

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



"Diseño y optimización de un filtro de placas verticales"

AUTOR

Ibo Ignacio Brito Ferrer

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO.

PROFESOR GUÍA: ING. RAFAEL MENA J.

PROFESOR CORREFERENTE: ING. LUIS GUZMAN B.

Mayo – 2019

Agradecimientos

Agradezco la resiliencia, fortaleza y amor incondicional de mis padres, sin su apoyo nada de esto hubiese sido posible. A mi abuela Margarita, que me crió desde pequeño enseñándome lo importante de la vida y apoyándome en todo. A la familia, que siempre permanece unida, eso evoca en mí profunda alegría, en especial a mis primos Pablo y Felipe con quien tuve el privilegio de vivir toda mi etapa universitaria. A mis tíos Jorge, Viviana y Olga quienes me apoyaron cada vez que lo necesite.

A los amigos de la universidad, un grupo divertido, con los que pude compartir muchas experiencias dentro y fuera. Grandes amigos que siempre llevare conmigo, Andrés, Diego, Enzo, Gustavo, Pablo, Sebastián, Nelson, Natalia, Alejandro. A mis amigos de infancia con los que compartí el colegio y hasta el día de hoy, una gran fuente de buenos momentos y risas en especial a Felipe Vargas, con quien he tenido la posibilidad de compartir grandes situaciones de la vida y fue un gran apoyo dentro del periodo universitario. A tres personas especiales que me apoyaron en este trabajo Daniela, Francisca y Yesenia

Agradecer a Rafael Mena por confiar en mí, en mis capacidades para enfrentar desafíos más allá del aula, en la vida misma del ingeniero, con problemas reales, fue tiempo de gran aprendizaje.

“Gracias a todos, gracias totales, gracias porque soy un tipo agradecido”.

Resumen

En Chile producto del proceso de concentración de minerales, especialmente de cobre, se depositan del orden de 2,3 millones de toneladas al día de relaves, según el SERNAGEOMIN, y se consume aproximadamente 1,3 millones de metros cúbicos de agua por día en el proceso, cuyo mayor porcentaje de uso está contenido en los relaves.

Junto a lo anterior, es sabido que la ley del mineral de cobre en Chile tiene un comportamiento decreciente, lo que implica que para mantener el nivel de producción de cobre fino es necesario procesar una mayor cantidad de mineral, lo que implica también una mayor cantidad de uso de agua.

Una alternativa a solventar el problema planteado en la producción de cobre referente al agua es la optimización del consumo de ésta en los procesos de concentración de minerales, específicamente mejorando la recuperación de agua desde los relaves. La idea es enfocar los esfuerzos en la reutilización del recurso, para así disminuir la entrada de agua fresca a la planta de procesamiento.

Existen distintas tecnologías para el filtrado de relaves, actualmente la más utilizada es la de filtrado por presión, específicamente los filtros de prensa. En el presente escrito se trabajó en la investigación y recomendación del proceso de filtrado en conjunto con un diseño de un filtro de capacidad $50 \left[\frac{\text{ton}}{\text{hora}} \right]$, con dimensiones físicas para poder ser transportado a través de carretera sin necesidad de romper la normativa vigente. En este proyecto se buscó que el filtro pudiera albergar una gran variabilidad respecto a su funcionamiento, pudiendo cubrir múltiples posibilidades como, por ejemplo, dar la opción de utilizar placas con membranas o implementar una etapa de soplado, todo esto automatizado mediante un PLC. El costo final asociado al diseño de este filtro concluyó en un precio final de 111.000 USD.

Abstract

According to SERNAGEOMIN, in Chile as a result of the process of concentrating minerals, especially copper, approximately 2.3 million tons of tailings per day are deposited. In addition, approximately 1.3 million cubic meters of water per day are consumed in the process, the highest percentage of which is contained in the tailings.

Furthermore, it is known that the copper ore grade in Chile shows a decreasing behavior, which implies that to maintain the level of fine copper production it is necessary to process a greater amount of ore, thus involving a greater amount of water use.

An alternative to solving the problem posed in copper production related to water is the optimization of water consumption in mineral concentration processes, specifically improving water recovery from tailings. The idea is to focus the efforts on the reuse of the resource in order to reduce the entry of fresh water into the processing plant.

There are different technologies for tailings filtration, currently the most used is pressure filtration, particularly press filters. In this paper, the research and recommendation are based on the filtration process along with a design of a filter capacity 50 [ton / hour], with physical dimensions to be transported across the road without infringing the regulations in force. In this project, it was sought that the filter could lodge a great variability regarding its operation, thus being able to cover multiple possibilities as, for example, to give the option to use plates with membranes or to implement a stage of blowing, all this automated by means of a PLC. The final cost associated with the design of this filter estimated a final price of 111,000 USD.

Índice

Agradecimientos	I
Resumen	II
Abstract	III
Introducción	VII
1. Marco Teórico	1
1.1. Teoría de Filtrado	1
1.1.1. Filtración continua	3
1.1.2. Filtración discontinua	6
1.2. Pruebas para filtración discontinua.	10
1.3. Calculo estructural	12
1.3.1. Esfuerzos	12
1.3.2. Esfuerzo normal	12
1.3.3. Esfuerzo de corte	13
1.3.4. Momento Flexor	13
1.3.5. Factor de seguridad (<i>n</i>) y factor de diseño (<i>nd</i>)	14
1.3.6. Esfuerzo de Von Mises	15
1.3.7. Pandeo	16
1.4. Sistema oleo hidráulico	18
1.5. Legislación de transporte	20
2. Estado del arte	21
2.1. Equipos de filtrado	21
2.1.1. Filtros de Tambor	21
2.1.2. Filtros de discos	22
2.1.3. Filtrado de banda	23
2.2. Filtros de prensa	24
2.3. Situación actual	26
2.4. Componentes	27
2.4.1. Estructura	27
2.4.2. Placas	30
2.4.3. Telas filtrantes	33
2.4.4. Blinding	35

2.4.5.	Sistema de alimentación	36
2.4.6.	Sistema de cierre del filtro	37
2.4.7.	Soplado del queque	37
2.5.	Cañerías y válvulas	38
2.5.1.	Cañerías	38
2.5.2.	Válvulas	39
2.5.3.	Accesorios	40
2.6.	Lavado de telas	41
2.7.	PLC	41
2.8.	Principio de funcionamiento de un filtro de prensa horizontal	43
3.	Diseño del filtro de prensa horizontal	45
3.1.	Requerimientos del diseño	45
3.2.	Variabilidad del diseño	46
3.3.	Dimensionamiento	47
3.4.	Selección de placas	51
3.5.	Estructura	52
3.5.1.	Soportes y cabezal móvil	54
3.5.2.	Barras laterales	57
3.5.3.	Anillos Segers	58
3.5.4.	Perfiles de soporte vertical	59
3.6.	Alimentación y bombeo	59
3.7.	Piping y sistema de válvulas	63
3.8.	Sistema oleo hidráulico	69
3.9.	Automatización	73
3.10.	Lavado de telas	76
3.10.1.	Estructura	76
3.10.2.	Sistema de lavado	78
3.10.3.	Cilindros neumáticos	80
3.10.4.	Perfiles Para soporte y movimiento	83
3.10.5.	Sensores	84
3.10.6.	Motorreductor	85
4.	Recomendaciones para la selección y optimización de la tasa de filtración.	87
5.	Valorización	88
	Conclusiones	90
	Bibliografía	92

Anexo A	94
Anexo B	96
Anexo C	98
Anexo D	99
Anexo E	101

Introducción

La filtración es un proceso que separa las partículas sólidas del fluido, mediante un gradiente de presión a través de un medio poroso que tiene como función retener las partículas formando o en un queque solido del material retenido. Este método de separación liquido- solido es ampliamente utilizado en empresas de rubros como, la minería, alimentación, cerámica, química, farmacéutica, desechos orgánicos, etc.

El agua, uno de los recursos más preciados, se encuentra en escasos en partes del mundo lo que nos lleva a pensar de qué manera la industria puede ayudar a disminuir este problema. Una de las soluciones está en hacer los procesos más ecológicos, para ello el filtro de prensa es una gran herramienta, puesto que es utilizado para recuperar agua del proceso volviéndola a inyectar en etapas anteriores. Esto es un gran beneficio tanto ecológico como monetario para la empresa ya que disminuye considerablemente el gasto de agua.

Estos filtros funcionan con un número determinado de placas cubiertas por una tela que tiene como función hacer de material poroso realizando la filtración del fluido. Trabajan discontinuamente bajos ciclos con etapas bien marcadas iniciándose por el cerrado de placas que genera cámaras que luego serán llenadas y en donde debido a la diferencia de presión se realiza el filtrado, para acabar con la apertura de placas y la eliminación del queque seco, dejándolo caer ya sea en una correa transportadora o en un recipiente que lo almacene.

En este trabajo se presenta el diseño de un filtro de prensa horizontal, pasando por la etapa de teoría de la filtración, diseño estructural y valorización para un equipo de capacidad nominal $50 \left[\frac{ton}{hora} \right]$.

1. Marco Teórico

1.1. Teoría de Filtrado

La filtración es la separación de una mezcla líquido-sólido. Esta se produce por el paso del fluido a través de una barrera porosa que retiene el sólido separándolo de su parte líquida, esto quiere decir que partículas sólidas contenidas en la mezcla quedan atrapadas en la tela formando una torta que crece en tamaño mientras más flujo va siendo filtrado (Ilustración 1).

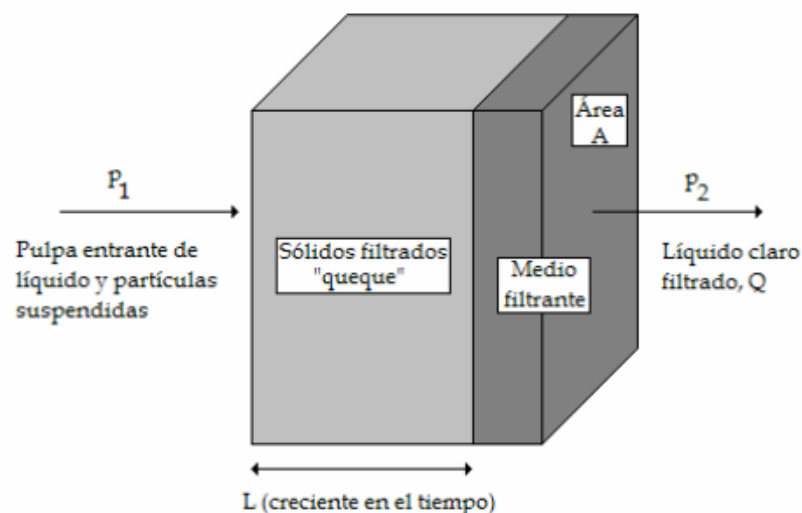


Ilustración 1: Principio básico de filtrado

Tanto la filtración como los equipos filtrantes pueden clasificarse de diferentes maneras dentro de las que destacan las siguientes:

1. Fuerza motriz: El filtrado puede ser inducido por una presión, vacío, fuerza de gravedad o de forma centrifuga que actúa sobre el fluido para que pase a través del medio filtrante.
2. Mecanismo de filtración: Existen dos modelos que generalmente se consideran y son base para la aplicación de la teoría de filtración. El primer modelo es cuando los sólidos se detienen en la superficie de un medio filtrante y se apilan unas sobre otras para formar una torta a esto se le llama filtración de torta. El otro modelo consta de

que los sólidos están atrapados dentro de los poros o cuerpo del medio, este se conoce como filtración clarificante.

3. Por objetivo: Dependiendo de cuál sea el objeto del filtrado este puede tener como fin obtener el agua como objeto de valor, secar el sólido u obtener ambos para hacer uso de ellos.
4. Por ciclo de operación: Esto quiere decir que la filtración puede ser continua (Filtración constante sin parar) o discontinua (por lotes).
5. Por naturaleza del sólido: Dependiendo de la naturaleza del sólido este puede generar un coque compresible o sustancialmente incompresible.

La teoría de filtración es muy detallada, pero a pesar de esto todavía es muy difícil poder definir un sistema líquido-sólido debido a que es más preciso y rápido poder determinar los requisitos del filtro haciendo pruebas a pequeña escala. Sin embargo, la teoría de la filtración se utiliza para mostrar de mejor manera de relacionar los datos de la prueba, y extrapolarlos cuando sea necesario, para poder usarlos en cálculos de escalamiento.

Dentro de la teoría de la filtración y como se mencionó anteriormente existen dos tipos de filtraciones que deben tomarse en cuenta a la hora de diseñar un filtro. La primera es la filtración continua, en la que la resistencia de la torta es muy grande con respecto a la del filtro drenaje de medios y filtrado, y filtración por lotes a presión, en la cual la resistencia de la torta filtrante no es muy grande con respecto a la de los medios filtrantes y drenaje de filtrado.

La teoría simplificada para la filtración por lotes y continua se basa en la antigua ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{\mu \left(\alpha w \frac{V}{A} + r \right)}$$

Ecuación 1: Ecuación de Hagen-Poiseuille

Donde

V = volumen de filtrado recogido

θ = tiempo de filtración

A = superficie filtrante

P = presión total en todo el sistema

w = peso de sólidos de queque /volumen unitario de filtrado

μ = viscosidad del filtrado

α = resistencia específica de la torta

r = resistencia de la tela filtrante más el sistema de drenaje.

1.1.1. Filtración continua

Como lo dice su nombre, la filtración continua, es un método en donde la separación liquido-sólido se mantiene de manera continua, es decir, el ciclo de filtrado se mantiene constante manteniendo etapas de forma paralela en su proceso. En este método es conveniente y razonable asumir que la resistencia de la tela filtrante más el drenaje del filtrado es insignificante en comparación con la resistencia del filtro y asumir que tanto la caída de presión como la resistencia específica de la torta permanecen constantes durante todo el ciclo de filtrado. La anterior ecuación, integrada bajo estas condiciones, puede entonces ser manipulada para dar las siguientes relaciones:

$$W = \sqrt{\frac{2 w P \theta_f}{\mu \left(\alpha w \frac{V}{A} + r \right)}}$$

$$V_f = \sqrt{\frac{2 P \theta_f}{\mu \alpha w}}$$

$$\theta_w = \frac{W V_w \mu \alpha}{P_w}$$

$$\theta_w \propto N W^2$$

$$\frac{\theta_w}{\theta_f} = 2 \frac{V_w}{V_f}$$

Ecuación 2: Ecuaciones asociadas a la filtración continua.

W = peso de los sólido / superficie de la torta filtrante seca

V_f = peso de los sólidos de la torta filtrante seca.

V_w = volumen de filtrado de formación de torta/zona unitaria

θ_f = tiempo de formación de la torta

θ_w = tiempo de lavado de la torta

*N = relación de lavado(el volumen de torta lavada/
el volumen de líquido en la descargada)*

Procedimiento de ensayo a pequeña escala

La prueba típica necesaria para poder diseñar un filtro consta de una hoja de prueba con forma de disco circular con un área generalmente de 92.9 [cm²]. Una de las caras de la hoja es ranurada para poder proporcionar drenaje al filtrado y un soporte para el medio filtrante. En el centro de la otra cara de la hoja hay una sección roscada que sirve de drenaje para el fluido filtrado. Generalmente la hoja de prueba posee un medio filtrante y un embudo, y el conjunto se sujeta entre sí como se muestra en la ilustración 2. La profundidad del embudo para las pruebas de alimentación por el fondo no debe ser superior a la profundidad del espesor máximo de la torta, excepto cuando se vayan a realizar pruebas de lavado de la torta. En este caso, la profundidad del embudo debe ser aproximadamente 3 [mm] mayor que el espesor máximo esperado de la torta. La excesiva profundidad de la presa interferirá con la agitación de la pulpa y puede resultar en la formación de una torta no homogénea.

Para realizar esta prueba es necesario utilizar un embudo en casi todos los casos debido a que si no se usa la torta se formará más allá del borde de la hoja. Esto implicaría desconocer el área de filtrado, el cual sería mayor y creciente con el tiempo. Para los casos de realizar el ensayo

para aplicaciones de descarga de rodillos que no impliquen el lavado de la torta o en las que el espesor máximo de la torta sea del orden de 2 [mm] o menos no es necesario usar un embudo. En la parte posterior del ensamblaje de la hoja donde se superpone el embudo debe estar sellado con algún tipo de material adecuado para evitar fugas y que el volumen del filtrado recolectado represente con precisión el líquido presente en la torta.

Para ver mejor la disposición de los elementos necesarios para una prueba de hoja se esquematiza en la ilustración 2, el equipo que se requiere para todas las pruebas de hoja. Cabe destacar que no hay válvulas en la línea de drenaje entre la hoja de prueba y el frasco receptor de filtrado, ni entre el receptor de filtrado y la bomba de vacío.

Para aplicaciones de alimentación superior, el ensamblaje más conveniente es que se muestra en las Fig. 21 La profundidad de la presa debe ser, por supuesto, suficiente para contener la cantidad total de pulpa necesaria para el ensayo. Dado que la hoja de prueba está montada en la parte superior del receptor de vacío, es necesario una válvula entre la hoja de prueba y el receptor de modo que el vacío de funcionamiento deseado puede obtenerse en el receptor antes del inicio de una ejecución de test.

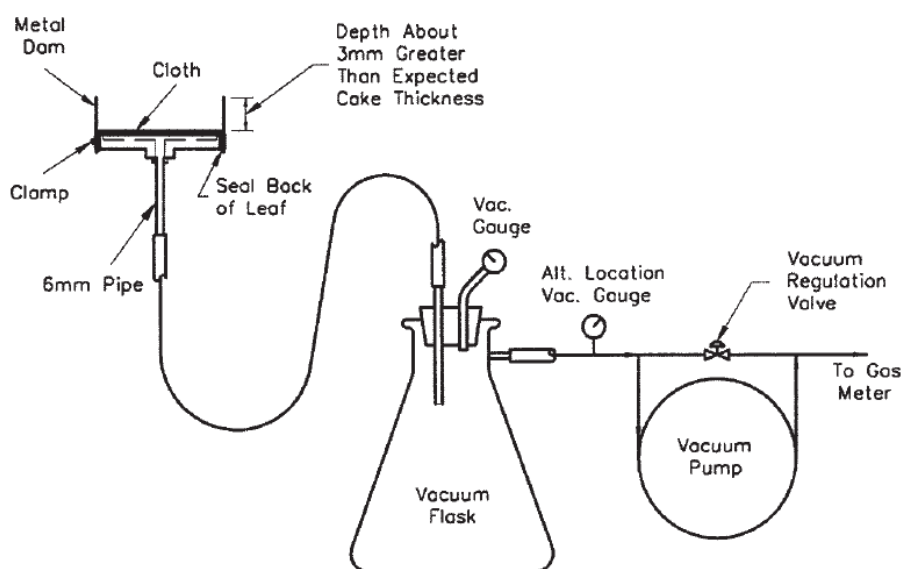


Ilustración 2: Prueba de filtración de hoja. Fuente: GREEN, D. W., & SOUTHARD, M. Z. (1999). Perrys Chemical Engineering Handbook. (M, Ed.) (Vol. 30). Mc Graw hill.

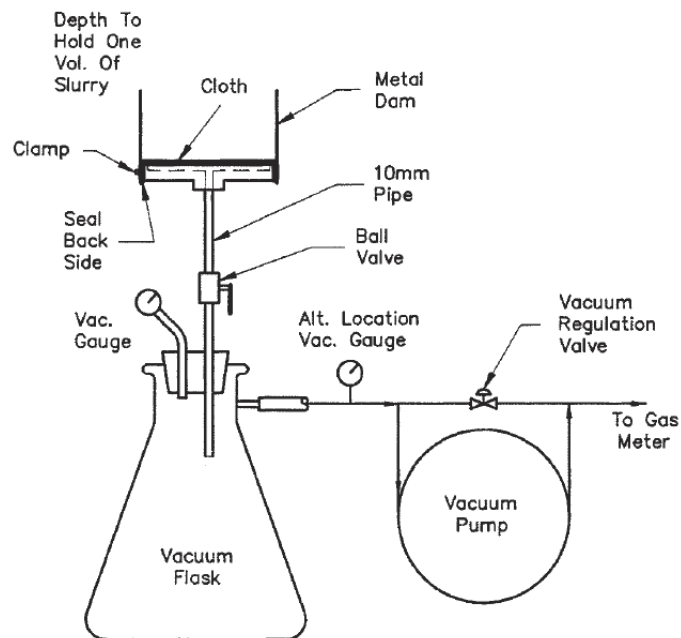


Ilustración 3: Prueba con alimentación superior. Fuente: GREEN, D. W., & SOUTHARD, M. Z. (1999). *Perrys Chemical Engineering Handbook*. (M, Ed.) (Vol. 30). Mc Graw hill

1.1.2. Filtración discontinua

La operación de filtración discontinua se caracteriza por trabajar en forma de ciclos claramente marcados en la ejecución del filtrado. Esto implica que no durante todo el tiempo en que la actividad se esté llevando a cabo el filtrado de pulpa. Ejemplos claros de este tipo de filtrado son los filtros de prensa tanto horizontal como vertical que tienen etapas muy marcadas en su proceso que no se realizan de manera simultánea como es el caso de la filtración continua. Dado que el filtro de estudio en este documento es el filtro de prensa horizontal y además de que la mayoría de los filtros de tipo discontinuo operan bajo presión en lugar de vacío el siguiente análisis se aplicará principalmente a la filtración a presión.

Para poder usar las ecuaciones de filtración se debe conocer el patrón de la filtración, es decir, la variación del caudal y la presión con el tiempo. Generalmente el mecanismo de bombeo determina el flujo de filtración y sirve de base para las siguientes tres categorías

1. Filtración a presión constante: El mecanismo de accionamiento es gas comprimido mantenido a una presión constante.

2. **Filtración a velocidad constante:** Bombas de desplazamiento positivo de varios los tipos se emplean.

3. **Filtración de presión variable y tasa de filtración variable:** En este patrón en el caudal de filtrado disminuye a medida de el espesor de la torta va creciendo lo que produce un aumento progresivo de la presión.

El caudal y el comportamiento de la presión para los tres tipos de filtración son los siguientes que se muestra en Ilustración 4.

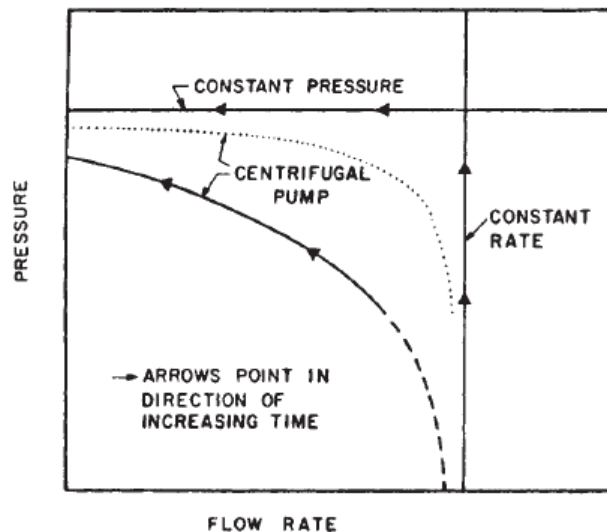


Ilustración 4: Comportamiento de la presión para los tres tipos de filtración. Fuente: GREEN, D. W., & SOUTHARD, M. Z. (1999). Perrys Chemical Engineering Handbook. (M, Ed.) (Vol. 30). Mc Graw hill

Filtración a caudal constante

Filtración de caudal constante: Para tortas sustancialmente incompresibles, la Ecuación (1) evaluándose con un caudal constante de alimentación de pulpa y una presión variable se puede obtener las siguientes ecuaciones, en las que la resistencia del medio filtrante se trata si fuera presión constante que debe deducirse de la caída de presión total para obtener la presión variable a través de la torta de filtro.

$$\frac{\theta}{V/A} = \frac{\mu\alpha}{P - P_1} \frac{W}{A}$$

Esta ecuación también puede ser escrita como

$$\frac{\theta}{V/A} = \frac{\mu\alpha w}{P - P_1} \frac{V}{A} = \frac{\mu\alpha\rho_c}{P - P_1(1 - mc)} \frac{V}{A}$$

En esta ecuación P_1 es la presión a través del medio filtrante, y puede definirse de la siguiente manera

$$P_1 = \mu r \left(\frac{V}{A\theta} \right)$$

Ecuación 5: presión a través del medio filtrante

Evalutando en la formula y sin olvidar la constante la ecuación final queda como

$$\frac{V}{A} = \frac{P}{K_r} + C'$$

Ecuación 6: Ecuación de filtración a caudal constante.

Donde K_r y C' son constantes para las condiciones dadas.

Filtración a caudal y presión variables

Para poder caracterizar el filtrado y las variables que lo acompañan se realiza una prueba de presión constante a la pulpa. Para esta prueba es necesario que tanto la presión como la temperatura y el contenido de solidos permanezcan constantes y que la lectura del tiempo comience en el momento exacto de la filtración. Realizando la prueba se deben observar valores de volumen o peso del filtrado y el tiempo transcurrido correspondiente. Con esto se deben calcular valores de $\frac{\theta}{V/A}$ para varios valores de $\frac{V}{A}$ para poder trazar una recta de $\frac{\theta}{V/A}$ como la ordenada y $\frac{V}{A}$ como la abscisa (ilustración 5), se debe obtener una recta con la pendiente $\frac{\mu\alpha w}{2P}$ y una intercepción en el eje vertical de $\frac{\mu r}{P}$. Con esto se debe calcular α y r como:

$$\alpha = \frac{2P}{\mu w} * Pendiente$$

Ecuación 7: Cálculo de resistencia media específica de la torta

$$r = \frac{P}{\mu} * Intercepto$$

Ecuación 8: Ecuación de resistencia del medio filtrante

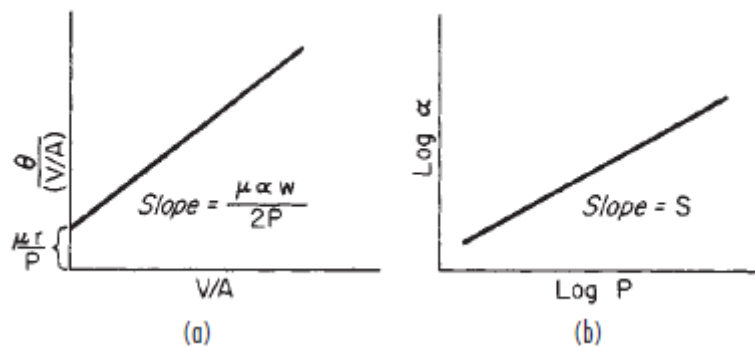


Ilustración 5: graficas de filtración superior. Fuente: GREEN, D. W., & SOUTHARD, M. Z. (1999). Perrys Chemical Engineering Handbook. (M, Ed.) (Vol. 30). Mc Graw hill

El símbolo α representa la resistencia media específica de la torta, que es una constante para la torta en su estado inmediato. En el rango usual de condiciones de operación se relaciona con la presión por la expresión

$$\alpha = \alpha' P^S$$

Ecuación 9: Resistencia de la torta

donde α' es una constante determinada en su mayoría por el tamaño de las partículas que forman la torta; S es la compresibilidad de la torta, variando de 0 para tartas rígidas e incompresibles, como arena fina, hasta 1.0 para tartas muy comprimibles. Para la mayoría de las pulpas industriales, S tomará valores entre 0,1 y 0,8. El símbolo r representa la resistencia de la unidad del medio filtrante, pero incluye otras pérdidas (además de las que se producen a través de la torta y el medio) en el sistema a través del cual P es la caída de presión.

Para determinar el efecto de un cambio en la presión, es necesario realizar pruebas a tres o más valores de presiones diferentes, preferiblemente abarcando el rango de interés. Para llevar a cabo este procedimiento se debe graficar α o r contra P en un gráfico logarítmico lo que resulta en un valor aproximado de línea recta (ilustración 5) a partir de la cual se pueden estimar valores de r o α a magnitudes interpoladas de P . La pendiente de la línea es el índice de una relación de potencia entre α y P o r y P .

1.2. Pruebas para filtración discontinua.

Ensayos de hoja: Para este tipo de prueba se usa un filtro de simular el rendimiento de los filtros de hojas a presión. El equipo utilizado es una hoja pequeña [50.8-mm por 50.8-mm], cubierta con el medio filtrante apropiado, suspendida en una celda lo suficientemente grande como para contener la pulpa suficiente para formar la torta deseada (Ilustración 6)

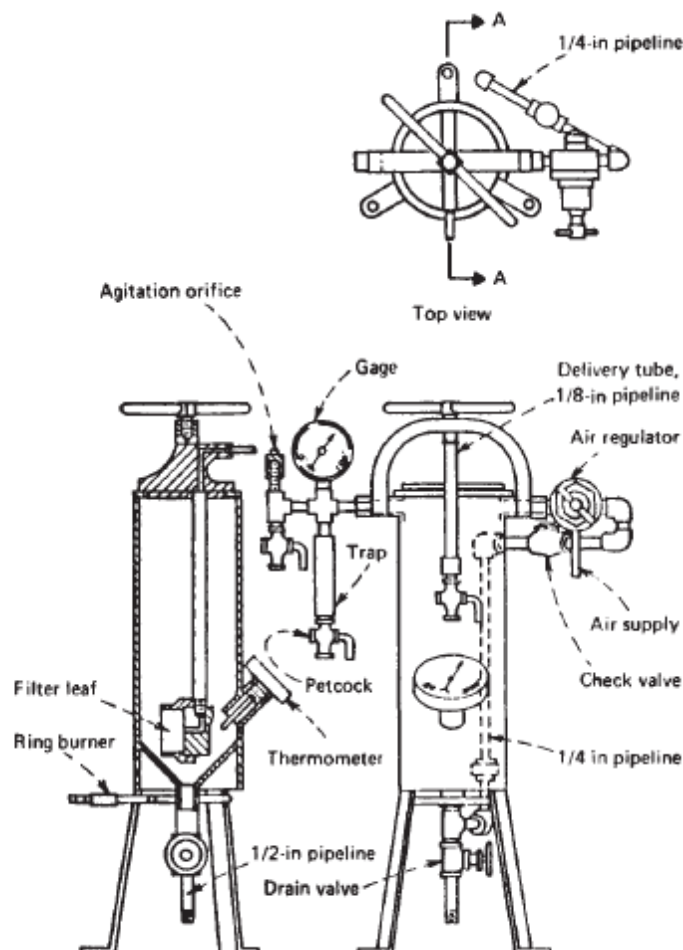


Ilustración 6: Filtro de bomba para pruebas a pequeña escala superior. Fuente: GREEN, D. W., & SOUTHARD, M. Z. (1999). Perry's Chemical Engineering Handbook. (M, Ed.) (Vol. 30). Mc Graw hill

Aunque el tiempo y el volumen de filtrado pueden ser tomados durante el ciclo de formación de la torta a una presión seleccionada para permitir una gráfica como la de la ilustración 6 a partir de una sola corrida, se puede hacer varias pruebas sucesivas a la misma presión, pero para diferentes tiempos, registrando sólo los valores terminales de volumen de filtrado, tiempo y la masa del queque. Se deben realizar pruebas a varias presiones para determinar la compresibilidad de los sólidos de la torta.

Pruebas de Placas y Marcos: Estas pruebas se lleva a cabo si se analiza un filtro de prensa en la planta; se recomiendan al menos unas pocas pruebas de confirmación después de las pruebas preliminares de la hoja, a menos que el lodo esté filtrando muy rápidamente. Puede utilizarse un filtro prensa de tamaño laboratorio compuesto por dos placas y un solo bastidor. Permitirá la observación de la sedimentación de sólidos, el empaquetado de la torta y el comportamiento de lavado, que puede ser muy diferente para un marco que para una hoja.

Ensayos de compresión-permeabilidad:

El equipo consiste en una celda cilíndrica con un fondo permeable y una parte superior abierta, en la que está montado un pistón cilíndrico hueco de holgura estrecha con un fondo permeable. La pasta se vierte en la celda y se forma una torta aplicando un suave vacío en la línea de descarga del filtrado. A continuación, se llena la cubeta con el filtrado y se aplica el contrapeso. se permite que el pistón descienda hasta el nivel de la torta. Sucesivos se aplican incrementos de tensión mecánica a los sólidos, en cada uno de los siguientes casos en la que la permeabilidad de la torta se determina pasando el filtrado a través del pistón bajo la cabeza baja

Ampliación de los resultados de las pruebas: Los resultados de las pruebas a pequeña escala se determinan como peso seco de sólidos o volumen de filtrado por unidad de área por ciclo. Esta cantidad multiplicada por el número de ciclos por día permite el cálculo de la superficie filtrante necesaria para una capacidad diaria estipulada o la capacidad diaria de un filtro específico de la planta. El área de filtración escalada debe incrementarse en un 25 por ciento como factor de incertidumbre. En el cálculo de la longitud del ciclo, se debe tener en cuenta el tiempo de inactividad de un filtro discontinuo.

1.3. Calculo estructural

1.3.1. Esfuerzos

El esfuerzo, en mecánica, se define como la distribución de la fuerza que actúa en un punto específico de una superficie, este puede tener componentes tanto normales como tangenciales, respectivamente. Este dependiendo de su magnitud puede generar deformaciones permanentes en el material.

Matemáticamente un esfuerzo se define como:

$$\sigma, \tau = \frac{F}{A}$$

Ecuación 10: Esfuerzo normal

Donde:

σ = *esfuerzo normal*

τ = *esfuerzo tangencial*

F = *fuerza aplicada sobre una superficie*

A = *superficie sobre la que se aplica la fuerza*

1.3.2. Esfuerzo normal

Este es un tipo de esfuerzo generado por una fuerza que posee componentes perpendiculares a la superficie de aplicación. Estos esfuerzos se pueden clasificar en dos categorías que son:

Esfuerzo de compresión: Un cuerpo está sometido a un esfuerzo de compresión cuando se le aplican dos fuerzas con la misma dirección y sentidos contrarios provocando un abombamiento en su parte central y reduciendo su longitud inicial. Las fuerzas aplicadas tienden a aplastarlo o comprimirlo.

Esfuerzo de tracción: Se dice que un elemento está sometido a un esfuerzo de tracción cuando sobre él actúan fuerzas que tienden a estirarlo.

La tracción es lo contrario a la compresión, este intenta alargar el elemento.



Ilustración 7: Traición y compresión de una barra

1.3.3. Esfuerzo de corte

Es un esfuerzo interno que resulta de las fuerzas que aparecen paralelamente a la superficie transversal de un prisma mecánica. Este esfuerzo dentro del material está impidiendo que el objeto se deforme y si se mantenga su rigidez.

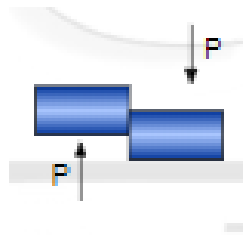


Ilustración 8: Esfuerzo de corte en una barra

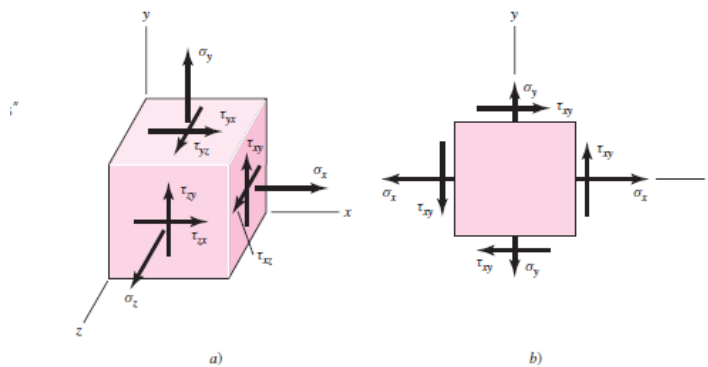


Ilustración 9: a) Esfuerzo tridimensional general. b) Esfuerzo plano con esfuerzos cortantes iguales. Fuente: Badinas, R., & Nisbett, J. K. (n.d.). Diseño en ingeniería mecánica (Octava edición)

1.3.4. Momento Flexor

El momento flector puede aparecer cuando se someten los elementos a la acción de un momento (torque) o también a alguna fuerza puntual o distribuida. Este esfuerzo esta dado por:

$$\sigma_x = -\frac{M_y}{I}$$

Donde I es el segundo momento de área respecto al eje Z

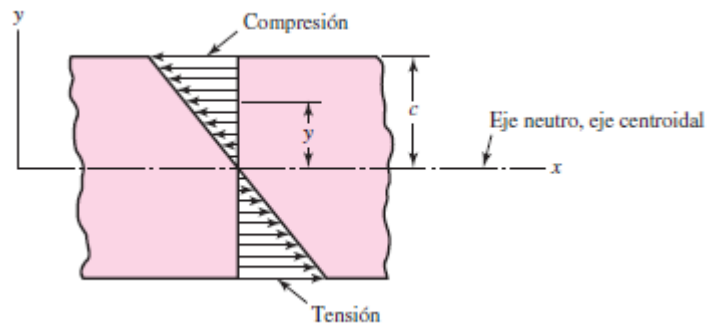


Ilustración 10: Distribución de esfuerzos en una flexión. Fuente: Budynas, R., & Nisbett, J. K. (n.d.). Diseño en ingeniería mecánica (Octava edición)

La magnitud máxima del esfuerzo en flexión ocurre donde y tiene la magnitud más grande. Por lo tanto, para factores de diseño la ecuación se puede escribir como:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

Ecuación 31: Momento flexor máximo

Donde:

σ_{max} = Magnitud maxima del esfuerzo de flexión

c = Magnitud maxima de y

M = Momento aplicado a la viga

1.3.5. Factor de seguridad (n) y factor de diseño (n_d)

El factor de seguridad es un índice que nos ayuda a dimensionar que tantas veces soporta la carga de diseño la pieza que estamos diseñando. Se define como un cociente entre la capacidad máxima del sistema que se está diseñado y el valor de requerimiento real al que será sometido, este factor se calcula como:

$$n_d = \frac{\text{Esfuerzo sobre la pieza}}{\text{Esfuerzo permisible}} = \frac{S}{\sigma_d}$$

Ecuación 42: Factor de seguridad

Es de vital importancia su cálculo en diseños de piezas sujetas a esfuerzos.

1.3.6. Esfuerzo de Von Mises

Se define el esfuerzo de Von Mises como una magnitud física proporcional a la energía de distorsión.. Puede calcularse fácilmente a partir de los esfuerzos principales en un punto de un sólido, mediante la expresión:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}$$

Ecuación 52: Esfuerzo de Von Mises.

Para una viga el esfuerzo de Von Mises se puede escribir como

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_z^2 + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Ecuación 63: Esfuerzo de Von Mises para una viga.

Para una placa el esfuerzo de Von Mises se calcula como

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

Ecuación 74: Esfuerzo de Von Mises para una placa.

1.3.7. Pandeo

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos del tipo pilares o columnas y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos laterales cuando estos están sujetos a cargas verticales. Suelen diferenciarse dependiendo del tipo de sujeción como se puede ver en la ilustración 10.

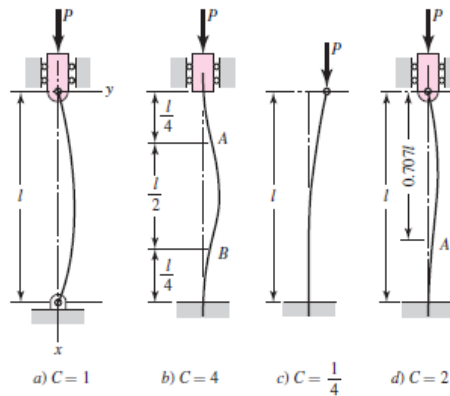


Ilustración 11: tipos de condiciones de bode para pandeo. Fuente: Budynas, R., & Nisbett, J. K. (n.d.). Diseño en ingeniería mecánica (Octava edición)

La carga máxima que puede soportar una viga en pandeo varía dependiendo de la relación de esbeltez ($\frac{l}{k}$). Para poder calcular el pandeo se debe calcular el punto de T, punto en donde la curva de cambia drásticamente y se modela a partir de otra fórmula. Este punto se determina como:

$$\left(\frac{l}{k}\right)_i = \left(\frac{2\pi^2 CE}{S_y}\right)^{1/2}$$

Ecuación 85: Cálculo del punto T.

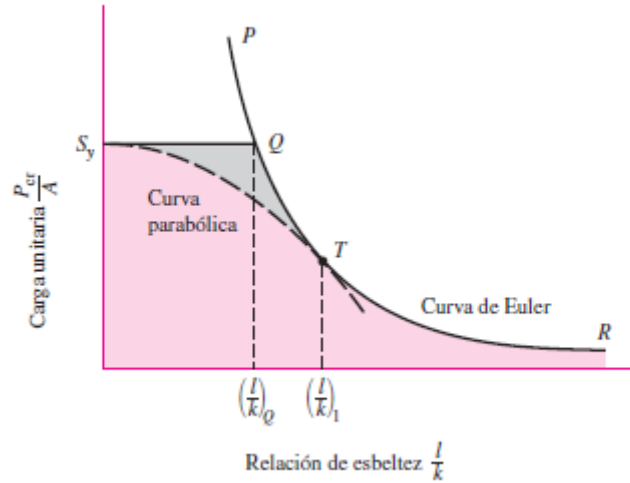


Ilustración 12: Relación entre la esbeltez y la carga unitaria en pandeo. Fuente: Budynas, R., & Nisbett, J. K. (n.d.). Diseño en ingeniería mecánica (Octava edición)

Para valores de $\left(\frac{l}{k}\right) \geq \left(\frac{l}{k}\right)_i$ Euler formuló la siguiente ecuación.

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{C\pi^2 E}{\left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

Ecuación 96: Cálculo de pandeo crítico según Euler

Donde

P_{cr} = carga crítica

A = Sección de la viga

E = Módulo de elasticidad

l = largo de la columna

k = radio d giro

Mientras que para valores de $\left(\frac{l}{k}\right) \leq \left(\frac{l}{k}\right)_i$ la fórmula de pandeo critico se escribe como

$$\frac{P_{cr}}{A} = a - b \left(\frac{l}{k}\right)^2$$

Ecuación 107: Pandeo crítico para valores de esbeltez bajos.

donde

$$a = S_y$$

$$b = \left(\frac{S_y}{2\pi}\right) \frac{1}{CE}$$

1.4. Sistema oleo hidráulico

Para poder calcular los parámetros que se necesitan saber del cilindro se utilizan los siguientes cálculos.

Fuerza en los cilindros

Cilindros de simple efecto.

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 * P * \eta - Fr$$

Ecuación 118: Fuerza de salida para un cilindro de simple efecto

Cilindros de doble efecto

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 * P * \eta$$

Ecuación 129: Fuerza de salida para un cilindro de doble efecto

Para el retroceso

$$F = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_v^2) * P * \eta$$

Ecuación 20: Fuerza de retroceso para un cilindro de doble efecto

Donde:

F = fuerza

d = diámetro del cilindro

d_v = diámetro del embolo

P = Presión del fluido

Fr = Fuerza debido a la compresion del resorte

η = Rendimiento del cilindro

Velocidad del movimiento del vástago del cilindro:

$$v = \frac{L}{t}$$

Ecuación 21: Velocidad de salida del vástago

Donde:

v = velocidad media del vástago

L = Carrera del vástago

t = tiempo en recorrer la carrera

Q = Caudal

Caudal consumido por el cilindro:

Cilindro de simple efecto:

$$Q = S * v$$

$$Q = \frac{\pi * d^2}{4} * v$$

Ecuación 22: Caudal utilizado en un cilindro de simple efecto

Para cilindros de doble efecto, avance:

$$Q = \frac{\pi * d^2}{4} * v$$

Ecuación 23: Caudal utilizado para la salida de un cilindro de doble efecto

Para cilindros de doble efecto, retroceso:

$$Q = \frac{\pi * (d^2 - d_v^2)}{4} * v$$

Ecuación 24: Caudal utilizado para el retroceso de un cilindro de doble efecto

1.5. Legislación de transporte

La ley N° 18.290 del estado chileno estipula que los vehículos que circulen en las vías públicas no podrán exceder las siguientes dimensiones, salvo que el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones o las bases de licitación que se elaboren en conformidad a lo dispuesto en el artículo 3° de la ley 18.696, establezcan una norma especial diversa.

- a) Ancho máximo exterior, con o sin carga: 2,60 m. En la medida del ancho del vehículo no serán considerados los espejos retrovisores exteriores ni sus soportes.
- b) Alto máximo, con o sin carga, sobre el nivel del suelo: 4,20 m. Para los camiones, remolques y semirremolques especiales para el transporte de automóviles se aceptará un alto máximo de 4,30 m.
- c) Largo máximo, considerado entre los extremos anterior y posterior del vehículo:

c.1	Bus	13.20 m
c.2	Bus articulado	18.00 m
c.3	Camión	11.00 m
c.4	Semirremolque, exceptuando el semirremolque especial para el transporte de automóviles	14.40 m
c.5	Remolque	11.00 m
c.6	Tractocamión o semirremolque	18.60 m
c.7	Camión con remolque o cualquier otra combinación	20.50 m
c.8	Tractocamión o semirremolque especial para el transporte de automóviles	22.40 m
c.9	Camión con remolque especial para el transporte de automóviles	22.40 m

Tabla 1: Dimensiones máximas de vehículos según el estado chileno. Fuente: Abruto N. I. (2004). Establece Dimesiones Máximas a Vehículos Que Indica, 1998–2000.

En el caso del largo del remolque no será considerada la barra de acoplamiento, la que sí se considera en el largo total de la combinación camión con remolque.

2. Estado del arte

2.1. Equipos de filtrado

En la actualidad existen diversos procesos en los cuales se puede hacer recuperación de fluidos para ser reutilizados dentro del proceso. Dentro de los cuales se encuentra el proceso estudiado en este documento. En los siguientes tópicos se describen los distintos tipos de filtros que se encuentran dentro del ámbito empresarial y sus funcionamientos.

2.1.1. Filtros de Tambor

Este filtro de funcionamiento continuo está compuesto por un tambor orientado horizontalmente que gira a bajas velocidades (0,1 - 3 rpm) medianamente sumergido en un estanque al que se alimenta la pulpa. Este tambor está envuelto herméticamente por el medio filtrante por el cual mediante un vacío producido en el interior de este se produce la formación del queque. El filtro además permite el lavado del queque (opcional) y limpieza de la tela. La descarga de los sólidos se puede producir por un cambio pronunciado en la dirección de la tela y fuerza de gravedad o por raspado de la tela.

Un filtro rotatorio se compone por pocos elementos, los cuales se forman de la siguiente manera:

Chasis: Facilita su transporte y montaje en el sitio de trabajo.

Tambor: Con estructura tubular de acero inoxidable que garantiza su duración.

Filtro: Cuenta con un sistema de boquillas para la continua limpieza de la criba.

Transmisión: Cuenta con un motorreductor de ejes paralelos con transmisión final por medio de cadena.

Cabezales de entrada y salida: Fabricados en lámina de acero inoxidable, con pistas de acero para dar apoyo a los rodillos axiales y radiales sobre los que gira el tambor.

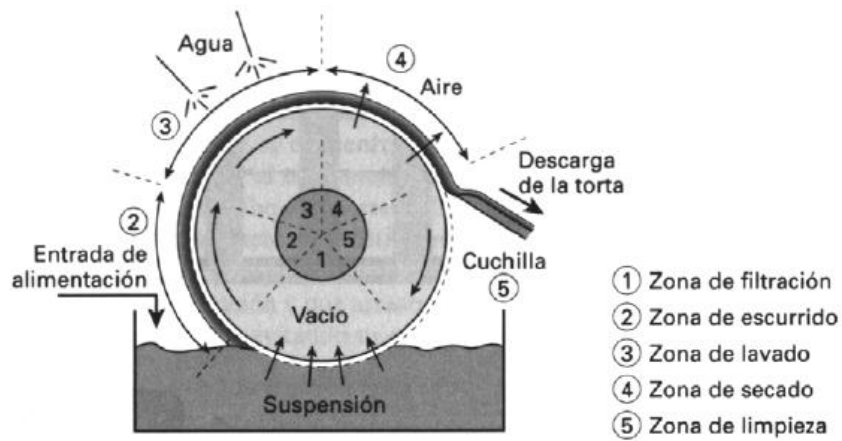


Ilustración 13: Proceso de filtrado en un filtro de tambor



Ilustración 14: Filtro de tambor rotatorio

2.1.2. Filtros de discos

El filtro de discos está formado por un eje central que soporta un número determinado de discos paralelos conectados a un equipo de vacío. Cada disco, formado por sectores, opera de manera similar al filtro de tambor, teniendo por ventaja una mayor superficie por unidad de área de piso ocupada, ya que cada disco permite filtrar por ambas caras. En lugar de que el medio filtrante sea un tipo de tela, existen equipos que utilizan un material cerámico de alúmina micro poroso, conocidos como filtros cerámicos, los que requieren menor vacío que los filtros de discos, ya que para la adhesión del queque se utiliza el principio de la capilaridad.

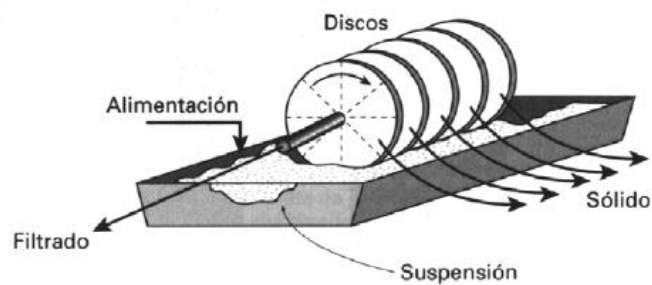


Ilustración 15: Filtro rotatorio de discos

2.1.3. Filtrado de banda

Los filtros de banda de vacío cuentan con una banda filtrante continua soportada por dos cilindros en sus extremos, que se desplaza a velocidad variable, donde se deposita el material a filtrar, bajo la banda se dispone un sistema de bomba de vacío que extrae el agua del material, dejando un material filtrado que se descarga al final de la banda hacia una correa recolectora. En los filtros de vacío la separación sólido-líquido tiene lugar gracias a la aspiración que imprime la bomba de vacío bajo la superficie donde reposa el producto.

Estos filtros se asemejan a una correa transportadora, donde la banda está formada por una tela filtrante. La mayor ventaja de este filtro es la flexibilidad en la selección de la longitud de los ciclos de filtración-lavado-secado.



Ilustración 16: Filtro de banda ECOMINING

Dentro de sus beneficios se cuenta con que este tipo de filtros permite una operación continua, la velocidad de desplazamiento de la banda es ajustable según las necesidades operacionales, la alimentación del filtro es muy simple, son de fácil mantenimiento y limpieza, poseen buena disponibilidad (valores cercanos al 90%) y son de corta dimensión en términos de altura, lo que reduce la altura necesaria de la instalación.



Ilustración 17: Filtro de banda Larox Modelo RB-SV

2.2. Filtros de prensa

Compuestos de una serie de placas yuxtapuestas y acopladas, los filtros de prensa se dividen en dos grandes categorías: los filtros de configuración vertical que ubican sus placas apiladas una arriba de otra para minimizar la superficie que ocupa en desmedro de la capacidad de filtración y los filtros que poseen las placas una seguida de otra horizontalmente utilizando una mayor área de trabajo con una mayor capacidad de filtrado. En estas máquinas las placas prensadas entre ellas cuentan con un sistema hidráulico que permite su cierre, compuestos generalmente por un cilindro hidráulico de grandes dimensiones acompañado de su respectiva unidad hidráulica, este conjunto asegura un sellado de las placas que evita que se fugue la pulpa a la hora del filtrado, en filtros de menos capacidades existen mecanismos de sellado manuales compuestos por un tornillo que prensa todas las placas cumpliendo la misma función que el

sistema hidráulico. Dentro de la cámara formada por dos placas prensadas existen membranas que permiten el filtrado del material que es alimentado mediante una bomba de relaves a las placas a través de perforaciones que pueden estar dispuestos tanto en el centro como en los extremos superior o inferior de estas placas permitiendo una distribución adecuada del flujo, presión y mejor drenaje del relave dentro de la cámara. Gradualmente se va acumulando una pasta compacta en la cámara de filtración. El agua filtrada se colecta en la parte de atrás del soporte de filtración mediante ductos internos. Generalmente los equipos cuentan con un sistema de inyección de aire entre las tortas para un secado adicional. Finalmente, la torta de filtrado en cada placa se descarga abriendo cada una de ellas mediante un sistema hidráulico, dejando caer el material filtrado sobre una correa transportadora para su posterior disposición. En algunas configuraciones, luego de cierta cantidad de ciclos se utiliza un sistema de lavado para eliminar el material restante dentro del equipo.

El mecanismo de acción de un filtro de prensa se puede describir de la siguiente forma: El cabezal (G) y el soporte terminal (H) son sostenidos por rieles de las barras de soporte (I) diseñados especialmente. El cilindro hidráulico (D) empuja las placas de acero (E) contra las placas de polietileno (F) cerrando la prensa. La pulpa es bombeada a las cámaras (A) rodeadas por el medio filtrante (B). Al bombear, la presión se incrementa forzando al líquido a atravesar la tela, haciendo que los sólidos se acumulen y formen una torta (C). El filtrado pasa a través de las telas y es dirigido hacia los canales de las placas y puestos de drenado (J) del cabezal para la descarga. La torta es removida haciendo retroceder el pistón hidráulico, relajando la presión y separando cada una de las placas, para permitir que la torta compactada caiga desde la cámara.

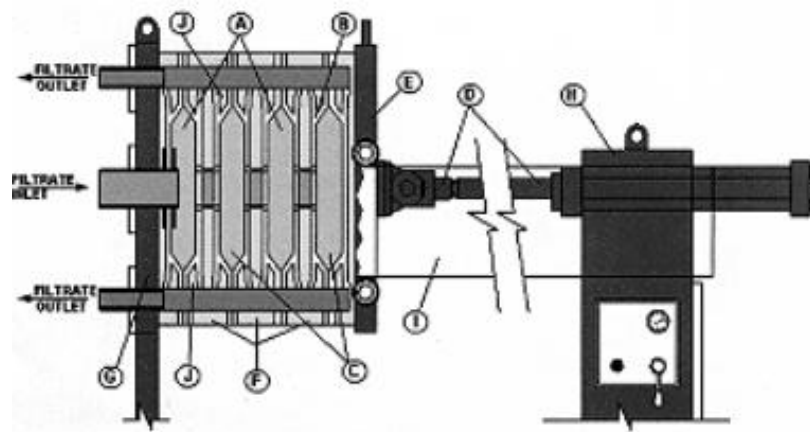


Ilustración 18: Esquema de un filtro de prensa

Los beneficios de esta tecnología son la gran área de filtración que se pueden obtener, la alta efectividad de filtrado en términos de la baja humedad que queda en la torta de filtrado, cortos ciclos de filtración, bajos OPEX por el bajo consumo de energía.

2.3. Situación actual

El filtro prensa es un sistema de filtración que funciona a presión. Están compuestos por una serie de placas y marcos alternados con una tela filtrante a cada lado de las placas. Las placas tienen incisiones con forma de canales para drenar el filtrado en cada placa. Estos filtros tienen una amplia aplicación en la separación sólido-líquido. Se utilizan mucho para el filtrado y clarificación de numerosos líquidos, también tienen utilidad en las industrias químicas o en las de los textiles artificiales, industria azucarera, cervecería, vinificación, industrias aceiteras, industria cerámica o en ciertas industrias extractivas. Actualmente los filtros prensa tienen un uso preferencial en muchas industrias por los altos rendimientos obtenidos, factor determinante en la industria pesada y minera, donde se exigen respuestas muy efectivas con equipos de nivel técnico especial.

Dentro de las ventajas que se e pueden atribuir a este tipo de filtros se puede destacar:

- Operan en contacto con el ambiente
- Se usan en los procesos por lotes
- Se manejan con facilidad
- Son versátiles y de operación flexible.
- Se pueden utilizar altas presiones si es necesario, con soluciones viscosas o cuando la torta tiene una gran resistencia.
- Proporciona gran área de filtración en un espacio reducido.

Por otra parte, las desventajas que muestran este tipo de filtros son:

- No recomendable cuando se trabaja con sustancias tóxicas.
- Requiere de parar el proceso para extraer la torta.
- Costos de tiempos muertos.
- Deterioro rápido de la tela filtrante



Ilustración 19: filtro de prensa horizontal



Ilustración 20: filtro de prensa vertical

2.4. Componentes

2.4.1. Estructura

a) Bastidor:

El bastidor corresponde al soporte estructural del filtro, compuesto principalmente por los siguientes elementos:

- *Cabezal de accionamiento (1):*

Constituye uno de los extremos del filtro de prensa, donde está acoplada la camisa del cilindro hidráulico perteneciente al sistema de cierre del filtro. Sobre este componente van montados los extremos de los ejes o carriles de desplazamiento de las placas del filtro.

- *Cabezal móvil (2):*

Es el encargado de transmitir la fuerza de cierre ejercida por el cilindro hidráulico, unido solidariamente al mismo mediante una brida. Debe contar con un mecanismo de soporte y desplazamiento sobre los ejes o carriles de desplazamiento, generalmente puede ser un rodillo.

- *Cabezal fijo (3):*

Constituye el extremo contrario del cabezal móvil, es decir el otro extremo de la prensa, va provisto de las conexiones necesarias para la alimentación del filtro. Sobre este cabezal va soportado el otro extremo de ambos carriles o ejes de deslizamiento.

En la ilustración se pueden observar cada uno de estos elementos, en el orden descrito anteriormente.

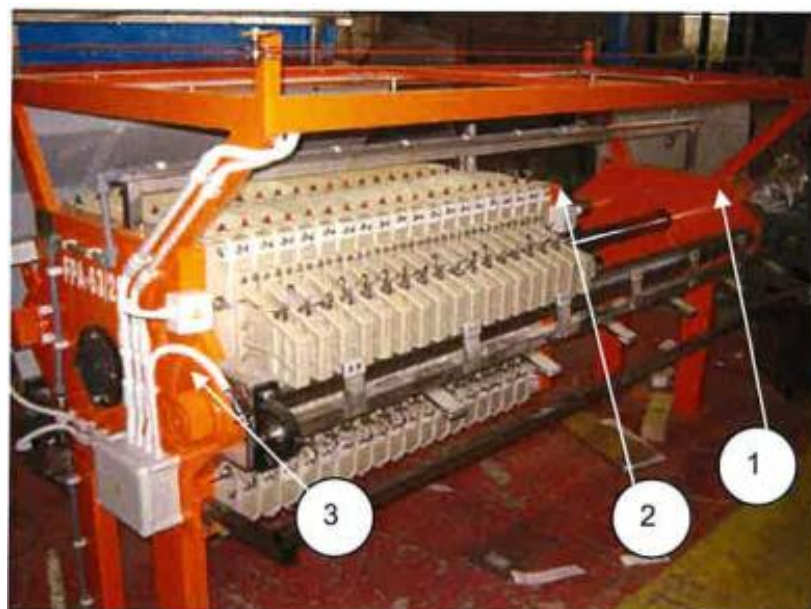


Ilustración 21: cabezales estructurales del bastidor

Junto con los cabezales, la estructura cuenta con dos ejes o carriles de deslizamiento de las placas del filtro. El material de construcción tanto de los cabezales como de los ejes es,

generalmente, Acero AISI 304 o Acero fundido, además deben ser tratados con alguna pintura Epoxi.

En cuanto a las dimensiones de estos equipos, dependen exclusivamente de la capacidad de filtrado que se quiere obtener y del tamaño de las placas que utilizan. Existe una amplia gama de filtros que van desde 1,47 metros de largo (con un número de 5 placas), hasta 12,7 metros para un filtro con 125 placas.

b) Sistema de transporte de placas:

Está constituido por los dos ejes laterales donde se soportan las placas, éstas barras hacen la conexión entre los extremos de la prensa, a los que van unidos mediante elementos de fijación y soportan a su vez al cabezal móvil. Existen distintos métodos de transporte de placas, entre ellos destacan los sistemas automáticos que se basan en un carro con movimiento reversible de vaivén accionado por un cable que toma las placas de una en una y las desplaza sobre el bastidor de un lado a otro. En un extremo del bastidor está situado el accionamiento con un motorreductor conectado al eje de transmisión del cable y unido mediante un acoplamiento elástico.



Ilustración 22: sistema de traslado de placas automático una a una

Por otro lado, existen otros sistemas automáticos que se basan en una cadena de transporte con ganchos de arrastre que se deslizan sobre los carros de traslado de las placas. Cada gancho atrapa una placa y, con el movimiento continuo de sistema se consigue desplazar la totalidad de las placas en un corto espacio de tiempo.

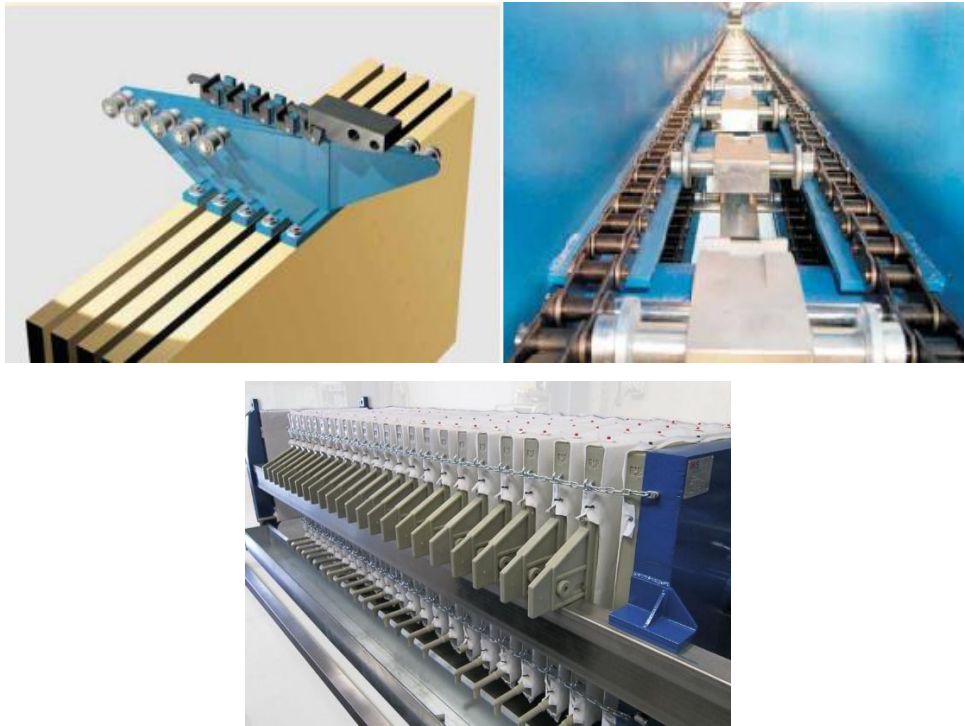


Ilustración 23: Sistema de traslado de placas continuo

2.4.2. Placas

Son los elementos que al cerrarse el filtro conforman las cámaras donde se hace la separación sólido-líquido. En ellas además se retiene y forma la torta, generalmente están fabricadas en polipropileno, sin embargo, existen placas de caucho, acero recubierto de PVC y maderas. Existen variadas configuraciones en cuanto al tamaño de las placas, sus dimensiones van desde 120x120 [mm] hasta 3000x4000 [mm], aunque en general se pueden encontrar una amplia gama de dimensiones, dependiendo capacidad que se requiere para la aplicación del filtro.

Las placas se conciben estructuralmente como un marco perimetral, en general de 90 mm de espesor, que soporta un volumen de filtrado que depende del espesor de la cámara, comúnmente de 30 [mm]. Sobre este volumen se ubica una tela filtrante que está sujeta por el marco de la placa y por pequeñas protuberancias, denominadas “pines” que conforman las canaletas de drenaje sobre la placa. Además, la mayoría de las placas poseen estoperoles en el área de filtración que actúan como soportes para reforzarlas estructuralmente. Según el lugar por donde se alimenta a la cámara de que conforman las placas, se clasifican en dos tipos: si son alimentadas por el centro de la placa se conocen como placas EIMCO, y si son alimentadas por la parte superior de la cámara, se denominan placas LASTA.

En la actualidad existen dos tipos de placas: las placas bicóncavas (recessed plate) y las placas de membrana o diafragma (membrane plates). Las primeras son las más usadas comúnmente en la mayoría de las aplicaciones, son de volumen de filtrado fijo, eso quiere decir que pueden manejar solamente un volumen de filtrado en cada operación, pero tienen la ventaja de que, al abrirse el filtro, el queque se descarga fácilmente. Por otro lado, las placas de membrana cuentan con superficies de drenaje flexibles que se expanden para ejercer una presión adicional sobre el queque dentro de las cámaras del filtro, eliminando así más humedad que las placas convencionales. Como resultado las placas de diafragma ofrecen mejores tasas de producción (Ilustración 25) para pulpas o relaves compresibles que requieren lavado o secado del queque.

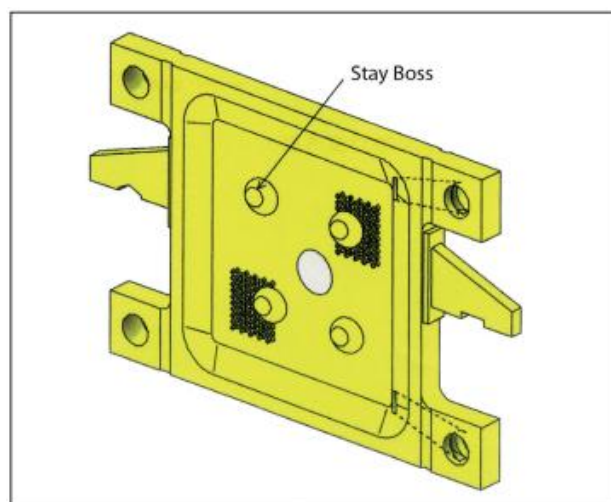


Ilustración 24: Placa EIMCO de filtro de prensa con estoperoles (stay boss)

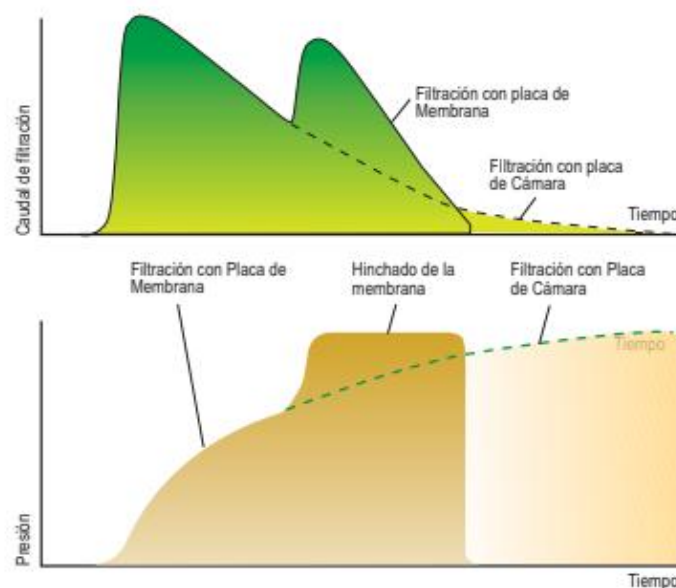


Ilustración 25: Placa de membrana vs placa de cámara

En las siguientes ilustraciones se muestran cuadros con las especificaciones técnicas de placas tanto de membrana como de placas bicóncavas.

Supplier:	Bright filter press
Place of Origin:	Shandong, China (Mainland)
Size:	630, 800, 1000, 1200, 1250, 1500, 1600, 2000, 1500×2000mm
Type:	Membrane plate
Material:	Virgin PP
Feeding type:	Center feed, corner feed, top center feed
Cake thickness:	25-40mm
Plate thickness:	60-95mm
Max feed pressure:	3.0MPa
Max squeezing pressure:	5.0MPa
Max temperature:	80 °C

Ilustración 26: EETT Placas de membrana o diafragma

Model	Plate Thickness	Cake Thickness	Chamber Depth	Filtration Area	Filtration Volume	Weight
	(mm)	(mm)	(mm)	(m ²)	(m ³)	(kg)
500×500	52	30	15	0.320	0.0048	8
630×630	55	30	15	0.600	0.0090	18
800×800	60	30	15	1.000	0.0150	25
870×870	60	30	15	1.180	0.0170	29
1000×1000	70	40	20	1.620	0.0320	35
1200×1200	70	40	20	2.330	0.0460	58
1250×1250	74	40	20	2.600	0.0520	60
1500×1500	80	40	20	3.800	0.0760	95
1600×1600	80	40	20	4.262	0.0850	103
1500×2000	80	40	20	5.060	0.1000	128
2000×2000	85	40	20	6.920	0.1380	182

Ilustración 27: EETT placas bicóncavas

2.4.3. Telas filtrantes

Las telas son elementos muy importantes en el proceso de filtrado puestos que pueden hacer una gran diferencia en los resultados del proceso. La principal función de este elemento es la de retener el material particulado a filtrar. Es por esto que varios detalles son importantes a la hora de efectuar la elección de las telas filtrantes. Generalmente material de las telas es polipropileno, aunque existen otros materiales, cada tejido tiene características propias que afectan el proceso dependiendo del material que se filtre. Las características a tener en cuenta para la elección de las telas filtrantes son: la composición de las fibras de las telas (multi, monofilamentos o spun), cualidad que está ligada directamente con la forma y tamaño del sólido en suspensión, ya que este determina la forma del “orificio” que debe retener unas partículas y dejar circular otras; la superficie de las telas debe ser térmicamente lisas y fijas y el encaje de la tela en la placa debe ser perfecto, sin permitir escurrimientos.

Los otros materiales usados para la confección de la tela filtrante son:

- Polyester
- Nylon
- Teflón
- Algodón



Ilustración 28: Características de los diferentes tipos de medios filtrante.

A su vez para poder seleccionar la tela filtrante es necesario considerar otra variable de importancia que sería el tipo de tejido, el cual afecta directamente a la calidad. Existen principalmente 4 tipos de bordados: Plano, Crowfoot, Twill y Satín. El tipo de configuración de las fibras de cada uno se puede apreciar en la ilustración 29.



Ilustración 29: Tipos de tramas en la fabricación de medios filtrantes.

El uso de la tela filtrante correcta es fundamental para conseguir una alta productividad, buenas tasas de filtrado, buena liberación del queque en la apertura del filtro, menores diferenciales de presión en operación, filtrado limpio, queques secos, vida útil máxima de la tela y menores costos de mantenimiento del filtro prensa.

En algunas aplicaciones es necesario ejecutar el lavado de estas telas, agregando complejidad al equipo, ya que el lavado de éstas se debe hacer a altas presiones, alcanzando 100 bares. En otras, basta con agregar algún tipo de movimiento o vibración para poder descargar el queque, como se muestra en la siguiente ilustración, en donde “filter cloth” representa a la tela filtrante del esquema.

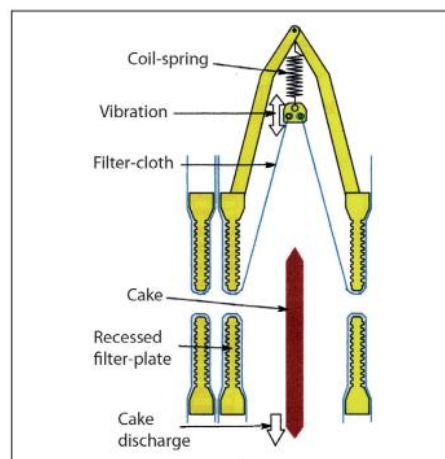


Ilustración 30: Sistema automático de descarga de queque para palcas bicóncavas

Como ejemplo se muestran las distintas características que presentan las distintas combinaciones para telas filtrantes en función del tipo de fibra y de sus tramas.

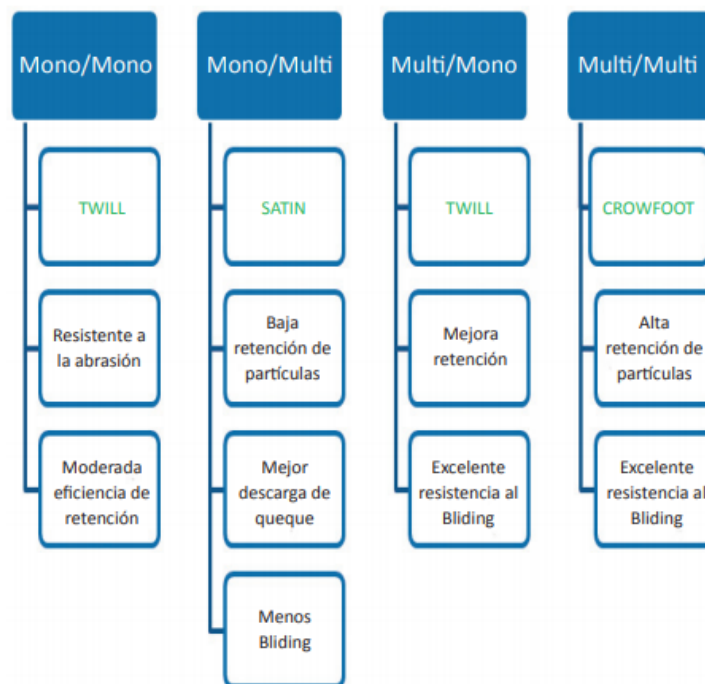


Ilustración 31: Algunas características importantes para seleccionar los medios filtrantes.

2.4.4. Blinding

Es un efecto ligado a las telas filtrantes y está directamente relacionado con el rendimiento. Esto se produce esencialmente por el tipo de tela elegida y sus características que producen que al eliminar el queque esta retenga partículas lo que produce un bloqueo mecánico de los poros de la tela. A medida que van pasando los ciclos, el efecto blinding comienza a aumentar, produciendo una disminución en la tasa de filtración esperada, por lo que se hace necesario tras cierta cantidad de ciclos, dependiendo de la tela, un lavado para poder destaparla.

2.4.5. Sistema de alimentación

El sistema de alimentación de un filtro de prensa este compuesto por bombas mecánicas que envían el fluido a presión dentro de las cámaras. Las bombas comúnmente usadas son las siguientes.

- Bombas de tornillo sin fin excéntricas.
- Bombas de membrana con pistón.
- Bombas de membrana esférica.
- Bombas de pistón giratorio.
- Bomba AODD (doble diafragma)

Lo más importante del sistema de alimentación de un filtro de prensa es el control y regulación de las bombas. Además, se de considerar los siguientes aspectos:

- Las bombas de alimentación deben ser operadas por variadores de frecuencia.
- Como variable controladora, debe estar la presión de filtración, el flujo volumétrico y la entrada absoluta por carga.
- El control de mando de la bomba debe permitir individualmente el ajuste de: la presión de filtración máxima admisible; la puesta en marcha de la bomba de alimentación; las características de transcurso del filtrado y las condiciones de apagado de la bomba.
- Es necesario contar con instrumentación como: sensores de presión, medidores de caudal y controles operadores.

Un ciclo típico de filtrado comienza con un caudal elevado y un llenado a baja presión, seguido de una caudal bajo con una presión creciente generada por la formación del queque al interior de las cámaras.

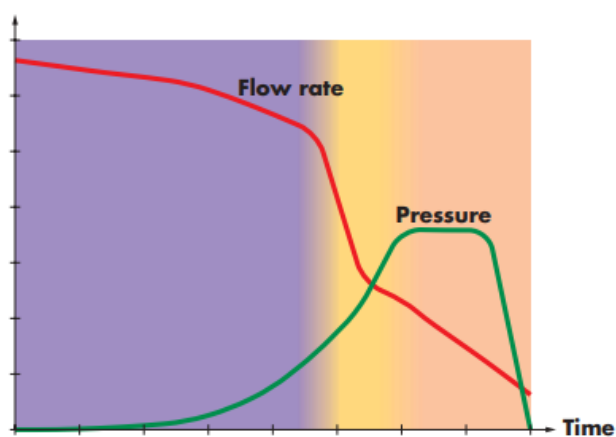


Ilustración 32 : Ciclo de operación típico para un filtro de prensa

2.4.6. Sistema de cierre del filtro

Dependiendo del tamaño y configuración que se desee el filtro puede estar constituido por un sistema hidráulico, cuyo mando puede ser eléctrico, neumático, etc. Pudiendo ser tanto de accionamiento automático como manual. Por otra parte, también existen filtros más pequeños de accionamiento manual que están formados por tornillo de potencia que se encarga de cerrar las cámaras.

- *Sistema hidráulico:*

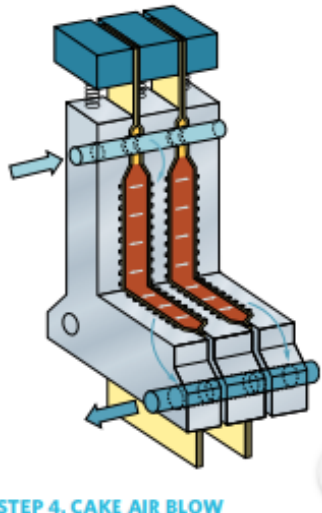
Apertura y cierre mediante una bomba hidráulica de accionamiento eléctrico o neumático. El grupo hidráulico está compuesto por los elementos necesarios para accionar un cilindro hidráulico de doble efecto, que se utiliza para desplazar las placas filtrantes y de esta manera, abrir o cerrar el filtro prensa. Se compone de: un motor de accionamiento de la bomba, un manómetro, un depósito, la bomba hidráulica y un filtro de aspiración, además de un conjunto de válvulas que contiene reguladores de presión, válvulas unidireccionales (check) y válvula de alivio (relief)

- *Sistema mecánico:*

Este sistema de apertura y cierre de las placas está constituido principalmente por un tornillo de tamaño variable dependiendo del tamaño del filtro. Este se acciona manualmente provocando el cierre de las placas, evitando que estas filtren pulpa. Generalmente este tipo de accionamientos se encuentran en industrias como la del vino en donde se utilizan filtros de poca capacidad.

2.4.7. Soplado del queque

En algunas aplicaciones, para poder llevar los lodos o relaves a la humedad final requerida, se necesita soplar con aire el queque al interior de las cámaras, agregando una etapa al ciclo completo de filtrado. Para llevar a cabo este proceso se debe contar con una unidad compresora y con algún acumulador, que se conecta mediante alguna línea a orificios a un costado de las placas. Por lo tanto, se alimenta con aire comprimido un lado de las placas, desplazando la humedad del queque. El aire comprimido y el líquido desplazado salen a través de los canales asegurando un queque consistentemente seco, tal como se muestra en la siguiente ilustración.



STEP 4. CAKE AIR BLOW

Ilustración 33: Etapa de secado del queque en filtro de prensa

2.5. Cañerías y válvulas

2.5.1. Cañerías

La cañería, es un conducto utilizado para transportar fluidos de un lugar a otro, es fundamental dentro de la configuración del filtro, Puesto que de estas depende la correcta alimentación y distribución e los fluidos para su funcionamiento. Existen de muchos tipos, pero generalmente se caracterizan de 3 formas según sus características. Estas 3 formas son:

- Tuberías con y sin costura
 - Cañerías con costura: Las tuberías con costura son aquellas que para ser construidas se sueldan a lo largo de su mando para ser cerrarlo. Este diseño le entrega a esta cañería las siguientes características.
 - Menos costosos
 - Generalmente posee una forma redonda
 - Cañerías sin costura: Estas tuberías son fabricadas a través del paso de acero líquido por una varilla para crear un tubo hueco. Algunas de las ventajas que presenta este tipo de cañerías son las siguientes.

- son capaces de soportar altos niveles de presión.
- Estos tubos logran mantener su sección transversal redonda, por lo que la instalación, de accesorios a la tubería es mucho más sencilla.
- Son mucho más eficientes y firmes que las tuberías de acero sin costura.
- Este tipo de tuberías presentan menos puntos de falla.
- Este tipo de tubos no suelen presentar fallas ni fugas.
- Cuentan con un excelente rendimiento de mecanizado en frío y calor.
- Material de construcción
 - Acero al carbono
 - Fundición
 - HDPE

2.5.2. Válvulas

Las válvulas principalmente se suelen clasificar dependiendo de su función, así es como estas se pueden dividir en dos grandes grupos que son los siguientes.

- I. Para bloqueo o cierre son:
 - Válvulas de mariposa: la caída de presión en este tipo de válvulas es muy pequeña. Su uso principal es cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión. Su diseño permite que no se cumulen sólidos en la compuerta de la válvula.
 - Válvulas de compuerta: generan una resistencia mínima al fluido de la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Son de accionamiento poco frecuente.
 - Válvulas de macho: Son de cierre hermético. Funcionan de forma que están abiertas o cerradas del todo.
 - Válvulas de bola: Se utiliza para líquidos viscosos y pastas aguadas. funcionan totalmente abierta o cerrada.
- II. Para estrangulación:
 - Válvulas de globo: estas válvulas son de uso frecuente. El asiento suele estar paralelo con el sentido del flujo; esta válvula tiene la gran desventaja de producir resistencia y caída de presión considerables.
 - Válvulas de aguja: Son básicamente válvulas de globo que tiene un macho cónico similar a una aguja, que ajusta con precisión en su asiento. La gran

ventaja de este tipo de válvula es que se puede tener una estrangulación exacta de volúmenes pequeños.

- Válvulas en Y: Son válvulas de globo que permiten el paso rectilíneo y sin obstrucción igual que las válvulas de compuerta.
- Válvulas de ángulo: Son similares a las de globo, su diferencia principal es que el flujo del fluido hace un giro de 90°
- Válvulas de mariposa: Trabajan a presiones de 150 psi hasta el vacío.
- III. Las válvulas de retención
 - Válvula check o antirretorno: actúan en forma automática ante los cambios de presión para evitar que se invierta el flujo

2.5.3. Accesorios

Los accesorios necesarios para configurar de manera correcta el piping de las cañerías. Estos elementos se diferencian por su uso.

Flanges (bridas)

Los flanges son elementos en una línea de cañerías que permiten la unión o ensamblado de las partes, ya sean válvulas, cañerías, bombas u otros.

Existen una gran diversidad de diseños, dimensiones y materiales en relación a los flanges.

Conexiones:

- Codo: Cambia la dirección del flujo original, con un ángulo específico ya sea 180°, 90°, 45°, etc. Puede reducirse o conservar su mediada original.
- Conexión en T: Utilizado para desviar en 90° una parte del flujo o caudal para alimentar otra tubería cuando se requiera. Puede reducirse o conservar su medida original.
- Reducción de campana: Cumple con la misma función del Cople solo que une con medidas distintas, cabe aclarar que, si es en acero forjado o se llama cople reducido, si es soldable, rasurado o brindado, se le llama reducción concéntrica y cuando sus extremos son roscados se llama reducción campana pero todos cumplen la misma función solo es cuestión de semántica.

- Tapones: Ya sea cachucha o macho su función es bloquear o terminar con una línea de tubería.

2.6. Lavado de telas

A menudo los filtros prensa requieren de lavado de la tela filtrante que está dispuesta en ambas caras de cada una de las placas que conforman la prensa. Esto puede ser causado por el tipo de pulpa o lodo con el que se está trabajando. Por lo anterior, comúnmente requieren de un sistema de lavado de alta presión, la forma más fácil de ejecutar este lavado es cuando las telas se encuentran aún montadas en las placas de los filtros. Para esto se necesita un sistema para manejar este procedimiento, compuesto de un estanque, bombas, piping de recirculación, válvulas, etc. que generalmente son provistos por los fabricantes del filtro prensa.

Por seguridad, se debe tener mucho cuidado en la operación ya que en ocasiones se utiliza una solución con ácido clorhídrico combinado con algún detergente. Por esto, se debe tener la certeza de que la solución limpiadora no se escurra por entre las placas del filtro durante el ciclo de lavado. Las placas biconcavas deben usar cortinas de salpicadura o el filtro debería estar equipado con placas con sello O ring.

Otra forma de lavado de telas es con agua limpia y a alta presión, sistemas automáticos comúnmente incluidos en el filtro, en donde se debe tener los siguientes cuidados:

- Las telas se deben lavar según la composición del lodo y el número de ciclos o cargas diarias que tenga el filtro.
- Se debe contar con bombas de alta presión, 100 [bar] generalmente, ya que con presiones menores el lavado no es eficiente.

2.7. PLC

Los “PLC” (Programable Logic Controllers, por sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos que se pueden programar para poder personalizar una secuencia o un equipo con funciones automáticas según sus necesidades de control. En simples palabras un PLC es un cerebro electrónico que acciona a otros componentes de una maquinaria para que se ejecuten acciones que pudieran ser peligrosas o muy lentas al hacerlas manualmente.

Básicamente los PLC están compuesto por 3 bloques principales que son:

- Unidad central de proceso (CPU): Es un bloque encargado de consultar el estado de las entradas para luego extraer de la memoria del programa los pasos a seguir para elaborar las señales de salida.
- Memoria interna: Esta memoria es la encargada de mantener los datos que van surgiendo en los procesos intermedios que luego no se ven reflejados en la salida.
- Interfaces de entrada y salida: Establecen la comunicación entre el PLC y la planta o procesos de los cuales recibe información y a los cuales les envía las señales

Para poder representar el ciclo que debe formar el PLC se utilizan herramientas como los diagramas. Dentro de estos se pueden encontrar:

- Diagrama de estados: este diagrama nos indica en las distintas etapas, en qué estado se encuentra cada uno de los componentes del PLC. Este estado puede variar entreabierto, cerrado, encendido apagado.
- Diagrama espacio fase: Este diagrama es muy similar al diagrama de estados solo que se agregan los tiempos de funcionamiento de los actuadores además de una tabla donde se indican que función cumplirán los sensores dentro del PLC.
- Diagrama Grafcet: El diagrama grafcet lo que busca es graficar los tipos de acciones y transiciones que tenga el ciclo. Se realiza después de hacer el diagrama espacio-face y su estructura se puede ver en la ilustración 34.

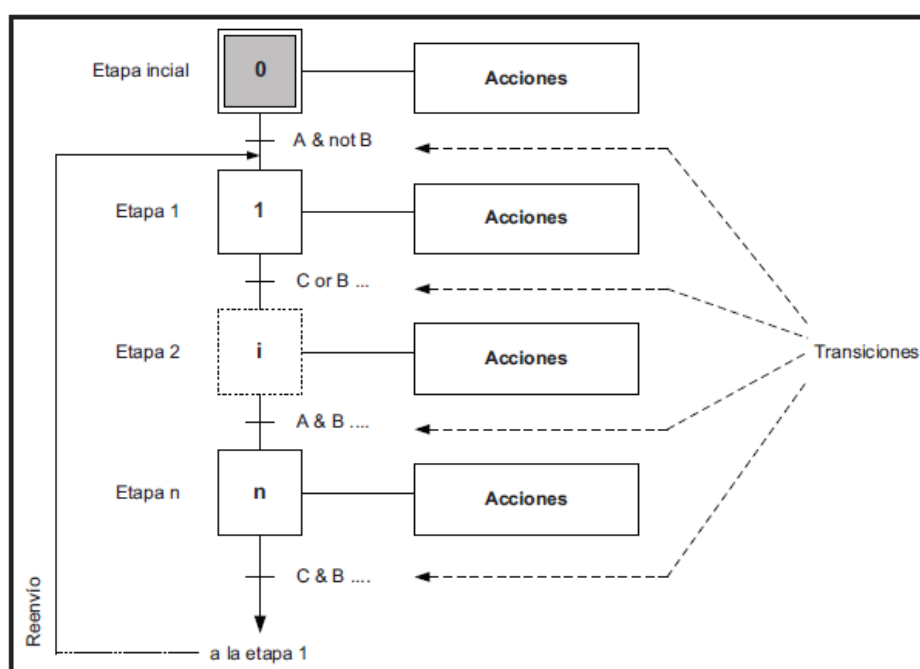


Ilustración 34: Componentes de un diagrama grafcet.

2.8. Principio de funcionamiento de un filtro de prensa horizontal

El filtro prensa es una máquina que se utiliza para realizar la separación de sólidos y líquidos de un lote o carga, para lo cual se requiere de un número necesario de placas montadas sobre un bastidor que al unirse forman cámaras, donde se deposita y filtra el material que ingresa al equipo. Esta máquina opera de forma discontinua, es decir por ciclos de operación.

Para llevar a cabo el objetivo de este equipo, la máquina necesariamente debe contar con los

En operación, una serie de placas, con una tela filtrante en cada cara son mantenidas juntas mediante un sistema hidráulico. Posteriormente se da inicio a la alimentación del sistema hasta lograr la presión requerida, a medida que esto ocurre el queque al interior de las cámaras se va formando y el agua atraviesa la tela filtrante y se recoge por canales internos en las placas. Una vez que el queque se ha formado se procede, en algunos casos a secar el queque con aire comprimido si así lo requieren las condiciones operacionales o, a abrir el sistema hidráulico, desplazando así las cámaras unidas y liberando el queque formado en su interior. En algunas aplicaciones también se requiere de ejecutar un lavado de telas, en caso de que el queque que se forma al interior de las cámaras no caiga por su propio peso una vez que el ciclo de filtrado ha terminado.

En las ilustraciones mostradas a continuación se puede observar claramente las cuatro etapas de filtrado que ocurren dentro de las cámaras de un filtro de prensa: cierre, llenado, filtración y apertura. Además, se puede agregar otra etapa al proceso de filtrado que corresponde al lavado de tela, en caso de ser necesario.

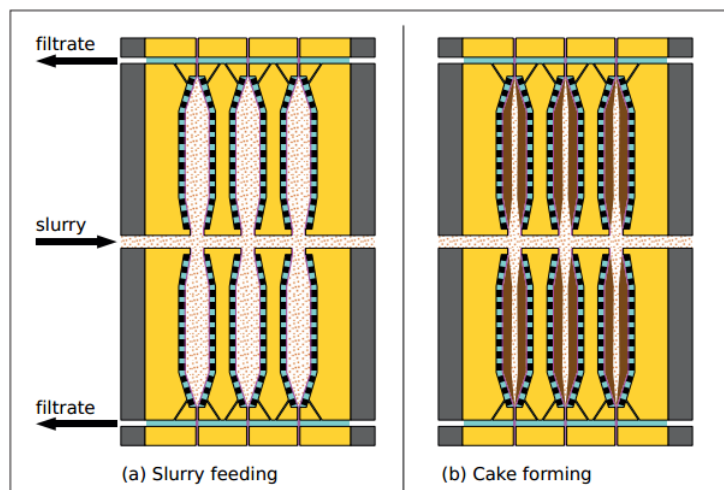


Ilustración 35: Etapas de filtrado, en filtro de prensa

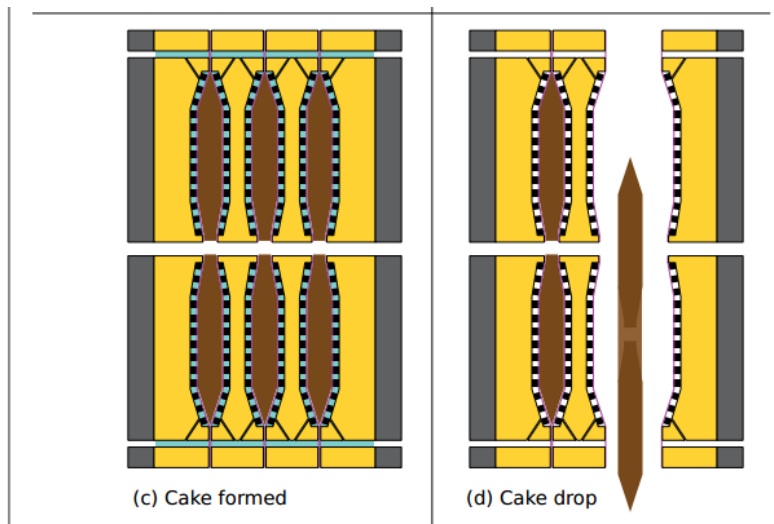


Ilustración 36: Etapas de filtrado, continuación

Las placas de los filtros prensa están fabricadas generalmente de polipropileno, aunque en algunas aplicaciones se pueden fabricar de acero, cuando el material a filtrar se encuentra a temperaturas elevadas. Las telas filtrantes que están dispuestas en ambas caras de cada placa son también fabricadas de polipropileno, pero cada tejido tiene unas características fisicoquímicas concretas, que están asociadas al material que se debe filtrar.

3. Diseño del filtro de prensa horizontal

3.1. Requerimientos del diseño

Los requisitos del sistema a diseñar son dos variables la primera que consta del dimensionamiento físico del filtro y la segunda que es la capacidad de filtrado. Para el dimensionamiento físico de la maquina se requiere que el transporte de esta se haga mediante un camión, para esto se asume que el largo efectivo, para el transporte de la máquina, se considerara entre cabezal fijo y el soporte para el pistón hidráulico, puesto que los demás elementos como cañerías y sistema oleo hidráulico se consideran elementos desmontables que no afectan en el transporte de este.

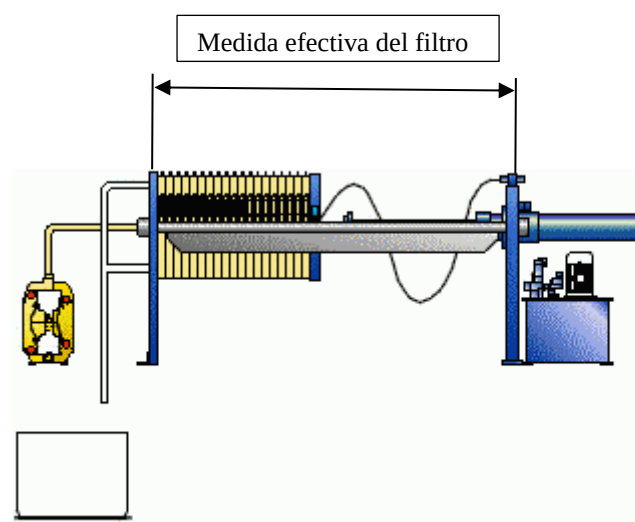


Ilustración 37: Largo efectivo del filtro

Es por esto y que según la ley chilena de transporte se fija el largo efectivo con un máximo de 8.5 m entre ambos elementos.

De manera simple como requerimiento de la maquina se solicita que esta debe cumplir con una capacidad de $50 \left[\frac{\text{Ton}}{\text{hora}} \right]$ para su funcionamiento normal.

3.2. Variabilidad del diseño

Variable	Condición	Tasa de filtración
<i>Propiedades del fluido</i>		
Densidad	↑	↓
Viscosidad	↑	↓
<i>Naturaleza del solido</i>		
Tamaño del solido	↑	↓
<i>Propiedades de la pulpa</i>		
Concentración de solido	↑	↓
<i>lavado de torta</i>		
Frecuencia	↑	↑
<i>Componentes</i>		
Presión de alimentación	↑	↑
espesor de la cámara	↑	↑
Presión de Soplado de la torta	↑	↑
Tela filtrante (espesor)	↑	↓
<i>Tipo de tela filtrante</i>		
<i>Tiempo de filtrado</i>		

Tabla 2: variabilidad para un filtro de prensa

En base a la tabla 2, construida a partir de información recopilada, se estableció que existe una gran flexibilidad para un filtro dependiendo de múltiples variables, dentro de las cuales se destaca la parte superior de la tabla, donde se encuentran las variables que no depende el filtro, sino, que son netamente pertenecientes a la naturaleza del compuesto a filtrar, estas variables no afectan el diseño del filtro.

En función de esta tabla y con motivos de entregarle flexibilidad, con respecto a la tasa de filtración y toneladas filtradas por ciclo, es que el diseño del filtro se basara principalmente en la selección de componentes que posean las cualidades que le permitan a la maquina tener una amplia gama de requerimientos que podría cubrir.

3.3. Dimensionamiento

Como se mencionó anteriormente el filtro debe tener una capacidad de 50 $\left[\frac{\text{ton}}{\text{hora}}\right]$ manteniendo las medidas acordes a las estipuladas por la ley. Bajo estas condiciones y sabiendo que según la ley el alto máximo de un camión es de 4.30 [m] y su ancho de 2.60 [m], es que se decide tomar una placa de configuración cuadrada con una medida máxima cercana a las medidas máximas estipulada por ley.

Para estimar el número de placas se tomó como referencia el cálculo entregado por minera san pedro en uno de sus documentos utilizando la siguiente formula.

$$\text{Numero de placas} = \frac{\text{Capacidad} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{h}}\right]}{\text{Tasa de filtracion} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2\text{h}}\right] * \text{incertidumbre} * \text{area de filtrado} [\text{m}^2]} + 1$$

Fuente: Minera, C., & S. A. N. (2017). Pruebas de espesamiento

Donde la incertidumbre es un valor que considera todos los tiempos en donde el filtro no está filtrando y se estima generalmente en 1.20 [-], mientras que la capacidad se considera fija como un valor de 50 [ton/h]

Para estimar el largo máximo de la estructura es necesario ponerse en el peor de los casos, en donde el filtro se encuentra con todas sus placas abiertas. Para poder obtener ese valor se considerarán las siguientes dimensiones.

Espesor de placa (e)	85 [mm]
Separación entre placas abiertas (s)	120 [mm]

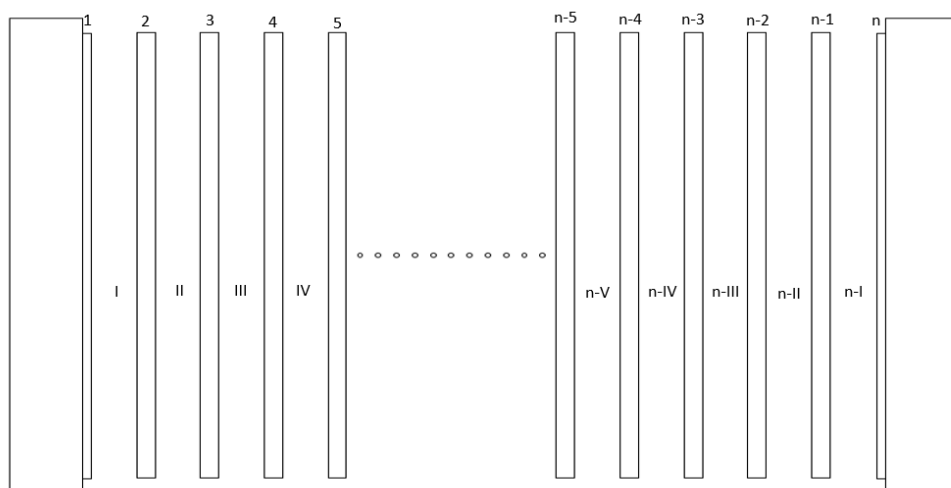


Ilustración 38: Esquema de calcula para número de placas y cámaras del filtro

Para calcular el largo efectivo estimado para el filtro se usa la siguiente formula:

$$\text{Largo efectivo} = e * n + (n - 1) * s$$

Con lo anterior mencionado y tomando los 3 valores más comunes de placas, con dimensiones cercanas al valor máximo estipulado por ley para el transporte, se genera la siguiente tabla para las distintas tasas de filtración.

Tasa de filtración [Kg/m2 h]																	
PLACA	200	272	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
1,2	136	100	91	78	69	61	55	50	46	43	40	37	35	33	31	30	28
1,5	87	65	59	51	44	40	36	33	30	28	26	24	23	22	21	20	19
2	50	37	34	29	26	23	21	19	18	16	15	14	14	13	12	12	11
Numero de placas necesarias																	

Tasa de filtración [Kg/m2 h]																	
PLACA	200	272	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
1,2	27,8	20,4	18,5	15,9	14,0	12,4	11,2	10,1	9,3	8,7	8,1	7,5	7,1	6,6	6,2	6,0	5,6
1,5	17,7	13,2	12,0	10,3	8,9	8,1	7,3	6,6	6,0	5,6	5,2	4,8	4,6	4,4	4,2	4,0	3,8
2	10,1	7,5	6,9	5,8	5,2	4,6	4,2	3,8	3,6	3,2	3,0	2,8	2,8	2,5	2,3	2,3	2,1
Tamaño del filtro [m]																	

Tabla 3: Número de placas y tamaño del filtro en función de la tasa de filtración y el tamaño de placas

		Tasa de filtración [Kg/m ² h]																
Dimensiones de la placa [m]	Area de filtrado [m ²]	200	272	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
0,8	0,99	305	224	204	175	153	136	123	112	103	95	88	82	77	73	69	65	62
0,85	1,12	270	199	180	155	136	121	109	99	91	84	78	73	69	65	61	58	55
0,9	1,25	241	177	161	138	121	108	97	88	81	75	70	65	61	58	55	52	49
0,95	1,40	216	159	144	124	109	97	87	79	73	67	63	59	55	52	49	47	44
1	1,55	195	144	130	112	98	87	79	72	66	61	57	53	50	47	44	42	40
1,05	1,71	177	130	118	102	89	79	72	65	60	55	52	48	45	43	40	38	37
1,1	1,88	161	119	108	93	81	73	65	60	55	51	47	44	41	39	37	35	33
1,15	2,05	148	109	99	85	75	66	60	55	50	46	43	40	38	36	34	32	31
1,2	2,24	136	100	91	78	69	61	55	50	46	43	40	37	35	33	31	30	28
1,25	2,43	125	92	84	72	63	56	51	46	43	40	37	34	32	31	29	28	26
1,3	2,63	116	86	78	67	59	52	47	43	40	37	34	32	30	28	27	26	24
1,35	2,83	107	79	72	62	54	49	44	40	37	34	32	30	28	26	25	24	23
1,4	3,05	100	74	67	58	51	45	41	37	34	32	30	28	26	25	23	22	21
1,45	3,27	93	69	63	54	47	42	38	35	32	30	28	26	24	23	22	21	20
1,5	3,50	87	65	59	51	44	40	36	33	30	28	26	24	23	22	21	20	19

Tabla 4: Datos de numero de placas y largo máximo del filtro para placas de 50 mm de espesor

Se aprecia en la tabla las distintas cantidades de placas que se necesitan para cubrir la capacidad de $50 \left[\frac{\text{ton}}{\text{hora}} \right]$ a distintas tasas de filtración. Además, se tiene como referencia una tasa de filtración de 272 [Kg/m² h] bajo las siguientes condiciones:

- 10 bares de alimentación
- Sin soplado
- Tela de polipropileno multifilamento
- Tiempo de llenado y formación del queque de 5 min.
- Alimentación del 55% solido
- Salida de 18% de liquido
- Placas de polipropileno

Fuente: Minera, C., & Pedro, S. A. N. (2017). Pruebas de espesamiento y filtración de relave (515 t/d).

Para decidir la cantidad y el tipo de placas con las que el filtro trabajará se vuelve a destacar que por ley debe medir igual o menos a 8.5 [m] de largo y 2.6 [m] de ancho. Sabiendo además que las placas deben ir apoyadas sobre perfiles que aumentaran la medida del ancho del filtro es que se decide tomar las placas con una medida de 1.5 [m] de ancho que nos proporcionan

una mayor área de filtración manteniendo las medidas estándares propuestas en los requerimientos. Con respecto a la cantidad de placas y de manera homologa, sabiendo que la tasa de filtración puede variar dependiendo de muchos factores (Tabla 2) es que se decide trabajar para una tasa media de filtración de [500 Kg/m² h] teniendo un largo estimado de 7.3 [m] que cumple con lo especificado.

Con lo ante mencionado y trabajando con los planos de las placas obtenidas (Anexo A) es que se puede obtener datos más certeros respecto al funcionamiento y dimensionamiento del filtro para distintos tipos de espesores de placas.

Fluido utilizado (Agua)	1000	Kg/m ³								
Área filtrante de placa	3,407	3,456	3,505	3,554	3,573	3,605	3,652	3,697	3,743	[m ²]
Área de sellado de la palca	5265	5075	4887	4701	4628	4501	4320	4150	3975	[cm ²]
Espesor de la cámara (a)	15	20	25	30	32	35	40	45	50	[mm]
Peso de la placa	72,6	75,0	77,3	79,4	80,3	81,5	83,5	85,5	87,3	[Kg]
Largo efectivo del filtro abierto	7429	7429	7429	7429	7429	7429	7429	7429	7429	[mm]
Largo efectivo de placas cerradas	4151	3817	3581	3406	3344	3271	3164	3077	3109	[mm]
Espesor de placa (H)	45	50	55	60	62	65	70	75	85	[mm]
Placa de cola y de cabeza	49,5	52,0	54,5	57,0	58,0	59,5	62,0	64,5	67,0	[mm]
Espacio entre placas abiertas	36	48	60	72	77	84	96	108	120	[mm]
Numero de cámaras máximo	91	75	64	56	53	49	44	40	36	[-]
Numero de placas Max	90	74	63	55	52	48	43	39	35	[-]
numero de placas min	70	63	57	52	51	48	45	42	35	[-]
Largo mínimo del pistón	3278	3612	3848	4023	4085	4158	4265	4352	4320	[mm]
Volumen de la cámara	0,025	0,033	0,042	0,051	0,054	0,059	0,068	0,077	0,086	[m ³]
Volumen del filtro	2,26	2,51	2,69	2,82	2,87	2,94	3,03	3,11	3,10	[m ³]
Densidad del queque filtrado	1,69	1,71	1,73	1,74	1,75	1,76	1,78	1,79	1,81	[Kg/m ³]
Ton/Ciclo	3,83	4,29	4,64	4,92	5,02	5,17	5,39	5,58	5,62	[Ton]

Tabla 5: Distintos tipos de espesor de placas para el filtro.

3.4. Selección de placas

Para la selección de la placa ya se sabía con anterioridad que las dimensiones de ésta debían ser de 1.5x x 1.5 [m], se prefiere con alimentación central ya que es la configuración más común y con respecto al material se prefiere de polipropileno puesto que permite soportar la abrasión y admite presiones altas presiones de filtrado además de un menor peso y costo lo que llevaría a ser una ganancia para el diseño.

En base a esto y debido a la variabilidad que se le quiere dar al diseño del filtro las placas que soportaría son de dos tipos:

Placas con membranas: Las placas filtrantes de membrana le dan la opción al filtro de un sistema de escurrido de torta una vez finalizada la filtración, esto disminuye el tiempo de filtrado lo que provoca un aumento significativo en la tasa de filtración. Además, agrega una etapa nueva en el filtrado.

Placas biconcavas: Este tipo de placas es la más comúnmente utilizada, tienen un menor costo en desmedro de la tasa de filtración que disminuye al utilizarlas.

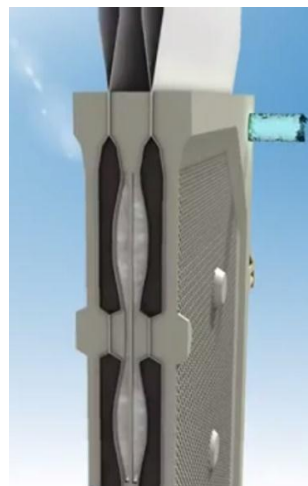


Ilustración 39: configuración de placa con membrana

Cabe destacar que para usar las placas con membranas será necesario implementar un sistema de aire a presión que permita el hinchado de estas.

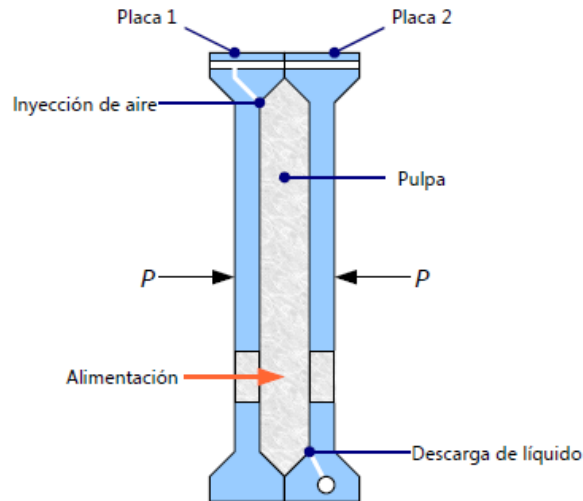


Ilustración 40: configuración de placa sin membrana

3.5. Estructura

Dado el funcionamiento del filtro las 2 fuerzas externas principales que actúan sobre la estructura están dadas por el peso que soporta la estructura, conformado casi en su totalidad por las placas y el contenido a filtrar y la fuerza ejercida por la presión en ambos cabezales, como se puede apreciar e la Ilustración 41.

El cálculo de la estructura se basa en el caso desfavorable de trabajar a la mayor presión que trabajan los filtros (15 [bar]) y con la placa de mayor área. Con esto se sabe que los valores para realizar el cálculo serán los expresados en la Tabla 6.

Sabiendo los datos de presión y área se puede calcular la fuerza que soportará la placa con una simple ecuación.

$$Fuerza = Presión * Área$$

presión de trabajo	15	[bar]
Área filtrante de la placa	1,87	[m ²]
Área del marco	0,40	[m ²]
Fuerza debido a la presión de trabajo (Fa)	2807	[kN]

Tabla 6: Valores para el cálculo estructural

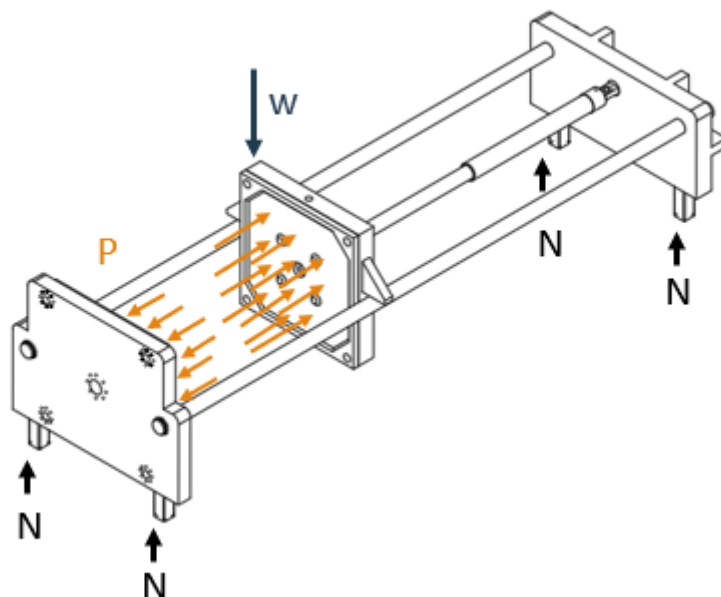


Ilustración 41: Diagrama de fuerzas principales sobre la estructura del filtro

El peso que soportara la estructura está compuesto por las placas, que en el caso más desfavorable consta de elementos de peso 72.6 Kg cada una, más el peso en agua dentro de las cámaras y el relave que contienen. En conjunto con esto también debe soportar el peso de el cabezal móvil y el cilindro hidráulico. Para dar seguridad el cálculo, se multiplican los valores por un factor de 1,2 dando resultado a la siguiente tabla.

mayor peso del total placas 1,5x1,5	7933	[Kg]
Peso del contenido	6700	[kg]
Peso del fluido (Agua)	3109	[Kg]
Peso de cabezal móvil más pistón hidráulico	1500	[Kg]
Fuerza total que soporta la estructura	188764	[N]

Tabla 7: datos de pesos y cálculo de fuerza total que soporta la estructura

3.5.1. Soportes y cabezal móvil

Cabezal móvil

Las dimensiones de la geometría del cabezal móvil están determinadas por las dimensiones de la placa, dando una geometría cuadrada con dos soportes laterales que tendrán como función guiar y sostener al cabezal en las barras laterales. Además de esto, la estructura de este elemento debe alojar un canal interno desde la parte superior de éste hasta la parte frontal (interior de las cámaras) permitiendo así el ingreso de pulpa y aire para poder limpiar el canal principal.

Este cabezal al igual que las otras partes del bastidor, está construido de Acero Fundido y como se puede ver en la ilustración 42, el cabezal fijo este sometido a 2 fuerzas que mantendrán a este en equilibrio. La primera es la fuerza ejercida por el pistón hidráulico y la segunda es la fuerza ejercida por la presión sobre la placa más la normal del contacto entre las placas.

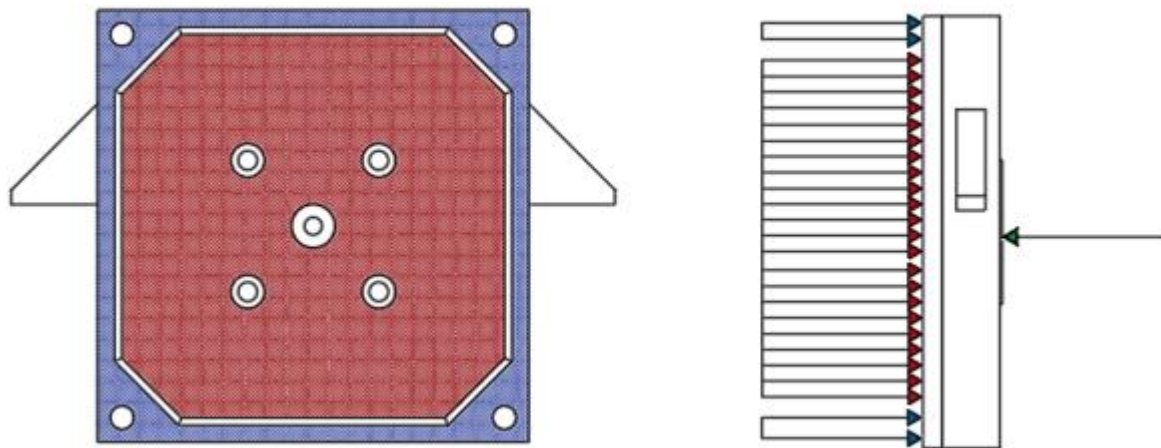


Ilustración 42: fuerzas sobre el cabezal móvil

Para simplificar el cálculo se considera el cabezal móvil como una viga empotrada en el centro pero que se flexa en los bordes por lo que se divide la fuerza central en 2 y se traslada hacia los extremos.

Con las fórmulas que se encuentran en el Anexo C se calcula el momento que soporta el cabezal móvil como:

$$M = 750 [mm] * 1403625 [N] = 1052718.75 [Nm]$$

$$I_{xx} = \frac{bh^3}{12} = \frac{1.5[m] * 0.15^3 [m]}{12} = 4.22 * 10^{-4} [m^4]$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.075 [m] * 1052718.75 [Nm]}{4.22 * 10^{-4} [m^4]} * 10^{-6} = 187.09 [MPa]$$

$$Fs = \frac{375 [MPa]}{187.09 [MPa]} = 2 [-]$$

Cabezal fijo y de accionamiento.

Como se puede ver en las ilustraciones 42 y 43 el cabezal fijo como el cabezal de accionamiento están sujetos a las mismas solicitaciones, las dos reacciones producto de las vigas laterales y el esfuerzo central, en el caso del cabezal fijo, producto de la presión dentro de las cámaras de las placas o en el cabezal de accionamiento producto de la reacción del pistón hidráulico que ira anclado a este.

Ambos elementos estructurales del filtro pueden calcularse simplificandose como una viga empotrada en sus extremos con una carga central F (Anexo C) igual a 2807.25 [KN] y dos fuerzas en sus extremos T igual a 1403.62 [KN]

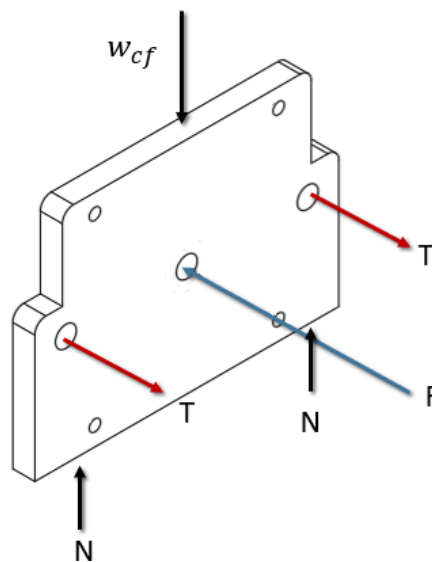


Ilustración 43: DLC cabezal fijo

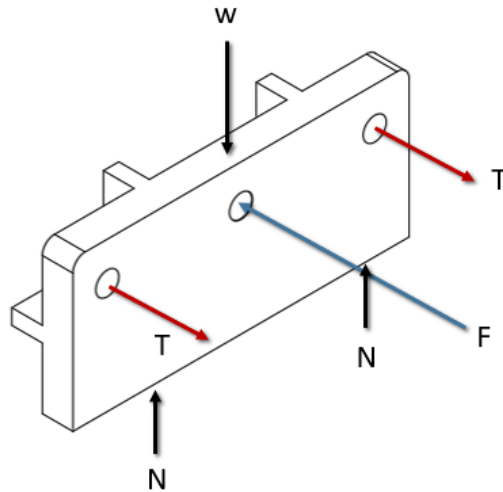


Ilustración 44: DLC cabezal de accionamiento

La geometría de las estructuras fue diseñada en función del tamaño de la placa y la dimensión de las vigas laterales. En función de esto y sabiendo que los cabezales son de acero fundido, se seleccionó en el peor de los casos el material de menor clase con esfuerzo a la deformación (375 [Mpa]). Con esto y utilizando las fórmulas del Anexo C para una viga empotrada en ambos extremos con una carga central se procede a calcular los momentos, esfuerzos y deformaciones principales para dar paso al cálculo del esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad. A partir de estos se obtiene la siguiente tabla.

Ancho	2200	[mm]
Espesor	150	[mm]
Área transversal	0,33	[m ²]
Ft	2807,25	[KN]
R1, R2	1403,63	[KN]
m1, m2	771993,75	[Nm]
Vab = - Vbc	1403,63	[N]
Mab	771993,75	[Nm]
Mbc	771993,75	[Nm]
E	210	[Gpa]
I	0,00062	[m ⁴]
y	-0,0012	[mm]
Volumen de la pieza	0,50	[m ³]
esfuerzo de flexión	93,58	[Mpa]
σ_1	93,58	[Mpa]
τ	0,01	[Mpa]
σ Von Mises	93,58	[Mpa]
Factor de seguridad	4,01	[-]

Tabla 8: Resultados para el cálculo estructural de los cabezales.

Como se puede ver en los resultados de la tabla anterior ambos elementos estructurales del filtro están dimensionados para trabajar con un factor de seguridad de 4 lo que asegura un normal funcionamiento de las piezas.

3.5.2. Barras laterales

Ambas barras laterales se encuentran sujetas a dos tipos de solicitaciones principales, la primera es la flexión producto de la carga que se considerará, en el peor de los casos, central e igual al total del peso compuesto por las placas, el fluido y la pulpa a cargar (máximos valores de estos). Por otra parte, el elemento se encuentra sujeto a tracción provocado por la reacción de las fuerzas T de los cabezales.

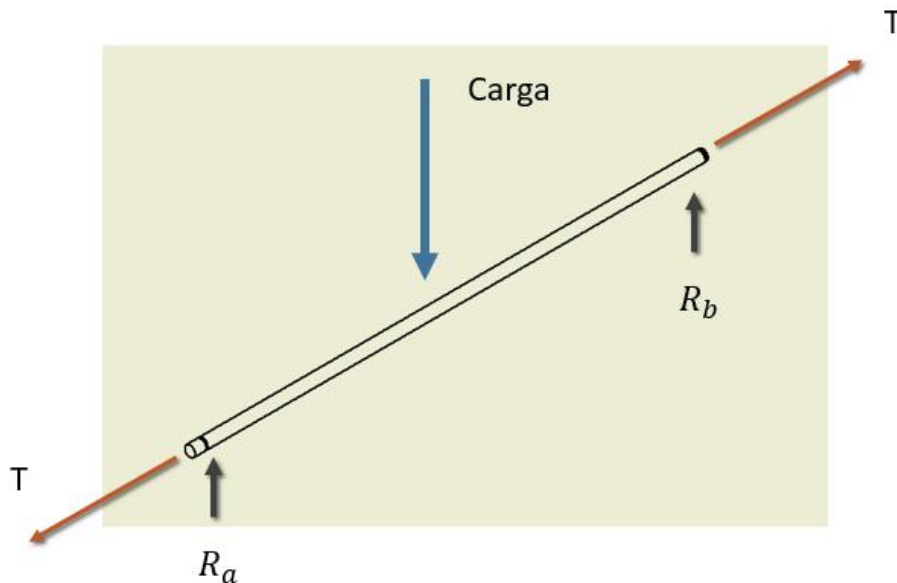


Ilustración 45: DLC sobre las barras que soportan las placas

Este sistema de fuerzas se calcula como una barra empotrada en sus extremos con una carga central adhiriendo al calculo el esfuerzo debido a la tracción. Por su limite de fluencia se selecciona el acero A270 como material iterando el diámetro hasta conseguir un factor de seguridad de 3.

Para la geometría de la barra se selecciona un perfil circular, que nos permitirá asegurarla mediante anillos Segers a los cabezales. Con esto se realizan los cálculos de tracción y flexión usando las fórmulas del Anexo C para una barra empotrada-empotrada con carga central. Con esto se obtiene la siguiente tabla de resultados.

Fuerza total que soporta la viga lateral (P) Ra, Rb	94.6	[KN]
largo de la viga (L)	8,2	[m]
M1=M2	96968	[Nm]
y _{max}	-0,069	[mm]
E	210	[Gpa]
I	1,88574*10 ⁻⁰⁵	[m ⁴]
Fuerza en tracción	1403,625	[KN]
esfuerzo de flexión	0,39	[Mpa]
Esfuerzo total	79,82	[Mpa]
σ ₁	79,86	[Mpa]
τ	3,57	[Mpa]
σ Von Mises	80,09	[Mpa]
Factor de seguridad	3,12	[-]

Tabla 9:: Resultados para el cálculo estructural de las barras laterales

3.5.3. Anillos Segers

Para evitar que las barras se separen de los soportes del filtro en los extremos se fijan con anillos Segers. Según catálogo de un distribuidor de anillos (Otia) se selecciona uno que cumpla con la geometría de la barra y a partir de la siguiente formula se calcula la cantidad de anillos necesarios.

$$n = \frac{\text{Fuerza de traccion} * 1.5}{\text{Fuerza que soporta un anillo segers}}$$

De catálogo se extrae las dimensiones de la ranura, además de sus características para el tipo de anillo seleccionado (DIN 471, dn 150 [mm]) dando como resultado los siguientes datos.

Fuerza soportada por anillo	28900	[kg]
Numero de anillos	9	[-]
Cavidad para los anillos	37,35	[mm]

3.5.4. Perfiles de soporte vertical

Los perfiles base que tienen como función soportar el peso completo del filtro. Están bajo la sollicitación de pandeo, con esta premisa y asumiendo que en el peor de los casos el filtro se sostendrá entre 3 de sus 4 soportes es que se realiza el cálculo dividiendo el peso total a soportar entre 3. A partir de esto y utilizando la metodología para el cálculo de pandeo explicado en el marco teórico se realiza la siguiente tabla. Cabe destacar que para el cálculo se asume que las vigas de soporte serán perfiles cuadrados de acero A270 huecos de lados 100 [mm]

Fuerza P	83547,1	N
A	2163	[mm ²]
L	0,6	[m]
I	3105500	[mm ⁴]
S _y	270	[Mpa]
C	0,25	[-]
E	210	Gpa
Punto t (l/k)	61,95	[-]
K	37,89	[mm]
σ critico	64,76	[Mpa]
Factor de seguridad	1,68	

Tabla 10: Tabla 8: Resultados para el cálculo estructural de los perfiles de soporte

Dado esto se itera la tabla 10 con los distintos espesores para este perfil dando como resultado la elección de un perfil de acero A270 de dimensiones 100 x 100 x 6 [mm].

3.6. Alimentación y bombeo

La alimentación de la pulpa hacia el filtro se hará mediante un sistema de bombas seleccionadas a partir de caudal necesario para poder llenar el grupo de placas en un tiempo determinado. Las demás variables que afectan a un sistema hidráulico como son las pérdidas de carga y altura mínima se consideran despreciables.

Como se puede ver en la tabla. 11, Existen variadas recomendaciones que nos pueden guiar en la selección de nuestra bomba, dependiendo de la industria para la que destinemos el filtro.

S. No.	Industria/Aplicación	Parámetros de procesos tomados en consideración	Tipo de bomba
1.	Aceites y resinas	Alta viscosidad- alta temperatura	Bombas de engranajes y cilindros
2.	Jarabe de azúcar	Baja viscosidad, alta temperatura. Bajo contenido de solidos	Bombas centrifugas higiénicas
3.	STP/ETP	Baja viscosidad-temperatura ambiente- buenos sólidos.	Bombas de tornillo/ bomba centrifuga multietapa.
4.	Electrodeposición y fosfatado	Lechada a alta temperatura, fácilmente precipitable, sedimentada- alto contenido de solidos	Bombas AODD
5.	Textil y tintorería	Alta temperatura, lodos precipitados y sedimentados	Bomba AODD, Bomba centrifuga para lodo
6..	Pasta y papel	Temperatura ambiente, Volumen alto	Bomba centrifuga para lodo/Bomba AODD
8.	Bioteología y farmacias	Temperatura, Presencia de disolventes, operación en sala limpia	Bomba sanitaria, Bomba AODD
9.	Filtros para maquinaria	Temperatura ambiente	Bomba de tornillo/ bomba centrifuga multietapa.

Tabla 11: Recomendaciones de tipos de bombas dependiendo de la industria. Fuente: Indian, T., Equipment, F. C., & Prasad, D. (2014). *Successful filter press pump selection guide*, (October), 1–3

Como criterio de selección del tipo de bomba se planteó en primeras instancia en los pros y los contras que tenía cada bomba para el funcionamiento que se requiere, es por esto por lo que en primera instancia se descarta las bombas centrifugas ya que debido a su forma de funcionamiento producen una mayor pérdida de carga durante la marcha lo que hace al proceso mucho más ineficiente. Esto nos deja a las bombas de desplazamiento positivo dentro de las que se encuentran bombas de tornillo y pistón, entre otras. Estas bombas debido a su funcionamiento necesitan altos niveles de mantenimiento, además son altamente propensas al desgaste del fluido a transportar es por esto por lo que no son la mejor opción.

Existe una bomba que destaca de entre las otras para este tipo de proceso, y es la seleccionada para el filtro, esta es la bomba AODD (Air-Operated Double-Diaphragm). Esta bomba funciona en base a el aumento de presión que se realiza por el empuje de unas paredes elásticas llamadas membranas o diafragmas que producen una variación en el volumen de la cámara, aumentándola y disminuyéndola alternadamente. Unas válvulas de retención, normalmente de bolas, controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de mayor presión a la de menor presión, como se puede apreciar en la ilustración 46.

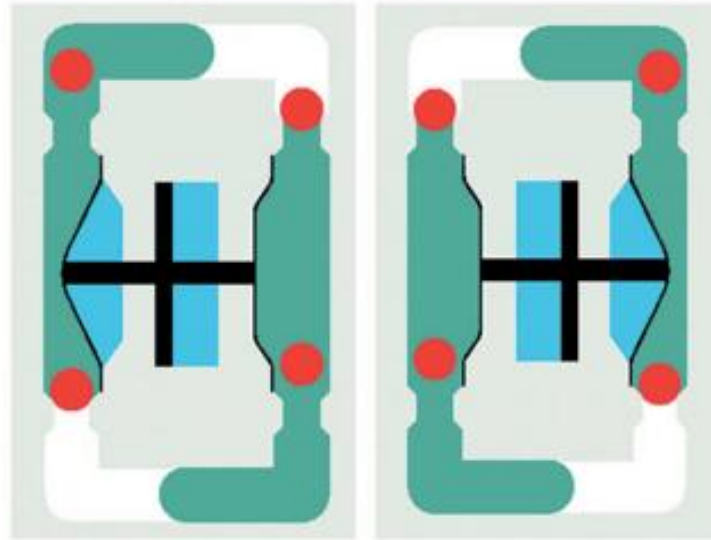


Ilustración 46: Principio de funcionamiento de una bomba de doble membrana neumática (AODD)

Debido a su construcción esta bomba presenta múltiples beneficios en comparación a las otras para el filtro. Dentro de las principales ventajas que presenta se pueden destacar las siguientes:

- Son más resistentes al funcionamiento en seco.
- Prácticamente no necesitan mantenimiento.
- Son autorregulables
- Compactas
- No necesitan un operador o sistema electrónico, ya que la contrapresión de la cámara regula automáticamente el avance.
- La velocidad de avance disminuye continuamente a medida que la contrapresión aumenta. Esto produce que cuando la cámara se llena la bomba se detiene virtualmente (avance cero)

Para dimensionar la bomba AODD se genera una tabla con los distintos volúmenes de llenado para las distintas medidas de placas que pueden ser equipadas al filtro y el tiempo que se requeriría para llenarla. A partir de esto y con la siguiente formula se genera la siguiente tabla.

$$Q \left[\frac{Lts}{min} \right] = \frac{V [Lts]}{t [s]} * 60$$

volumen de llenado [Lts] / tiempo de llenado [s]	2263	2508	2687	2825	2868	2939	3031	3109	3102	[Lts]
50	2715	3010	3224	3390	3441	3527	3638	3731	3723	[Lts/min]
60	2263	2508	2687	2825	2868	2939	3031	3109	3102	[Lts/min]
70	1939	2150	2303	2421	2458	2519	2598	2665	2659	[Lts/min]
80	1697	1881	2015	2119	2151	2204	2273	2332	2327	[Lts/min]
90	1508	1672	1791	1883	1912	1959	2021	2073	2068	[Lts/min]
100	1358	1505	1612	1695	1721	1763	1819	1865	1861	[Lts/min]
110	1234	1368	1466	1541	1564	1603	1653	1696	1692	[Lts/min]
120	1131	1254	1344	1412	1434	1470	1516	1554	1551	[Lts/min]
130	1044	1158	1240	1304	1324	1357	1399	1435	1432	[Lts/min]
140	970	1075	1152	1211	1229	1260	1299	1332	1329	[Lts/min]
150	905	1003	1075	1130	1147	1176	1213	1244	1241	[Lts/min]
160	848	941	1008	1059	1075	1102	1137	1166	1163	[Lts/min]
170	799	885	948	997	1012	1037	1070	1097	1095	[Lts/min]
180	754	836	896	942	956	980	1010	1036	1034	[Lts/min]
190	714	792	849	892	906	928	957	982	980	[Lts/min]
200	679	752	806	847	860	882	909	933	931	[Lts/min]
210	646	717	768	807	819	840	866	888	886	[Lts/min]
220	617	684	733	770	782	802	827	848	846	[Lts/min]
230	590	654	701	737	748	767	791	811	809	[Lts/min]
240	566	627	672	706	717	735	758	777	776	[Lts/min]
250	543	602	645	678	688	705	728	746	745	[Lts/min]
260	522	579	620	652	662	678	700	717	716	[Lts/min]
270	503	557	597	628	637	653	674	691	689	[Lts/min]
280	485	537	576	605	615	630	650	666	665	[Lts/min]
290	468	519	556	584	593	608	627	643	642	[Lts/min]
300	453	502	537	565	574	588	606	622	620	[Lts/min]

Tabla 12: Caudales de llenado para los distintos volúmenes

Se espera que el filtro sea capaz de llenarse en un tiempo aproximado de entre 3 a 4 min, es por esto por lo que se escoge una configuración de 2 bombas AODD dispuestas en paralelo Con un caudal de $350 \left[\frac{\text{Lts}}{\text{min}} \right]$ que puedan trabajar con una presión de 15 [bar].

3.7. Piping y sistema de válvulas

El piping de las tuberías se realizó en función de lo necesario para que el filtro pueda cumplir con los requisitos de diseño. Para comenzar el diseño del piping de tuberías es necesario establecer las siguientes condiciones que deberá cumplir el sistema de tuberías:

- En base a las perforaciones principales que se presentan en el plano de la placa en el Anexo A. Se configuran las 4 entradas principales de aire para el soplado y la salida de fluido por parte del filtrado. En base a esto se sabe que por 1 y 2 saldrá líquido filtrado y aire por parte del soplado. Mientras que por 3 y 4 Solo circulara fluido filtrado, como se puede ver en la ilustración 47.
- Para el ingreso de pulpa se tendrán en consideración que la misma tubería de ingreso deberá hacerse la limpieza que deberá retornar al tanque de la pulpa.
- Debido a la necesidad de limpieza del canal central, el ingreso de pulpa debe ser tanto por el cabezal fijo como por el cabezal móvil, Esto permite al filtro agregar una etapa que proporciona un flujo de aire que limpia el conducto principal.
- Se debe adecuar para el filtro una cañería para suministrar aire a presión a las placas de membrana en caso de necesitar. Cabe destacar que esta cañería es descartable en caso de no necesitarse.

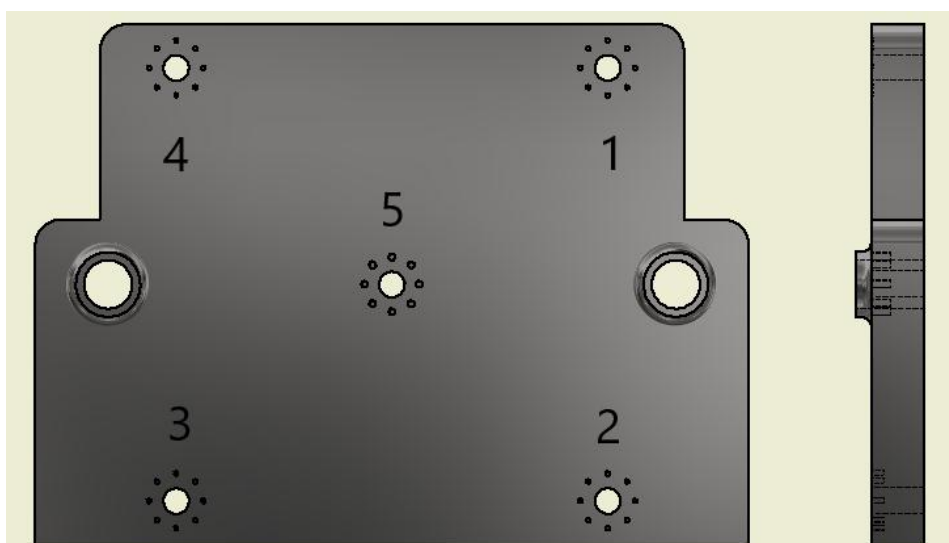


Ilustración 47: Numeración de los canales de entrada por el cabezal fijo al filtro.

En base a lo mencionado anteriormente, se establece que las perforaciones por donde entrara el aire a presión se encuentran al lado derecho del filtro, debido a esto es que se coloca una

cañería perpendicular hacia arriba, que estará conectada a una línea de aire comprimido por donde hará ingreso. De esta se ramificarán las distintas cañerías que usarán aire dentro del proceso de filtrado.

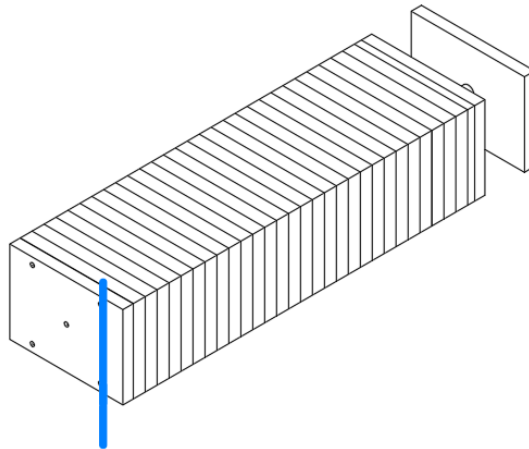


Ilustración 48: Etapa 1 del piping de tuberías

Por su parte la alimentación se divide en dos cañerías, una que hará ingreso por el centro del cabezal fijo para inyectar la pulpa a presión dentro de las cámaras y otra que guiará pulpa por la parte posterior del filtro más específicamente hacia la superior del cabezal móvil mediante una manguera especialmente diseñada para transportar este tipo fluidos. Cabe destacar que esta segunda línea debe estar conectada a la línea de aire a presión para poder hacer la limpieza del canal principal y ser eliminado por una tercera ruta de escape que estará ubicada por la parte de ingreso de la pulpa en el cabezal fijo.

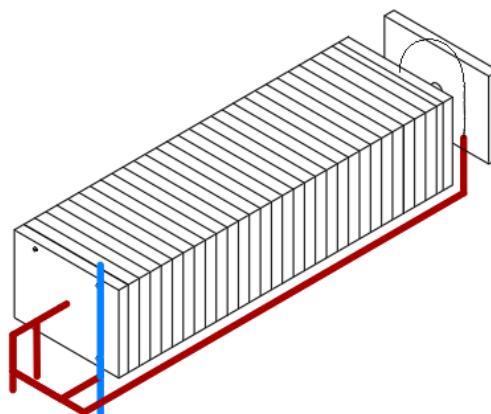


Ilustración 49: Etapa 2 del piping de tuberías

Entre las 4 cañerías ubicadas en los vértices del cabezal fijo y por donde circula agua filtrada y aire a presión deberá existir una cañería que permita la salida del fluido. Por esto entre las 4 cañerías debe existir una unión entre ellas para poder mediante una válvula separar la entrada de aire por las dos perforaciones de la derecha dejando las dos de la izquierda para la salida del filtrado.

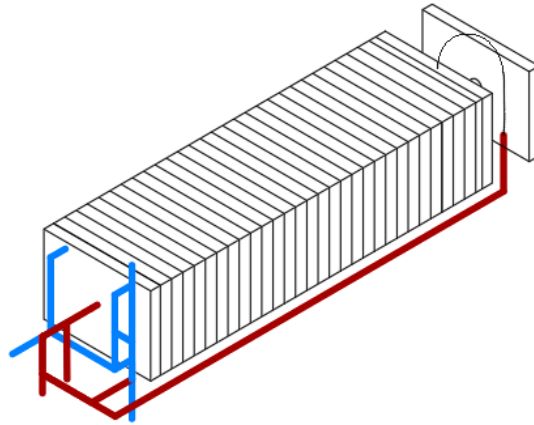


Ilustración 50: Etapa 3 del piping de tuberías

Para terminar con la configuración de las tuberías y solo en el caso especial de usar placas de membrana, se añadirá una última cañería con una cantidad determinada de boquillas dependiendo del número de placas del filtro que serán utilizadas para el hinchado de estas con aire. La orientación de las boquillas será de forma vertical hacia abajo para que la manguera quede colgando, esto evita que esta pueda enredarse, doblarse o quedar atrapada entre las placas.

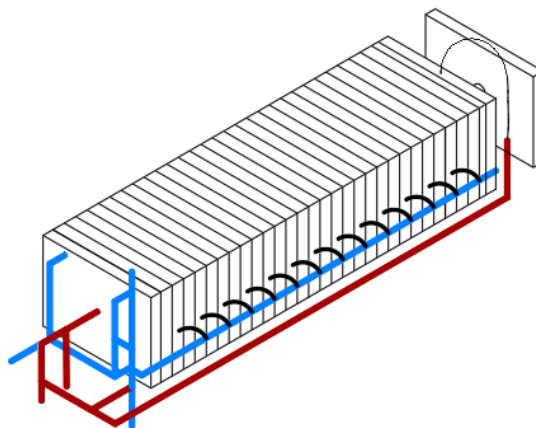


Ilustración 51: Etapa 4 del piping de tubería

Para concluir la configuración de las cañerías se implementa un juego de electrovalvulas de cuchillo en cada una de las vías que tienen una función específicas, para así aislarlas con el proposito de lograr el correcto funcionamiento del filtro. Con esto el piping de las tuberías concluye como se puede ver en la ilustración 52.

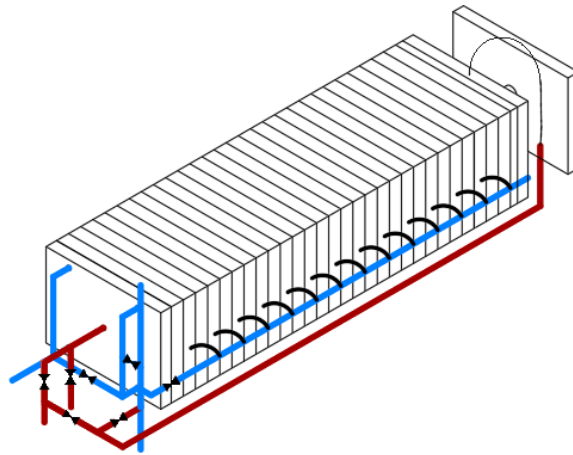


Ilustración 52: Etapa 5 del piping de tuberías

Se estima la dimensión de las tuberías en función de la velocidad necesaria para el transporte del relave al interior de las tuberías. En este caso el caudal promedio que se usará para llenar el filtro será de 700 [Lts/min], pero como se dispuso una configuración de cañerías con el mismo diámetro para todos sus tramos el caudal se divide en dos para hacer ingreso a las cámaras, dejando un caudal de 350Lts/min Aproximadamente en cada una de estas cañerías. Con el caudal de entrada asumido se procede a realizar el cálculo de la velocidad de transporte del relave en función del diámetro de la cañería con la siguiente ecuación.

$$V \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{Q \left[\frac{Lts}{min} \right]}{A [m^2] * 60 * 1000}$$

Donde:

V = Velocidad de transporte del fluido en $\frac{m}{s}$

Q = caudal que transporta la tubería en $\frac{Litros}{Segundos}$

A = es el área de la sección transversal de la tubería en m^2

Con esto se obtiene la siguiente tabla de datos:

Caudal	350	Lts/min
diámetro [mm]	4022	[Lts]
45	3,667768	[m/s]
50	2,970892	[m/s]
55	2,455283	[m/s]
60	2,06312	[m/s]
65	1,757924	[m/s]
70	1,515761	[m/s]
75	1,320397	[m/s]
80	1,160505	[m/s]
85	1,02799	[m/s]
90	0,916942	[m/s]
95	0,822962	[m/s]
100	0,742723	[m/s]

Ilustración 53: Tabla de velocidades para distintos diámetros

A partir de esta tabla se selecciona una cañería de un diámetro aproximado de 80 [mm] de, que soporte una presión mayor a 15 [bar] (máxima presión en la alimentación con la que trabajara el filtro). Además, en función de las características de la pulpa que transportara el filtro es que las cañerías variaran en su material siendo para el general de sus casos de acero y sin costura. Pero para el caso especial de la pulpa orgánica, se prefiere que las cañerías sean de acero inoxidable debido a la necesidad de trabajar en condiciones de higiene.

Todas las cañerías se tomarán por las mismas dimensiones debido a que en el diseño, el peor de los casos se encuentra en la cañería de alimentación del fluido, y si funciona para ese tramo, funciona para el resto del equipo.

Para el último tramo de la entrada trasera donde se necesita flexibilidad debido al constante cambio de ubicación del cabezal, es que se utilizará una manguera de material especial dependiendo del material a filtrar. En el caso de relaves y concentrado se utilizarán mangueras con alta resistencia al desgaste que posean un recubrimiento adecuado y puedan soportar las presiones de trabajo (15 bares) como se puede ver en el Anexo B. Para el caso de Las aguas servidas queda sobredimensionada una manguera de ese estilo es por esto por lo que se cambia el material por una más simple. Y en el caso especial de trabajar con pulpa orgánica, al igual

que con las tuberías se cambia el material de la manguera por una que no afecte la higiene del producto.

A modo de resumen se nombran los elementos necesarios para la construcción del piping para el filtro.

- 4 electroválvulas de cuchillo ASME B16.34 clase 300 y con finales con soldadura a tope.
- 3 electroválvulas de cuchillo ASME B16.34 clase 150 y con finales con soldadura a tope
- Tuberías de material acero ASME B16.9 con dos diámetros 80[mm] para soldar
- Manguera de uso afín
- 6 codos de radio corto ASME B16.9 de 80 [mm]
- 7 conexiones en T recto ASME B16.9 de 80 [mm]
- 1 conexiones de esquinas con 3 salidas de 80[mm]
- 1 conexión de esquina con 4 salidas de 80 [mm]
- Boquillas para conexión de mangueras de aire (cantidad varía dependiendo del número de placas)
- 2 boquillas de conexión para la manguera de alimentación.

Finalmente, en base a todo lo antes mencionados la configuración de las cañerías queda de la siguiente manera:

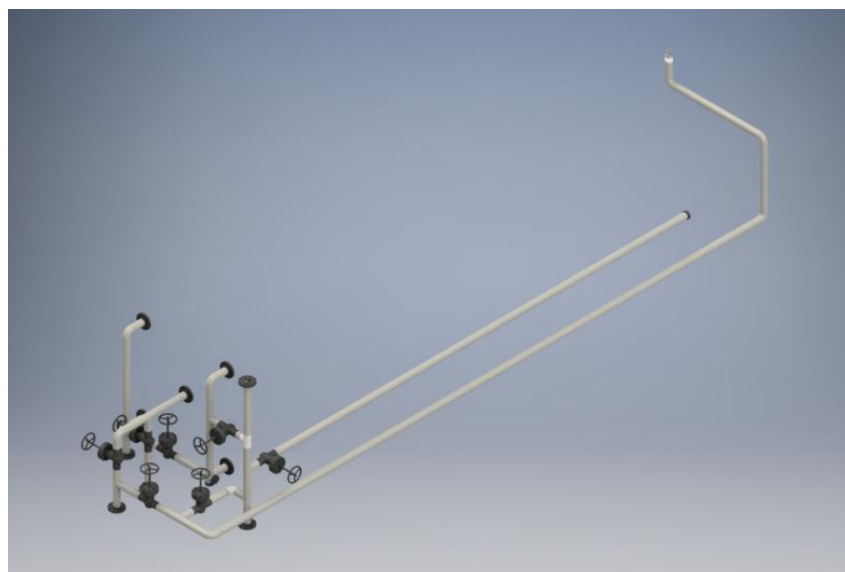


Ilustración 54: Piping de cañerías

3.8. Sistema oleo hidráulico

El sistema oleohidraulico tiene por funcion generar el cierre hermetico de las placas evitando fugas. Principalmente debe estar consituido por un grupo motriz, una valvula, un piston correspondiente y su estanque para retornar el aceite.

Para seleccionar la presion de funcionamiento del sistema oleohidraulico, se trabajo en funcion de la ilustracion 55. con esta se obtuvo una presion de funcionamiento de aproximadamente 290 [bares] en condiciones de una presion de alimentacion de 15 [bares] que es el peor de los casos. En base a esta presion se realizan los calculos para diseñar el sistema de cerrado de placas.

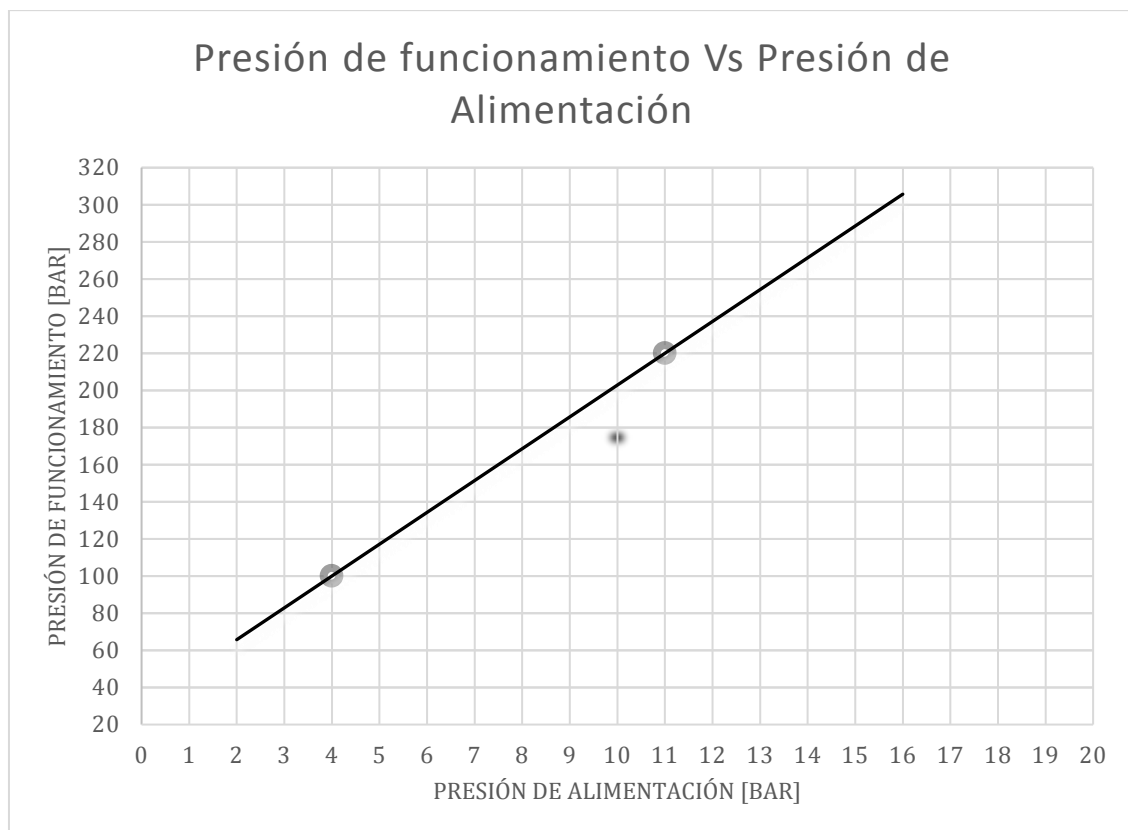


Ilustración 55: tabla de presiones de funcionamiento en función de la presión de alimentación.

El esquema del sistema oleo hidráulico será el siguiente.

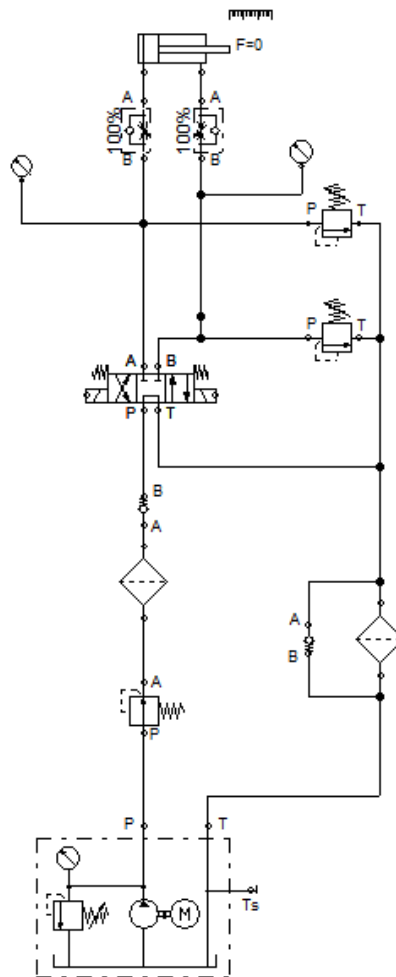


Ilustración 56: Esquema de sistema oleo hidráulico

- Pistón oleo hidráulico telescópico de 4 etapas con recorrido de 4.5 [m] capaz de producir una fuerza de retracción de 6.5 [Kn] y que sea capaz de trabajar hasta 350 bares con soporte frontal para acoplarse al cabezal de accionamiento.
- Grupo motor de pistones oleo hidráulico de 350 [bares]
- Reguladora de presión, para poder ajustar las presiones de sellado del filtro en caso de ser necesario.
- Filtro a la entrada y a la salida para evitar el ingreso de polvo al sistema debido a la necesidad de trabajar en ambientes sucios.
- Válvula diseñada para soportar 300 bares o más y sea comandada eléctricamente para poder ser activada por el PLC
- 2 válvulas limitadoras de presión encaso de seguridad para evitar la sobrepresión en cualquiera de las líneas y prever que se dañe cualquier elemento.

- 2 manómetros para medir la presión de sellado del mecanismo
- 2 reguladoras de caudal para poder ajustar la velocidad de apertura y cerrado del filtro.
- Cañerías de acero para la conducción del aceite
- Mangueras para conectar el retorno del pistón oleo hidráulico.

El principio de accionamiento es sencillo ya que solo se necesita que el pistón hidráulico entre y salga a una velocidad controlada con una presión específica y a una velocidad controlada.

A continuación, se demuestra con ayuda del software FluidSim el funcionamiento controlado del sistema oleo hidráulico. Preliminarmente cuando el sistema se encuentra en reposo con las placas abiertas, es decir con el pistón retraído, como se puede ver en la ilustración 56.

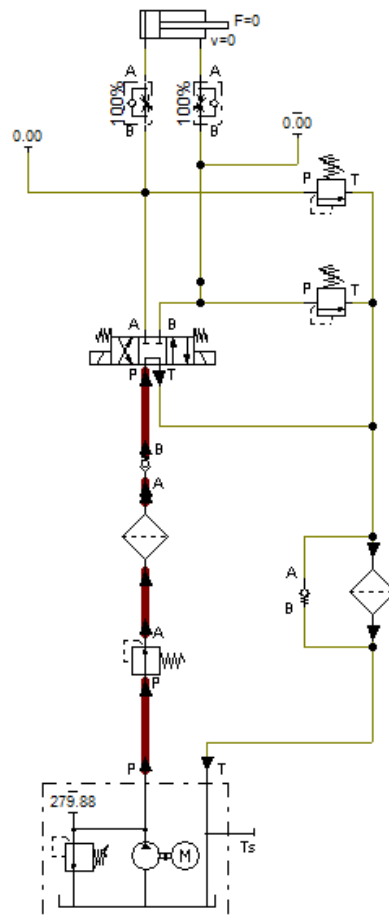


Ilustración 57: Esquema del sistema oleo hidráulico en estado de reposo.

Cuando el filtro comienza el funcionamiento el pistón debe comenzar a activarse produciendo el cerrado de placas. Esto se produce cuando el PLC da la señal que cambia la posición de la válvula para iniciar el proceso de llenado del pistón a velocidad controlada por las válvulas

reguladoras. Cabe destacar que en las vías de llenado se encuentra un manómetro para corroborar el funcionamiento a la presión indicada además de una reguladora de presión para que el sistema no se dañe en caso de sobrepasar la presión de diseño.

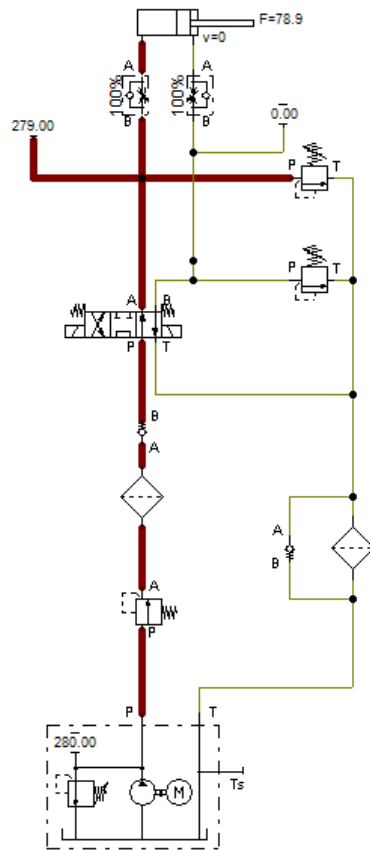


Ilustración 58: Esquema de sistema oleo hidráulico elevando el pistón.

Homologamente que el caso anterior pero para el proceso de retracción de las placas, en el proceso final del ciclo del filtro, el PLC cambia de posición la válvula para dirigir la presión del fluido hacia el área de retracción del cilindro, como se puede apreciar en la ilustración 59. Al igual que para desplegar el cilindro, a la salida se encuentra un manómetro para poder vigilar la presión y una válvula limitadora de presión en caso de seguridad.

Para terminar el circuito se agregan elementos que sirven como complemento al circuito. Estos elementos como los filtros a la salida del grupo motor y a la vuelta del filtro debido a que el sistema funcionara en un ambiente en donde puede haberse mucho polvo en suspensión. También se necesita una válvula reguladora de presión en caso de querer variar las presiones y una válvula antirretorno en caso de tener un aumento de presión en la línea que conecta directamente al motor y así evitar que pueda fallar.

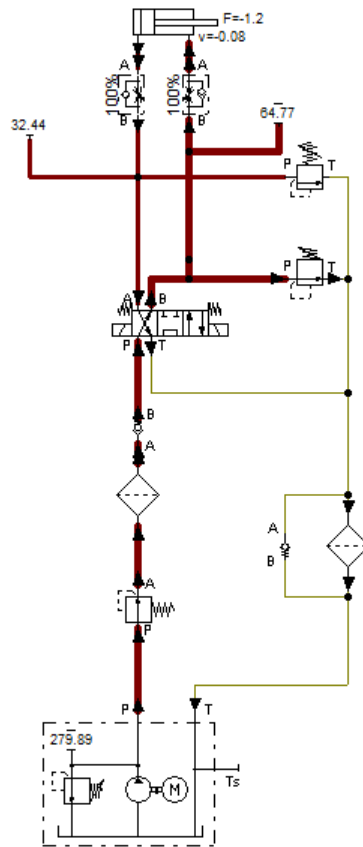


Ilustración 59: Esquema de sistema oleo hidráulico retrayendo el pistón.

3.9. Automatización

La automatización del filtro estará a cargo de un PLC cuya función será la de alternar los distintos componentes para lograr la sincronización de todas las etapas del filtro, se seleccionó este método por sus numerosos beneficios en comparación a otros métodos de automatización como son los relés.

Como se explicó con anterioridad los componentes centrales de este circuito a ser automatizado son, en general, una serie de válvulas electrohidráulicas de cuchillo que deberán rotar en funcionamiento para dar paso a las distintas etapas del ciclo del filtro. A esto se le suma el sistema hidráulico de apertura y cierre de placas además del sistema de lavado y alimentación. La configuración y denominación de las válvulas se puede apreciar en la figura 60.

El ciclo del filtro consta de 7 etapas bien marcadas como se puede apreciar en la tabla 13, ahí se logra describir con claridad en qué estado debe estar cada uno de los componentes para cada una de las etapas del filtro.

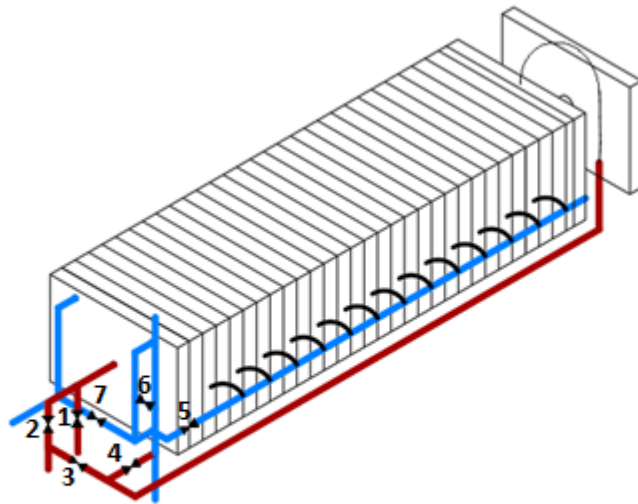


Ilustración 60: Denominación de las válvulas del filtro.

El funcionamiento del PLC para cada estado será el siguiente:

- Estado 1 (cerrado de placas): Para este estado solo se necesita que el PLC active la electroválvula del sistema oleo hidráulica, para accionar el pistón que cerrara las placas. El resto de las válvulas permanecerán cerradas por seguridad. Cuando el manómetro alcance la presión de sellado, se da paso a la siguiente etapa.
- Estado 2 (Alimentación): Se hay que destacar que la electroválvula debe seguir accionada para que las placas se permanezcan cerradas, esto debe mantenerse todo el ciclo del filtro. En esta etapa se debe accionar la bomba. Al mismo tiempo se deben abrir las electroválvulas 2 y 3 para permitir el ingreso de pulpa al filtro y la electroválvula 7 para permitir que el filtrado salga por las 4 cañerías. Todo este tiempo se regulará por un temporizador en el PLC (TON) programado con el tiempo de filtración seleccionado a partir de las pruebas.
- Estado 3 (Limpieza del canal de alimentación): Para comenzar la limpieza se cierran todas las válvulas de alimentación y se abre la válvula 4 para que el aire a presión proveniente de esa cañería empuje la pulpa que quede en la línea y sea eliminada por la vía en donde se encuentra la válvula 1 que también estará abierta.

- Estado 4 (hinchado de placas): En caso de necesitarse esta etapa, se regirá por un temporizador (TON) programado con el tiempo obtenido a partir de las pruebas hechas en laboratorio. En esta etapa todas las válvulas permanecerán cerradas a excepción de la válvula 5, que permite el paso del aire a las palcas.
- Estado 5 (Soplado): Al igual que la etapa anterior, en caso de necesitarse, en esta etapa permanece abierta solo la válvula 6, que permite el ingreso de aire a las placas para retirar el resto de líquido del queque. Para esta etapa debe haber un temporizador (TON) programado con el tiempo obtenido de las pruebas para alcanzar el porcentaje de humedad requerido.
- Etapa 6 (apertura de placas): Con todas las válvulas cerradas se cambia a la posición opuesta la electroválvula del sistema oleo hidráulica para que retraiga el pistón y separe las placas.
- Etapa 7 (Lavado de telas): este proceso se hará cada cierto número de ciclos y esto será dependiendo de la tela y el material a filtrar, por ende, para poder disminuir el efecto de blinding se programa un lavado cada cierto número de ciclos a través del puente lavador.

	Cerrado de placas	Alimentación	Limpieza	hinchado de placas	soplado	Abertura de placas	Lavado de telas
Bomba de alimentación	off	on	off	off	off	off	off
Cilindro hidráulico	extendido	extendido	extendido	extendido	extendido	contraído	contraído
Válvula de limpieza (1)	off	off	on	off	off	off	off
Válvula alimentación (2)	off	on	off	off	off	off	off
Válvula alimentación (3)	off	On	off	off	off	off	off
Válvula soplado limpieza (4)	off	off	on	off	off	off	off
Válvula hinchada (5)	off	off	off	on	off	off	off
Válvula soplado (6)	off	Off	off	off	on	off	off
Válvula (7)	off	On	off	off	off	off	off
lavado de placas	off	off	off	off	off	off	on

Tabla 13: Tabla de estados para los componentes del filtro.

3.10. Lavado de telas

Para el proceso de lavado de tela se rediseño una estructura en base a una patente y una memoria para adaptar la estructura a las necesidades del filtro que se está diseñando. Básicamente el diseño consiste en una estructura tipo puente que recorrerá longitudinalmente el filtro y entre placas iniciará un lavado mediante un tubo lavador sujeto a dos cilindros telescópicos que se encargaran de hacerlo recorrer desde arriba hacia abajo limpiando la placa por completo.

3.10.1. Estructura

La estructura base y soporte para todos los componentes de este lavador de telas está compuesto básicamente por dos tipos de perfiles distintos, el primero se encuentra en la parte inferior de la estructura y sirve de soporte para las ruedas y como base para el armazón completo, este perfil es de dimensiones 100 x 50 x 3, mientras que el resto de la estructura este compuesto por perfiles de dimensiones 50 x50 x 3. Ambos perfiles son de aluminio para disminuir el peso de la estructura.

No se realiza el cálculo de la estructura puesto que ya fue previamente calculada dentro de su respectivo documento, por lo que se asegura que este cumple con los requerimientos para su funcionamiento. Aunque cabe destacar que se redimensionaron algunas medidas para ajustar el puente a las dimensiones del filtro, como se puede apreciar en el plano que se encuentra en el apéndice E.

Como resultado de esto se puede ver la ilustración 61. Cabe destacar que la estructura fue pensada para poder soportar todos los elementos anexos que tendrá el elemento.



Ilustración 61: Estructura del puente lavador.

La estructura estará recubierta de una chapa de aluminio de espesor 3 mm, doblada que soportará todos los distintos elementos que llevará el filtro. Esta chapa posee dos agujeros centrales separados por 200 [mm] en donde serán instalados los dos cilindros telescópicos. Además de un corte al lado derecho para hacer el ingreso de agua a presión al puente a través del respectivo tubo.

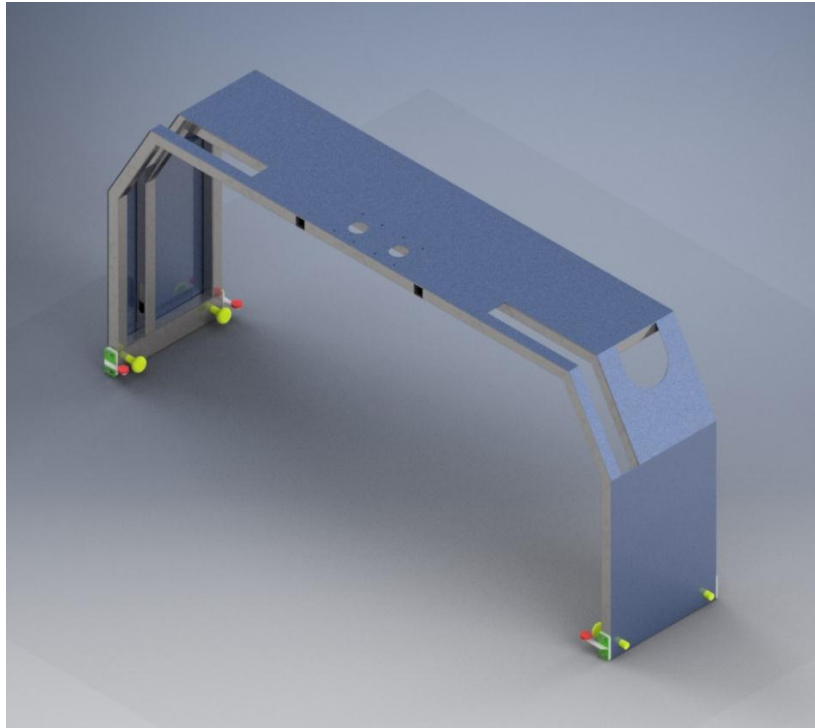


Ilustración 62: Estructura del puente lavador con chapa y ruedas incorporadas

Para poder moverse por los carriles, el puente lavador cuenta con 4 ruedas de 60 [mm] de diámetro que sirven de apoyo ubicadas a 50 [mm] de los extremos de la estructura, además de otro juego de 4 ruedas guías que se ajustan para poder centrar el puente y evitar que este se descuadre de los rieles.

3.10.2. Sistema de lavado

La estructura del mecanismo de lavado básicamente consta de los mismos elementos, pero redimensionados para poder suplir la demanda. En los siguientes párrafos se especifica los elementos a utilizar en el punto lavador del filtro.

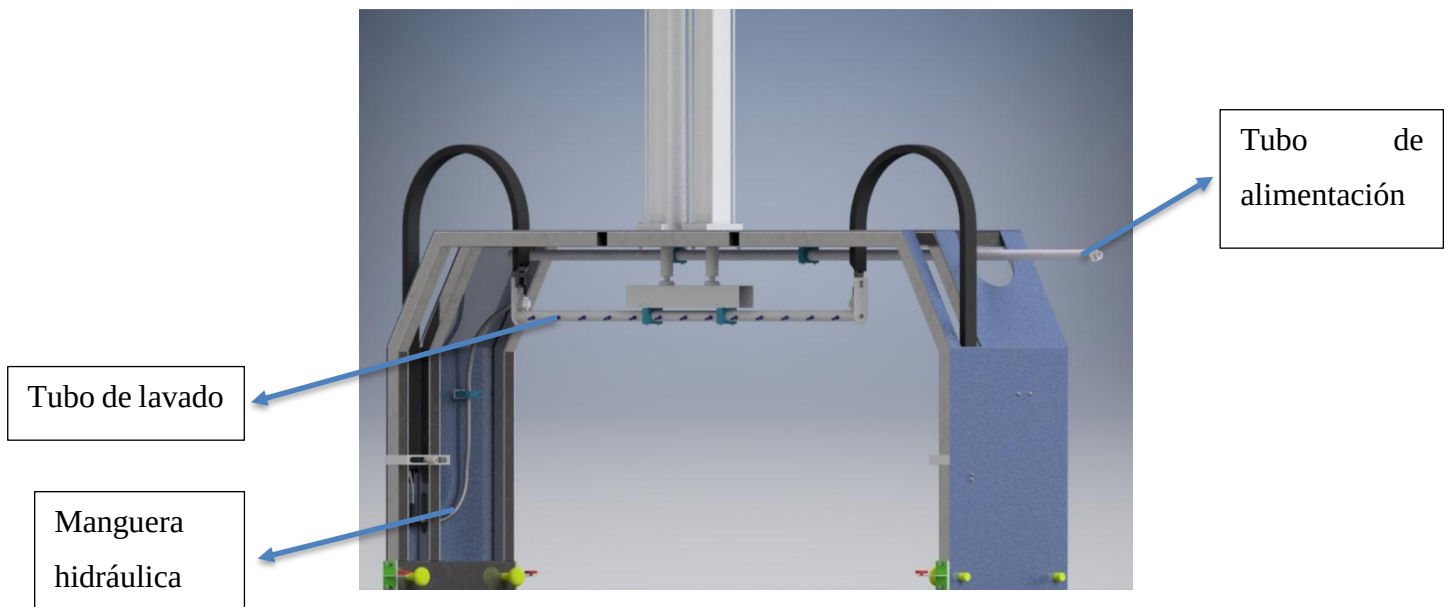


Ilustración 63: puente lavador con sus elementos anexos.

Para suministrar el agua a presión se utiliza una motobomba de capacidad de $9 \left[\frac{m^3}{h} \right]$ y 100 bares de presión que son las condiciones de presión máxima para lavado de tela que se utiliza dentro de la industria para evitar dañar las telas en el proceso del lavado.

El puente lavador consta de un tubo de suministro que reparte el agua entre dos mangueras que van dispuestas dentro de la estructura cumpliendo con los respectivos radios de curvatura de la manguera y ser distribuidos al tubo lavador como se puede apreciar en la ilustración 63. El tubo de suministro será un tubo de acero inoxidable compuesto por dos acoplamientos de conexión a las mangueras (Bosagge NTP DN15 Serie 3000), este tubo al igual que el tubo de lavado serán de 34 [mm] de diámetro con un espesor de 4 [mm]. Mientras que para las mangueras se utilizarán mangueras hidráulicas de diámetro 5/8" (diámetro que permite alojar las mangueras como se puede ver en la ilustración 62) y que soporten 100 bares de presión.



Ilustración 64: Bosagge NTP DN15 Serie 3000

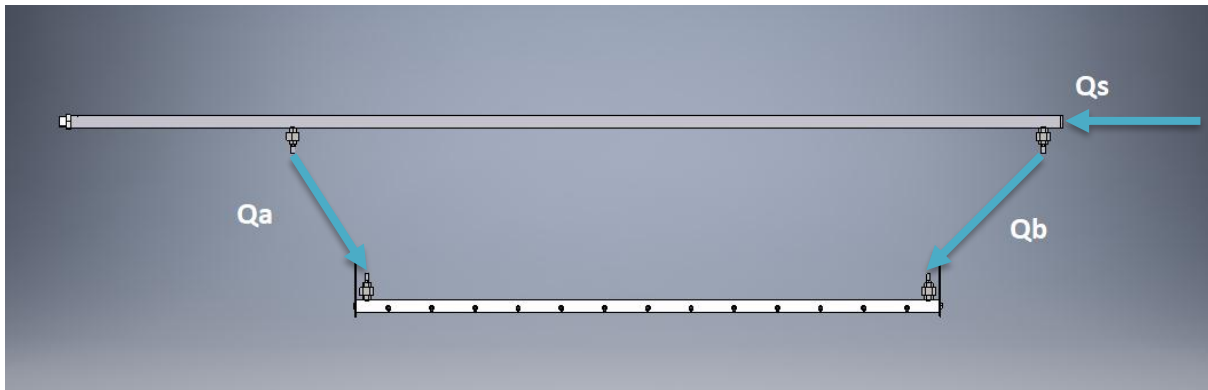


Ilustración 65: Diagrama de flujo del sistema de lavado.

$$Q_a = Q_b = \frac{Q_s}{2}$$

Donde:

Q_s = caudal suministrado por la motobomba ($9 \left[\frac{m^3}{h}\right]$)

Q_a = Caudal que pasa por la manguera a

Q_b = Caudal que pasa por la manguera b

Se verifican las velocidades del agua dentro del sistema

$$Q = V \times A$$

Velocidad dentro del tubo lavador y de suministro.

$$\frac{Q_s}{A_s} = V_s = 4.71 \left[\frac{m}{s}\right]$$

Velocidad dentro de las mangueras.

$$\frac{Q_a}{A_a} = V_a = 6.31 \left[\frac{m}{s}\right]$$

3.10.3. Cilindros neumáticos

El sistema de accionamiento para el movimiento del tubo lavador este compuesto por dos cilindros neumáticos telescópicos separados entre ellos por 200 [mm] de distancias para evitar una mayor flexión del tubo. Este método es seleccionado debido a que minimiza la altura del lavador, transportándolo hacia debajo de la manera más horizontalmente posible, evitando la rotación de este. Por otra parte, este método en contraste a otros higieniza el lavado puesto que la disposición de los jets en conjunto de su movimiento vertical evita que el sistema salpique liquido lavado hacia los costados.

La carga que transporte el cilindro estará compuesta por dos variables principales que son el peso del tubo lavador y los porta cables y la fuerza de reacción de los jets de agua.

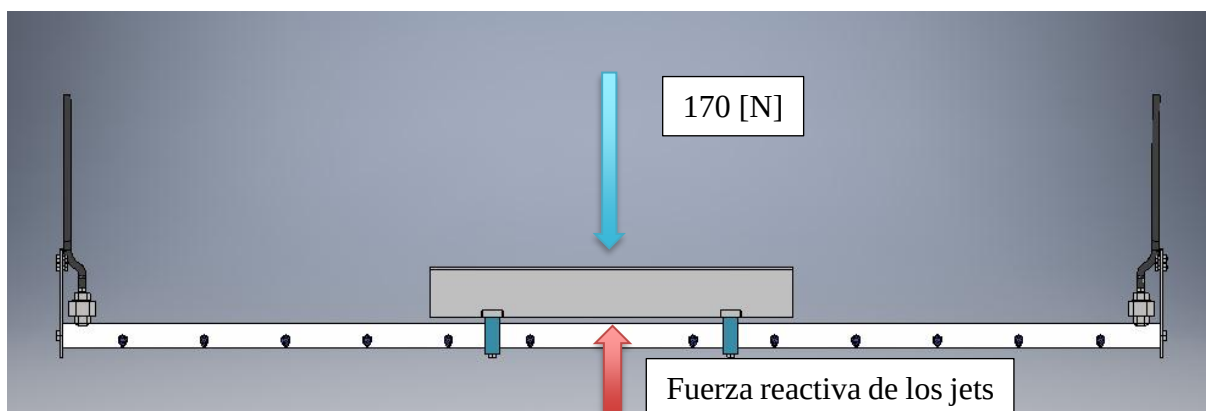


Ilustración 66: Diagrama de cuerpo libre del tubo lavador

3.10.3.1.1. Cálculo de fuerza de reacción de los jets de agua.

Basados en los jets fabricados por la empresa Spraying Sistem Enami y con la finalidad de poder calcular la fuerza total que deberán transportar los cilindros neumáticos, se calculara la fuerza de reacción que ejercen los jets que pulverizan agua a 100 [bar] de presión sobre el tubo lavador.

Se considero para el diseño, que el tubo lavador tendrá 13 jets con un ángulo de dispersión de 65° por lado, inclinados 15° respecto a la horizontal y separados por 112 mm para poder limpiar de manera efectiva la placa. En función de esto se puede extraer del Anexo D que el caudal

utilizado por jets será de $6.8 \left[\frac{Lts}{min} \right]$ a una presión de 100 [bar]. A partir de estos datos se procede a calcular el impacto según fabricante.

$$I = 0.024 * 6.8 \left[\frac{Lts}{min} \right] * \sqrt{102 \left[\frac{Kgf}{cm^2} \right]}$$

$$I = 1.65 \left[\frac{Kgf}{cm^2} \right]$$

Se calcula el impacto real como un porcentaje indicado por el proveedor, este valor es referencial puesto que el impacto es considerado a los 30 [cm] de distancia

$$I_{30} = 0.07 * 1.65 \left[\frac{Kgf}{cm^2} \right] = 0.12 \left[\frac{Kgf}{cm^2} \right]$$

Realizando una proporción simple, y sabiendo que el jet debiera impactar a una distancia aproximada de 6.5 [cm] y estimando un área de impacto cercana a los 10 [cm^2] se calcula la presión de impacto y la fuerza de reacción sobre el tubo de limpieza dando como resultado lo siguiente:

$$I_{6.5} = 0.026 \left[\frac{Kgf}{cm^2} \right]$$

$$F_{jet} = 0.026 \left[\frac{Kgf}{cm^2} \right] * 10 [cm^2] = 0.26 [Kgf]$$

$$F_{jet} = 2.6 [N]$$

$$F_{total} = 2.6 [N] * 26 * \sin(15^\circ) = 17.5 [N]$$

Por consiguiente y considerando un factor de seguridad de 3 para la fuerza de los jets se tiene que la resultante sobre el tubo lavador es de 117.5[N]

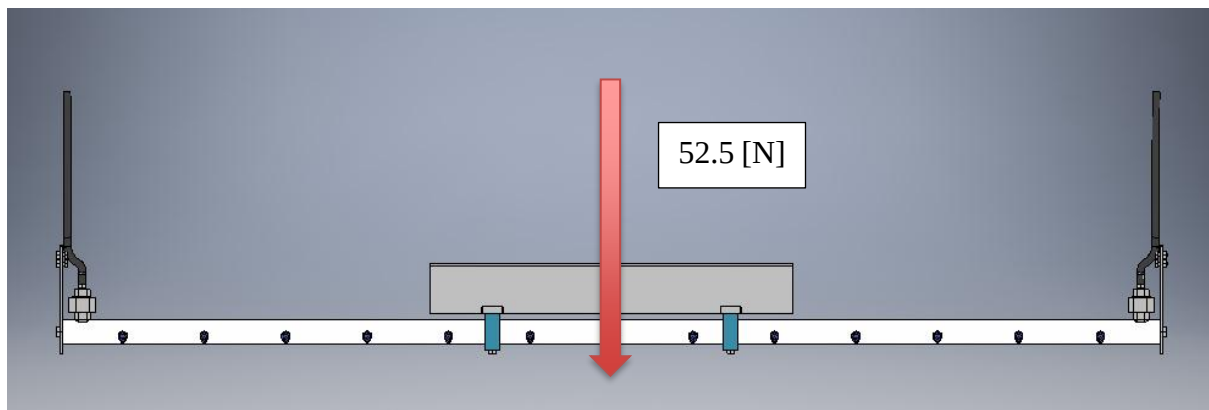


Ilustración 67: Fuerza Neta actuante en el tubo lavador.

3.10.3.1.2. Selección de los cilindros neumáticos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se selecciona de dentro del catálogo de Univer el cilindro neumático de código RT 130 063 1800 equipado con brida circular y soporte frontal para anclar el pistón a la estructura del tubo lavador. Este cilindro posee 3 etapas con un diámetro mayor de 63 [mm] y un recorrido máximo de 1800 [mm] que nos permite recorrer con seguridad la placas para las que es diseñado el filtro.

La presión de aire de referencia en las industrias es de 5 [bar] , por lo que haciendo una proporción simple a partir de los datos que muestra la ilustración 68 , se puede ver que para un cilindro de 3 etapas de diámetro mayor 63 [mm] la fuerza de tracción es de 192 [N], lo cual nos asegura que en el peor de los casos, un cilindro soportando solo el peso del tubo de lavado (170 [N]), puede traccionar por completo el sistema de lavado.

Cilindros telescópicos de tres etapas Fuerzas teóricas expresadas en N (0,102 Kg)

Cilindro telescópico 3 etapas	Superficie útil (mm²)		Presión de trabajo (Bar)				
			2	4	6	8	10
40	empuje	201	41	82	123	164	205
	tracción	111	22	43	65	87	108
50	empuje	314	64	128	192	256	320
	tracción	201	41	82	123	164	205
63	empuje	490	100	200	300	400	500
	tracción	377	77	154	231	308	384

Ilustración 68: Fuerzas teóricas del cilindro escogido en función del diámetro mayor

3.10.4. Perfiles Para soporte y movimiento

Para soporte de la estructura del límpiatelas se usará una plancha que recorre a lo largo el filtro, esta plancha soportara el carril por donde deben correr las ruedas, esta plancha será de acero A37 para poder soportar el peso completo. Además, Se establece como medida fija un ancho de 10 [mm]. A partir de esto se realiza el cálculo de deformación y por criterio de la flecha máxima se selecciona el perfil a utilizar.

$$y_{max} = \frac{Pl^3}{192EI}$$

Donde

$$E = 210 \text{ Gpa}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Peso	1000	[N]
Ancho [mm]	10	[mm]
alto [mm]	inercia [mm ⁴]	Deformación [mm]
150	2812500	1,86
160	3413333	1,53
170	4094167	1,28
180	4860000	1,08
190	5715833	0,92
200	6666667	0,78
210	7717500	0,68
220	8873333	0,59
230	10139167	0,52
240	11520000	0,45
250	13020833	0,40
260	14646667	0,36
270	16402500	0,32
280	18293333	0,29
290	20324167	0,26
300	22500000	0,23

Tabla 14: Calculo de deformación para distintas alturas del perfil

El largo de la plancha es de 7800 [mm] lo que nos da una deformación máxima debido al peso total de 7.8 [mm], lo que cumplen todos los valores de la tabla anterior, pero en función de no

sobredimensionar demasiado el problema es que se toma el valor de altura más bajo que nos permite trabajar con un factor de seguridad razonable.

$$n = 4.19 = \frac{4.19}{1.86}$$

Sobre esta plancha, soldada, ira un Perfil costanera de medidas 80x40x6 con un largo de 7.8 [m]. Por este perfil recorrerán las ruedas del limpiador.

3.10.5. Sensores

Para automatizar el funcionamiento del lavador se utilizarán dos sensores, un captor de posicionamiento lineal, ubicado en la parte superior a un costado de los cilindros neumáticos para poder controlar el movimiento y la ubicación del tubo lavador en todo momento del recorrido y un captor laser ubicado en los costados para captar el posicionamiento del limpiador en función de la ubicación de las placas en el filtro.

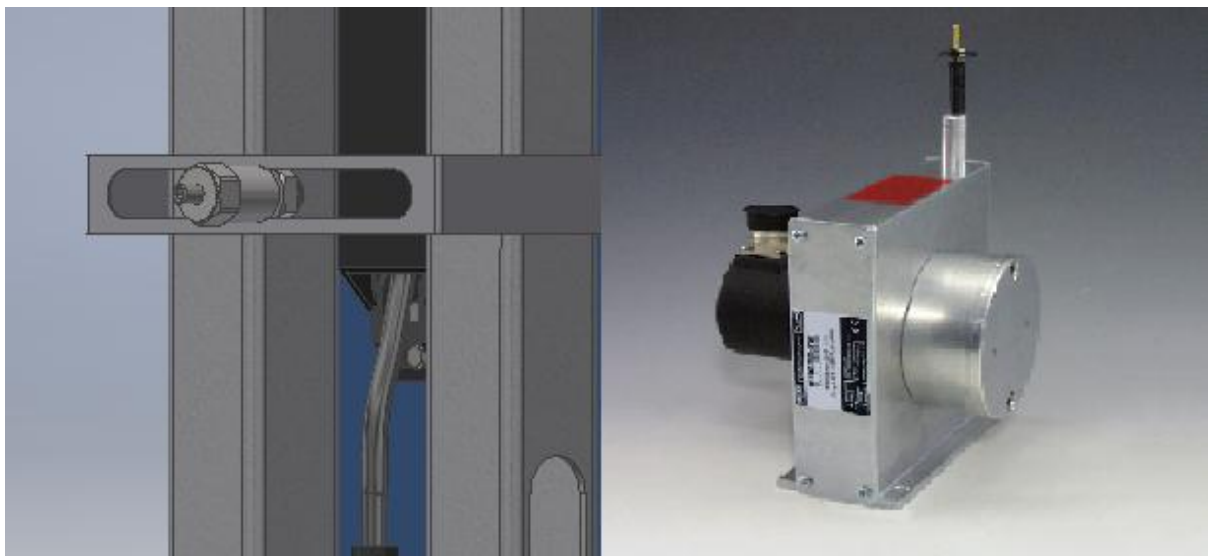


Ilustración 69: Sensor y captor de posicionamiento lineal.

3.10.6. Motorreductor

Para que el puente pueda desplazarse a lo largo del filtro se acopla un motorreductor a una de sus 4 ruedas

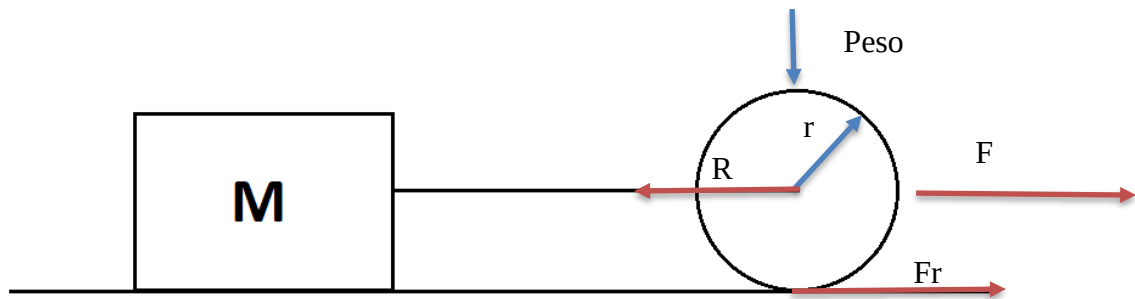


Ilustración 70: Simplificación del sistema de traslado del puente lavador

$$M = 100 \text{ [kg]}$$

$$\text{Peso por rueda} = \frac{100 \text{ [kg]}}{4} * 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 245.25 \text{ [N]}$$

$$R = 3 * 245.25 \text{ [N]} * 0.1 = 73.58 \text{ [N]}$$

$$F_r = 0.4 * 245.25 \text{ [N]} = 98.1 \text{ [N]}$$

Dado que para que se cumplan las condiciones de rodadura sin deslizamiento se necesita que se cumplan las siguientes condiciones.

$$F < F_r \quad \wedge \quad R < F_r$$

Como se cumple que $R < F_r$

$$F = \frac{\text{momento}}{r} < F_r$$

$$\frac{\text{momento}}{r} < 98.1 [N]$$

$$\text{momento} < 2.943 [Nm]$$

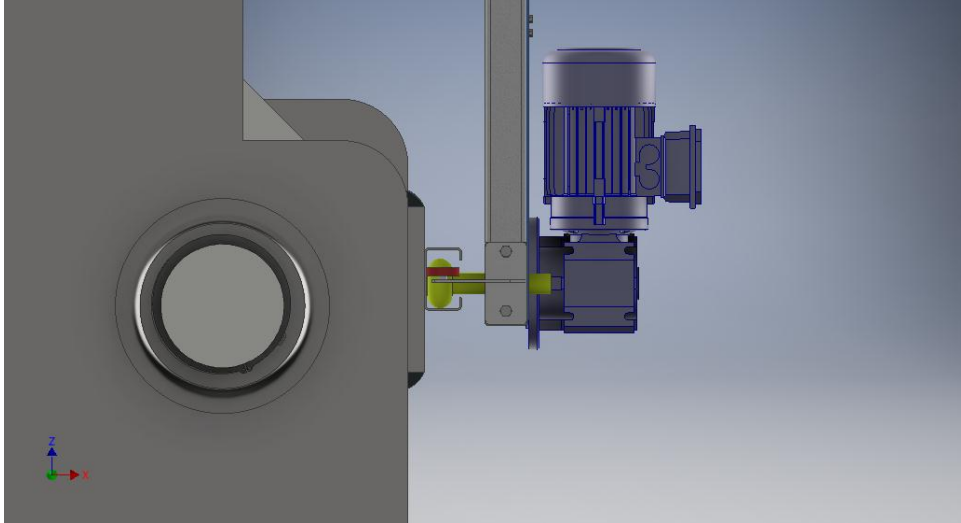


Ilustración 71: ubicación del motorreductor

Para la velocidad de rotación de salida del moto reductora se requiere que el limpia telas avanza 120 [mm] en 4 [s] dando una velocidad de avance de

$$\frac{120[mm]}{4[s]} = 30 \left[\frac{mm}{s} \right] = 1.8 \left[\frac{m}{min} \right]$$

Como la rueda seleccionada es de diámetro 60 [mm]

$$\text{Perimetro} = \pi * 0.06 [m] = 0.19 [m]$$

$$\omega = \frac{1.8 \left[\frac{m}{min} \right]}{0.19 [m]} = 9.59 [RPM]$$

4. Recomendaciones para la selección y optimización de la tasa de filtración.

Dado que la tasa de filtración no puede ser obtenida teóricamente, es imperativo para poder seleccionarla correctamente la configuración de las distintas variables que la afectan directa o indirectamente realizar diversas pruebas que nos permitan poder seleccionar y con ello optimizar este valor.

A modo de recomendación para lograrlo es que se debe comenzar por caracterizar correctamente la pulpa y el fluido usando ensayos que permitan obtener tanto la reología del material a filtrar como las propiedades del fluido obteniendo datos como:

- Densidad del fluido
- Densidad del solido
- Densidad de la mezcla
- Tamaño de la partícula del solido
- Viscosidad del fluido y de la mezcla
- Concentración de solido (% de humedad que trae la muestra)

Con la muestra obtenida de pulpa se debe proceder a hacer una prueba con un pequeño filtro a escala que deberá estar adaptado para entregar todas las posibles variables que puede entregar un filtro como (Tabla 2):

- Presión de alimentación
- Espesor de cámara
- Tiempo de soplado
- Tipo de tela filtrante
 - Permeabilidad
 - Tipo de tejido
 - Tipo de fibra
- En caso de necesitarse, pruebas con placas de membrana

Esta prueba debe realizarse midiendo el tiempo en el proceso de filtrado desde el comiendo hasta que alcanza la humedad deseada. Con los datos obtenidos se deber realizar una gráfica. A partir de esta y con las fórmulas mostradas en el apartado de filtración a caudal y presión variable es que se obtienen los siguientes datos que nos permiten caracterizar el queque formado

- Resistencia media de la torta

- Compresibilidad de la torta
- Resistencia del medio filtrante

En conjunto con los gráficos recién mencionados se recomienda también realizar graficas de tiempo de soplado vs humedad, para determinar el tiempo de soplado del queque y tasa de filtración vs humedad, para ayudarnos a seleccionar la tasa de filtración.

5. Valorización

En base a lo investigado sobre componentes, sistemas e innovaciones sobre el filtro de prensa se determina que principalmente se necesita de los siguientes elementos para la confección del equipo. Junto con esto se presentan valores cotizados a través de internet, dando lugar a la siguiente cotización.

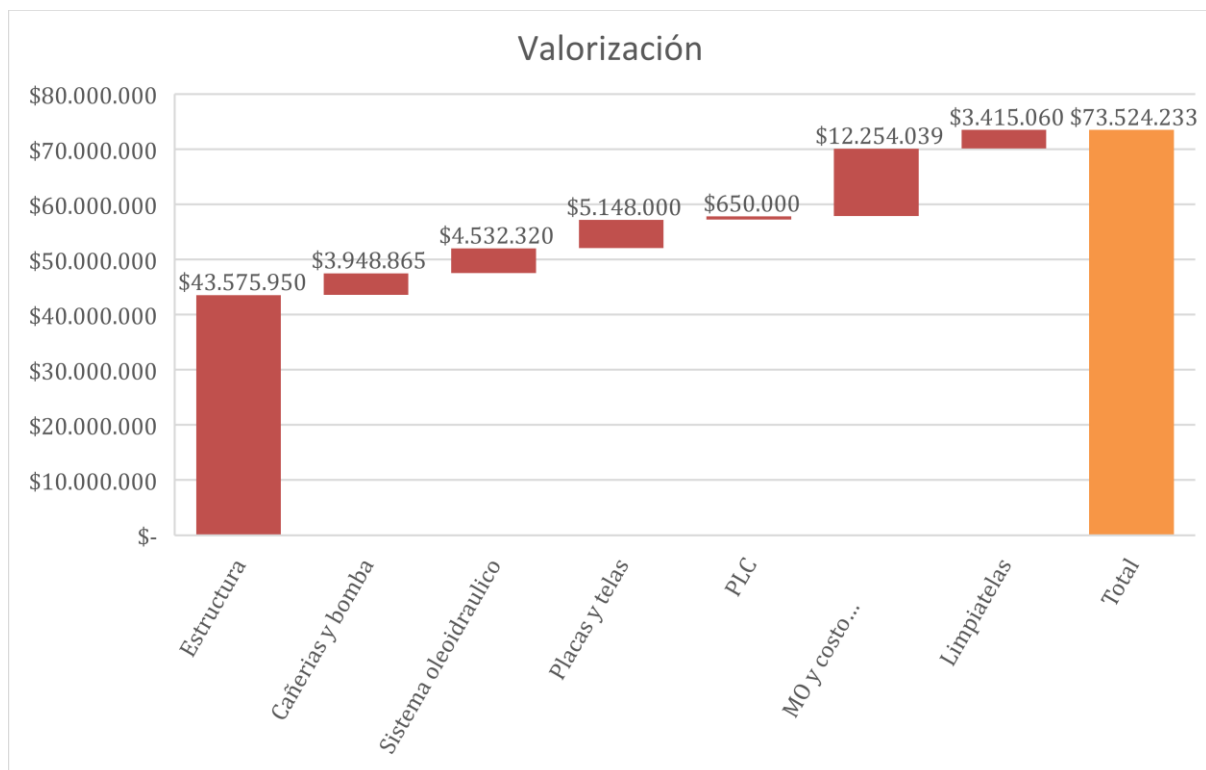


Ilustración 72: Desglose principal de la valorización del filtro

Elemento	Unidad	CANTIDAD	P. UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
Estructura				\$ 43.575.950
Cabezal fijo	\$/kg	3570	\$ 4.000	\$ 14.280.000
Cabezal movil	\$/kg	2100	\$ 4.000	\$ 8.400.000
Cabezal de accionamiento	\$/kg	2950	\$ 4.000	\$ 11.800.000
Barras longitudinales	\$/kg	2260	\$ 4.000	\$ 9.040.000
Soportes verticales	\$/kg	1	\$ 55.950	\$ 55.950
Cañerías y bomba				\$ 3.948.865
Cañerías	\$/6m	5	\$ 88.000	\$ 440.000
Accesorios	\$	15	\$ 4.591	\$ 68.865
Valvulas	\$	8	\$ 300.000	\$ 2.400.000
Bomba AODD	\$	2	\$ 520.000	\$ 1.040.000
Sistema oleoidraulico				\$ 4.532.320
Vavulas direccional	\$	1	\$ 325.000	\$ 325.000
Valvula limitadora de presion	\$	1	\$ 455.000	\$ 455.000
Valvula reguladora de presion	\$	1	\$ 160.000	\$ 160.000
Fiting	\$	1	\$ 213.720	\$ 213.720
Cilindro telescopico	\$	1	\$ 1.200	\$ 1.200
manometro	\$	2	\$ 63.700	\$ 127.400
Grupo motor + FRL	\$	1	\$ 3.250.000	\$ 3.250.000
Placas y telas				\$ 5.148.000
Placas biconcavas	\$	36	\$ 78.000	\$ 2.808.000
Telas filtrantes	\$	72	\$ 32.500	\$ 2.340.000
PLC				\$ 650.000
PLC	\$	1	\$ 650.000	\$ 650.000
MO y costo constructivo				\$ 12.254.039
MO y costos constructivos	\$	1	\$ 12.254.039	\$ 12.254.039
Limpiatelas				\$ 3.415.060
Perfiles de aluminio	\$/6m	3	\$ 30.000	\$ 75.000
Chapa 3mm aluminio	\$/m2	3,5	\$ 32.625	\$ 114.188
Tuberías	\$/m	4,116	\$ 17.708	\$ 72.884
Jets	\$	26	\$ 12.000	\$ 312.000
Cilindros neumaticos	\$	2	\$ 130.000	\$ 260.000
Accesorios	\$	1	\$ 100.000	\$ 100.000
perfiles costanera	\$/6m	3	\$ 11.880	\$ 30.888
Perfil lateral	\$/kg	490	\$ 5.000	\$ 2.450.000
Sensor de desplazamiento lineal	\$	1	\$ 100	\$ 100
			Total	\$ 73.524.233

Tabla 15: Valorización en detalle del filtro de prensa

El total en materiales y equipos requeridos alcanza un valor cercano a 73.524.233 CLP, que en dólares es un valor de 111.000 USD, considerando un cambio de \$650, lo cual es un valor razonable considerando el tamaño del equipo, su capacidad y los componentes que fueron seleccionados.

Cabe destacar que este valor es el costo del filtro con todos los elementos que pueden anexarse, pudiendo variar si se decide optar por una configuración más sencilla.

Conclusiones

El filtro de prensa es una maquina muy compleja y ampliamente utilizada en múltiples tipos de empresas con distintas finalidades tanto, alimenticia, residual como minera. Siendo una tecnología tan transversal y no habiendo empresas chilenas especializadas en este tipo de máquinas, es una buena oportunidad de emprendimiento.

Este tipo de tecnología es ampliamente utilizada dentro de la industria, y su correcto funcionamiento nos permite disminuir tiempos en el proceso, además de generar un ahorro de agua dado que nos permite reutilizarla reinsertándola de nuevo dentro del proceso productivo permitiéndonos tener un ahorro en costos además de hacer el proceso más ecológico. A su vez desde el punto de vista técnico, proporciona una gran tasa de filtración por metro cuadrado además de aventajar a los otros filtros en flexibilidad, facilidad de manejo, operación con soluciones viscosas y bajos costos de operación. Es por estas características que esta máquina debe ser diseñada y analizada en detalle, puesto en que contraste a otra tecnología presenta múltiples ventajas que lo hacen importante dentro del proceso en que será utilizado.

El equipo de filtrado es dependiente de muchas variables, dentro de las cuales se encuentran algunas que son propias del material a filtrar, es por esto por lo que para optimizar el proceso se hace necesario tener que realizar pruebas empíricas para poder lograr una tasa de filtración adecuada, con esto además es posible seleccionar la presión de trabajo, el número de placas además del material y tipo de tela filtrante a seleccionar lo que la hace imprescindible a la hora de dimensionar el filtro.

Dada la complejidad del proceso de selección de la tasa de filtración y la gran variabilidad de equipos es que se necesita estandarizar el curso de selección de elementos, normando las pruebas para acelerar el procedimiento y así poder optimizar la obtención de esta misma ya que su determinación es crucial para el funcionamiento. De igual manera que esto la selección de elementos anexos al proceso como lo son los distintos subsistemas que puede presentar el filtro (sistema oleo hidráulico, sistema de lavado, etc.) son de vital importancia escoger y/o diseñar para poder sacar el mejor provecho al proceso.

Teóricamente se puede apreciar que el filtro de prensa es una maquina compleja a la que aún falta indagar en investigaciones y diseños para optimizar. Un ejemplo de esto es que la

geometría de las placas que si bien hoy en día existen varias investigaciones que intentan optimiza su forma para disminuir los esfuerzos y el desgaste en esta, que provoca estar cambiándoles cada cierto tiempo. Por otra parte, también se logra apreciar que matemáticamente aun no es posible describir el proceso de filtración con exactitud.

Es de vital importancia considerar los tiempos de mantenimientos preventivos y programados que no afecten en la producción y operación del filtro. Para ello se deben considerar suministros de recambio de los equipos utilizados en base a su vida útil y la cantidad de personas calificadas necesarias en la intervención. Para este tipo de equipos las piezas que más criticidad presentan son las telas y las placas filtrantes, ya que al estar en contacto con el fluido a filtrar a altas presiones se desgastan con facilidad, esto no afecta a la criticidad del equipo por lo que lo hace más confiable y de fácil mantenimiento. Es por esto por lo que se necesita tener un plan de recambio adecuado que permita disminuir tiempos muertos y fallas catastróficas. En base a todo esto se puede tener un costo debido a la detención del equipo, los suministros utilizados y la mano de obra.

Bibliografía

- Abruto, N. I. (2004). Establece Dimesiones Maximas a Vehiculos Que Indica, 1998–2000.
- GREEN, D. W., & SOUTHARD, M. Z. (1999). *Perrys Chemical Engineering Handbook*. (M, Ed.) (Vol. 30). Mc Graw hill.
- Minera, C., & Pedro, S. A. N. (2017). Pruebas de espesamiento y filtración de relave (515 t/d).
- Etcheberrigaray, M. A. (2007). Diseño de banco de pruebas para placas de filtración de polietileno de ultra alto peso molecular.
- Escuela de fluidos de Antioquia. (n.d.). Uso y clasificación de las válvulas.
- Norma, P. D. E., & Consulta, E. N. (2010). Soldadura de tubería de acero con bajo contenido de carbono.
- Otia. (2005). Catálogo de productos.
- León, Y. (2012). Diseño de un sistema mecánico para sacudir, pesar y lavar las placas del filtro prensa automático.
- Aeron, J. S. (n.d.). Oleohidráulica – Circuitos Hidráulico s, 1–35.
- Budynas, R., & Nisbett, J. K. (n.d.). *Diseño en ingeniería mecánica* (Octava edi).
- ROEMHELD. (n.d.). Cosas interesantes a conocer sobre cilindros hidráulicos, 1–21.
- Indian, T., Equipment, F. C., & Prasad, D. (2014). Successful filter press pump selection guide, (October), 1–3.
- RevesTec (n.d.). Sistema de cañería en acero.
- Daneri, P. A., & Algarra, J. C. (n.d.). *PLC Automatizacion y control industrial*. (1ra edició).
- Zhou, A. (2003). FILTER CLOTH. *Journal of Biological Chemistry*, 278(17), 15116–15122.
- Ventosilla, J. (2014). Selección de filtro prensa y optimización de medios filtrantes para concentrados, relaves y lodos de neutralización, 17, 117–124.
- World Pumps. (2017). Chamber filter presses benefit from AODD model, (February), 30–32. [https://doi.org/10.1016/S0262-1762\(17\)30031-7](https://doi.org/10.1016/S0262-1762(17)30031-7)

- COMEVAL, S. . (n.d.). Válvulas de Aislamiento de Movimiento Rotatorio / Rotary Isolating Valves, 648.
- Técnicas de Filtración S, A. (n.d.). Filtro de prensa de traslado lateral, 14.
- Warren Rupp (n.d.). Soluciones de bombas, 76.
- Co, S. S. (n.d.). Hydraulic Hydraulic Spray Product.
- Sumitomo Drive Technologies. (n.d.). Cyclo ® 6000, 1–20.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2013). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile - www.leychile.cl - documento generado el 02-Mar-2013. *Minsal*.
- Fernanda Briones. (2010). Validación del modelo matemático para planta de filtrado de concentrado cobre.
- Reducers, I. N. S. (n.d.). AVAILABLE 4000 SERIES.
- Pollock, D. (1977). Acero para uso estructural - Requisitos.
- Mesa, C. (2006). Conjunto de placas de filtro, procedimiento de filtrado y filtro prensa.
- Gentilli, L. (n.d.). patente lavado de telas.pdf.
- Prodalam. (n.d.). Catálogo de Aceros y Productos Industriales.

Anexo A

Placas de filtración

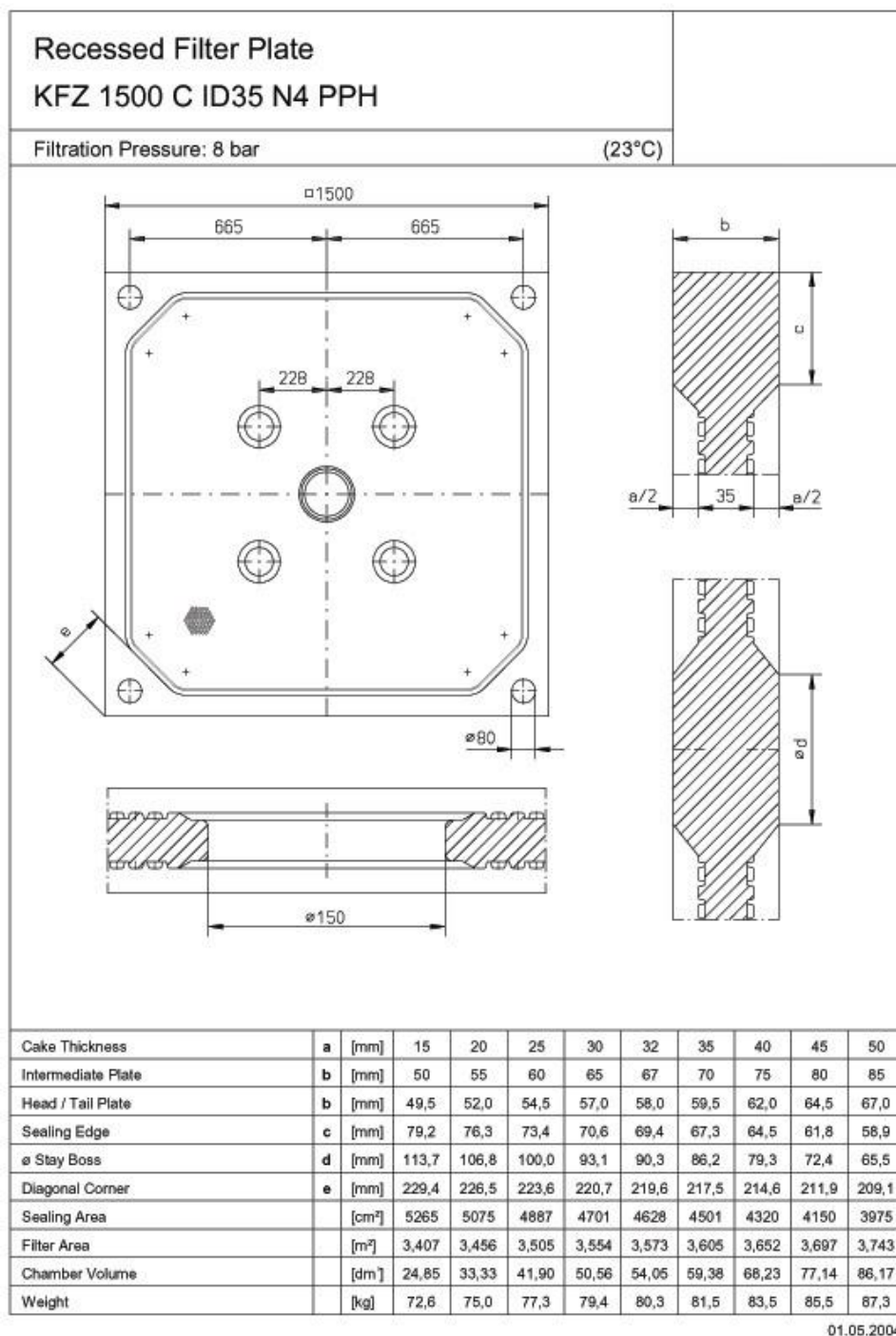
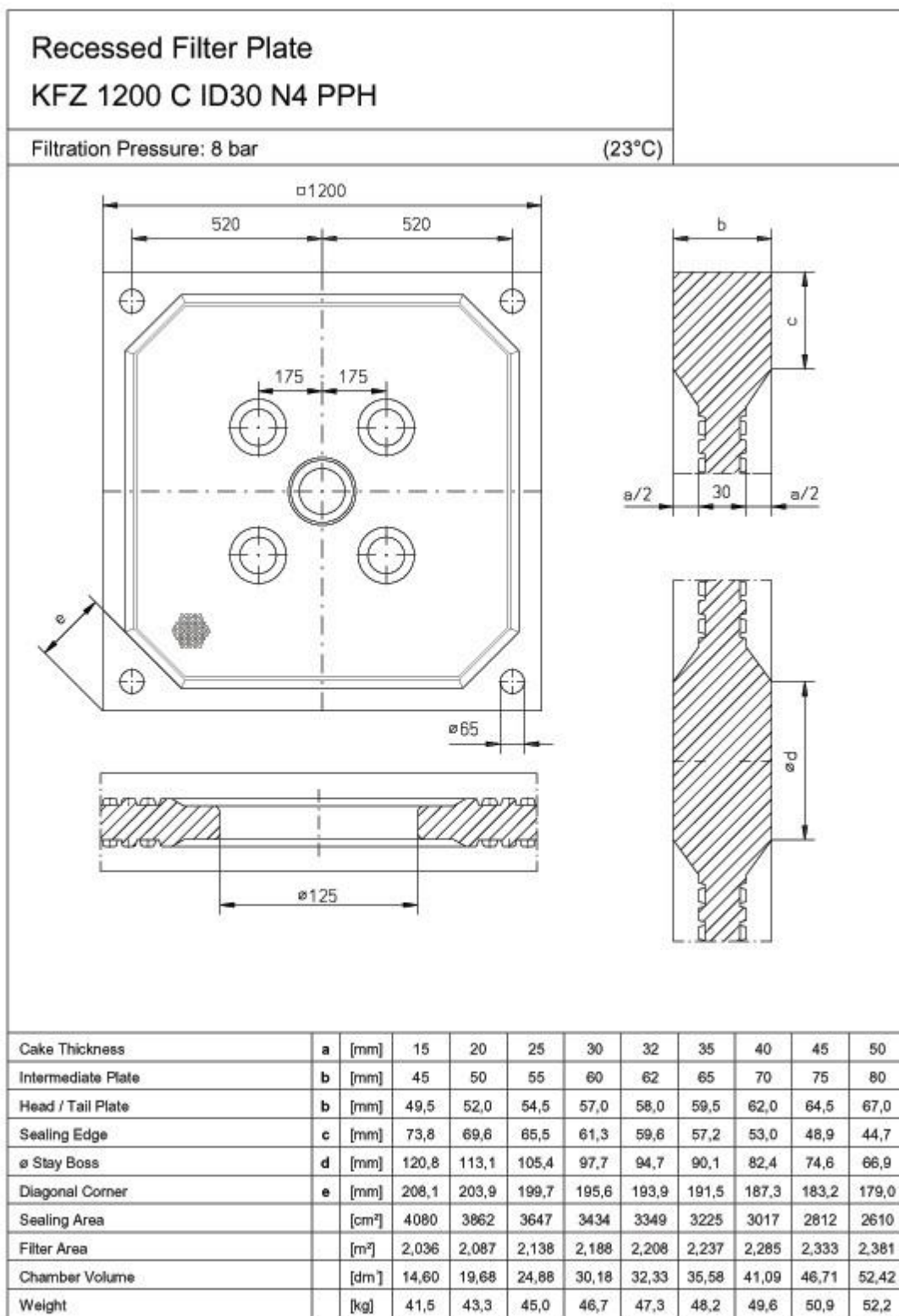


Ilustración 73: Placa de filtración de dimensiones 1.5x1.5[m]



01.05.2004

Ilustración 74: Placa de filtración de dimensiones 1.2x1.2[m]

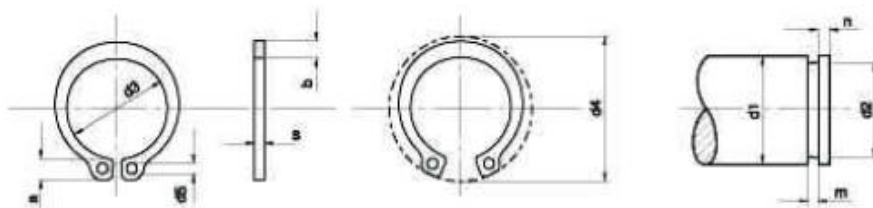
Anexo B

Manguera para Succión y Descarga de Relave



- » **TUBO INTERIOR:** Compuesto de cauchos sintético y natural, color negro resistente a la abrasión y a los reactivos químicos. Construida con caucho antiabrasivo blando, resistente a cortes, absorción de agua y ácidos, entre otros.
- » **REFUERZO:** Tela nylon de alta tenacidad y espiral de alambre acerado.
- » **CUBIERTA:** Compuesto de cauchos sintético y natural. Resistente a la abrasión, arrastre e intemperie.
- » **COLOR:** Negro con franja gris, con impresión de tela fina.
- » **TEMPERATURA:** Rango -35° a 80° C
- » **LONGITUD:** Se suministra en tramos de hasta 25 metros.
- » **USOS:** Sirve para la conducción de pulpa, concentrados, relaves, lodos, en concentraciones de hasta 15% de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. Es más recomendable su uso que las tuberías rígidas de metal.
- » **MARCAS:** OPTIHOSE - ANTIABRASIVA - HECHO EN PERU
- » **NOTA:** Para otros diámetros, no especificados, sírvase consultar con nuestro Departamento de Ventas. De acuerdo a nuevas técnicas de producción, las especificaciones descritas pueden ser modificadas sin previo aviso.

Ilustración 75: Características de una manguera especial para relaves.



Med. Nom. d1	ANILLO								RANURA				Fuerza Axial KG. ≤
	s h11	a max.	b ≈	d3	Tol.	d4	d5	Peso Kgs. x 1000 Pz.	d2	Toler.	m H 13	n min.	
102	4	9,7	9,2	95	+0,54 -1,30	122,5	3,5	64,500	98	h13 +0 -0,54	4,15	6	14580
105		9,9	9,3	98		126		70,700	101				16200
107		10	9,5	100		128		78,000	103				16520
108				101		129		78,600	104				16880
110		10,1	9,6	103		132		82,000	106				17000
112		10,3	9,7	105		134		84,270	108				17320
115		10,6	9,8	108		138		84,700	111				17800
117		10,8	10	110		139,5		88,610	113				18080
118		10,9	10,1	111		141		89,680	114				18220
120		11	10,2	113		143		91,550	116				18500
122		11,2	10,3	115	146	93,260	118	18820					
125		11,4	10,4	118	149	98,060	121	19300					
127			10,5	120	151	101,080	123	19620					
128		11,5	10,6	121	152	103,080	124	19780					
130		11,6	10,7	123	155	107,000	126	20100					
132		11,7	10,8	125	157	110,400	128	20420					
135		11,8		128	160	112,000	131	20900					
137		11,9		130	162	113,000	133	21220					
138			11,1	131	163	113,500	134	21380					
140		12	11,2	133	165	114,000	136	21700					
142		12,1	11,3	135	167	114,500	138	22100					
145		12,2	11,5	138	171	115,000	141	22500					
147		12,3	11,6	140	173	116,000	143	25060					
148		12,4	11,7	141	174	118,000	144	26340					
150		13	11,8	142		177		120,000	145				
155	4		12	146	+0,72 -1,7	182	4	135,000	150	h13 +0 -0,72	4,15	7,5	30000
160		13,3	12,2	151		188		150,000	155				31000
165			12,5	155,5		193		160,000	160				32000
170		13,5		160,5		198		170,000	165				32900
175			12,9	165,5		203		180,000	170				33800
180				170,5		210		190,000	175				34500
185				175,5		215		200,000	180				33800
190		14,2		180,5		220		210,000	185				33500
195				185,5		225		220,000	190				32700
200				190,5		230		230,000	195				31900

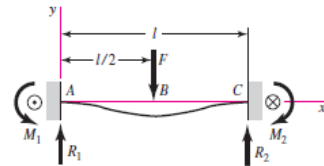
DIMENSIONES EN MM.

Ilustración 76: Tabla de selección de anillos segers. Fuente: Otia. (2005). Catálogo de productos

Anexo C

Formulas según tablas Cintas

14 Apoyos fijos: carga central



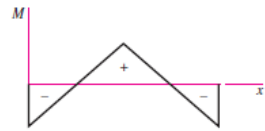
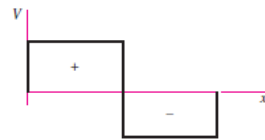
$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2} \quad M_1 = M_2 = \frac{Fl}{8}$$

$$V_{AB} = -V_{BC} = \frac{F}{2}$$

$$M_{AB} = \frac{F}{8}(4x - l) \quad M_{BC} = \frac{F}{8}(3l - 4x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx^2}{48EI}(4x - 3l)$$

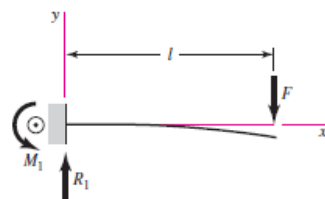
$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{192EI}$$



(continúa)

Ilustración 77: Formulas viga empotrada-empotrada con una carga central

1 En voladizo: carga en extremo



$$R_1 = V = F \quad M_1 = Fl$$

$$M = F(x - l)$$

$$y = \frac{Fx^2}{6EI}(x - 3l)$$

$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{3EI}$$

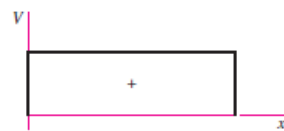
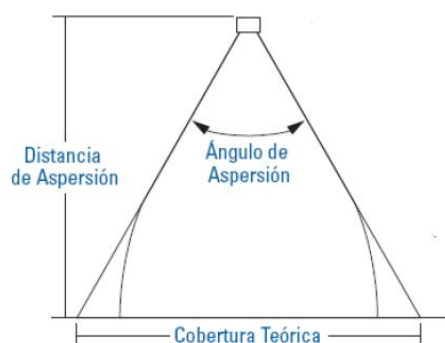


Ilustración 78: Formula de viga en voladizo con una carga en un extremo

Anexo D



$$I = K \times Q \times \sqrt{P}$$

I: Impacto Total Teórico

K: Constante

Q: Capacidad o flujo

P: Presión de líquido

I	libras	kilogramos
K	.0526	.024
Q	gpm	l/min
P	psi	kg/cm ²

Ilustración 79: Formulas para el impacto del jet

*A la presión indicada en bar.

Tamaño	Capacidad (litros por minuto)*										
	20	25	35	40	45	60	80	100	140	170	200
015	1.5	1.7	2.0	2.2	2.3	2.6	3.1	3.4	4.0	4.5	4.8
02	2.0	2.3	2.7	2.9	3.1	3.5	4.1	4.6	5.4	5.9	6.4
03	3.1	3.4	4.0	4.3	4.6	5.3	6.1	6.8	8.1	8.9	9.7
04	4.1	4.6	5.4	5.8	6.1	7.1	8.2	9.1	10.8	11.9	12.9
045	4.6	5.1	6.1	6.5	6.9	7.9	9.2	10.3	12.1	13.4	14.5
05	5.1	5.7	6.7	7.2	7.6	8.8	10.2	11.4	13.5	14.9	16.1
055	5.6	6.3	7.4	7.9	8.4	9.7	11.2	12.5	14.8	16.3	17.7
06	6.1	6.8	8.1	8.6	9.2	10.6	12.2	13.7	16.2	17.8	19.3
065	6.6	7.4	8.8	9.4	9.9	11.5	13.3	14.8	17.5	19.3	21
07	7.1	8.0	9.4	10.1	10.7	12.4	14.3	16.0	18.9	21	23
08	8.2	9.1	10.8	11.5	12.2	14.1	16.3	18.2	22	24	26
09	9.2	10.3	12.1	13.0	13.8	15.9	18.3	21	24	27	29
10	10.2	11.4	13.5	14.4	15.3	17.7	20	23	27	30	32
11	11.2	12.5	14.8	15.9	16.8	19.4	22	25	30	33	35
12	12.2	13.7	16.2	17.3	18.3	21	24	27	32	36	39
13	13.3	14.8	17.5	18.7	19.9	23	27	30	35	39	42
14	14.3	16.0	18.9	20	21	25	29	32	38	42	45
15	15.3	17.1	20	22	23	26	31	34	40	45	48
20	20	23	27	29	31	35	41	46	54	59	64

Ilustración 80: Caudal de los jets de agua

IMPACTO POR PULG. CUADRADA (CM ²)*		
Patrón de Aspersión	Ángulo de Aspersión	Porcentaje de Impacto Total Teórico
Aspersión Plana	15°	30%
	25°	18%
	35°	13%
	40°	12%
	50°	10%
	65°	7.0%
	80°	5.0%
Cono Lleno	15°	11%
	30°	2.5%
	50°	1.0%
	65°	0.4%
	80°	0.2%
	100°	0.1%
Cono Hueco	60°, 80°	1.0 a 2.0%

*A 12" (30 cm) de distancia de la boquilla.

Ilustración 81: porcentaje de impacto teórico de los jets

Anexo E

