía señalado en el presente pliego y procediéndose en el plazo más breve posible a su medición general y definitiva, con asistencia del Contratista o su representante.

Cuando las obras no se encuentren en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta especificando las premisas que el Director de Instalación debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijando un plazo para ello.

2.1.7.16. Plazo de garantía

El plazo de garantía será de un año a contar desde la fecha de su recepción provisional. Durante el periodo de garantía todas las reparaciones derivadas de una mala instalación imputables al Contratista serán abonadas por este.

Si el Director de Instalación tuviera fundadas razones para creer en la existencia de vicios o defectos de instalación en las tareas ejecutadas, ordenará efectuar antes de la recepción definitiva las rectificaciones que crea necesarias para reconocer los trabajos. Los gastos derivados en dichas reparaciones o remodelaciones correrán a cargo del Contratista, siempre que existan tales vicios, en caso contrario correrán a cargo de la Propiedad.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

2.1.7.17. Recepción definitiva

Pasado el plazo de garantía, si las instalaciones se encuentran en perfecto estado de uso y conservación, se darán por recibidas definitivamente.

Una vez recibidas definitivamente las instalaciones se procederá de inmediato a su liquidación y resolución de la fianza de la que se detraerán las sanciones o cargos que procedan, conforme a lo estipulado en el presente pliego.

En caso de que las instalaciones no se encuentren en estado para la recepción definitiva, se procederá de igual forma que para la recepción provisional sin que el Contratista tenga derecho a percibir cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía.

3. Condiciones Generales Económicas

Comprenderán las que afecten al coste y pago de los trabajos contratados, al plazo y forma de las entregas, a las fianzas y garantías para el cumplimiento del Contrato establecido, a los casos que proceden las mutuas indemnizaciones y todas las que se relacionen con la obligación contraída por el Propietario a satisfacer el importe y la remuneración del trabajo contratado, una vez ejecutadas, parcial o totalmente por el Contratista, y de acuerdo con las condiciones convenidas, las que le fuera adjudicadas.

La base fundamental de estas condiciones es la de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado de acuerdo al Proyecto y al Pliego de Condiciones.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

3.1. Garantías de cumplimiento y fianzas

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato; dichas referencias serán presentadas por el Contratista antes de la forma del Contrato.

La persona o entidad a quien se haya adjudicado la ejecución de la instalación, deberá depositar en el punto y plazo marcados la fianza definitiva.

La fianza será devuelta al Contratista en el plazo que no exceda de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la instalación.

3.2. Penalizaciones

Si los vigentes precios, en el momento de firmar el Contrato, experimentan una variación en más o menos de un 5%, podrá hacerse una revisión de precios a petición de cualquiera de las partes, que se aplicará a la instalación que falte por ejecutar. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o continuar la ejecución de los trabajos, acordándose también la fecha a partir de la cual entran en vigencia estos nuevos precios.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

3.3. Adquisición de los materiales

Si el Contratista es el autorizado para gestionar y adquirir los materiales, deberá presentar al Propietario los precios y las muestras de los materiales, para que éste los apruebe antes de adquirirlos.

Si los materiales o aparatos fuesen de inferior calidad a lo aprobado, el Contratista tiene la obligación de rechazarlos hasta que se le entreguen otros de las calidades ofrecidas y aceptadas. A falta del cumplimiento de esta obligación, el Contratista indemnizará al Propietario con el importe de los perjuicios.

3.4. Mediciones

Tanto las mediciones parciales como las que se ejecuten al final de la instalación, se realizarán con el Contratista, levantándose las correspondientes actas que serán firmadas por ambas partes.

El Contratista tiene derecho a reclamación por las diferencias que se produjeran entre las mediciones que se ejecuten y las que figuren en el Proyecto.

3.5. Valoraciones

En el precio se consideran incluidos los gastos del transporte de materiales, las indemnizaciones o pagos que hayan de hacerse por cualquier concepto, así como todo tipo de impuestos fiscales.

También serán de cuenta del Contratista los honorarios, las tasas y demás gravámenes que se originan con ocasión de las inspecciones, aprobación y comprobación de las instalaciones con que esté dotado el inmueble. El Contratista no tendrá derecho a pedir indemnización alguna por las causas enumeradas anteriormente.

4. Condiciones Generales

4.1. El contrato

El contrato se formalizará mediante un documento privado o público y en él se especificarán las particularidades que convengan a ambos lados.

El Contratista y el Promotor previamente firmarán el presente pliego obligándose a su cumplimiento, siendo nulas las cláusulas que se opongan o anulen disposiciones del mismo.

4.2. Causas de rescisión del contrato

Se consideran causas de rescisión las siguientes:

- La muerte o incapacidad del contratista.
- La quiebra del Contratista.

En los casos anteriores, si los herederos ofrecieran llevar a cabo las obras, bajo el mismo contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento.

- Las alteraciones del contrato por la modificación del Proyecto, en forma tal que presente alteraciones fundamentales, a juicio del Ingeniero Director y, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente en más o menos del 40%, como mínimo.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que, por causas ajenas a la Contrata, no se dé comienzo a los trabajos dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación, en este caso, la devolución de la fianza ser automática.
- La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- El no dar comienzo a los trabajos dentro del plazo acordado.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- La mala fe en la ejecución de los trabajos

5. Condiciones Técnicas

5.1. Condiciones para el material de laboratorio y materias primas.

Deberán tener las especificaciones y certificaciones oportunas. Se revisará todo el material, y se procederá a su rechazo o devolución al proveedor ante cualquier anomalía.

Las materias primas se encontrarán debidamente enfrascados o embotellados, además de etiquetados señalando todas sus características.

Serán almacenados en lugar fresco y seco para evitar contaminación o deterioro.

5.2. Instalación de equipos

5.2.1. Pruebas y puesta en marcha

Durante la duración del presente Proyecto se efectuarán pruebas de carga de los diferentes equipos, así como de resistencia a las altas temperaturas y presiones.

El Contratista deberá efectuar las pruebas y puesta en funcionamiento de todos los equipos y aparatos eléctricos, electrónicos, mecánicos, hidráulicos y neumáticos instalados.

5.2.2. Condiciones generales para los materiales

Todos los materiales a emplear serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas en este Proyecto; además, dichas condiciones serán las vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.

5.2.2.1. Materiales no especificados

Cualquier material que no haya sido especificado ni descrito en la “Memoria descriptiva” y fuese necesario utilizar, reunirá las condiciones que se requieran para su función, siendo fijados por el Contratista las fuentes de suministro que éste estime oportunas.

En cualquier caso, el Contratista notificará al Director de Instalación, con la suficiente antelación, los materiales que se propone utilizar, aportando las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, siendo el criterio de la Dirección Facultativa totalmente inapelable.

5.2.3. Condiciones generales para las tuberías

Las tuberías serán de acero al carbono SA-106 grado. Las tuberías serán de los diámetros y características especificados en la “Memoria descriptiva” y en el “Anexo 6” de este Proyecto, y estarán libres de fisuras, grietas, poros, impurezas, deformaciones o faltas de homogeneidad, así como de otros defectos que pudieran disminuir su resistencia y apartar su comportamiento del esperado por sus características.

5.2.3.1. Condiciones para las válvulas

14.2.8 Las válvulas serán del tipo y características especificadas en el “Anexo 7” del presente Proyecto. Estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

14.2.9 Durante su instalación se tendrá especial cuidado de alinear correctamente los extremos con la tubería en la que vayan a ser instaladas.

14.2.10

5.2.4. Condiciones generales para los equipos

5.2.4.1. Condiciones para los extractores, los separadores ciclónicos, los intercambiadores de calor y la bomba.

14.2.11 Deberán tener las especificaciones oportunas para la instalación que se proyecta en el presente Proyecto. Las especificaciones se encuentran detalladas en la “Memoria descriptiva” y en los “Anexos 2, 3, 4, 5 y 6”.

14.2.12 El Director de Instalación supervisará los equipos antes de su montaje, comprobará su buen estado y podrá rechazarlos si observa anomalías que a su juicio puedan provocar irregularidades en su funcionamiento.

14.2.13 Si desde que los equipos son recibidos desde el taller del fabricante hasta que son montados en la instalación hubiera transcurrido un periodo de tiempo que el Director de Instalación considerase razonablemente largo, serán almacenados bajo techo en un lugar seco, y se tomarán precauciones para que no sufriesen contaminación o acumulación de suciedad, así como golpes o deterioros.

5.2.4.2. Condiciones para los tanques de almacenamiento

El material de construcción de los tanques de almacenamiento serán de acero al carbono. El volumen y características serán los especificados en el “Anexo 8” de este Proyecto.

El Director de Instalación supervisará los depósitos en su recepción, comprobando su buen estado y rechazándolos en caso de observar anomalías que a su juicio puedan provocar dicho rechazo.

Si desde que los tanques son recibidos desde el taller del fabricante hasta que son incluidos en el montaje de la instalación hubiera transcurrido un periodo de tiempo que el Director de Instalación considerase razonablemente largo, serán almacenados bajo techado en un lugar seco, y se tomarán precauciones para que no sufriesen contaminación o acumulación de suciedad, así como golpes o deterioros.

DOCUMENTO 4:

Presupuesto

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Índice de Presupuesto

1.1	Introducción	256
1.2	Capital fijo invertido, I.....	256
1.3	Costes de Producción, C.....	263
1.4	Beneficios.....	265
1.5	Rentabilidad	266

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

1.1 Introducción

Los objetivos de la estimación de costes son:

- Conocer los conceptos contables a tener en cuenta en el proyecto.
- Estimar el capital total invertido en el mismo.
- Estimar los costos de fabricación.
- Conocer cómo debe valorarse la inversión inicial con el tiempo.
- Valorar la rentabilidad de la instalación.

A continuación se muestran los términos que intervienen en la estimación de valor económico del proyecto.

1.2 Capital fijo invertido, I

El capital total se divide en tres términos (Ecuación 1) según el grado de riesgo y se muestran a continuación en orden decreciente de riesgo:

$$I = I_F + I_A + I_W \quad [1]$$

- Capital de inmovilizado en el área del proceso, I_F

Es el capital invertido en todos los equipos situados dentro de los límites del área de proceso.

Para calcular el capital de inmovilizado se ha empleado el método de Estimación Factorial, que se basa en los costes de los elementos principales, que son los costes de los equipos a instalar. A partir de estos valores, se obtienen los valores de todos los equipos instalados en planta en condiciones de operar. La siguiente ecuación resume el Método de Estimación Factorial:

$$I_F = [I_E + (\sum_i f_i I_E)] f_I \quad [2]$$

Donde:

I_F : inmovilizado para el sistema completo

I_E : inmovilizado para los elementos principales

f_i : factores multiplicadores para la estimación de costes de tuberías, instrumentación, edificios, etc.

f_I : factor multiplicador para la estimación de gastos indirectos.

Para calcular el inmovilizado de los elementos principales se ha hecho uso de valores tabulados para cada tipo de equipo, recogidos en la Figuras 1 y 2, los valores de las tablas se sustituyen en la Ecuación 3 para cada tipo de equipo.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

$$I = I_B \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^M \quad [3]$$

Siendo:

I_B : inmovilizado de referencia conocido.

Q : capacidad del equipo.

Q_B : capacidad tabulada.

M : pendiente de la línea de correlación.

TABLA 9. Correlaciones típicas para el coste de equipo

Aparato	Tamaño, Q_B	Coste, I_B , \$ (1961)	Intervalo de tamaño	M
Soplantes				
0,1 atm	2 m ³ /min	360	2-40	0,46
0,5 atm	40	6 900	40-170	0,35
Caldera para aprovechar calor residual	500 kg vapor/h 2 000 kg/h	2 800 9 800	500-200 2 000-10 000	0,90 0,67
Centrífuga				
Acero al carbono	cesta de 1 m	28 700	1-1,6	0,81
Acero inoxidable	1 m	43 000	1-1,6	0,63
Compresor de aire accio- nado por turbina de vapor	240 HP	80 000	240-2 000	0,29
Cinta transportadora	18 m ²	7 000	18-110	0,81
Cristalizador (tipo crecimiento)	10 ton/día	22 100	10-1 000	0,63
Secadores				
Cilindro (atm)	5 m ²	11 600	5-35	0,63
Cilindro (vacío)	3 m ²	31 000	3-15	0,86
Tornillo sin fin	1,5 m ²	6 400	1,5-25	0,53
Evaporadores				
Película descendente	0,3 m ² 0,8 m ² 3 m ² 6 m ²	9 200 11 200 17 900 26 300	0,3-0,8 0,8-3 3-6 6-15	0,24 0,36 0,55 0,67
Filtro prensa	1 m ²	800	1-25	0,85
Cambiadores de calor				
Carcasa y tubos	5 m ²	1 350	5-25	0,48
Tubo con aletas	65 m ²	5 400	65-300	0,58
Placas	1,5 m ²	45	1,5-4	0,52
Calderín	35 m ²	4 070	35-50	0,25
Caldera (encamisada)				
Fundición	1 m ³	5 800	1-3	0,24
Vitrificada	3 m ³	9 900	3-10	0,65
Mezclador (hélice marina)	15 HP	3 900	15-25	0,19

Figura 1: Correlaciones típicas para el coste de equipos.

Fuente: D.F. Rudd y Ch. C. Watson, "Estrategia en ingeniería de procesos"

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

TABLA 9. (Cont.)

<i>Aparato</i>	<i>Tamaño, Q_B</i>	<i>Coste, I_B, \$ (1961)</i>	<i>Intervalo de tamaño</i>	<i>M</i>
Recipiente a presión no calentado				
Aceros al carbono	1 500 kg	1 060	1 500-3 000	0,60
	15 000 kg	4 830	15 000-45 000	0,80
Recubiertos de caucho	3 m ³	1 730	3-5	0,54
Bombas centrífugas				
Aleación	10 HP	1 300	10-25	0,68
	25 HP	2 480	25-100	0,86
Reactores				
Vitrificado	200 litros	1 000	200-1 200	0,41
Vitrificado y encamisado	1 m ³	2 100	1-9	0,69
Unidades de refrigeración				
4 °C	7 ton	4 200	7-4 000	0,72
-7 °C	7	5 100	7-4 000	0,72
-18 °C	7	7 000	7-4 000	0,72
-30 °C	7	9 600	7-4 000	0,72
Tanques				
Acero al carbono	1 200 litros	240	1 200-5 000	0,66
Acero inoxidable	600 litros	730	600-2 000	0,69
Columnas de relleno				
Acero al carbono	3 000 kg	2 900	3 000-9 000	0,79
	9 000 kg	7 600	9 000-14 000	0,71
Columnas de pisos				
Pisos tamiz	1 m diámetro	50	1-2	1,63

* Selección de la obra de H. C. BAUMAN: *Fundamentals of Cost Engineering*. Reinhold Book Corp., subsidiaria de Chapman-Reinhold, Inc. Nueva York, 1964.

Figura2: Correlaciones típicas para el coste de equipos (Continuación).
Fuente: D.F. Rudd y Ch. C. Watson, "Estrategia en ingeniería de procesos"

Por lo que el inmovilizado estimado para cada equipo está recogido en la siguiente tabla:

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

<i>Equipo</i>	<i>Capacidad tabulada</i>	<i>Capacidad real</i>	<i>M</i>	<i>Inmovilizado de referencia</i>	<i>Inmovilizado estimado</i>
Ciclón	1 m	0,4 m	0,81	28700	13663,14
Intercambiador de carcasa y tubos	5 m ²	0,005 m ²	0,48	1350	49,02
Intercambiador eléctrico	35 m ²	0,001 m ²	0,25	4070	297,56
Recipiente a presión	1500 kg	75 kg	0,6	1060	175,67
Bomba	10 HP	0,00038347 HP	0,68	1300	1,29

Figura 3: Inmovilizado de cada equipo

El valor de inmovilizado para los elementos principales es de **20.458,60 €**. En ellas se ha determinado el valor para las características de cada equipo en el año de construcción de las tablas. Para tener en cuenta la subida del valor del dinero, se ha empleado el índice de Marshall Swift del 2010, el índice más cercano a 2014 encontrado de forma gratuita. El valor de inmovilizado obtenido es de **125.701,36 €**. Estos valores se muestran en las Figuras 4 y 5.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

TABLE 1 Chemical Engineering and Marshall and Swift Plant and Equipment Cost Indexes since 1950

Year	CE Index	M&S Index	Year	CE Index	M&S Index
1950	73.9	167.9	1971	132.3	321.3
1951	80.4	180.3	1972	137.2	332.0
1952	81.3	180.5	1973	144.1	344.1
1953	84.7	182.5	1974	165.4	398.4
1954	86.1	184.6	1975	182.4	444.3
1955	88.3	190.6	1976	192.1	472.1
1956	93.9	208.8	1977	204.1	505.4
1957	98.5	225.1	1978	218.8	545.3
1958	99.7	229.2	1979	238.7	599.4
1959	101.8	234.5	1980	261.2	659.6
1960	102.0	237.7	1981	297.0	721.3
1961	101.5	237.2	1982	314.0	745.6
1962	102.0	238.5	1983	316.9	760.8
1963	102.4	239.2	1984	322.7	780.4
1964	103.3	241.8	1985	325.3	789.6
1965	104.2	244.9	1986	318.4	797.6
1966	107.2	252.5	1987	323.8	813.6
1967	109.7	262.9	1988	342.5	852.0
1968	113.6	273.1	1989	355.4	895.1
1969	119.0	285.0	1990	357.6	915.1
1970	125.7	303.3	1991	361.3	930.6

Figura 4: Índice de Marshall&Swift para el año 1961.

Fuente: J.J. McKetta Jr., "Unit Operations Handbook, Volume 1"

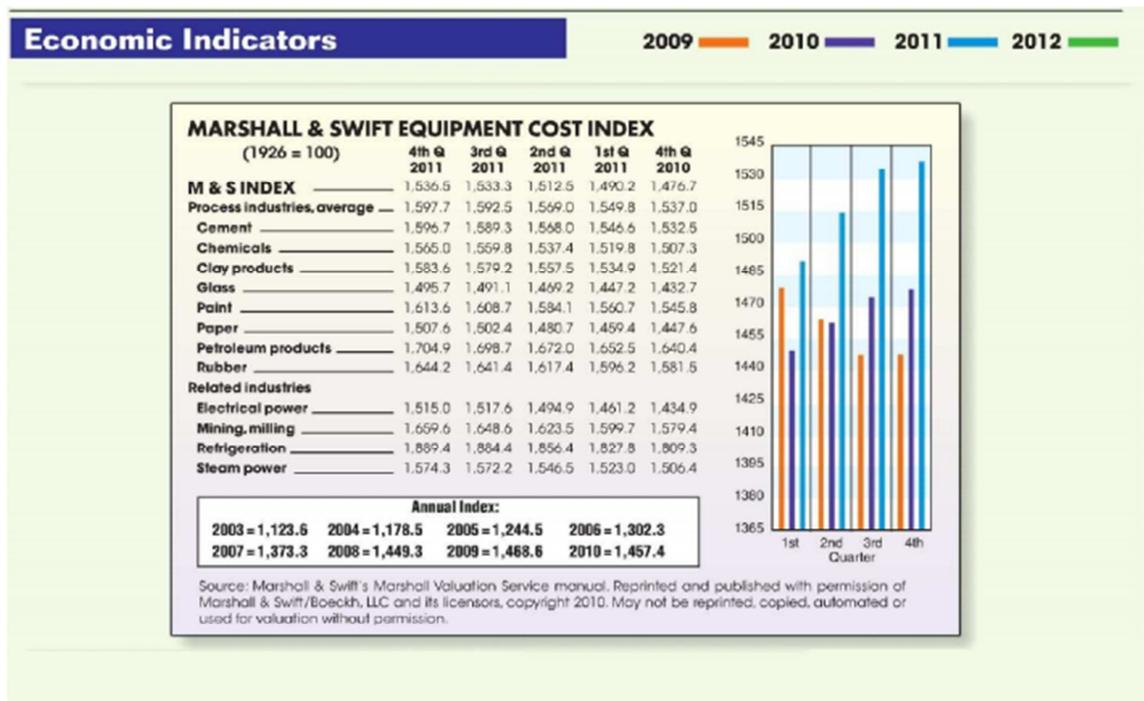


Figura 5: Índice Marshall&Swift para el año 2010. Fuente: www.che.com/pci

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Para conocer el valor del capital de inmovilizado total, sólo queda añadirle a los elementos principales, los factores multiplicadores. Estos factores están tabulados, en la siguiente figura se muestran sus valores:

TABLA 13. Factores experimentales típicos para sistemas de proceso en los que predominan fluidos *

COSTE DEL EQUIPO PRINCIPAL SIN INSTALAR	I_E
COSTES DIRECTOS ADICIONALES COMO FRACCIÓN DE I_E	
Mano de obra para la instalación del equipo principal	0,10-0,20
Aislamiento	0,10-0,25
Conducciones (acero al carbono)	0,50-1,00
Cimientos	0,03-0,13
Edificios	0,07
Estructuras	0,05
Protección contra incendios	0,06-0,10
Instalación eléctrica	0,07-0,15
Pintura y limpieza	0,06-0,10
	Σf_i 1,09-2,05
COSTE DIRECTO TOTAL $(1 + \Sigma f_i)I_E$	
COSTES INDIRECTOS COMO FRACCIÓN DE LOS COSTES DIRECTOS	
Gastos generales, Gerencia	0,30
Servicios técnicos, honorarios de ingeniería	0,13
Imprevistos	0,13
	$f_I = 1 + 0,56 = 1,56$
COSTE TOTAL $I_F = (1 + \Sigma f_i)f_I I_E = (3,1-4,8)I_E$	

* Adaptado de J. HAPPEL: *Chemical Process Economics*. Wiley, Nueva York, 1958.

Figura 6: Tabla de factores del Método de Estimación Factorial.

Fuente: D.F. Rudd y Ch. C. Watson, "Estrategia en ingeniería de procesos"

Por tanto, el valor del capital de inmovilizado total se obtiene al sustituir cada valor en la ecuación 2. Así, el valor total es de **409.836,72 €**.

- Capital invertido en servicios auxiliares, I_A

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Los elementos tales como los depósitos, servicios de protección contra incendios o refrigeración están situados fuera del área de procesos y en general son utilizados simultáneamente por diversos sistemas de proceso que forman parte de un gran complejo.

En el caso del presente proyecto, la planta se encuentra aislada de un complejo químico. Por lo tanto, los costes de los equipos auxiliares se calculan a partir de la Figura... para plantas aisladas de un complejo en función del coste total de la planta instalada (I_F). Los factores que se indican en la Figura 7 se han dividido entre dos, ya que al tratarse de una planta piloto los servicios auxiliares son menores.

El valor del capital invertido en servicios auxiliares es de **4.270 €**.

156 ESTIMACION DE COSTES

TABLA 15. Valores típicos de los costes de los servicios auxiliares expresados como porcentaje del coste total de la planta instalada (plantas aisladas o grandes adiciones de servicios) *

<i>Servicio</i>	<i>Intervalo</i>	<i>Valor medio (%)</i>
Edificios auxiliares	3,0-9,0	5,0
Generación de vapor	2,6-6,0	3,0
Refrigeración (incluye su distribución)	1,0-3,0	2,0
Refrigeración y bombeo de agua	0,4-3,7	1,8
Almacenamiento de producto terminado	0,7-2,4	1,8
Subestación eléctrica principal	0,9-2,6	1,5
Sistema de evacuación de residuos	0,4-1,8	1,1
Almacenamiento de materias primas	0,3-3,2	1,1
Distribución de vapor	0,2-2,0	1,0
Distribución de electricidad	0,4-2,1	1,0
Compresión y distribución de aire	0,2-3,0	1,0
Distribución de agua	0,1-2,0	0,9
Sistema de protección contra incendios	0,3-1,0	0,7
Tratamiento de aguas	0,2-1,1	0,6
Ferrocarril	0,3-0,9	0,6
Carreteras y aceras	0,2-1,2	0,6
Suministro y distribución de gas	0,2-0,4	0,3
Tratamiento sanitario de residuos	0,1-0,4	0,3
Comunicaciones	0,1-0,3	0,2
Alumbrado de planta y zonas limítrofes	0,1-0,3	0,2

* De H. C. BAUMAN: *Chem. Eng. Progr.*, 1, 51 (1955).

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Figura 7: Costes de servicios auxiliares.

Fuente: D.F. Rudd y Ch. C. Watson, “Estrategia en ingeniería de procesos”

– Capital circulante, I_W

Es el capital invertido en el sistema en forma de dinero efectivo, para prevenir gastos de operación y mantenimiento del almacenamiento de materias primas y productos.

Se debe considerar un mes de materias primas, además del dinero pendiente de cobro y el disponible en caja y banco.

Por tratarse de una planta piloto, se ha considerado el capital invertido en una reserva de semillas para 10 días.

El capital circulante es de **1.603,2 €**

Por lo tanto, sustituyendo cada valor en la Ecuación 1 se obtiene un valor de capital fijo invertido de **437.669,55 €**.

1.3 Costes de Producción, C

Los costes de producción son los que sirven para mantener en funcionamiento el sistema en la forma prevista. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$C = F_I + F_Q + F_L \quad [4]$$

– Término proporcional a un capital de inmovilizado, F_I

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Se refieren a factores que son normalmente independientes del volumen de producción, siendo proporcionales al capital de inmovilizado de la planta, y son:

- Mantenimiento: mano de obra y materiales, impuestos sobre la propiedad y seguros.
- Gastos de seguridad: protección contra incendios, vigilancia, primeros auxilios, etc.
- Servicios generales: laboratorio, vías de circulación, transportes, etc.
- Servicios administrativos: oficinas, contabilidad, servicio jurídico, etc.

Se han calculado a partir de la Figura 8 como fracción del inmovilizado.

No se han considerado gastos referidos a patentes y el resto que se muestran en la Figura 8 se han dividido entre dos para considerar la escala de planta piloto.

El valor del coste proporcional al inmovilizado es de **39.390,25 €**.

TABLA 16. Costes indirectos que intervienen en el coste de fabricación

Partida	Coste anual como fracción de inmovilizado
Mantenimiento y reparaciones	
Procesos sencillos	0,02-0,06
Procesos altamente corrosivos o a presiones o temperaturas elevadas	0,07-0,11
Patentes	0,01-0,04
Seguros	0,01
Servicios generales	0,02-0,10
Factor total razonable para costes indirectos	$a = 0,10-0,20$

Figura 8: Costes indirectos que intervienen en el coste de fabricación.

Fuente: D.F. Rudd y Ch. C. Watson, "Estrategia en ingeniería de procesos"

- Termino proporcional al volumen de producción, F_Q

Dependen de la velocidad con la que los productos son fabricados por el sistema, son productos proporcionales a:

- Costes de materias primas.
- Costes de los servicios generales: energía eléctrica, combustible, agua de refrigeración, etc.

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

- Costes de mantenimiento motivados por el funcionamiento.
- Productos químicos, catalizares y materias consumidas en la fabricación distintos a las materias primas.
- Costes de almacenamiento y expedición, control de calidad y análisis rutinarios.

Se han considerado los costes en semillas para un año de funcionamiento de la planta, así como el dióxido de carbono. Los costes de mantenimiento debido a la operación se han considerado como un 1% del inmovilizado total (la mitad de lo indicado, ya que se trata de una planta piloto). Por último se considera el coste en electricidad consumida teniendo en cuenta el precio del KWh en tarifa reducida, ya que se trata de una empresa, a razón de un consumo de 0,25 KWh/Kg de producto. Por ser industria química le corresponde 0,5 KWh/ Kg de producto, pero al ser planta piloto se considera la mitad.

Con todas estas consideraciones se obtiene un valor de **70.595,06 €**.

– Termino proporcional a la mano de obra, F_L

Costes relacionados con el mantenimiento del personal que interviene en la operación:

- Mano de obra
- Gerencia
- Gastos adicionales: vacaciones pagadas, seguridad social, etc.

Se ha considerado según D.F. Rudd y C.C. Watson, en su obra Estrategia en ingeniería de procesos que el término de la mano de obra es un 10% de los costes de producción. Resulta un valor de **10.998, 53 €**.

Por tanto, los costes anuales de producción ascienden a **120.983,84 €**.

1.4 Beneficios

1) Beneficio anual bruto, R

Es la diferencia entre el ingreso neto por ventas anuales, S, y los costes de fabricación anuales, C.

Para calcular el ingreso neto anual se ha considerado que se vende todo lo que se produce y que la producción de 1L de aceite requiere de 13,7 Kg de semillas.

El resultado es un beneficio de **57.136,16 €**

2) Beneficios netos anuales, P

Extracción supercrítica del aceite de las semillas del higo chumbo (Opuntia ficus-indica)

Se definen con el beneficio que se obtiene a partir del beneficio bruto al restarle la amortización y los impuestos, según la siguiente ecuación:

$$P = R - eI_F - (R - dI_F)t \quad [5]$$

Siendo:

e: factor anual de amortización calculado para recuperar la inversión hecha en inmovilizado

t: impuestos

d: Factor de depreciación a efectos de impuestos

Por lo que el valor obtenido es de **20.281,51 €**.

Este valor del beneficio neto corresponde con el periodo de amortización de la planta, es decir los 10 primeros años, para los siguientes años, al no tener amortización el beneficio es de **36.854,64 €**.

1.5 Rentabilidad

Por último, se estudia la rentabilidad o tasa de retorno.

Para ello, se va a considerar que la planta piloto va a tener una vida de 15 años, por ello se va a utilizar un capital fijo invertido promedio en esos 15 años. Usando la ecuación 6:

$$i = \frac{\text{Beneficio neto obtenido}}{\text{Capital fijo invertido promedio}} \cdot 100 \quad [6]$$

Debido a que la amortización se realiza en 10 años, se va a distinguir entre un valor de rentabilidad inicial, durante el período de amortización de la planta, y otro valor de rentabilidad para los 5 años restantes. Para calcular cada valor de rentabilidad se tendrán en cuenta los beneficios obtenidos en cada período.

– Rentabilidad inicial:

$$i = \frac{20.281,51}{43.766,95} \cdot 100 = 46,33\%$$

– Rentabilidad final:

$$i = \frac{36.854,64}{43.766,95} \cdot 100 = 84,20 \%$$

