

12 DE DICIEMBRE DE 2022

PRODUCCIÓN DE PAPAÍNA
A PARTIR DEL LÁTEX DE PAPAYA

WABISZCZEWICH, MARIANA ÉVELIN
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Delta

Contenido

Capítulo 1: Introducción.....	3
Capítulo 2: Descripción del Producto.....	4
Características Generales.....	4
Aplicaciones	5
Calidades de papaína según requerimientos industriales	9
Propiedades de nuestro producto.....	11
Capítulo 3: Ingeniería Básica	13
Descripción del proceso.....	13
Factores que afectan a la actividad proteolítica.....	20
Diagrama de bloques	21
Diagrama simplificado del proceso	22
Balance de materia.....	23
Capítulo 4: Organización Industrial	26
Localización del emprendimiento	26
Gestión de las personas	27
Cargos y funciones	27
Organigrama	30
Capítulo 5: Ingeniería de Detalle.....	31
Capacidad de planta.....	31
Tanque de almacenamiento de látex T-100.....	31
Tanque de mezclado T-101 y T-102.....	34
Refrigeración de los tanques T-100 y T-101	36
Centrífuga S-100	37
Ultrafiltro S-101	42
Secador spray S-102	47
Envasadora.....	53
Pesadora cerradora PSC-8	54
Capítulo 6: Diseño del Equipo Auxiliar	56
Ciclo primario de refrigeración por compresión	56
Selección de equipos que componen el ciclo primario.....	64
Ciclo de refrigeración secundario.....	71
Sistema de limpieza de equipos.....	74
Tratamiento de efluentes	77
Capítulo 7: Diseño de Cañerías y Accesorios	80
Cañerías	80
Diseño hidráulico de tuberías	82

Válvulas	86
Soportes	93
Bombas	96
Elección del modelo de bomba adecuado.....	103
Aislaciones de Cañerías.....	105
Capítulo 8: Instrumentación	113
Componentes y operaciones básicas de un sistema de control.....	113
Nomenclatura de los lazos de control.....	119
Descripción del sistema de instrumentación del proceso	120
Estudio de un lazo de control	122
Estabilidad del circuito de control	124
Determinación de la ganancia última del controlador	126
Instrumentos de control del ciclo de refrigeración	136
Capítulo 9: Análisis Económico Financiero	140
Inversión inicial	140
Capital inmovilizado	140
Capital circulante.....	144
Estimación de los costes de producción	145
Ventas y rendimiento de la planta	150
Flujo Neto de Caja.....	151
Valor Actual Neto.....	152
Viabilidad del proyecto	155
Capítulo 10: Evaluación de calidad, seguridad e higiene	156
Seguridad e higiene	156
Marco normativo	157
Evaluación de riesgos del proyecto	159
Resultado de la evaluación	162
Aspectos para considerar	164
Seguridad biológica	171
Principios generales de diseño higiénico de equipos	172
Herramientas y sistema de calidad	174
Control de contaminación y medio ambiente	176
Normativa ambiental de la provincia de Misiones	176
Estudio de impacto ambiental.....	177
Bibliografía.....	181
ANEXOS	183

Capítulo 1: Introducción

En la actualidad, el uso de las enzimas ha adquirido gran relevancia en la industria. Las ventajas de las enzimas en la producción industrial son evidentes frente a los catalizadores no biológicos, principalmente porque tienen la capacidad de acelerar reacciones químicas energéticamente posibles sin que se consuman en la reacción, no alteran el balance energético de las reacciones en que intervienen, ni modifican, por lo tanto, el equilibrio de esta, pero consiguen acelerar el proceso.

Una enzima de gran interés lo constituye la papaína, la cual es obtenida del látex de la papaya (*Carica papaya* L.). La papaína es una enzima proteolítica parecida a la pepsina, capaz de degradar a otras proteínas como en la digestión. Esta enzima posee características digestivas de gran alcance en relación con la pepsina y a la pancreatina, debido a que los cambios en alcalinidad o acidez intestinal no interfieren con su actividad digestiva única. De igual manera, la papaína hidroliza las proteínas de la carne de tal modo que hace los alimentos más disponibles para el proceso digestivo. Por estas razones esta enzima tiene muchas aplicaciones industriales importantes como en el sector médico, farmacéutico, alimenticio como ablandador de carnes y para quitar el aspecto turbio de la cerveza debido a otras proteínas presentes en ella. La importancia económica de esta enzima es considerable puesto que representa las dos terceras partes del mercado de enzimas.

La obtención de la papaína en el país resulta una idea muy atractiva para darle valor agregado a la fruta, ya que actualmente el cultivo de papaya deriva exclusivamente su uso a la industria alimenticia. Argentina es un país caracterizado por su clima cálido y húmedo que permite el cultivo de diversas frutas tropicales de gran calidad, por lo cual sería un lugar idóneo para materializar esta empresa.

Capítulo 2: Descripción del Producto

Características Generales

El término *Papaína* fue introducido por Wurtz y Buchut en 1878 para describir el principio proteolítico presente en el látex de papaya. La papaína es una enzima proteolítica utilizada en una serie de industrias químicas, por su propiedad de demoler proteínas en sus componentes más elementales atacando determinadas posiciones de las cadenas peptídicas.

Consiste en un único péptido, que modifica su estructura por tres residuos de cisteína que se encuentran en la molécula. Esta última se divide en dos partes, estando el sitio activo en la mitad. Su estructura está compuesta por 185 aminoácidos simples, que se encuentran enrollados en 2 partes separadas por un puente que tiene un lugar activo con un grupo tiol (SH) libre. Los aminoácidos se encuentran presentes de la siguiente manera:

Tabla 1: Composición de la papaína

Aminoácidos	Número de veces que se presenta en la cadena polipeptídica de la Papaína
Alanina	13
Arginina	10
Ácido aspártico	17
Cisterna	6
Ácido glutámico	17
Glicina	23
Histidina	2
Isoleucina	10
Leucina	10
Lisina	9
Fenilalanina	4
Prolina	9
Serina	11
Treonina	7
Triptofano	5
Tirosina	17
Valina	15

Es una enzima de baja especificidad que hidroliza tanto las proteínas como los péptidos de pequeño tamaño, amidas y ésteres. Preferentemente actúa sobre los aminoácidos básicos, Leu, Gly, así como sobre Arg, Lis y Phe. Es activada por la cisteína (aminoácido), el tiosulfato (compuesto de azufre) y el glutatión. Es inhibida o inactivada por iones metálicos (Zn, Cd, Fe, Pb), oxidantes (H_2O_2 , radicales libres, etc.) y por agentes que reaccionan con los tioles (ácido ascórbico).

Se caracteriza por ser un polvo amorfo, granuloso de color blanco, grisáceo o parduzco; ligeramente higroscópico e insoluble en agua y en la mayoría de los solventes orgánicos. Es soluble en alcohol etílico y metílico.

La papaína bruta contiene un poco de agua, glúcidos, ácidos orgánicos y una mezcla de enzimas, dónde destacan las denominadas proteasas que actúan rompiendo los enlaces peptídicos en cualquier lugar de la cadena peptídica en la que se hallen situados (endopeptidasas). También contiene pequeñas cantidades de otros enzimas: quimopapaína y lisozima (enzima que rompe las paredes de las células bacterianas). Su peso molecular es de 23.400 g/mol (23.4 kDa).

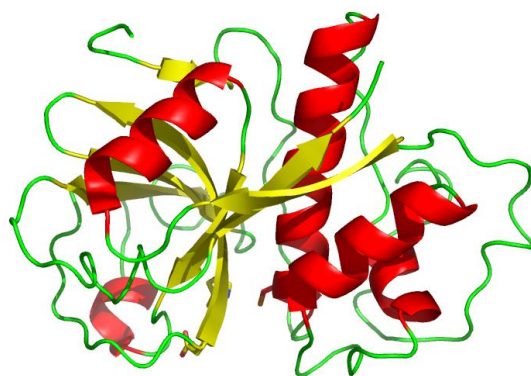


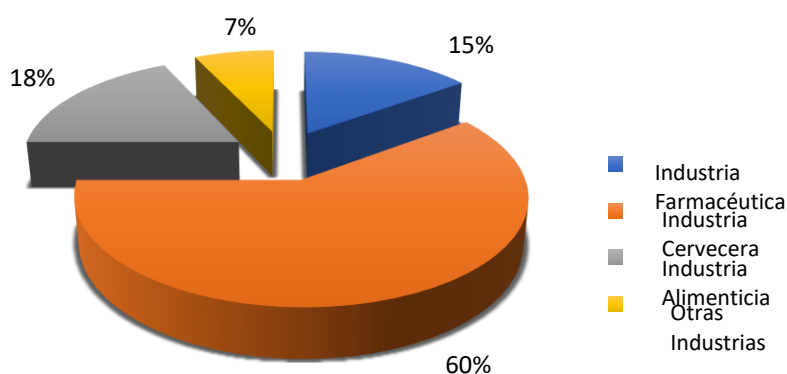
Ilustración 1: Estructura de la papaína

Aplicaciones

Dada sus propiedades proteolíticas, la papaína se puede aplicar en muchas industrias, por lo que todos los días aparece un nuevo uso, y con él una nueva fuente de

demanda. La breve reseña que continúa es sólo una muestra para graficar lo extenso de las posibilidades de uso de esta sustancia y las potencialidades que posee su comercialización, en función del posible desarrollo de las industrias que la utilizan como insumo en sus procesos de producción.

Ilustración 2: Distribución del mercado de Papaína



Industria cervecera

Se la utiliza como clarificante a lo largo de todo el proceso de elaboración de la cerveza. La papaína se utiliza al inmunizar la cerveza a los cambios de temperatura, proceso en el cual las turbiedades por ácido tánico causadas por la formación de complejos de fenol polihídrico proteínico (polifenol) durante la destilación y durante el enfriamiento se degradan mediante la papaína, de forma que las partículas del complejo son demasiado pequeñas para formar una turbiedad. Cada cervecero soluciona este problema de forma diferente, pues dispone de una amplia gama de opciones tecnológicas. Esas soluciones van desde las extracciones de polifenoles hasta las extracciones de proteína mediante la adición de otros preparados. Así, la papaína se halla en circunstancias muy competitivas, y son muchas las influencias que afectan a la elección final.

Las distintas cervezas, tienen distintos requerimientos de papaína: cuanto mayor el tiempo de vida, mayor es la cantidad que se necesita para la elaboración. La cerveza de barril, de relativa corta vida, requiere menos que la envasada, con una vida media de 6 meses, o una enlatada o de exportación, cuyo tiempo de vida es de hasta 2 años.

Industria alimenticia

La industria de la carne fue pionera en el uso industrial de papaína como tiernizador. Esta es la razón por la cual existen métodos patentados para mejorar la terniza de la carne. Van desde las inyecciones de papaína antes de la matanza hasta una solución helada de papaína después del sacrificio, pasando por una combinación de tetrasodio de papaína (después de la matanza) y una combinación de tetrasodio de papaína, cloruro sódico y fosfato monosódico (después de la matanza). La papaína se utiliza en diversas cantidades en cada uno de esos procesos, y también en este caso compete con otros procesos de ablandamiento como el machaqueo, el corte o la separación de las fibras de carne con ultrasonidos, inyecciones de soluciones salinas de bajo nivel o inyección de agua a presión. A su vez puede incorporarse en una sal ablandadora que se pone a la carne antes de cocinarla.

Otro uso es como un componente más en mezclas saborizantes para el aderezo de carnes y derivados. La papaína se utiliza para enriquecer cereales proteínicos, alimentos instantáneos y alimentos naturales de alto contenido proteínico. Por último, se emplea en la fabricación de alimentos instantáneos a fin de facilitar la cocción rápida. Se emplea en la producción de alimentos especiales para bebés, ya que mejoran la capacidad de asimilación de los alimentos al degradar los compuestos de alto peso molecular a cadenas más cortas de fácil incorporación al torrente circulatorio alimenticio del bebé.

Industria Farmacéutica

El uso de la papaína por parte de la industria de la salud es el que se muestra con una mayor tasa de crecimiento, y con mejores perspectivas para el futuro inmediato. Es así como la industria farmacéutica la usa intensamente como insumo para la fabricación de heparina (que sirve para reducir los coágulos de sangre tras una operación) y vacunas. Ello lleva a cultivar bacterias a fin de aislar componentes concretos para la producción de la vacuna en sí. La papaína se emplea en la preparación de caldos de peptona a partir de carnes con el objeto de separar y liberar proteínas para que las bacterias las consuman a mayor velocidad. Sin embargo, el número de empresas que producen vacunas es reducido.

La industria de los cosméticos la utiliza para sus cremas faciales, limpiadoras, tratamientos faciales y pastas dentífricas. La óptica como agente enzimático de limpieza de lentes de contacto. También se utiliza en preparados para combatir los edemas y las inflamaciones relacionadas con operaciones, o con traumas causados por accidentes, infecciones o alergias.

Otras industrias

Industria textil. Se utiliza para desgomar la seda y como agente de limpieza en seco y lavandería.

Industria del cuero. Se emplea en el preparado de compuestos de maceración. La maceración es un proceso empleado antes del curtido, en el cual las pieles se sumergen en una solución en fermento para darles blandura y suavidad.

Industria fotográfica. En preparados para la recuperación de plata y a partir de película usada en laboratorios de revelado fotográfico.

Industria del forraje. Poniendo la papaína en algún mezclado sirve como forraje. Puede aumentar enormemente la disponibilidad y la inversión de la proteína, disminuyendo el costo.

Calidades de papaína según requerimientos industriales

Papaína cruda

Es el látex obtenido del mamón, sin ningún tipo de tratamiento ulterior, salvo la eliminación de impurezas gruesas que se incorporan al producto con la recolección.

Características:

- No contiene preservantes ni aditivos.
- Es inestable química y bacteriológicamente.
- Actividad: Oscila entre los 100 y 200 IU/mg.

Es preferida por aquellos clientes que hacen sus propios preparados, ya que no contiene preservantes ni aditivos. Se encuentra en estado puro. Estos fabricantes poseen sus propias plantas de aislamiento y purificación. Su manipulación requiere habitualmente el uso del frío para evitar el deterioro del producto, lo que encarece el flete y manipulación, de por sí ya caros por la baja actividad por unidad de peso.

Papaína cruda seca

Responde a las mismas características que el producto anterior, salvo que ha sido deshidratada por el sol o por secaderos más o menos primitivos de aire caliente, continuos o en bandejas estáticas.

El aire en circulación para el secado tiene una temperatura que oscila entre los 50 o 60°C. La papaína por secar puede estar previamente tratada o no para eliminar las impurezas. La característica principal es que no ha sufrido ninguna aislación controlada, por eso sigue siendo “cruda” y, en general, no contiene preservantes.

Características:

- Poco soluble.
- Color: desde marrón claro a oscuro.
- Actividad: Oscila entre los 400 y 600 IU/ mg.

- Es más estable que la papaína anterior.

Es habitualmente requerida por los mismos clientes que la papaína cruda líquida. Es más sencilla la manipulación y stockeo. Tiene un tiempo de vida medio relativamente bajo.

Papaína polvo spray

Para obtener este producto se requieren una serie de operaciones de lavado, filtración, agregado de aditivos preservantes y aislantes de la proteína, antes de la operación de secado, que se realiza en un secadero de tipo spray de gotas líquidas. Es también habitual, aunque opcional, un proceso de fermentación controlada que inactiva aquellos componentes inestables del látex crudo que contribuyen a su descomposición.

Características:

- Buena solubilidad.
- Color claro, blanco-amarillo.
- Actividad: Oscila entre los 1200 y 1600 IU/mg.
- Altamente estable química y bacteriológicamente.

Es requerida por clientes que la utilizan en procesos de alta complejidad como la fabricación de pectinas o productos de la demolición controlada de proteínas. O también la industria cervecera, con los procesos de producción cada vez más automatizados, requiere con más frecuencia este tipo de productos estandarizados.

Papaína liofilizada

Este producto es el más sofisticado de la serie. Para su producción son puestas en juego modernas técnicas de concentración y aislamiento, propias de la industria farmacológica, a la que está destinado el grueso de su producción.

En esencia el proceso de producción no difiere fundamentalmente del anteriormente descrito. Sólo que el secado final se realiza en vacío, a bajas temperaturas (sublimación), lo que configura el proceso de liofilización.

Características:

- Máxima solubilidad.
- Actividad: Oscila entre los 1600 y 3200 IU/ mg.
- Altamente estable.
- Alta pureza bacteriológica.

Es requerido por la industria farmacéutica y de alta complejidad como la biotecnológica. No obstante, la industria cervecera también la utiliza por ser muy confiable y de fácil manipulación.

Propiedades de nuestro producto

El producto que se realizará en nuestra planta cuenta con las siguientes propiedades:

Actividad enzimática: 1200 IU/mg. Regulada de acuerdo con el pedido del cliente, según uso y tipo de industria.

Estado: Polvo.

Color: Blanco, grisáceo o parduzco.

Olor: Posee olor bajo.

Higroscópico: Ligeramente Higroscópico.

Peso Molecular: 24300 Dalton.

Solubilidad: Soluble en agua en cualquier proporción. Moderadamente soluble en glicerol, alcohol etílico y metílico. Insoluble en otros alcoholes y otras soluciones orgánicas.

Temperatura Óptima: 65 ° C

pH: 5-5,5 en solución al 5% o según especificaciones del cliente.

pH de Actividad: 3,5- 9

Temperatura de Actividad: 10 - 90 ° C

Estabilidad térmica de la actividad enzimática: Invariable por largos periodos con almacenamiento refrigerado. Reducción de actividad enzimática inferior al 1% después de 6 meses de almacenamiento a temperatura ambiente de hasta 40° C.

Test microbiológico: Plate count máximo:<500/g, Salmonella: negativo, E. Coli: Negativo.

Empaque: Acordar con cliente.

Humedad:<11% o acordar con el cliente.

De esta manera se define la papaína como producto.

Capítulo 3: Ingeniería Básica

En este capítulo se detalla de manera descriptiva el modo de operación de la planta, desde la extracción de la materia prima hasta el producto finalmente envasado.

Descripción del proceso

Recolección de látex

Con el fin de obtener un proceso estandarizado, se deben caracterizar las materias primas a ser utilizadas. Las características que debe tener el fruto para la extracción del látex son:

- Color del fruto: Verde.
- Edad del fruto: 2,5 a 3 meses de edad (al final de la etapa de crecimiento y antes del comienzo de la maduración).
- Edad de la planta: Hasta 5 años (después de los 5 años los frutos se vuelven más pequeños y por lo tanto más improductiva).

Para la recolección se recomienda utilizar materiales de acero inoxidable. Esto es debido a que la papaína pierde su actividad fácilmente al estar en contacto con metales como el hierro y el cobre. Las hojas de afeitar de acero inoxidable de doble filo han sido utilizadas con éxito para ello.

Una vez realizadas las incisiones, el látex fluye y cae en los recipientes colectores. Cada cosechador tendrá un recipiente plástico pequeño, con forma de sombrero invertido, para depositar el látex fresco.

Ilustración 3 - Extracción del látex



Durante la cosecha, se tendrán recipientes plásticos con capacidad de 4 litros los cuales servirán de colector común para los cosechadores. Estos deben utilizar guantes de PVC largos durante esa labor, ya que el látex fluido es capaz de provocar quemaduras en la piel.

La recolección del látex debe de realizarse en las primeras horas de la mañana, ya que es en esta etapa del día cuando menor acción de la luz se aprecia, lo cual evita que el látex sufra deterioros por causa de la acción de la luz ultravioleta. No obstante, no existe diferencia significativa en la actividad proteolítica de la papaína, al realizarse las extracciones del látex entre 5:30 y las 14 horas del día.

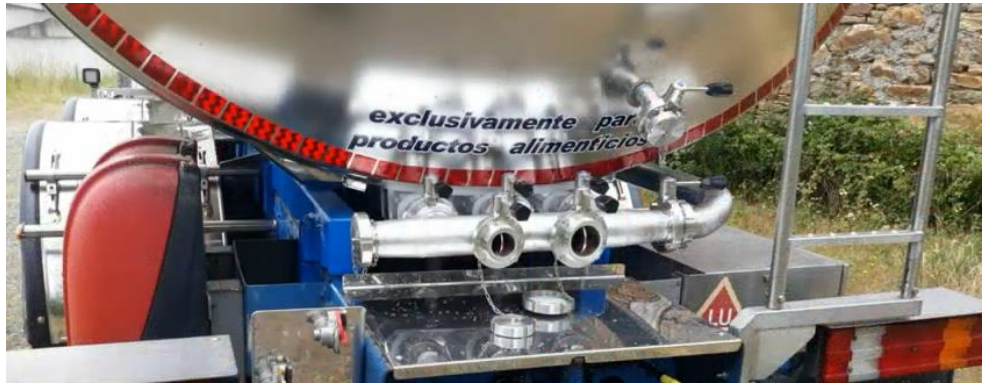
Transporte del látex a la planta

Se prevé un ingreso de 2188 kg (2088 l) de látex cada 3 días, 3646 kg por semana. El látex viene en un camión con cisterna de 2000 litros de capacidad.

Recepción de la materia prima

En un principio, el látex proveniente de la plantación ingresa por la entrada principal. Este se dirige hacia la zona de ingreso de materia prima donde se posiciona en la báscula. Se hace inspección visual del contenido y se extraen muestras de la boca de descarga situada para tal fin, con las que se hace un pool para análisis rápido y contramuestra del lote. Posteriormente se vuelva a pesar el tanque vacío.

Ilustración 4 - Manifold del camión cisterna



La extracción de las muestras será realizada por un técnico del laboratorio. Se originará una Nota de Recepción, donde se consignan todos los datos de la partida, y las observaciones. Posteriormente a esta Nota se agregarán los resultados de los análisis de laboratorio (básicamente valor de la actividad y contenido de agua y sólidos secos). Conviene recordar que el criterio de pago de la materia prima es la cantidad en kg y la actividad del látex como % de papaína o Unidades Internacionales. Esta Nota de Recepción se corresponderá con el remito de origen.

Análisis del látex

El látex es un fluido lechoso compuesto por un suero líquido que contiene en suspensión o en solución, una mezcla compleja de componentes

Se consideraron los siguientes parámetros para la caracterización del látex:

Densidad: Para la determinación de la densidad se utiliza un densitómetro de laboratorio (ejemplo Anton Paar).

Materia Seca: Se pesaron 2 gramos de muestra y se colocaron en la termobalanza marca Kern a una temperatura de 101°C. Se calculó el % de materia seca con la siguiente ecuación:

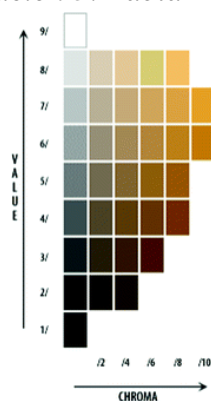
$$\%MS = 100 - \% \text{ humedad}$$

pH: Se deben pesar 10 gramos de la muestra y se homogeniza con 20 ml de agua destilada. La mezcla se calienta hasta ebullición y se añade 20 ml más de agua destilada al homogenizado y una vez enfriado a 20 °C se mide el pH.

Acidez titulable: Se usa la técnica de titulación con hidróxido de sodio al 0.1 N usando fenolftaleína como indicador y los resultados se expresan en porcentaje de ácido cítrico siguiendo el método AOAC 22.060.

Color: Para la determinación del color se usó el sistema Munsell, el cual describe todos los posibles colores en términos de tres coordenadas: matiz (Hue) que mide la composición cromática de la luz que alcanza el ojo, claridad (Value), el cual indica la luminosidad u oscuridad de un color en relación con una escala de gris neutro y pureza (Chroma) que indica el grado de saturación del gris neutro por el color del espectro. En la tabla Munsell la claridad se presenta en sentido vertical y la pureza en sentido horizontal.

Ilustración 5: Tabla Munsell.

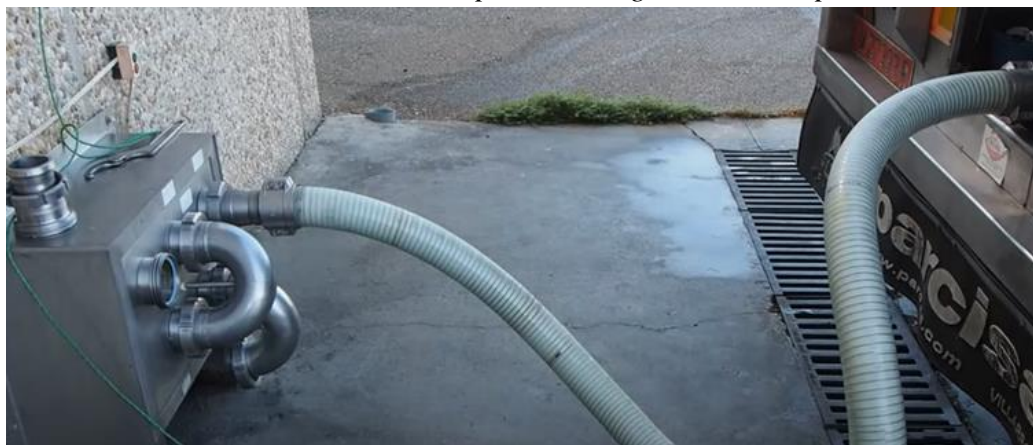


Estabilización del látex

Una vez que se cuenta con la aprobación del área de calidad, se procede a realizar la descarga en el tanque de almacenamiento (T-100) utilizando un skid de descarga, donde el látex es refrigerado hasta unos 4°C mediante una chaqueta, y mezclado con un agitador

de turbina a bajas revoluciones. De esta manera se logra mantener acondicionada la materia prima.

Ilustración 6 - Conexión para descarga de materia prima



Mezclado

El látex acondicionado se envía a un segundo tanque, conocido como tanque de mezcla (T-101), que también posee refrigeración a través de una chaqueta y agitación. En el mismo, se produce la mezcla entre el látex y la solución buffer. Esta solución se prepara a partir del agua desmineralizada proveniente de lo filtrado en planta de agua, y el agregado manual de 32,4 kg de citrato de sodio en grajeas.

Con esta acción se logra llegar a un valor de pH cercano a 8, el cual es considerado como el óptimo para poder realizar la extracción selectiva de la papaína. El buffer y la papaína, debido a su afinidad, logran una interacción que permite separar a la enzima del látex. Luego de un tiempo de mezclado aproximadamente de 1 hora, donde se controla la densidad del tanque para asegurar su correcta homogeneización, la mezcla es enviada a la centrifuga.

Centrifugación

En este paso, se utiliza una centrífuga de discos (S-100) para procesar la mezcla de látex y solución buffer, donde las partículas extrañas de mayor volumen son separadas. Esto divide al látex en dos fases, una clarificada rica en papaína y otra conteniendo los sólidos insolubles provenientes del látex. Con este equipo lo que se busca es aumentar la velocidad de separación de las dos fases producidas en el tanque de mezcla. La corriente indeseada pasa por el ciclón está seguido a la centrífuga, y termina yendo al tanque de agua a tratar. El clarificado rico en papaína pasa a la siguiente etapa.

Ultrafiltración

En esta operación, la solución que inicialmente está contenida en el tanque pulmón (T-102), es bombeada a la unidad de UF (S-101) y regresada al tanque. Conforme transcurre la operación el volumen procesado disminuye hasta alcanzar la concentración final deseada, que es de 35% de papaína y 65% de agua. De esta manera la concentración del producto en el tanque aumenta gradualmente durante el proceso.

Esta operación es necesaria ya que de esta manera se logra eliminar todo el buffer no deseable en el producto. Este equipo es el cuello de botella de nuestro proceso, ya que es la operación más lenta, la cual limita el tiempo de producción.

Secado Spray y envasado

Finalmente, el látex purificado es enviado al proceso de secado en aerosol (spray dryer), en el que se obtiene el producto refinado, con una humedad del 11% w/w. El secador contiene un ciclón el cual realiza la separación de la corriente de aire y del producto, obteniéndose un polvo, el cuál es enviado a una envasadora para su posterior almacenamiento. Seguido se procede al pesado y envasado que se hará en recipientes de

20 kg con envase interior de polietileno termosellado, rotulando cada partida con fecha y número de partida.

Análisis del producto final

De la partida diaria se toman muestras al azar y se envían al laboratorio, en donde se realizan todos los ensayos necesarios para asegurar la calidad del producto, asegurando así que cumple con las especificaciones deseadas. Se obtendrá papaína aislada y seca por el procedimiento Spray, en polvo, con alta solubilidad y actividad alrededor de 1200 UI.

Análisis del contenido de humedad: El contenido de humedad en el látex seco se determinará con una termobalanza, similar a como se realiza el del látex crudo. El valor debe de estar entre un 10 y 11%.

Medición de la actividad proteolítica: La actividad proteolítica es la capacidad que tienen las proteasas para hidrolizar las cadenas polipeptídicas de las proteínas sustrato. La papaína contenida en el látex de papaya tiene amplia especificidad, ya que puede hidrolizar pequeños péptidos y también proteínas.

El método seleccionado consiste en medir la cantidad de tirosina liberada por minuto, a partir de un sustrato de caseína, según el Food Chemical Codex (1972). Cabe mencionar que éste último es uno de los métodos más utilizados, debido a su reproducibilidad y precisión. La actividad enzimática se expresa habitualmente en micromoles (μmol) de sustrato convertido en producto por minuto, en determinadas condiciones de ensayo especificadas.

La actividad específica de una preparación enzimática se define como el número de unidades de enzima por miligramo de proteína ($\mu\text{mol min}^{-1}\text{mg proteína}^{-1}$ o U/mg de proteína). La papaína se vende por las siguientes actividades:

FIP units/mg: 1 FIP unidad de papaína es la cantidad de enzima que hidroliza bajo condiciones estándares 1 mmol de BAEE por minuto.

USP units/mg: 1 USP unidad de actividad de papaína es la actividad que libera el equivalente de 1 µg de tirosina de un sustrato específico de caseína bajo las condiciones del ensayo, usando la concentración de enzima que libera 40 µg de tirosina por ml de la solución de la prueba.

Factores que afectan a la actividad proteolítica

Oxidación Química: Agentes oxidantes como yodo, bromo, peróxido de hidrógeno, el oxígeno y los metales pesados, inactivan la enzima, mientras que el ácido cianhídrico, la cisteína, el glutatión reducido, restauran su actividad. Esto se explica debido a la participación de sulfhídricos en la acción catalítica de la enzima, que se activa en estado reducido y se inactiva al oxidarse. Otros agentes que impiden la oxidación de los grupos sulfhídricos son el sulfito de sodio o de potasio, el dióxido de azufre, bisulfito de sodio, potasio o amonio, al ácido tioglicólico y el ácido ascórbico.

Coagulación: Debido a la naturaleza proteica y a la presencia de peptonas y albuminoides en el látex fresco, este tiende a coagular después de su extracción. La coagulación es el proceso en el que el látex es desestabilizado coloidalmente de tal manera que sucede una agregación o unión de las partículas de la fase dispersa, separándose del medio de dispersión.

Cambios en el pH: Una de las peculiaridades de la papaína, es que mantiene su actividad proteolítica en un amplio margen de pH desde pH 3 a 12, presentando mayor actividad a pH 5 y 6. El valor óptimo para que la enzima actúe depende del tipo de sustrato sobre el cual ejerce su acción, ya que coincide con el punto isoelectrico del sustrato. Entre los agentes amortiguadores más utilizados se encuentran: citrato de sodio y potasio, fosfato de sodio o potasio.

Oxidación por luz: Se inactiva con luz ultravioleta, oxidándose rápidamente por exposición a los rayos solares y al oxígeno.

Crecimiento microbiano: Debido a la naturaleza proteolítica del látex y a la forma de recolección, está propenso a contaminación con microorganismos, que realizan sobre él acción putrefactiva. Como agentes antimicrobianos se utilizan los sulfitos y bisulfitos de sodio y potasio, el fenol, el paranitrofenol, los benzoatos, el resorcinol y el etil-fenol.

Diagrama de bloques

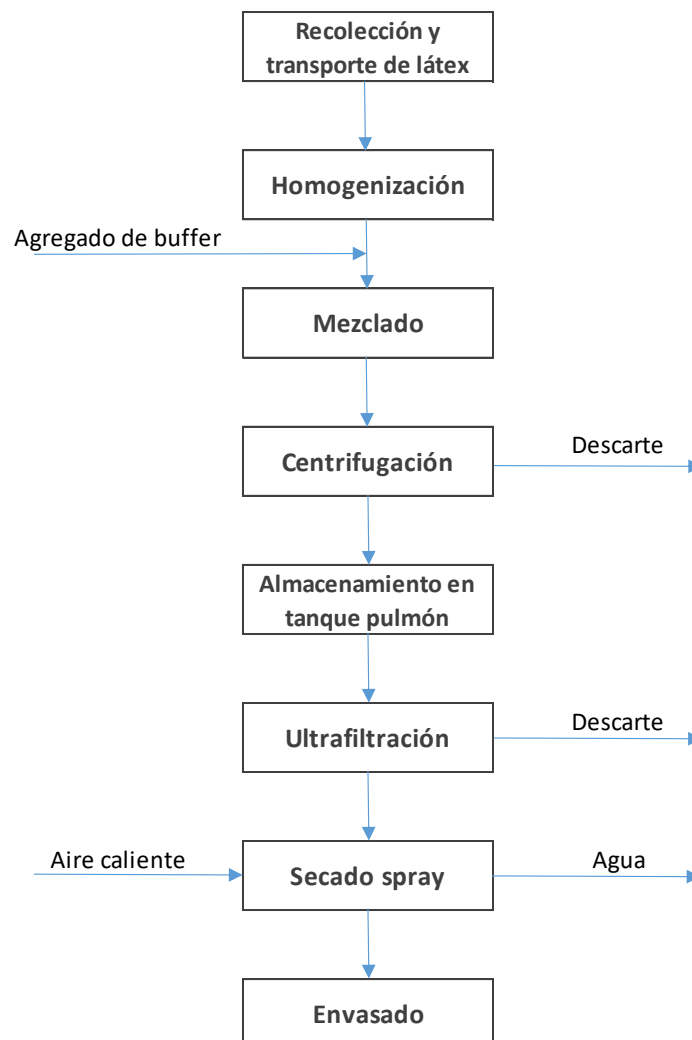
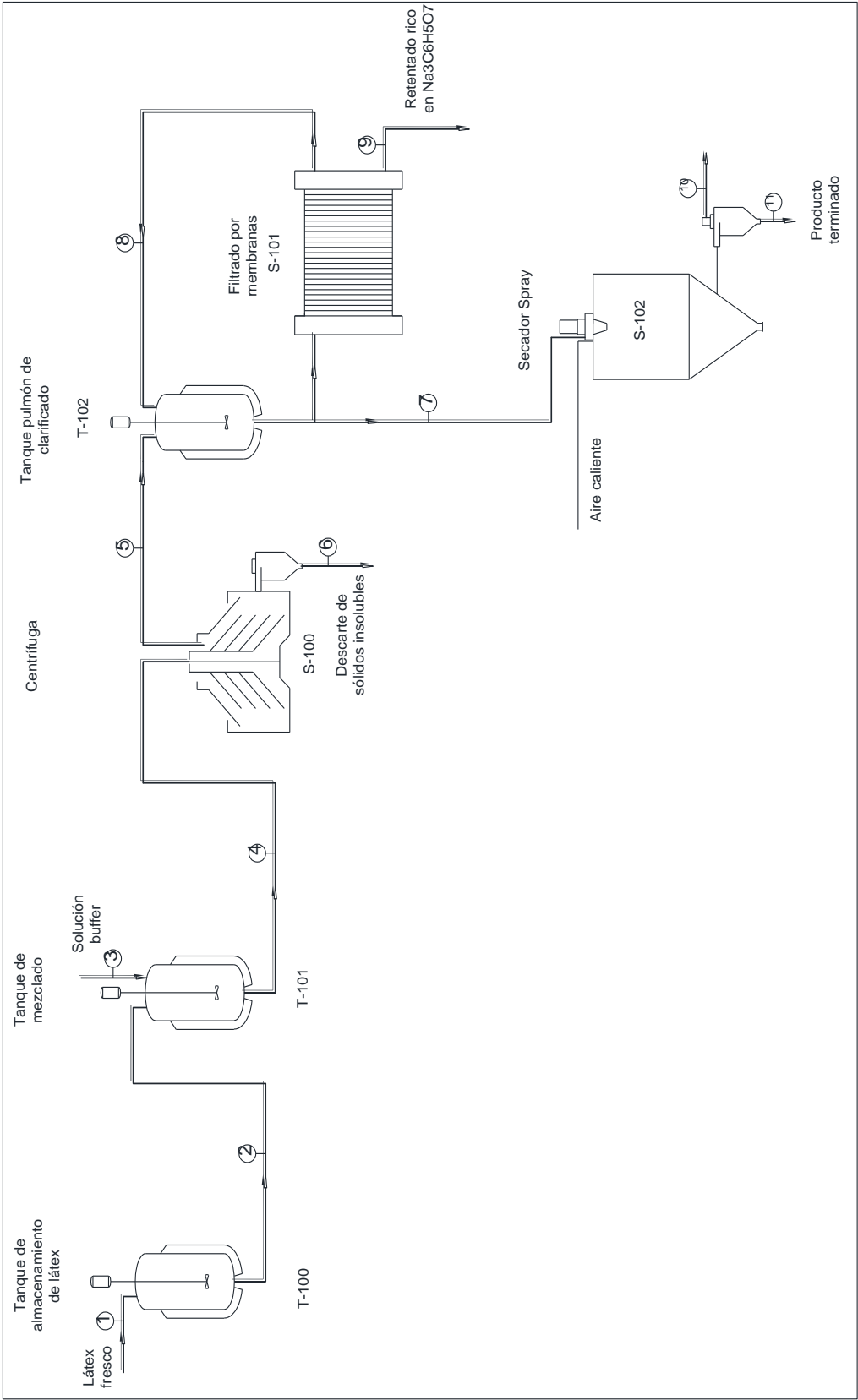
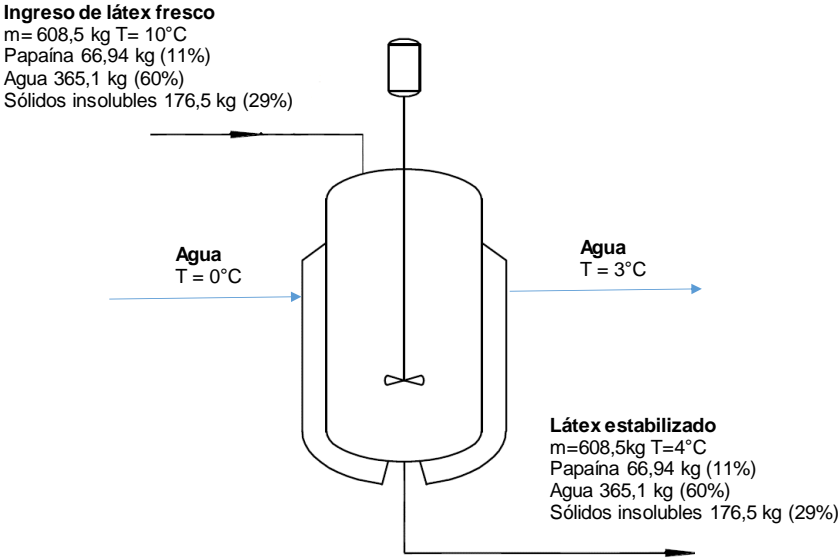


Diagrama simplificado del proceso

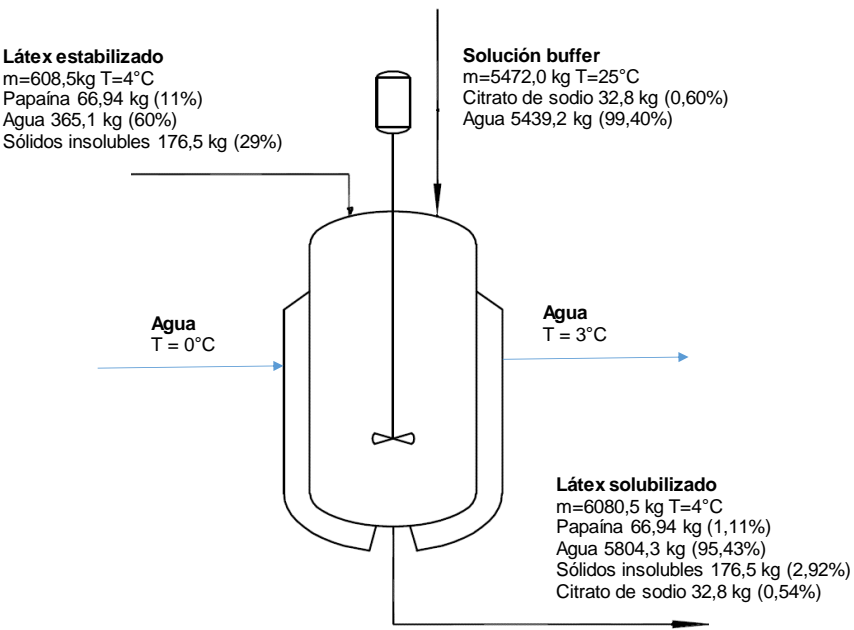


Balance de materia

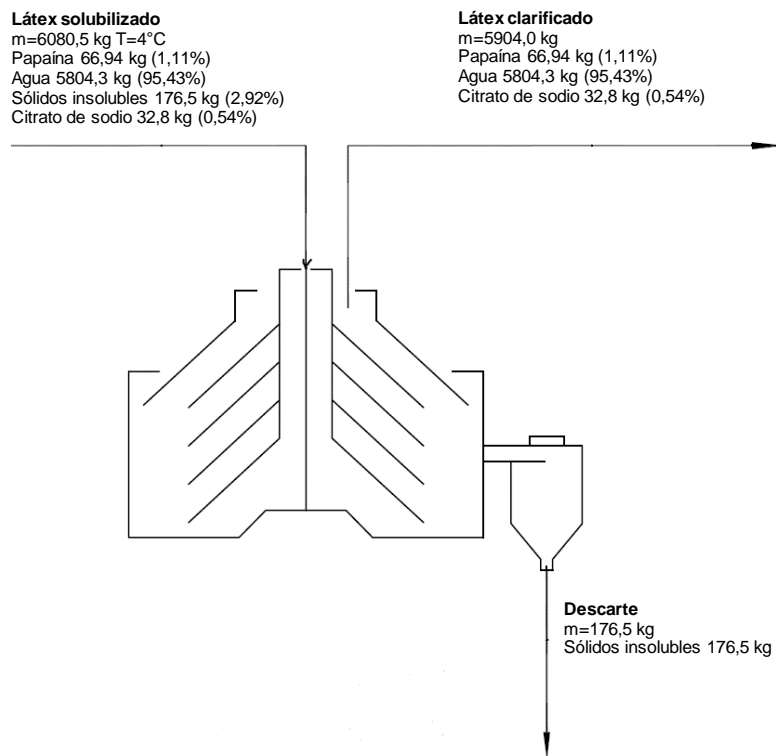
Tanque de almacenamiento de látex
T-100



Tanque de mezclado
T-101

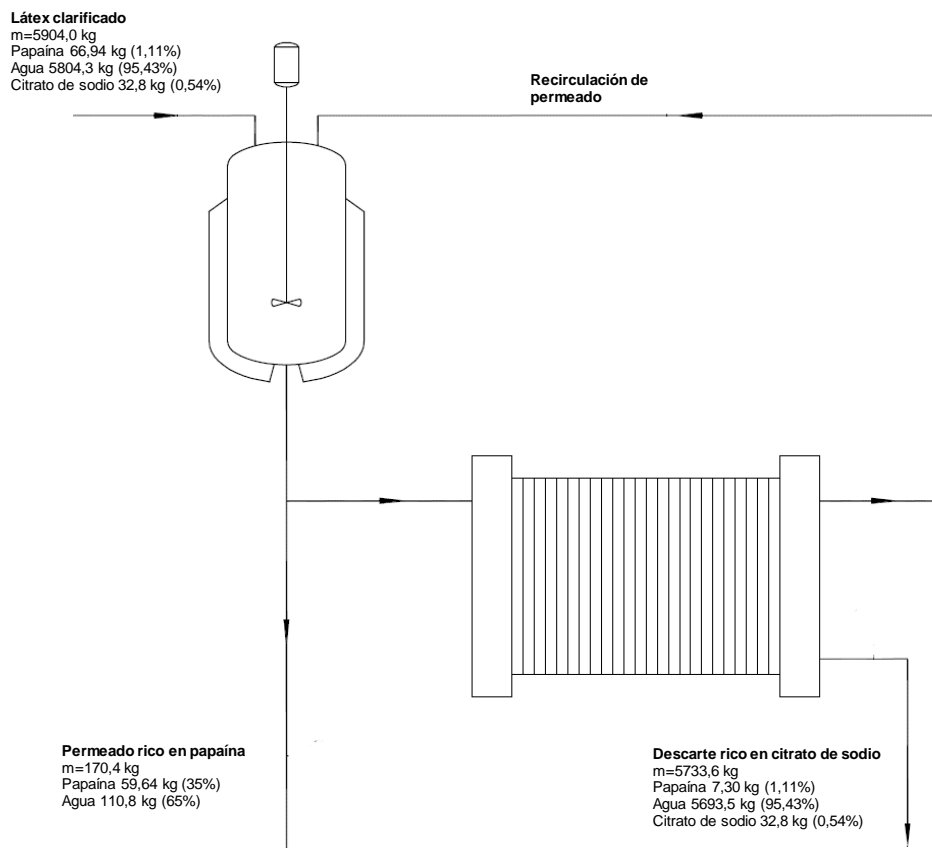


**Centrífuga
S-100**

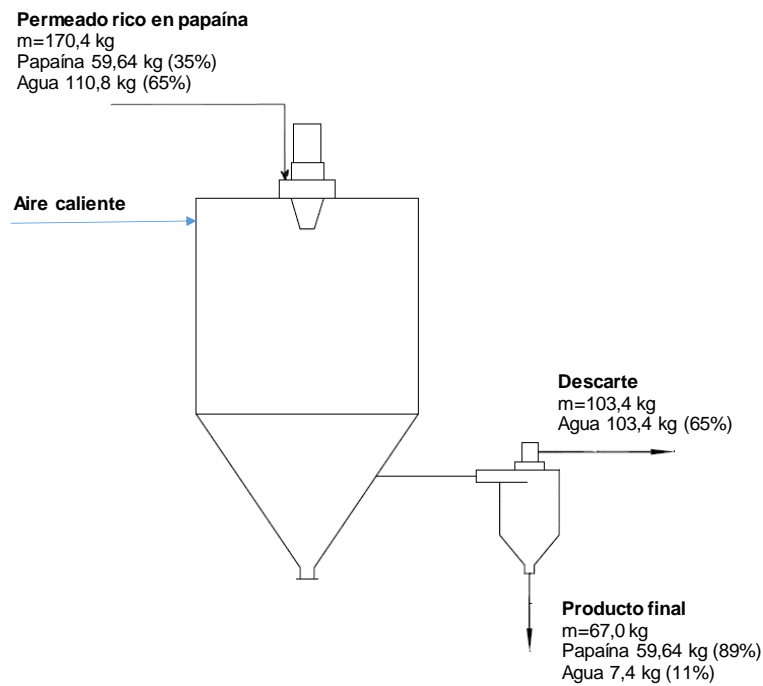


**Tanque pulmón
T-102**

**Ultrafiltro
S-101**



**Secador Spray
S-102**



Capítulo 4: Organización Industrial

Localización del emprendimiento

La localización del emprendimiento será en la provincia de Misiones, más precisamente en el PARQUE INDUSTRIAL Y DE LA INNOVACIÓN POSADAS. La razón primaria de esta elección es la idoneidad de la zona para la plantación de la papaya, la calidad de la fruta que se obtiene gracias al clima y la posibilidad de abastecimiento de materia prima sin la necesidad de agregar aditivos al producto final.

Ilustración 7 - Localización dentro del parque industrial



El ingreso y egreso, tanto del personal como del transporte de materias primas y de productos terminados, se realiza por el INGRESO PRINCIPAL de la planta y luego se distribuyen a través de calles y sectores internos.

Gestión de las personas

El funcionamiento de la planta de producción de Papaína es de 245 días al año, que equivalen a 2205 horas. La planta trabaja en discontinuo 9 horas al día durante 245 días al año. La plantilla de trabajadores tiene dos turnos de trabajo.

Las dimensiones de los edificios se basan en el número máximo de empleados en un solo turno, que vayan a trabajar en la planta. Esto hay que determinarlo antes de hacer la implantación y se ha considerado el siguiente número de empleados:

<i>Cantidad</i>	<i>Cargo</i>
2	Tareas generales y sanitización
4	Operarios de proceso
1	Laboratorista
1	Calidad/Logística
2	Mantenimiento
1	Compras y Ventas
1	Tesorería y contaduría
1	RRHH y liquidación de haberes
2	Seguridad (tercerizado)
2	Limpieza (tercerizado)
1	Legales
1	Gerencia General

El turno para los empleados será el siguiente, de lunes a viernes:

- Horario administración: De 8:00 a 17:00
- Turno mañana: 06:00 a 15:00
- Turno tarde: 15:00 a 00:00

Cargos y funciones

Gerencia General

- Tiene como responsabilidad la determinación de políticas, objetivos y metas que permitan alcanzar los fines de la empresa.

- Identificar y asignar los recursos y los medios necesarios para la implementación, control, mantenimiento y mejora del Sistema Integrado de Gestión.

Legales

- Atender las demandas judiciales del personal, clientes, proveedores o vecinos.
- Asesoramiento en cuanto a contratos.
- Representación legal de la institución.

Área Técnica

Laboratorio y calidad

- Control de calidad de los insumos y de los productos.
- Asegurarse de que la materia prima se encuentre dentro de los parámetros necesarios para cumplir con la calidad de los productos obtenidos.
- Controlar la calidad de los productos finales y partidas.

Producción

- Planificar, elaborar, coordinar y ejecutar las acciones necesarias para llevar adelante las operaciones y el control operativo de las unidades.

Mantenimiento

- Preventivo: Planificando y controlando el mantenimiento rutinario de las líneas de producción y garantizando su óptimo rendimiento.
- Correctivo: Efectuando en el menor tiempo posible las reparaciones, a fin de solucionar cualquier parada del equipo.

Área comercial

- Analizar los pedidos y gestionar la compra y aprovisionamiento de los servicios relevantes cuando proceda.

- Emitir y hacer cumplir los procedimientos y la documentación relacionada con las compras, informando a los proveedores en forma clara y completa los datos de los insumos a proveer.
- Encargarse del depósito de materia prima: encargarse del inventario de insumos, planificar la entrega de esta, contratar los medios de transporte necesarios.
- Realizar estudios de mercado midiendo y evaluando la extensión de este y determinando sus características.
- Encargarse del almacenamiento de producto terminado, planificación de la venta de la producción, del despacho físico, contratación de fletes.

Área de administración

Finanzas

- Se ocupa del manejo de fondos de la empresa como consecuencia de ingreso y egreso de valores y administración de cuentas bancarias.
- Recopila información, la analiza y registra a efectos de cumplir con la información legal y de gestión.
- Actualiza y analiza las cuentas corrientes de clientes y proveedores.

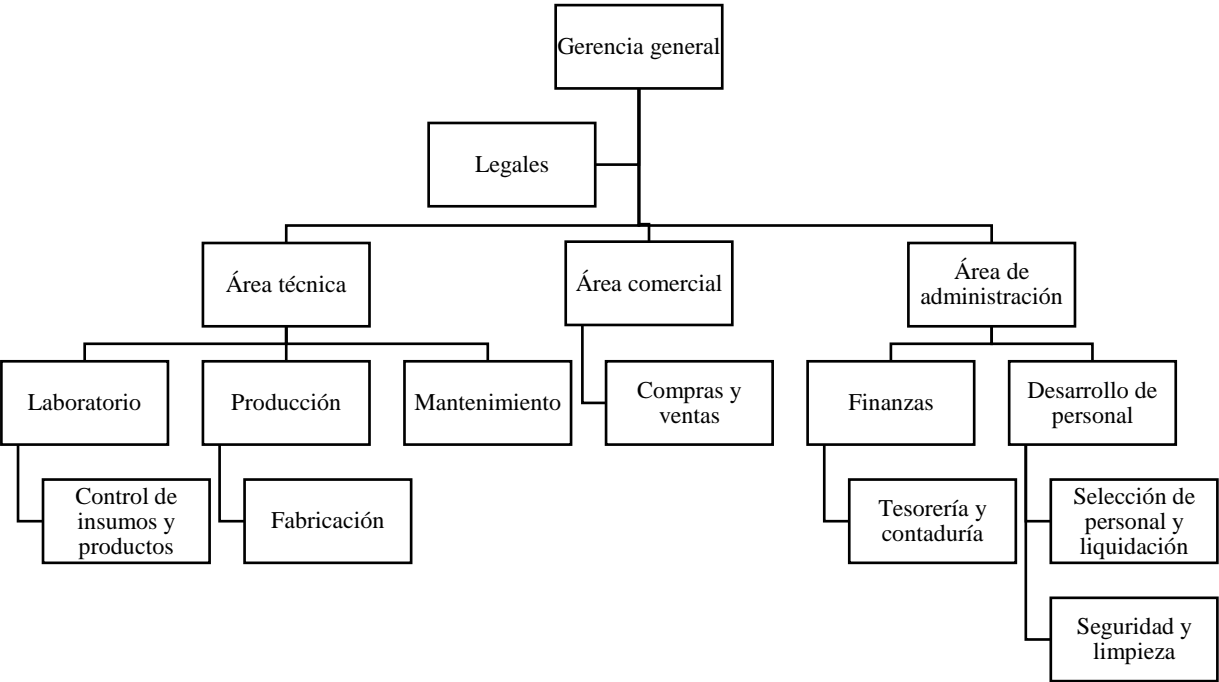
Desarrollo del Personal

- Aplica el régimen disciplinario de la empresa.
- Determina la escala de remuneraciones. Efectuando el cálculo de las mismas y atiende cualquier reclamo al respecto.
- Brinda apoyo al personal en cuanto a obras sociales.

Seguridad y limpieza (Tercerizado)

- Encargado de mantener en resguardo todo lo relacionado con la institución física, es decir, el control de ingreso y de egreso del personal, como también del estacionamiento.
- Limpieza del edificio.

Organigrama



Capítulo 5: Ingeniería de Detalle

Capacidad de planta

Es fundamental antes del diseño, conocer la capacidad a producir y el abastecimiento de la materia prima para el dimensionamiento de los equipos. La capacidad de producción anual se obtuvo a partir del estudio de mercado dando unos 16.400 kg/año, teniendo en cuenta que las semanas laborales son 49 y que la planta solo trabaja de lunes a viernes, la producción por día es de 66,9 kg.

Se optó por una corrida diaria. En relación con la cantidad a producir diariamente se calcularon mediante el balance de masa la cantidad de látex por día dando unos 580 l. Se pensó en cómo se realizaría el abastecimiento de este, sabiendo que las extracciones se pueden realizar cada tres días. Por lo tanto, se decidió que la mejor manera de disminuir el riesgo de desactivación, lo que afectaría luego a la calidad de nuestro producto, sería que el látex sea trasladado el día de la extracción para ser refrigerado y acondicionado en nuestra planta. Teniendo en cuenta esto se dimensiona el primer tanque que almacenará la cantidad de látex necesario para tres días, un total de 6 corridas.

La necesidad semanal de la empresa es de unos 3646 kg, que se abastecerá en dos veces, recibándose unos 2188 kg cada 3 días. Para poder abastecer el proveedor deberá contar con unas 51 Ha, una densidad de árboles de 2000 árboles/hectáreas y un uso de estas del 75%.

Tanque de almacenamiento de látex T-100

La capacidad mínima con la que contará el tanque es la necesaria para abastecer 3 días de producción. Tomamos un margen de seguridad del 20%. Conociendo la

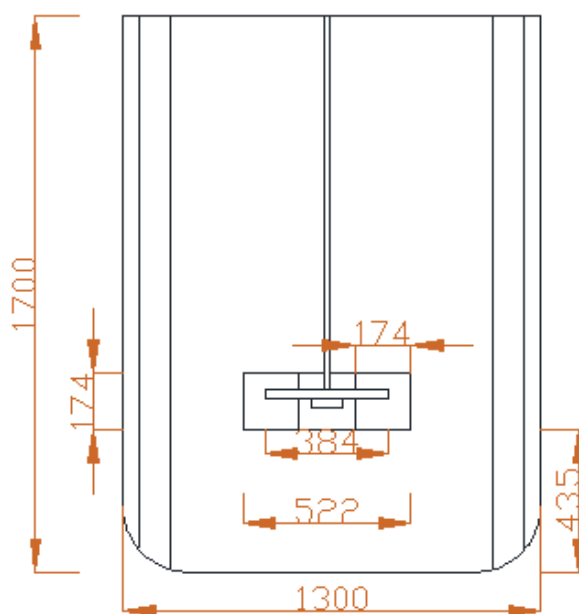
capacidad necesaria, que será de 2188 kg de látex (2,09 m³), se dimensiona el tanque de almacenamiento.

Dimensiones del tanque 1: Se calcularon las dimensiones del tanque a partir de la siguiente expresión y las relaciones típicas (se toma diámetro = altura del tanque).

$$V = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi D^3}{4}$$

Esto da como resultado un tanque de las siguientes dimensiones:

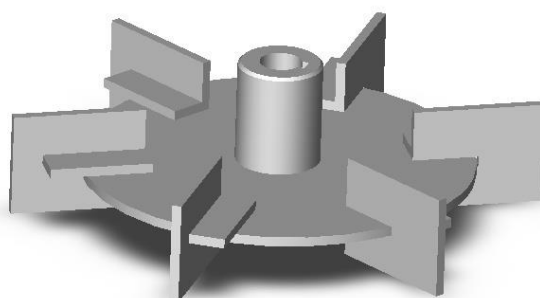
Ilustración 8 - Dimensiones T-100



Selección del agitador: Se seleccionó el agitador de turbina dado que son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado.

Para procesos microbiológicos sólo se pueden utilizar tipos específicos de agitadores desarrollados para la tecnología química. Desde el eje del disco de diámetro apropiado salen 4-8 paletas radiales.

Ilustración 9: Agitador de turbina.



Material y espesor de la pared: El material seleccionado es acero inoxidable porque reúne un conjunto de características que lo hace diferente a otros materiales. Entre estas características podemos destacar que los aceros inoxidables tienen elevada resistencia mecánica, muy buena resistencia a la corrosión, pueden ser soldados, doblados y conformados.

Por ser resistentes a la corrosión en muchos medios pueden estar en contacto con los alimentos sin sufrir ninguna degradación en su composición química. Por lo tanto, no contaminan los alimentos que están en contacto con ellos. Al poseer una rugosidad muy baja, es más difícil que en las paredes de los equipamientos industriales se desarrollen colonias de bacterias. Y si se forman, son más fácilmente removidas.

La serie 300 es la más ampliamente utilizada dentro de todos los grados de acero inoxidable. El contenido de cromo varía de 16 a 28%, el de níquel de 3.5 a 22% y el de molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317.

AISI 304: Estos aceros son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, buena resistencia a la tracción, tenacidad y ductilidad; es el acero que mejor resistencia tiene a la corrosión, no se endurece por tratamiento térmico y se puede utilizar tanto a temperaturas muy bajas como a temperaturas elevadas dependiendo del tipo de acero elegido. Es un acero no magnético y tiene una excelente soldabilidad, la temperatura a la que empieza a formarse capas es de 850 a 1150 °C.

Espesor de la pared del tanque: El espesor de diseño se encuentra mediante la siguiente ecuación:

$$e_d = \frac{\rho(12.D)(h - 11)}{144 (2.S.E)} + c$$

Donde:

- ρ es la densidad del contenido
- D es el diámetro
- h es la altura del recipiente
- S es el esfuerzo permisible del material
- E es la eficiencia de la soldadura
- c es el espesor debido a la corrosión permisible

Substituyendo en la ecuación en cada tanque obtenemos:

$$\text{Tanque 1: } e_d = 0,0670 \text{ in}$$

Considerando que los valores de espesor obtenidos corresponden a un espesor menor que el mínimo, utilizamos un valor de 3/16 in según normas API (0,1875 in).

Tanque de mezclado T-101 y T-102

Habiéndose determinado la cantidad de látex diario de unos 608 kg, se diseña el segundo tanque, de tal manera que este pueda abastecer a la planta en la corrida diaria.

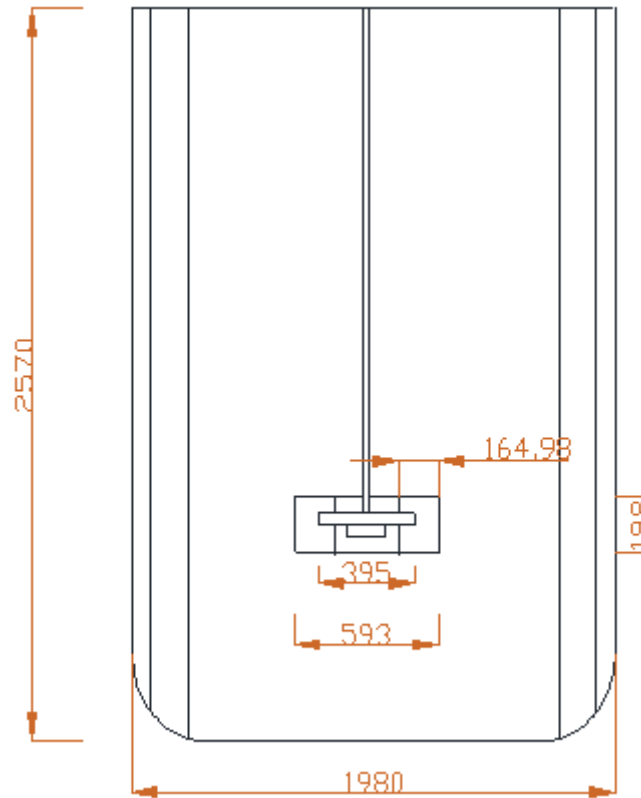
A la cantidad antes mencionada de látex se le adicionan 5470 kg de solución buffer, obteniéndose un volumen final de mezcla de 6 m³.

Dimensiones del tanque 2: Se calcularon las dimensiones del tanque a partir de la siguiente expresión y las relaciones típicas.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi D^3}{4}$$

Los detalles de cálculos están como. Esto da como resultado un tanque de las siguientes dimensiones:

Ilustración 10 - Dimensiones T-101 y T-102



Material y espesor de pared: El material seleccionado será el AISI 304 (Austenítico), por las mismas razones citadas anterior mente para el tanque de almacenamiento.

Espesor del tanque de mezcla: El espesor de diseño se encuentra mediante la siguiente ecuación:

$$e_d = \frac{\rho(12.D)(h - 11)}{144 (2.S.E)} + c$$

Substituyendo en la ecuación en cada tanque obtenemos:

Tanque 2: $e_d = 0,0719$ in

Considerando que los valores de espesor obtenidos corresponden a un espesor menor que el mínimo, utilizamos un valor de 3/16 in según normas API.

Selección del agitador: El agitador que se seleccionó por los mismos motivos citados en el caso del primer tanque es el de turbina.

Refrigeración de los tanques T-100 y T-101

Refrigerante: Se utilizará como refrigerante secundario, agua con propilenglicol. Esta se proveerá de un sistema de refrigeración diseñado en función del requerimiento del proceso. La temperatura a la cual se debe mantener el látex en el tanque de mezcla como en el de almacenamiento debe ser de unos 4 °C aproximadamente.

Sistema de refrigeración: Se analizaron dos opciones para refrigerar los tanques, el serpentín interno y la camisa. Debido a que a menudo se emplea el encamisado para tanques que precisan una limpieza frecuente y considerando la necesidad de limpieza y propiedades del látex, es este el sistema a utilizar.

La camisa proporciona un mejor coeficiente global de transmisión de calor que los serpentines externos. El encamisado convencional es de construcción sencilla y se emplea con frecuencia. Los cálculos arrojaron los siguientes resultados:

Símbolo	Especificación	Valor	Unidad
Q1	Calor a disipar tanque de almacenamiento de látex (tanque 1)	6126,6	kJ/h
Q2	Calor a disipar tanque de mezcla (tanque 2)	33135,5	kJ/h
Qt	Calor total a disipar de ambos tanques	39262,1	kJ/h
mr1, sec	Caudal másico de refrigerante secundario tanque 1	487,0	kg/h
mr2, sec	Caudal másico de refrigerante secundario tanque 2	2633,9	kg/h
mr, sec	Caudal másico de refrigerante secundario total	3120,9	kg/h

Centrífuga S-100

La centrifugación es un método para separar moléculas que tienen diferentes densidades haciéndolas girar en solución alrededor de un eje (en un rotor centrífugo) a alta velocidad. Esto genera una fuerza centrífuga que se utiliza para separar los componentes de la mezcla de alimentación según la densidad o el tamaño de las partículas.

El uso de una centrífuga aumenta en alto grado las fuerzas que actúan sobre las partículas. Estas fuerzas de precipitación de gran magnitud permiten obtener velocidades prácticas con partículas mucho más pequeñas que en los precipitadores por gravedad, los cuales a veces son muy lentos debido a la similitud de densidades o las fuerzas de asociación que mantienen unidos a los componentes de una emulsión. Este tipo de técnica se usa en muchas industrias alimenticias tales como procesamiento de aceites vegetales, cervecerías, concentración de proteínas, procesamiento de jugos de fruta, etc.

La sedimentación de las partículas a través de un líquido se rige por la ley de Stokes, así como a la diferencia de densidades entre las partículas y el líquido, y también a la fuerza de la gravedad. Resulta inversamente proporcional a la viscosidad del líquido.

$$v_g = \frac{\rho_p - \rho_f}{18\mu} D_p^2 g$$

Donde:

- $a=g$: Aceleración de la gravedad
- u_g : Velocidad terminal en un campo gravitacional
- $\Delta\rho$: Densidad de la partícula menos densidad del fluido
- μ : Viscosidad del fluido
- D_p : Diámetro de la partícula

La eficacia de la centrifugación se analiza comparando la velocidad que alcanzarían las partículas en una centrífuga y la velocidad de sedimentación que se produciría bajo la

influencia únicamente de la gravedad. Si sustituimos g en la ecuación anterior por la aceleración centrífuga $r\omega^2$ nos queda:

$$v_c = \frac{\rho_p - \rho_f}{18\mu} D_p^2 \omega^2 r$$

Por otra parte, la relación entre la velocidad de sedimentación en la centrífuga y la velocidad de sedimentación bajo gravedad se conoce como efecto centrífugo o número G , también denominado como factor Z :

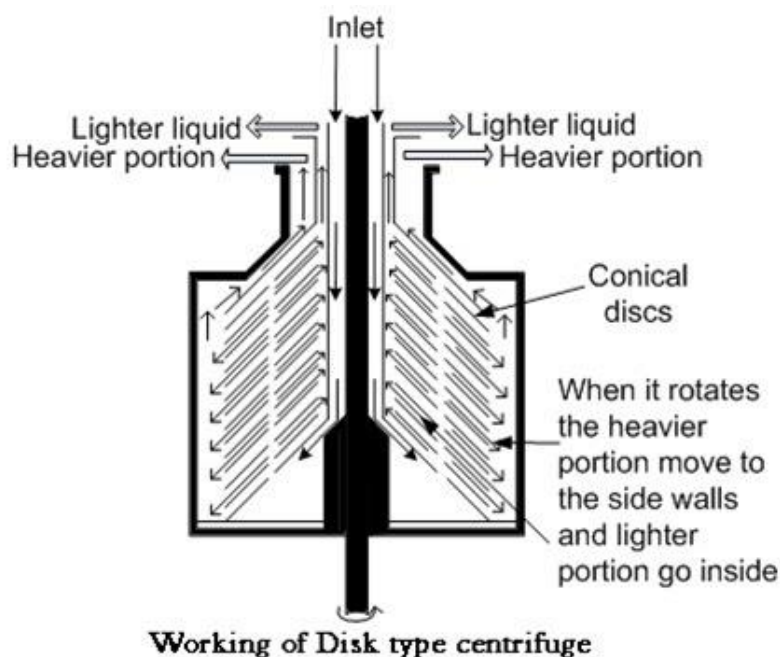
$$Z = \frac{r \cdot \omega^2}{g}$$

Por tanto, la fuerza desarrollada en una centrífuga es Z veces la fuerza de la gravedad. En las centrífugas industriales, el factor Z es de 300-16.000.

Selección de la centrífuga a utilizar

Existe una gran variedad de centrífugas. La selección se realiza en base a que las centrífugas de discos son las más utilizadas para bioseparaciones. También cuentan con una serie de ventajas como poseer una gran capacidad de sedimentación debido principalmente a su gran área, a sus cortas distancias de sedimentación y a los altos campos centrífugos que generan. Por otro lado, requieren de medidas de higiene y seguridad especiales como: a) manejo mecánico seguro, b) protección contra ruido y daños corporales.

Ilustración 11 - Centrífuga de discos



Funcionamiento de la centrífuga de discos

La centrífuga de discos consta de un eje vertical sobre el cual se monta un conjunto de discos en forma de conos truncados. El rotor de la centrífuga provoca el giro tanto de los discos como del tazón de la centrífuga. La separación de los discos es del orden de 0,5 a 2,0 mm. El ángulo que forman los conos con la vertical varía entre 35 y 50° dependiendo de la aplicación particular. Entre la pila de discos y el tazón existe un espacio que permite la acumulación de los sólidos.

Durante la operación de la centrífuga de discos, la suspensión es alimentada continuamente en el fondo del tazón a través de la parte central de la flecha, y fluye hacia arriba entre las placas hacia la salida en la parte central superior del equipo. Debido a la fuerza centrífuga los sólidos se van depositando en la cara interna de los discos, resbalando hacia la cámara colectora debido al ángulo de los discos.

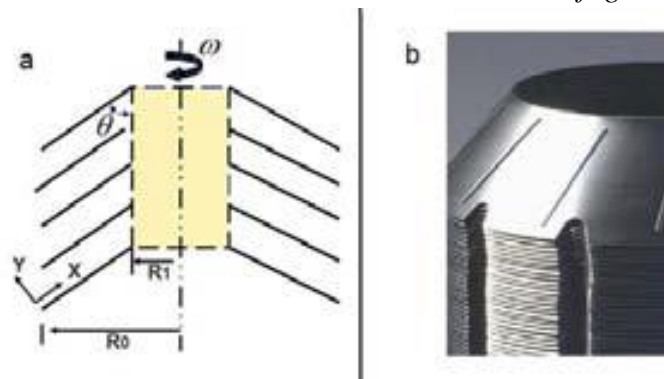
En nuestro caso, los sólidos se acumulan hasta que llegado a un punto la turbidez del clarificado, se produce una descarga intermitente. Este tipo de centrífugas se llaman

de tazón abierto, constan de dos piezas cónicas unidas horizontalmente por sus caras más grandes. La descarga de sólidos se realiza por medio de un sistema hidráulico que permite abrir y cerrar los orificios de descarga entre las piezas. La duración y frecuencia de la apertura de la descarga depende de la cantidad y fluidez de los sólidos. Los valores típicos son de 0,13 a 0,30 s de apertura por minuto de operación. Esta frecuencia es controlada con medidores de turbidez en el líquido de salida. Este tipo de centrífugas permite manejar soluciones con contenido de sólidos hasta del 10%. Las fuerzas centrífugas varían de 5000 a 7000 G y los flujos de 3,8 a 1500 l/min. El diámetro de los tazones varía de 24 a 44 cm.

Diseño de la centrífuga

La centrífuga de discos presenta la siguiente geometría, donde x es la distancia a lo largo del canal que forman los discos e y es la distancia normal a partir del disco inferior. La distancia del eje a la parte externa de los discos es R_0 y a la parte interna R_1 .

Ilustración 12 - Dimensionamiento de una centrífuga de discos



En el análisis se supone que el flujo global Q se divide equitativamente entre los espacios formados por todos los discos, de tal manera que el flujo en cada espacio es $Q_n = Q/n$, donde n es el número de espacios formados entre los discos.

Existe una expresión del caudal en una centrífuga, para el 100% de sedimentación, que se relaciona con la velocidad de sedimentación (dependiente del fluido) y el factor sigma, dependiente de la geometría de la centrífuga.

$$Q = v_g \cdot \Sigma$$

$$\Sigma = \frac{2\pi n \omega^2}{3g} \cdot (R_o^3 - R_1^3) \cdot \cot \theta$$

$$Q = v_g \cdot \left[\frac{2\pi n \omega^2}{3g} \cdot (R_o^3 - R_1^3) \cdot \cot \theta \right]$$

Para el cálculo, se toman algunos parámetros típicos para centrífuga de discos del manual

Perry:

Tabla 2 - Especificaciones y características de centrífugas típicas (Perry, 18-12)

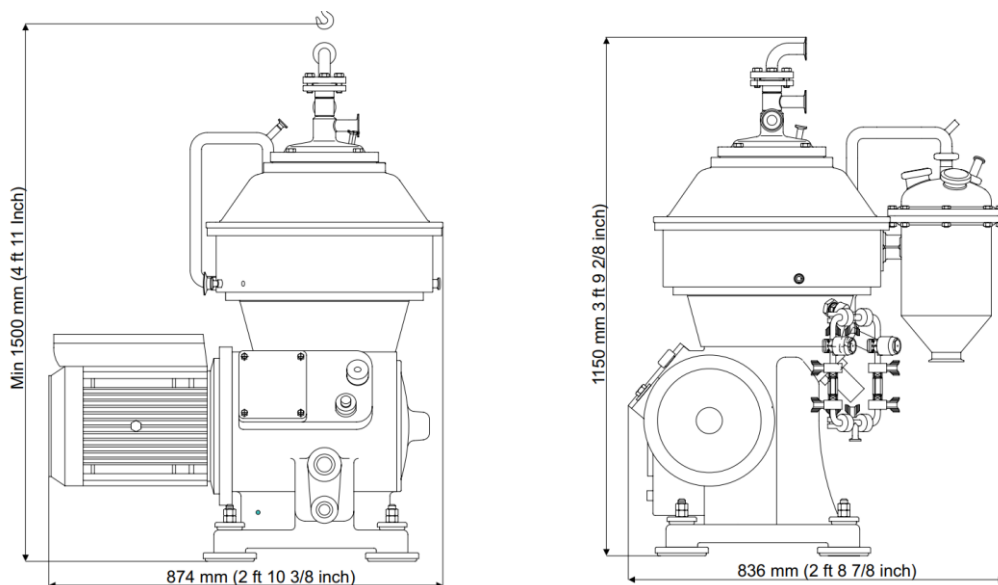
Type	Bowl diameter	Speed, r/min	Maximum centrifugal force × gravity	Throughput		Typical motor size, hp
				Liquid, gal/min	Solids, tons/h	
Tubular	1.75	50,000*	62,400	0.05–0.25		*
	4.125	15,000	13,200	0.1–10		2
	5	15,000	15,900	0.2–20		3
Disc	7	12,000	14,300	0.1–10		1/3
	13	7,500	10,400	5–50		6
	24	4,000	5,500	20–200		7 1/2
Nozzle discharge	10	10,000	14,200	10–40	0.1–1	20
	16	6,250	8,900	25–150	0.4–4	40
	27	4,200	6,750	40–400	1–11	125
	30	3,300	4,600	40–400	1–11	125

Según lo calculado en el anexo, se selecciona la siguiente centrífuga del proveedor ALFA LAVAL: BTUX 305. La misma tiene un flujo de alimentación de 2500 l/h. Tiene diseño higiénico y la posibilidad de realizar CIP.

Ilustración 13 - BTUX 305



Ilustración 14 - Dimensiones BTUX 305

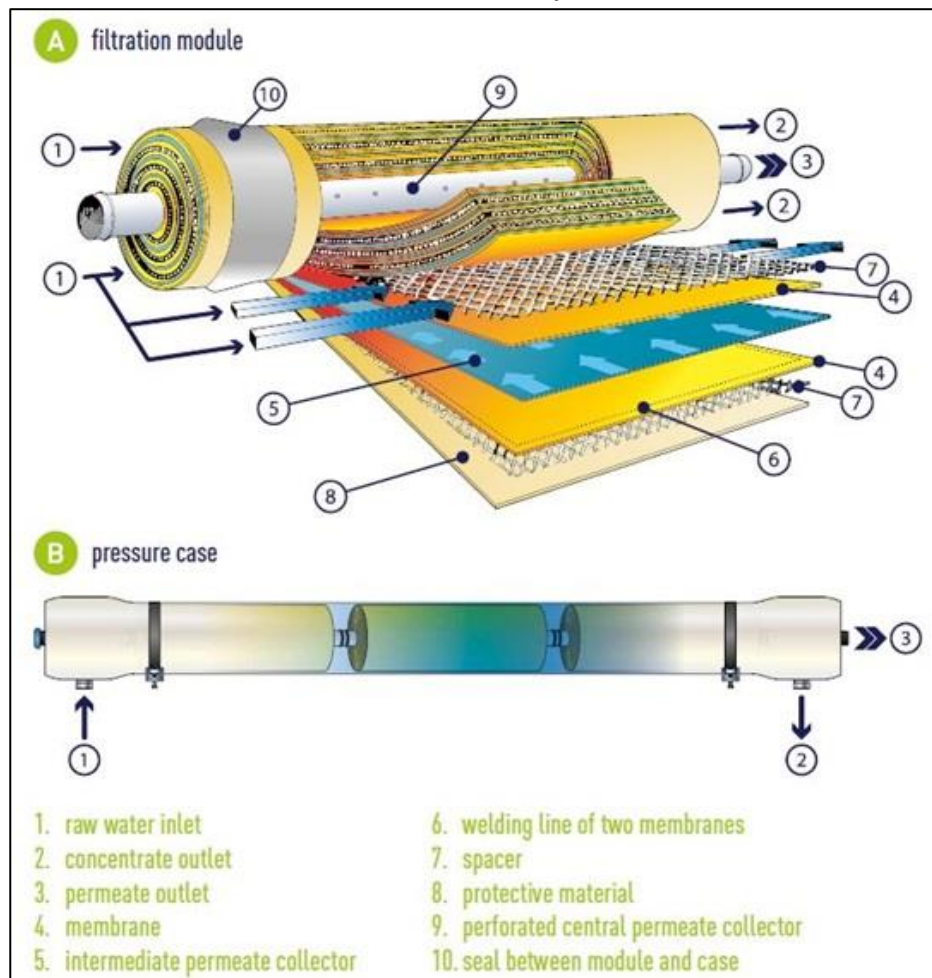


Ultrafiltro S-101

La ultrafiltración es una operación que usa membranas especiales y dispuestas en distintos tipos de arreglos, mayormente para separar macromoléculas en solución de contaminantes más pequeños, por medio de un gradiente de presión. En nuestro caso la macromolécula que queremos separar es la papaína y el contaminante es el citrato de sodio.

La ultrafiltración utiliza membranas generalmente asimétricas o anisotrópicas para separar macromoléculas y partículas, de moléculas pequeñas y solventes. El diámetro de los poros de este tipo de membranas varía entre 0.001 – 0.1 μm .

Ilustración 15 - Ultrafiltración



En la siguiente tabla se pueden ver los parámetros de la UF, presión, tamaño de partículas y peso molecular de corte (PMC). Esto es el peso molecular del soluto globular que es retenido en un 90% por la membrana.

Tabla 3 - Parámetros típicos y aplicaciones de filtración por membrana

			MF	UF	OI	D
Fuerza impulsora			ΔP	ΔP	ΔP	ΔC
Presión de operación (kPa)			100-500	100-500	700-20.000	-
Tipo de membrana			Micro-porosa Simétrica	Micro-porosa Asimétrica	Semiper-meable Asimétrica	Dialisis Simétrica
Flux L/m ² -h			50-1000	10-200	1-20	-
Rango de retención						
Especie	Peso molecular Da	Tamaño nm				
Hongos		10 ³ - 10 ⁴	X			
Levaduras		10 ³ - 10 ⁴	X			
Bacterias		300 - 10 ⁴	X			X
Coloides		300 - 10 ³	X	X		X
Virus		30 - 300		X		X
Proteínas	10 ⁴ - 10 ⁶	2-10		X		X
Polisacárido	10 ⁴ - 10 ⁶	2-10		X		X
Enzimas	10 ⁴ - 10 ⁶	2-5				X
Antibióticos	300 - 10 ³	0.6 - 1.2			X	
Azúcar	200 - 400	0.8 - 1			X	
Ác. Orgánico	100- 500	0.4 - 0.8			X	
Ión inorgánico	10 - 100	0.2 - 0.4			X	

Diseño del ultrafiltro

En UF se utiliza la variable J para describir el flux de permeado o velocidad del permeado a través del lecho filtrante:

$$J = \frac{Q}{A} = \frac{\text{Gasto volumétrico}}{\text{Área}}$$

La fuerza impulsora es el gradiente de presión transmembrana (ΔPTM), que se define como:

$$\Delta PTM = \frac{(P_i - P_o)}{2} - P_f$$

ΔPTM : Gradiente de presión transmembrana.

P_i : Presión de entrada de la alimentación.

P_o : Presión de salida del retenido.

P_f : Presión de salida del permeado o filtrado.

Cuando se utiliza la ley de D'arcy se obtiene una expresión para el flujo por la membrana:

$$J = \frac{\Delta PTM - \sigma \Delta \pi}{\mu(R_m + R_s)}$$

donde:

R_m : Resistencia de la membrana.

R_s : Resistencia de la capa de soluto de polarización.

El coeficiente de retención en un instante dado durante el proceso de UF está definido de la manera siguiente:

$$\sigma = 1 - \frac{C_P}{C_B}$$

donde:

C_P : Concentración de soluto en el permeado.

C_B : Concentración de soluto en el seno de la solución.

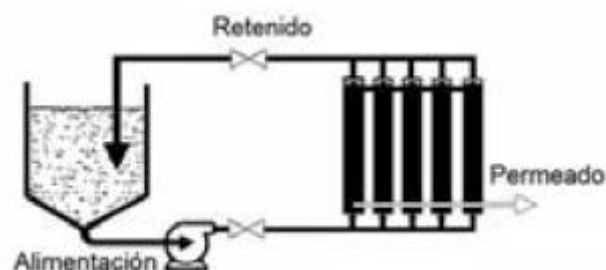
En nuestro caso particular, tomamos $\sigma=1$, ya que asumimos que todo el soluto es retenido por la membrana. Otra particularidad del modelo que utilizamos para la predicción del comportamiento del ultrafiltro, es que la presión osmótica para macromoléculas en solución y para dispersiones coloidales es muy baja. Otra consideración que tomamos es que se desprecia la resistencia por polarización de la membrana (formación de la capa de gel). En dicho caso el modelo general del flux queda como la siguiente ecuación:

$$J = \frac{\Delta PTM}{\mu R_m}$$

Selección de material y disposición del módulo

En un sistema típico de filtrado por lotes como el que se utilizará en nuestro proceso, se cuenta como equipos importantes además de la unidad de UF, la bomba de alimentación y el tanque de almacenamiento. Se presenta en la siguiente figura un arreglo típico:

Ilustración 16 - Operación de filtrado por lotes



En este caso de operación batch, la solución de alimentación se bombea continuamente desde un tanque, pasa por el ultrafiltro y luego vuelve al tanque. A medida que se elimina el disolvente, por filtración a través de la membrana, el nivel de solución de alimentación en el tanque descende y se incrementa la concentración de la solución.

En cuanto a la membrana, los materiales que se utilizan generalmente son derivados de polímeros naturales como la celulosa o de polímeros sintéticos.

La disposición será de una unidad en espiral, por considerarse más conveniente en este tipo de aplicaciones en bioprocesos y concentración de enzimas.

Por lo expuesto anteriormente se selecciona el siguiente tipo de membranas:

Model U Membrane Filtration Pilot Plant (PES 10,000Da) de GEA (Alemania).. Área 56 m².

Ilustración 17 - Unidad de ultrafiltración GEA



Secador spray S-102

El secado es la operación unitaria en la cual el contenido de humedad del material es eliminado hasta alcanzar la humedad de equilibrio mediante evaporación como resultado de la aplicación de calor bajo condiciones controladas.

Cuando se trata de enzimas, en general se tiene la desventaja de que sufren descomposición o cambios estructurales debido a la temperatura. Aunque, por otro lado, el bajo contenido de humedad mejora las condiciones de estabilidad durante el almacenamiento.

Otro parámetro a tener en cuenta es que el contenido de humedad final está directamente relacionado a la actividad enzimática del producto final. Cuanto menor es el contenido de humedad, mayor es la pérdida de actividad.

Secado por aspersión o spray drying

El secado por aspersión es una técnica de secado por convección que utiliza aire caliente para transferir el calor y eliminar el agua evaporada. Como se mencionó anteriormente, describiremos esta técnica seleccionada ya que es la más adecuada para el tratamiento de enzimas sensibles a la temperatura. Podemos decir que es un proceso prácticamente instantáneo el cual dura cuestión de segundos, siendo el aire caliente el medio que suministra el calor necesario para la evaporación y al mismo tiempo el acarreador del agua eliminada. Consta de 3 etapas: formación del spray, secado y separación polvo-aire.

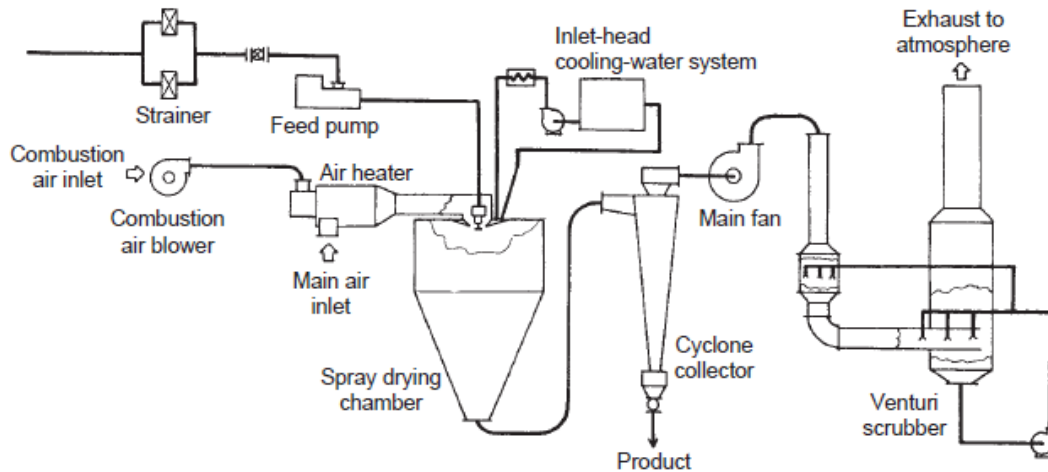
Características del proceso:

El proceso de secado por aspersión transforma en un solo paso un fluido bombeable en un producto sólido seco. El fluido es atomizado usando una rueda giratoria para la introducción de muestra o una boquilla (nozzle), y las gotas inmediatamente toman contacto con una corriente de un medio caliente, usualmente aire. La rápida evaporación

resultante gracias a la alta superficie de contacto entre los fluidos, genera que se puedan utilizar temperaturas altas sin afectar al producto.

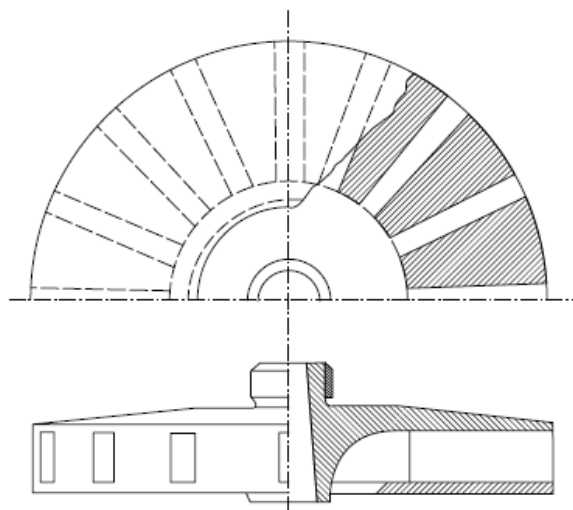
Los componentes del sistema se ven en el siguiente gráfico:

Ilustración 18 - Esquema de secado por aspersión



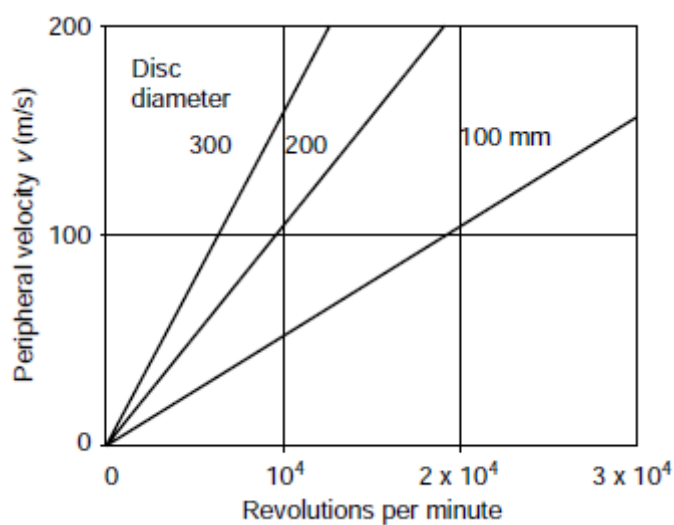
La atomización es la operación más importante en el proceso de secado por aspersión. El tipo de atomizador no solo determina la energía requerida para formar el rociado, sino también el tamaño y la distribución de tamaño de las gotas y su trayectoria y velocidad, de las que depende el tamaño de partícula final. El diseño de la cámara también está influenciado por la elección del atomizador. El tamaño de la gota establece la superficie de transferencia de calor disponible y por lo tanto la tasa de secado. Hay tres tipos generales de atomizadores disponibles: atomizadores de rueda rotativa (rotary wheel), de boquilla neumática (utilizan aire) y los atomizadores de un solo fluido con boquilla de presión. El diseño más común es del atomizador de rueda rotativa (rotary wheel) con paletas radiales. Es este el tipo de atomizador que seleccionaremos para nuestro diseño.

Ilustración 19 - Atomizador



En el siguiente gráfico se puede apreciar la velocidad periférica como función del diámetro del disco y de las revoluciones.

Ilustración 20 - Gráfica de velocidad periférica vs rpm



En la última parte de esta operación, se utiliza un separador de polvo. Estos deben separar el producto seco del aire con la mayor eficiencia posible y recoger el polvo. En general se utilizan ciclones simples, en los cuales se emplea la fuerza centrífuga para mover las partículas hacia la pared y separarlas del aire que queda en el centro. El aire y las partículas se arremolinan en espiral por el ciclón, donde se acumulan y salen. El aire limpio fluye y sale por la parte superior.

Criterios para la selección del método de secado: Hay que tomar en cuenta diversos criterios para escoger el método que mejor se adapte al secado de una sustancia:

- **Modo de funcionamiento:** Puede ser discontinuo o continuo. La selección depende de la importancia de la producción. Si ésta es pequeña como en nuestro caso, a menudo se escoge un funcionamiento discontinuo.
- **Disposición de las corrientes:** Cuando la operación de secado por aspersión es co-corriente, es decir, aire caliente introducido en el secador cerca del dispositivo de aspersión, hay menos peligro de sobrecalentamiento ya que las tasas de evaporación son altas. Por lo tanto, las cámaras de secado co-corriente son preferido para minimizar la desactivación por calor de las enzimas durante el proceso.
- **Humedad y temperatura:** Se ha encontrado en base a datos experimentales que la pérdida de actividad enzimática aumenta cuando el contenido de agua en el concentrado de enzima secada por aspersión se reduce. Es también deseable que el producto que salga tenga un contenido de humedad de no menos de 8 a 10%, preferiblemente alrededor de 20%. Esto da como resultado temperaturas de salida extremadamente bajas del sistema de secado. En nuestro caso tomaremos un 11% de contenido final de humedad.
- **Fuente de calor:** El tipo de calentador utilizado depende de la temperatura requerida del aire de secado y de la disponibilidad de la fuente de calor. Se pueden usar calentadores directos si es que el material puede estar en contacto con los gases de la combustión, o de lo contrario se deben usar calentadores indirectos. El calentador de aire más común en la industria alimentaria es el tipo calentado por vapor. En nuestro caso, que poseemos un equipo de pequeña escala y un producto sensible, utilizaremos un calentador eléctrico. Estos tienen un alto costo debido al

consumo de electricidad, por eso se utilizan solo en escala piloto y de laboratorio.

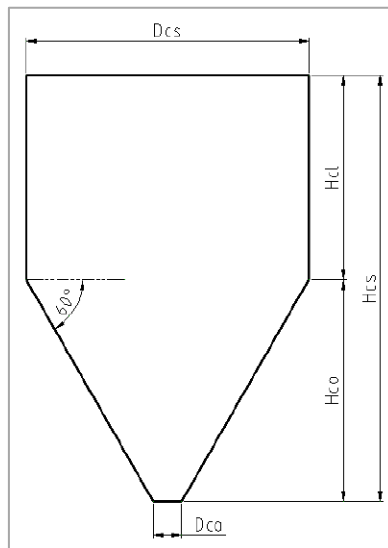
La temperatura del aire que puede alcanzar es de 400°C.

Dimensiones de la Cámara de Secado y Equipos Auxiliares

Dimensiones de la cámara de secado

La cámara de secado tiene la siguiente forma:

Ilustración 21 - Esquema de la cámara de secado.



Donde

D_{cs} = Diámetro de la cámara de secado (m)

H_{cs} = Altura de la cámara de secado (m)

$$H_{cs} = 1.60m$$

$$D_{cs} = 0.52 m$$

- Dimensionamiento del ciclón

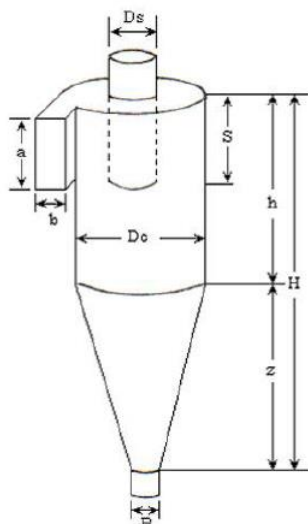
Los ciclones generalmente tienen como parámetros de diseño el diámetro del ciclón, la caída de presión y la velocidad de entrada y salida. En la siguiente tabla se muestran los parámetros a considerar en el diseño de ciclones con entrada tangencial.

Tabla 4 - Parámetros a considerar para el diseño del ciclón

Parámetro	Valor
Diámetro del ciclón (D)	< 1 m
Caída de presión	< 2488,16 Pa
Relación de velocidades (V_i/V_s)	< 1,35
Velocidad de entrada	15,2 – 27,4 m/s

En este caso, se van a considerar los factores de forma que se consideran para el diseño del ciclón según Lapple.

Ilustración 22 - Esquema del ciclón



Fuente: Diseño óptimo de ciclones, 2006, pág. 6.

Tabla 5 - Parámetros de diseños del ciclón

Dimensión	Nomenclatura	Factor	Incógnita	Valor
Diámetro del Ciclón	D_c/D_c	1	D_c	0,47m
Altura de Entrada	a/D_c	0,5	a	0,23m
Ancho de Entrada	b/D_c	0,25	b	0,09m
Altura de Salida	S/D_c	0,625	S	0,23m
Diámetro de Salida	D_s/D_c	0,5	D_s	0,23m
Altura Parte Cilíndrica	h/D_c	2	h	0,7m
Altura Parte Cónica	z/D_c	2	z	1,17m
Altura Total del Ciclón	H/D_c	3	H	1,40m

Por todo lo expresado anteriormente se seleccionó el siguiente Secador:

RyR Térmica, Fabricante de equipos para deshidratar todo tipo de alimentos.

Modelo MODELO 1612.


	Aire de Secado °C		Evaporación de Agua l/h	Consumo de Combustible Kcal/h	FM Kw/h	Espacio Requerido Mtrs
	Entrada	Salida				
MODELO 1612						
	180	80	19	24.000	4	3 x 3.50 Alt. 4.80

Ilustración 23 - Secador spray seleccionado

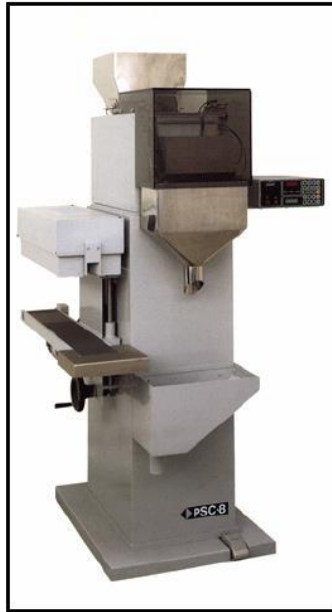


Envasadora

La máquina PSP-8 se compone de una pesadora electrónica PS8 y de un pie soporte. La PS8 es un conjunto pesadora automática electrónica equipada con una célula de carga para la detección del peso a dosificar. El cuadro de mando lleva una pantalla de programación de cuarzo líquido donde aparecen las funciones a realizar o verificar. A través de un teclado se puede acceder a las operaciones de: Marcha/Parada/Predosis /Afinado/Descarga Automática/Manual/Cambios de parámetros. Una vez programado el peso, el proceso de trabajo es el siguiente: el producto almacenado en una tolva receptora

que es la que detecta el peso, realizando a continuación la descarga bien automáticamente o bien a través de la señal recibida a través de un pedal cuando este es presionado.

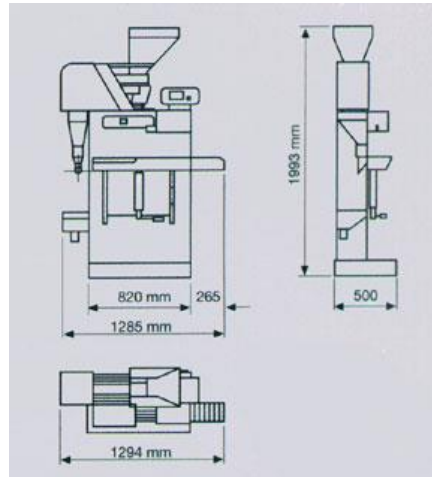
Ilustración 24 - Envasadora



Pesadora cerradora PSC-8

Es una máquina PSP-8 a la que se le ha acoplado lateralmente una cerradora de bolsas termosoldables por calor. La cerradora de bolsas es un conjunto formado por unas mordazas calefaccionadas que por presión y temperatura realizan la soldadura. Cuando se aprieta el pedal para realizar la descarga, se actúa al mismo tiempo una mesa neumática, regulable en altura que desplaza el paquete anterior hacia la zona de soldadura. Una vez cerrada la bolsa esta queda colocada en unos rodillos extractores que desplazan la bolsa hacia la zona de salida.

Ilustración 25 - Pesadora y cerradora



Embalaje

Los contenedores plásticos se usan normalmente para embalar papaína en polvo o en escamas, debido a que los contenedores de metal causarían una pérdida de la actividad enzimática. Si es posible, se llena el contenedor con un gas inerte para extraer el oxígeno. Los contenedores plásticos son a menudo puestos dentro de una caja de cartulina en el que quedan apretados. La Papaína altamente purificada puede ser embalada en tambores de cartón de madera que ha sido sellada con polietileno.

Capítulo 6: Diseño del Equipo Auxiliar

Para la refrigeración de los tanques T-100 y T-101, que son los recipientes que requieren de una temperatura interna de 4°C para evitar la descomposición del látex, se diseñó un sistema indirecto. Aquí, se enfría el líquido refrigerante y se recircula para refrigerar en forma indirecta el producto. El refrigerante secundario, calentado por la absorción de calor de los tanques, regresa al evaporador del circuito primario para ser nuevamente enfriado y recirculado.

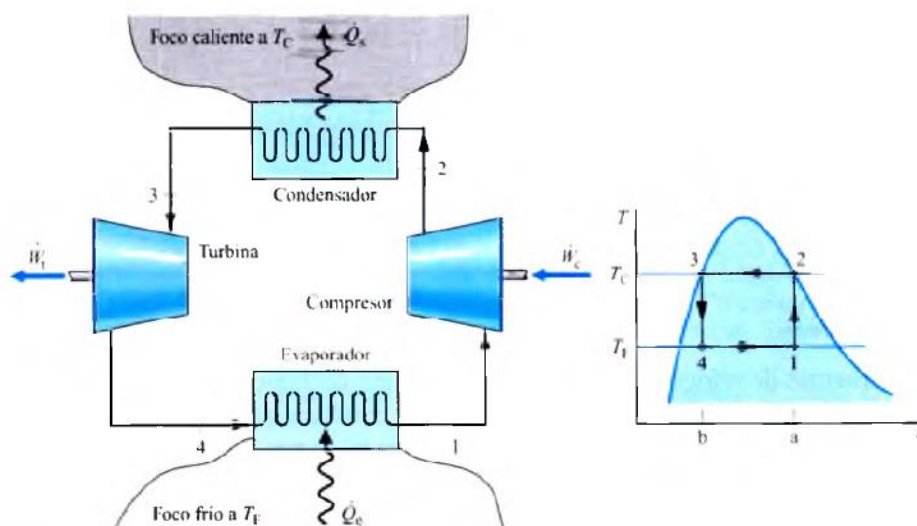
Si bien al utilizar un fluido intermedio se pierde la eficiencia, se logra tener en un recinto aislado en lo que sería la zona de generación de frío, aumentando la seguridad del proceso.

Ciclo primario de refrigeración por compresión

El proceso de refrigeración por compresión se logra evaporando el gas refrigerante en estado líquido a través de un dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, denominado evaporador. Para evaporarse este requiere absorber calor latente de vaporización. Al evaporarse el líquido refrigerante cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. A esta cantidad de calor contenido en el ambiente se le denomina carga térmica. Luego de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador. En este intercambiador se liberan del sistema frigorífico tanto el calor latente como el sensible, ambos componentes de la carga térmica. Ya que este aumento de presión además produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido

refrigerante -y producir el subenfriamiento de este- es necesario enfriarlo al interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire y/o agua conforme el tipo de condensador, definido muchas veces en función del refrigerante.

Ilustración 26 - Ciclo de refrigeración



Selección del refrigerante primario

El refrigerante seleccionado es amoníaco, por sus ventajas bien conocidas: No destruye la capa de ozono y no contribuye al efecto invernadero asociado al calentamiento global. Desde un punto de vista operacional, el amoníaco es generalmente aceptado como el refrigerante industrial más eficiente y económicamente efectivo. Como punto a favor de lado de la seguridad, el olor característico del amoníaco permite que las fugas sean detectadas fácil y rápidamente.

Simulación del ciclo de enfriamiento primario

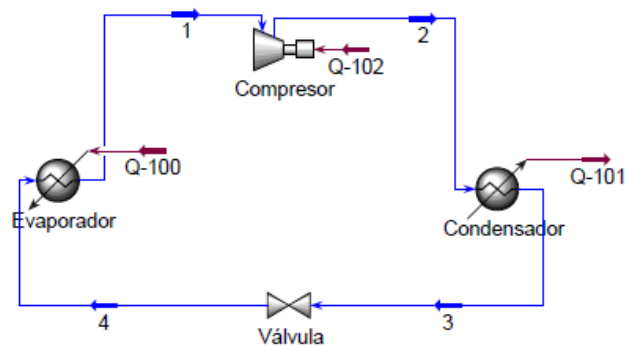
Para simular la primera parte del ciclo, utilizamos como herramienta el software Hysys. Además de las fracciones de vapor de cada corriente, los datos que ingresamos al simulador son los siguientes:

Calor para transferir en el evaporador: 42180 KJ/h

Temperatura salida del condensador: 25°C

Temperatura en el evaporador: -20°C

Ilustración 27 - Esquema del ciclo de refrigeración primario



Hoja de resultados

Material Streams					Fluid Pkg:	All
Name	1	2	3	4		
Vapour Fraction	1.0000 *	1.0000	0.0000 *	0.1550		
Temperature (F)	-4.000 *	271.1	77.00 *	-2.308		
Pressure (psia)	27.18	149.3	144.2	28.34		
Molar Flow (lbmole/hr)	4.781	4.781	4.781	4.781		
Mass Flow (lb/hr)	81.42	81.42	81.42	81.42		
Liquid Volume Flow (barrel/day)	9.049	9.049	9.049	9.049		
Heat Flow (Btu/hr)	-9.749e+004	-8.650e+004	-1.375e+005	-1.375e+005		
Compositions					Fluid Pkg:	All
Name	1	2	3	4		
Comp Mole Frac (Ammonia)	1.0000 *	1.0000 *	1.0000 *	1.0000 *		
Energy Streams					Fluid Pkg:	All
Name	Q-100	Q-101	Q-102			
Heat Flow (Btu/hr)	3.998e+004 *	5.097e+004	1.099e+004			

$$W_{\text{NH}_3} = 81,42 \text{ lb/h} = 36,9 \text{ kg/h}$$

Diseño de los equipos del ciclo primario

Diseño del compresor

El diseño se realizó en Hysys, arrojando los siguientes valores:

Potencia necesaria: 4 HP

Relación de compresión: 2,47

Número cilindros: 2

Dimensión de los cilindros a utilizar (Hysys)

Reciprocating Settings			
Number of Cylinders	2		Size k...
Cylinder Type	Single-acting, Outer End		
Bore [ft]	0.6562		
Stroke [ft]	3.281		
Piston Rod Diameter [ft]	8.202e-002		
Const. Vol. Efficiency Loss [%]	4.00		
Default Fixed Clearance Vol. [%]	15.00		
Zero Speed Flow Resistance (k)	116.9 lb/hr/sqrt(psia-lb/ft3)		

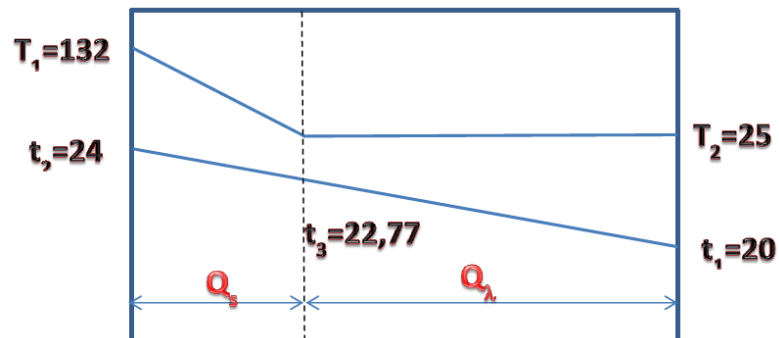
	1	2	
Fixed Clearance Vol. [ft3]	0.16642	0.16642	
Variable Clearance Vol. [ft3]	0.0000	0.0000	
Variable Volume Enabled	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cylinder is Unloaded	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Diseño del condensador

El calor a transferir será de:

$$Q_{101} = 53742,1 \text{ kJ/h} = 50970 \text{ BTU/h}$$

Condiciones operativas



T_1 : Temperatura de entrada del amoníaco

T_2 : Temperatura de salida del amoníaco condensado

t_1 : Temperatura de entrada del agua de refrigeración

t_2 : Temperatura de salida del agua de refrigeración

A partir de la simulación del condensador para las temperaturas requeridas con Hysys, se obtienen los siguientes caudales:

Caudal de agua (W_c): $2494 \text{ kg/h} = 0,8643 \text{ kg/s}$

Caudal de amoníaco (W_h): $36,93 \text{ kg/h} = 0,0103 \text{ kg/s}$

El programa utilizado para la simulación del condensador para estas condiciones es el HTRI, en el cual se ingresaron los siguientes datos:

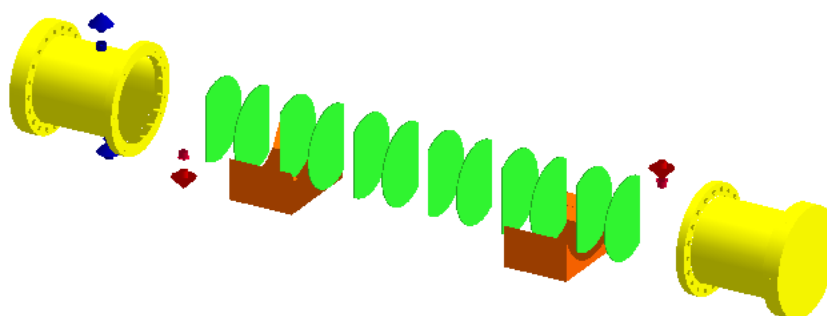
- Caudal de amoníaco en kg/s
- Fracción de vapor a la entrada y salida de cada componente
- Temperatura de ingreso del amoníaco y del agua
- Temperatura de egreso del agua

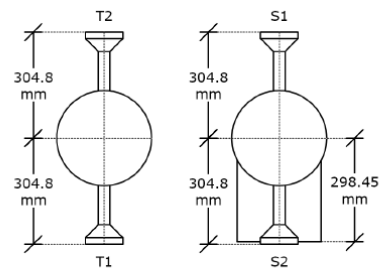
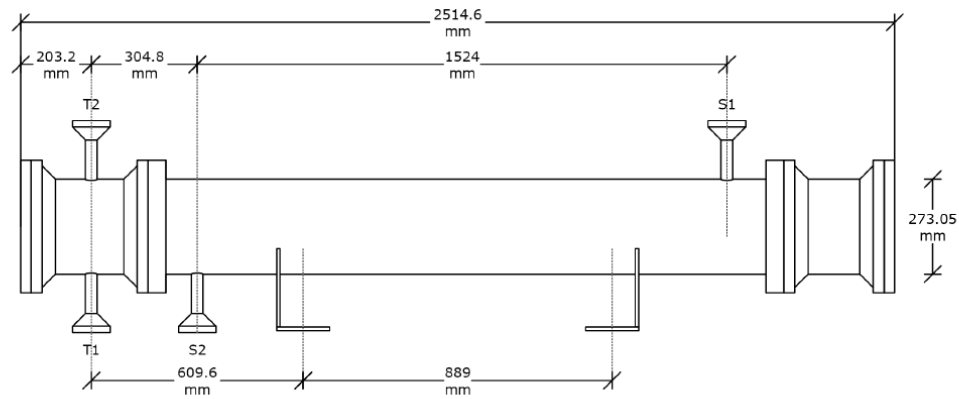
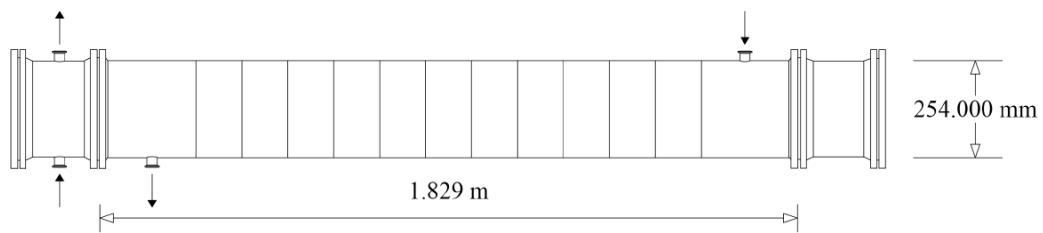
Las propiedades de los fluidos a las distintas temperaturas de trabajo las estima el programa con los datos de temperatura y presión utilizando el modelo Peng Robinson.

Reporte HTRI

Process Conditions		Hot Shellside		Cold Tubeside	
Fluid name		Amoníaco		Agua	
Flow rate	(kg/s)		0.0103		0.8610
Inlet/Outlet Y	(Wt. frac vap.)	1.000	0.000	0.000	0.000
Inlet/Outlet T	(Deg C)	132.80	26.13	20.00	24.00
Inlet P/Avg	(kPa)	1030.02	1029.99	300.004	293.951
dP/Allow.	(kPa)	0.057	0.000	12.107	0.000
Fouling	(m2-K/W)		0.000200		0.000500
Exchanger Performance					
Shell h	(W/m2-K)	3164.67	Actual U	(W/m2-K)	574.69
Tube h	(W/m2-K)	3471.48	Required U	(W/m2-K)	571.16
Hot regime	(--)	Gravity	Duty	(MegaWatts)	0.0149
Cold regime	(--)	Sens. Liquid	Area	(m2)	6.172
EMTD	(Deg C)	4.2	Overdesign	(%)	0.62
Shell Geometry			Baffle Geometry		
TEMA type	(--)	AEL	Baffle type	(--)	Single-Seg.
Shell ID	(mm)	254.000	Baffle cut	(Pct Dia.)	20.00
Series	(--)	1	Baffle orientation	(--)	Parallel
Parallel	(--)	1	Central spacing	(mm)	120.000
Orientation	(deg)	0.00	Crosspasses	(--)	13
Tube Geometry			Nozzles		
Tube type	(--)	Plain	Shell inlet	(mm)	26.645
Tube OD	(mm)	19.050	Shell outlet	(mm)	26.645
Length	(m)	1.829	Inlet height	(mm)	6.350
Pitch ratio	(--)	1.3333	Outlet height	(mm)	6.350
Layout	(deg)	30	Tube inlet	(mm)	26.645
Tubecount	(--)	58	Tube outlet	(mm)	26.645
Tube Pass	(--)	6			
Thermal Resistance, %		Velocities, m/s		Flow Fractions	
Shell	18.16	Shellside	0.10	A	0.138
Tube	24.35	Tubeside	0.67	B	0.444
Fouling	53.75	Crossflow	9.631e-2	C	0.116
Metal	3.744	Window	0.14	E	0.231
				F	0.070

Ilustración 28 - Esquema del condensador





Front Channel

Shell

Nozzles	NPS, in	Rating	Design	Shell	Tube	Weight	kg	Company	Moli	Ref
S1 Inlet	1	150	Pres (kPaG)	1034.21	1034.21	Bundle	227	Customer		
S2 Outlet	1	150	Temp (C)			Dry	680	Item		
T1 Inlet	1	150	Passes	1	6	Wet	816	Service		
T2 Outlet	1	150	Thick (mm)	9.525	3.048			TEMA		Setting Plan
								Date	17/11/2013	By
								Diagram		Rev

Diseño de la válvula de expansión

La dimensión de la válvula se obtiene a partir de Hysys.

Válvula

Rating

Sizing (dynamics)

Sizing Conditions

Inlet Pressure [psia]	144.2
Molecular Weight	17.03
Valve Opening [%]	50.00
Delta P [psi]	115.9
Flow Rate [lb/hr]	81.42

☒ Current
☐ User Input

Valve Type and Sizing Method

☒ Linear
☐ Quick Opening
☐ Equal Percentage

Method: ☒ Cv ☐ Cg ☐ k

C1	25.0
Km	0.9000
Cv [USGPM]	8.372e-002
Cg	2.0930

Size Valve

Design **Rating** Worksheet Dynamics

Delete OK Ignored

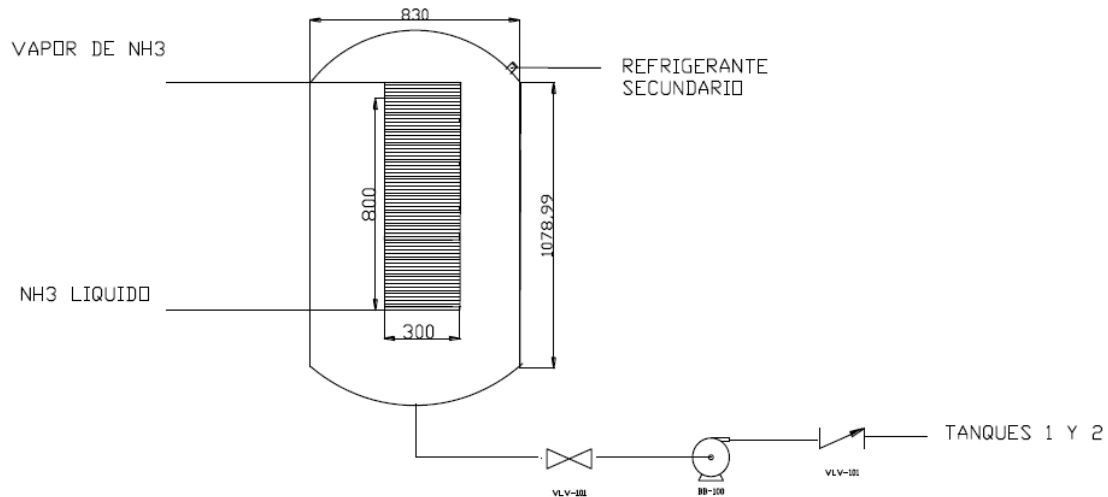
CV: Galones por minuto de agua a 60°F y 1 psig.

Diseño del evaporador

El evaporado se realizará en un serpentín sumergido en el refrigerante secundario.

Las dimensiones de este deben ser:

Ilustración 29 - Esquema del evaporador



Material a ser utilizado: AISI 304

Diámetro del caño: 1/2 in

Área de transferencia (A_{te}): 0,0305m²

Numero de vueltas (N): 64

Diámetro de vuelta del serpentín (D_{vs}): 243,84mm

Válvula exclusiva

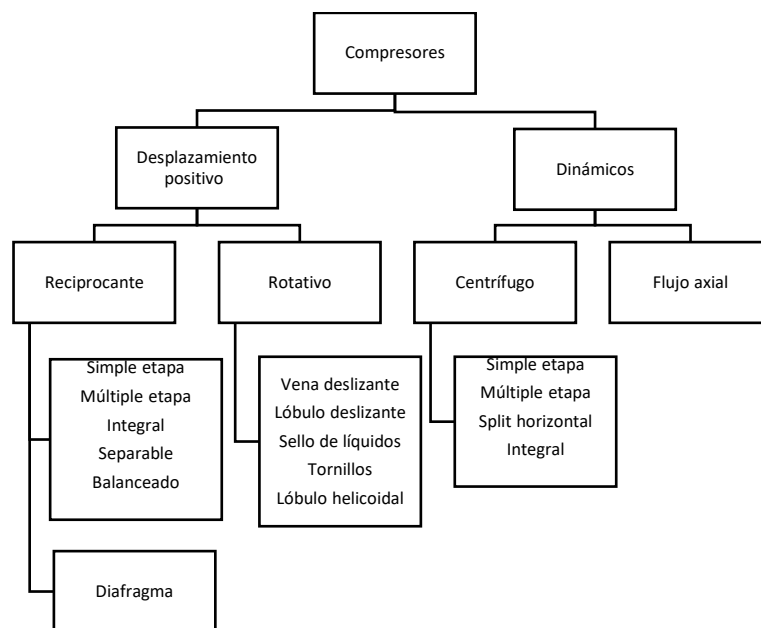
Bomba centrífuga.

Válvula de retención.

Selección de equipos que componen el ciclo primario

Selección del Compresor

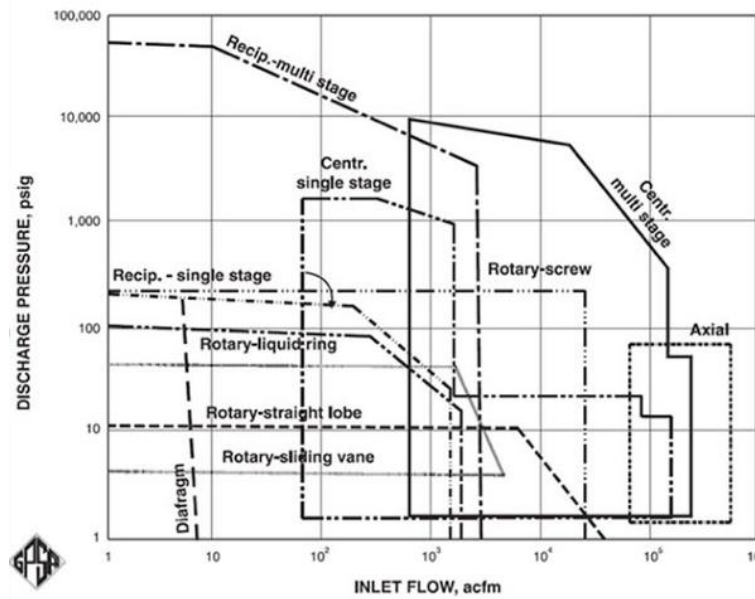
Se selecciona el compresor entre los siguientes:



Para lograr una selección satisfactoria del compresor, debe considerarse una gran variedad. Cada uno tiene ventajas específicas para alguna aplicación. Entre los principales factores que se deben tomar en consideración se encuentran: la velocidad de flujo, la carga o presión, limitaciones de temperatura, el consumo de potencia, posibilidades de mantenimiento y costo.

Con la figura siguiente, puede hacerse una rápida selección del compresor en función del flujo actual (ACFM) y la presión de descarga requerida.

Ilustración 30 - Gráfica de selección de compresores



No obstante, existen otros aspectos a considerar referentes al servicio de compresión para la selección acertada del tipo de compresor:

- Nivel de potencia, disponibilidad comercial del compresor y costo de instalación.
- Flujo volumétrico – Presión de Descarga (figura anterior).
- Arrastre de líquido en gas de proceso y sólidos en gas de proceso – Los compresores más sensibles son el de aletas deslizante, los reciprocantes lubricados, y los centrífugos de alta velocidad.
- Oscilaciones en peso molecular – Los compresores de desplazamiento positivo son relativamente insensibles; los compresores dinámicos tienen que ser diseñados anticipadamente para el rango de variación completo, y no son adecuados para variaciones amplias en operación normal.
- Relación de Presión – Los compresores reciprocantes de etapas múltiples tienden a ser más económicos para altas relaciones de presión.
- Tipo de Elemento Motriz – Las turbinas a gas o a vapor tienden a utilizarse en los compresores dinámicos que, en los reciprocantes, ya que el sistema de transmisión es simplificado.

- Tendencia de ensuciamiento del gas – Los compresores axiales y de alta velocidad, y los centrífugos de etapa sencilla, no son adecuados para servicios sucios. Un sistema de lavado permite a los compresores de tornillo helicoidal y a los centrífugos ser usados en servicios sucios

Se seleccionará un compresor recíproco teniendo en cuenta alguno de los criterios mencionados anteriormente.

Un compresor reciprocante es un compresor de desplazamiento positivo, en el que la compresión se obtiene por desplazamiento de un pistón moviéndose lineal y secuencialmente de atrás hacia adelante dentro de un cilindro; reduciendo de esta forma el volumen de la cámara (cilindro) donde se deposita el gas. Este efecto, origina el incremento en la presión hasta alcanzar la presión de descarga, desplazando el fluido a través de la válvula de salida del cilindro. El cilindro, está provisto de válvulas que operan automáticamente por diferenciales de presión, como válvulas de retención para admitir y descargar gas. La válvula de admisión abre cuando el movimiento del pistón ha reducido la presión por debajo de la presión de entrada en la línea. La válvula de descarga se cierra cuando la presión en el cilindro no excede la presión de la línea de descarga, previniendo de esta manera el flujo reverso.

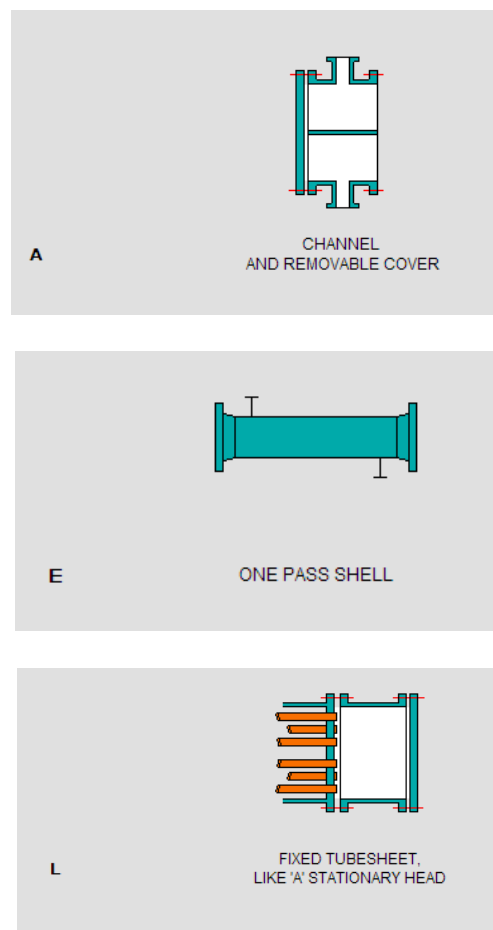
Los compresores reciprocantes deben ser alimentados con gas limpio ya que no pueden manejar líquidos y partículas sólidas que pueden estar contenidas en el gas. Estas partículas tienden a causar desgaste y el líquido como es no compresible puede causar daños a las barras del pistón. La potencia de los compresores reciprocantes puede ser de hasta 20000 Hp para presiones desde el vacío hasta los 50000 Psig. Son diseñados de

simple y múltiples etapas, que están determinadas por la relación de compresión (relación entre la presión de descarga y succión), que generalmente no excede de 4 por etapa.

Selección del condensador

El condensador sirve para licuar el gas enfriado. En la mayoría de los casos, se utiliza agua para enfriar el gas. El sistema de enfriamiento por agua permite la transferencia de calor por la pared del tubo de enfriamiento.

En nuestro ciclo se seleccionará para la condensación un coraza y tubo en posición horizontal, el cual utilizará el agua tratada por tubos y el vapor de amoníaco por la coraza, configuración de corrientes típica. La configuración de la coraza será la siguiente:



Para el diseño se calculan las condiciones de operación por medio de Hysys, se realiza una primera aproximación a través de un cálculo manual y luego se mejora el diseño utilizándose el HTRI.

Selección del evaporador

En los sistemas frigoríficos es un intercambiador de calor, por cuyo interior fluye el refrigerante el cual cambia su estado de líquido a vapor. Este cambio de estado permite absorber el calor sensible contenido alrededor del evaporador (en el tanque de refrigerante secundario) y de esta manera el gas, al abandonar el evaporador lo hace con una energía interna superior debido al aumento de entalpia, cumpliéndose así el fenómeno de refrigeración.

El flujo de refrigerante en estado líquido es controlado por una válvula de expansión la cual genera una abrupta caída de presión en la entrada del evaporador. En los sistemas de expansión directa, esta válvula despiden una fina mezcla de líquido y vapor a baja presión y temperatura. Debido a las propiedades termodinámicas de los gases refrigerantes, este descenso de presión está asociado a un cambio de estado y, lo que es más importante aún, al descenso en la temperatura de este. De esta manera, el evaporador absorbe el calor sensible del medio a refrigerar transformándolo en calor latente el cual queda incorporado al refrigerante en estado de vapor.

La evaporación se realizará en un serpentín sumergido, con la evaporación del amoníaco en el interior del serpentín. Dicha evaporación requiere de un ingreso de calor, el cual el amoníaco obtiene del refrigerante secundario que a su vez baja la temperatura.

Selección de la válvula de expansión

La válvula de expansión está diseñada para oponer una resistencia al flujo del refrigerante líquido. El que se mantenga baja la presión del evaporador, se atribuye a la función de la válvula de expansión y del compresor, aun cuando el compresor succione el refrigerante sin cesar, la presión del evaporador no se puede reducir de haber un gran flujo del líquido proveniente de la válvula de expansión.

El ajuste de la presión del evaporador se hace por medio de la apertura y cierre de la válvula de expansión. Cuando la válvula está demasiado abierta, la presión en el evaporador se incrementa, ocasionando que el compresor succione vapor mezclado con líquido, al presentarse esta situación el cabezal del cilindro del compresor genera escarcha y se denomina compresión en húmedo, es decir el compresor comprime el vapor que contiene gotas microscópicas de líquido. Estas se evaporan y se enfría el gas de descarga dejando la escarcha en el cilindro.

El fenómeno conocido como regreso de líquido es el acumulamiento de líquido en el compresor. A medida que se realiza el proceso de compresión se tiene una cantidad de líquido cada vez mayor dentro del mismo; el líquido opone mayor resistencia a fluir por la válvula de descarga dando lugar a que el cilindro quedo lleno de líquido. Esto genera una presión de líquido extremadamente alta, ocasionando lo que se conoce como bloqueo de líquido, reconociéndose por los ruidos anormales en el compresor. Estas altas presiones pueden llegar al extremo de romper el compuesto cuando el bloqueo del líquido es sumamente violento. Una solución a este problema es cerrar un poco la válvula de expansión: Esta medida implica que el flujo de líquido se reduzca, aumentando en consecuencia, la resistencia al flujo. Se reduce la presión, con la consecuente reducción en la temperatura del evaporador. Al cerrar la válvula de expansión, se transfiere un gran volumen de calor desde el exterior ocasionando que el líquido alimentado al evaporador

se evapore por completo, el compresor trabaja succionando gas totalmente seco y se conoce como compresión en seco.

Sin embargo, si se cierra demasiado la válvula de expansión se incrementa la resistencia al flujo del líquido provocando que se reduzca el volumen que entra y la presión del evaporador. Al mismo tiempo, baja la temperatura junto con la disminución en la presión. Ello permite que un gran volumen de calor se transfiere desde el exterior al interior de evaporador, por lo cual el líquido se convierte completamente en vapor antes de llegar a la salida de evaporador. Cuando es succionado por el compresor y al comprimirlo le incrementa más su temperatura lo cual impide que se deposite escarcha en el tubo de succión, produciéndose una serie de anomalías tales como el deterioro en la calidad del aceite lubricante, ya que se genera hollín.

Dentro de los tipos de válvula se utilizará una termostática, denominada VET o TXV, la cual actúa por medio de un elemento de expansión controlado por un bulbo sensor, el cual regula el flujo del refrigerante líquido a través del orificio de la VET.

Los componentes de esta serán:

- Cuerpo en el cual se produce la expansión.
- Un elemento de potencia que actúa sobre el vástago para abrir o cerrar el paso de refrigerante a la cámara de expansión.
- Regulador que limita la cantidad mínima de caudal.
- Bulbo sensor, situado a la salida del evaporador, conectado por un tubo capilar al elemento de potencia y que actúa sobre este.
- Un tubo de compensación de presión conectado a la salida del evaporador, y que ayuda a funcionar al obturador.

Equipos necesarios para el correcto funcionamiento del ciclo

Trampa de líquido: La trampa de succión es un accesorio para los sistemas de refrigeración que sirven para proteger a los compresores en caso de un regreso de líquido del evaporador. Este está compuesto por dos tanques horizontales, en el tanque superior se separa el líquido del gas, el gas se regresa a los compresores y el líquido cae por gravedad al tanque inferior, donde este se almacena y cuando llega a su nivel se manda de regreso a los evaporadores o al recibidor.

Separadores de aceite: Los separadores de aceite se instalan en la línea de descarga del compresor. Usualmente son un contenedor vertical con las conexiones para el gas de descarga en la parte superior y un puerto para el retorno de aceite en el fondo. Esta línea de retorno puede conectarse directamente a la línea de succión en unidades de un solo compresor o en "racks" de múltiples compresores debe ser conectada a un tanque de reserva llamado depósito de aceite.

Filtro: Es el elemento que tiene como función en el sistema de refrigeración filtrar cualquier impureza sólida que pueda estar presente en el sistema de refrigeración como, por ejemplo, humedad y partículas metálicas.

Ciclo de refrigeración secundario

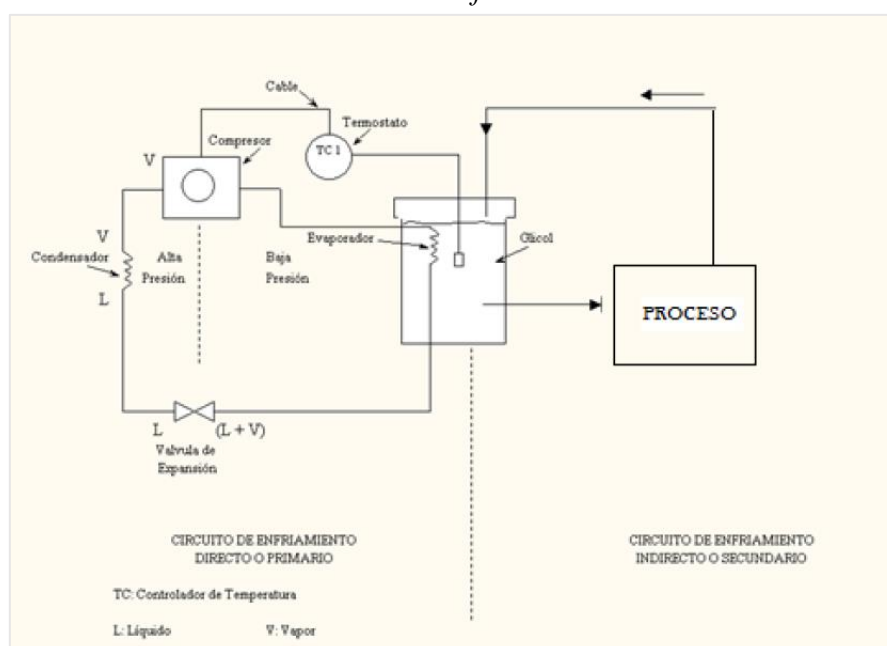
El propilenglicol es probablemente el agente anticongelante que más se usa en servicio de refrigeración, especialmente en la industria alimenticia en donde la toxicidad es un factor importante. A diferencia de la salmuera, las soluciones de glicol no son corrosivas. También, tienen la propiedad de no ser electrolíticas y, por lo tanto, se pueden emplear en sistemas que contengan metales diferentes. Los glicoles son compuestos extremadamente estables, y no se evaporan bajo condiciones de operación normales.

Tabla 6 - % de etilenglicol vs temperatura mínima

Concentración en Volumen (% V/V)	Temperatura (°C)
5	- 1,7
10	- 3,3
15	- 5,3
20	- 7,2
25	- 9,7
30	- 12,8
35	- 16,4
40	- 20,8
45	- 26,1
50	- 31,9

A partir de esta tabla se puede establecer la concentración de propilenglicol necesaria para alcanzar la temperatura final deseada de un proceso.

Ilustración 31 - Sistema de enfriamiento de dos circuitos



Simulación del ciclo de enfriamiento secundario

En este caso ingresamos como datos:

- Temperatura requerida en la corriente de entrada:

$$T_5 \text{ y } T_6 = 0^\circ\text{C} = 32^\circ\text{F}$$

- Temperatura requerida salida de los tanques a refrigerar:

$$T_7 \text{ y } T_8 = 4^{\circ}\text{C} = 39,29^{\circ}\text{F}$$

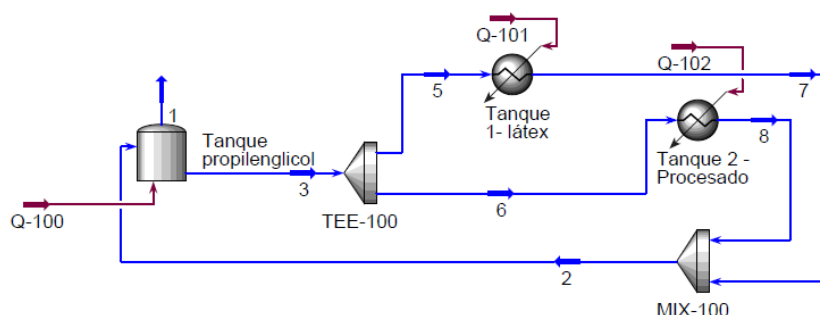
- Calores que deseamos extraer en cada tanque:

$$Q_{101} = 6624,20 \text{ KJ/h} = 6278 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{102} = 35559 \text{ KJ/h} = 33700 \text{ Btu/h}$$

Lo que se busca con esta simulación es verificar los caudales de propilenglicol que deben circular por la chaqueta de cada uno de los tanques. En esta parte obviamos la caída de presión a través de las cañerías y de las camisas.

Ilustración 32 - Ciclo de refrigeración secundario



Hoja de resultados

Name	2	3	5	6	7
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature (F)	39.20 *	32.00 *	32.00	32.00	39.20 *
Pressure (psia)	14.70 *	14.70 *	14.70	14.70	14.70 *
Molar Flow (lbmole/hr)	100.6	100.6	15.80	84.80	15.80
Mass Flow (lb/hr)	7655	7655	1202	6453	1202
Std Ideal Liq Vol Flow (barrel/day)	503.9	503.9	79.13	424.8	79.13
Heat Flow (Btu/hr)	-2.213e+007	-2.217e+007	-3.482e+006	-1.869e+007	-3.476e+006
Molar Enthalpy (Btu/lbmole)	-2.200e+005	-2.204e+005	-2.204e+005	-2.204e+005	-2.200e+005
Name	8	1	Q-100	Q-101	Q-102
Vapour Fraction	0.0000	1.0000	---	---	---
Temperature (F)	39.20 *	32.00	---	---	---
Pressure (psia)	14.70 *	14.70	---	---	---
Molar Flow (lbmole/hr)	84.80	0.0000 *	---	---	---
Mass Flow (lb/hr)	6453	0.0000	---	---	---
Std Ideal Liq Vol Flow (barrel/day)	424.8	0.0000	---	---	---
Heat Flow (Btu/hr)	-1.866e+007	0.0000	-3.998e+004	6278 *	3.370e+004 *
Molar Enthalpy (Btu/lbmole)	-2.200e+005	-1.837e+005	---	---	---

Calor a transferir:

$$Q_{100} = -39980 \text{ Btu/h} = 42180 \text{ KJ/h}$$

Caudal a enfriar:

$$W = 7655 \text{ lb/h} = 3472 \text{ kg/h}$$

Sistema de limpieza de equipos

El lavado convencional que se utiliza en las pequeñas industrias es manual. Esto conlleva que se restriegue a mano, se enjuague con agua y detergentes y después se enjuague con más agua. Este método consume mucho tiempo, además de implicar gran cantidad de agua y detergentes, sumado a un resultado insatisfactorio en términos microbiológicos. Cabe también destacar que se debe desarmar el piping para limpiar las piezas y luego rearmar.

En nuestra empresa se optará por la limpieza automática de componentes de proceso. Es decir, se buscará la implementación de un sistema CIP (Cleaning in Place). El mismo consta de un conjunto de tanques, bombas y equipos adicionales que hacen que un fluido circule a través de los tanques y equipos utilizados en el proceso de producción para su limpieza.

Los beneficios alcanzados por este sistema son garantizar una limpieza profunda que resulta homogénea en cada ciclo, ya que no depende de la pericia del operador. El ahorro de tiempo y la reutilización de químicos destinados al lavado también resultan beneficiosos. Se disminuye la contaminación y bajan los costos, ya que se pueden reutilizar las soluciones.

Detalles del sistema utilizado

El sistema consta de un tanque donde se almacenará la solución de NaOH, un tanque de ácido nítrico y uno de agua potable para lavados y enjuagues. El tiempo y las temperaturas de cada etapa están definidos por la experiencia recopilada de diferentes industrias. En nuestro caso partiremos de un programa proveniente de la industria láctea. Sin embargo, para conseguir el resultado deseado, es necesario experimentar con los programas de lavado, realizar análisis visuales en conjunto con análisis microbiológicos

para determinar la eficacia y la calidad del CIP. Esto solo se puede realizar en base a la experiencia una vez instalado el sistema. A continuación, se coloca como ejemplo un programa típico utilizado, para ampliar el detalle de las soluciones empleadas, tiempos y temperaturas. Programa base:

Etapas N°1, Enjuague con agua recuperada del primer lavado.

Etapas N°2, Lavado con solución alcalina (soda) entre 1,0%-1,5% a una T° de 60-70 °C.

Periodo de lavado de 3 minutos con ciclos de reposo de 3 minutos, con una operación cíclica de 5 veces.

Etapas N°3: Enjuague soda (agua caliente).

Etapas N°4: Lavado con ácido nítrico al 1% por 15 minutos con ciclos de 30 segundos de operación y parada.

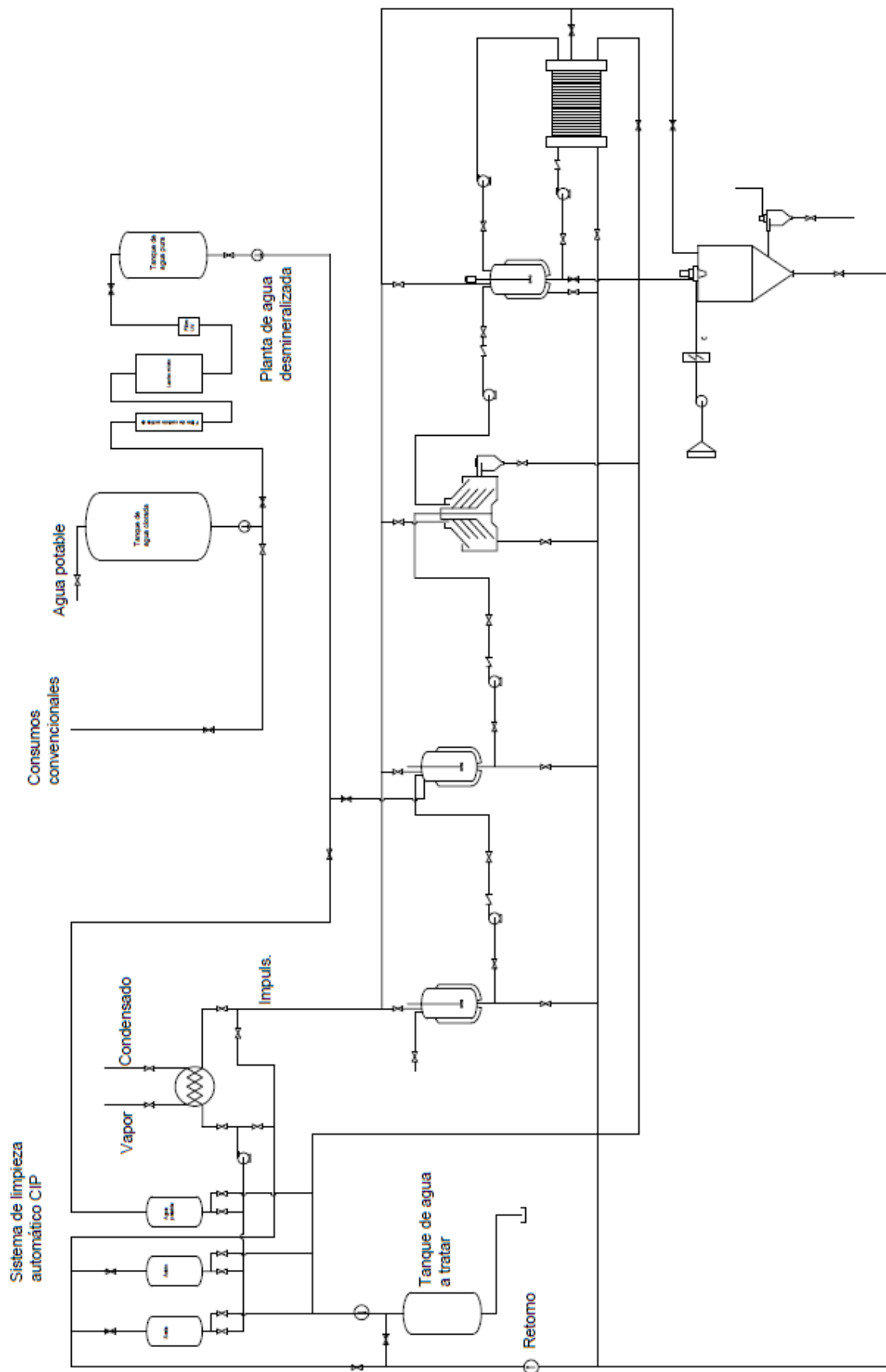
Etapas N°5: Enjuague con agua caliente.

Considerando que se requiere temperatura, es necesario la instalación de un intercambiador de calor. Para la generación de vapor, se cree que conveniente el uso de un equipo del fabricante Industrias Tecnológicas Argentinas (ITA) llamado Vaporax. El mismo es una caldera automática que está supuestamente diseñada para producir vapor a un costo bajo, compatible con una mínima inversión y poco espacio ocupado.

Ilustración 33- Vaporax



Diagrama de la instalación



Tratamiento de efluentes

La principal fuente de generación de los residuos líquidos de nuestra empresa es el lavado de maquinarias y líneas de proceso sumado a lo descartado en cada paso de las distintas separaciones (agua más sólidos orgánicos). El parque industrial en el cual se encuentra localizado nuestro emprendimiento cuenta con el servicio de tratamiento de efluentes, mediante un colector común a todas las industrias. De igual manera, se realiza un tratamiento previo del efluente antes de abandonar la empresa, en el cual se utiliza un tanque buffer para neutralizar y hacer decantar parte de los sólidos residuales. La neutralización previa a la descarga de los efluentes líquidos se vuelve una parte fundamental por el tratamiento CIP, donde se utilizan tanto soda como ácido para efectuar los lavados.

Para poder realizar el tratamiento, primeramente, se caracteriza el efluente. Los parámetros a tener en cuenta para la caracterización son TOC, DQO, sólidos sedimentables totales, pH. Se proponen como alternativas de tratamiento la coagulación y posterior floculación, para luego terminar sedimentando la materia orgánica contenida y el citrato de sodio del agua. La misma podrá ser utilizada para tareas de riego, por ejemplo.

Detalles del proceso utilizado

La coagulación-floculación consiste en 2 etapas. Primero se busca aglutinar coloides y sólidos en suspensión. Esto facilita la posterior sedimentación.

La coagulación actúa desestabilizando las partículas coloidales. Estas presentan cargas eléctricas superficiales que generan una fuerza repulsiva y las mantiene estables impidiendo que se aglomeren. El coagulante agregado se compone de iones que

estabilizan las cargas formando una doble capa eléctrica, disminuyendo la diferencia de potencial generada entre la superficie cargada del coloide y el seno del líquido hasta niveles por debajo de las fuerzas de van der Waals, lo que permite la formación de microflóculos. Conviene para realizar este proceso un incremento de la alcalinidad seguido por el agregado de sales de cationes con alta valencia, en un entorno de mezcla rápida. Entre los coagulantes comúnmente utilizados se encuentran las sales de Al^{3+} o Fe^{3+} . Es de amplia utilización el hidroxiclорuro de aluminio (PAC), debida a su alta eficiencia.

La floculación es la segunda etapa. Se caracteriza por formar los agregados de partículas descargadas (flóculos) a partir de las fuerzas de atracción de las mismas. Se usan polielectrolitos, los cuales son polímeros de alto peso molecular con grupos capaces de adsorber partículas, formar puentes entre partículas y flóculos cargados.

Esto resulta en flóculos más grandes (0,3 a 1mm) creados a partir de pequeñas dosis de electrolitos (1 a 5mg/l). En esta parte del proceso se realiza un mezclado lento para favorecer el contacto y a su vez no romper los flóculos.

Con respecto al citrato de sodio contenido en el efluente, se decide optar por la precipitación química del mismo. La precipitación consiste en el agregado de una sal de alta solubilidad, cuyos iones presenten afinidad con iones o moléculas presentes en el efluente. Esta afinidad forma baja solubilidad (baja Kps o mayor pKps) para la sal formada entre el ión que se busca que precipite y el que se agrega para favorecer la precipitación.

A pesar de ser el citrato altamente biodegradable, un método alternativo para remover la carga orgánica (DQO y DBO) aportada por estos es la precipitación como citrato de calcio. Puede precipitar como tetrahidratado o hexahidratado. Las solubilidades

son similares y rondan los 0,25 g/l a 2,5 g/l. La solubilidad aumenta a medida que aumenta la temperatura. De pH 6 a 11,5, el pH no afecta. Allí son estables las especies Cit^{-3} y Ca^{+2} .

Finalmente se da lugar a la sedimentación, la cual consiste en la operación física de separación por acción de la gravedad, de partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que la del agua.

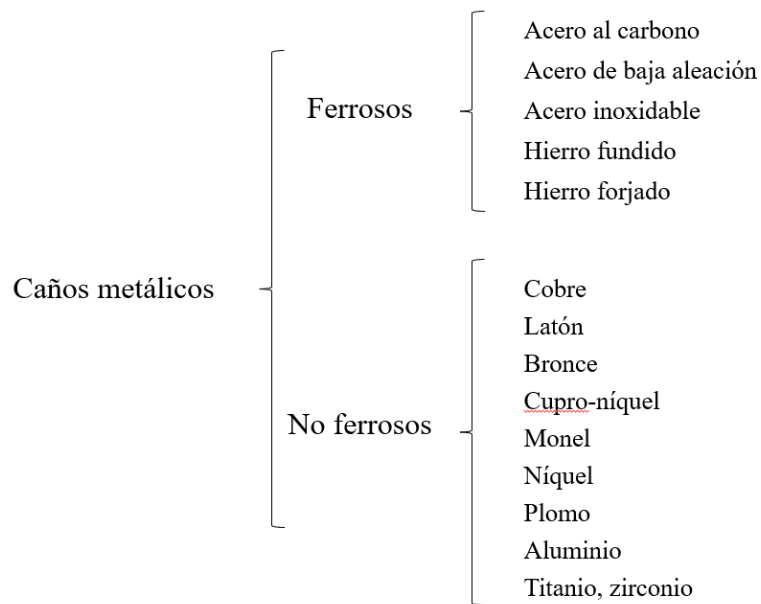
Como es un proceso discontinuo, se aprovecha el horario no laboral como tiempo para la sedimentación. Es necesario asegurar que el tiempo sea el suficiente que asegure que se separen los lodos del sobrenadante.

Capítulo 7: Diseño de Cañerías y Accesorios

Cañerías

Se emplean en la actualidad gran variedad de materiales para la fabricación de cañerías. Las normas ASTM, por ejemplo, especifican más de 150 diferentes tipos.

Podemos resumirlos en el siguiente cuadro:



La elección del material adecuado para una determinada aplicación es siempre un problema complejo, cuya solución depende principalmente de la presión y temperatura de trabajo, del fluido conducido (aspectos de corrosión y contaminación), del costo, del grado de seguridad requerida, de las sobrecargas externas, y en algunos casos, la resistencia al escurrimiento o pérdida de carga.

Para todos los equipos se ha escogido acero inoxidable AISI 304 ya que resiste a la corrosión tanto de ácidos orgánicos como de ácidos inorgánicos fuertes y soporta temperaturas elevadas y el acero al carbono para cañerías menores y áreas de servicios.

Características de caños de aceros inoxidables

El acero inoxidable es un material de alta aleación, de tipo austenítico (ya que contiene más del 7% de Ni) y cuya composición es de 0,08% en carbono, 1% en silicio, 2% en manganeso, 18% en cromo, 8% en níquel y 2,25-3% en molibdeno. Generalmente se utilizan para la resistencia a la corrosión cuando existen condiciones de oxidación.

Todos los aceros inoxidables contienen el cromo suficiente para darles características de inoxidables. Muchas aleaciones inoxidables contienen además níquel para reforzar aún más su resistencia a la corrosión. Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para hacerlo “inoxidable en toda su masa”. Por este motivo, los aceros inoxidables no necesitan ser ni chapeados, ni pintados, ni de ningún otro tratamiento superficial para mejorar su resistencia a la corrosión.

También estos aceros se oxidan, pero en vez de óxido común, lo que se forma en la superficie es una tenue película de óxido de cromo muy densa que constituye una coraza contra los ataques de la corrosión. Si se elimina esta película de óxido de cromo que recubre los aceros inoxidables, se vuelve a formar inmediatamente al combinarse el cromo con el oxígeno de la atmósfera ambiente.

El principal justificativo del uso de acero inoxidable en nuestro proceso, es que los óxidos o residuos de las cañerías de acero al carbono pueden deteriorar la calidad de los productos.

Los aceros inoxidables no sólo tienen mejor comportamiento frente a los problemas de corrosión y erosión, sino que además poseen mayores tensiones de fluencia y rotura. El costo del montaje y soldadura de las aleaciones también es mucho mayor que en el acero al carbono.

La especificación más importante de aceros inoxidable es la ASTM A-312 que abarca varios tipos de materiales denominados "Aceros 18-8" de los cuales los más usados son los siguientes:

Tabla 7 - Especificaciones de acero inoxidable

Tipos AISI	Cromo	Níquel	Otros	Con tratamiento térmico	
				Tensión de ruptura	Tensión de fluencia
304	18	8	-----	58 kg/mm ²	24 kg/mm ²
316	18	8	2,5 Mo	58 kg/mm ²	24 kg/mm ²
	18	8	0,4 Ti	58 kg/mm ²	24 kg/mm ²
317	18	8	0,8 Ta	58 kg/mm ²	24 kg/mm ²

Diseño hidráulico de tuberías

Cálculo del diámetro

El dimensionamiento del diámetro de los caños es casi siempre un problema de hidráulica, resuelto en función del caudal necesario del fluido, de las diferencias de cota existentes, de las presiones disponibles, de las velocidades y pérdidas de carga admisibles, de la naturaleza del fluido y del material y tipo del caño.

En algunos casos no es el cálculo hidráulico el determinante del diámetro del caño, sino otros factores de diseño. Por ejemplo, en líneas de poca longitud que conectan equipos, es más económico fijar el diámetro por el de las bridas de los equipos, simplificando la instalación y economizando accesorios. También en el caso de diámetros por debajo de 2" es práctico sobredimensionar las líneas, economizando soportes y fundaciones, aunque desde el punto de vista hidráulico algunos diámetros menores sean satisfactorios.

Pérdida de carga

Del escurrimiento de los fluidos por una cañería, resulta siempre una cierta pérdida de energía, que se gasta en vencer las resistencias que se oponen al flujo, y que finalmente se disipa en forma de calor.

Las resistencias son de dos tipos:

- Externas, resultantes del rozamiento contra las paredes del caño, aceleraciones y cambios de dirección y la consecuente turbulencia producida.
- Internas, resultantes de rozamiento entre las propias moléculas del fluido entre sí, llamado viscosidad.

Las resistencias externas son tanto mayores cuantos mayores sean la velocidad del fluido y la rugosidad de las paredes y cuánto menor sea el diámetro. Las resistencias internas son mayores cuanto mayor sea la velocidad y la viscosidad del fluido. Esa parte de la energía perdida, llamada pérdida de carga se traduce por una gradual disminución de la presión del fluido que va cayendo de un punto a otro en el sentido de escurrimiento.

En el estudio de la transmisión de fluidos se acostumbra a dividir las redes de cañerías en tramos, de modo que no se incluya en ninguno de ellos máquina alguna (bomba, compresor, turbina, etc.) capaz de intercambiar trabajo con el exterior, absorbiendo energía del fluido o cediéndola al mismo. De ese modo, la única variación de la energía del fluido se circunscribe entre los puntos extremos de línea y será la producida por la pérdida de carga.

$$P_t = \frac{1,5 \cdot P \cdot S_t}{S}$$

Donde

P_t = Presión de prueba hidrostática mínima (manométrica)

P = Presión interna de diseño (manométrica)

S_t = Valor de tensión admisible a temperatura de prueba

S = Valor de tensión admisible a temperatura de diseño (Tablas A1 de ANSI)

Si la Presión de Prueba, como se define arriba, fuera mayor que la tensión de fluencia a la temperatura de prueba, la presión máxima no excederá la fluencia a esa temperatura.

Las normas ANSI

Las normas ANSI, incorporadas a las ASME (American Society of Mechanical Engineers) son las más utilizadas para cálculo, diseño, fabricación, inspección y montaje de cañerías. Aunque cada país ha elaborado sus propias normas sobre la materia y el uso de las ANSI no es obligatorio por ley, la generalidad de las empresas que contratan servicios de proyecto y montaje de cañerías industriales lo hacen refiriéndose a estas normas. Las ISO, International Standard Association, y las DIN alemanas también son utilizadas para el mismo fin.

Cálculo del espesor de pared

La tensión máxima en un caño recto se producirá en el sentido circunferencial, que es el duplo de la tensión longitudinal. Basado en este concepto de la teoría de membrana para un caño sometido a presión interna, el cálculo de ANSI B31.3 para el espesor mínimo será:

$$t_m = t + c$$

El espesor seleccionado no será menor que t_m más tolerancia de fabricación.

Donde:

t_m = Mínimo espesor requerido por presión, incluyendo tolerancia de fabricación, erosión y corrosión.

t = Espesor por diseño por presión interna o la determinada para presión externa.

c = La suma de las tolerancias mecánicas, (roscas, ranuras, etc.) más las tolerancias por erosión o corrosión. Para componentes roscados será la profundidad (h de la norma ANSI

B1.20.1 o equivalente) la que se aplicará. Para superficies maquinadas o ranuras donde la tolerancia no se ha especificado, se asume una tolerancia de 0,02" o 0,5 mm agregada a la profundidad especificada en el corte.

Cálculo por presión interna (ANSI B 31.1)

Para $T \leq D/6$ o $P/SE \leq 0,385$:

$$t = \frac{P \cdot D}{2(S \cdot E + P \cdot y)}$$

O también:

$$t = \frac{P(d + 2c)}{2(S \cdot E - P + (1 - y))}$$

d = Diámetro interior del caño. Para cálculo de diseño por presión, el diámetro interior del caño es el máximo valor admisible bajo la especificación de compra.

P = Presión interna manométrica.

D = Diámetro exterior del caño.

E = Factor de calidad de Tablas A-1A ó A1B.

S = Valor de la tensión del material de tablas A1.

T = Espesor de pared del caño (medido, o el mínimo de la especificación de compra).

y = Coeficiente de Tabla 11, válido para $T < D/6$ y para cada material allí señalado. Los valores de y pueden ser interpolados.

Tabla 8 - Valores del coeficiente y para $t < D/6$

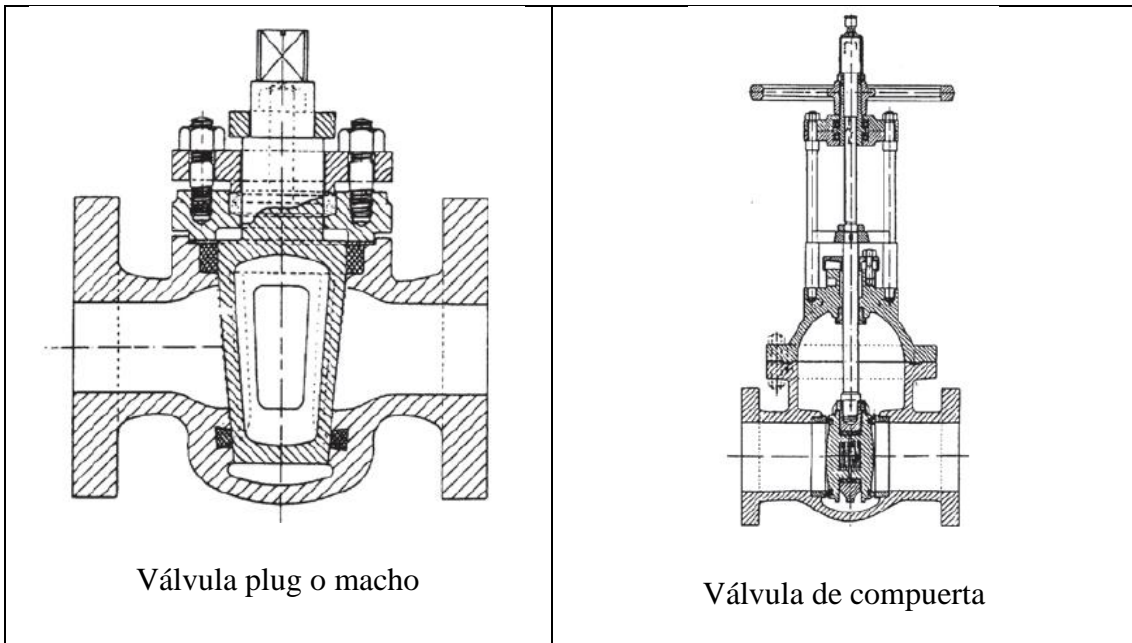
Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 482 (900 & Lower)	510 (950)	538 (1,000)	566 (1,050)	593 (1,100)	≥ 621 (1,150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0

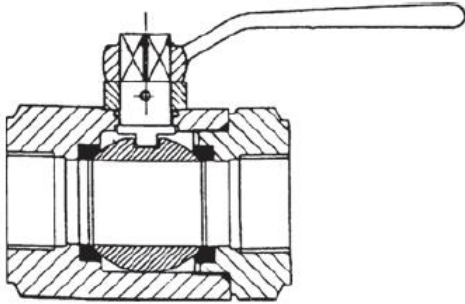
Válvulas

Las válvulas utilizadas para un proceso se pueden dividir en dos grandes clases, dependiendo de su función primaria.

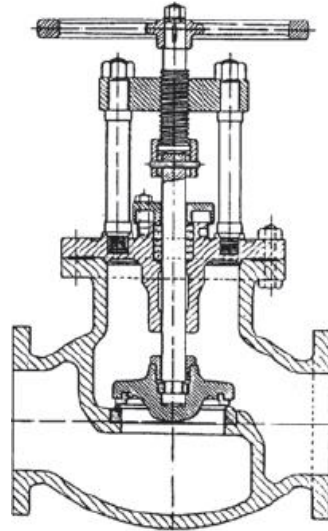
1. Válvulas de cierre (válvulas de bloqueo o válvulas de aislamiento), cuyo objetivo sería cerrar la circulación.
2. Válvulas de control, tanto manuales como automáticas, utilizadas para regular el caudal.

Tipos de válvulas más utilizadas:

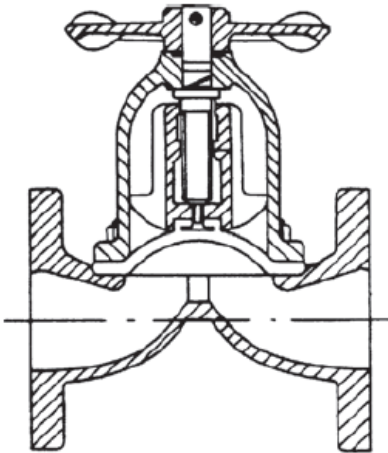




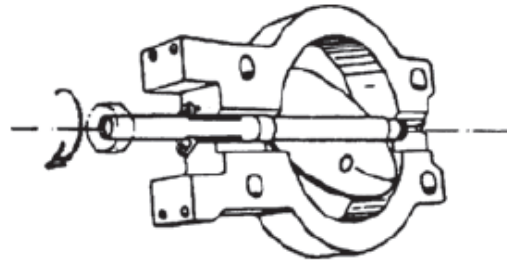
Válvula de bola



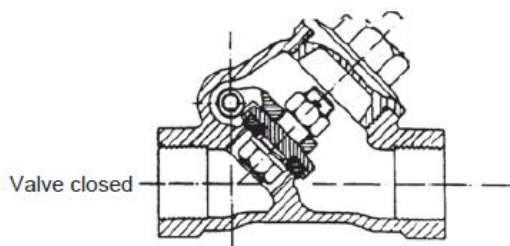
Válvula de asiento



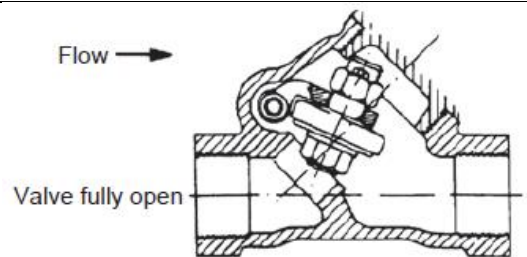
Válvula de diafragma



Válvula mariposa



Válvula de retención cerrada



Válvula de retención abierta

Una válvula que se elige para cierre debe tener una resistencia mínima a la circulación cuando se abre. Las válvulas de compuerta, plug y bola son las más utilizadas para esta función.

Si se requiere control de caudal en cambio, la válvula debe ser capaz de ofrecer un control suave sobre el rango total de circulación, desde una apertura total hasta un cierre total. Las válvulas de asiento se usan normalmente, a pesar de que las válvulas de diafragma son las más comunes. Las válvulas de mariposa se usan frecuentemente para el control de gases y vapores. Las válvulas de control automático son en general válvulas de asiento con un diseño estilizado especial. Su selección es importante ya que se debe conseguir un buen control de caudal en conjunto con una caída de presión lo más baja posible.

Por último, las válvulas de no retorno se usan para prevenir el reflujo de los fluidos en una línea del proceso. Normalmente no ofrecen un cierre absoluto de la circulación inversa. Dado que dependen de la gravedad para cerrar la válvula, se debe tener cuidado a la hora de orientar la válvula de forma adecuada cuando se coloca e instala.

Características

Válvula esférica o de bola: La válvula esférica o de bola debe su nombre a su elemento de cierre u obturador esférico agujereado que controla la circulación del líquido; éste es flotante y está sostenido y ubicado en su lugar por dos asientos de teflón autoajustables. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75 % del tamaño de la tubería. A medida que la presión aumenta, aumenta el cierre producido por la esfera sobre el asiento opuesto al lado de mayor presión y, por lo tanto, aumenta su hermeticidad dado que la bola contacta el asiento, el cual suele ser de materiales blandos como resina anti-adherente o fluoropolímero, de forma circunferencial y uniforme.

Dependiendo del tipo de cuerpo de la válvula, su mantenimiento puede ser fácil, siendo las aplicaciones más frecuentes la de apertura/cierre, que se logra con un cuarto de giro del obturador. No es recomendable usarlas parcialmente abiertas por un largo tiempo bajo condiciones de alta caída de presión, ya que los asientos blandos pueden tener tendencia a salir de su sitio y obstruir el movimiento de la bola. El uso de esta válvula está limitado por la resistencia a temperatura y presión del material del asiento, metálico o plástico. Ciertos abrasivos o fluidos fibrosos pueden dañar la superficie de la bola y asiento.

Ventajas	Desventajas	Aplicaciones recomendadas
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo. • Alta capacidad. • La pérdida de presión en relación con el tamaño del orificio de la bola es pequeña. • Corte bidireccional. • Circulación en línea recta. • Pocas fugas. • Autolimpiante. • Poco mantenimiento. • No requiere lubricación. • Tamaño compacto. • Cierre hermético con baja torsión (par). 	<ul style="list-style-type: none"> • Características deficientes para estrangulación. • Alta torsión para accionarla. • Susceptible al desgaste de sellos o empaquetaduras. • Propensa a la cavitación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplean en vapor, agua, aceite, gas, aire, fluidos corrosivos, pastas aguadas y materiales pulverizados secos. • Servicio de conducción y corte, sin estrangulación. • Apertura rápida. • Para temperaturas moderadas. • Mínima resistencia a la circulación.

Válvula de Diafragma: Las válvulas de diafragma se utilizan para el corte y estrangulación de líquidos que pueden llevar una gran cantidad de sólidos en suspensión. En ellas se aísla el fluido de las partes del mecanismo de operación, lo que las hace apropiadas en servicios corrosivos o viscosos, ya que evita cualquier contaminación hacia o del exterior. La estanqueidad se consigue mediante una membrana flexible, generalmente de elastómero (caucho) o plástico, pudiendo ser reforzada con algún metal, que se tensa por el efecto de un eje-punzón de movimiento lineal, hasta hacer contacto con el cuerpo, que hace de asiento.

Ventajas	Desventajas	Aplicaciones recomendadas
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo. • No tienen empaquetaduras. • No hay posibilidad de fugas por el vástago. • Inmune a los problemas de obstrucción, corrosión o formación de gomas en los productos que circulan. • Rápida obertura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diafragma susceptible de desgaste. • Elevada torsión al cerrar con la tubería llena. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluidos corrosivos, materiales pegajosos o viscosos, pastas semilíquidas fibrosas, lodos, alimentos, productos farmacéuticos. • Servicio con apertura o cierre totales. • Servicio de estrangulación. • Para servicio con bajas presiones de operación.

Válvula de compuerta o esclusa: Es utilizada para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción. Cuando la válvula está totalmente abierta, el área de flujo coincide con el diámetro nominal de la tubería, por lo que las pérdidas de carga son relativamente pequeñas. No es recomendable para regulación o estrangulamiento ya que el disco podría resultar erosionado y parcialmente abierto puede sufrir vibraciones. Tienen un uso bastante extendido en el sector petroquímico, ya que permite estanqueidades del tipo metal, pero, debido al desgaste producido por la fricción, no se recomienda en instalaciones donde su uso sea frecuente. Una válvula esclusa efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición, es adecuada generalmente para el control apertura-cierre, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse.

Ventajas	Desventajas	Aplicaciones recomendadas
<ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidad. • Cierre hermético. • Bajo costo. • Diseño y funcionamiento sencillos. • Poca resistencia al flujo cuando está en posición de apertura total. 	<ul style="list-style-type: none"> • Control deficiente de la circulación. • Se requiere mucha fuerza para accionarla. • Produce cavitación con baja caída de presión. • Debe estar cubierta o cerrada por completo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Servicio general, aceites y petróleo, gas, aire, pastas semilíquidas, líquidos espesos, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos.

	<ul style="list-style-type: none"> • La posición para estrangulación produce erosión del asiento y del disco. • La operación de apertura / cierre es lenta. • Requiere de grandes actuadores difíciles de automatizar. • Son difíciles de reparar en la instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Servicio con apertura o cierre totales, sin estrangulación. • Para uso poco frecuente. • Para resistencia mínima a la circulación. • Para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.
--	--	---

Válvulas de retención: Las válvulas de retención son usadas para prevenir el retorno del flujo en las líneas. Esto es indispensable en ciertos casos, por ejemplo, en la descarga de bombas verticales, donde una inversión de flujo haría que una bomba parada girara al revés, lo que podría provocar el desacople entre motor y bomba. Además, si hay varias bombas en paralelo, al parar una y arrancar otra en su lugar (por rotación rutinaria de equipos, o por una emergencia) si no hubiera válvulas de retención en las descargas de estas bombas, habría que cerrar la válvula de bloqueo de las bombas paradas, lo que impediría un arranque y puesta en línea de inmediato, si fuera necesario. El funcionamiento de todas las válvulas de retención responde a uno de dos principios básicos:

- Válvulas de retención a charnela: Esta válvula tiene un disco embisagrado o de charnela que se abre por completo con la presión en la tubería y se cierra cuando se interrumpe la presión y empieza la circulación inversa. Hay dos diseños: uno en “Y” que tiene una abertura de acceso en el cuerpo para el esmerilado fácil del disco sin desmontar la válvula de la tubería y un tipo de circulación en línea recta que tiene anillos de asiento reemplazables. Es aproximadamente comparable a las válvulas esclusas y está destinada a impedir una inversión de la circulación.

Ventajas	Aplicaciones recomendadas
<ul style="list-style-type: none"> • Puede estar por completo a la vista. • La turbulencia y las presiones dentro de la válvula son muy bajas. • El disco en “Y” se puede esmerilar sin desmontar la válvula de la tubería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para servicio con líquidos a baja velocidad. • Cuando se necesita resistencia mínima a la circulación. • Cuando hay cambios poco frecuentes del sentido de circulación en la tubería. • Para servicio en tuberías que tienen válvulas de compuerta. • Para tuberías verticales que tienen circulación ascendente.

- **Válvula de retención a pistón o elevación:** En una válvula de retención a pistón o elevación el paso del flujo es similar al de una válvula de globo, excepto que el disco se eleva con la presión normal de la tubería y se cierra en forma automática por gravedad y la circulación inversa.

Ventajas	Aplicaciones recomendadas
<ul style="list-style-type: none"> • Recorrido mínimo del disco a la posición de apertura total. • Acción rápida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tuberías para vapor de agua, aire, gas, agua y vapores con altas velocidades de circulación. • Cuando hay cambios frecuentes de circulación en la tubería. • Para uso con válvulas de globo y angulares. • Para uso cuando la caída de presión a través de la válvula no es problema.

Válvulas de alivio y seguridad: Las válvulas de alivio y las válvulas de seguridad tienen la función de limitar la presión en un sistema a un valor preajustado máximo, desviando parte o todo el flujo a un venteo o a un tanque. Se usan típicamente para fluidos incompresibles tales como agua o petróleo, mientras que las válvulas de seguridad para fluidos compresibles como vapor o gases. Las válvulas de seguridad pueden ser reconocidas porque habitualmente presentan una palanca en la parte superior que se utiliza para su control operativo.

Las figuras muestran que la presión del sistema proporciona una fuerza que trata de despegar el disco de su asiento, pero la presión del resorte sobre el vástago fuerza al disco contra su asiento. Cuando la presión del sistema supera la que ejerce el resorte, la válvula se abre y así disminuye la presión del sistema; en esas condiciones, nuevamente la presión ejercida por el resorte supera a la del sistema y la válvula se cierra. La mayoría de las válvulas de alivio y seguridad se abren venciendo la fuerza ejercida por un resorte comprimido. La presión a la que se desea la apertura se establece ajustando las tuercas en la parte superior del yugo para aumentar o disminuir la compresión del resorte.

Ventajas	Aplicaciones recomendadas
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo. • No se requiere potencia auxiliar para la operación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua caliente, vapor de agua, gases, vapores. • Sistemas en donde se necesita una gama predeterminada de presiones.

Soportes

Son los dispositivos destinados a soportar los pesos y los demás esfuerzos ejercidos por los caños o sobre los caños transmitiendo al suelo, a estructuras vecinas, a equipos o en algunos casos, a otros caños. La selección de soportes es de suma importancia para la instalación de tuberías en un proceso industrial.

La ubicación apropiada de soportes fijos involucra consideraciones de la propia tubería, de la estructura a la cual se transmite la carga y de las limitaciones de espacio. Los puntos recomendables de fijación son:

- Nunca sobre componentes tales como válvulas, accesorios o juntas de expansión.
- Sobre tramos rectos de tuberías y no sobre codos, juntas o conexiones de ramales, puesto que en estos sitios existen esfuerzos altamente localizados, a los cuales se agregarían los efectos locales de la fijación.

- Sobre tramos de tuberías que no requieran limpieza o mantenimiento frecuente.
- Tan cerca como sea posible de concentraciones grandes de carga, tales como: tramos verticales, ramales de tubería, válvulas motorizadas o pesadas, con la intención de mantener el esfuerzo flexionante al mínimo.

El espaciamiento de los soportes a lo largo de una tubería depende de su tamaño, de la configuración de esta, de la localización de las válvulas, de los accesorios y de la estructura. En un tendido de tubería horizontal, sencillo, en campo abierto, el espaciamiento de soportes depende únicamente de la resistencia del tubo.

Clasificación

Soportes flexibles: Cuando una tubería lineal se defleca verticalmente como resultado de la expansión térmica, es necesario proveer soportes flexibles. Estos se subdividen en dos tipos:

- Los soportes flexibles de carga constante proveen una fuerza constante de apoyo, aunque el mismo este al máximo rango de la expansión y contracción vertical. Esto es logrado con el uso de un resorte helicoidal trabajando en conjunto con un codo de palanca, de tal manera que la fuerza del resorte, multiplicada por la distancia del brazo pivote se iguale siempre a la carga de la tubería multiplicada por la distancia a la palanca pivote. Debido a que su efecto de soporte es constante, estos son usados donde se desea prevenir transferencia de cargas de peso a equipos conectados o a soportes adyacentes. En consecuencia, generalmente se usan para soportar sistemas de tuberías críticas.
- Soportes flexibles de carga variable: Los soportes flexibles de carga variable son usados para tuberías sujetas a movimientos verticales. La característica inherente de

un soporte de carga variable es que la fuerza soportadora varía con la deflexión del resorte y con la escala de este, por lo tanto, la expansión vertical de la tubería causa una correspondiente tracción o compresión en el resorte y causará un cambio en el efecto de sustentación actual del soporte.

Soportes rígidos: Los soportes rígidos son normalmente usados en puntos donde no ocurren movimientos verticales de la tubería. Las consideraciones de diseño para un soporte rígido son: la temperatura de la tubería, para seleccionar el material de la abrazadera y la carga para seleccionar los componentes adecuados para el peso de la tubería implicada. En algunas instancias, el soporte rígido además de ser usado como soporte del peso de la tubería, es también adecuado como una restricción del movimiento vertical de la tubería. La instalación indiscriminada de un artefacto restrictor sobre un sistema de tubería, podría alterar los esfuerzos y reacciones en la tubería de manera severa, cambiando el diseño del sistema a uno en el cual se exceden los límites de un buen diseño.

Soportes semi-rígidos: Los soportes semi-rígidos son empleados para caños livianos, dentro de edificios o en áreas de proceso. Estos soportes colgantes dan gran libertad de movimientos y en ellos no hay rozamiento. No deben ser usados para caños sujetos a vibraciones, choques dinámicos, golpes de ariete, etc.

Soportes especiales para caños livianos: Para cañerías de 1½" o menores, horizontales o verticales, es muy común emplear accesorios ya fabricados y que se pueden comprar en el comercio, por lo que resultan más económicos. Existe gran variedad de ellos y la mayoría se construyen con hierro maleable, casi siempre galvanizado. Algunos vienen

provistos con pernos de expansión que se pueden fijar directamente al hormigón o a mampostería.

Soportes que limiten los movimientos de las cañerías: Entre ellos tenemos los anclajes, guías, restricciones y contravientos. Los anclajes impiden todo tipo de movimientos. Las guías permiten solo movimientos axiales, en la dirección del eje del caño impidiendo los demás. Las restricciones pueden impedir los movimientos axiales en uno o en los dos sentidos. Ninguno de estos soportes es de restricción absoluta de movimientos ya que los transmiten a equipos o estructuras y sus movimientos dependen en última instancia de los ocasionados en estos.

Desde el punto de vista de la flexibilidad sería ideal que la cañería no tuviese ninguna restricción, o sea, que estuviera totalmente libre, cuando por efecto de la temperatura, sufre dilataciones. Si así fuera no se producirían tensiones en las cañerías, pero en la realidad, el rozamiento de las líneas sobre los soportes y la inmovilidad de los equipos a los que están vinculados que constituyen anclajes no permiten que ello suceda.

Bombas

La palabra bomba es un término general que designa a cualquier máquina hidráulica que añada energía a un fluido. Este incremento de energía da como resultado un incremento en la presión y no necesariamente un aumento en la velocidad del fluido cuando pasa por la bomba. Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos, como también para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión.

Las bombas se clasifican, según el modo en que adicionan energía al líquido, de la siguiente manera:

- **Bombas rotodinámicas:** Una bomba rotodinámica es una máquina en la que se imparte energía continuamente al fluido bombeado por medio de un impulsor, hélice o rotor

giratorio. Los tipos más comunes de bombas rotodinámicas son las bombas de flujo axial, flujo mixto y centrífugas (flujo radial). Su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; y su órgano transmisor de energía se llama rodete. Se llaman rotodinámicas porque su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de energía.

- Bombas de desplazamiento positivo: Una bomba de desplazamiento positivo es una máquina donde las cámaras llenan (succión) y vacían (descargan) en cada ciclo de operación. En todos los diseños, el fluido se aspira dentro de un volumen en expansión y luego se expulsa cuando ese volumen se contrae, pero el mecanismo que provoca que cambie el volumen es muy diferente entre los diversos diseños. Son ideales cuando se necesita alta presión, como en el bombeo de líquidos viscosos o mezclas, lodos o suspensiones espesas, y donde se necesita medir o despachar cantidades de líquidos precisas, como en las aplicaciones médicas.

Las bombas de efecto centrífugo son las que han adquirido mayor relevancia por su mayor cantidad de posibilidades, habiendo desplazado casi por completo a las de desplazamiento positivo. Su gran velocidad de funcionamiento, que permite su accionamiento directo por motores eléctricos, pequeño tamaño y peso, gran seguridad de marcha y servicio y mínimo número de elementos de desgaste, han sido factores decisivos para conseguir su gran difusión y empleo.

Algunos conceptos importantes para el cálculo de bombas son:

Cavitación de la bomba

Cuando se bombean líquidos es muy probable que la presión local dentro de la bomba caiga por abajo de la presión de vapor del líquido P_v . Cuando $P < P_v$, se producen burbujas llenas de vapor, que reciben el nombre de burbujas de cavitación. En otras

palabras, el líquido hierve localmente, que es característico en el lado de la aspiración de los álabes rotatorios del rotor, donde ocurre la presión más baja. Después de que se forman las burbujas de cavitación, se transportan por la bomba hasta regiones donde la presión es mayor, lo cual ocasiona el colapso rápido de las mismas. Precisamente este colapso de las burbujas es lo indeseable porque ocasiona ruido, vibración, reduce la eficiencia, pero lo más importante es que daña los álabes del rotor. El colapso repetido de las burbujas cerca de la superficie de los álabes les ocasiona picaduras o erosión.

Altura total de aspiración

Representa la presión a la entrada de la bomba. Es la suma algebraica de la altura estática de aspiración (distancia de la superficie libre del líquido al eje de la bomba), presión existente sobre el líquido y pérdidas de carga por rozamiento de la tubería de aspiración. Los dos primeros sumandos pueden ser positivos o negativos, pero el tercero es siempre negativo.

Altura total de impulsión

Es la suma algebraica de la altura estática de impulsión, pérdida de carga en la impulsión y presión sobre el líquido en el punto de recepción. La diferencia entre las alturas totales de impulsión y de aspiración es la carga de la bomba, es decir, la energía que ha de ser conferida al fluido.

Carga neta positiva de aspiración

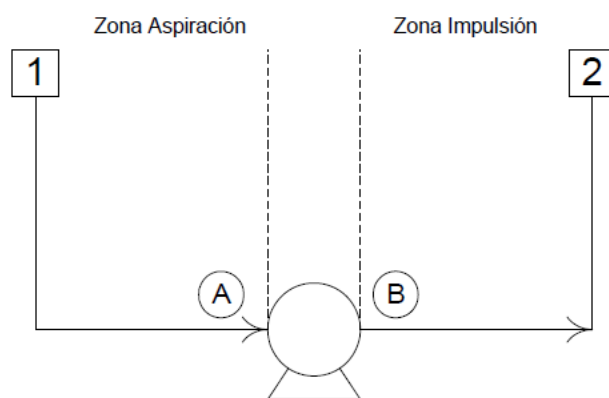
Se representa por las siglas NPSH (de la expresión inglesa "Net Positive Suction Head") y es necesario diferenciar entre dos conceptos: la $NPSH_{requerida}$ ($NPSH_r$) y la $NPSH_{disponible}$ ($NPSH_{dis}$). La primera depende del diseño de la bomba y representa la

energía necesaria para llenar la parte de aspiración de esta y vencer las pérdidas por rozamientos y aumento de velocidad desde la conexión de aspiración hasta el punto donde se incrementa la energía. Por lo tanto, es un valor que depende del diseño constructivo de la bomba y que debe suministrar el fabricante de esta. La $NPSH_{disponible}$ es la diferencia entre la presión a la entrada de la bomba y la tensión de vapor del fluido a la temperatura de funcionamiento, medidas ambas en metros de columna de líquido.

Para que una bomba no sufra cavitación, la $NPSH_{disponible}$ debe ser mayor que $NPSH_{requerida}$. Es importante hacer notar que el valor de NPSH, aparte de variar con el caudal, también se modifica con la temperatura del líquido porque P_v es una función de la temperatura. Por otro lado, la $NPSH_{dis}$ siempre habrá de ser positiva y lo mayor posible, ya que de este modo se evitará que la presión a la entrada de la bomba descienda por debajo de la presión de vapor del fluido en las condiciones de temperatura existentes en dicho punto, lo que provocaría la aparición de burbujas de vapor, con el consiguiente peligro de que la bomba entre en cavitación lo que reduce su carga y eficacia al tiempo que daña el material de la misma, reduciendo seriamente la vida útil de la bomba.

Para cuantificar los conceptos mencionados se aplicará la ecuación de Bernoulli a las diferentes secciones que aparecen en el siguiente esquema:

Ilustración 34 - Esquema del funcionamiento de una bomba



La zona de aspiración es la comprendida entre el tanque o reserva desde donde se bombeará el líquido y la bomba. Por su parte, el tramo situado a la salida de la bomba es lo que se conoce como línea o zona de impulsión. La energía que la bomba confiere al fluido se mide en términos de presión y es lo que se conoce como carga de la bomba. La unidad más utilizada para expresar la carga de la bomba es el metro de columna de líquido (m.c.l.). Hay que tener en cuenta que para pasar esta unidad a bar es necesario conocer antes el líquido de que se trata.

La ecuación de Bernoulli (balance de energía mecánica) para la circulación isotérmica de un fluido incompresible de un punto 1 a otro 2, expresada en términos de altura (m.c.l.), es la siguiente:

$$Z_1 - Z_2 + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot \alpha \cdot g} + h_{fs} = \Delta h$$

Donde:

Z_i = es la elevación del punto i, en m.

P_i = es la presión en el punto i, en Pa.

V_i = es la velocidad media del fluido en el punto i, en m/s.

α_i = es un término que depende del tipo de flujo que se produzca. Es igual a 1/2 si el flujo es laminar ($Re \leq 2000$) y vale 1 para flujo turbulento ($Re \geq 4000$).

h_{fs} = son las pérdidas de presión por rozamiento en la conducción, en m.c.l.

Δh = es la carga de la bomba en m.c.l.

ρ = es la densidad del fluido (kg/m^3), que permanecerá constante, y g representa la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Si aplicamos la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y A (zona de aspiración), considerando la elevación del eje de la bomba igual a 0 ($Z_A = 0$) y que al tratarse de un

fluido incompresible y considerando una tubería de sección constante, la ecuación de continuidad determina que $V_1 = V_A$, resulta que:

$$Z_1 + \frac{P_A - P_1}{\rho \cdot g} + h_{fs} = 0$$

Si a la expresión anterior le restamos la presión de vapor tendremos la Carga Neta Positiva de Aspiración Disponible (NPSHdis):

$$NPSH_{dis} = \frac{P_A - P_v}{\rho \cdot g} = Z_1 + \frac{P_1 - P_v}{\rho \cdot g} - h_{fs}$$

Para evitar la cavitación NPSHdisp ha de ser positiva y con un valor lo más alto posible. Así cuando la bomba esté en carga ($Z_1 > 0$) la cavitación es más difícil que si se encuentra en succión ($Z_1 < 0$).

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos B y 2 (zona de impulsión), con las mismas consideraciones anteriores, tenemos que:

$$Z_2 + \frac{P_2 - P_B}{\rho \cdot g} + h_{fs} = 0$$

Por último, si aplicamos la ecuación de Bernoulli a la bomba (entre A y B) resulta que:

$$\frac{P_B - P_A}{\rho \cdot g} + h_{fs} = \Delta h$$

Teniendo en cuenta que el rozamiento interno de la bomba suele estar incluido dentro del rendimiento de esta, se puede observar como la energía que ha de ser suministrada al fluido es la diferencia entre las alturas totales de impulsión y de aspiración.

Otro aspecto importante y previo al cálculo de las bombas es seleccionar adecuadamente el lugar donde se colocará cada bomba, lo que determina su número. Los criterios que se pueden seguir para ello se enumeran a continuación:

- A la salida de los tanques de almacenamiento intermedio se colocará siempre una bomba.
- A la entrada de los equipos que produzcan una elevada pérdida de carga, como cambiadores de calor de placas, filtros, etc., será conveniente colocar una bomba.

Una vez establecido lo anterior, para determinar la carga de cada bomba es necesario establecer para cada una de ellas:

- La altura o desnivel existente desde la superficie libre al eje de la bomba o viceversa (según se trate de una línea de aspiración o impulsión respectivamente).
- La presión en el punto inicial o de descarga, según se trate de una línea de aspiración o impulsión respectivamente.
- Las pérdidas de carga por fricción en la tubería.
- Las pérdidas de carga provocadas por los equipos que se hallan en la línea. Dichos valores han de ser conocidos por la experiencia existente al respecto, o deben ser suministrados por el fabricante del equipo en cuestión.

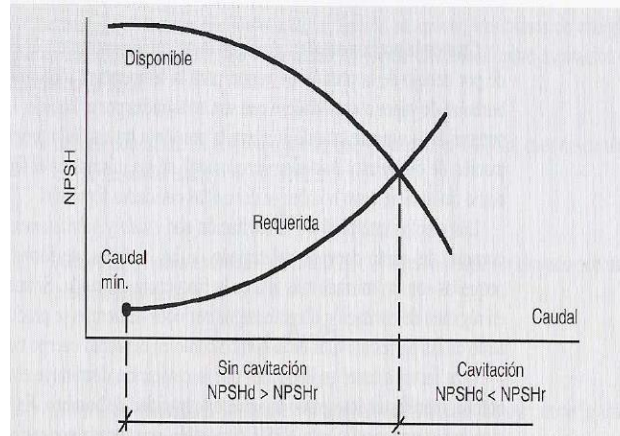
Conocidos los datos anteriores, y mediante las ecuaciones, se pueden determinar las alturas totales de aspiración e impulsión respectivamente, y con ello calcular la carga de la bomba por diferencia de ambas.

En resumen, para proceder al cálculo de las bombas, se seguirán los siguientes pasos:

- 1) Calcular para cada bomba la carga de esta, como diferencia de las alturas totales de aspiración e impulsión.
- 2) Mediante las curvas características de la bomba o los programas informáticos existentes, elegir el modelo adecuado de la bomba, estableciendo sus especificaciones técnicas (potencia del motor, NPSHr, etc.).

3) Comprobar que el $NPSH_{disp}$ es mayor que el $NPSH_r$, para lo cual se necesitará conocer la presión de vapor del fluido en las condiciones de operación. Esto puede ser más crítico cuando la bomba está en aspiración o si se bombean fluidos volátiles (al menos más que el agua). En general bastará comprobar que esta tercera condición se cumple para el caso más desfavorable.

Ilustración 35 - Curvas NSPH de una bomba



Elección del modelo de bomba adecuado

Para la selección del modelo adecuado de bomba se recurrirá a las llamadas curvas características de la bomba, aportadas por el fabricante de estas. Se necesitan tres curvas diferentes:

- Las de caudal y carga de la bomba, llamadas curvas QH.
- Las de potencia del motor necesario, kW
- Las de Carga Positiva Neta de Aspiración Requerida ($NPSH_r$)

Las curvas características se construyen normalmente mediante pruebas realizadas con agua, por lo que sus datos se deben recalcular si se van a bombear líquidos con otras propiedades físicas.

El modo de proceder, en el caso de las bombas centrífugas, para el empleo de estas curvas es el siguiente:

- 1) Conocer el fluido a bombear, la temperatura de bombeo y las propiedades físicas del fluido (densidad y viscosidad) a dicha temperatura.
- 2) Establecer el caudal volumétrico a desarrollar (m^3/h).
- 3) Conocer la carga de la bomba, para lo que hay que determinar previamente las alturas totales de impulsión y aspiración.
- 4) Con la carga y el caudal que se precisan se ha de acudir a la curva QH y, fijando estas dos magnitudes, determinar el diámetro del rodete, que en caso de no resultar un valor exacto nos llevaría a escoger el valor mayor más cercano.
- 5) Con el diámetro de rodete determinado y el caudal, en la curva de potencia se determina el consumo de la bomba. El valor leído en la curva ha de incrementarse en un 15% como margen de seguridad.
- 6) Finalmente y en la curva de NPSHr se determina dicho valor, para el caudal desarrollado.

Selección de las bombas

Las bombas serán provistas por la Empresa Alfa Laval. Según las características de nuestro proceso, se selecciona el siguiente modelo: LKH-5, motor 0.75 Kw (1 HP).

Ilustración 36 - Bomba seleccionada



Aislaciones de Cañerías

Los aislantes térmicos son materiales o combinaciones de éstos que se usan para reducir la transferencia de calor entre dos medios a diferentes temperaturas. A mayor diferencia de temperatura, mayor será la transferencia de calor y cuanto más grueso es el aislamiento, menor será dicha transferencia, pero también más elevado el costo de aislamiento.

Las razones para utilizar una aislación térmica son fundamentalmente para:

- Conservar la energía mediante la reducción de la velocidad del flujo de calor.
- Prevenir accidentes y cumplir con las normas de seguridad.
- Mantener la temperatura del proceso.
- Prevenir de la corrosión y condensación. El vapor de agua que existe en el aire se condensa sobre las superficies exteriores de los tanques o cañerías cuando su temperatura cae por debajo del punto de rocío, a menos que se cuente con un aislamiento adecuado.
- Proteger contra el congelamiento. La exposición prolongada a temperaturas inferiores a la de congelación puede causar que el agua que se encuentra en la tubería o recipientes de almacenamiento se congele, como resultado de la transferencia de calor del agua hacia el ambiente frío. El aislamiento adecuado reducirá la pérdida de calor del agua e impedirá la congelación.
- Reducir el ruido y la vibración.

De acuerdo con la legislación vigente hay que aislar todas las líneas que operen a temperaturas superiores a 55 °C y también las que operan a temperaturas inferiores a 5°.

Material Aislante

El material para el aislamiento térmico empleado en el proyecto es el poliestireno expandido (EPS) previsto por la empresa ISOLANT S.A. Se destina a una diversidad de sectores de aplicación, entre los cuales predominan los relacionados con los materiales aislantes y de construcción.

Características generales

Las propiedades físicas dependen, en primer término, del peso específico aparente del poliestireno expandido, el que a su vez depende del peso volumétrico de las partículas preexpandidas empleadas en su elaboración. Antes de la preexpansión, el poliestireno tiene una densidad aparente de 600 a 700 kg/m³. Por efecto del calor, el poliestireno se reblandece, a la vez que el agente de expansión se dilata. Cuando la temperatura vuelve a bajar, se enfría primero la cara externa, con lo cual ya no es posible una contracción. Durante el período de reposo posterior, penetra aire en los vacíos internos del material expandido. Según la duración y la intensidad del tratamiento se produce un aumento de volumen de hasta 50 veces. El peso específico así obtenido, es aproximadamente igual a la densidad aparente de la placa de poliestireno expandido. En el proceso final de expansión para fabricar los bloques y debido al calentamiento con vapor, las partículas se expanden nuevamente y como se hayan confinadas en un molde, se comprimen entre sí y se sueldan unas con otras. IRAM considera aislantes térmicos para uso en la construcción a aquellos de densidades aparentes iguales o mayores a 15 kg/m³.

En cuanto a las características químicas, es compatible con los materiales empleados comúnmente en la construcción, como ser: el cemento, la cal, el yeso, las dispersiones plásticas, el agua; no se oxida con el paso del tiempo. Puede ser adherido y

colocado con bitumen caliente, cuidando que la temperatura de este no supere la de fusión del poliestireno expandido. El poliestireno expandido es dañado por algunos solventes.

Composición de la Materia Prima

La base del poliestireno es el estireno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, dando origen a las macromoléculas de poliestireno. El estireno se mezcla íntimamente con agua y un agente de expansión (el hidrocarburo pentano C_5H_{12}). Las adiciones de estos elementos influyen en las características del material expandido, brindando los distintos tipos de poliestireno.

- Poliestireno expandible estándar: Tipo básico utilizando en todas las ramas de la construcción.
- Poliestireno expandible difícilmente inflamable: También denominado "auto extingible". Responde a materia prima para material clasificado como "difícilmente inflamable" según normas DIN 4102 ó como RE2 de "muy baja propagación de llama" según Norma IRAM 11910-3.

Ventajas

- Poco peso: El poliestireno expandido, contiene hasta un 98,5% de su volumen en aire. Por consiguiente, la densidad de la espuma es muy baja.
- Células cerradas: 1 cm³ de espuma de poliestireno expandido contiene de 3 a 6 millones de celdillas, llenas de aire.
- Bajo coeficiente de conductividad térmica: El aire en reposo dentro de las celdillas cerradas es muy mal conductor del calor. Ello, junto a la baja conductividad térmica del material básico, da un coeficiente de conductividad térmica muy bajo para el conjunto.

- Elevada resistencia a la difusión de vapor de agua: Se debe igualmente a su estructura celular cerrada. Dicha resistencia disminuye la posibilidad de daños debidos a la condensación intersticial de vapor de agua, bajo condiciones normales.
- Resistencia al envejecimiento: Se puede observar un decolorado superficial del poliestireno expandido, después de una exposición prolongada a la intemperie; las capas superficiales se vuelven amarillentas, frágiles y pueden ser erosionadas.
- Amplio espectro térmico: El poliestireno expandido se recomienda para la aislación a temperaturas entre -190°C y $+85^{\circ}\text{C}$. Este espectro térmico satisface la mayoría de las exigencias usuales.

Aplicación

Para la aislación de cañerías existen medias cañas, cuartos de caña o segmentos de poliestireno expandido, que se suministran en distintos diámetros (ajustados a los de las cañerías) y espesores. Para temperaturas de cañerías menores a 18°C , se instalan medias cañas y segmentos aplicados con un adhesivo especial o asfalto en caliente (para evitar la formación de agua de condensación o hielo). El valor del espesor de la capa de adhesivo se define como *huelgo*. Las medias cañas sin huelgo se emplean para cañerías de agua caliente y calefacción. Es decir que las medias cañas se aplican en seco (sin adhesivo) y en general se hacen calzar a tope. La sujeción de las piezas se realiza con cintas plásticas autoadherentes.

Diseño del aislante para cañerías

La determinación de un espesor de aislante adecuado obedece en algunos casos a condiciones exclusivamente técnicas, pero la mayor parte de las inversiones en aislamiento tienen un carácter económico: limitar las pérdidas de calor en recintos a

temperaturas muy diferentes al ambiente. Por ello es necesario introducir conceptos económicos en la elección adecuada del aislamiento, generalmente en la determinación del espesor.

Las pérdidas de energía disminuyen con un aumento del espesor de aislamiento, de acuerdo con fórmulas conocidas. Por otro lado, el aumento del espesor de aislamiento supone incremento de la inversión para su compra e instalación.

Debemos entonces considerar:

- Inversiones en función del espesor de aislamiento “d”.
- Pérdidas energéticas más gastos de mantenimiento para el periodo considerado, en función también de “d”.

Método general para el cálculo del espesor

El método de cálculo más utilizado se basa en las aplicaciones del VALOR ACTUALIZADO NETO (VAN). El procedimiento consiste en determinar, para cada inversión en aislamiento, el VAN de los ahorros energéticos aportados y compararlo con los incrementos que supone la inversión. Para determinar el VAN, se determina el coeficiente VAN o coeficiente multiplicador que actualiza los ahorros en el periodo total que se considere.

$$\text{Coeficiente VAN} = \frac{t(t^n - 1)}{t - 1}$$

Siendo

$$t = \frac{1 + 0,01b}{1 + 0,01r}$$

Donde

b = Aumento previsible del coste de la energía en %.

r = Tasa de actualización neta en % (equivalente al interés bancario deducidos los impuestos y la inflación).

n = Número de años para los que se efectúa el estudio (horizonte económico).

Para un proyecto determinado, a cada espesor de aislamiento térmico “ d ”, le corresponderán unas pérdidas energéticas específicas y un coste de inversión asociado.

A medida que aumenta el espesor, como ya se ha indicado, disminuyen las pérdidas energéticas y aumenta la inversión. Si consideramos dos espesores consecutivos de aislamiento, la diferencia de pérdidas energéticas tendrá un valor económico que se actualiza con el coeficiente VAN para el periodo considerado. A su vez, existirá una diferencia de inversión de aislamiento.

Esto permite plantear la comparación:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Incremento} & & \text{Coeficiente} & & \\ \text{de ahorro} & \times & \text{VAN} & & \text{Incremento} \\ & & & & \text{de la} \\ & & & & \text{inversión} \end{array} \begin{array}{c} > \\ = \\ < \end{array}$$

Siendo:

Incremento de ahorro = Valor de pérdidas energéticas para “ d ” – Valor pérdidas para “ $d+1$ ”

Incremento de la inversión = Inversión para “ $d+1$ ” – Inversión para “ d ”

- Si el resultado de la inecuación es que el primer término es superior al segundo, indica que el incremento de ahorro es mayor que la inversión necesaria para obtenerlo.
- Por el contrario, si la inecuación indica que el incremento del ahorro obtenido requiere una inversión superior (primer término menor que el segundo) esta inversión no es rentable y debe disminuirse, es decir, reducir el espesor de aislamiento.

La situación óptima (espesor óptimo económico) es precisamente la del equilibrio, es decir, cuando el incremento del ahorro es igual al incremento de la inversión.

Inversión en Aislamiento		
Espesor (mm)	Espesor(m)	U\$/m
40	0,04	30,6
60	0,06	41,4
80	0,08	56,2
90	0,09	59,51
100	0,1	67,32

Método de cálculo general

A continuación, se detallan los pasos a seguir, cuyos resultados se desarrollarán en la tabla final:

1. Espesor de aislamiento, d(m)
2. Pérdida de energía, para cada espesor de aislante y por unidad de superficie:

$$q = \frac{\theta_a - \theta_0}{\frac{1}{\pi D_e h_s} + \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2\pi\lambda}}$$

Donde:

D_i = Diámetro interno del aislamiento

D_e = Diámetro externo del aislamiento: $D_i + 2d$

θ_a = Temperatura ambiente.

θ_0 = Temperatura interior.

h_s = Coeficiente superficial externo.

λ = Coeficiente de conductividad medio entre θ_a y θ_0

3. Valor de Pérdidas de energía, a partir del punto (2).

Pérdida de energía *E*Z= Valor de Pérdidas de energía

4. Valor actualizado de las pérdidas para todo el periodo, a partir de (3)

Valor de Pérdidas de energía* Coeficiente VAN = Valor actualizado

El cálculo del VAN se realizó con las fórmulas explicadas anteriormente y se obtuvo un valor de 10,56

5. Incremento del ahorro entre dos espesores consecutivos, a partir de (4)

Valor actualizado para espesor d_i – Valor actualizado para espesor d_{i+1}

6. Incremento de inversión del aislamiento entre dos espesores consecutivos:

Incremento del ahorro $_{i+1}$ – Incremento de ahorro $_i$

7. Diferencias entre (5) y (6)

Normalmente debido a que los espesores de aislamiento comercial varían de en 1 cm como mínimo, el espesor óptimo económico corresponderá al espesor que más se aproxime (positivo o negativo) a una diferencia nula.

Capítulo 8: Instrumentación

Los lazos de control son sistemas que permiten mantener una cierta variable controlada (temperatura, caudal, presión, etc.), en torno a un valor determinado llamado set point o valor de consigna, fijado por nosotros, a expensas de la variable manipulada, independientemente de las perturbaciones que halla en el sistema (objetivo). Gracias a estos sistemas, se puede asegurar el buen funcionamiento del proceso y de las diferentes partes de la planta, de manera que no genere ningún peligro para el personal, ni para los equipos, ni para la producción en sí. Además, sirve para optimizar el proceso de manera que se incremente la producción o se mantenga al nivel que se necesita con el fin de no malgastar reactivos y/o energía.

Tipos de lazos de control

Control en lazo abierto: Se refiere a la situación en la cual se desconecta el controlador del sistema, es decir, el controlador no realiza ninguna función relativa a cómo mantener la variable controlada en el punto de control. En este caso hay control manual, y no hay control automático.

Control en lazo cerrado: Se refiere a la situación en la cual se conecta el controlador al proceso, el controlador compara el punto de control (la referencia) con la variable controlada y determina la acción correctiva. En este caso la variable controlada tiene efecto directo sobre la acción de control. Es el lazo más preciso y es lo deseable.

Componentes y operaciones básicas de un sistema de control

Sensor o elemento primario: La señal enviada puede ser del tipo eléctrica o neumática, que son las más usuales.

Transmisor o elemento secundario: Capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para transmitirla al controlador.

Controlador: Recibe la señal, la compara con el valor que se desea, y según el resultado de la comparación, decide que hacer para mantener la variable en el valor deseado.

Elemento final de control: Es el elemento mediante el cual se puede modificar la variable que se quiere controlar. Recibe la señal del controlador a través del transmisor. Por ejemplo, válvula de control, bombas de velocidad variable, transportadores y motores eléctricos.

La importancia de estos componentes se debe a que realizan las tres operaciones básicas que deben estar presentes en todo sistema de control. Si no están presentes estas tres acciones no hay control automático:

Medición (M): La medición de la variable controlada se hace mediante la combinación del sensor y el transmisor.

Decisión (D): El controlador decide que hacer para mantener la variable en el valor que se desea.

Acción (A): Como resultado de la decisión se debe efectuar una acción en el sistema, realizada normalmente por el elemento final de control.

Tipos de sensores

Los sensores transmisores son los encargados de realizar las operaciones de medición en el sistema de control. En el sensor se produce un fenómeno mecánico o eléctrico, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide; el transmisor, a su vez, convierte este fenómeno en una señal que se puede transmitir, y por lo tanto tiene relación con la variable de proceso.

Los sensores más comunes de los que se compone un sistema de control automático de proceso son: sensores de presión, de nivel y de temperatura.

Sensores de temperatura

La temperatura junto con el flujo es la variable con que mayor frecuencia se mide en las industrias de proceso, una razón muy simple es que casi todos los fenómenos físicos están directamente relacionados con ésta. La temperatura se utiliza para inferir otras variables del proceso. A causa de los múltiples efectos que se produce con la temperatura, se han desarrollado numerosos dispositivos para medirlas. Con muy pocas excepciones, los dispositivos caen en cuatro en las siguientes cuatro clasificaciones generales:

- Termómetros de expansión.
- Dispositivos con sensor de resistencia.
- Termopares.
- Métodos sin contacto

Sensores de nivel

Los tres medidores de nivel más importantes son:

- El método de diferencial de presión consiste en detectar la diferencia de presión en el fondo del líquido y en la parte superior del líquido, la cual es ocasionada por el peso que origina el nivel de líquido.
- Con el sensor de flotador se detecta el cambio en la fuerza de empuje sobre un cuerpo sumergido en el líquido. La fuerza que se requiere para mantener al flotador en su lugar es proporcional al nivel de líquido y se convierte en una señal en el transmisor. Es el menos caro entre otros sensores, pero posee como desventaja su incapacidad de cambiar el cero y la escala.

- El sensor de burbujeo consiste en un tubo con gas inerte que se sumerge en el líquido, el aire o gas inerte que fluye a través del tubo se regula para producir una corriente continua de burbujas y la presión que se requiere para producir esta corriente continua es una medida de la presión hidrostática o nivel de líquido.

Sensores de presión

El más común es el tubo de Bourdon. Consiste básicamente en un tramo de tubo en forma de herradura con un extremo sellado y el otro conectado a la fuente de presión. Debido a que la sección transversal del tubo es elíptica o plana, al aplicar una presión el tubo tiende a enderezarse, y al quitarla el tubo retorna a su forma original, siempre y cuando no se rebase el límite de elasticidad del tubo. El rango de presión que se puede medir depende del espesor de las paredes y del material con que se fabrica el tubo.

Otro tipo de sensor es el de fuelle, el cual se asemeja a una cápsula corrugada hecha de algún material elástico; cuando se aumenta la presión, el fuelle se expande (o se contrae) y cuando disminuye se expande (o contrae). La cantidad de expansión o contracción es proporcional a la presión que se aplica.

Sensores de flujo

El sensor de flujo más popular es el medidor de orificio, que es un disco plano con un agujero. El disco se inserta en la línea de proceso, perpendicular al movimiento del fluido, con objeto de producir una caída de presión, la cual es proporcional a la razón de flujo volumétrico a través del orificio.

Otro tipo común es el medidor magnético de flujo, el principio de operación de este elemento es la ley de Faraday, es decir cuando un material conductor (un fluido) se mueve en ángulo recto a través de un campo magnético, se induce un voltaje, el cual es

proporcional a la intensidad del campo magnético y a la velocidad del fluido. Se puede utilizar para los dos regímenes: laminar y turbulento.

También se encuentra el medidor de turbina, su principio de funcionamiento se basa en un rotor que se hace girar con el flujo de líquido, la rotación de las aspas se detecta mediante una bobina de colección magnética, la cual emite pulsos a una frecuencia que es proporcional a la razón de flujo volumétrico.

Existen muchos otros tipos que van desde el rotámetro, toberas de flujo, tubos de venturi, tubos pitot, medidores de vórtice, los ultrasónicos.

Tipos de transmisores

El propósito del transmisor es convertir la salida de un sensor en una señal lo suficientemente intensa como para que se pueda transmitir a un controlador o cualquier otro dispositivo receptor.

En todos los transmisores neumáticos se utiliza un arreglo de mariposa y boquilla para producir una señal de salida proporcional a la salida del sensor. El suministro de presión que se recomienda para la mayoría de los instrumentos neumáticos es entre 20 y 25 psig. Para calibrar estos instrumentos se requiere ajustar el cero y la escala (o rango). En el transmisor electrónico con la señal que sale del amplificador de entrada se maneja al regulador de corriente de salida, por medio del cual se controla la corriente de salida del transmisor a través de la red de escala y el circuito sensor de corriente de salida. Utiliza una señal eléctrica de 200 mA.

Tipos de controladores

El controlador es el cerebro del circuito de control. Es el dispositivo que toma la decisión en el sistema y para hacerlo, compara la señal del proceso que llega del

transmisor, la variable que se controla contra el punto de control, y envía la señal apropiada al elemento final, para mantener la variable que se controla en el punto de control.

Controlador proporcional: Es el tipo más simple de control. Tienen la ventaja de que solo cuentan con un parámetro de ajuste, K_c , sin embargo, adolecen de una gran desventaja. Los mismos operan con una desviación o ‘error de estado estacionario’ en la variable que se controla. La desviación es la diferencia entre el punto de control y el valor de estado estacionario. Cuanto mayor es el valor de K_c , tanto menor es la desviación, pero la respuesta del proceso se hace más oscilatoria; sin embargo, para la mayoría de los procesos, existe un valor máximo de K_c , más allá del cual el proceso se hace inestable.

Controlador Proporcional-Integral: La mayoría de los procesos no se pueden controlar con una desviación, es decir se deben controlar en el punto de control, y en estos casos se debe añadir inteligencia al controlador proporcional para eliminar la desviación. Esta nueva acción o nuevo modo de control es la acción integral o de reajuste y en consecuencia el controlador se transforma. Tienen dos parámetros de ajuste, que son la ganancia o banda proporcional y el tiempo de reajuste o rapidez de reajuste. La ventaja de este controlador es que la acción de integración o de reajuste elimina la desviación.

Controlador Proporcional-Integral-Derivativo: Algunas veces se añade otro modo de control al controlador PI, este modo de control es la acción derivativa, que también se conoce como rapidez de derivación o pre-actuación; tiene como propósito anticipar hacia dónde va el proceso, mediante la observación de la rapidez para el cambio del error, su derivada. Se utilizan en procesos donde las constantes de tiempo son largas, en los que

no hay ruido. Tienen tres parámetros de ajuste: la ganancia o banda proporcional, el tiempo de reajuste o rapidez de reajuste y la rapidez derivativa. Su ventaja es que proporciona la capacidad de ver hacia donde se dirige el proceso.

Tipos de elemento final de control

Dentro de los elementos finales de control las válvulas de control son las más usuales y se las encuentran en las plantas de proceso, donde manejan los flujos para mantener en los puntos de control las variables que se deben controlar. La válvula de control actúa como una resistencia variable en la línea de proceso, mediante el cambio de su apertura se modifica la resistencia al flujo y en consecuencia el flujo mismo. En definitiva, las válvulas de control no son más que reguladores de flujo. En los sistemas de control avanzados es importante que la válvula de control funcione de forma estable y tenga un buen comportamiento, lo cual significa que debe tener estabilidad a lo largo de todo el recorrido, no opere cerca de ninguno de los extremos, sea suficientemente rápida para corregir las perturbaciones. Según su acción los cuerpos de las válvulas se dividen en válvulas de acción directa, cuando tienen que bajar para cerrar, e inversa cuando tienen que bajar para abrir.

Nomenclatura de los lazos de control

La identificación de los instrumentos, conocida también con la palabra “tag”, consiste en un arreglo de letras y números y es de primordial importancia para la interpretación de los diagramas P&I. Para un controlador de nivel con indicación local tendría la forma LIC – 101 A, con el siguiente significado:

L	I	C	-101	A
Primera Letra	Modificadora de la segunda letra	Segunda Letra	Número de identificación del lazo	Sufijo opcional que se adiciona si es preciso

La segunda letra describe la función cumplida por el elemento. Si tiene varias funciones, primero se colocan las letras correspondientes a las funciones pasivas (I indicación, R registro, etc.) y luego las activas (T transmisión, C control analógico, S interruptor, etc.).

Tabla 9 - Significado de algunas letras

	Primera letra	Letras sucesivas
A	Análisis	Alarma
F	Caudal	Relación
L	Nivel	Bajo
P	Presión	
T	Temperatura	Transmisión
I	Corriente	Indicador
V	Vibración	Válvula
C	Elegible por el usuario	Control

Descripción del sistema de instrumentación del proceso

A continuación, se puede ver en el P&ID la representación de la planta de Producción de Papaína Polvo Spray. En el mismo se observan los siguientes equipos:

- Tanque de Almacenamiento, T-100
- Tanque de Mezcla, T-101
- Centrífuga, S-100
- Tanque pulmón, T-102
- Ultrafiltro, S-101
- Secador Spray, S-102

En este tipo de industria se suelen utilizar materiales austeníticos, Hastelloy o hasta PTFE para las partes de los instrumentos que estén en contacto con el medio. Otro punto a tener en cuenta es que para que el CIP sea lo suficientemente efectivo y evite la formación de biofilms, las partes en contacto deben mantenerse libres de imperfecciones microscópicas. Esto es tener una rugosidad Ra menor a 0.8 μm .

Lazo	Descripción	Componente	Detalle
1	Control de temperatura tanque de látex	TT-100	Transmisor de temperatura
		TIC-100	Controlador
		TY-100	Transductor
	Medición de caudal entrada de látex	FT-100	Sensor de caudal vol.
	Medición de nivel tanque látex	LT-100	Sensor de nivel
2	Control de volumen ingreso de agua a tanque de mezclado	FT-201	Transmisor de caudal
		FIC-201	Controlador
		FY-201	Transductor
3	Control de temperatura tanque de mezclado	TT-101	Transmisor de temperatura
		TIC-101	Controlador
		TY-101	Transductor
4	Control de nivel máximo en tanque de mezclado	LT-101	Transmisor de nivel
		LIC-101	Controlador
		LY-101	Transductor
5	Control de flujo ingreso a centrífuga	FT-102	Transmisor de caudal vol.
		FIC-102	Controlador
		FY-102	Transductor
6	Control de descarga de la centrífuga	QT-100	Transmisor de turbidez
		QIC-100	Controlador
		QY-100	Transductor
	Medición de caudal entrada tanque pulmón	FT-103	Sensor de caudal vol.
	Medición de temperatura de tanque pulmón	TT-102	Sensor de temperatura
	Medición de nivel tanque látex	LT-102	Sensor de nivel
	Medición de presión de entrada a UF	PT-100	Sensor de presión
7	Control de presión de retentado UF	PT-101	Transmisor de presión
		PIC-101	Controlador
		PY-101	Transductor
	Medición de caudal entrada a secador spray	FT-104	Sensor de caudal vol.
	Medición de temperatura entrada a secador spray	TT-103	Sensor de temperatura
	Medición de temperatura entrada de aire a secador spray	TT-104	Sensor de temperatura
	Medición de temperatura salida de aire de secador spray	TT-105	Sensor de temperatura

Componente	Servicio	Potencia	Marca	Modelo
HP				
BB-101	Bomba de alimentación a tanque de mezclado	1	Alfa Laval	LKH-5
BB-102	Bomba de alimentación a centrífuga	1	Alfa Laval	LKH-5
BB-103	Bomba de alimentación a tanque pulmón	Provista junto con el UF		
BB-104	Bomba de alimentación a secador spray	1	Alfa Laval	LKH-5

Componente	Función	Tipo	Control
VLV-100	Interrupción	Esférica	Manual
VLV-101	Interrupción	Esférica	Manual
VLV-102	Interrupción	Esférica	Manual
VLV-103	Interrupción	Mariposa	Manual
VLV-104	Interrupción	Mariposa	Manual/Automático
VLV-105	Regulación	Diafragma	Automático
VLV-106	Interrupción	Mariposa	Manual
VLV-107	Interrupción	Mariposa	Manual
VLV-108	Regulación	Diafragma	Automático
VLV-109	Interrupción	Mariposa	Manual
VLV-110	Regulación	Diafragma	Manual
VLV-111	Interrupción	Esférica	Manual
VLV-112	Interrupción	Esférica	Manual

Estudio de un lazo de control

Si bien el control del secador Spray se realizará de manera manual, ya que es lo recomendable para un proceso en lotes, se coloca a modo de ejercicio, el control del secador para un proceso continuo. En este se controlará la temperatura del aire de salida del secador variando la razón de alimentación por medio de la válvula de control.

Ilustración 37 - Diagrama del lazo de control en estudio

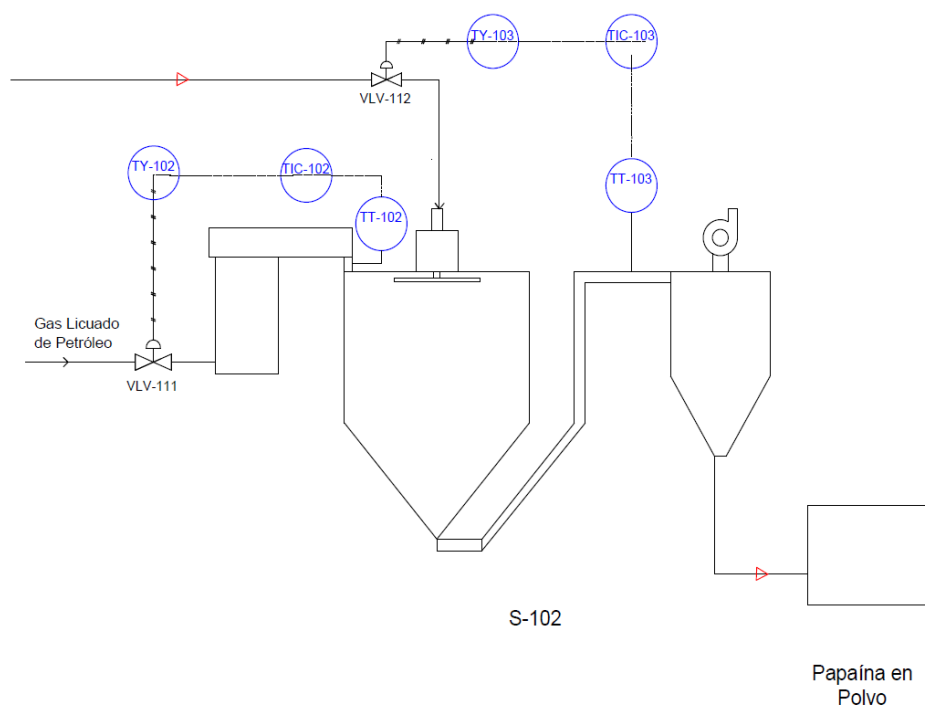
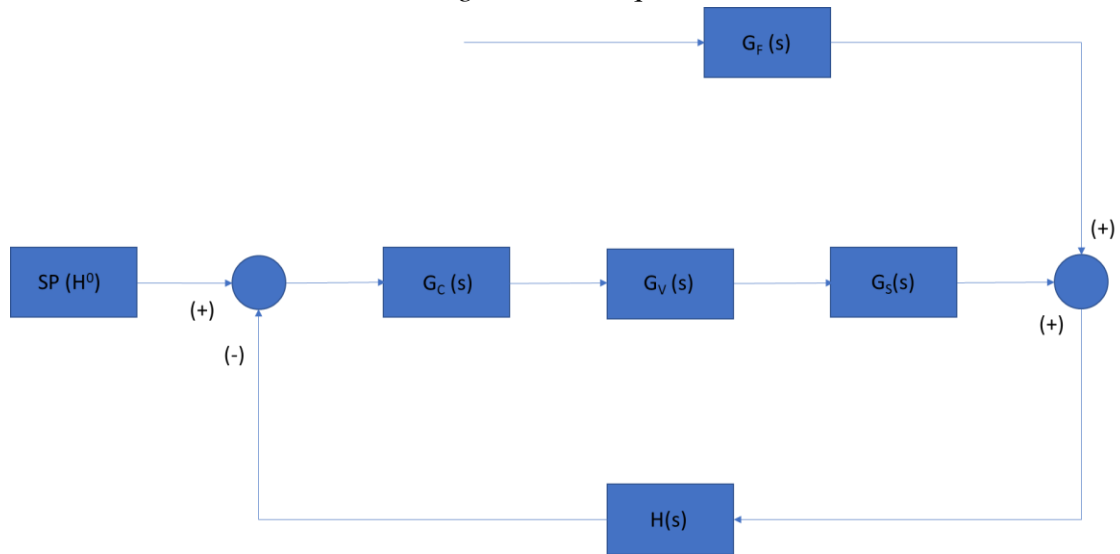


Ilustración 38 - Diagrama de bloques del lazo de control



Dónde:

SP: Set point.

G_c : Ecuación de transferencia del controlador.

G_v : Ecuación de transferencia de la válvula.

G_s : Ecuación de transferencia del proceso.

G_f : Ecuación de transferencia de la perturbación.

H : Ecuación de transferencia del sensor transmisor.

El objetivo es calcular todas las ecuaciones de transferencia de cada bloque, para luego poder cerrar el lazo y verificar que sea estable.

Datos del Proceso

Caudal del Fluido del Proceso: 0,004438 kg/s.

Caudal del Flujo de Aire: 0,026 kg/s.

Temperatura de entrada de la alimentación: 5 °C.

Temperatura del aire de entrada: 100 °C.

Temperatura de salida de la corriente: 30 °C.

Temperatura del aire de salida: 40 °C.

Calor específico del aire: 1008 J/kg°C.

Calor específico de la alimentación: 1171,52 J/kg°C.

Cálculo de la ganancia del flujo de alimentación

Se realiza un balance de materia entre la corriente de alimentación y la corriente del aire. Se sabe que:

$$F \cdot C_p \cdot (T_s - T_0) = F_a \cdot C_{pa} \cdot (T_{sa} - T_{ea})$$

$$dF \cdot C_p \cdot T_s - dF \cdot C_p \cdot T_0 = dF_a \cdot C_{pa} \cdot T_{sa} - dF_a \cdot C_{pa} \cdot T_{ea}$$

$$K_s = \frac{dT_{sa}}{dF} = \frac{C_{px}(T_s - T_0)}{F_{ax} \cdot C_{pa}} = \frac{1172,51 \cdot 25}{1008 \cdot 0,026} = 1117,52 \frac{^{\circ}\text{C}}{\frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

Cálculo de la ganancia de la válvula

Se supone que la válvula es lineal, con caída de presión constante y relación lineal entre la posición de la válvula, vp y la salida del controlador.

$$K_v = \frac{dF_s}{dm} = \frac{F_{sm\acute{a}x}}{dm} = \frac{2 \cdot 0,004438 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{20\text{mA} - 4\text{mA}} = \frac{0,00887 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{16\text{mA}} = 0,00055 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{mA}}$$

Cálculo de la ganancia del sensor-transmisor:

Se considera un rango del transmisor de 5 – 100 °C.

$$K_t = \frac{dT}{dt} = \frac{20\text{mA} - 4\text{mA}}{100^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}} = \frac{16\text{mA}}{95^{\circ}\text{C}} = 0,16842 \frac{\text{mA}}{^{\circ}\text{C}}$$

Estabilidad del circuito de control

Un sistema es estable si su salida permanece limitada para una entrada limitada. La mayoría de los procesos industriales son estables a circuito abierto, es decir cuando no forman parte de un circuito de control por retroalimentación; esto equivale a decir que la

mayoría de los procesos son autorregulables, o sea la salida se mueve de un estado estable a otro, debido a los cambios de las señales de entrada.

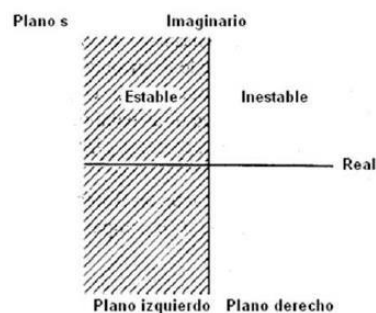
Aun para los procesos estables a circuito abierto, la estabilidad vuelve a ser considerable cuando el proceso forma parte de un circuito de control por retroalimentación, debido a que las variaciones de las señales se refuerzan unas a otras conforme viajan sobre el circuito y ocasionan que la salida y todas las otras señales en el circuito se vuelvan ilimitadas.

En consecuencia, la ganancia del controlador a la que el circuito alcanza el umbral de inestabilidad es de gran importancia en el diseño de un circuito de control por retroalimentación. Esta ganancia máxima se conoce como ganancia última.

Prueba de Routh

Es un procedimiento para determinar el número de raíces de un polinomio con parte real positiva sin necesidad de encontrar realmente las raíces por métodos iterativos. El proceso se continúa hasta que todos los términos nuevos sean cero. Una vez que se completa el arreglo, se puede determinar el número de raíces con parte real positiva del polinomio, mediante el conteo de la cantidad de cambios de signos en la columna extrema izquierda del arreglo, para que todas las raíces del polinomio están en el plano s izquierdo, todos los términos en la columna izquierda del arreglo deben tener el mismo signo.

Ilustración 39 - Prueba de Routh



Determinación de la ganancia última del controlador

Secador

La respuesta del secador al flujo de alimentación tiene una ganancia de 1117,52 °C/kg/s y una constante de tiempo de 30 s.

$$G_s = \frac{1117,52}{30s + 1} \circ \frac{C}{kg/s}$$

Sensor transmisor

El sensor-transmisor tiene una escala calibrada de 5 a 100 °C y una constante de tiempo de 10s.

$$Ganancia = \frac{100\%}{100^{\circ}C - 5^{\circ}C} = 1,053 \frac{\%}{^{\circ}C}$$

$$Hs = \frac{1,053 \frac{\%}{^{\circ}C}}{10s + 1}$$

Se utiliza el porcentaje de rango como unidades de las señales del transmisor y el controlador. Para señales electrónicas 100%=16mA y para señales neumáticas, 100%=12psi.

$$Ganancia = \frac{0,008876 \frac{kg}{s}}{100\%} = 0,008876 \cdot 10^{-2} \frac{kg}{s\%}$$

$$G_v = \frac{0,008876 \cdot 10^{-2} \frac{kg}{s}}{3s + 1} \frac{kg}{s\%}$$

La ecuación característica se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$1 + H(s) \cdot G_s(s) \cdot G_v(s) \cdot G_c(s) = 0$$

$$1 + \frac{1,053}{10s + 1} \cdot K_c \cdot \frac{0,008876 \cdot 10^{-2}}{3s + 1} \cdot \frac{1117,52}{30s + 1} = 0$$

Haciendo común denominador y resolviendo, llegamos a que:

$$900s^3 + 420s^2 + 43s + (1 + 10,45K_c) = 0$$

Entonces aplicamos la prueba de Routh a nuestro sistema:

Fila 1	900	43	0
Fila 2	420	$1+10,45K_c$	0
Fila 3	B	0	0
Fila 4	$1+10,45K_c$	0	

Siendo b:

$$b = \frac{420 \cdot 43 - 900(1 + 10,45K_c)}{420}$$

$$b = \frac{17160 - 9400,34K_c}{420}$$

Para que el circuito sea estable todos los términos de la columna de la izquierda deben tener el mismo signo, positivo en este caso, por lo tanto:

$$b \geq 0$$

$$17160 - 9400,34K_c \geq 0$$

$$K_c \geq 1,825$$

$$1 + 10,45K_c \geq 0$$

$$K_c \geq -0,0957$$

Se sabe que la ganancia última es la ganancia del controlador a la que el circuito alcanza el límite de inestabilidad, por encima o debajo de este valor el sistema se vuelve inestable. En este caso la ganancia última queda determinada por el límite superior de la ganancia del controlador, ya que el límite inferior es negativo y no tiene importancia, debido a que significa que la acción del controlador no es la correcta.

Por lo tanto: $K_{Cu} = 1,825$

El T_u se saca de manera gráfica para el ajuste del controlador.

Ajuste de los controladores por retroalimentación

El ajuste es el procedimiento mediante el cual se adecúan los parámetros del controlador por retroalimentación para obtener una respuesta específica del circuito cerrado. Los valores de los parámetros del ajuste dependen de la respuesta de circuito cerrado que se desea, así como de las características dinámicas de los otros elementos de circuito de control y, particularmente del proceso.

Respuesta de la razón de asentamiento de un cuarto mediante el método de ganancia última

Este método lo propusieron Ziegler y Nichols. Consta de dos pasos, al igual que todos los otros métodos de ajuste:

Paso 1: Determinación de las características dinámicas o personalidad del circuito de control.

Paso 2: Estimación de los parámetros de ajuste del controlador con los que se produce la respuesta deseada para las características dinámicas que se determinaron en el primer paso.

En este método, los parámetros mediante los cuales se representan las características dinámicas del proceso son la ganancia última de un controlador proporcional, y el período último de oscilación. La ganancia y el periodo último se deben determinar experimentalmente, a partir del sistema real, mediante el siguiente procedimiento:

- Se desconectan las acciones integrales y derivativas del controlador por retroalimentación, de manera que se obtiene un controlador proporcional.
- Con el controlador en automático (esto es el circuito cerrado), se incrementa la ganancia proporcional, hasta que el circuito oscila con amplitud constante, se registra

el valor de la ganancia con el que se produce la oscilación sostenida K_{CU} , ganancia última.

- Del registro de tiempo de la variable controlada, se registra y mide el período de oscilación como T_u , período último.

La razón de asentamiento (disminución gradual) es la razón de amplitud entre dos oscilaciones sucesivas, debe ser independiente de las entradas al sistema y depender únicamente de las ecuaciones características. Una vez que se determinan la ganancia y el período últimos, se utilizan las fórmulas de la siguiente tabla para calcular los parámetros de ajuste del controlador con los cuales se producen respuestas de la razón de asentamiento de un cuarto.

Tipo de controlador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo de integración	Tiempo de derivación
Proporcional	$K_{cu}/2$		
Proporcional-Integral	$K_{cu}/2.2$	$T_u/1.2$	
Proporcional-Integral-Derivativo	$K_{cu}/1.7$	$T_u/2$	$T_u/8$

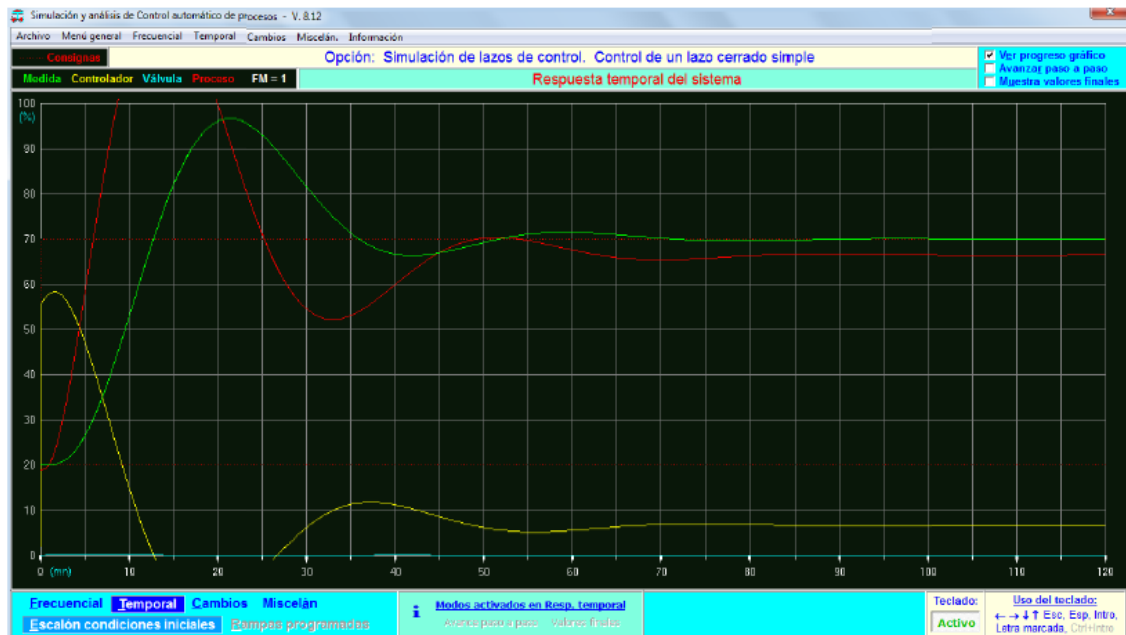
Se considera un controlador Proporcional-Integral –Derivativo.

Entonces: $K_c = 1.825/1.7 = 1.074$

Tiempo de integración: $35/2 = 17,5$

Tiempo de derivación = $35/8 = 4,375$

Caso 1: $K_c=K_{cu}$. Marginalmente estable



<p>CONTROLADOR (C-1) P+I+D Ganancia, G = 1,074 Tiempo integral, Ti = 17,5 Tiempo derivativo, Td = 4,375 Consigna, C = 70 Consigna anterior, Ca = 20</p> <p>PROCESO-1 (P-1) Retardo de primer orden Constante de tiempo, T = 30 Ganancia, K = 1117,52 Valor de base entrada, Be = 0 Valor de base salida, Bs = 0</p> <p>PROCESO-2 (P-2) Retardo de segundo orden Constante de tiempo, T = 0,15 Factor de amortiguación, S = 1,2 Ganancia, K = 1 Valor de base entrada, Be = 0 Valor de base salida, Bs = 0</p> <p>PROCESO-3 (P-3) Ganancia Ganancia, K = 1 Valor de base entrada, Be = 0 Valor de base salida, Bs = 0</p>	<p>VÁLVULA (V-1) Retardo de primer orden Constante de tiempo, T = 3 Ganancia, K = 0,008876</p> <p>MEDIDOR-1 (M-1) Retardo de primer orden Constante de tiempo, T = 10 Ganancia, K = 1,053 Elevac./Supres. de cero, Z = 0</p> <p>MEDIDOR-2 (M-2) Ganancia Ganancia, K = 1 Elevac./Supres. de cero, Z = 0</p>	<p>PERTURBACIÓN-Y (U-v) Retardo de primer orden Constante de tiempo, T = 0,05 Ganancia, K = 1 Entrada actual (carga), U = 0 Entrada anterior, Ua = 0 Tiempo de espera (seg.) = 0</p> <p>PERTURBACIÓN-1 (U-1) Retardo de primer orden Constante de tiempo, T = 0,2 Ganancia, K = 1 Entrada actual (carga), U = 0 Entrada anterior, Ua = 0 Tiempo de espera (seg.) = 0</p> <p>PERTURBACIÓN-2 (U-2) Retardo de segundo orden Constante de tiempo, T = 0,15 Factor de amortiguación, S = 1,2 Ganancia, K = 1 Entrada actual (carga), U = 0 Entrada anterior, Ua = 0 Tiempo de espera (seg.) = 0</p> <p>PERTURBACIÓN-3 (U-3) Ganancia Ganancia, K = 1 Entrada actual (carga), U = 0 Entrada anterior, Ua = 0 Tiempo de espera (seg.) = 0</p>
---	---	---

Caso 2: $K_c < K_{cu}$. Convergente. Sistema estable



CONTROLADOR (C-1)

P+I+D

Ganancia, G = 0,837
Tiempo integral, T_i = 17,5
Tiempo derivativo, T_d = 4,375
Consigna, C = 70
Consigna anterior, C_a = 20

PROCESO-1 (P-1)

Retardo de primer orden

Constante de tiempo, T = 30
Ganancia, K = 1117,52
Valor de base entrada, R_e = 0
Valor de base salida, β_s = 0

PROCESO-2 (P-2)

Retardo de segundo orden

Constante de tiempo, T = 0,15
Factor de amortiguación, S = 1,2
Ganancia, K = 1
Valor de base entrada, B_e = 0
Valor de base salida, B_s = 0

PROCESO-3 (P-3)

Ganancia

Ganancia, K = 1
Valor de base entrada, B_e = 0
Valor de base salida, B_s = 0

VÁLVULA (V-1)

Retardo de primer orden

Constante de tiempo, T = 3
Ganancia, K = 0,008876

MEDIDOR-1 (M-1)

Retardo de primer orden

Constante de tiempo, T = 10
Ganancia, K = 1,053
Elevac/Supres. de cero, Z = 0

MEDIDOR-2 (M-2)

Ganancia

Ganancia, K = 1
Elevac/Supres. de cero, Z = 0

PERTURBACIÓN-V (U-V)

Retardo de primer orden

Constante de tiempo, T = 0,05
Ganancia, K = 1
Entrada actual (carga), U = 0
Entrada anterior, U_a = 0
Tiempo de espera (seg.) = 0

PERTURBACIÓN-1 (U-1)

Retardo de primer orden

Constante de tiempo, T = 0,2
Ganancia, K = 1
Entrada actual (carga), U = 0
Entrada anterior, U_a = 0
Tiempo de espera (seg.) = 0

PERTURBACIÓN-2 (U-2)

Retardo de segundo orden

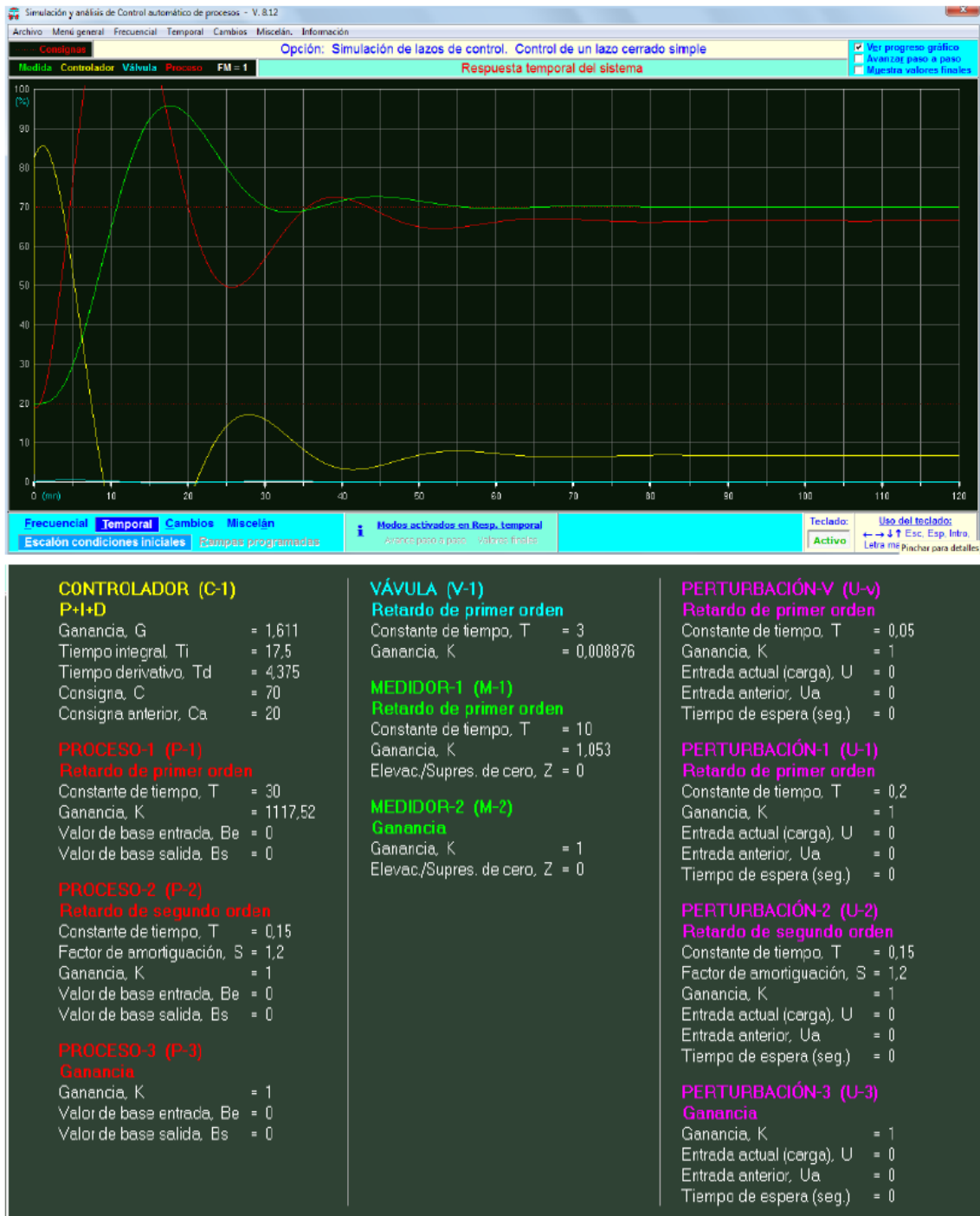
Constante de tiempo, T = 0,15
Factor de amortiguación, S = 1,2
Ganancia, K = 1
Entrada actual (carga), U = 0
Entrada anterior, U_a = 0
Tiempo de espera (seg.) = 0

PERTURBACIÓN-3 (U-3)

Ganancia

Ganancia, K = 1
Entrada actual (carga), U = 0
Entrada anterior, U_a = 0
Tiempo de espera (seg.) = 0

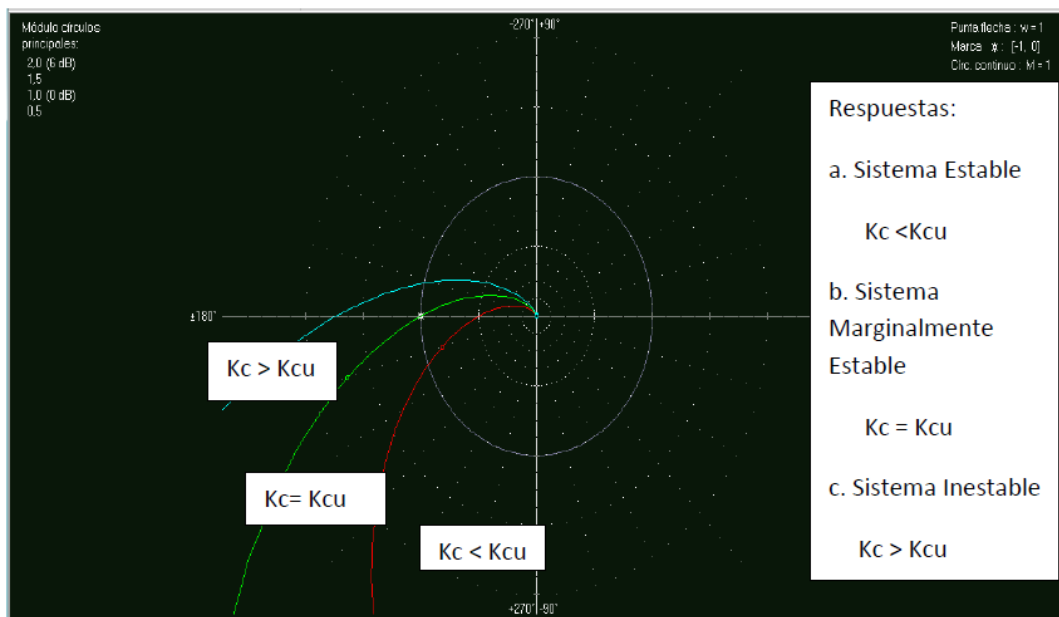
Caso 3: $K_c > K_{cu}$. Divergente. Sistema inestable



Criterio de estabilidad de Nyquist

Establece que un sistema de control de circuito cerrado es estable si al mapear la región R (la cual consiste en toda la mitad derecha del plano s, incluyendo el eje

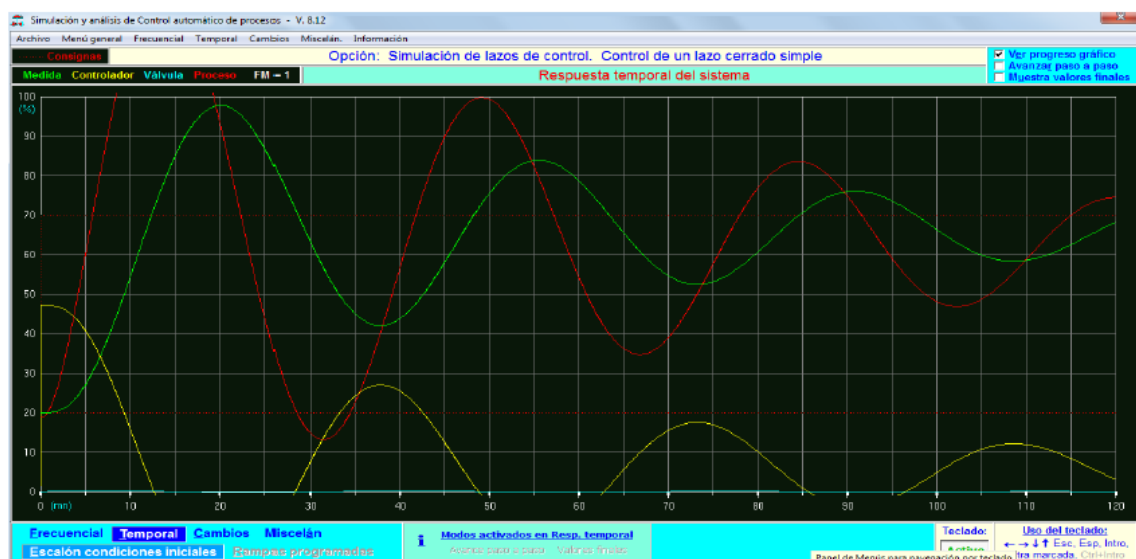
imaginario) en el plano $G(s)$, el plano de la función de transferencia de circuito abierto da como resultado la región R' , en la cual no se incluye el punto $(-1,0)$.



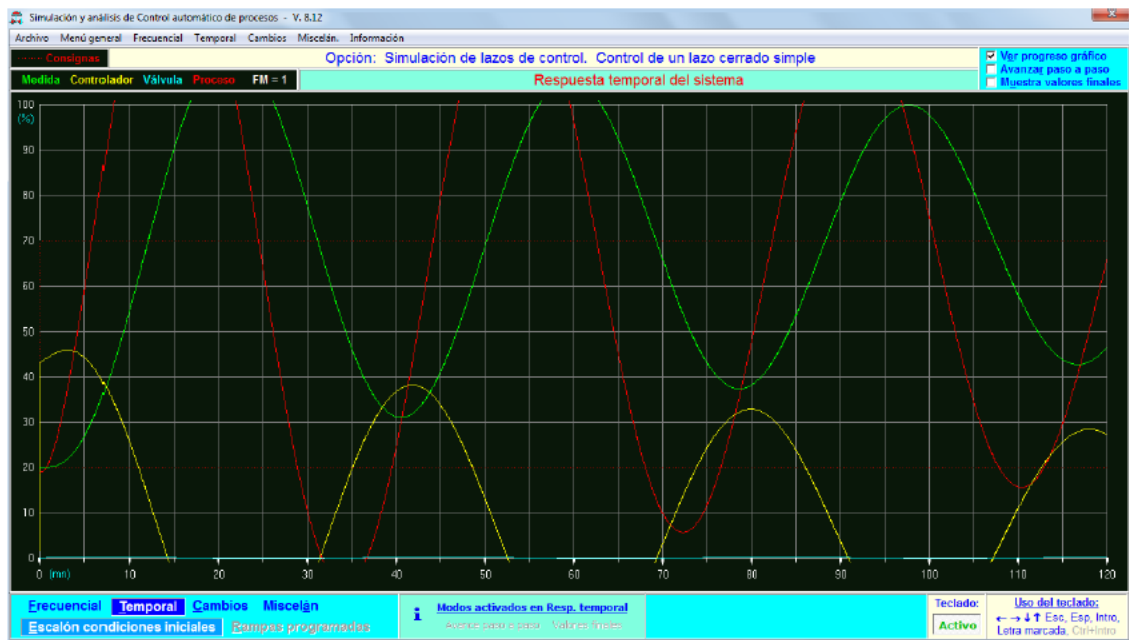
Análisis del controlador utilizado para la temperatura

En primer momento la selección del controlador PID, se justificó por la criticidad de mantener la temperatura en un determinado valor. A continuación, se analizará y comparará para las mismas condiciones, el uso de controladores P, PI y PID.

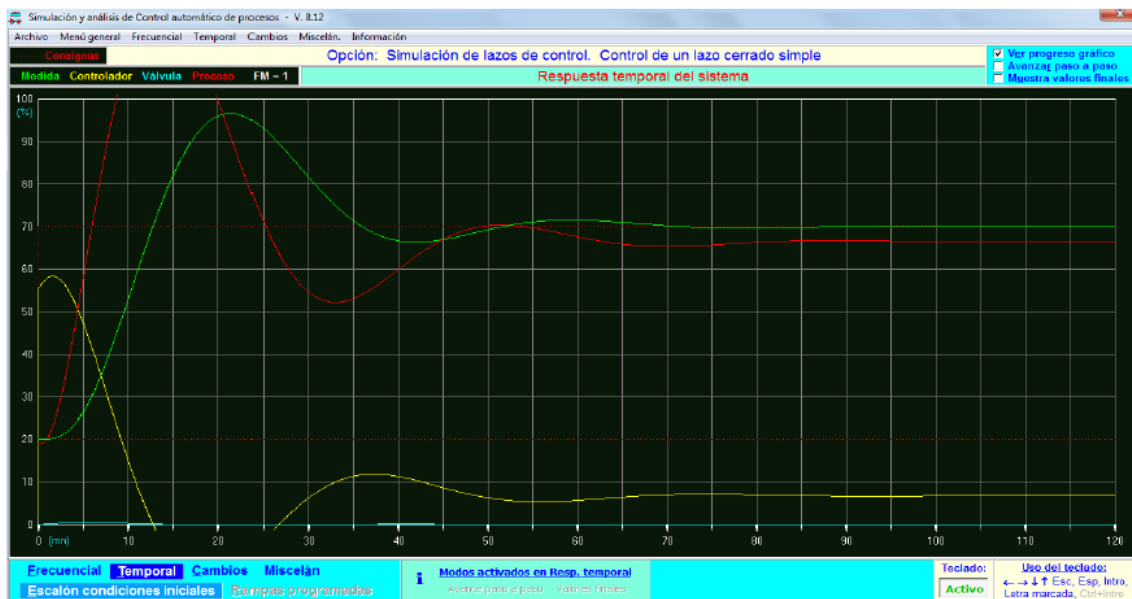
Controlador P (proporcional)



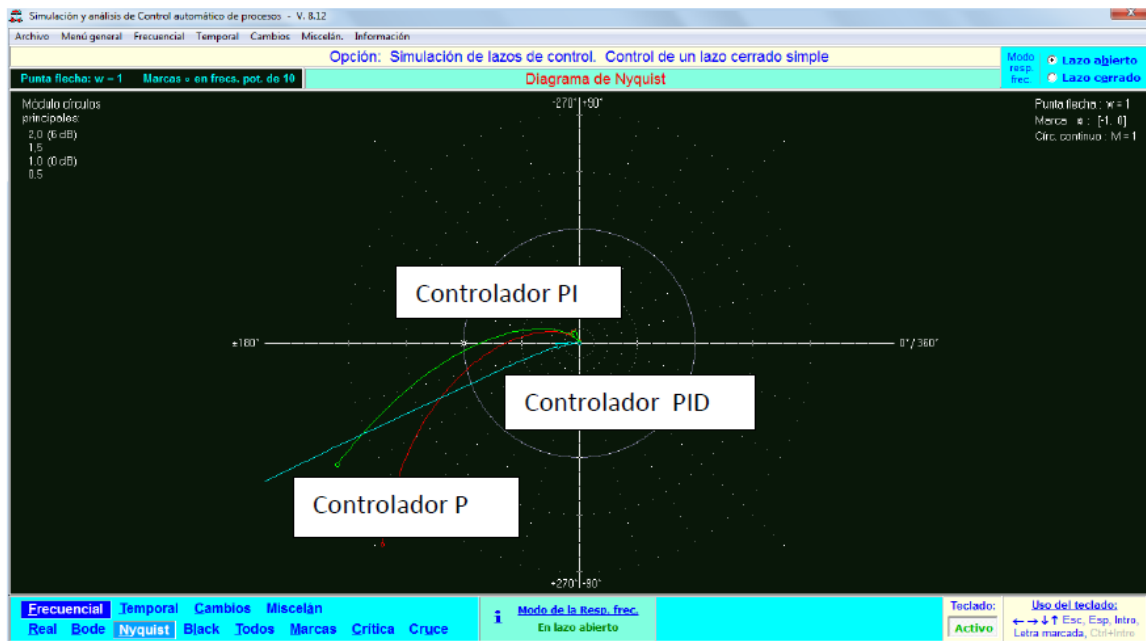
Controlador PI (proporcional + integral)



Controlador PID (proporcional + integral + derivativo)



Los mismos se graficaron en un diagrama de Nyquist,



Como se puede observar, si bien la acción integral elimina el offset, el tiempo necesario para estabilizar la variable a controlar es mayor. La acción integral es lenta. El agregado de la acción derivativa o de anticipo mejora la velocidad con la que el sistema se estabiliza.

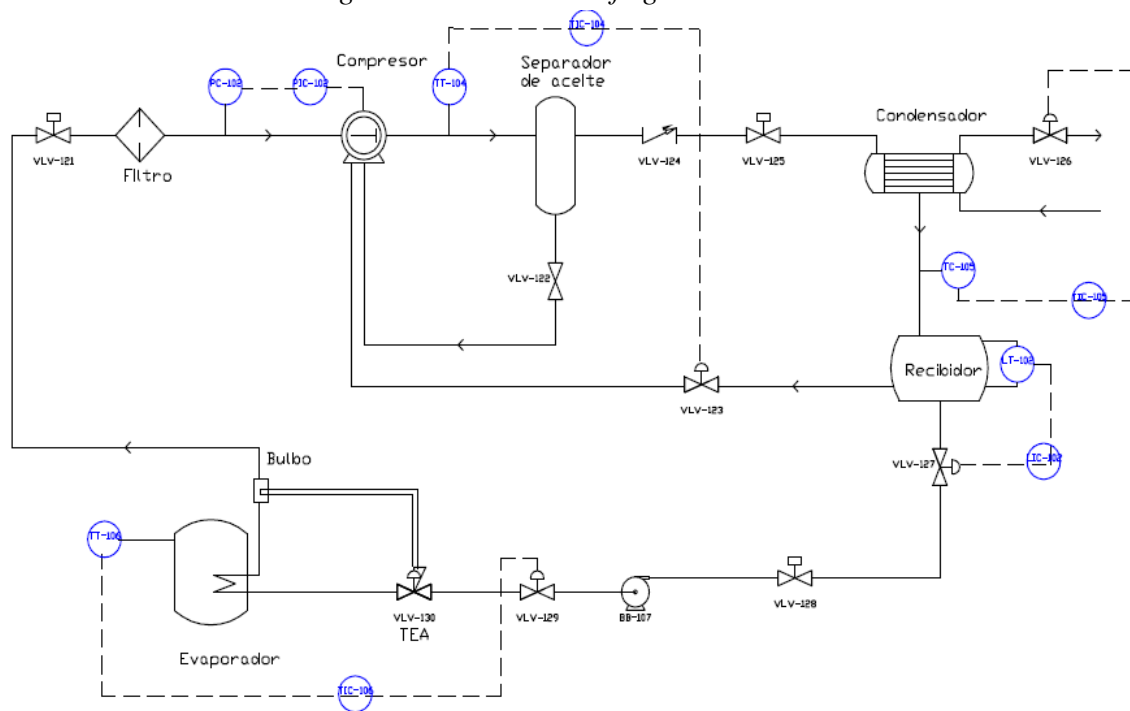
La acción PID es la mejor opción como se había anticipado para controlar la temperatura. Podemos decir que cuando se introduce la acción integral, se fuerza una reducción del 10% en la ganancia del controlador PI, en comparación con la del controlador proporcional. Por otro lado, la acción derivativa propicia un incremento, tanto en la ganancia proporcional como en la tasa de integración (un decremento en el tiempo de integración) del controlador PI, debido a que la acción integral introduce un retardo en la operación del controlador por retroalimentación, mientras que con la acción derivativa se introduce un avance o adelanto. Además, la respuesta de razón de asentamiento de un cuarto es muy deseable para las perturbaciones, porque se evita una gran desviación inicial del punto de control sin que se tenga demasiada oscilación.

La mayor dificultad de la respuesta de la razón de asentamiento de un cuarto es que el conjunto de parámetros de ajuste requerido para obtenerla no es único, a excepción del

controlador proporcional. En el caso de los controladores PI, se puede verificar fácilmente que, para cada valor del tiempo de integración, es posible encontrar un valor de ganancia con el cual se produce una respuesta de razón de asentamiento de un cuarto y viceversa; lo mismo es válido para el controlador PID.

Instrumentos de control del ciclo de refrigeración

Ilustración 40 - Diagrama del ciclo de refrigeración con instrumentación.



Compresor

El compresor extrae el vapor de baja temperatura y presión del evaporador a través de la línea de succión. Una vez extraído, el vapor se comprime. Cuando el vapor se comprime, aumenta su temperatura. Por lo tanto, el compresor transforma el vapor de baja temperatura a vapor de alta temperatura, aumentando a su vez la presión.

Esto se realiza con las siguientes finalidades:

1. Mantener la presión en el evaporador, de modo que el refrigerante líquido pueda evaporarse a la temperatura requerida.
2. Comprimir el refrigerante para poder condensarlo a una temperatura normal.

La función básica del control del compresor es ajustar la capacidad de este a la demanda real del sistema de refrigeración, de forma que pueda mantenerse la temperatura de evaporación requerida. Si la capacidad del compresor es mayor que la demanda, la presión y la temperatura de evaporación serán más bajas que las requeridas y viceversa.

En el compresor, se requiere controlar la presión de aspiración. Esto se logra mediante el control de la velocidad de giro de este. También se instala una válvula de retención en la línea de descarga con la finalidad de impedir la inversión del flujo de refrigerante hacia el compresor

Se debe también colocar un retorno de aceite al compresor. Esto es para garantizar el buen funcionamiento del compresor. También se recomienda limitar la temperatura de descarga por debajo de un cierto valor, para evitar el recalentamiento de las válvulas, prolongar su vida útil y prevenir la falta de aceite a altas temperaturas.

Condensador

El propósito del condensador es extraer calor del refrigerante al aire exterior. La temperatura del vapor de alta presión determina la temperatura a la que comienza la condensación. Como el calor tiene que fluir del condensador al agua, la temperatura de condensación debe ser más alta que la del agua.

El vapor de alta presión dentro del condensador luego se enfría hasta el punto en que se convierte en un refrigerante líquido una vez más, mientras retiene algo de calor. A continuación, el refrigerante líquido fluye desde el condensador hacia la línea de líquido.

El control de la presión de condensación puede conseguirse por medio de una válvula de agua controlada por presión, así como de una válvula de agua motorizada acoplada a un controlador electrónico que permita controlar el flujo de agua de refrigeración en función de la presión de condensación. Esta solución mantiene la presión de condensación en un valor constante.

Válvula de expansión

Dentro del sistema de refrigeración, la válvula de expansión está ubicada al final de la línea de líquido, antes del evaporador. El líquido a alta presión llega a la válvula de expansión, procedente del condensador. Luego, la válvula reduce la presión del refrigerante a medida que pasa a través del orificio, que se encuentra dentro de la válvula. Al reducir la presión, la temperatura del refrigerante también disminuye a un nivel por debajo del aire circundante. Este líquido de baja temperatura y presión es bombeado al evaporador.

Evaporador

El propósito del evaporador es eliminar el calor no deseado del producto, a través del refrigerante líquido. El refrigerante líquido contenido dentro del evaporador hierve a baja presión. El nivel de esta presión está determinado por dos factores:

- La velocidad a la que se absorbe el calor del producto al refrigerante líquido en el evaporador.
- La velocidad a la que el compresor elimina el vapor de baja presión del evaporador.

Para permitir la transferencia de calor, la temperatura del refrigerante líquido debe ser menor que la temperatura del producto que se enfría. Una vez transferido, el refrigerante líquido es extraído del evaporador por el compresor a través de la línea de

succión. Al salir del serpentín del evaporador, el refrigerante líquido está en forma de vapor. Por tanto, la función principal del sistema de control del evaporador es conseguir la temperatura deseada del medio. Además, el sistema de control también debe mantener el evaporador funcionando de forma eficiente y sin problemas en todo momento.

Capítulo 9: Análisis Económico Financiero

A continuación, se ha realizado el estudio económico y de viabilidad de la planta de producción de papaína. Para el estudio de su viabilidad se han estimado los beneficios generados por esta actividad y se han determinado los parámetros que permiten definir si esta actividad es viable económicamente o al contrario no tiene ningún tipo de rendimiento.

Inversión inicial

La inversión inicial se entiende como el capital necesario para comprar tanto bienes materiales como servicios en el periodo de desarrollo de la idea inicial y construcción de la planta para poder desarrollar la actividad de producción deseada. Esta inversión consta de los gastos previos, el costo fijo, el costo variable, y de la puesta en marcha de la planta.

Capital inmovilizado

El capital inmovilizado (I) se utilizará para la compra de los equipos y los materiales de la planta. Se ha utilizado el método de Vian con el fin de calcular el coste del capital inmovilizado, este método divide el cálculo del inmovilizado en diferentes apartados:

I₁: Maquinaria y equipos

I₂: Gastos de instalación de maquinaria y equipos

I₃: Tuberías y válvulas

I₄: Instrumentos de medida y control

I₅: Aislamientos térmicos

I₆: Instalación eléctrica

I₇: Terrenos y edificios

I₈: Instalaciones auxiliares (agua, vapor, luz, etc.)

$$\text{Capital físico o primario: } Y = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8$$

I₉: Honorarios del proyecto y dirección del montaje

$$\text{Capital directo o secundario: } Z = Y + I_9$$

I₁₀: Contrata de obras

I₁₁: Gastos no previstos

$$\text{Inmovilizado} = Z + I_{10} + I_{11}$$

I₁: Maquinaria y equipos

Para la estimación de la maquinaria y equipos, se tuvo en cuenta un método estimativo propuesto por el autor Ray Sinnott en DISEÑO EN INGENIERÍA QUÍMICA. Según los coeficientes propuestos y la unidad de medida, se detalla cada equipo en el anexo correspondiente. El valor final arrojado es de:

TOTAL COSTO DE EQUIPOS: \$ 749.956,57

I₂: Gastos en la instalación de los equipos

Se tienen en cuenta la instalación, los accesorios, el material, los soportes, así como el transporte hasta la zona de instalación, maquinaria y equipos. Se ha considerado un porcentaje mayor, un 20%, debido a las causas antes mencionadas. En este apartado, de gastos de instalación, se ha de incluir la mano de obra para la instalación. Debido a este término, se considera finalmente que I₂ es un 30% del valor de la maquinaria.

I₃: Tuberías y válvulas

En este apartado se incluyen tuberías, accesorios y válvulas. Para el cálculo de I_3 se tiene en cuenta tanto la compra como la instalación. Un valor típico de I_3 es de 10 % de I_1 para sólidos y 60 % para fluidos, como en la planta se trabaja tanto con fluidos como con sólidos se ha elegido el valor del 30% de I_1 .

I₄: Instrumentos de medida y control

Las necesidades de instrumentación y control en la planta son moderadas, y el porcentaje que se le dedica a instrumentación y control varía dependiendo del grado de automatización de la planta. Valor típico de I_4 es del 15% de I_1 .

I₅: Aislamientos térmicos

Las necesidades de aislantes térmicos tanto de material como de mano de obra no son excesivamente elevadas. Valor típico de I_5 es del 7% de I_1 y se ha elegido este valor ya que siempre se necesita aislante, aunque sea por motivos de seguridad.

I₆: Instalación eléctrica

Las necesidades de material eléctrico como de equipos relacionados. Se incluyen motores, conductores, equipos de arranque y subestaciones transformadoras. El rango típico de I_6 es del 10-20% de I_1 . Por lo tanto, se ha elegido un valor del 15% de I_1 .

I₇: Terrenos y edificios

Incluye el precio de nivelación del terreno, la construcción de los edificios. Para el valor de edificios y aclimatación del terreno se supone un valor estándar de 15% de I_1 .

La compra del terreno se ha considerado como 55.841,00 U\$D debido a que la compra mínima es de 5Ha.

I₈: Instalaciones auxiliares

Incluye la instalación de los siguientes servicios: agua de refrigeración, vapor, gas natural, aire comprimido, refrigeración, calefacción, iluminación. El rango típico de I₈ es del 25-70% de I₁ y se ha elegido el valor del 30% de I₁, ya que no se requieren demasiados servicios debido a la simplicidad del proceso productivo.

Capital físico primario

$$Y = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8$$

I₉: Honorarios del proyecto y dirección del montaje

Corresponde a los gastos que ocasiona la dirección del montaje y de las gestiones realizadas para la compra de los equipos. El valor típico de I₉ es del 20% de Y.

Capital secundario

$$Z = Y + I_9$$

I₁₀: Contrato de obras

Esta parte del inmovilizado se refiere a la contrata de obras necesarias para la edificación. El valor típico de I₁₀ es del 7% de Z.

I₁₁: Gastos no previstos

Aquí se incluyen todos aquellos parámetros que hayan podido eludirse o posibles gastos imprevistos. El valor típico de I₁₁ es del 20% de Z.

Tipo	%	Valor (U\$S)
Maquinarias y equipos	I ₁	\$ 749.956,57
Instalación de equipos	I ₂	\$ 149.991,31
Tuberías y válvulas	I ₃	\$ 224.986,97
Instrumentos de medida y control	I ₄	\$ 74.995,66
Aislamientos térmicos	I ₅	\$ 52.496,96
Instalación eléctrica	I ₆	\$ 112.493,49
Terreno y edificios	I ₇	\$ 112.493,49
Instalaciones auxiliares	I ₈	\$ 224.986,97
Capital físico primario	Y	\$ 1.702.401,42
Honorarios de dirección del proyecto	I ₉	\$ 340.480,28
Capital secundario	Z	\$ 2.042.881,70
Gastos no previstos	I ₁₀	\$ 204.288,17
Capital inmovilizado (I)	Z + I₁₀	\$ 2.247.169,87

Capital circulante

El capital circulante se relaciona con la inversión inicial debido a que es necesario realizar una primera inversión en diferentes costos de materiales como materias primas y servicios para comenzar la producción. Este dinero es destinado a diferentes pagos para poder hacer el ciclo productivo y finalmente vender el producto. Después de empezar la actividad económica, también es necesario este capital para poder hacer frente a los pagos de carácter inmediato.

Para poder establecer un valor del capital en circulación, este se aproxima a un rango de entre el 10-30% de las ventas. En una primera aproximación este valor de las ventas puede ser desconocido, se acaba aplicando que el capital circulante es del 10-30% del inmovilizado. El valor estándar es del 20%.

Puesta en marcha de la planta

Se considera 5 días de trabajo a la semana y 4 semanas laborales por mes; sin embargo, teniendo en cuenta aquellos días no laborales, feriados u otro tipo de imponderable que pueda surgir, se estiman 245 días laborales al año.

Tipo de Inversión	Valor (U\$S)
Máquinas y Equipos	\$ 749.956,57
Capital Circulante	\$ 449.433,97
Costo del Terreno	\$ 55.841,00
Total	\$ 1.255.231,54

Estimación de los costes de producción

Para la estimación de costes de producción se ha utilizado el método de Vian. Este método separa los costes en diferentes apartados, estos costes son los siguientes:

- Costes de fabricación.
- Costes de gerencia y administración

Costes de fabricación (M)

Para establecer los costes de fabricación se realiza un estudio de los costes principales que intervienen en este término, los cuales resultan:

M1: Materias Primas

El primer término de los costes de fabricación deriva del coste de las materias primas. El costo se estima mediante la consulta a comerciales de las empresas proveedoras de las materias necesarias para nuestro proceso. Los precios se especifican en esta tabla:

Materia Prima	Consumo anual (kg)	Costo unitario (U\$S/kg)	Costo Anual(U\$S)
Látex (kg)	148.908	3	\$ 446.724,00
Propilenglicol (kg)	178,2	5	\$ 891,00
Amoníaco (kg)	100	40	\$ 4.000,00
Buffer citrato de sodio (kg)	1.500	0,3	\$ 450,00
TOTAL			\$ 452.065,00

M2: Mano de obra

Los empleados cobrarán 14 sueldos por año. El aguinaldo se abonará proporcional al tiempo trabajado dependiendo de la fecha de ingreso (a año completo es un sueldo, los cuales pueden abonarse en dos mitades).

Cantidad	Cargo	Sueldo mensual USD	Sueldo anual USD	Total USD
2	Tareas generales y sanitización	\$ 500,00	\$ 7.000,00	\$ 14.000,00
4	Operarios de proceso	\$ 600,00	\$ 8.400,00	\$ 33.600,00
1	Laboratorista	\$ 600,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00
1	Calidad	\$ 600,00	\$ 8.400,00	\$ 8.400,00
2	Mantenimiento	\$ 600,00	\$ 8.400,00	\$ 16.800,00
1	Compras y Ventas	\$ 500,00	\$ 7.000,00	\$ 7.000,00
1	Tesorería y contaduría	\$ 500,00	\$ 7.000,00	\$ 7.000,00
1	RRHH y liquidación de haberes	\$ 500,00	\$ 7.000,00	\$ 7.000,00
2	Seguridad (tercerizado)	\$ 500,00	\$ 7.000,00	\$ 14.000,00
2	Limpieza (tercerizado)	\$ 500,00	\$ 7.000,00	\$ 14.000,00
1	Legales			
1	Gerencia General			
			TOTAL	\$ 130.200,00

M3: Patentes

Debido a que el proceso productivo es conocido y otras compañías e investigadores no han patentado las condiciones óptimas de producción, este valor resulta nulo para nuestro proceso.

M4: Mano de obra indirecta

El costo de fabricación derivado de la mano indirecta hace referencia al costo generado por la plantilla de encargados, supervisores, personal de vigilancia, etc. El rango típico de este coste es 10-25% de M2, se ha considerado un valor estándar, el 12 %.

M5: Servicios generales

Se incluye el costo generado por consumos de servicios, suministros energéticos o de otros productos, por distribuidores externos a la planta y que generan el siguiente costo:

Servicios	Consumo diario	Costo Unitario (\$)	Costo Anual en U\$S
Electricidad (kw)	200	0,649	5.482,9
Gas Natural (m³)	45	0,9	13.686,2
Agua (m³)	41	1,35	2.338,1
Total			20.790,3

M6: Suministros

El costo de fabricación derivado de los suministros hace referencia a la adquisición de forma regular de materiales que no son materias primas como lubricantes, herramientas, EPP, etc. El rango típico de este costo es 0,1-1,5% de I, se ha considerado un valor estándar, el 0,3 % de I.

M7: Mantenimiento

El costo de fabricación derivado del mantenimiento hace referencia a las revisiones anuales, la substitución de piezas o reparaciones por posibles problemas. El rango típico de este costo es 5-7% de I, se ha considerado un valor del 5 % de I.

M8: Laboratorio

El costo de fabricación derivado del laboratorio hace referencia a controles de calidad tanto del producto como de las materias primas. El rango típico de este costo es 5-25% de M2, se ha considerado un valor estándar, el 10 % de M2.

M9: Envasado

El costo de fabricación derivado del envasado se supone un 30% de M1

M10: Expedición

El costo de fabricación derivado de la expedición hace referencia a los costos de transporte y de venta del producto. Se ha considerado un valor estándar de 0,12% de M1.

M11: Directivos y empleados

El costo de fabricación derivado de directivos y empleados hace referencia al salario del equipo directivo y técnico. El rango típico de este costo es 15-40% de M2, se ha considerado un valor del 15% de M2

M12: Alquiler

No existe alquiler de instalaciones.

M13 y M14: Tasas e impuestos de fabricación

El costo de fabricación derivado de tasas e impuestos hace referencia a pagos administrativos no atribuibles a beneficios. El rango típico de este coste es 0,5-1% de I. Se ha considerado un valor del 0,5% de I.

M15: Aseguradoras

El costo de fabricación derivado de las aseguradoras hace referencia al hecho de asegurar tanto instalaciones como equipos y edificios de la planta. Se ha considerado un valor estándar, el 0,5% de I.

Una vez explicado en qué consisten los costos generados por la fabricación, se hace una estimación de este coste. En la siguiente tabla se pueden ver los resultados:

Costo de Fabricación	% de Referencia	Costo(U\$S)
M1: Materias Primas	M1	\$ 452.065,00
M2: Mano de obra	M2	\$ 130.200,00
M4: Mano de obra indirecta	12% M2	\$ 15.624,00
M5: Servicios Generales	M5	\$ 20.790,00
M6: Suministros	0,3% I	\$ 6.741,51
M7: Mantenimiento	5% I	\$ 112.358,49
M8: Laboratorio	5% M1	\$ 13.020,00
M9: Envasado	10% M1	\$ 135.619,50
M10: Expedición	0,12% (I)	\$ 542,48
M11: Directivos y empleados	15% (M2)	\$ 19.530,00
M12: Alquiler	0	\$ -
M13 y M14: Tasa e impuestos de fabricación	0,25% (I)	\$ 11.235,85
M15: Aseguradoras	0,5% (I)	\$ 11.235,85
Total		\$ 928.962,68

Costes de gerencia y administración (G)

G1: Gastos comerciales

El costo derivado de los gastos de venta del producto. Se tienen en cuenta factores como el personal comercial, el marketing destinado al producto, a los viajes realizados por ventas, etc. Se ha considerado un valor estándar, el 10% de M.

G2: Costes administrativos

El costo derivado del gasto administrativo de los diferentes departamentos, así como el sueldo del gerente, empleados de administración, oficinas. El rango típico de este costo es 2-6% de M. Se ha considerado un del 3% de M.

G3: Gastos financieros

Gasto que se destina a los intereses del préstamo hipotecario del banco. Se supone que el préstamo proviene de los inversores o empresas que son los propietarios de la planta, el 70% de la inversión, mientras que el 30% restante proviene de un crédito hipotecario. Se considera una 30% de I.

G4: Investigación y servicio técnico

Es el costo derivado de investigación y para estudios que permitan adaptar el producto a la demanda de los clientes y asesorarlos de la mejor manera. Los recursos que se destinan para investigación corresponden a un coste del 1% de las ventas y el destinado a asesoramiento un 0,75 % de M, como valores típicos.

Costos de Gerencia y Administración	% de Referencia	Costo (U\$S)
G1: Gastos Comerciales	2,5% M	\$ 23.224,07
G2: Costos Administrativos	1,5% M	\$ 13.934,44
G3: Gastos Financieros	15% I	\$ 337.075,48
G4: Investigación y servicio técnico	1% (Ventas) + 0,75% (M)	\$ 6.967,22
Total		\$ 381.201,21

Por lo tanto, los costes de producción generales son los siguientes:

Costos de Producción	Valor en U\$S
Costo de Gerencia y Administración	\$ 381.201
Costo de Fabricación	\$ 928.962
Total	\$ 1.310.163

Ventas y rendimiento de la planta

Estimación de los ingresos por ventas

Para realizar un estudio del rendimiento económico en primer lugar es necesario realizar un estudio de los ingresos por ventas de los productos comercializados por la planta. Para la estimación de su precio se han hecho consultas y su valor es el utilizado en el estudio de mercado.

Materia	Costo Unitario (U\$S/kg)	Producción (kg/Año)	Costo (U\$S/Año)
Papaína	125	16.380,0	2.047.500
TOTAL		2.047.500	

Estudio del rendimiento económico

Para determinar el rendimiento y la viabilidad económicos de la planta se realizan los estudios de la determinación del Flujo Neto de Caja, TIR y VAN.

Flujo Neto de Caja

El método del Cash Flow consiste en un estudio de los flujos de caja para 5 años de actividad productiva, más los de puesta a punto y venta, contando los impuestos. Se calculan los flujos de caja realizados por la actividad de producción y comercialización de papaína durante 5 años, contando el tiempo necesario para la construcción de la planta 1 año y el periodo productivo estimado de la planta. Los flujos de caja que son considerados en un año se definen por la siguiente fórmula:

Ingreso por ventas
- Coste de las ventas
- Gastos generales
<hr/>
Margen operativo bruto (BAAIT)
- Amortización
<hr/>
Beneficio antes de impuestos e intereses (BAIT)
- Impuestos
<hr/>
Beneficio neto (BDT) (antes de intereses)
+ Amortización
- Inversión en Activos fijos
- Inversión en
NOF
<hr/>
FLC

La amortización se define de la siguiente manera:

$$Amortización = \frac{Inversión - 0,1 \cdot Inversión}{n(cantidad\ de\ periodos)}$$

La forma de amortizar la inversión puede ser variada. Por ejemplo, lineal donde se destina el mismo capital uniformemente a lo largo de los años o regresivo, donde se destina más capital en los primeros años. Para el cálculo del NCF se ha elegido una amortización lineal pero donde el periodo de amortización será de 5 años.

Período de Retorno de una inversión (PR) o Pay-back

Otro parámetro interesante para determinar la viabilidad económica de la planta es determinar el pay-back. Este es el tiempo necesario para que mediante la suma de los ingresos netos anuales estos sean igual a la inversión inicial, es decir, es el período que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos de caja generados por el proyecto. La inversión se recupera en el año en el cual los flujos de caja acumulados superan a la inversión inicial.

Valor Actual Neto

Otro parámetro importante para determinar la viabilidad económica de la planta es determinar el VAN, o valor actual neto. Mediante este parámetro se puede determinar los beneficios en valor actual, que supuestamente se tendrían por efectuar esta actividad en el tiempo. La manera de calcularlo es mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = -Inversión + \sum_{j=0}^{j=n} \frac{NCF_j}{(1+i)^j}$$

NCF= Flujo de caja del año j

n= Número de años que la planta genera flujos de caja

i= Tipo de interés

El tipo de interés seleccionado para el cálculo del VAN fue la tasa WACC, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$WACC = K_e \cdot \frac{CAA}{CAA + D} + K_d(1 - T) \cdot \frac{D}{CAA + D}$$

Dónde:

K_e : Tasa de costo de oportunidad de los accionistas.

D: Deuda financiera contraída.

CAA: Capital aportado por los accionistas.

K_d : Costo de la deuda financiera.

T: Tasa de impuestos a la ganancia.

Mediante los flujos de caja generados estimados por el NCF y una vez fijado el tipo de interés, se calcula el VAN.

Si $VAN > 0$: El proyecto es rentable

Si $VAN < 0$: El proyecto no es rentable

A la hora de elegir entre dos proyectos, elegiremos aquel que tenga el mayor VAN.

Curvas del VAN y TIR

De la misma manera que se realiza el estudio para un tipo de interés fijado, se puede realizar el estudio para diferentes tipos de interés. Con este estudio se puede determinar hasta cuándo sería rentable invertir en esta planta y en qué momento los intereses del banco resultan tan elevados que los inversores prefieren destinar sus dineros a los mismos, ya que reciben mayores beneficios.

Esto es lo que dice el método de la TIR, método que calcula el interés del banco (TIR) que genera los mismos beneficios que los flujos de caja generados por la actividad económica practicada.

$$VAN = 0 = \sum_{j=0}^{j=n} \frac{NCF_j}{(1 + TIR)^j}$$

Si $TIR >$ Tasa de Descuento: El proyecto es aceptable.

Si $TIR <$ Tasa de Descuento: El proyecto no es aceptable

Cálculo de los flujos de caja

		0	2021	2022	2023	2024	2025
Cantidad kg			16.380	16.380	16.380	16.380	16.380
Precio			\$ 125,00	\$ 125,00	\$ 125,00	\$ 125,00	\$ 125,00
Ventas			\$ 2.047.500	\$ 2.047.500	\$ 2.047.500	\$ 2.047.500	\$ 2.047.500
Costos Variables							
MO			\$ -130.200	\$ -130.200	\$ -130.200	\$ -130.200	\$ -130.200
MP			\$ -452.065	\$ -452.065	\$ -452.065	\$ -452.065	\$ -452.065
Resultado Bruto			\$ 1.465.235	\$ 1.465.235	\$ 1.465.235	\$ 1.465.235	\$ 1.465.235
Costos Fijos							
Gs de Fabricación			\$ -346.698	\$ -346.698	\$ -346.698	\$ -346.698	\$ -346.698
Gs de Administración			\$ -381.201	\$ -381.201	\$ -381.201	\$ -381.201	\$ -381.201
Amortización			\$ -404.491	\$ -404.491	\$ -404.491	\$ -404.491	\$ -404.491
Resultado antes de Impuestos			\$ 332.846	\$ 332.846	\$ 332.846	\$ 332.846	\$ 332.846
Impuesto a las ganancias 35%			\$ -116.496	\$ -116.496	\$ -116.496	\$ -116.496	\$ -116.496
Resultado Neto			\$ 216.350	\$ 216.350	\$ 216.350	\$ 216.350	\$ 216.350
Inversión Maquinaria		\$ -2.247.170					
Más AMORTIZACIÓN			\$ 404.491	\$ 404.491	\$ 404.491	\$ 404.491	\$ 404.491
FLUJO DE FONDOS		\$ -2.247.170	\$ 620.840	\$ 620.840	\$ 620.840	\$ 620.840	\$ 620.840
			\$ 564.400	\$ 513.091	\$ 466.446	\$ 424.042	\$ 385.493
VAN	10%	\$ 106.303					
TIR		11,8%					

Cálculo de la Tasa WACC

$$WACC = K_e \cdot \frac{CAA}{CAA + D} + K_d(1 - T) \cdot \frac{D}{CAA + D} = 0,244$$

Dónde:

K_e : Tasa de costo de oportunidad de los accionistas: 0,371

D: Deuda financiera contraída: 0,5

CAA: Capital aportado por los accionistas: 0,5

K_d : Costo de la deuda financiera: 0,18

T: Tasa de impuestos a la ganancia: 0,35

Viabilidad del proyecto

Luego de un estudio cuidadoso de los costos de fabricación, inversión inicial, flujos de caja y análisis de los valores de TIR y el VAN, podemos decir que nuestra planta es rentable y que el proyecto es aceptable.

La venta de papaína genera los beneficios esperados.

Capítulo 10: Evaluación de calidad, seguridad e higiene

En este capítulo se recopila información referente a la seguridad del proceso y a los requisitos que imponen las normas para asegurar la inocuidad y calidad del producto. Se dividirá en tres partes. La referente a seguridad del personal y la instalación, otra referente al diseño sanitario del establecimiento y por último una parte dedicada al impacto ambiental ocasionado por la actividad productiva.

Abreviaturas

IPER: Identificación de peligros y evaluación de riesgos.

CyMAT: Condiciones y medio ambiente de trabajo.

SySO: Seguridad y Salud Ocupacional.

CoPsoQ: Método de evaluación de riesgos psicosociales

Seguridad e higiene

Es común en empresas pequeñas, centrar los esfuerzos y atención en la parte productiva del negocio, dejando de lado otros aspectos como la higiene y seguridad laboral. En este apartado se pretende identificar las oportunidades de mejora de nuestro emprendimiento mediante herramientas de gestión de riesgos. Se toma como fundamento para esto el marco regulatorio vigente de Argentina.

Seguridad e higiene es la disciplina que se encarga de detectar los riesgos inherentes a cualquier actividad, proponiendo medidas preventivas y correctivas. Si un riesgo no se puede eliminar, se busca minimizar su gravedad.

La SEGURIDAD es un área que minimiza estos riesgos en los puestos de trabajo, siempre teniendo la premisa de que toda actividad laboral tiene peligros inherentes que necesitan de un sistema de gestión de estos. Los riesgos principales son los vinculados a los accidentes.

La HIGIENE laboral está referida a un conjunto de normas y procedimientos que vigilan la protección de la integridad física y mental de los trabajadores, cuidándolos de los riesgos que provienen de las tareas a cargo y al ambiente donde se desarrollan. Se relaciona con el diagnóstico y la prevención de enfermedades ocupacionales.

Marco normativo

Para realizar una evaluación de los riesgos asociados a nuestra actividad, primero debemos conocer las reglamentaciones que rigen en el ámbito de la seguridad e higiene, para ayudar a prevenirlos de la manera correcta. A continuación, se dictan las normas usualmente aplicables a las industrias de nuestro país:

- Ley N° 19.587/72 de higiene y seguridad en el trabajo, y su decreto reglamentario 351/79.
- Resolución 295/03, Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. Sobre especificaciones técnicas sobre ergonomía y levantamiento manual de cargas y radiaciones.
- Ley N° 24.557 de riesgos en el trabajo y su decreto reglamentario 170/96. Establece la obligación de contar con un Servicio de Medicina y de Higiene y Seguridad Laboral.
- Resolución 801/15 SRT, aprueba la implementación del SGA de clasificación y etiquetado de productos químicos en el ámbito laboral.

- Res. 299/2011 SRT: Adopta las reglamentaciones que procuren la provisión de elementos de protección personal confiables a los trabajadores.
- Resolución N°886/15, protocolo de ergonomía.
- Res. 3345/15 SRT: límites máximos para las tareas de traslado de objetos pesados, y para las tareas de empuje o tracción de objetos pesados.
- Decreto N°1338/96. Servicios de Medicina y de Higiene y Seguridad en el Trabajo.
- Res. 905/2015 SRT: Establece las funciones que deberán desarrollar los Servicios de Higiene y Seguridad en el Trabajo y de Medicina del Trabajo en cumplimiento con el Decreto 1338/96.
- Decreto 658/1996: Aprueba el Listado de Enfermedades Profesionales, previsto en el art. 6º, inc. 2 de la Ley N° 24.557.
- Res. 37/2010 SRT: Establece los exámenes médicos en salud que quedarán incluidos en el sistema de riesgos del trabajo.
- Decreto 170/1996: Reglamentación de Ley 24.557 de Riesgos del Trabajo.
- Res. 85/2012 SRT: Protocolo para la Medición del nivel de Ruido en el Ambiente Laboral.
- Res. 861/15 SRT: Protocolo para Medición de Contaminantes Químicos en el Aire de un Ambiente de Trabajo.
- Res. 900/15 SRT: Protocolo para la Medición del valor de puesta a tierra y la verificación de la continuidad de las masas en el Ambiente Laboral.
- Resolución 523/95 MTSS, modifica el art. 58 del decreto 351/79, sobre provisión de agua potable.
- Res. 230/2003 SRT: Obligación de los empleadores asegurados y de los empleadores autoasegurados de denunciar todos los accidentes de trabajo y

enfermedades profesionales a su ART y a la SRT. Obligación de investigar los accidentes mortales, enfermedades profesionales y los accidentes graves.

Evaluación de riesgos del proyecto

Se aplican los conceptos legales en conjunto con la ingeniería del proceso para llevar a cabo el análisis, poder relevar los riesgos que son significativos y proponer acciones para mitigarlos. Para esto se utilizará un método de análisis binario, en donde se puntúan 2 variables: la probabilidad y la severidad de cada posible escenario. A partir de esto y utilizando distintas valoraciones, los riesgos se van clasificando.

El objetivo de este análisis es definir y describir la metodología para poder gestionar los riesgos correctamente, para mantenerlos en niveles aceptables y así evitar la ocurrencia de sucesos que atenten contra la seguridad o la disponibilidad de la instalación y/o las personas.

Para organizar la evaluación de las consecuencias posibles producto de un peligro identificado, se considera la siguiente descripción y puntuación:

1	Insignificante: Lesiones menores, rasguños, pequeños golpes, etc. Daños menores a la propiedad (hasta 1.000U\$S).
2	Dañina: Lesiones sin incapacidad, cortes, moretones, torceduras, quebraduras sin consecuencias, enfermedades profesionales permanente sin incapacidad permanente. Daños a la propiedad de cierta consideración (hasta 10.000 U\$S)
4	Crítica: Lesiones de mayor importancia o que puedan afectar a más de una persona. Accidentes que puedan producir alguna incapacidad o una baja muy prolongada con restablecimiento incierto. Enfermedades profesionales que

	puedan producir una incapacidad parcial permanente. Daños a la propiedad de importancia (hasta 100.000U\$S).
8	Catastrófica: Muerte o incapacidad total. Daños mayores a la propiedad (más de 100.000U\$S).

La probabilidad es el grado de certeza de que un evento pueda ocurrir. Para ello, se cuenta con la siguiente clasificación:

1	Improbable: Se trata de una situación que nunca ocurrió y que de ocurrir causaría sorpresa o incredulidad.
2	Remota: Se trata de una situación muy poco probable. Se tiene idea que alguna vez ocurrió, pero son muy remotos los antecedentes. Es muy poco frecuente la exposición al peligro. De ocurrir sería muy extraño. En los últimos dos años no ocurrió.
4	Ocasional o poco probable: Se sabe que ocurre ocasionalmente. La frecuencia de exposición al peligro es baja. Es poco probable que pueda ocurrir, pero no causaría sorpresa que ocurra. Ocurrió una o varias veces dentro de los últimos dos años.
8	Probable: Hay antecedentes cercanos. Es probable que ocurra. La exposición al peligro es evidente. Ocurrió en el último mes.

El riesgo es la posibilidad que un evento no deseado ocurra. Definimos entonces el riesgo como el producto entre la “Consecuencia posible” y la “Probabilidad de ocurrencia” de dicha consecuencia posible. Para la valoración se utiliza el siguiente cálculo:

$$\text{Nivel de riesgo} = \text{Consecuencia} \times \text{Probabilidad}$$

El resultado obtenido de este cálculo sirve para asociar ese nivel de riesgo a una acción directa. Se usa la escala que se muestra a continuación:

PROBABILIDAD GRAVEDAD	1 = IMPROBABLE	2 = REMOTO	4 = OCASIONAL	8 = PROBABLE
1 = INSIGNIFICANTE	1	2	4	8
2 = DAÑINO	2	4	8	16
4 = CRÍTICO	4	8	16	32
8 = CATASTRÓFICO	8	16	32	64

Para cada uno de los riesgos, se tiene una acción asociada. A continuación, se detalla la acción recomendada para cada puntuación:

PUNTAJE DE RIESGO	GUIA DE ACCIONES RECOMENDADAS
1	No se requiere acción ni es necesario conservar registros
2	No se requieren controles adicionales. Se debe dar consideración a las soluciones más efectivas en costo-beneficio.
4	Se deben realizar esfuerzos para reducir el riesgo, pero Los costos de prevención deben ser medidos y limitados. Las medidas de prevención deben registrarse.
8	El trabajo puede continuar, pero tomando disposiciones para reducir el riesgo de lesión. Se debe documentar y seguir un plan de acciones.
16	Se deben emplear recursos considerables para reducir el riesgo. Si se trata de trabajos en marcha se debe reducir el riesgo de lesiones antes de continuar. Se debe documentar y seguir el plan de acciones.
32	El trabajo no debe comenzar ni continuar mientras que el riesgo de lesiones no se haya reducido, aun cuando se requieran recursos importantes. Se debe documentar y seguir el plan de acciones.
64	El trabajo debe permanecer prohibido mientras el riesgo no se reduzca. Se debe documentar y seguir el plan de acciones.

Resultado de la evaluación

Se obtienen los siguientes riesgos relacionados con nuestra actividad:

SECTOR	LUGAR	DESCRIPCIÓN	Magnitud de Riesgo
Acceso a planta	Calle interna	El acceso a la planta de los camiones por el acceso a la misma presenta un riesgo potencial para las personas que circulan por la senda peatonal durante el ingreso a la planta, ya que el camión al girar, debido a las dimensiones del mismo	16
Toda la planta	Calle interna	Durante la movilización con autoelevadores del producto envasado	16
Balanza	Balanza	Durante la toma de muestras del látex, se pueden producir salpicaduras.	8
Toda la planta	Toda la planta	Instalación eléctrica distribuida por toda la planta, toma corrientes de alimentación de maquinarias, herramientas eléctricas, computadoras, etc.	16
Proceso	Edificio de proceso	Posibles incendios debido al polietileno utilizado en los envases	16
Toda la planta	Toda la planta	Posibles incendios debido a material combustible (papel, cartón) utilizados.	16
Proceso	Secado - envasado	Debido a los riesgos presentados por la papaína.	8
Toda la planta	Toda la planta	Durante el traslado por la planta, debido a pisos resbaladizos y desniveles provocados por los accesos a las oficinas, edificios.	8
Toda la planta	Toda la planta	Posible exposición debida a las situaciones del trabajo.	8
Envasado	Envasado	Debido al levantamiento manual del producto envasado	16
Toda la planta	Toda la planta	Debido a estructuras presentes en los diferentes sectores de la planta	4
Proceso	Vaporax	Posibles quemaduras por el vapor, en caso de perdidas	8
Proceso	Tanques de soda cáustica y ácido acético	Salpicadura con soda cáustica y ácido acético en caso de derrames o durante la carga	16
Mantenimiento	Toda la planta	Quemaduras al realizar tareas de corte y soldadura	16
Proceso/mantenimiento	Proceso/mantenimiento	Exposición debido al ruido generado por las máquinas tanto fijas como portátiles	8
Mantenimiento	Toda la planta	Posibilidad de inhalar humos metálicos durante soldaduras	16
Mantenimiento	Proceso	Posibilidad de caídas de personas en altura durante mantenimiento preventivo /correctivo en tanques	16
Proceso	Envasado	Posibilidad de caída del envase terminado durante la manipulación	4
Proceso	Tanques	Posibilidad de lesión durante el uso de herramientas manuales	4
Mantenimiento	Toda la planta	Posibles quemaduras por el arco de la soldadura	8

Se detallan en las siguientes páginas las acciones propuestas para la mitigación de cada riesgo en particular.

Aspectos para considerar

- Sistema Globalmente Armonizado:

El SGA está destinado al manejo integral de los productos químicos. Clasifica y etiqueta los productos químicos de forma que la comprensión de los peligros relacionados a ellos sea más fácil y accesible. Según la Res. 801/15 (SRT) todos los empleadores deberán aplicar el SGA en sus acciones de capacitación, etiqueta y señalización dentro del establecimiento.

En nuestro emprendimiento, cumpliendo este requisito, las MSDS de los productos químicos utilizados estarán disponibles para todos los empleados. Se etiquetarán y señalizarán los tanques y los lugares donde sea probable una interacción entre el químico y el trabajador. Esto será colocando los pictogramas pertinentes junto con la ficha de seguridad impresa y plastificada.

- Baños y vestuarios

Según la regulación vigente, se tendrán en cuenta los siguientes incisos:

- Artículo 46. — Todo establecimiento dispondrá de servicios sanitarios adecuados e independientes para cada sexo, en cantidad proporcionada al número de personas que trabajen en él.
- Artículo 49. — En todo establecimiento, cada unidad funcional independiente tendrá los servicios sanitarios proporcionados al número de personas que trabajan en cada turno. De 11 hasta 20 trabajadores habrá: Para hombres: un inodoro, dos lavabos, un orinal y dos duchas con agua caliente y fría. Para mujeres: un inodoro, dos lavabos y dos duchas con agua caliente y fría.
- Artículo 51. — Todo vestuario debe hallarse equipado con armarios individuales para cada uno de los obreros del establecimiento. En aquellos lugares donde se realizan procesos o se manipulen sustancias tóxicas, irritantes o agresivas en cualquiera de sus formas, los armarios individuales serán dobles, uno destinado a la ropa de calle y el otro a la de trabajo.

- Artículo 52. — Cuando la empresa destine un local para comedor, deberá ubicarse lo más aisladamente posible del resto del establecimiento, preferiblemente en edificio independiente. Los pisos, paredes y techos, serán lisos y susceptibles de fácil limpieza, tendrán iluminación, ventilación y temperatura adecuada.

En base al cumplimiento del decreto 351/79, la empresa cuenta con locales destinados a baños y vestuarios, separados por sexo. El baño de hombres cuenta con lo siguiente: un inodoro, dos lavabos, un orinal y dos duchas con agua caliente y fría. El baño de mujeres cuenta con: un inodoro, dos lavabos y dos duchas con agua caliente y fría. Cada uno cuenta con 2 lockers de 2 x 3 (12 lockers en total), con medidas de 100 cm de alto, por 40 cm de ancho y 50 cm de profundidad, con divisiones para que el personal pueda guardar sus pertenencias en forma separada, en una división la ropa de calle y en la otra la ropa de trabajo.

- Agua potable
- Artículo 57. — Todo establecimiento deberá contar con provisión y reserva de agua para uso humano.
- Según el decreto 351/79, se entiende por agua para uso humano la que se utiliza para beber, higienizarse o preparar alimentos y cumplirá con los requisitos para agua de bebida aprobados por la autoridad competente.

De no cumplimentar el agua la calificación de apta para uso humano, el establecimiento será responsable de tomar de inmediato las medidas necesarias para lograrlo. Si el agua para uso industrial no es apta para uso humano, se adoptarán las medidas preventivas necesarias para evitar su utilización por los trabajadores y las fuentes deberán tener carteles que lo expresen claramente.

Donde la provisión de agua apta para uso humano sea hecha por el establecimiento, éste deberá asegurar en forma permanente una reserva mínima diaria de 50 litros por persona y jornada.

En nuestro establecimiento se le suministrará a todo el personal agua potable envasada por una empresa tercerizada, la cual proveerá la cantidad necesaria para el consumo de este. Dicha empresa presentará mensualmente los análisis bacteriológicos según el decreto 351/79, y un análisis físico-químico anual, cumpliendo la normativa vigente. El agua para consumo humano será provista por el suministro de red de la distribuidora local.

- Servicios de Medicina y de Higiene y Seguridad en el Trabajo
- Art. 3° — A los efectos del cumplimiento del artículo 5° apartado a) de la Ley N° 19.587, los establecimientos deberán contar, con carácter interno o externo según la voluntad del empleador, con Servicios de Medicina del Trabajo y de Higiene y Seguridad en el Trabajo, los que tendrán como objetivo fundamental prevenir, en sus respectivas áreas, todo daño que pudiera causarse a la vida y a la salud de los trabajadores por las condiciones de su trabajo, creando las condiciones para que la salud y la seguridad sean una responsabilidad del conjunto de la organización. Dichos servicios estarán bajo la responsabilidad de graduados universitarios, de acuerdo con el detalle que se fija en los artículos 6° y 11 del presente.

La empresa contará con servicio externo de higiene y seguridad en el trabajo, realizado por un licenciado en higiene y seguridad, el cuál cumplirá 3 horas mensuales en el establecimiento con la finalidad de prevenir accidentes y enfermedades profesionales, identificación de situaciones de riesgo y mejorando las condiciones de seguridad. A su vez, se contratará un servicio de emergencias privada, el cual forma parte del parque industrial donde se encuentra localizada la empresa. Esto parte de la cantidad de trabajadores equivalentes, que son 10 trabajadores equivalentes (6 en la parte afectada al proceso) y 7 personas administrativas. Esto se da en el marco del cumplimiento del decreto 1338/96, cumpliendo con las horas profesionales exigidas en el mismo debido a la naturaleza de las actividades de la empresa y la cantidad de trabajadores equivalentes.

- Iluminación y ventilación

Una buena iluminación es fundamental para realizar correctamente las tareas dentro de la empresa, mantener orden y limpieza de las instalaciones, evitar la fatiga visual y evitar detrimento en la vista de los trabajadores. La misma se encuentra en cumplimiento de la normativa legal (decreto 351/79, anexo IV, capítulo 12). La iluminación debe encontrarse bien distribuida, evitando conos de sombra producidos por cañerías, tanques, soportes, etc.

En la empresa, la medición de iluminación en el ambiente laboral se realizará según protocolo 84/2012. Esto es anual y llevado a cabo por el responsable del servicio de higiene y seguridad contratado.

La ventilación contribuye a mantener las condiciones en los ambientes laborales con el objetivo de evitar perjuicio en la salud de los trabajadores. Se utilizará un sistema de ventilación mecánico, con el caudal y frecuencia necesarias, dando cumplimiento a la normativa legal vigente (decreto 351/79). La misma posee filtros para evitar contaminar el ambiente con contaminantes existentes en el proceso, debida a la operación normal de la planta. La entrada y salida de aire se controlará periódicamente, con el fin de verificar su perfecto estado, evitando el ingreso a la instalación de plagas. Los filtros se renovarán periódicamente, para contribuir al buen funcionamiento del sistema de ventilación.

- Permisos de trabajo

Todo trabajo que cuente con riesgos especiales (trabajos en caliente, en espacios confinados, en altura o con tensión) deberán redactar el/los permisos para los riesgos asociados a la tarea. Los mismos deberán ser analizados por el responsable de la tarea, en conjunto con el responsable de higiene y seguridad, con la finalidad de identificar los riesgos, y brindar las medidas preventivas tendientes a prevenir accidentes y/o enfermedades profesionales.

A su vez, mantenimiento deberá realizar un permiso de trabajo, para cada tarea que tenga que realizar fuera de su sector, con el fin de consignar el sector donde va a trabajar.

- Mediciones y programa de monitoreo

El programa de monitoreo tiene la finalidad de demostrar que la empresa mantiene el cumplimiento de la normativa legal durante el tiempo, debido a que las condiciones ambientales de trabajo son variables y los equipos se deterioran con el tiempo, es necesario mantener un seguimiento sobre estas variables.

- Ruido: Se realizará una medición anual sobre los niveles de ruido dentro de la organización, según el protocolo 85/2012, protocolo para la medición del nivel de ruido en el ambiente laboral. La misma será realizada por el responsable de higiene y seguridad de la organización. Durante las acciones correctivas tendientes a la adecuación o en aquellos sectores donde no pueda ser mejorado, se utilizará protección auditiva de copa.
- Material particulado: Se realizará una medición anual sobre concentración de contaminantes dispersos en el ambiente de trabajo (aerosoles) a través de la contratación de un laboratorio competente en el tema.
- Puesta a tierra: Se realizará una medición anual de continuidad de puesta a tierra en toda la instalación, la misma será realizada por un ingeniero eléctrico, según la resolución 900/2015.
- Carga térmica: Se realizará una medición anual de carga térmica, mediante una empresa tercerizada que cuente con la instrumentación necesaria, para identificar la presencia o no la carga térmica en nuestra organización, determinando el porcentaje de trabajo y descanso necesarios dependiendo de los resultados obtenidos.
- Riesgo ergonómico: Se realizará una evaluación del riesgo ergonómico en los puestos de trabajo de la organización, según resolución 886/2015, protocolo de ergonomía. La misma sirve para identificar el riesgo ergonómico y será realizada por el responsable de higiene y seguridad contratado por la organización, utilizándose un método ergonómico específico para cada tarea, dependiendo los riesgos identificados con las planillas 1 y 2 de dicha resolución.

- Plan de emergencia y evacuación

Este plan contempla y contiene las instrucciones que se deben implementar en el manejo de equipos y medios de lucha contra incendios. El personal recibirá capacitación, según plan de capacitación en la prevención y extinción de incendios, realizarán prácticas con los equipos existentes en planta, en conjunto con el plan de emergencias de la organización.

Se realizará una vez al año un simulacro, donde participará todo el personal, entrando en contacto con organizaciones vecinas del parque industrial, bomberos, servicios de emergencia, defensa civil, policía, etc. Posteriormente se elaborará el informe correspondiente de evaluación de estos, resaltando las fortalezas detectadas y los aspectos a mejorar.

Por la cantidad de personas, no se formará una brigada de emergencia, pero todo el personal estará capacitado. Se elaborará un plan de emergencia de planta con el objetivo de que el personal cuente con el conocimiento de cómo actuar al momento de declararse una emergencia.

La instalación cuenta con una salida de emergencia ubicada en el edificio de proceso, la misma cuenta con 2 anchos mínimos (1,10 metros) debido a que es un edificio nuevo y por el factor de ocupación cumple con la normativa legal vigente. A su vez, todas las puertas de las oficinas, como de todos los sectores internos poseen sistemas antipánico y abren en el sentido de circulación de salida.

- Plan de monitoreo y exámenes periódicos del personal

Se realizarán los exámenes médicos obligatorios según la normativa 37/2010. Los exámenes médicos periódicos son realizados por la Aseguradora de Riesgos del Trabajo (ART) y el servicio de medicina laboral contratado, evaluará los resultados obtenidos.

- Riesgo de incendio

La empresa cuenta con unidades extintoras, de tipo ABC de polvo químico seco, distribuidos a 20 metros de distancia y extintores de anhídrido carbónico en tableros eléctricos, dando cumplimiento a la normativa legal vigente. A su vez la organización tiene un compromiso de reducir la cantidad de material inflamable o combustible a utilizar, para reducir la carga de

fuego y prevenir la generación de focos de incendios. A su vez dicho material debe permanecer a 10 metros mínimo de cualquier fuente de calor.

Plan de capacitación

El plan de capacitación representa un instrumento con el cual la empresa define las prioridades de capacitación de su personal. Es un proceso educativo aplicado de manera ordenada y sistemáticamente, a través del cual el personal de la empresa adquiere conocimientos o adquiere habilidades relacionadas con su trabajo.

Para cualquier empresa, su activo más valioso son sus recursos humanos, ya que es su personal quien lleva las actividades necesarias para obtener los productos o servicios que ofrece la misma. De esto se desprende la importancia de mantener motivada y comprometida con la organización a su fuerza laboral. En este punto es que la capacitación se vuelve una herramienta fundamental para lograr mantener, cambiar o modificar las actitudes durante la realización de su trabajo dentro de la organización. Su importancia radica en ser el primer eslabón en la cadena de formación de la cultura organizacional e identidad de la empresa.

En nuestro emprendimiento se presentará un plan mandatorio para todo el personal. Los objetivos de esta son los siguientes:

- Tener personal preparado para las tareas a desarrollarse.
- Generar cultura de seguridad dentro de la organización, donde todas las actividades prioricen las medidas de seguridad.
- Brindar oportunidad de desarrollarse personalmente dentro de la empresa y contribuir a la formación de personal calificado.
- Modificar actitudes para generar un clima laboral agradable y generar motivación en el personal.

La modalidad de las capacitaciones será en bloques de 1 hora de duración con una evaluación final para demostrar los conocimientos adquiridos. A continuación, se muestra un cronograma modelo de las temáticas a tratar:

Actividad	e n e	f e b	m a r	a b r	m a y	j u n	j u l	a g o	s e p	o c	d i	Personal afectado
Prevención de riesgo químico	X											Todos
Uso correcto de EPP		X										Todos
Prevención de accidentes			X									Todos
Riesgo de incendio, clasificación de fuegos, uso de extintores				X								Todos
Prevención de riesgo eléctrico					X							Todos
Levantamiento y manipulación manual de cargas						X						Proceso
Riesgos ergonómicos en la oficina							X					Administrativos
Seguridad en las manos								X				Todos
Primeros auxilios									X			Todos
Procedimientos de trabajo procesos										X		Proceso
Procedimientos de trabajo mantenimiento											X	Mantenimiento

Seguridad biológica

En todo lo referido a la seguridad biológica, debemos asegurar principalmente que el producto sea inocuo. Para que esta afirmación se cumpla, se requiere colocar muchos recursos, esfuerzos y mecanismos que hacen al control del proceso. Si bien representa una inversión económica que es necesaria desde el inicio, tales como mantenimientos preventivos, mucha formación del personal, protocolos de limpieza y desinfección, aplicación de HACCP, control de proveedores, etc., se logra una economización en el largo plazo. Las limpiezas y desinfecciones se vuelven más sencillas y más cortas, debido a que los equipos se limpian con mayor facilidad, hay menos riesgo de contaminación, menos reclamos de producto, menos uso de soluciones para limpiar, entre otros.

Para que un diseño sea considerado higiénico, se deben incorporar ciertas características que reducen o eliminan el riesgo de constituir una fuente de contaminación para los productos, tanto en forma directa como indirecta. Uno de los principales aspectos a tener en cuenta en nuestro establecimiento será el de mantener la línea de producción lo más limpia posible antes de arrancar un nuevo lote. Para lograr los objetivos nombrados, tendremos en cuenta diferentes principios generales de diseño

Principios generales de diseño higiénico de equipos

- Los materiales seleccionados para los equipos de proceso deben ser estables e inertes ante el producto y ante los agentes de limpieza y desinfección.

Para esto es fundamental conocer a qué condiciones va a estar sometido el material elegido (temperatura, presión, contacto con abrasivos, etc.). Una mala elección de material, por ejemplo, puede llevar a una contaminación del producto si una junta se va rompiendo y los fragmentos aparecen en el producto final. Otra consecuencia de una junta defectuosa es que haya contacto entre el ambiente exterior y el producto. Hoy hay un amplio abanico de materiales, aptos para todas las circunstancias y para todos los usos, pero hay que conocer las limitaciones de cada uno y elegir el más adecuado.

- Las superficies deben ser fácilmente limpiables y desinfectables.

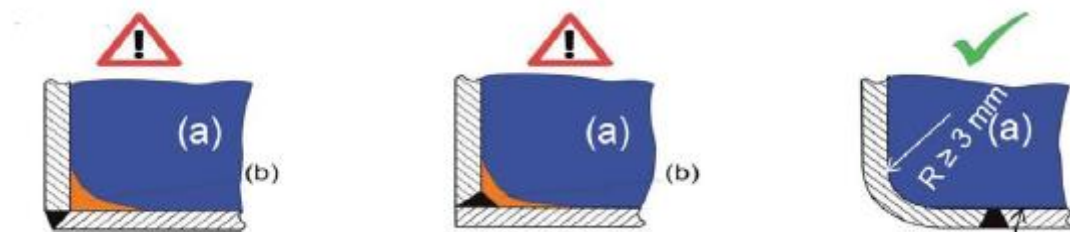
Este criterio puede parecer sencillo de ejecutar, pero en la práctica no siempre resulta tan directo. Por ejemplo, la superficie debe ser lisa para que sea fácilmente lavable, pero la dificultad radica en qué se entiende como “liso”. En general, se suele establecer una rugosidad superficial de 0.8 micras como máximo. Esta rugosidad es una media entre la altura de los picos y la profundidad de los valles. No es difícil de alcanzar con aceros inoxidables y polímeros, que son los materiales de nuestros equipos de procesos.

A nivel patógenos, el principal enemigo son las bacterias que, si bien tienen diferencias en forma y volumen, se puede decir que tienen un tamaño medio de 1 micra. Por esto se toma la rugosidad de 0.8. Otro problema relacionado con la rugosidad son las soldaduras, pulir un cordón de soldadura adentro de una tubería se vuelve imposible. Por eso es muy importante la ejecución de la soldadura con la técnica adecuada para forma higiénica.

- Los ángulos internos y rincones deben poder limpiarse y desinfectarse con efectividad.

Cuando hay equipamientos que tienen esquinas de 90° o incluso menos, se acumula suciedad

y esto es muy complicado de limpiar. En los casos en que hay que unir dos chapas en ángulo recto, conviene doblar una de las chapas y desplazar el punto de soldadura a un lugar donde sea más fácil de soldar y pulir. La recomendación para diseño higiénico es que las esquinas deben tener un radio superior a 3mm para que se puedan limpiar bien.



- Las zonas muertas deben evitarse

Si es posible, deben ser drenables, limpiables y desinfectables. Una zona muerta es considerada como una parte de la instalación que se ensucia durante el procesado debido a que el producto pasa por ahí y que cuesta limpiar. En este tipo de industria es habitual que en las líneas de productos líquidos haya picos, conexiones a elementos de medición, etc. Cuando se dimensiona el CIP, además de temperaturas y tiempos, se establecen los caudales para que dentro de la cañería haya una velocidad de por lo menos 1.5 m/s. El inconveniente es que en las zonas consideradas muertas se reduce mucho la velocidad y no llega a ser suficiente para limpiar bien. Si la zona permanece así, se genera el riesgo para la siguiente producción. Por eso se debe buscar en el mercado diseños para instrumentos, piping y equipos que sean compatibles con evitar zonas de este tipo.

- Uniones estancas e higiénicas

Si bien el principal motivo de una unión estanca es que no se pierda producto, el otro motivo es que no ingrese contaminación del exterior. Que sean higiénicas en cambio se refiere a que la superficie interna también sea lisa y fácil de limpiar. Esto es un punto crítico a considerar. En nuestro proceso se utilizarán uniones higiénicas similares a las provistas por Alfa Laval.



- La maquinaria debe ser autodrenable.

Esto quiere decir que cuando termina el proceso de limpieza y desinfección la instalación debe quedar vacía. Si queda agua de enjuague, esto genera el medio perfecto para que crezcan microorganismos y además hasta se puede generar corrosión, incluso en el acero inoxidable.

- Los edificios deben constituir una barrera para la entrada de plagas y otros contaminantes.

El diseño acapara también a todo el entorno del proceso productivo, obra civil, suelos, zócalos, ventanas, tratamiento de aire, etc. En nuestro layout se tuvo en cuenta la doble puerta de acceso al edificio de producción, por ejemplo, y el filtrado de aire. La idea es que el edificio sea la principal barrera entre las plagas y el producto.

Otro punto tenido en cuenta aquí es que se ideó el diseño para que el flujo de productos, personas y residuos no se cruce. Se establecieron distintas rutas para evitar al máximo la contaminación cruzada.

Herramientas y sistema de calidad

Al ser nuestro producto un aditivo que se incorpora en distintos alimentos, como cerveza o carne, la elaboración debe cumplir con todo lo establecido en el Código Alimentario Argentino. A nivel nacional se administra por el SENASA.

De acuerdo al CAA, los principios esenciales de higiene de los alimentos son aplicables desde la producción primaria hasta el consumidor final. Para lograr el objetivo de que sean inocuos y aptos para el consumo humano se recomienda la aplicación de criterios basados en el sistema de HACCP. Por otro lado, las normas ISO 9000 son los estándares de uso más amplio para el aseguramiento de la calidad.

Nuestro establecimiento tomará como referencia ambos sistemas. Resulta muy importante la responsabilidad y compromiso por parte del personal y operarios respecto al mantenimiento, limpieza de la zona de trabajo, cuidado y aseo personal, y cumplimiento de las normas de higiene y limpieza.

El Sistema HACCP, que para nuestro país es de decisión voluntaria, cuenta con prerequisites que son de cumplimiento obligatorio. Los prerequisites son:

- Aplicación de Buenas Prácticas de Manufactura. (BMP o GMP)
- Procedimientos Estándares de Operación Sanitaria (POES o SSOP).

Estos prerequisites incluyen: diseño higiénico de las instalaciones, diseño del flujo operacional (lay out), mantenimiento de las instalaciones, diseño y mantenimiento higiénico de equipos, provisión de agua potable, higiene de la materia prima y operaciones, disposición adecuada de los desechos, control de plagas, manejo de sustancias tóxicas y productos químicos, higiene del personal, capacitación de todos los niveles.

Para poder documentar BPM y POES se creará un Manual de Calidad de nuestro emplazamiento. Este contendrá la política de los objetivos de estos programas, un documento de cada uno de los procedimientos que se aplican y distintos Instructivos Internos que corresponderán al desarrollo de cada operación en particular.

Algunas consideraciones especiales de BMP con respecto al edificio son:

- Techos y cielorrasos: Si el techo corresponde a un galpón o estructura que pueda albergar partículas, o desprender partículas sobre el producto, el cielorraso es muy necesario.

Deberán estar contruidos y/o acabados de manera que se impida la acumulación de suciedad y se reduzca al mínimo la condensación y la formación de mohos, y deberán ser fáciles de limpiar.

- Paredes: Se deben poner azulejos o pintura lavable hasta 1,80 metros desde el nivel del piso en los sectores de producción.
- Pisos: deben ser lavables, pueden ser de cerámicos o de pintura epoxi.

Control de contaminación y medio ambiente

Nuestra empresa debe adaptarse y radicarse según lo dispuesto por las diferentes normativas, leyes y disposiciones que la provincia de Misiones haya establecido con respecto a los residuos, contaminantes y efluentes.

Para nuestro tipo de industria, hay dos puntos importantes desde el punto de vista ambiental. Ambos puntos se relacionan con la limpieza de los equipos. Estos son: alto consumo de agua y generación de efluentes líquidos que poseen sustancias nocivas para el medio ambiente, como álcalis, ácidos y alta carga orgánica en el agua de lavado.

Normativa ambiental de la provincia de Misiones

Impacto Ambiental

LEY XVI – 35 (antes Ley 3079/93). Ley de Impacto Ambiental. Modificada por Ley 4183.

Resolución 464/08. Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental para todo tipo de proyectos.

Industrias

Ley 2267/85. Régimen de Radicación y Habilitación Industrial. Decreto reglamentario 966/87.

Ley XVI N° 135 – Programa de Responsabilidad Social y Ambiental Empresaria (ReSAE).

Aire

Decreto 2149/87 (modificado por Decreto 1666/89). Normas de Emisión de Efluentes Industriales líquidos, sólidos y gaseosos. Requisitos de calidad de efluentes.

Agua

Decreto Ley 1838/83. Aprovechamiento, conservación y preservación de los recursos hídricos.

Decreto 2149/87 (modificado por Decreto 1666/89). Normas de Emisión de Efluentes Industriales líquidos, sólidos y gaseosos. Requisitos de calidad de efluentes.

Suelos

Ley 3231/95. Conservación del Suelo

Residuos

Ley 2899/99. Prohíbe disposición, almacenamiento o ingreso de residuos radioactivos o peligrosos en el ámbito de la provincia.

Ley 3664/00. Adhesión a la Ley Nacional 24051/91 de Residuos Peligrosos.

Decreto 171/03. Plan Ambiental de Eliminación de Residuos Urbanos y Patológicos.

Ley 4274/06. Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, en base la Ley Nacional 25916.

Estudio de impacto ambiental

Según la Ley XVI – 35, “*las actividades reguladas por este régimen deberán contar con un estudio de impacto ambiental y su correspondiente informe de conclusiones*”.

Es por esto que a continuación, se coloca como primera medida la categorización de nuestro emprendimiento.

Texto de la Resolución 1639/2007

El Nivel de Complejidad Ambiental de un establecimiento industrial o de servicios deberá definirse por medio de:

$$NCA_{(inicial)} = Ru + ER + Ri + Di + Lo$$

(a) **Rubro (Ru).** De acuerdo con la clasificación internacional de actividades (CIIU Revisión 3, apertura a 6 dígitos) y según se establece en el ANEXO I, se dividen en tres grupos con la siguiente escala de valores:

- Grupo 1 = valor 1
- Grupo 2 = valor 5
- Grupo 3 = valor 10

Se toma grupo 2, elaboración de productos alimenticios. Valor 5

(b) **Efluentes y Residuos (ER).** La calidad (y en algún caso cantidad) de los efluentes y residuos que genere el establecimiento se clasifican como de tipo 0, 1, 2, 3 ó 4

Se toma Tipo 1 = valor 1

- Gaseosos: gases de combustión de hidrocarburos líquidos, y/o
- Líquidos: agua de proceso con aditivos y agua de lavado que no contengan residuos peligrosos o que no pudiesen generar residuos peligrosos. Provenientes de plantas de tratamiento en condiciones óptimas de funcionamiento, y/o
- Sólidos y Semisólidos: resultantes del tratamiento de efluentes líquidos del tipo 0 y/o 1. Otros que no contengan residuos peligrosos o de establecimientos que no pudiesen generar residuos peligrosos.

(c) **Riesgo (Ri).** Se tendrán en cuenta los riesgos específicos de la actividad, que puedan afectar a la población o al medio ambiente circundante, asignando 1 punto por cada uno, a saber:

- Riesgo por aparatos sometidos a presión;
- Riesgo acústico;
- Riesgo por sustancias químicas;
- Riesgo de explosión;
- Riesgo de incendio.

Se toma Riesgo acústico y riesgo por sustancias químicas. Valor = 2

(d) Dimensionamiento (Di). La dimensión del establecimiento tendrá en cuenta la dotación de personal, la potencia instalada y la superficie:

- Cantidad de personal: hasta 15 personas = valor 0; entre 16 y 50 personas = valor 1; entre 51 y 150 personas = valor 2; entre 151 y 500 personas = valor 3; más de 500 personas = valor 4.
- Potencia instalada (en HP): Hasta 25: adopta el valor 0; De 26 a 100: adopta el valor 1; De 101 a 500: adopta el valor 2; Mayor de 500: adopta el valor 3.
- Relación entre Superficie cubierta y Superficie total: Hasta 0,2: adopta el valor 0; De 0,21 hasta 0,5 adopta el valor 1; De 0,51 a 0,81 adopta el valor 2; De 0,81 a 1,0 adopta el valor 3.

Se toma valor 0: Cantidad de personas <15, Potencia instalada <25 HP, relación entre superficies <0.2.

(e) Localización (Lo). La localización del establecimiento, tendrá en cuenta la zonificación municipal y la infraestructura de servicios que posee.

Zona: Parque industrial = valor 0; Industrial Exclusiva y Rural = valor 1; el resto de las zonas = valor 2.

Infraestructura de servicios: Agua, Cloaca, Luz, Gas. Por la carencia de cada uno de ellos se asigna 0,5.

Se toma valor 0, ya que el emplazamiento es un parque industrial con todos los servicios.

$$NCA = 5 + 1 + 2 + 0 + 0 = 8$$

Texto de la resolución 481/2011: *“De acuerdo con los valores del NCA, que arrojen las combinaciones de variables establecidas, las industrias y actividades de servicio, se clasificarán con respecto a su riesgo ambiental, en:*

1. PRIMERA CATEGORIA (hasta 14,0 puntos inclusive)

2. SEGUNDA CATEGORIA (14, 5 a 25 puntos inclusive)

3. TERCERA CATEGORIA (mayor de 25). ”

Nuestro emprendimiento encuadra en la primera categoría. Según la normativa y la clasificación obtenida, los establecimientos clasificados en la 1° Categoría están exceptuados de realizar y presentar el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental para la obtención del Certificado de Aptitud Ambiental (CAA).

Bibliografía

- Baker, R. W. (2004). *Membrane Technology and applications* (2da ed.). John Wiley & Sons.
- Castelló Gómez, M. (s.f.). *Centrifugación industrial*. Universitat Politècnica de València.
- Chávez, J. O. (2012). *Estandarización del diseño de secaderos por aspersión de materiales pastosos*.
- Covacich, F. (2016). *Análisis de las condiciones de higiene y seguridad en una Pyme alimenticia*.
- Díaz, F. (2005). *Plan de Negocio para la Producción de Papaína en la Séptima Región*.
- Doran, P. M. (1995). *Bioprocess Engineering Principles*. Academic Press.
- Ezekiel Amri, F. M. (2012). Papain, a plant enzyme of biological importance: A review. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*.
- Foust, A. S. (s.f.). *Principios de Operaciones Unitarias* (2da ed.). CECSA.
- Gabelman, A. (2017). Crossflow membrane filtration essentials. *CHEMICAL ENGINEERING*.
- Geankoplis, C. (s.f.). *Procesos de transporte y operaciones unitarias* (3ra ed.). CECSA.
- Lambri, M. (2014). Mild process for dehydrated food-grade Papain powder from Papaya fresh pulp: lab scale and pilot plant experiments. *Chemical Engineering Transactions*.
- Masters, K. (s.f.). *Spray Drying Handbook* (3ra ed.). G. Godwin.
- Moerman, F. (2014). Cleaning in place (CIP) in food processing. *Hygiene in Food Processing: principles and practice*.
- Mujumdar, A. S. (s.f.). *Handbook of Industrial Drying*.
- Namaldi, A. (2005). *Obtaining durable enzyme powder via spray drying*.

- Perry, R. H. (s.f.). *Manual del Ingeniero Químico* (6ta ed.). McGRAW-HILL.
- Revilla Romero, D. (2018). *Sistema de limpieza CIP en una industria de fabricación de embutidos*.
- Sinnott, R. (2012). *Diseño en Ingeniería Química*. Reverté.
- Soro, R. (2014). El diseño higiénico de equipos e instalaciones como elementos clave para la inocuidad de alimentos. *La Alimentación Latinoamericana*.
- Tejeda, A. (s.f.). *Bioseparaciones* (2da ed.). PEARSON.
- Vite Codarlupo, P. D. (2021). *Determinación de las variables óptimas para la obtención de la papaína cruda a partir del látex de papaya*.

ANEXOS

Fecha de preparación 27-ene-2015

Fecha de revisión 29-ene-2021

Número de Revisión 3

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA**1.1 Identificador del producto**

Nombre del producto	<u>Papain, Carica Papaya Latex</u>
Cat No. :	J61875
Nº. CAS	9001-73-4
Nº. CE.	232-627-2
Número de registro REACH	-

1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Uso recomendado	Productos químicos de laboratorio.
Usos desaconsejados	No hay información disponible

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Empresa	Thermo Fisher (Kandel) GmbH Erlenbachweg 2 76870 Kandel Germany Tel: +49 (0) 721 84007 280 Fax: +49 (0) 721 84007 300
Dirección de correo electrónico	tech@alfa.com www.alfa.com Departamento de segurança do produto Tel. +049(0)7275 988687-0

1.4. Teléfono de emergencia

Carechem 24: +44 (0) 1235 239 670 (Multi-idioma, el número de emergencia las 24 horas)
Giftnotruf Universität Mainz / Veneno Centro de información Mainz
www.giftinfo.uni-mainz.de Telefon:+49(0)6131/19240

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla****CLP clasificación - Reglamento (CE) n ° 1272/2008****Peligros físicos**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación

Peligros para la salud

Corrosión o irritación cutáneas
Lesiones o irritación ocular graves

Categoría 2 (H315)
Categoría 2 (H319)

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

Sensibilización respiratoria
Toxicidad específica del órgano blanco - (única exposición)

Categoría 1 (H334)
Categoría 3 (H335)

Peligros para el medio ambiente

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación

Texto completo de las Indicaciones de peligro: ver la sección 16

2.2. Elementos de la etiqueta



Palabras de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H315 - Provoca irritación cutánea
H319 - Provoca irritación ocular grave
H334 - Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación
H335 - Puede irritar las vías respiratorias

Consejos de prudencia

P302 + P352 - EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes
P337 + P313 - Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico
P304 + P340 - EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar
P312 - Llamar a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico en caso de malestar
P280 - Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección
P332 + P313 - En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico

2.3. Otros peligros

No hay información disponible

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

3.1. Sustancias

Componente	Nº. CAS	Nº. CE.	Porcentaje en peso	CLP clasificación - Reglamento (CE) n ° 1272/2008
Papaína	9001-73-4	EEC No. 232-627-2	>95	Skin Irrit. 2 (H315) Eye Irrit. 2 (H319) Resp. Sens. 1 (H334) STOT SE 3 (H335)

Número de registro REACH

-

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

Texto completo de las Indicaciones de peligro: ver la sección 16

SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

4.1. Descripción de los primeros auxilios

Consejo general	Si persisten los síntomas, llamar a un médico.
Contacto con los ojos	Enjuagar inmediatamente con abundante agua, también bajo los párpados, durante al menos 15 minutos. Consultar a un médico.
Contacto con la piel	Lavar inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos. Si persiste la irritación cutánea, llamar a un médico.
Ingestión	Limpia la boca con agua y beber a continuación abundante agua. Consultar a un médico si se producen síntomas.
Inhalación	Transportar a la víctima al exterior. Si no respira, realizar técnicas de respiración artificial. Consultar a un médico si se producen síntomas.
Equipo de protección para el personal de primeros auxilios	Asegurarse de que el personal médico sea consciente de los materiales implicados, tomando precauciones para protegerse a sí mismos y para evitar extender la contaminación.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación. Los síntomas de una reacción alérgica pueden incluir erupción, picor, hinchazón, dificultad para respirar, sensación de hormigueo en las manos y los pies, mareos, aturdimiento, dolor de pecho, dolor muscular o enrojecimiento

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Notas para el médico Tratar los síntomas.

SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Esta sustancia no es inflamable; utilizar el agente más adecuado para extinguir el incendio circundante.

Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad

No hay información disponible.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o de la mezcla

No combustible. Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes. Mantener el producto y el recipiente vacío alejado de fuentes de calor e ignición.

Productos de combustión peligrosos

Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Como en cualquier incendio, llevar un aparato de respiración autónomo de presión a demanda MSHA/NIOSH (aprobado o equivalente) y todo el equipo de protección necesario.

SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Utilizar el equipo de protección individual obligatorio. Asegurar una ventilación adecuada. Evitar la formación de polvo.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

No debe liberarse en el medio ambiente.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Barrer y recoger en contenedores apropiados para su eliminación. Mantener en contenedores cerrados aptos para su eliminación.

6.4. Referencia a otras secciones

Consultar las medidas de protección en las listas de las secciones 8 y 13.

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Llevar equipo de protección individual/máscara de protección. Evitar la formación de polvo. Asegurar una ventilación adecuada. Evitar el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Evitar la inhalación y la ingestión.

Medidas higiénicas

Manipular respetando las buenas prácticas de higiene industrial y seguridad. Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos. No comer, beber ni fumar durante su utilización. Retirar y lavar la ropa y los guantes contaminados, por dentro y por fuera, antes de volver a usarlos. Lavar las manos antes de los descansos y después de la jornada de trabajo.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Mantener en un lugar fresco, seco y bien ventilado. Mantener el recipiente herméticamente cerrado. Para mantener la calidad del producto: Mantener refrigerado.

7.3. Usos específicos finales

Uso en laboratorios

SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1 Parámetros de control

Límites de exposición

Este producto, tal y como se ha suministrado, no contiene ningún material peligroso con límites de exposición laboral establecidos por las organismos reguladores específicos de la región

Valores límite biológicos

Este producto, tal como se suministra, no contiene ningún material peligroso con límites biológicos establecidos por los

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

organismos reguladores regionales específicos

Métodos de seguimiento

EN 14042:2003 Título de identificación: Atmósferas en los lugares de trabajo. Directrices para la aplicación y uso de procedimientos para evaluar la exposición a agentes químicos y biológicos.

Nivel sin efecto derivado (DNEL) No hay información disponible

Ruta de exposición	Efecto agudo (local)	Efecto agudo (sistémica)	Los efectos crónicos (local)	Los efectos crónicos (sistémica)
Oral Cutánea Inhalación				

Concentración prevista sin efecto (PNEC) No hay información disponible.

8.2 Controles de la exposición

Medidas técnicas

Usar sólo bajo un protector contra humos químicos. Asegurarse de que haya estaciones de lavado de ojos y duchas de seguridad cerca de la ubicación de la estación de trabajo.

Siempre que sea posible, deberán adoptarse medidas técnicas de control tales como el aislamiento o confinamiento del proceso, la introducción de cambios en el proceso o los equipos para reducir al mínimo la liberación o el contacto, y el uso de sistemas de ventilación adecuadamente diseñados, dirigidas a controlar los materiales peligrosos en su fuente

Equipos de protección personal

Protección de los ojos Antiparras (Norma de la UE - EN 166)

Protección de las manos Guantes protectores

Material de los guantes	Tiempo de penetración	Espesor de los guantes	Norma de la UE	Guante de los comentarios
Goma de nitrilo Neopreno Caucho natural PVC	Consulte las recomendaciones del fabricante	-	EN 374	(requisito mínimo)

Protección de la piel y el cuerpo Ropa de manga larga

Inspeccione los guantes antes de su uso

Por favor, observe las instrucciones en cuanto a la permeabilidad y el tiempo de adelanto que son provistos por el proveedor de los guantes. (Consulte al fabricante / proveedor para obtener información).

Asegurarse de que los guantes son adecuados para la tarea

química compatibilidad, destreza, condiciones de funcionamiento

También tener en cuenta las condiciones locales específicas bajo las cuales el producto es utilizado, tal como el

Quítese los guantes con cuidado para evitar contaminación de la piel.

Protección respiratoria

Cuando los trabajadores se enfrentan a concentraciones superiores al límite de exposición, deben utilizar respiradores certificados apropiados.

Para proteger a quien lo lleva, el equipo de protección respiratoria debe ajustarse correctamente y estar sometido a un uso y un mantenimiento adecuados

A gran escala / uso de emergencia

Utilice un NIOSH / MSHA o la norma europea EN 136 respirador aprobado si los límites de exposición son excedidos o irritación u otros síntomas son experimentados

Tipo de filtro recomendado: Filtro contra partículas conforme a la norma EN 143

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

Pequeña escala / uso en laboratorio Utilice un NIOSH / MSHA o la norma europea EN 149:2001 respirador aprobado si los límites de exposición son excedidos o irritación u otros síntomas son experimentados
Recomendado media máscara: - Partículas filtrar: EN149:2001
Al EPR se utiliza una prueba de ajuste de la máscara debe llevarse a cabo

Controles de exposición medioambiental No hay información disponible.

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Estado físico	Polvo(s) Sólido	
Aspecto	Beis	
Olor	No hay información disponible	
Umbral olfativo	No hay datos disponibles	
Punto/intervalo de fusión	No hay datos disponibles	
Punto de reblandecimiento	No hay datos disponibles	
Punto /intervalo de ebullición	No hay información disponible	
Inflamabilidad (líquido)	No es aplicable	Sólido
Inflamabilidad (sólido, gas)	No hay información disponible	
Límites de explosión	No hay datos disponibles	
Punto de Inflamación	No hay información disponible	Método - No hay información disponible
Temperatura de autoignición	No hay datos disponibles	
Temperatura de descomposición	No hay datos disponibles	
pH	4.8-6.2	1 in 50
Viscosidad	No es aplicable	Sólido
Solubilidad en el agua	Soluble	
Solubilidad en otros disolventes	No hay información disponible	
Coeficiente de reparto (n-octanol/agua)		
Presión de vapor	insignificante	
Densidad / Densidad relativa	No hay datos disponibles	
Densidad aparente	No hay datos disponibles	
Densidad de vapor	No es aplicable	Sólido
Características de las partículas	No hay datos disponibles	

9.2. Otros datos

Índice de Evaporación No es aplicable - Sólido

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1. Reactividad

Ninguno conocido, en base a la información facilitada

10.2. Estabilidad química

Estable en condiciones normales.

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas

Polimerización peligrosa No hay información disponible.
Reacciones peligrosas Ninguno durante un proceso normal.

10.4. Condiciones que deben evitarse

Evitar la formación de polvo. Productos incompatibles. Exceso de calor.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

10.5. Materiales incompatibles

Agente comburente.

10.6. Productos de descomposición peligrosos

Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1. Información sobre las clases de peligro definidas en el Reglamento (CE) n.o 1272/2008

Información del producto

(a) toxicidad aguda;

Oral

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación

Cutánea

No hay datos disponibles

Inhalación

No hay datos disponibles

Componente	DL50 Oral	DL50 cutánea	LC50 Inhalación
Papaina	LD50 > 4 g/kg (Rat)	-	-

(b) corrosión o irritación cutáneas; Categoría 2

(c) lesiones o irritación ocular graves; Categoría 2

(d) sensibilización respiratoria o cutánea;

Respiratorio

Categoría 1

Piel

No hay datos disponibles

Posibilidad de sensibilización por inhalación

(e) mutagenicidad en células germinales; No hay datos disponibles

(f) carcinogenicidad; No hay datos disponibles

Este producto no contiene componentes químicos reconocidos como carcinógenos

(g) toxicidad para la reproducción; No hay datos disponibles

(h) toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición única;

Categoría 3

Resultados / Órganos diana

Aparato respiratorio.

(i) toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición repetida;

No hay datos disponibles

Órganos diana

No hay información disponible.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

(j) peligro de aspiración;	No es aplicable Sólido
Síntomas / efectos, agudos y retardados	Los síntomas de una reacción alérgica pueden incluir erupción, picor, hinchazón, dificultad para respirar, sensación de hormigueo en las manos y los pies, mareos, aturdimiento, dolor de pecho, dolor muscular o enrojecimiento.

11.2. Información sobre otros peligros

Propiedades de alteración endocrina	Evaluar las propiedades de alteración endocrina en la salud humana. Este producto no contiene ningún alterador del sistema endocrino conocido o sospechoso de serlo.
-------------------------------------	--

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1. Toxicidad

Efectos de ecotoxicidad	No contiene sustancias nocivas para el entorno o no degradables en las estaciones de tratamiento de aguas residuales.
-------------------------	---

12.2. Persistencia y degradabilidad

Persistencia

Fácilmente biodegradable
Soluble en agua, La persistencia es improbable, en base a la información facilitada.

12.3. Potencial de bioacumulación

La bioacumulación es improbable

12.4. Movilidad en el suelo

El producto es soluble en agua y puede propagarse en sistemas acuosos. Probablemente será móvil en el medio ambiente debido a su solubilidad en agua. Altamente móvil en suelos

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB

No hay datos disponibles para la evaluación.
--

12.6. Propiedades de alteración endocrina

Información del alterador del sistema endocrino

Este producto no contiene ningún alterador del sistema endocrino conocido o sospechoso de serlo

12.7. Otros efectos adversos

Contaminantes Orgánicos Persistentes

Este producto no contiene ningún conocido o sospechado sustancia
--

Potencial de reducción de ozono

Este producto no contiene ningún conocido o sospechado sustancia
--

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Restos de residuos/productos sin usar

Los desechos están clasificados como peligrosos. Dispóngase de acuerdo a las Directivas Europeas sobre desechos y desechos peligrosos. Eliminar de conformidad con las normativas locales.
--

Embalaje contaminado

Deshágase de este recipiente en un punto de recogida de residuos especiales o peligrosos.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

Catálogo de Desechos Europeos	Según el Catálogo Europeo de Residuos, los códigos de residuos no son específicos del producto sino específicos de la aplicación.
Otra información	El usuario debe asignar códigos de residuos basándose en la aplicación para la que se utilizó el producto. No tirar los residuos por el desagüe.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

IMDG/IMO No regulado

- 14.1. Número ONU**
- 14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**
- 14.3. Clase(s) de peligro para el transporte**
- 14.4. Grupo de embalaje**

ADR No regulado

- 14.1. Número ONU**
- 14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**
- 14.3. Clase(s) de peligro para el transporte**
- 14.4. Grupo de embalaje**

IATA No regulado

- 14.1. Número ONU**
- 14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**
- 14.3. Clase(s) de peligro para el transporte**
- 14.4. Grupo de embalaje**

14.5. Peligros para el medio ambiente No hay peligros identificados

14.6. Precauciones particulares para los usuarios No se requieren precauciones especiales

14.7. Transporte marítimo a granel con arreglo a los instrumentos de la OMI No aplicable, productos envasados

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Inventarios internacionales

X = enumeran, Europa (EINECS/ELINCS/NLP), U.S.A. (TSCA), Canadá (DSL/NDSL), Filipinas (PICCS), China (IECSC), Japan (ENCS), Australia (AICS), Korea (ECL).

Componente	EINECS	ELINCS	NLP	TSCA	DSL	NDSL	PICCS	ENCS	IECSC	AICS	KECL
Papaina	232-627-2	-		X	X	-	X	-	X	X	KE-2776 5

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

Reglamento (CE) n.º 649/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos

No es aplicable

Reglamentos nacionales

Clasificación WGK

Clase de peligro para el agua = 2 (autoclasiificación)

Componente	Francia - INRS (cuadros de enfermedades profesionales)
Papaina	Tableaux des maladies professionnelles (TMP) - RG 63

15.2. Evaluación de la seguridad química

Un Seguridad Química Evaluación / Informe (CSA / CSR) no se ha llevado a cabo

SECCIÓN 16: OTRA INFORMACIÓN

Texto completo de las indicaciones H mencionadas en las secciones 2 y 3

H315 - Provoca irritación cutánea

H319 - Provoca irritación ocular grave

H334 - Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación

H335 - Puede irritar las vías respiratorias

Leyenda

CAS - Chemical Abstracts Service

EINECS/ELINCS : Inventario europeo de sustancias químicas comercializadas existentes/Lista europea de sustancias químicas notificadas

PICCS - Inventario de productos químicos y sustancias químicas de Filipinas

IECSC - Inventario chino de sustancias químicas existentes

KECL - Sustancias químicas existentes y evaluadas de Corea

WEL - Límites de exposición profesionales

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales)

DNEL - Nivel obtenido sin efecto

RPE - Equipos de protección respiratoria

LC50 - Concentración letal 50%

NOEC - Concentración sin efecto observado

PBT - Persistentes, bioacumulativas, tóxicas

TSCA - Ley de control de sustancias tóxicas (Toxic Substances Control Act) estadounidense, apartado 8(b), Inventario

DSL/NDL - Lista de sustancias domésticas/no domésticas de Canadá

ENCS - Inventario japonés de sustancias químicas existentes y nuevas

AICS - Inventario australiano de sustancias químicas (Australian Inventory of Chemical Substances)

NZIoC - Inventario de productos químicos de Nueva Zelanda

TWA - Tiempo Promedio Ponderado

IARC - Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer

Concentración prevista sin efecto (PNEC)

LD50 - Dosis Letal 50%

EC50 - Concentración efectiva 50%

POW - Coeficiente de reparto octanol: agua

vPvB - Muy persistente y muy bioacumulable

ADR - Acuerdo europeo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera

IMO/MDG - International Maritime Organization/International Maritime Dangerous Goods Code

OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo

BCF - Factor de bioconcentración (FBC)

Bibliografía fundamental y fuentes de datos

<https://echa.europa.eu/information-on-chemicals>

Los proveedores de datos de seguridad, ChemADVISOR - LOLI, Merck Index, RTECS

ICAO/IATA - International Civil Aviation Organization/International Air Transport Association

MARPOL - Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques

ATE - Estimación de la toxicidad aguda

COV (compuesto orgánico volátil)

Consejo de formación

Formación de concienciación sobre peligros químicos, cubriendo etiquetado, fichas de datos de seguridad, equipos de protección

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Papain, Carica Papaya Latex

Fecha de revisión 29-ene-2021

personal e higiene.

Uso de equipos de protección personal, cubriendo su correcta selección, compatibilidad, umbrales de penetración, cuidados, mantenimiento, ajuste y estándares EN.

Primeros auxilios pertinentes a la exposición a productos químicos, incluido el uso de estaciones de lavado de ojos y duchas de seguridad.

Preparado por	Departamento de seguridad del producto
Fecha de preparación	27-ene-2015
Fecha de revisión	29-ene-2021
Resumen de la revisión	SDS authoring systems update, replaces ChemGes SDS No. 9001-73-4.

**La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos del Reglamento (CE) No. 1907/2006
REGLAMENTO (UE) 2020/878 DE LA COMISIÓN por el que se modifica el anexo II del
Reglamento (CE) n.o 1907/2006**

Descargo de responsabilidad

La información facilitada en esta Ficha de Datos de Seguridad es correcta, a nuestro leal saber y entender, en la fecha de su publicación. Dicha información está concebida únicamente como guía para la seguridad en la manipulación, el uso, el procesamiento, el almacenamiento, el transporte, la eliminación y la liberación, no debiendo tomarse como garantía o especificación de calidades. La información se refiere únicamente al material específico mencionado y puede no ser válida para tal material usado en combinación con cualesquiera otros materiales o en cualquier proceso salvo que se especifique expresamente en el texto

Fin de la ficha de datos de seguridad



BTUX 305

Solids-discharging nozzle centrifuge for the biotechnological industries

The key to success in bridging the gap from the laboratory to commercial production is a pilot plant that delivers results that will be relevant when moving into full-scale production. Scaling-up involves compromises that often cannot be predicted in the laboratory. One rule in scale-up is to use the same type of centrifuge equipment in the small scale as is foreseen for the large scale production. Therefore, Alfa Laval has developed the BTUX 305TGD-34CDEP to facilitate scale-up to production size centrifuges of the same type, i.e. nozzle centrifuges with pressurized concentrate outlet, employed mainly for yeast and bacteria separation. The BTUX 305 is suitable for feed rates up to 2,500 l/h. Its system for Cleaning-in-Place (CIP) includes an intermittently operated, peripherally discharging system.

For biological hazards the system round the centrifuge can be designed for steam sterilization and contained operation, meeting the requirements of the NIH guidelines for BLS 2. Furthermore, Alfa Laval experience in hygienic equipment design and GMP manufacturing ensure the integrity of valuable biopharmaceuticals.

Applications

The machine is designed for clarification duty, separating particles from one liquid, especially shear sensitive particles. The sterilizability makes the machine suitable for most biotechnological separation duties. The solids content in the feed is normally in the range of 1–20 % by volume, but can vary between different duties.

Standard design

The machine consists of a frame that has a horizontal drive shaft, worm gear, lubricating oil bath and a vertical bowl spindle in the lower part. The bowl is mounted on top of the spindle, inside the space (bowl casing) formed by the upper part of the frame, the solids collecting cover and the frame hood. The bowl casing is double-walled for cooling and noise reduction. There is a mechanical seal at the top of the spindle to make sterilization with steam possible. For continuous pressurized discharge of separated solids the machine is fitted with a non-rotating device, a paring tube, positioned inside a central chamber, to which the separated solids flows through vortex nozzles.



BTUX 305 complete with motor

All metal parts in contact with the process liquid are made of stainless steel. For CIP, the bowl contains an automated hydraulic operating system for discharging. It is a system, in which the bowl content is emptied in connection with an automated CIP procedure. The discharge takes place at full speed without any interruption of feed of CIP liquids. The centrifuge is available with main connections as sanitary clamps and all other utility connections of clamp type. The electric motor is suitable for variable frequency drive, which makes it possible to have bowl speeds down to 62% of the maximum bowl speed. The design conforms to a number of EC directives, and the machine is made in accordance with the general directives for machinery. The machine is equipped with nozzles for flushing of the bowl top, the bowl bottom and the solids collecting chute.

Design features

- Self regulating vortex nozzles keeping the concentration of the discharged solids at a high and even level, making it possible to operate more near to the clogging point without increased risk of clogging.
- Two outlet designs available for different flow ranges.
- Disc inlet for gentle acceleration of the feed.
- Designed for easy cleaning-in-place (CIP) with an intermittently operating peripheral discharge solids-ejecting system.
- Design pressure of the bowl casing 300 kPa.
- Bowl casing and cooling jacket designed according to ASME or PED.
- Sterilizable (SIP) with 190 kPa steam during 30 mins, including discharge system.
- Most parts in contact with the process liquids available with two alternative surface finishes.
- Product wetted parts passivated (optional).
- All product wetted polymers and seal rings compliant with FDA regulation.

Operating principles

The feed is introduced to the rotating centrifuge bowl from the top (1), and is accelerated in a distributor with disc inlet (2) before entering the disc stack (3). It is between the discs that the separation takes place. The liquid phase moves towards the centre of the bowl, from where it is pumped out under pressure by means of a built-in pump disc (4). The heavier solids phase (concentrate) is collected at the bowl periphery, and from there it flows through channels (5) and internal vortex nozzles (6) into the paring tube chamber, where the concentrate is skimmed off by the paring tube (7) and discharged under pressure.

The bowl can be opened intermittently during production and/or the CIP cleaning cycle for ejection of solids while the machine continues to run at full speed. During normal production operating water keeps the sliding bowl bottom (8) closed against the bowl hood. During discharge the sliding bowl bottom is forced to drop down, thus opening the solids ports (9) at the bowl periphery. The bowl is mounted on a vertical spindle (10) driven by a horizontally mounted motor, via a worm gear.

Available models

These different surface finish executions are available:

	Ra 0,8	Ra 0,5	El.-polished
Inlet and outlet device	X		X
Bowl spindle	X		X
Separator bowl inside	X		X
Separator bowl outside	X		
Outlet device	X		X
Frame top part inside incl. solids collecting ring	X		

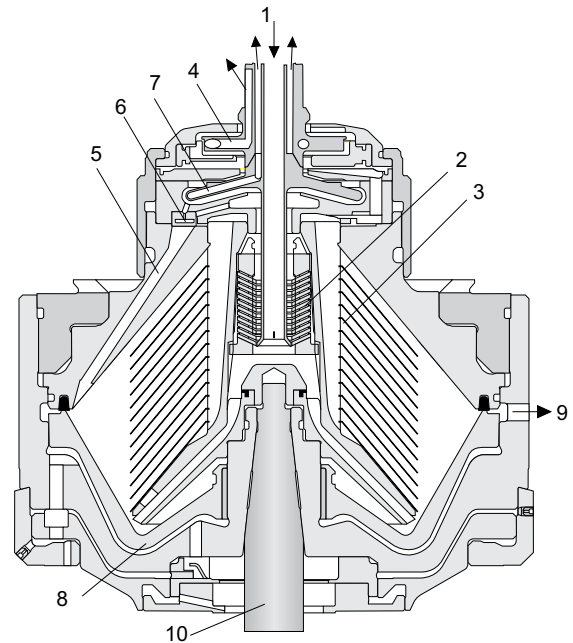
Material data

Bowl body, hood and lock ring	s.s 1.4462 UNS S 31803
Frame top part and hood (ASME)	s.s ASME S 31603
Frame top part and hood (PED) (for pressurised equipment)	s.s 1.4404
Frame bottom part	Cast iron
Inlet and outlet parts	s.s mostly 1.4401 UNS 31600
Gaskets and O-rings, product wetted	EPDM rubber ¹⁾
Bowl seal ring	Amid polymer 66 ²⁾
Seal rings in- and outlet	Resin impregn. Carbon Graphite ³⁾
Wear ring in- and outlet	FDA approved self-sintered Silicon Carbide

¹⁾ Acc. to FDA CFR 21§177.2600/1550 USP Class VI in optional service kit.

²⁾ Acc. to FDA CFR 21§177.1500 USP Class VI in optional service kit.

³⁾ Acc. to FDA CFR 21§177.2410.



Typical bowl drawing for a vortex nozzle centrifuge. Drawing details do not necessarily correspond to the centrifuge described.

Utilities consumption

Electric power	max. 6.5 kW ¹⁾
Flushing liquid per discharge	up to 10 l per discharge
Operating liquid for CIP	0.2–0.35 l per discharge
Steam @ 100 kPa pressure	5–10 kg per sterilization
Cooling liquid for frame parts	100–700 l/h
Cooling water for seals	60–300 l/h

¹⁾ At feed/nozzle flow of 2,500/800 l/h. Power consumption increases with feed and nozzle flow rates, and bowl speed.

Connections

Process (inlet and two outlets)	Clamp type, 25.1 mm ¹⁾
Cyclone (CIP outlet)	Clamp type, 64.1 mm ¹⁾
Utilities	Clamp type, various dimensions ¹⁾

¹⁾ According to ISO 2852.

Shipping data (approximate)

Centrifuge incl. bowl and motor	450 kg
Bowl	65 kg
Gross weight	600 kg
Volume	1.0 m ³

Technical specifications

Throughput capacity	max. 2,500 l/h ¹⁾
Solids handling capacity (nozzle flow rate)	max. 800 l/h ²⁾
Bowl volume	3.1 liters
Sludge space volume	max. 1.1 liters
Discharge volume	0.80–1.2 l
Bowl speed, separation	6,000–9,650 rpm
Bowl speed, sterilization	0 rpm
G-force	max. 12,750
Motor speed	max. 3,000 rpm
Motor power installed	7.5 kW
Starting time min/max	3 mins
Stopping time with motor brake	8 mins
Feed temperature range	0–100°C
Feed inlet pressure required at inlet flange	max. 10 kPa
Liquid outlet pressure at outlet flange	max. 400 kPa ³⁾
Sound pressure	77 dB(A) ⁴⁾
Overhead hoist lifting capacity	min. 100 kg

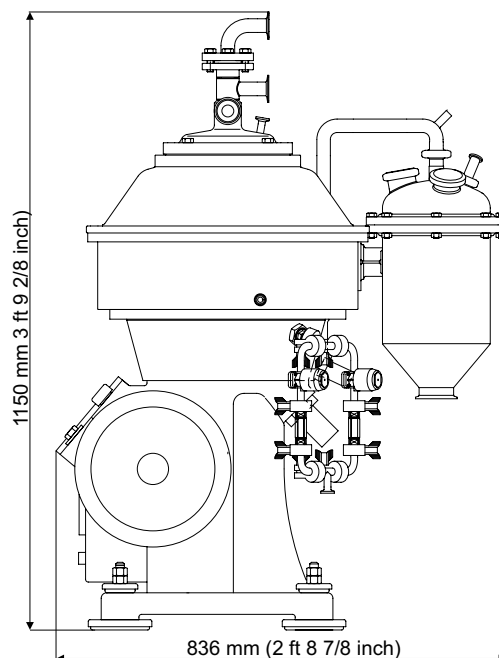
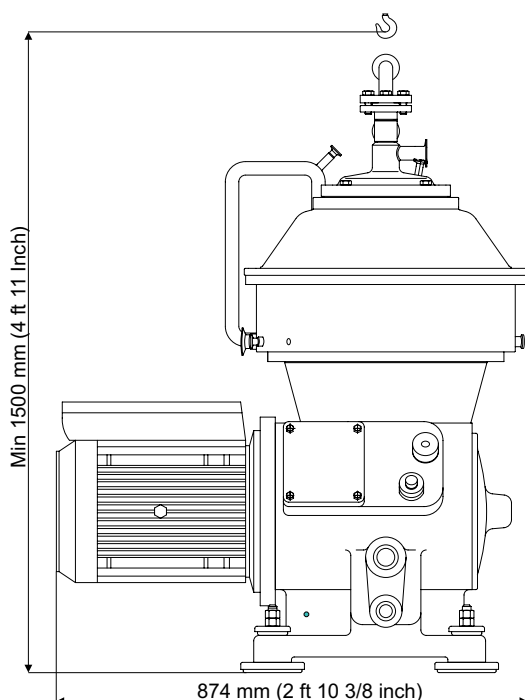
¹⁾ Actual throughput depends on amount and type of solids in the feed, viscosity and required degree of clarification.

²⁾ Wet solids. Actual flow depends on nozzle and vortex chamber dimensions.

³⁾ At 2,500 l/h and 9,650 rpm. Conventional paring disc. Decreasing with increasing flow rate and decreasing bowl speed.

⁴⁾ According to ISO 3744.

Dimensions



How to contact Alfa Laval

Up-to-date Alfa Laval contact details for all countries are always available on our website at www.alfalaval.com.

Membrane Filtration

Model U Membrane Filtration Pilot Plant

The Model U membrane filtration pilot plant is a flexible unit to perform pilot studies on the full range of membrane filtration technologies (MF, UF, NF and RO) under a wide range of operating conditions.

The pilot plant's standard configuration allows for testing with spiral polymeric membranes. It can also be equipped with other membrane configurations including ceramic, and tubular.

The plant is specially designed for continuous or semi-automatic mode of operation to simulate a multi-stage production plant. The plant can also be run in batch mode, semi-batch mode, or feed and bleed mode.

The Model U membrane filtration pilot plant is skid mounted and will be delivered with all the components required for quick installation and easy operation, including an operating manual with data sheet templates.



Standard Features

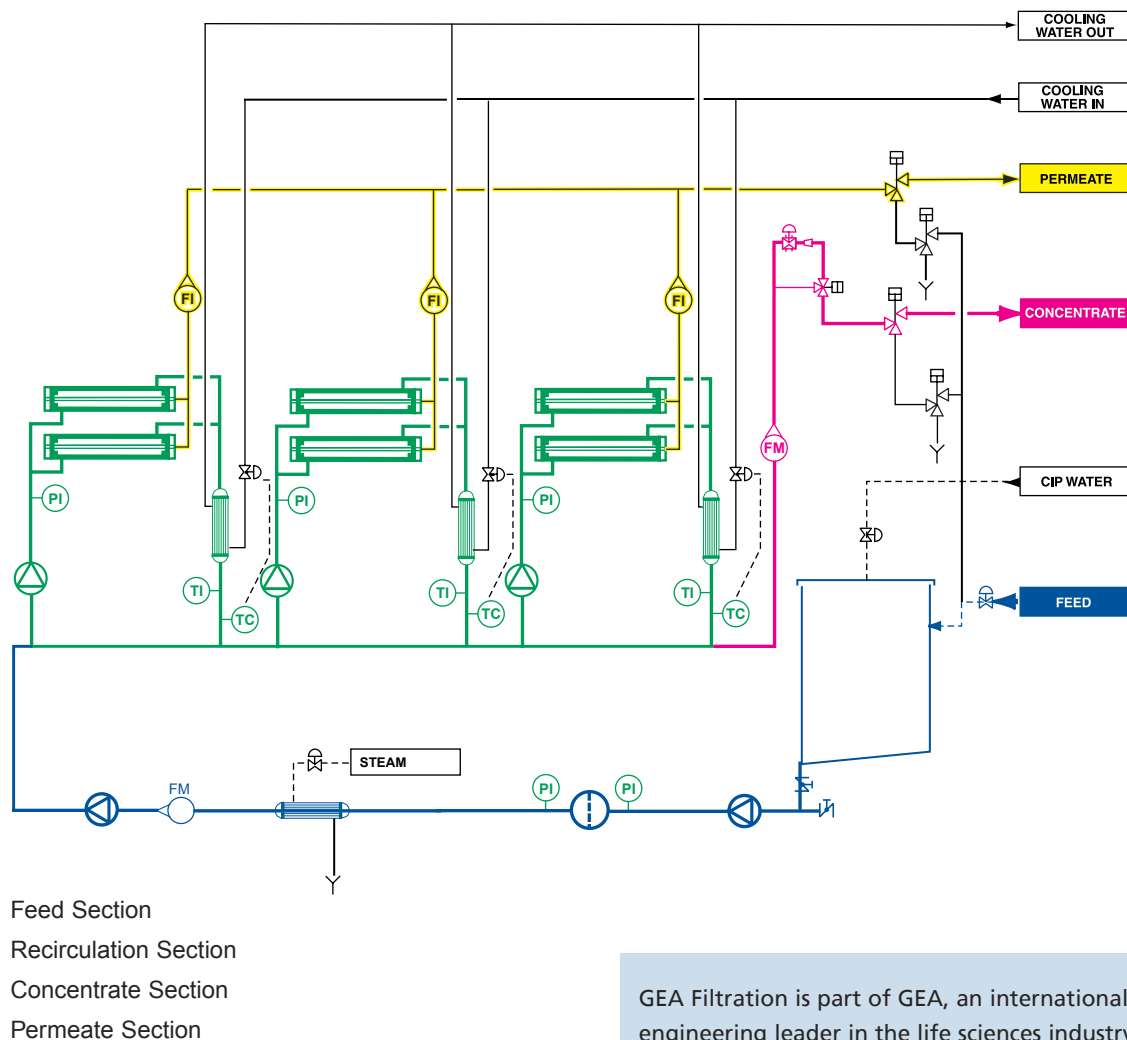
- Six, sanitary, spiral membrane housings
 - one membrane element per housing
 - 3.8" diameter, sanitary design elements
- 30 gallon tank
- Control loops
 - feed flow/pressure
 - temperature
 - tank level
 - concentrate ratio control
- Motor starters
 - variable frequency drive for feed pump
 - on/off starters for recirculation pumps
- Flow indicators
 - three, permeate rotameters
 - one, feed magmeter
 - one, concentrate magmeter
- Pressure and temperature gauges
- Four heat exchangers (1m²)
- Pressure relief valve
- 316L stainless steel construction
- Skid mounted

Operating Conditions

- Membrane Area
 - Spiral 4 to 56m²
- Permeate Capacity
 - Spiral 20 - 200 gallons/hour
- Pressure up to 600 psig
- Temperature up to 200°F

Optional Items

- 1,000 psig capability
- Industrial, spiral membrane housings
- Tubular polymeric membrane housings
- Other membrane configurations
- Pretreatment equipment
 - screens and depth filters
 - chemical feed systems
- Diafiltration



GEA Filtration is part of GEA, an international process engineering leader in the life sciences industry with more than 150 companies operating worldwide. As a team member with other technology leaders within the group, GEA Filtration is uniquely positioned to provide both customized membrane filtration plants as well as complete process lines specifically tailored to each customer's individual needs and requirements.

GEA Filtration is world renowned for its design of the most advanced cross-flow membrane filtration systems available, namely Reverse Osmosis (RO), Nanofiltration (NF), Ultrafiltration (UF) and Microfiltration (MF). We also offer a wide range of system configurations and membrane types to provide the customer with the most technically proficient and cost effective solution for each application.

For more information on the capabilities of our pilot plants, consult our website at www.geafiltration.com.



GEA Filtration • 1600 O'Keefe Road • Hudson, WI 54016 • US
Telephone: + 1-715-386-9371 • Telefax: + 1-715-386-9376 • Email: gea-filtration@gea.com

GEA Filtration • Norskovvej 1 b • 8660 Skanderborg • Denmark
Telephone: + 45 70 15 2200 • Telefax: + 45 70 15 2244 • Email: gea-filtration.dk@gea.com

GEA Filtration • Einsteinstrasse 9-15 • 76275 Ettlingen • Germany
Telephone: +49-7243 7050 • Telefax: + 49-7243 7053 30 • E-mail: gea-filtration.de@gea.com



La mejor bomba

Alfa Laval LKH Bomba centrífuga

Aplicaciones

La bomba LKH es una bomba centrífuga económica y de gran eficiencia que cumple los requisitos de aplicaciones sanitarias, tratamiento delicado del producto y resistencia química.

La LKH está disponible en trece tamaños: LKH-5, -10, -15, -20, -25, -35, -40, -45, -50, -60, -70, -85 y -90.

Diseño estándar

La bomba LKH ha sido diseñada especialmente para soluciones CIP, por lo que tiene radios de gran tamaño y cierres fáciles de limpiar. La versión de uso sanitario de la LKH tiene un protector de acero inoxidable para el motor y toda la unidad se apoya sobre cuatro patas de acero inoxidable regulables.

Cierres axiales

La bomba LKH está equipada con un cierre externo simple o un cierre axial con enjuague. Ambos tienen retenes fijos de acero AISI 329 de acero inoxidable con superficie de sellado de carburo de silicio y retenes rotativos de carbono. El cierre secundario, correspondiente al cierre con enjuague, es un cierre con reborde de larga duración. Asimismo, la bomba puede estar equipada con un obturador de eje axial mecánico doble.

DATOS TÉCNICOS

Materiales

Piezas de acero bañadas por producto: W. 1.4404 (316L).
Otras piezas de acero: Acero inoxidable.
Acabado: Chorro estándar
Cierres bañados por producto: Caucho EPDM.

Conexiones para FSS y DMSS:

Tubo 6 mm/Rp de 1/8"

Tamaños de motores

50 Hz: 0,75 - 110 kW
60 Hz: 0,9 - 125 kW

Motor

Motor de pie acoplado de conformidad con la normativa métrica estándar IEC, 2 polos = 3000/3600 r.p.m. a 50/60 Hz, 4 polos = 1500/1800 r.p.m. a 50/60 Hz, IP 55 (con orificio de drenaje con tapón de laberinto), aislamiento de clase F.

Velocidad mín./máx. del motor:

2 polos: 0,75 - 45 kW 900 - 4000 r.p.m.
2 polos: 55 - 110 kW 900 - 3600 r.p.m.
4 polos: 0,75 - 75 kW 900 - 2200 r.p.m.

Garantía

Garantía ampliada de tres años para las bombas LKH. Dicha garantía cubre todas las piezas no desgastables siempre que se utilicen piezas de recambio originales de Alfa Laval.



DATOS DE FUNCIONAMIENTO

Presión

Presión de entrada máx.:

LKH-5: 600 kPa (6 bares).
De LKH-10 a -70: 1000 kPa (10 bar).
LKH-70: 60Hz 500 kPa (5 bar).
De LKH-85 a -90: 500 kPa (5 bar).

Temperatura

Escala de temperatura: de -10 °C a +140 °C (EPDM).

Cierre axial con enjuague:

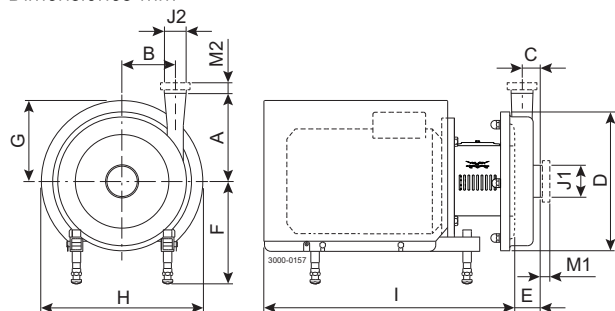
Presión de entrada de agua: Máx. 1 bar.
Consumo de agua: 0,25 - 0,5 l/min.

Cierre axial mecánico doble:

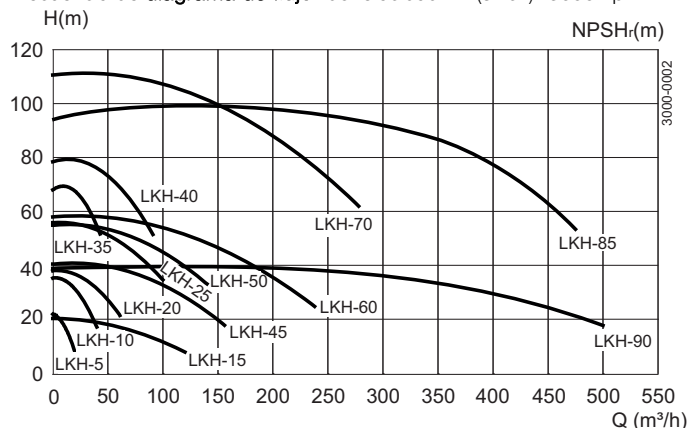
Presión de entrada de agua, de LKH-5 a
-60: Máx. 500 kPa (5 bar).
Presión de entrada de agua, de LKH-70
y -90: Máx. 300 kPa (3 bar).
Consumo de agua: 0,25 - 0,5 l/min.



Dimensiones mm



Frecuencia de **diagrama de flujo**: 50Velocidad Hz (sincr.): 3000 r.p.m.



Medidas específicas de la bomba

Modelo de

bomba	LKH-5	LKH-10	LKH-15	LKH-20	LKH-25	LKH-35	LKH-40	LKH-45	LKH-50	LKH-60	LKH-70	LKH-85	LKH-90
A	158	142	166	180	193	193	212	212	205	261	254	229	310
B	70	87	66	88	106	119	126	126	118	102	147	220	250
C	22	23	43	27	32	23	28	28	35	62	25	65	65
D	189	247	247	253	303	303	329	329	329	329	408	438	504
E	42	51	87	63	69	54	64	64	77	106	76	97	95

Medidas específicas del motor

Motor IEC	IEC80	IEC90	IEC100	IEC112	IEC132	IEC160	IEC180	IEC200	IEC250	IEC280
Motor (kW)	0.75/1.1	1.5/2.2	3.0	4.0	5.5/7.5	11/15/18.5	22	30/37/45	55/75	90/110
F (máx.)*	262	262	282	285	304	332	352	372	446	496
G	125	157	185	198	196	262	286	399	410	584
H	250	288	325	359	383	485	533	670	753	960
I (LKH-5)	400	441	-	-	-	-	-	-	-	-
I (LKH-10 a -60)	-	434	516	497	597	791	842	980	-	-
I (LKH-70 a -90)	-	-	-	-	-	804	855	993	1231	1271

*Se puede reducir el tamaño F en un mínimo de 59 mm para todos los modelos de bomba. En el caso de modelos más pequeños, se puede reducir el tamaño F aún más.

Descripción general del motor

Modelo de

bomba	LKH-5	LKH-10	LKH-15	LKH-20	LKH-25	LKH-35	LKH-40	LKH-45	LKH-50	LKH-60	LKH-70	LKH-85	LKH-90
Rango de motor (IEC)	IEC80-IEC90	IEC90-IEC160	IEC90-IEC160	IEC90-IEC160	IEC90-IEC200	IEC90-IEC180	IEC90-IEC200	IEC100-IEC180	IEC100-IEC200	IEC112-IEC200	IEC160-IEC250	IEC200-IEC280	IEC180-IEC250

Los datos de las medidas de LKH-5 hasta LKH-85 se basan en motores ABB de dos polos.

En el caso de LKH-90, los datos de las medidas se basan en motores ABB de cuatro polos.

Conexiones

Modelo de bomba		LKH-5	LKH-10 LKH-20 LKH-35	LKH-15 LKH-45 LKH-50 LKH-70	LKH-25	LKH-40	LKH-60	LKH-85 LKH-90
ISO 2037								
Abrazadera	M1	21	21	21	21	21	21	-
	M2	21	21	21	21	12	21	-
Unión ISO(IDF)	M1	21	21	21	21	21	21	-
	M2	21	21	21	21	21	21	-
Unión DIN/ISO	M1	22	25	30	30	30	30	-
	M2	22	22	30	25	27	30	-
Unión SMS	M1	20	24	35	24	24	35	-
	M2	20	20	24	24	24	35	-
Unión (BS) RJT	M1	27	27	32	27	27	32	-
	M2	27	27	27	27	22	32	-
Unión DS	M1	20	24	24	24	24	24	-
	M2	20	20	24	24	21	24	-
Unión DIN/DIN	M1	22	25	30	30	30	30	50
	M2	22	22	30	25	27	30	50
Abrazadera ASME								
BPE	M1	-	-	-	-	-	-	38
	M2	-	-	-	-	-	-	38
J1*		51 / 2"	63,5 / 2,5"	101,6 / 4"	76,1 / 3"	76,1 / 3"	101,6 / 4"	152,5 / 6"
J2*		38 / 1,5"	51 / 2"	76,1 / 3"	63,5 / 2,5"	63,5 / 2,5"	101,6 / 4"	152,5 / 6"

*Existen otras medidas disponibles bajo demanda.
ESE00263/6

Opciones

- A. Impulsor con diámetro reducido.
- B. Tornillo/tuerca de impulsor (estándar para la LKH-70 y LKH-90).
- C. Motor con maquinaria de mayor seguridad/a prueba de llamas.
- D. Inductor (solo de la LKH-10 a -50).
- E. Cierre axial con enjuague.
- F. Cierre axial mecánico doble.
- G. Aspereza de superficie, piezas bañadas por producto: $R_a \leq 0,8 \mu m$.
- H. Cierres bañados por producto de nitrilo (NBR), caucho fluorado (FPM) o FEP.
- I. Junta de estanqueidad rotativa de carburo de silicio.

Pedidos

Le rogamos indique los datos siguientes cuando realice su pedido:

- Tamaño de la bomba.
- Conexiones.
- Diámetro del impulsor.
- Tamaño del motor.
- Voltaje y frecuencia.
- Flujo, presión y temperatura.
- Densidad y viscosidad del producto.
- Opciones.

Nota:

Para obtener más detalles, consulte también ESE00698.

La información incluida en el presente documento es correcta en el momento de su publicación, no obstante puede estar sujeta a modificaciones sin previo aviso. ALFA LAVAL es una marca registrada de Alfa Laval Corporate AB (Suecia).

ESE00263ES 1512

© Alfa Laval

Cómo ponerse en contacto con Alfa Laval

Cómo ponerse en contacto con Alfa Laval
nosotros en cada país, se actualiza constantemente en nuestra página web. Visite www.alfalaval.com para acceder a esta información.