

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL SANTA FE



PROYECTO FINAL DE CARRERA  
COCINADOR DE JARABE CONTINUO

Profesor: Ing. Esp. Monti, Rubén Enzo Aníbal

JTP: Ing. Benzi, Sebastián

Auxiliar: Ing. Brunas, Cristian

Director de proyecto: Ing. Zebracki, Cesar Iván

Alumno: Duffy, Daniel

AÑO 2023

**Tabla de contenido**

1	Introducción y Justificación del Proyecto.....	4
2	Propiedades del producto y descripción del proceso: .....	4
3	Justificación de Diseño: .....	5
4	Memoria descriptiva:.....	7
4.1	Recipiente Presurizado con Serpentín: .....	7
4.1.1	Recipiente Presurizado: .....	10
4.1.1.1	Cuerpo Cilíndrico: .....	11
4.1.1.2	Tapas Planas Abulonadas. ....	13
4.1.1.3	Calculo de Bulones.....	15
4.1.1.4	Material de las Juntas. ....	16
4.1.2	Serpentina: .....	16
4.2	Estructura Soporte y Dispositivo de Izaje:.....	20
4.3	Separador de Vahos y Conducto de Descarga.....	34
4.3.1	Separador de Vahos.....	37
4.3.2	Conducto de Descarga de Producto: .....	40
4.3.2.1	Conducto Encamisado .....	42
4.3.2.2	Unión Rotativa. ....	45
4.4	Cuadro de vapor y Válvula de Seguridad.....	54
4.4.1	Dimensionamiento de Cañerías.....	56
4.4.2	Selección de Trampa de Condensado.....	58
4.4.3	Selección de Válvula Modulante de Vapor.....	58
4.4.4	Válvula de Seguridad .....	60
4.4.5	Purgador Termostático .....	61
4.5	Acondicionamiento de Tanque Depósito de Almíbar: .....	62
4.6	Piping de Producto. ....	66
4.6.1	Cañería Producto .....	67
4.6.2	Bomba de Producto .....	71
4.6.3	Filtro de Línea .....	76
4.7	Piping de Lavado.....	78
4.7.1	Lavado Cocinador y Piping Producto .....	82
4.7.2	Lavado Tanque Almíbar .....	87
4.7.3	Cañería de Impulsión de Lavado.....	89
4.7.4	Bomba de Lavado .....	91

4.7.5	Cañería de Retorno de Lavado. ....	96
4.7.6	Tanque de Recirculación.....	101
4.8	Pantalla HMI .....	104
4.9	Puesta en Marcha.....	106
5	Costos. ....	107
6	Conclusión. ....	107

## 1 Introducción y Justificación del Proyecto.

El presente proyecto tratará los cálculos y el diseño de un equipo para cocinar almíbar de manera continua, desarrollado en la empresa ASEMA S.A. en la cual, el alumno mantuvo el rol de "Project Manager" del equipo en cuestión.

El diseño y la fabricación del equipo surgieron por la necesidad de una empresa de golosinas de la región, como reemplazo de un equipo existente, el cual quedó fuera de operaciones luego de reiteradas fallas mecánicas, principalmente debidas a su largo tiempo en servicio y consecuente desgaste.

A su vez, las proyecciones de la empresa en cuanto a su volumen de producción, requerían de una mejora en los equipos cocinadores para aumentar la capacidad de almíbar cocido, y así poder surtir de producto a los procesos consecuentes para cubrir las expectativas de la demanda.

También, se solicitó a ASEMA el acondicionamiento del tanque depósito de almíbar desde el cual se alimenta el equipo en cuestión. Con la finalidad de adecuarlo a un nivel de automatización compatible con el equipo cocinador, tanto para los ciclos de lavado, como de alimentación de almíbar al cocinador.

El acondicionamiento del tanque solicitado incluyó un esquema de lavado, colocar un sistema de sensado del nivel de almíbar existente en el depósito, y por ultimo un sistema de lectura y control de temperatura en el depósito. Todos estos datos leídos debían ser mostrados en la pantalla HMI del cocinador de jarabe.

Todo el equipamiento antes descrito fue concretado por la firma ASEMA S.A. en su diseño, fabricación, supervisión de montaje, y +puesta en marcha.

La función del equipo se encuentra dentro de las etapas de manufactura iniciales de varios productos procesados por el cliente. Siendo de vital importancia controlar con exactitud principalmente las variables de temperatura y caudal de salida del producto terminado.

El cocinador solicitado debía tener una capacidad productiva máxima de 330 kg/h de almíbar crudo de manera continua. El proceso productivo requería que se incluya en el diseño un conducto de descarga giratorio, con capacidad de dirigir la caída del producto terminado hacia los dos diferentes contenedores, todo esto sin interrumpir el proceso de cocción.

Al ser un equipo que se encuentra sometido a presión interior, sus cálculos se llevaron adelante siguiendo el código ASME Sección VIII. Div. 1

## 2 Propiedades del producto y descripción del proceso:

El producto a procesar por el equipo es una mezcla de agua con glucosa y sacarosa (almíbar), la cual debe ser calefaccionada hasta una temperatura dada durante un cierto periodo de tiempo para que se logre evaporar la mayor parte del agua presente en la solución, y además dar lugar a que se lleven a cabo las reacciones de Maillard en el almíbar, muy importantes para el resultado final de los productos manufacturados.

El almíbar crudo se almacena en un tanque deposito elevado de unos 1000 litros de capacidad, que recibe la solución desde la planta disolvedora, que se sitúa a unos 80 metros de dicho tanque. Como se mencionó anteriormente, desde este tanque se debe alimentar el cocinador.

Durante la cocción, el producto debe alcanzar una temperatura de entre 160 y 165 °C, dependiendo de la receta. A esta temperatura, obtenemos un producto cocido que no es más que un caramelo fluido, de una viscosidad muy elevada. El caramelo, se encuentra en estado líquido a temperatura de salida del cocinador, pero se

cristaliza y endurece muy rápidamente al descender su temperatura, por lo tanto su manipulación es complicada.

El equipo debe descargar una cierta cantidad de caramelo cocido en una batidora que debe agitar el mismo, junto con dos productos más, que se agregan en forma de polvo previamente a la carga de caramelo. Para lograr continuidad en el proceso de producción, se utilizan dos batidoras, mientras una bate la mezcla de caramelo con los otros productos anteriormente mencionados, el operario realiza la carga de los polvos en el recipiente de la segunda batidora y la prepara para recibir la carga de caramelo.

El margen de error admisible en la cantidad de producto descargado en las batidoras es de  $\pm 5\%$ . Careciendo de celdas de carga en las batidoras, la forma de medir la masa de producto descargado en cada batidora es utilizar un contador de tiempo, y asegurar un flujo másico constante de caramelo saliendo del cocinador.

### 3 Justificación de Diseño:

En las etapas iniciales de diseño del equipo, se visitó la planta del cliente para tomar contacto con el equipo a reemplazar y hacer un análisis del proceso y sus requerimientos. Se tomaron las ideas principales y se comenzó con el trabajo de investigación.

Como primera medida se buscó evaluar las necesidades del cliente y considerar alguna alternativa al diseño de equipo que se tenía, para brindar un solución potencialmente más económica e igualmente funcional.

En la industria de golosinas es muy común encontrarse con equipos de cocción de almíbar de tipo batch, donde un cierto volumen de mezcla de azúcar y agua es calentada en un recipiente calefaccionado hasta lograr una temperatura deseada, para luego descargar la totalidad del almíbar cocido para seguir el proceso. Este tipo de cocinador tiene la ventaja de ser de una mayor simplicidad tecnológica, y un costo de producción sustancialmente menor.

El proceso requiere que se vierta de manera constante y en forma de hilo el almíbar cocido dentro de unas batidoras para producir merengue. Teniendo en cuenta que el equipo descarga en forma de batch, pensó en colocar un recipiente pulmón en donde se descargue el almíbar cocido y desde allí dosificarlo en las batidoras. Recipiente debería ser calefaccionado para mantener el caramelo con la fluidez necesaria para poder ser vertido en forma de hilo.

Pero esta solución posee una desventaja específica. Una vez que el almíbar llega a la temperatura deseada en el cocinador batch, se debe vaciar la cuba de cocción y enfriar el producto para evitar que se siga dando las reacciones de Maillard y el almíbar se oscurezca demasiado, dando lugar a características organolépticas indeseadas.

Por lo tanto, calefaccionar el producto en un receptáculo pulmón para ser dosificado era inviable, ya que la temperatura que debíamos alcanzar para mantener el caramelo fluido era demasiado alta, y el tiempo de residencia de un batch en el recipiente pulmón sería demasiado largo, con lo que las reacciones de Maillard se seguirían dando en el producto y el caramelo se oscurecería demasiado.

Luego de ese análisis, descartamos la idea de un cocinador tipo batch y nos volcamos de lleno en un cocinador continuo. Ya que con este tipo de cocinador se logra obtener un flujo constante de salida de producto en forma de hilo y con un control más preciso de la temperatura y el tiempo de residencia.

Habiendo realizado un relevamiento del equipo existente en planta del cliente, conjuntamente con un estudio de equipos similares en el mercado, se comenzó con el diseño preliminar.

Los diseños con los que nos encontramos comparten muchas similitudes entre sí, al mismo tiempo que con el equipo a reemplazar.

Los diseños básicos de cocinador encontrados constan de un recipiente calefaccionado (usualmente con vapor), dentro de dicho recipiente se ubica una serpentina, en cuyo interior circula el almíbar a cocinar.

El producto cocido luego va a una cámara de separación de fases, para finalmente caer por un conducto de descarga hacia el punto de utilización.

Se tomaron las ideas principales de estos equipos y se plantearon algunas adecuaciones, principalmente en cuanto a conexiones, para adecuar el nuevo equipo, de mayor capacidad y dimensiones, al espacio disponible en planta. Y además se tomaron en cuenta ciertas observaciones por parte del cliente para facilitar su limpieza y ayudar a la ergonomía del trabajo.

El equipo debe funcionar a una temperatura de alrededor de 165 °C, por lo tanto el vapor en su interior debe encontrarse a una presión de alrededor de 7 bar. Se buscó una alternativa a este método de calefacción para evitar el riesgo que implica un recipiente a esa presión tan cerca de una persona.

Se evaluaron métodos tales como electricidad, gas y fluido térmico. Pero se decidió mantener la utilización de vapor para calefaccionar el producto, ya que es un servicio disponible en la planta, que asegura una distribución uniforme del calor, con fácil regulación de temperatura y además es seguro para su consumo en caso de mezclarse con el producto durante alguna etapa del procesamiento.

Una vez definido el diseño básico, se comenzó a trabajar en el Flow Sheet, selección de componentes principales como bombas y válvulas, y posteriormente en las definiciones correspondientes a la ingeniería de detalle del equipo.

## 4 Memoria descriptiva:

El equipo posee 7 partes principales, las cuales corresponden a cada uno de los apartados mencionados en el desarrollo del proyecto.

En la "Imagen 1" se puede ver el equipo completo con indicaciones de sus respectivas partes principales

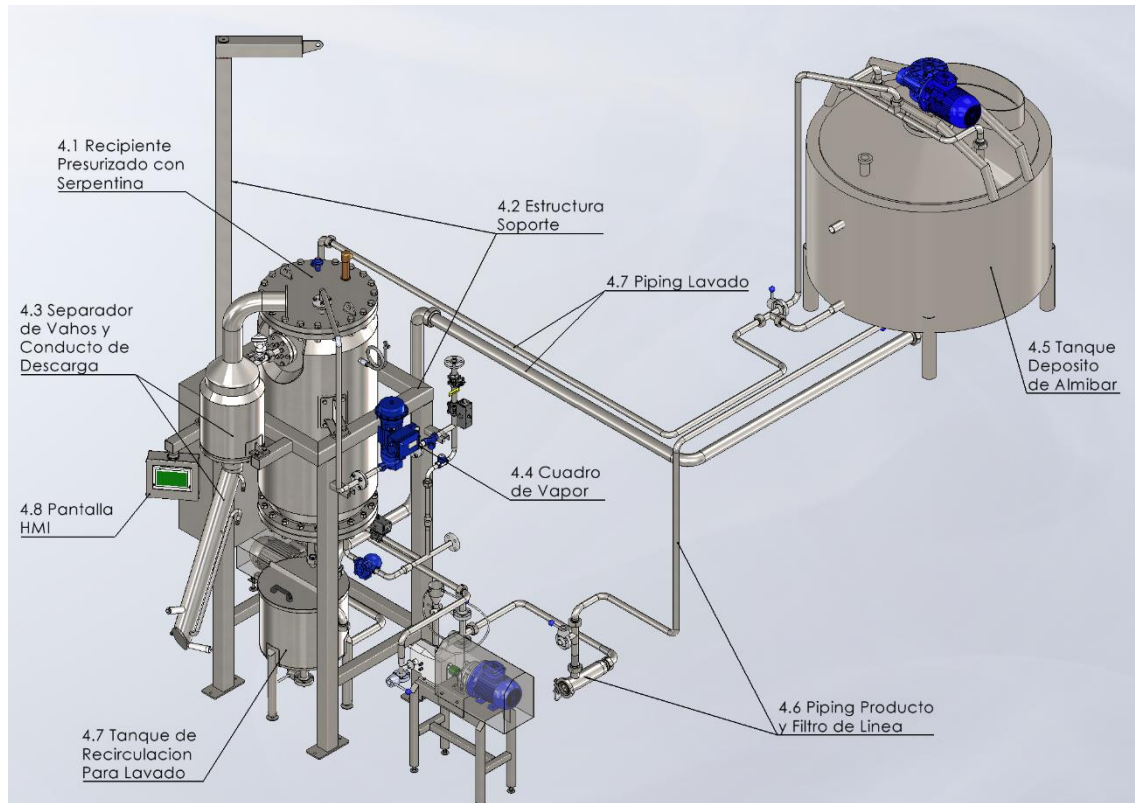


IMAGEN 1

### Desarrollo:

#### 4.1 Recipiente Presurizado con Serpentin:

Es el corazón del equipo cocinador, es en él donde se produce la cocción del almíbar propiamente dicha.

Consta de un cuerpo cilíndrico aislado, dentro del cual se ubica la serpentina por donde circula el producto durante su cocción.

El recipiente posee una entrada de vapor en la parte superior del cuerpo cilíndrico, más precisamente sobre la tapa superior. Se inyecta vapor, calefaccionando la serpentina en su interior hasta la temperatura deseada. El condensado generado es recuperado desde la parte inferior hacia una línea de condensado mediante una trampa de vapor.

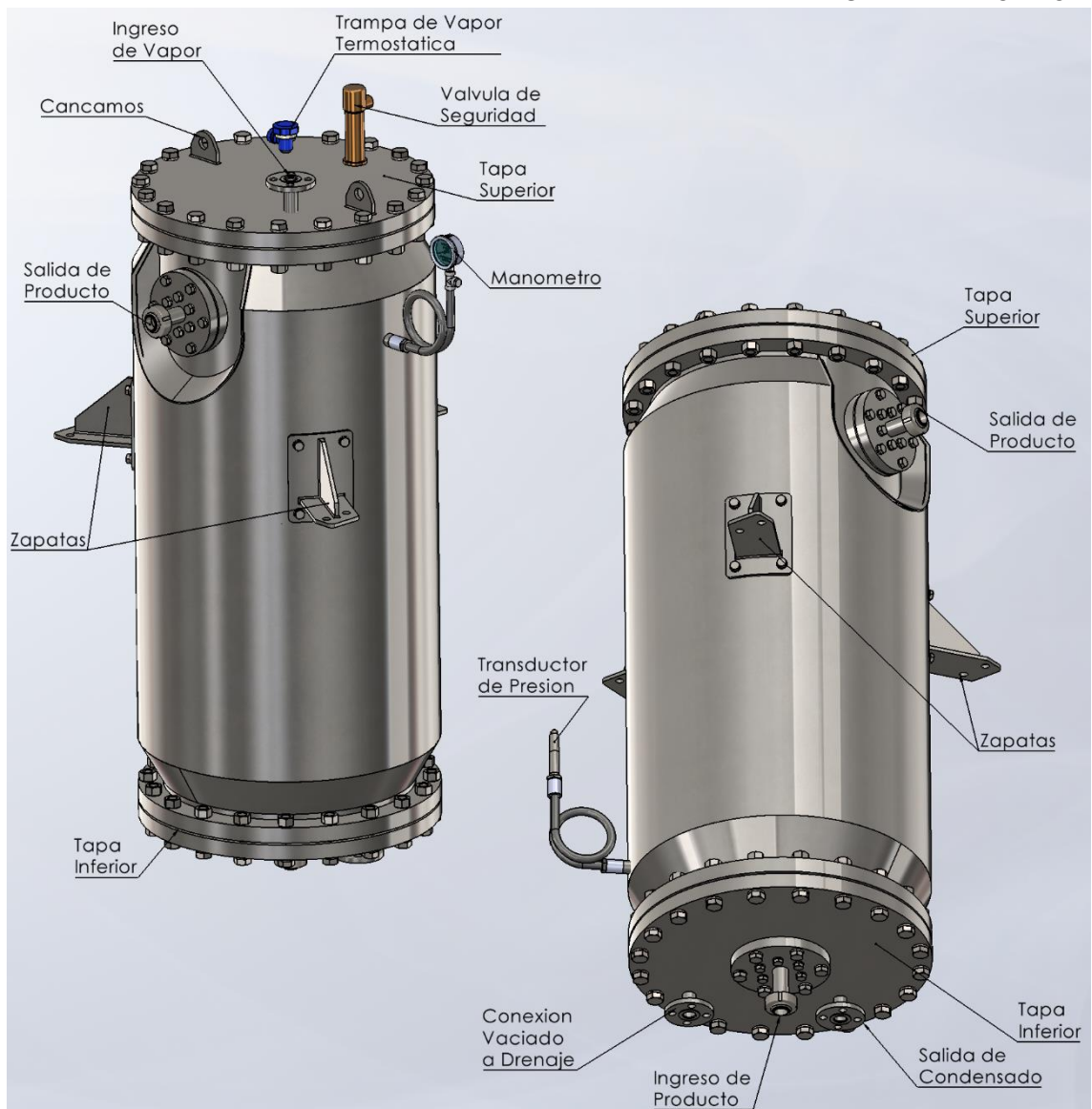


IMAGEN 2

En la "Imagen 2" se muestran dos vistas del recipiente con sus respectivos elementos constitutivos y conexiones



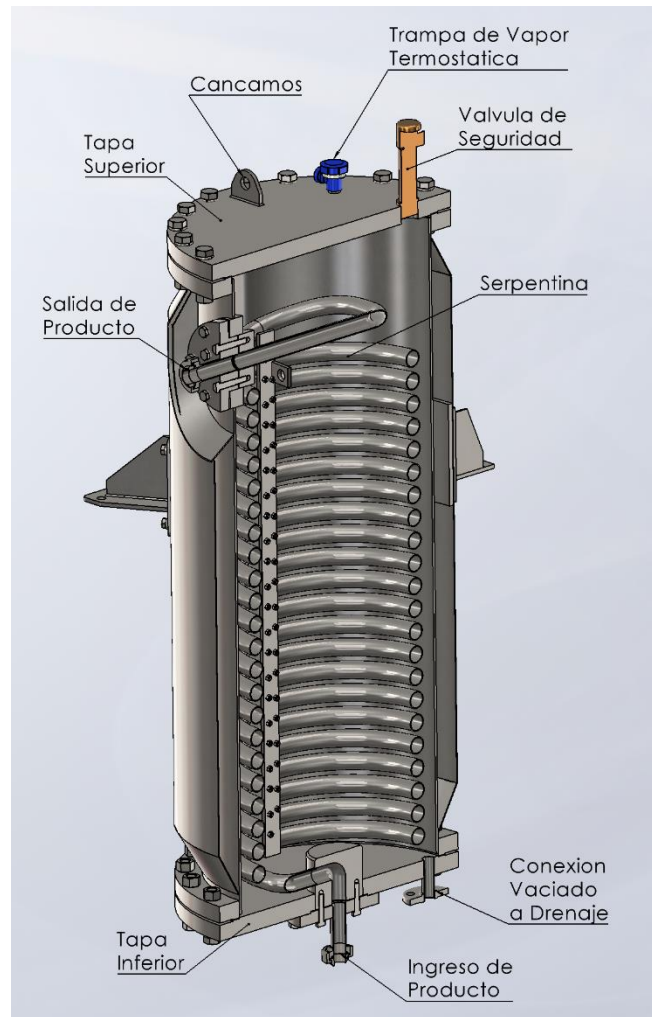


IMAGEN 3

En la "Imagen 3" se expone el recipiente en una vista de corte para mostrar la serpentina interior y el paso del producto a través de la misma.

## 4.1.1 Recipiente

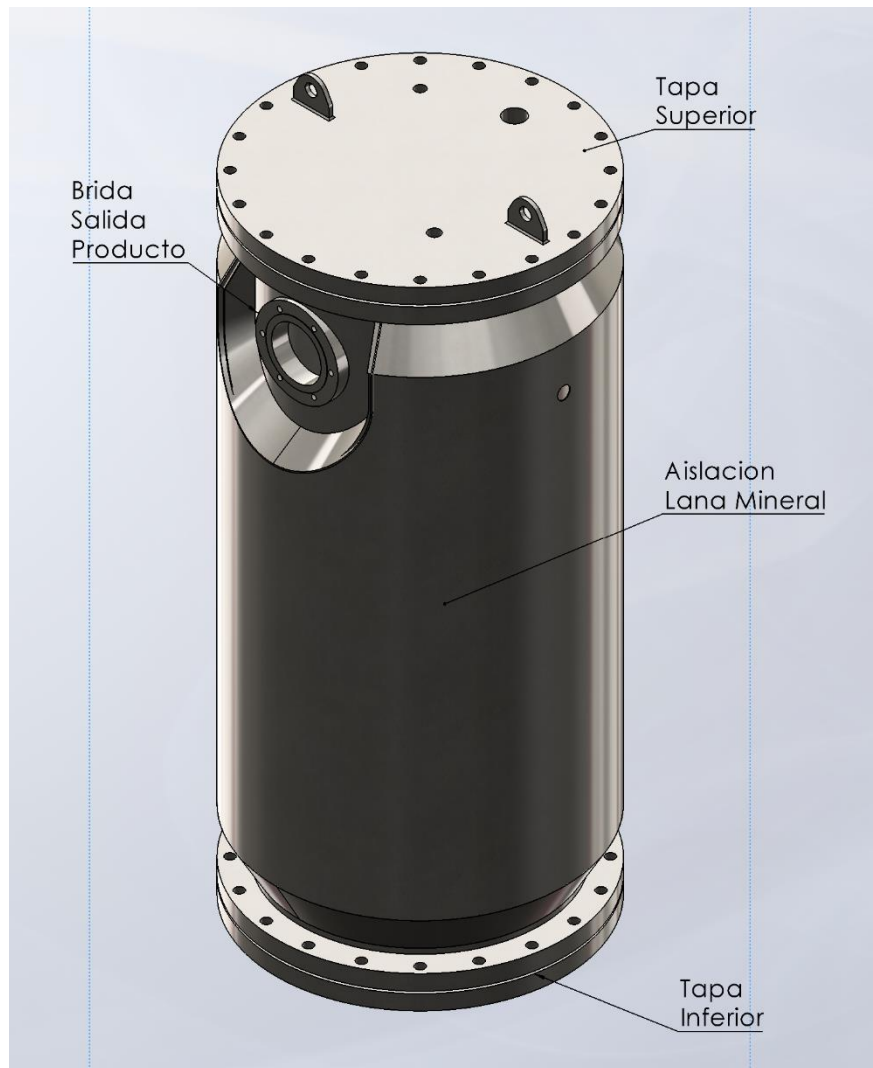


IMAGEN 4

Como se mencionó anteriormente, consta de un cuerpo cilíndrico aislado, donde se aloja la serpentina. Su función es generar una atmosfera de vapor saturado a alta presión que rodee el exterior de la serpentina y permita alcanzar la temperatura deseada en el almíbar durante su cocción. La temperatura de cocción requerida del almíbar oscila entre 160 y 165 grados Celsius. Por lo tanto, tomando una temperatura máxima de vapor de 170 °C (debido a la ligera diferencia de temperatura entre la pared interior y exterior del caño que conforma la serpentina), entrando a la tabla de vapor saturado a esa temperatura, obtenemos una presión máxima de vapor de 7 bar.

La norma ASME Sección VIII Div. 1 establece que la presión de diseño debe ser mayor que la condición más severa de presión posible de alcanzar en el equipo, pero no nos brinda ninguna fórmula o valor certero, es por eso que se tomó como presión de diseño al valor de 9 bar. Este valor supera aproximadamente en un 30% a la presión con la que trabajará el equipo, con la cual nos aseguramos de contar con un margen de seguridad ante cualquier eventualidad.

Se eligió este esquema constructivo, principalmente por una cuestión de simplicidad en su fabricación. Sabemos que la adopción de casquetes en vez de tapas planas significaría un ahorro de material por la mejor distribución de las tensiones en los primeros, pero teniendo en cuenta las dimensiones del equipo, hubiera resultado en un

casquete de un espesor de chapa considerable para sus radios, por lo cual serian de difícil conformación, corriendo el riesgo de fisuras por excesivas deformaciones plásticas.

El cuerpo cilíndrico interior y sus tapas son los encargados de soportar la presión interna del recipiente, por ello deben ser calculados según la norma vigente en la Argentina para el dimensionamiento de recipientes a presión, la norma ASME, sección VIII div 1. Con ello determinamos el espesor mínimo de la virola que conforma la pared del recipiente, así también como el de las tapas planas.

A continuación, la memoria de cálculo del recipiente y sus tapas. Calculo según ASME Sec. VIII Div. 1:

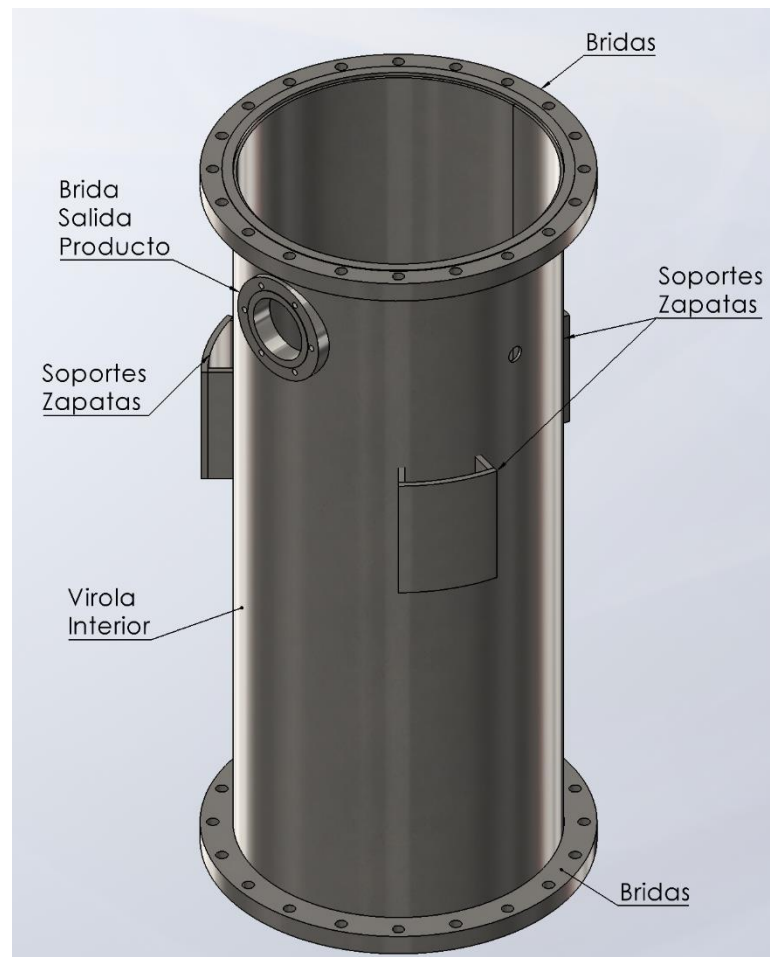


IMAGEN 5

#### 4.1.1.1 Cuerpo Cilíndrico:

El cuerpo cilíndrico, al igual que todo el equipo, se fabricará en acero AISI 304L por cuestiones sanitarias.

Para el cálculo del espesor mínimo requerido, se debe determinar la tensión máxima que soporta el material a la temperatura de servicio. Para ello, recurrimos al manual de cálculo "Diseño de Elementos de Maquinas" por V.M. Faies, el cual nos brinda una tabla con diferentes tensiones admisibles según material y temperatura. Como se ha mencionado anteriormente, el equipo trabajará a una temperatura de alrededor de 170 °C, es decir 340 °F aproximadamente. Con estos valores, podemos entrar a la tabla correspondiente al material que se está utilizando, y encontrar la sollicitación máxima que podrá resistir el material.

Vemos que el material AISI 304L se encuentra ubicado en la TABLA 2 de la "Imagen 6"

Ahora ingresamos a la fila correspondiente en la parte inferior, buscando la intersección con la columna de la temperatura máxima de 400 °F, encontramos un valor de tensión admisible máxima de 11 kPSI, convirtiendo a valores del sistema internacional obtenemos una tensión admisible  $S=775 \text{ kg/cm}^2$ .

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES - ACERO INOXIDABLE													
P-No. 8 Grupo No. 1													
TABLA 1							TABLA 3						
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia mín. 30 000 lb/pulg <sup>2</sup> Tensión mín. 75 000 lb/pulg <sup>2</sup>	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia mín. 30 000 lb/pulg <sup>2</sup> Tensión mín. 75 000 lb/pulg <sup>2</sup>	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	
		Placa	SA-240	304	2 3				Placa	SA-240	316	2 3	
		Tubo s/c	SA-213	TP304	2				Placa	SA-240	317	2 3	
		Tubo s/c	SA-213	TP304H	—				Tubo s/c	SA-213	TP316	2	
		Tubo /s/c	SA-312	TP304	2				Tubo s/c	SA-213	TP316H	—	
		Tubo s/c	SA-312	TP304H	—				Tubo s/c	SA-312	TP316	2	
		Tubo s/c	SA-376	TP304	2				Tubo s/c	SA-312	TP316H	—	
		Tubo s/c	SA-376	TP304H	—				Tubo s/c	SA-312	317	2	
		Tubo vaciado	SA-452	TP304H	—				Tubo s/c	SA-376	TP316	2	
		Forj.	SA-182	F304	2				Tubo s/c	SA-376	TP316H	—	
Forj.	SA-182	F304H	—		Tubo vaciado	SA-452	TP316H	—					
Barra	SA-479	304	2 3 5		Forj.	SA-182	F316	2					
					Forj.	SA-182	F316H	—					
					Barra	SA-479	316	2 3 5					
COMPOSICION NOMINAL, 25 000 Ni	Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		TABLA 4						
		Placa	SA-240	304L	—		Producto	No. de Espec.	Grado	Notas			
		Tubo s/c	SA-213	TP304L	—		Placa	SA-240	316L	—			
		Tubo s/c	SA-312	TP304L	—		Tubo s/c	SA-213	TP316L	—			
		Forj.	SA-182	F304L	—		Tubo s/c	SA-312	TP316L	—			
Barra	SA-479	304L	5		Forj.	SA-182	F316L	4					
					Barra	SA-479	316L	5					
VALORES MAXIMOS DE ESFUERZO PERMITIDO, 1 000 lb/pulg <sup>2</sup>													
PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F													
MATERIALES DE LA TABLA.	-20-100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	NOTAS
1	18.8	17.8	16.6	16.2	15.9	15.9	15.9	15.9	15.5	15.2	14.9	14.7	1
	18.8	15.7	14.1	12.9	12.1	11.4	11.2	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	
2	15.7	15.7	15.3	14.7	14.4	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	—	—	1
	15.7	13.4	12.0	11.0	10.3	9.7	9.5	9.4	9.2	9.1	—	—	
3	18.8	18.8	18.4	18.1	18.0	17.0	16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	1
	18.8	16.2	14.6	13.4	12.5	11.8	11.6	11.3	11.2	11.0	10.9	10.8	
4	15.7	15.7	15.7	15.5	14.4	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	—	1
	15.7	13.3	11.9	10.8	10.0	9.4	9.2	9.0	8.8	8.6	8.4	—	
PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F													
MATERIALES DE LA TABLA.	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	
1	14.4	13.8	12.2	9.8	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	1
	10.0	9.8	9.5	8.9	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	
3	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	1
	10.7	10.6	10.5	10.3	9.3	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2	

IMAGEN 6

A continuación, los cálculos para determinar el espesor del cuerpo cilíndrico y tapas. Según ASME Secc. VIII, Div. 1

Datos:

- Presión de Servicio: 8 bar
- Presión de Diseño: 9 bar
- Temperatura de Diseño: 180 °C
- Material de Construcción: AISI 304L
- Tensión Admisible "S" = 775 Kg/cm<sup>2</sup>
- Bulones: Material: Calidad 8.8
- Tensión Admisible "S<sub>b</sub>"=1760 kg/cm<sup>2</sup>

Espesor Virola Cuerpo Cilíndrico.

Eficiencia de Cálculo para el Cuerpo Cilíndrico: E=0.7 (Según UW-12, Sin Radiografiado)

Sobre espesor por Corrosión: NO SE CONTEMPLA POR SER ACERO INOXIDABLE

Diámetro Interior del Cuerpo Cilíndrico: 498 mm

Radiografiado: NO

Tensión de tracción circunferencial. [UG-27 © (1)]

$$\bullet \quad t = \frac{P.R}{S.E-0.6.P} = \frac{9 \cdot 249}{775 \cdot 0.7 - 0.6 \cdot 9} = 4.17 \text{ mm}$$

Espesor mínimo requerido t = 4.17 mm. Se adopta espesor **t = 5 mm** para cuerpo cilíndrico.

#### 4.1.1.2 Tapas Planas Abulonadas.

La norma ASME Sección VIII División 1 nos brinda diferentes alternativas de cierre con las cuales podemos utilizar la norma. El diseño de las tapas utilizadas en el equipo se corresponde con el detalle (J) de la figura UG-34 mostrada en la "Imagen 7"

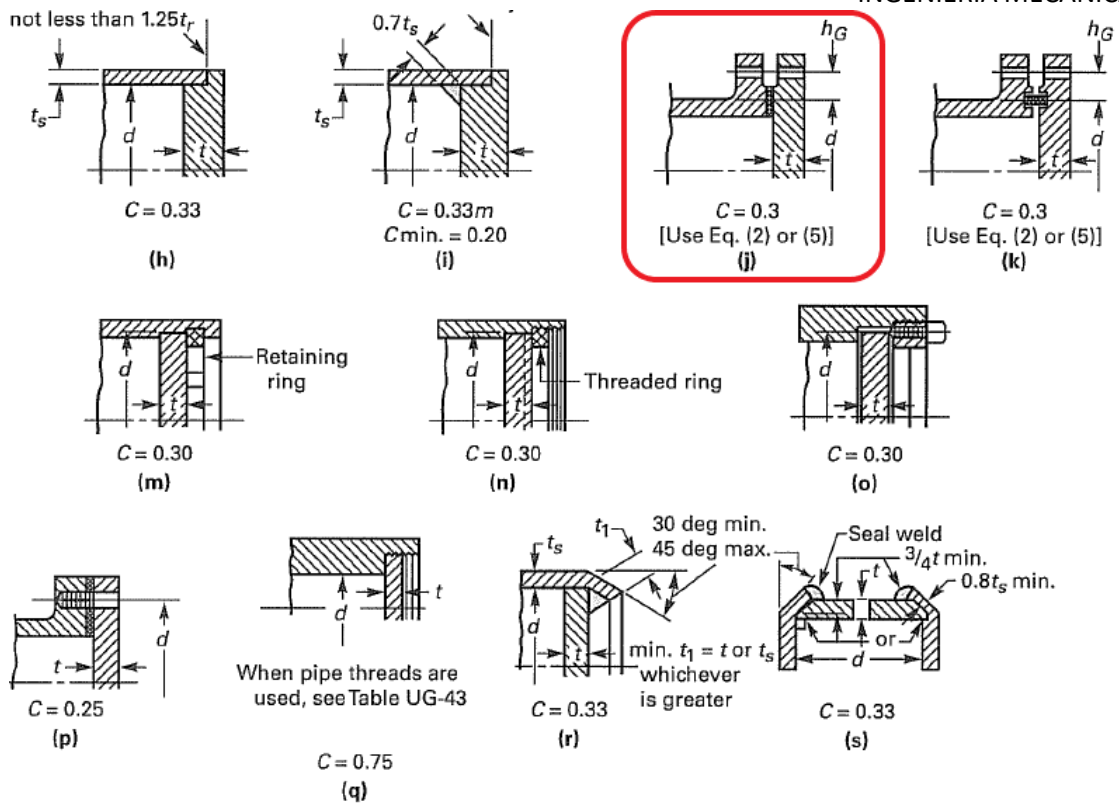


FIG. UG-34 SOME ACCEPTABLE TYPES OF UNSTAYED FLAT HEADS AND COVERS  
The Above Illustrations Are Diagrammatic Only. Other Designs That Meet

IMAGEN 7

- $C = 0.3$  (Es un valor adimensional dado por la norma particular para cada caso de diseño de tapas)
- $d = 52,6$  cm
- $h_g = 2,5$  cm
- $E = 1$
- $m = 0$

Condición de Operación: Son las condiciones necesarias para asegurar la estanqueidad mientras se aplica la presión de diseño en el equipo a la temperatura de diseño.

$$t_r = d \cdot \sqrt{\frac{C \cdot P}{S \cdot E} + \frac{1,9 \cdot W_{operacion} \cdot h_g}{S \cdot E \cdot d^3}} =$$

Debemos hallar  $W_{operacion}$  en nuestra fórmula para conocer el valor del espesor requerido. Es la carga sobre los bulones que asegura la condición de operación.

Para ello la norma nos brinda la siguiente formula:

$$W_{operacion} = 0,785 \cdot G^2 \cdot P + 2 \cdot b \cdot 3,14 \cdot G \cdot m \cdot P$$

Ingresamos a la tabla proveída por la norma para determinar el coeficiente "m" en la "Imagen 8"

MANDATORY APPENDIX 2

TABLE 2-5.1  
GASKET MATERIALS AND CONTACT FACINGS<sup>1</sup>  
Gasket Factors *m* for Operating Conditions and Minimum Design Seating Stress *y*

Gasket Material	Gasket Factor <i>m</i>	Min. Design Seating Stress <i>y<sub>s</sub></i> psi (MPa)	Sketches	Facing Sketch and Column in Table 2-5.2
Self-energizing types (0 rings, metallic, elastomer, other gasket types considered as self-sealing)	0	0 (0)	...	...

IMAGEN 8

Nos encontramos con un factor “m” igual a cero para el caso de nuestra junta. Por lo tanto la formula queda reducida a la siguiente expresión:

$$W_{operacion} = 0,785.G^2.P$$

Siendo:

- G: Diámetro medio de junta : 52,6 cm
- P: Presión de trabajo = 8 kg/cm<sup>2</sup>

$$W_{operacion} = 17375 \text{ kg}$$

Ahora volviendo a la fórmula del espesor:

$$t_r = 52,6 \cdot \sqrt{\frac{0,3 \cdot 9}{843 \cdot 1} + \frac{1,9 \cdot 17375 \cdot 2,5}{843 \cdot 1 \cdot 52,6^3}} = 3,27 \text{ cm} = 32,7 \text{ mm} = t_r$$

Condición de Asentamiento: Condiciones existentes cuando la junta es comprimida por la fuerza de los bulones mientras se ensambla, a temperatura y presión atmosféricas.

$W_{asentamiento}$  = Es el esfuerzo dado por los bulones tal que se cumpla la condición de asentamiento sobre la junta.

$$t_r = d \cdot \sqrt{\frac{1,9 \cdot W_{asent} \cdot hg}{S \cdot E \cdot d^3}}$$

Nuevamente la norma nos especifica una fórmula para el cálculo de  $W_{asentamiento}$

$$W_{asentamiento} = 3,14 \cdot b \cdot G \cdot y$$

Ingresando a la tabla de la “Imagen 8” vemos que el coeficiente “y” es igual a cero, por lo tanto esto nos arroja un resultado de  $W_{asentamiento} = 0$ .

Esto nos indica que la fuerza requerida para generar el asentamiento sobre la junta es despreciable, y se tomará como referencia para la determinación de espesores, el cálculo el obtenido en la condición de operación.

Espesor adoptado **t = 35 mm** > 32,7 mm. El espesor mínimo requerido para las tapas planas es de 32.7 mm, se adopta un espesor de 35 mm

#### 4.1.1.3 Calculo de Bulones

ASME indica que se debe calcular el área mínima requerida de bulones utilizando los resultados de  $W_{operacion}$  y  $W_{asentamiento}$ .

Como vimos con anterioridad  $W_{\text{asentamiento}}$  es igual a cero por lo tanto el cálculo de bulones se efectuará con el valor de  $W = 17375 \text{ kg}$

Se utilizarán 20 bulones RM18 de acero AISI 304. Diámetro de núcleo  $d_k = 1.49 \text{ cm}$

- Área Requerida:

$$A_r = \frac{W}{S_b} = \frac{17375}{1760} = A_r = 9,9 \text{ cm}^2$$

- Área Disponible:

$$A_d = \frac{20 \cdot \pi \cdot d_k^2}{4} = A_d = 34,9 \text{ cm}^2$$

Siendo Área Disponible  $>$  Área Requerida, se verifica el cálculo de resistencia de los bulones.

#### 4.1.1.4 Material de las Juntas.

La estanqueidad de las uniones se logra mediante juntas de la marca Klinger C4430, cortadas a medida mediante un sistema de corte por chorro de agua. Este material compuesto seleccionado para las juntas es muy utilizado en la industria, y particularmente recomendado para vapor. Con excelentes características para resistir las temperaturas y presiones dentro del rango al que está sometido el equipo. Es apto para aplicaciones alimenticias, es económico y existe amplia disponibilidad del mismo en el mercado.

#### 4.1.2 Serpentina:

La determinación del área de intercambio de la serpentina, estuvo íntegramente a cargo del cliente, el cual solicitó una serpentina fabricada con caño de 1" ( $\varnothing 33.4$ ) Sch 5 (Esp: 1.65 mm) en acero inoxidable AISI 304, al igual que el equipo predecesor. El largo de la misma estuvo sujeto al incremento del 30% de la capacidad de producción del equipo, por lo tanto la nueva serpentina debía tener 30% más área, es decir incrementarse en el largo ese mismo porcentaje. El área de la serpentina del equipo a reemplazar es de 2.2 m<sup>2</sup>, afectando ese valor por un coeficiente de 1.3, obtenemos el nuevo valor de área para nuestra serpentina. Y posteriormente con ese dato, se obtendrá el largo requerido de la serpentina.

$2,2 \text{ m}^2 \times 1.3 = 2.9 \text{ m}^2 =$  Valor de área requerida de la nueva serpentina.

Como se mencionó anteriormente, a pedido del cliente la serpentina se fabricó con caño de  $\varnothing 33.4 \text{ mm}$ . Con este dato determinamos el largo de la serpentina.

$\varnothing * \pi * \text{Largo} = \text{Área} \longrightarrow$  Utilizando unidades del S.I.  $\longrightarrow 0.0334 * \pi * \text{Largo} = 2,9 \text{ m}^2$

Despejando el Largo  $\longrightarrow \frac{\text{Area}}{\varnothing * \pi} = \text{Largo} = \frac{2.9 \text{ m}^2}{0.0334 \text{ m} * \pi} = \underline{27.6 \text{ m} = \text{Largo Serpentina}}$

Se adopta un largo de serpentina de 28 metros. Teniendo en cuenta un diámetro exterior de serpentina de 440 mm (dato propuesto por el cliente), correspondiéndose a un valor de diámetro medio de 406,6 mm, resulta en una serpentina de 22 vueltas.

ASEMA se limitó al diseño de las conexiones de ingreso y salida de producto, y al rolado de la serpentina.



Se conformó la serpentina soldando tramos rectos de caño sin costura del largo antes mencionado, y luego mediante una dobladora de caños se logró darle el diámetro deseado.

El paso de la serpentina fue dado mediante planchuelas de chapa de 8 mm de espesor cortadas a medida en una máquina de corte por chorro de agua, a las cuales se les realizaron perforaciones para alojar abrazaderas U-Bolt. Las mismas cumplen la función de tutores de la serpentina, dando el paso requerido a la hélice, como se aprecia en la "Imagen 9"

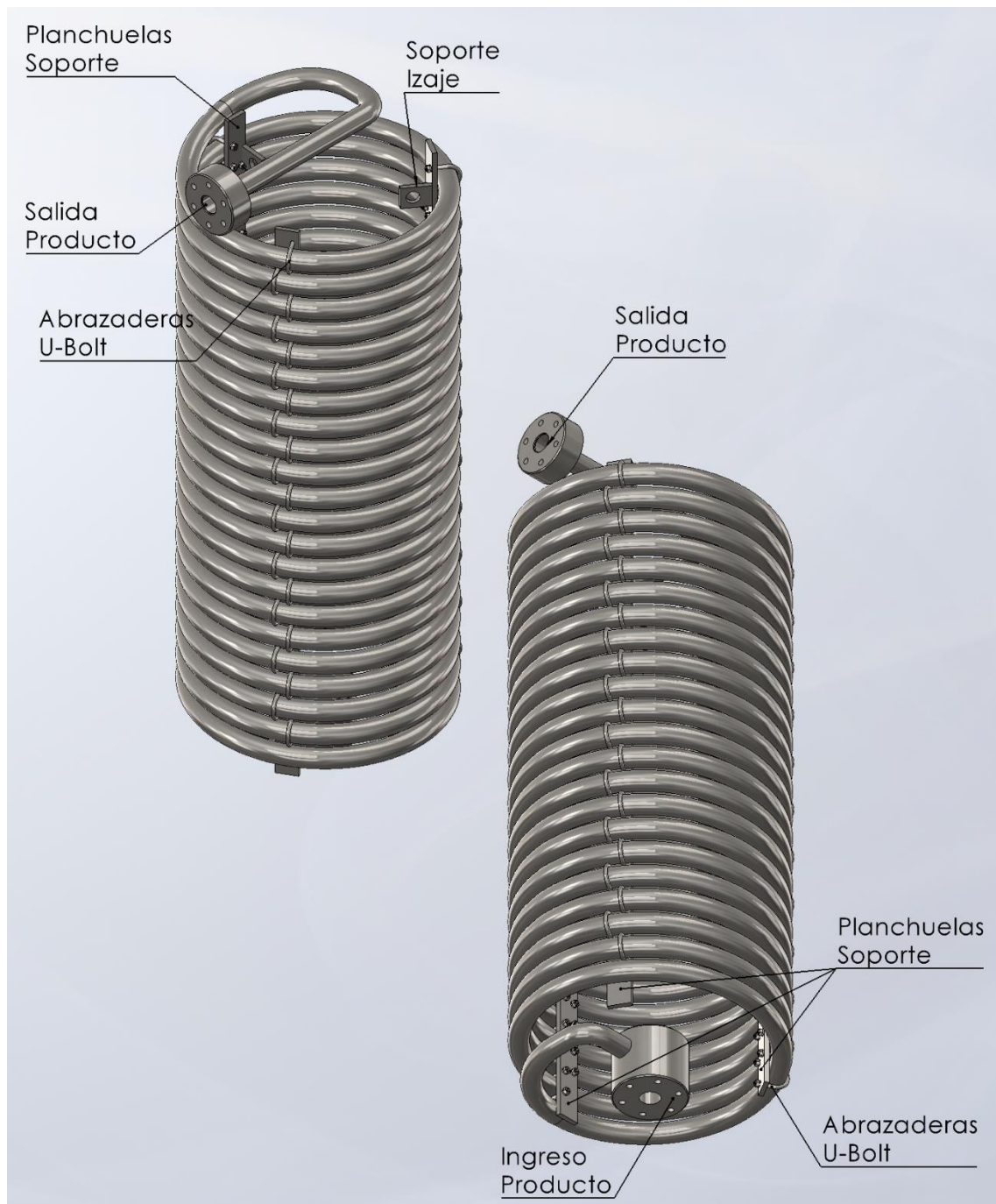


IMAGEN 9



IMAGEN 10

En la "Imagen 10" podemos visualizar una vista en corte de la serpentina, con sus conexiones de ingreso y salida de producto, así también como las planchuelas perforadas y las abrazaderas U-Bolt con sus respectivas tuercas.

El ingreso del producto se da desde la parte inferior por dos motivos, primeramente, para evitar que queden burbujas de aire atrapadas en el conducto de la serpentina, cosa que podría ocurrir si se alimentase desde la conexión superior. Y por otro lado, para favorecer la descarga del producto ya cocido, cuestión que se tocará con mayor detenimiento en párrafos posteriores.

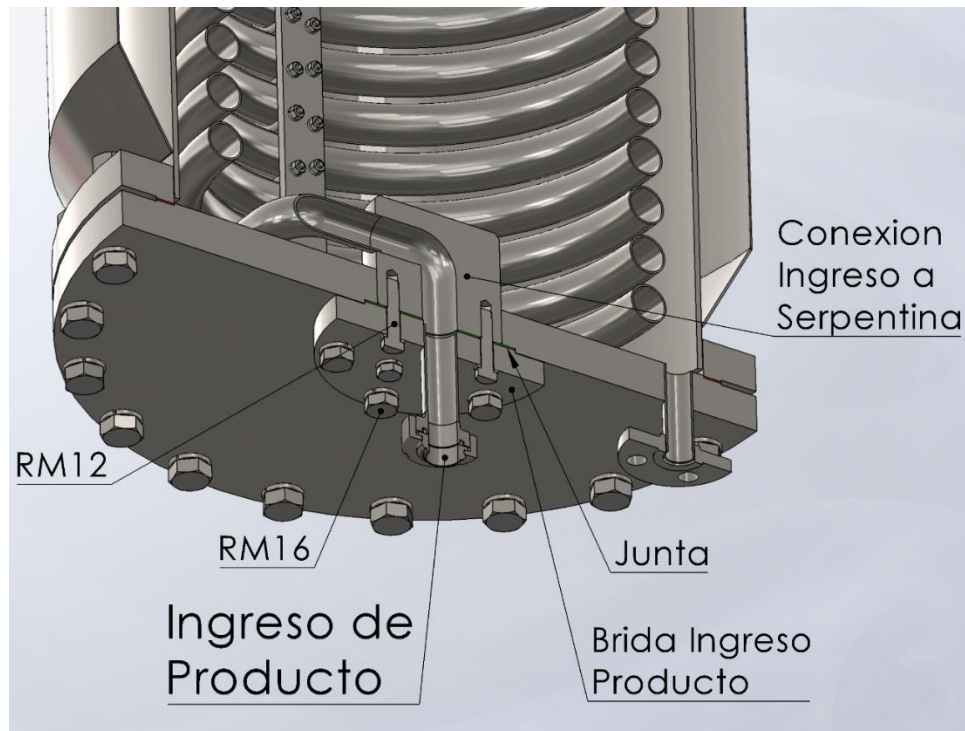


IMAGEN 11

La "Imagen 11" muestra un detalle de la conexión de ingreso de producto del cocinado de jarabe.

La tapa inferior del equipo se mecanizó con 8 agujeros ciegos roscados RM16, con los cuales se sujeta a la "Brida Ingreso Producto" presionando la junta mostrada en la imagen, de tal manera de generar un cierre estanco con la tapa.

La "Brida Ingreso Producto" se mecanizó a partir de un corte por chorro de agua de chapa de 38.1 mm de espesor. La misma aloja la conexión de ingreso de producto con un tubo de  $\varnothing 31.8$  y una unión doble norma danesa. Se realizaron 6 agujeros pasantes de  $\varnothing 13$  mm para recibir los bulones RM12 mediante los cuales se vincula la "Conexión Ingreso a Serpentina", y una vez más, presionando la junta para un cierre estanco.

La "Conexión Ingreso a Serpentina" se fabricó a partir de un trefilado de  $\varnothing 127$  mm de AISI 304, se realizaron dos perforaciones, una inferior central, y otra radial conectada con la primera, de tal manera de generar un canal de pasaje para el producto y redirigirlo horizontalmente para conectar el flujo con la serpentina, esta última se soldó a la conexión radial del trefilado. Por último se realizaron 6 agujeros roscados ciegos RM12 en la parte inferior del mismo, para permitir la unión del trefilado con la "Brida de Ingreso Producto".

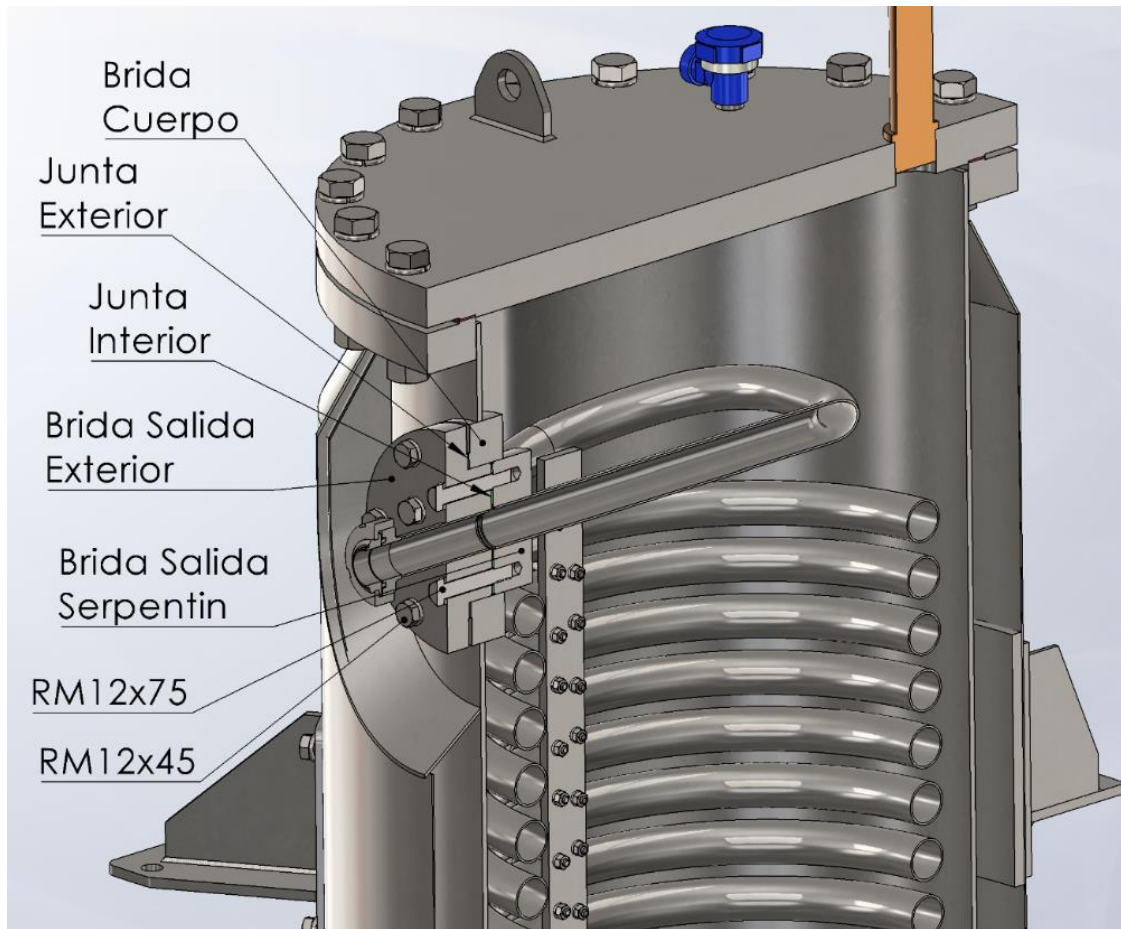


IMAGEN 12

En la "Imagen 12" se muestra una visualización en corte de la salida de producto. Tenemos una brida intermedia llamada "Brida Cuerpo" la cual se suelda a la virola del cuerpo interior del cocinador. Posee 6 agujeros roscados, los cuales se utilizan para vincular la misma a la "Brida Salida Exterior" mediante bulones RM12 por 45 mm de largo. Esta última es la que posee la conexión de salida de producto. y que a su vez, se vincula a la "Brida Salida Serpentin", la cual se encuentra soldada a la serpentina y posee nuevamente 6 agujeros roscados RM12 para unirse a la "Brida Salida Exterior". La vinculación entre las partes se da mediante 6 tornillos hexagonales RM12 por 75 mm de largo.

#### 4.2 Estructura Soporte y Dispositivo de Izaje:

Se diseñó una estructura para soportar el cocinador y el separador de vahos, que permitiera robustez y comodidad a la hora de operar el equipo.

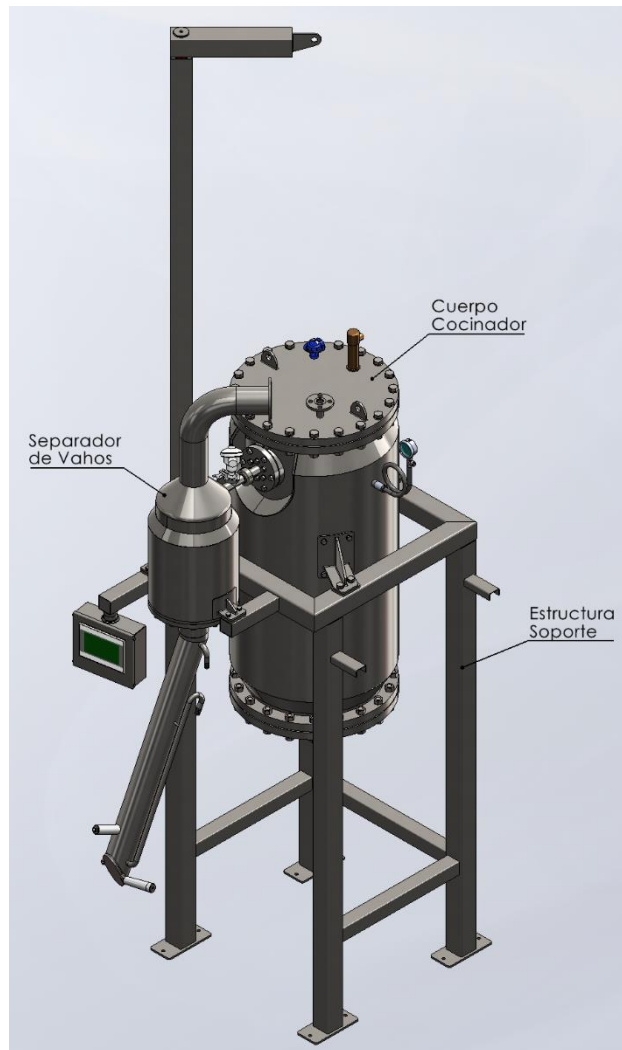


IMAGEN 13

En la "Imagen 13" se visualiza la estructura soporte y se muestra como van montados los elementos principales sobre la misma.

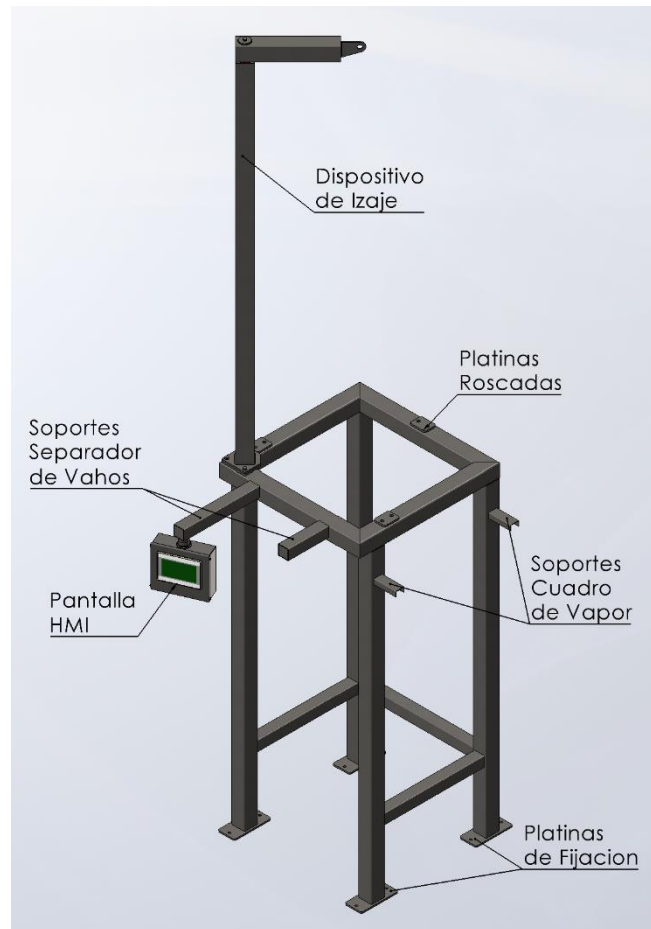


IMAGEN 14

Se debían incluir platinas perforadas para fijar solidariamente el equipo al suelo, tal como se muestra en la "Imagen 14" donde se visualizan sus partes principales.

Se requería la incorporación de un dispositivo que permitiera retirar el equipo cocinador de su posición dentro del bastidor de la estructura soporte, para los casos en que sea necesario realizarle mantenimiento.

Aprovechando la posibilidad de desmontar las tapas superior e inferior, así también como la serpentina interior. Se diseñó un dispositivo que permitiera el izado de cada uno de los elementos que componen el cocinador por separado, es decir, tapa superior, serpentina y cuerpo cilíndrico aislado. De esta manera, si bien la tarea de desmontar el equipo es más lenta, se manipulan cargas mucho más livianas, lo que conlleva a que la estructura necesaria para soportarlas sea también de menor porte y complejidad.

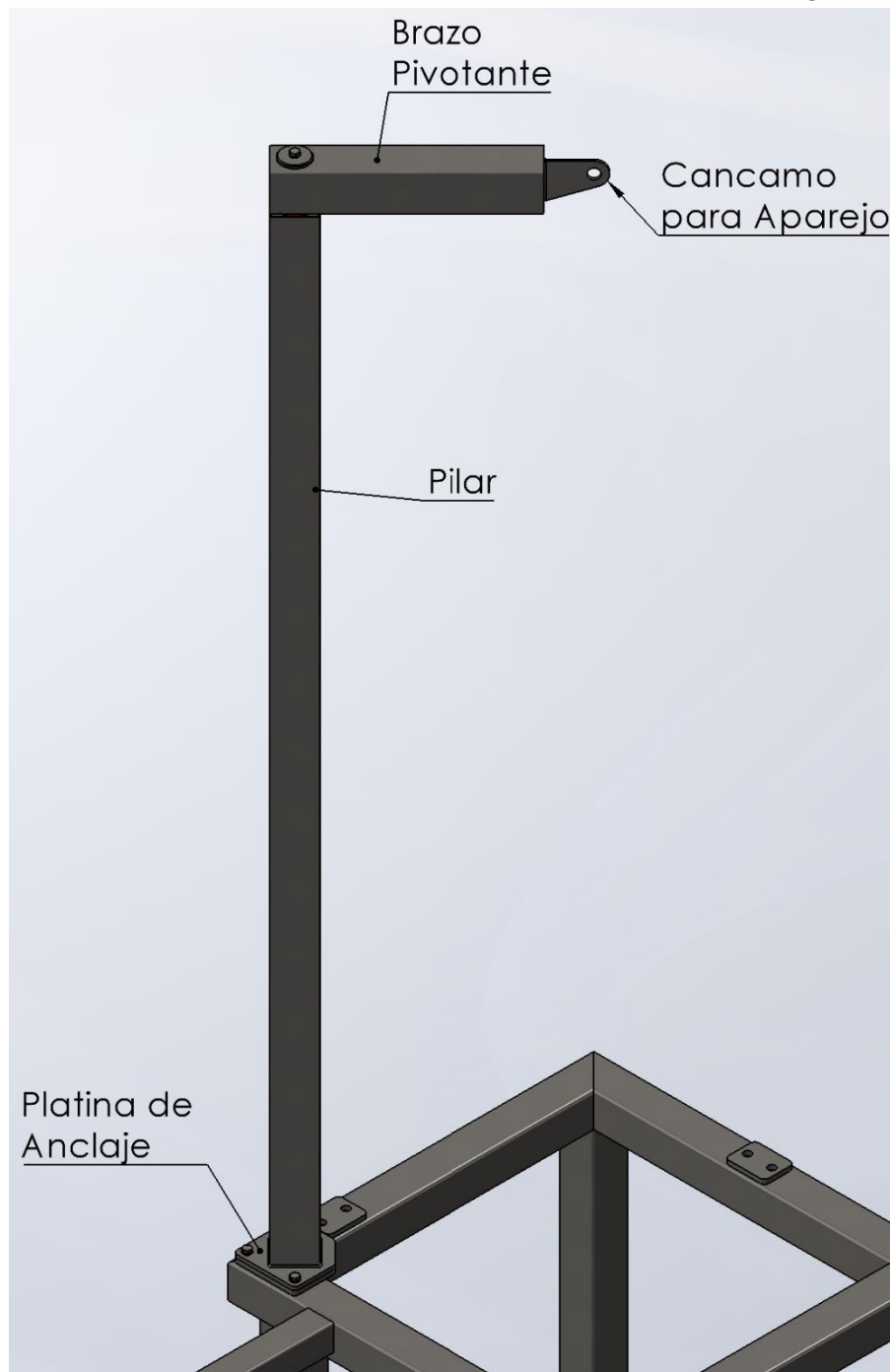


IMAGEN 15

En la "Imagen 15" se muestra un detalle del dispositivo de izaje, con las partes que lo componen. Consta de un pilar principal de tubo estructural. En el extremo superior de este último, se ubica un brazo pivotante en voladizo, el cual posee un cáncamo soldado que se utilizará para colocar un aparejo con el cual izar cada una de las partes del equipo cocinador.

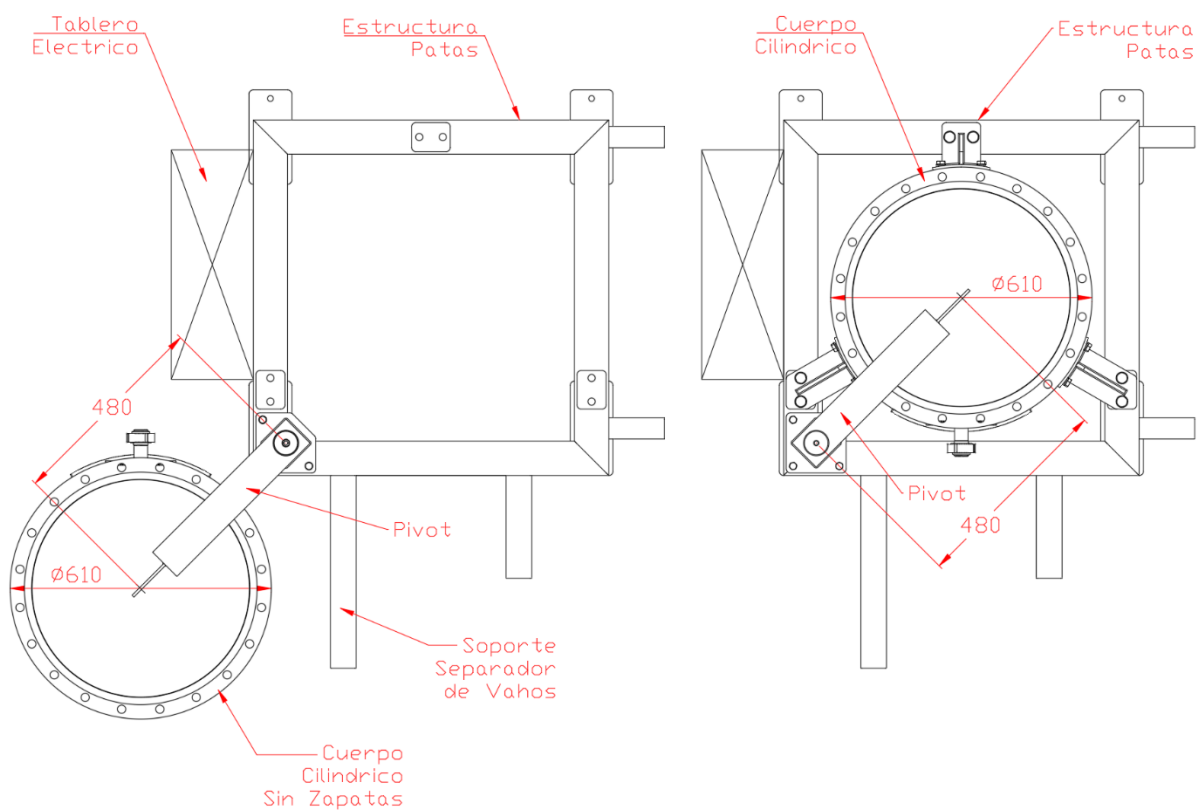
El brazo posee la capacidad de pivotar de tal manera que una vez sean izados por completo los elementos a manipular, se pueda girar el brazo para descenderla sobre el suelo de manera segura a un lateral de la estructura soporte.

El elemento estructural crítico en este sistema de izaje es el pilar, ya que está sometido simultáneamente a esfuerzos de flexión generados por la carga excéntrica sobre el cáncamo, y a esfuerzos de compresión que generan riesgo de pandeo, especialmente en este caso particular donde tenemos una perturbación grande como es este momento flector anteriormente mencionado.

### Dimensionamiento del pilar de izaje.

Para el dimensionamiento del pilar, se deben conocer dos datos clave. En primer lugar, el peso máximo que se debe izar, y en segundo lugar el momento flector máximo, el cual estará relacionado además con el largo del brazo pivotante.

En el siguiente esquema mostrado en la "Imagen 16" se puede determinar el largo mínimo necesario del brazo pivotante para que cumpla su función.



**IMAGEN 16**

A la altura mínima que debe poseer el pilar para izar los elementos la podemos ver en la "Imagen 17" abajo.



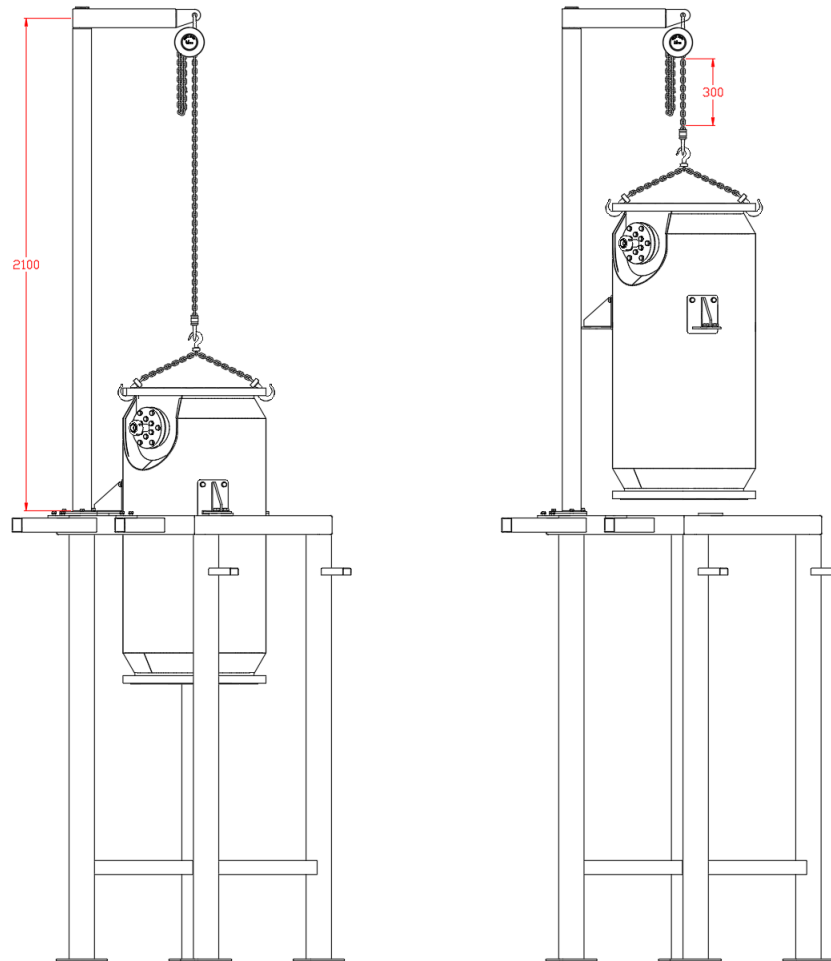


IMAGEN 17

Cabe destacar que el ojal del cáncamo debe ser coincidente con el eje de los elementos a izar. Ya que de no ser así, se generarían componentes de fuerzas que ocasionarían desplazamientos no estrictamente verticales durante la elevación.

Habiendo determinado el largo del pilar y del brazo pivotante, el siguiente paso para dimensionar la estructura es encontrar cual es el peso máximo a izar por el sistema. Son 3 los elementos que se analizarán. En primer lugar la tapa superior, la serpentina, y por último el cuerpo cilíndrico.

El peso de la tapa superior se determinó con la ayuda del software de diseño, arrojando un peso de 78 kilogramos.

Para la determinación del peso de la serpentina se tuvo en cuenta la situación de trabajo más desfavorable, que resulta cuando se debe izar la serpentina en el caso de que se haya solidificado caramelo en su interior, por lo tanto el peso que deben soportar los elementos estructurales corresponde a la sumatoria del peso de la propia serpentina, más la del volumen de caramelo solidificado en su interior.

Con la ayuda del software de diseño utilizado, se determina el peso de la serpentina, el cual nos arroja un valor de 102 kg.

También se debe tener en cuenta el peso del almíbar contenido en la serpentina durante su funcionamiento, para ello se tomará como referencia el caso en que el caramelo se haya solidificado dentro de la serpentina. Para determinar el peso de caramelo en el interior de la serpentina, se debe conocer el volumen interior que puede alojar la misma, y afectar ese valor de volumen por el del peso específico del caramelo, que resulta ser alrededor de 1300 kg/m<sup>3</sup>.

A la hora de calcular el volumen de caramelo, primeramente se toma en cuenta el desarrollo de la serpentina, luego afectamos ese valor por el área de paso interna del caño de la serpentina, y así obtenemos el volumen interior total de la serpentina.

$$\text{Volumen interior de serpentina} = \text{Desarrollo} * \frac{\text{Diametro int}^2 * \pi}{4} = 30 \text{ m} * \frac{0.02786 \text{ m}^2 * \pi}{4} = 0.01829 \text{ m}^3$$

Ahora afectamos este valor del volumen por el peso específico de 1300 kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Peso de Caramelo} = 0.01829 \text{ m}^3 * 1300 \text{ kg/m}^3 = 24 \text{ kg}$$

Sumando el valor del peso de la serpentina, más el peso del volumen de caramelo contenido dentro de la serpentina obtenido más arriba, encontramos el peso total de la serpentina con el caramelo 24 kg + 102 kg = 126 kg

Por último, nuevamente recurrimos al software de diseño para determinar el peso del cuerpo cilíndrico aislado, que resulta ser de 177 kg.

A esto hay que sumarle el eventual peso de un sistema de aparejo mecánico, cuyo peso se supone de 15 kg,

Por lo tanto, al analizar los 3 elementos a izar, vemos que la situación más desfavorable se da con el cuerpo cilíndrico aislado, el cual se tomará como peso de referencia para el cálculo del dispositivo de izaje.

El peso total del elemento a izar más el del aparejo resulta = 177 + 15 = 192 kg

Como se mencionó con anterioridad, el pilar es el elemento crítico a dimensionar en este sistema de izaje, el mismo está sometido a un pandeo excéntrico, es decir que la carga se encuentra aplicada fuera del centroide de su sección transversal, generando un momento flector. En base a su dimensionamiento, se utilizará el mismo perfil para el brazo pivotante y se someterá a verificación a flexión.

La fórmula utilizada para el cálculo del pandeo excéntrico fue tomada de los apuntes de la cátedra Estabilidad II tomada durante el cursado en la carrera.

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{F} \cdot \left[ 1 + \frac{e \cdot C}{i^2} \cdot \sec \left( \frac{\ell}{2 \cdot i} \cdot \sqrt{\frac{P}{E \cdot F}} \right) \right]$$

IMAGEN 18

En la "Imagen 18" se presenta la fórmula que se utilizará para el cálculo del pilar del elemento de izaje.

Referencias:

- $\sigma$ : Tensión máxima admisible
- P: Carga aplicada

- F: Área de sección transversal de perfil
- e: Excentricidad (distancia entre centroide de sección hasta punto de aplicación de carga)
- C: Distancia desde centroide hasta fibra a la que se desea calcular la tensión.
- i: Radio de giro de la sección
- E: Modulo de elasticidad del material
- l: longitud de pandeo.

Se debe cumplir que  $\sigma < \sigma_{adm}$

Para determinar la longitud efectiva de pandeo recurrimos a los mismos apuntes de la catedra Estabilidad II, donde encontramos la "Imagen 19", la cual brinda diferentes casos de longitudes efectivas segun el modo de vinculación del elemento a calcular.

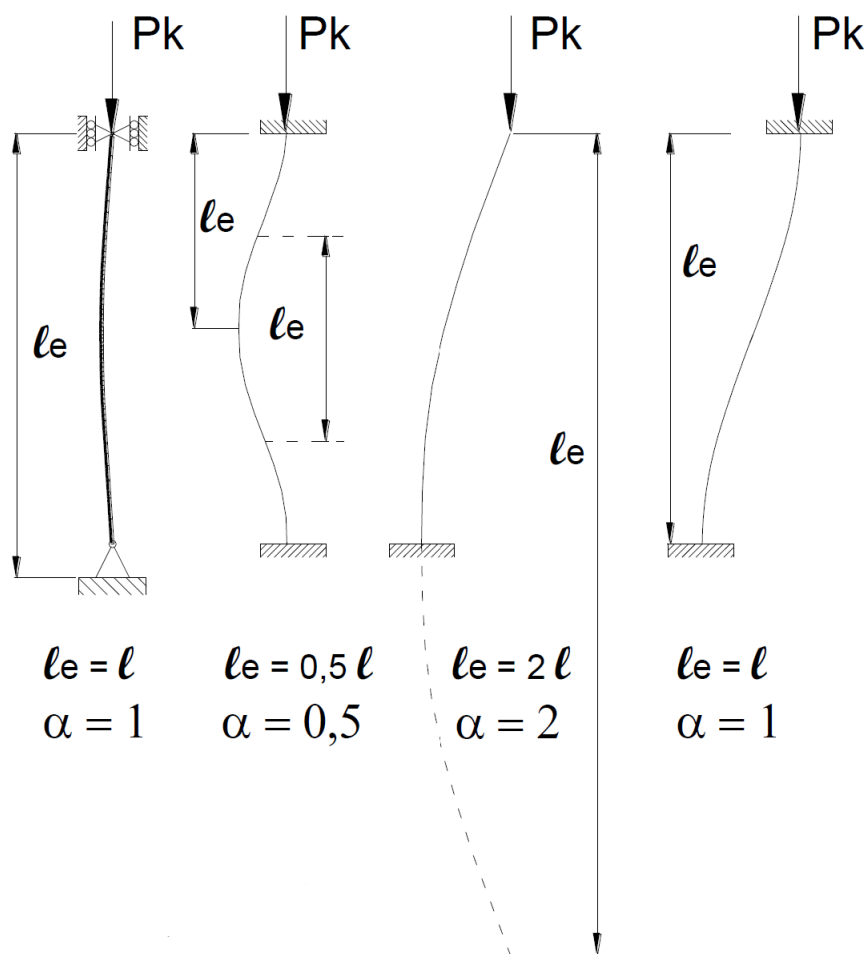


IMAGEN 19

En nuestro caso, podemos suponer que el pilar se encuentra sólidamente vinculado a la estructura rígida del equipo en su parte inferior, mientras que su parte superior se encuentra en voladizo. Por lo tanto el caso que nos corresponde es el de  $\alpha=2$ , por lo tanto la longitud efectiva de pandeo será dos veces la longitud de nuestro pilar.

En cuanto a la tensión máxima admisible, volvemos a nuestra tabla de resistencia de materiales para encontrar el valor de sigma admisible para el tubo de acero inoxidable AISI 304, que esta vez se encontrará a temperatura ambiente.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES - ACERO INOXIDABLE													
P-No. 8 Grupo No. 1													
TABLA 1						TABLA 3							
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni Cedencia mín. 30 000 lb/pulg <sup>2</sup> Tensión mín. 75 000 lb/pulg <sup>2</sup>	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo. Cedencia mín. 30 000 lb/pulg <sup>2</sup> Tensión mín. 75 000 lb/pulg <sup>2</sup>	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas			
	Placa	SA-240	304	2 3			Placa	SA-240	316	2 3			
	Tubo s/c	SA-213	TP304	2			Placa	SA-240	317	2 3			
	Tubo s/c	SA-213	TP304H	—			Tubo s/c	SA-213	TP316	2			
	Tubo s/c	SA-312	TP304	2			Tubo s/c	SA-213	TP316H	—			
	Tubo s/c	SA-312	TP304H	—			Tubo s/c	SA-312	TP316	2			
	Tubo s/c	SA-376	TP304	2			Tubo s/c	SA-312	TP316H	—			
	Tubo s/c	SA-376	TP304H	—			Tubo s/c	SA-312	317	2			
	Tubo vaciado	SA-452	TP304H	—			Tubo s/c	SA-376	TP316	2			
	Forj.	SA-182	F304	2			Tubo s/c	SA-376	TP316H	—			
Forj.	SA-182	F304H	—		Tubo vaciado	SA-452	TP316H	—					
Barra	SA-479	304	2 3 5		Forj.	SA-182	F316	2					
					Forj.	SA-182	F316H	—					
					Barra	SA-479	316	2 3 5					
TABLA 2						TABLA 4							
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo. Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas			
	Placa	SA-240	304L	—			Placa	SA-240	316L	—			
	Tubo s/c	SA-213	TP304L	—			Tubo s/c	SA-213	TP316L	—			
	Tubo s/c	SA-312	TP304L	—			Tubo s/c	SA-312	TP316L	—			
	Forj.	SA-182	F304L	—			Forj.	SA-182	F316L	4			
Barra	SA-479	304L	5		Barra	SA-479	316L	5					
VALORES MAXIMOS DE ESFUERZO PERMITIDO, 1 000 lb/pulg <sup>2</sup>													
MATERIALES DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F												
	-20-100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	NOTAS
1	18.8	17.8	16.6	16.2	15.9	15.9	15.9	15.9	15.5	15.2	14.9	14.7	1
	18.8	15.7	14.1	12.9	12.1	11.4	11.2	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	
2	15.7	15.7	15.3	14.7	14.4	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	—	—	1
	15.7	13.4	12.0	11.0	10.3	9.7	9.5	9.4	9.2	9.1	—	—	
3	18.8	18.8	18.4	18.1	18.0	17.0	16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	1
	18.8	16.2	14.6	13.4	12.5	11.8	11.6	11.3	11.2	11.0	10.9	10.8	
4	15.7	15.7	15.7	15.5	14.4	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	—	1
	15.7	13.3	11.9	10.8	10.0	9.4	9.2	9.0	8.8	8.6	8.4	—	
MATERIALES DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F												
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	
1	14.4	13.8	12.2	9.8	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	1
	10.0	9.8	9.5	8.9	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	
3	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	1
	10.7	10.6	10.5	10.3	9.3	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2	

IMAGEN 20

Vemos en la "Imagen 20" que el valor de sigma de fluencia para este caso es de 15700 PSI, lo que equivale a unos 1070 kg/cm<sup>2</sup>. A este valor se lo afectará por un coeficiente de seguridad de 2,5 y se lo utilizará como sigma admisible.

Se realizaron varios cálculos con diferentes dimensiones de perfiles hasta llegar al resultado satisfactorio que verifique la ecuación de la "Imagen 18". Esto se logró con un perfil de tubo estructural cuadrado de 80x80 y de espesor 3 mm.

Pasando en limpio los datos para ingresar a la ecuación, tenemos:

- $\sigma$ : Tensión máxima admisible :  $1070/2,5 = 428 \text{ kg/cm}^2$
- P: Carga aplicada: 192 kg
- F: Área de sección transversal de perfil. Obtenida de tabla = 9.24 cm<sup>2</sup>

- e: Excentricidad (distancia entre centroide de sección hasta punto de aplicación de carga). Determinado por el grafico de la "Imagen 16": 48 cm
- C: Distancia desde centroide hasta fibra a la que se desea calcular la tensión. 4 cm
- i: Radio de giro de la sección. Obtenido de tabla =  $3.15 \text{ cm}^4$
- E: Modulo de elasticidad del material:  $2100000 \text{ kg/cm}^2$  para aceros.
- l: longitud de pandeo. Determinado multiplicando por dos la longitud obtenida en la "Imagen 17".  $2 * 210 \text{ cm} = \underline{420 \text{ cm}}$

$$\sigma = \frac{P}{F} \left[ 1 + \frac{e * C}{i^2} * \text{Sec} \left( \frac{l}{2 * i} * \sqrt{\frac{P}{F * E}} \right) \right]$$

Reemplazando valores.

$$\sigma = \frac{192 \text{ kg}}{9.24 \text{ cm}^2} \left[ 1 + \frac{48 \text{ cm} * 4 \text{ cm}}{(3.15 \text{ cm}^4)^2} * \text{Sec} \left( \frac{420 \text{ cm}}{2 * 3.15 \text{ cm}^4} * \sqrt{\frac{192 \text{ kg}}{9.24 \text{ cm}^2 * 2100000 \text{ kg/cm}^2}} \right) \right]$$

$$\sigma = 411 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El valor de tensión obtenida con el perfil seleccionado resulta ser menor que el sigma admisible de  $428 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo tanto podemos confirmar que verifica el cálculo a pandeo excéntrico.

Utilizando el mismo perfil de tubo estructural de 80x80 y espesor 3mm, pasaremos a verificar a flexión el brazo pivotante.

#### Dimensionamiento de brazo pivotante.

Sabemos que las tensiones a las que se somete una viga a flexión viene dada por la Formula de Navier

$$\sigma = \frac{M_f}{I} \cdot y$$

Siendo:

- $M_f$ : El momento flector máximo aplicado. Que es igual a la carga aplicada por la distancia a la que se desea conocer el momento flector.
- I: Inercia del perfil respecto al eje de flexión
- y: distancia desde el centroide hasta la fibra a la que se desea conocer la tensión.

Se debe cumplir que  $\sigma < \sigma_{adm}$

Siendo  $\sigma_{adm} = 428 \text{ kg/cm}^2$

Para el análisis estático a flexión se tomará en cuenta el elemento sólidamente fijado en la parte opuesta a la fuerza, tal como se muestra en la "Imagen 21"

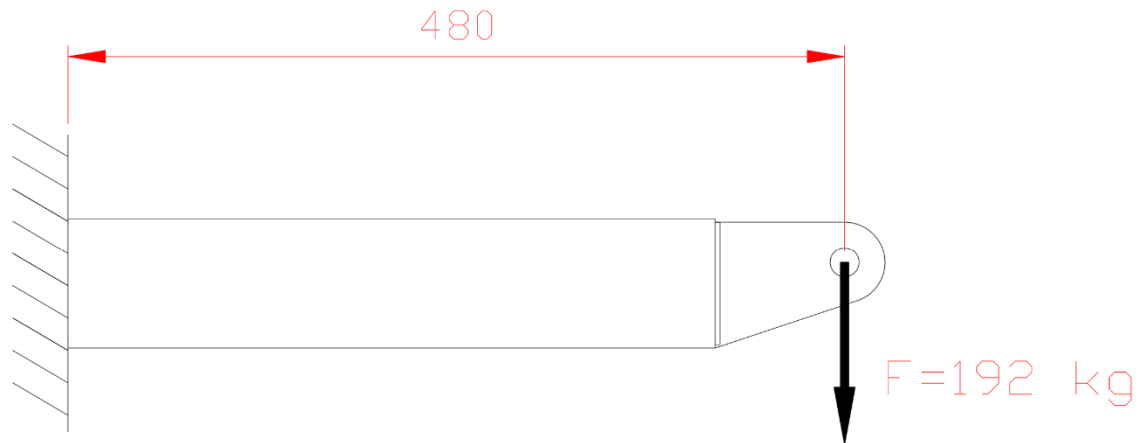


IMAGEN 21

El momento flector resulta igual a la fuerza aplicada de 192 kg multiplicada por la distancia de 480 mm = 48 cm, obtenemos un momento flector igual a:

$$M_f = 192 \text{ kg} * 48 \text{ cm} = \underline{9216 \text{ kg.cm} = M_f}$$

La inercia la conocemos del proceso de dimensionamiento del pilar.  $91,4 \text{ cm}^4$

Y la distancia "y" a la fibra que se tomará, será la que nos brinde el mayor valor de  $\sigma$ , es decir 4 cm

Reemplazando en la ecuación de tensión.

$$\sigma = \frac{9216 \text{ kg.cm}}{91,4 \text{ cm}^4} \cdot 4 \text{ cm} = 403 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = \sigma$$

Se constata que el valor de tensión obtenido de  $403 \text{ kg/cm}^2$  es menor que el de sigma admisible de  $428 \text{ kg/cm}^2$

Por lo tanto se confirma la verificación de tensión para el brazo pivotante.

### Dimensionamiento de estructura base.

La estructura base es la encargada de soportar el peso del equipo cocinador, debemos tener en cuenta que durante el funcionamiento del equipo, este se somete a vibraciones provenientes de los procesos de evaporación de producto y condensación del vapor de calefacción. Por ello, se debe diseñar una estructura robusta que no permita grandes deformaciones, para así brindar seguridad al personal durante su operación.

Para el dimensionamiento estático se toma en cuenta el peso del equipo cocinador considerándolo lleno de agua, por una eventual situación donde el equipo se encuentre lleno de condensado por ejemplo. Para ello recurrimos a los pesos de los elementos constitutivos hallados en la sección anterior para determinar el peso del equipo, y el volumen de líquido que puede contener.

El peso del equipo vacío: tapas + serpentina + cuerpo cilíndrico:  $2*78 + 102 + 177 = 435 \text{ kg}$ .

$$\text{Volumen de cuerpo interior} = \text{Alto} * \frac{\text{Diametro}^2 * \pi}{4} = 1.25 \text{ m} * \frac{0.5 \text{ m}^2 * \pi}{4} = 0.245 \text{ m}^3 =$$

El volumen máximo de líquido que puede contener el cuerpo interior es de aproximadamente  $0.25 \text{ m}^3$ , multiplicando ese volumen por la densidad del agua, que es aproximadamente  $1000 \text{ kg/m}^3$ , nos arroja un valor de  $250 \text{ kg}$  de agua. Eso sin excluir el volumen desplazado por la serpentina, lo que nos da un pequeño margen de seguridad.

También se tomará en cuenta la existencia de caramelo solidificado en el interior de la serpentina, por lo que hay que sumar 33 kg al total.

A su vez, hay que considerar el peso de los bulones, así también como las tapas y bridas de conexión, ya que estas estarán colocadas durante la marcha del cocinador.

Utilizando una vez mas el software de diseño, nos arroja un peso total de 37 kg para los elementos mencionados.

Por lo tanto, el peso máximo que debe soportar es la sumatoria de los dos valores antes encontrados.

Peso total =  $435 + 250 + 24 + 37 = \underline{746 \text{ kg}}$ .

El dimensionamiento de la estructura es algo más complejo de llevar a cabo mediante procedimientos de cálculo tradicionales, ya que es una estructura tridimensional en donde nos encontramos con apoyos elasticos que dificultan y hacen muy engorroso su cálculo. Por otra parte, el criterio de diseño en este caso pasa por la rigidez de la misma, y no por su resistencia, es por ello que se aprovecha la herramienta de nuestro software de diseño 3D para realizar un estudio de deformaciones y tensiones mediante el método de elementos finitos.

Se considerará un coeficiente de seguridad de 2 respecto de la carga estática, ya que, como se mencionó con anterioridad, los esfuerzos son de carácter dinámico.

Considerando un peso de 746 kg y afectándolo por el coeficiente de seguridad de 2 obtenemos un peso de  $2 * 746 = 1492 \text{ kg}$

Sabemos que los apoyos del cuerpo del cocinador se encuentran distribuidos en 3 puntos a  $120^\circ$  respecto a su centro. Por lo tanto, se considerará la carga uniformemente distribuida entre los 3 apoyos. Resultando en un valor de aproximadamente 500 kg para cada apoyo.

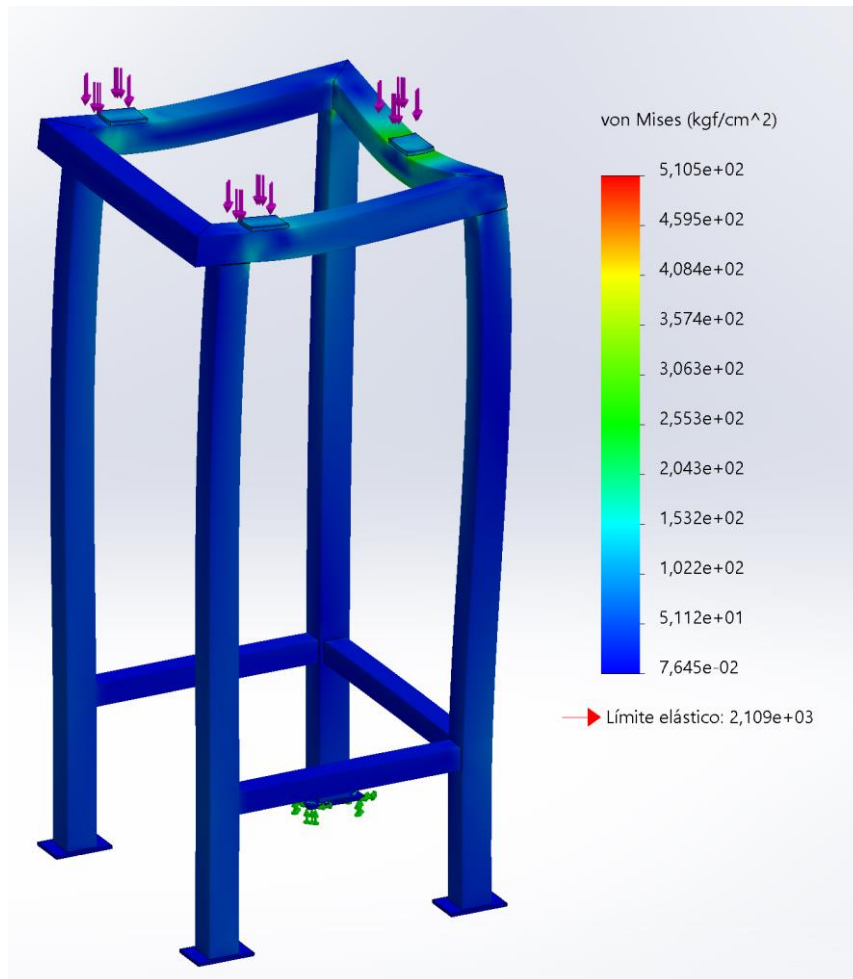


IMAGEN 22

La "Imagen 22" muestra el primer resultado obtenido con el software, en el cual se visualiza el estado tensional de la estructura. Pudiendo verse que en general la misma se encuentra sometida a valores muy bajos de tensión, del orden de los 100 kg/cm<sup>2</sup>.



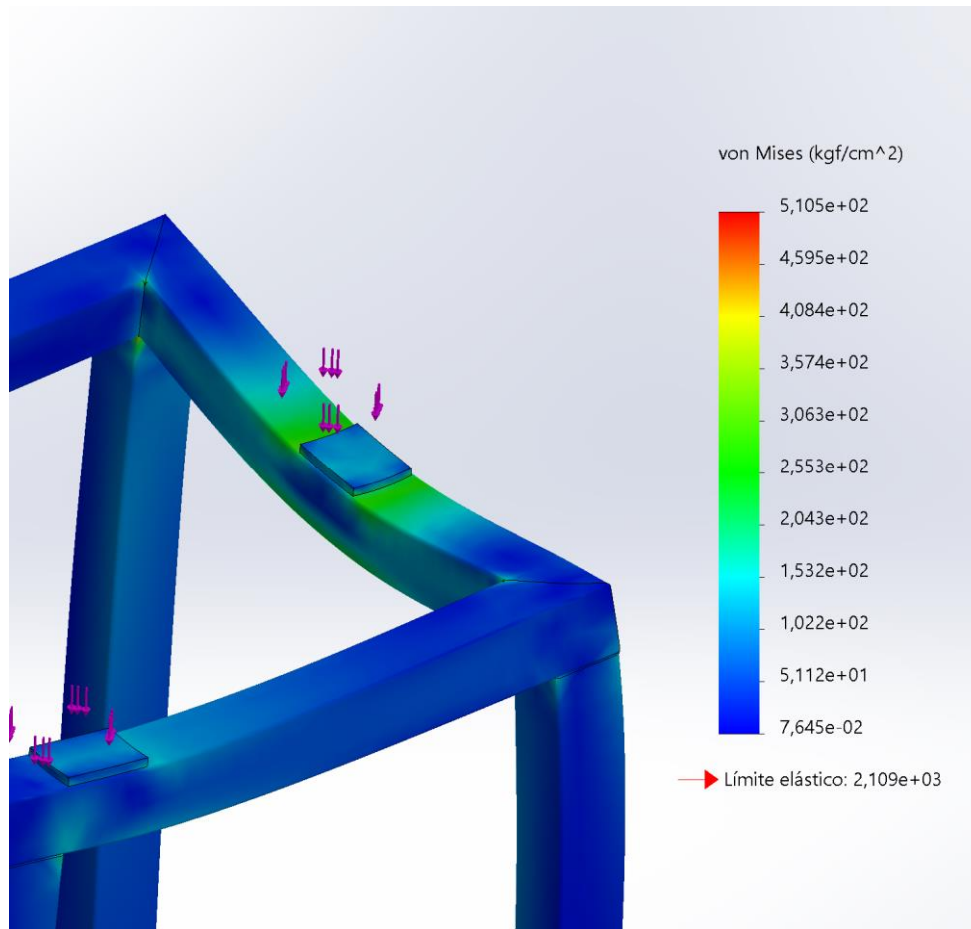


IMAGEN 23

En la "Imagen 23" nos encontramos con una vista ampliada de los sectores de mayor tensión en la estructura, siguiendo la escala de colores en la parte derecha, nos indica que las tensiones máximas alcanzadas están en el orden de los 300 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, sabiendo que la tensión admisible del material empleado es de 843 kg/cm<sup>2</sup>, podemos concluir que la estructura se encuentra dimensionada correctamente según el criterio de tensiones.

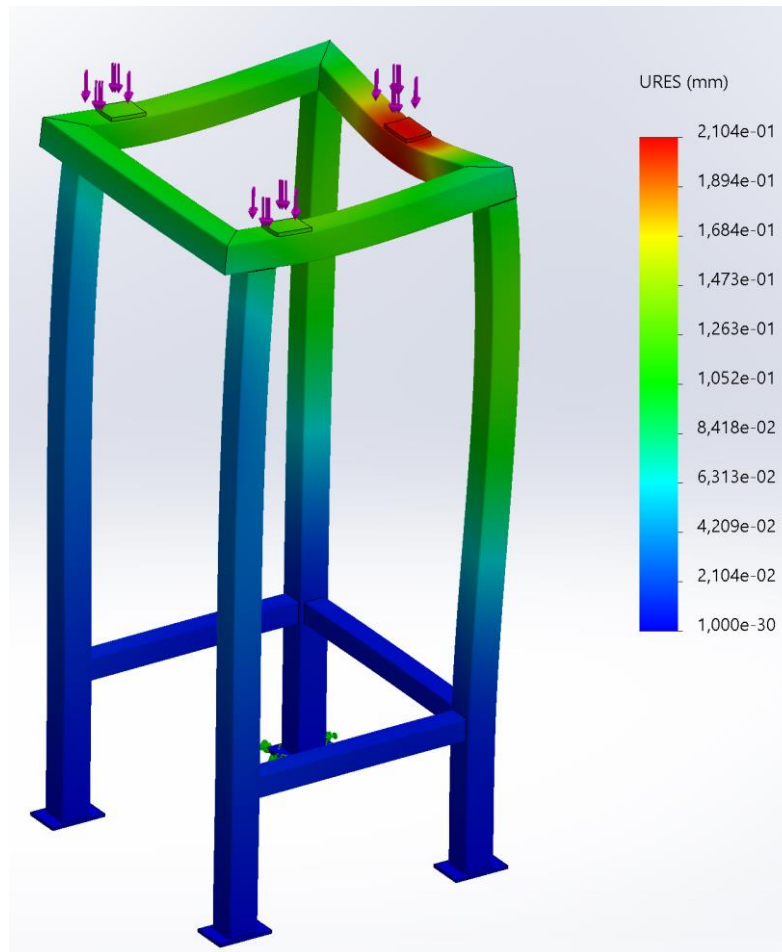


IMAGEN 24

Haciendo un análisis de desplazamientos, nos encontramos con los resultados obtenidos en la "Imagen 24", donde se visualiza un modelo exagerado de deformaciones con indicaciones de magnitudes de desplazamiento mediante una escala de colores mostrada en la parte derecha del gráfico.

Vemos que el punto de mayor desplazamiento se encuentra situado en el apoyo trasero del equipo cocinador, justamente es el punto más desfavorable de la estructura ya que la carga se encuentra situada justo en el medio de los dos apoyos, generando un momento flector de mayor magnitud, lo que consecuentemente ocasiona mayores deformaciones que en el resto de los apoyos.

El análisis nos arroja un resultado de desplazamiento máximo de 0,2 mm cuando se aplica una fuerza de aproximadamente el doble del valor de la carga estática, se considera que es un valor aceptable de deformación, logrando una rigidez que consideramos aceptable para el equipo, teniendo en cuenta que las vibraciones no serán de alta intensidad.

### 4.3 Separador de Vahos y Conducto de Descarga

El producto procesado sale del cocinador aún en ebullición, y con gran cantidad de vapor formando burbujas. Por lo tanto es necesario generar un espacio para permitir que las burbujas de vapor queden en la superficie y

se rompan, y la vez decantar el caramelo líquido a la parte inferior de dicha cámara para poder direccionarlo hacia la descarga por gravedad.

A su vez, los vapores de la cocción deben ser dirigidos hacia un colector que los envíe hasta una zona segura de disipación.

Por lo tanto, una de las cuestiones con la que nos encontramos fue la necesidad de incorporar una cámara de separación de fases, que también oficie de decantador de almíbar cocido.

Luego de salir del cocinador y ser decantado, el almíbar debe dirigirse hacia su punto de consumo, que es en este caso un recipiente de batidora, el cual tiene una altura de 700 milímetros. Por lo tanto, el almíbar debe recorrer el conducto de descarga desde el separador de fases hasta el recipiente de batidora.

En cuanto al conducto de descarga de producto, debe tener la característica de ser calefaccionado para evitar que el almíbar se endurezca al recorrerlo. Además debe ser giratorio, ya que se requiere descargar el producto en dos batidoras diferentes sin interrumpir el proceso de cocción.

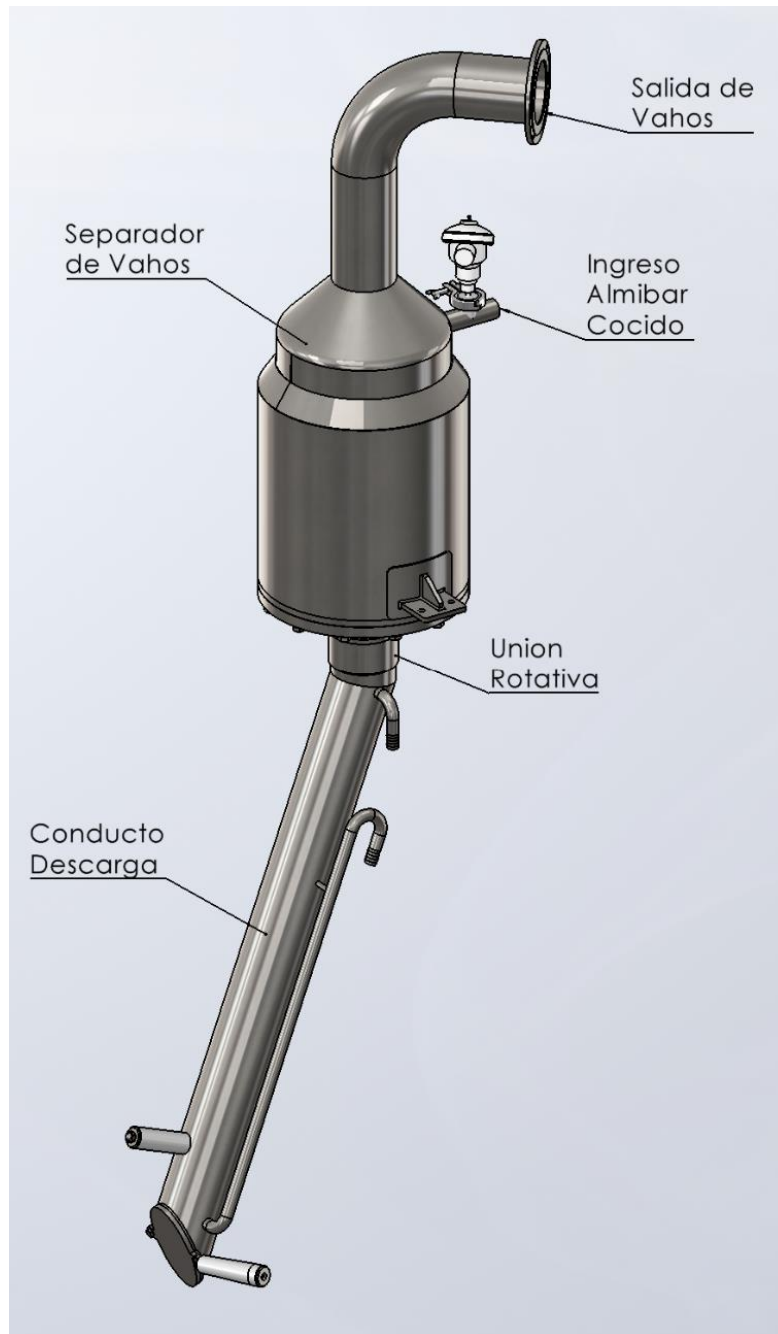


Imagen 25

En la "Imagen 25" se visualiza el modulo completo de descarga de producto con su correspondiente separador de vahos y conducto de descarga. Se indican las partes principales que lo componen, las cuales se explicarán en detalle en los párrafos siguientes.

### 4.3.1 Separador de Vahos.

En la "Imagen 26" se puede visualizar el equipo separador de vahos, con cada una de sus partes principales.



Imagen 26

Para evitar puntos angulosos de potencial acumulación de producto en los laterales, y así favorecer la higiene del equipo, se optó por un diseño del separador de vahos de sección cilíndrica vertical. El cierre superior es cónico para generar una transición suave con el conducto de salida de vahos, también de sección circular.

En los laterales del exterior del separador se ubican las zapatas para vincularlo a la estructura base del cocinador

Para el dimensionamiento del cuerpo del separador, se realizó un intercambio de información con el cliente, ya que posee vasta experiencia en equipos de este tipo debido a los equipos existentes en planta. Teniendo en cuenta uno de los equipos cocinadores de jarabe que poseen con una capacidad máxima de 280 kg/h, su separador de vahos es de diámetro 254 mm.

Si tenemos en cuenta el área interior del fondo del cilindro, suponiendo que es de un espesor de 2,5 mm tenemos.

$$Area = \frac{\pi * (\varnothing e - 2 * e)^2}{4} = \frac{\pi * (254 \text{ mm} - 2 * 2,5 \text{ mm})^2}{4} = 48670 \text{ mm}^2$$

Un aumento de capacidad hasta 330 kg/h implica un porcentaje de aumento de  $\frac{330-280}{280} * 100 = 18\%$  respecto de la capacidad original de 280 kg/h. Por lo tanto, se decidió aumentar el área interna de fondo del separador

de vahos en una cifra de igual magnitud, para así obtener el diámetro nuevo que debería tener este elemento para mantener la relación.

$$\text{Área nueva} = 48670 \text{ mm}^2 * 1,18 = \underline{57430 \text{ mm}^2} = \text{Área nueva.}$$

Con este valor de área nueva, despejamos el nuevo valor del diámetro del cuerpo de separador de vahos.

$$\text{Area} = \frac{\pi * (\text{Ø}i)^2}{4} = 57430 \text{ mm}^2$$

Despejando el diámetro interno.

$$\sqrt{\frac{\text{Area Nueva} * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{57430 \text{ mm}^2 * 4}{\pi}} = \text{Ø}i = 269 \text{ mm}$$

Se seleccionó un caño de diámetro exterior 273 mm y Sch 5 (espesor 3,4 mm) dando como resultado un diámetro interior de 266 mm.

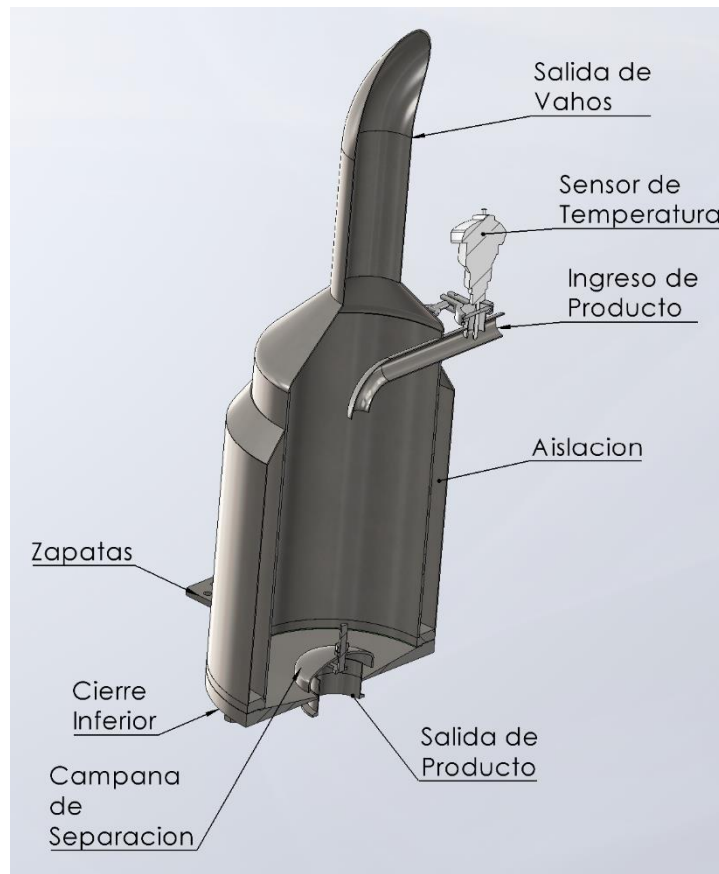


IMAGEN 27

Sobre el cuerpo del separador de vahos se colocó una aislación de lana mineral, de 30 mm de espesor, forrada con chapa de 1,5 mm de espesor, esto se realizó principalmente para evitar quemaduras a las personas trabajando en el sector, recordemos que el almíbar sale del cocinador a una temperatura de aproximadamente 165 °C. Pero también la aislación es un componente que sirve para retrasar el endurecimiento del caramelo en el recipiente.

En cuanto al conducto de salida de vahos, se optó por mantener el diámetro utilizado en el colector de salida de vahos de la sala donde se instalará el cocinador. Previa verificación para determinar si su velocidad estaba dentro de estándares aceptables.

Caudal de vapor a conducir: se tomará en cuenta que se evapora la totalidad del agua del almíbar a procesar.

Para determinar el volumen de vapor por unidad de tiempo se debe determinar la cantidad de agua que posee un kilogramo de almíbar.

Para ello, recurrimos al dato de los grados Brix del almíbar cocido, que resulta ser 65 °Brix, lo que significa que en 100 kg de solución existen 65 kg de azúcar. Por lo tanto, con un consumo de 330 kg de almíbar por hora, el agua a evaporar resulta:

$330 \frac{kg}{h} * (1 - 0,65) = 116 \frac{kg}{h}$  agua, es decir que se producen 116 kilogramos de vapor a presión atmosférica por hora que necesitamos desalojar por el conducto.

Determinamos el diámetro interior de la cañería, sabiendo que se utiliza un conducto de  $\varnothing_{ext}$  101,6 mm y de espesor 1,5 mm, obtenemos el diámetro interior igual a 98,6 mm = 0,0986 m =  $\varnothing_i$

Ahora determinamos el area interior de la cañería.

$$Area = \frac{\pi * (\varnothing_i)^2}{4} = \frac{\pi * (0,0986)^2}{4} = 0,00763 m^2$$

Ahora, obtenemos de tabla de vapor el volumen específico del vapor saturado a 1 atm, siendo de 1,67 m<sup>3</sup>/kg. Con este valor obtenemos el caudal circulante por la cañería.

$$Caudal\ de\ vapor = 116 \frac{kg}{h} * 1,67 \frac{m^3}{kg} = 194 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 seg} = 0,0539 \frac{m^3}{seg}$$

Con el valor de 0.0539 m<sup>3</sup>/seg de vapor, dividiéndolo por el área de paso de la cañería obtenemos un valor de la velocidad de referencia que tendrá el vapor en el conducto.

$$Velocidad\ de\ Vapor = \frac{0,0539 \frac{m^3}{seg}}{0,00763 m^2} = 7 m/seg$$

Habiendo obtenido un valor de velocidad de referencia de 7 m/seg, podemos concluir que la velocidad del vapor dentro de la tubería está dentro de rangos aceptables, teniendo en cuenta una velocidad económica de vapor para presiones atmosféricas de alrededor de 25 m/s.

En cuanto al cuerpo del separador de vahos, para tener acceso al interior del mismo, se planteó un cierre inferior desmontable mediante uniones abulonadas. El fondo del recipiente posee perforaciones pasantes, y el cuerpo del separador tiene soldada una contra brida con agujeros roscados, sobre esta última roscan los bulones que vinculan las dos partes. Como se muestra en la "Imagen 28"

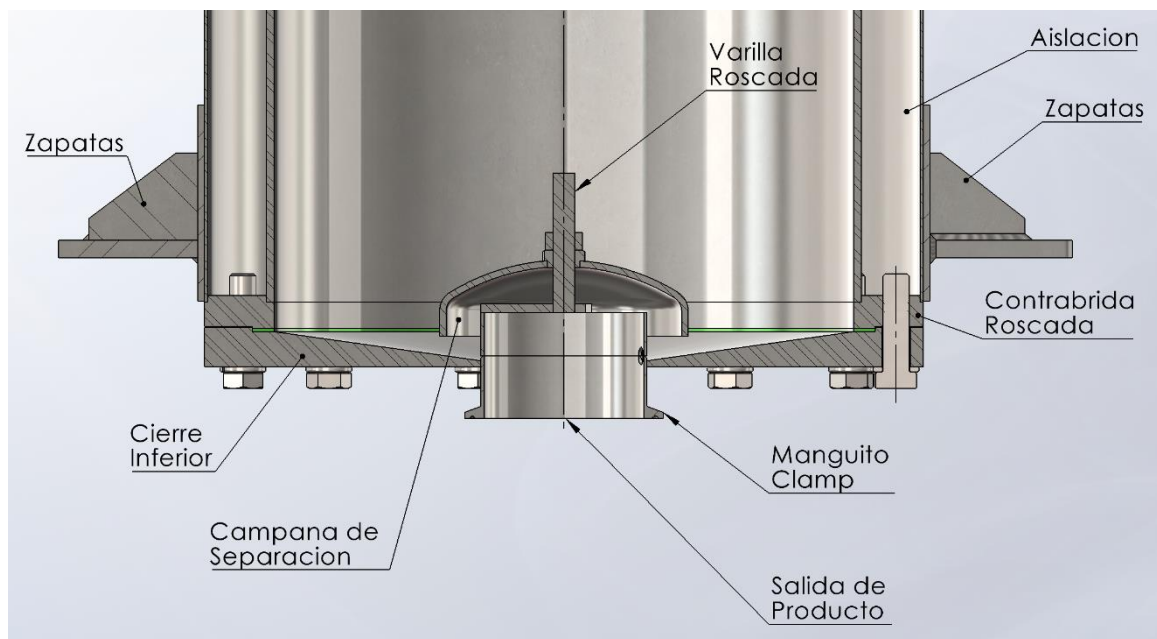


IMAGEN 28

El cierre inferior desmontable posee una campana que queda en el interior del separador una vez montado, para que solamente el producto decantado que se encuentra en el fondo del separador alcance a salir hacia el conducto de descarga. Esto último es para lograr un flujo por el conducto de descarga de almíbar cocido libre de burbujas y espuma. La campana es regulable en altura para permitir variar la luz entre el fondo cónico del cierre inferior y los laterales de la campana. La tarea de poner a punto la altura se realiza una sola vez, y se ejecutará por el cliente.

El cierre inferior tiene soldado un manguito clamp, el cual es utilizado como unión entre el separador de vahos y el conducto de descarga.

#### 4.3.2 Conducto de Descarga de Producto:

Es la parte final del equipo, la que debe recorrer el producto cocinado antes de ser volcado al punto de utilización, que como ya se mencionó con anterioridad, son dos batidoras separadas una distancia angular determinada.



Como se verá con posterioridad, el conducto de descarga debe, además, poder girar de tal manera de ubicarse en el tanque de recirculación para lavado ubicado debajo del cuerpo del cocinador.

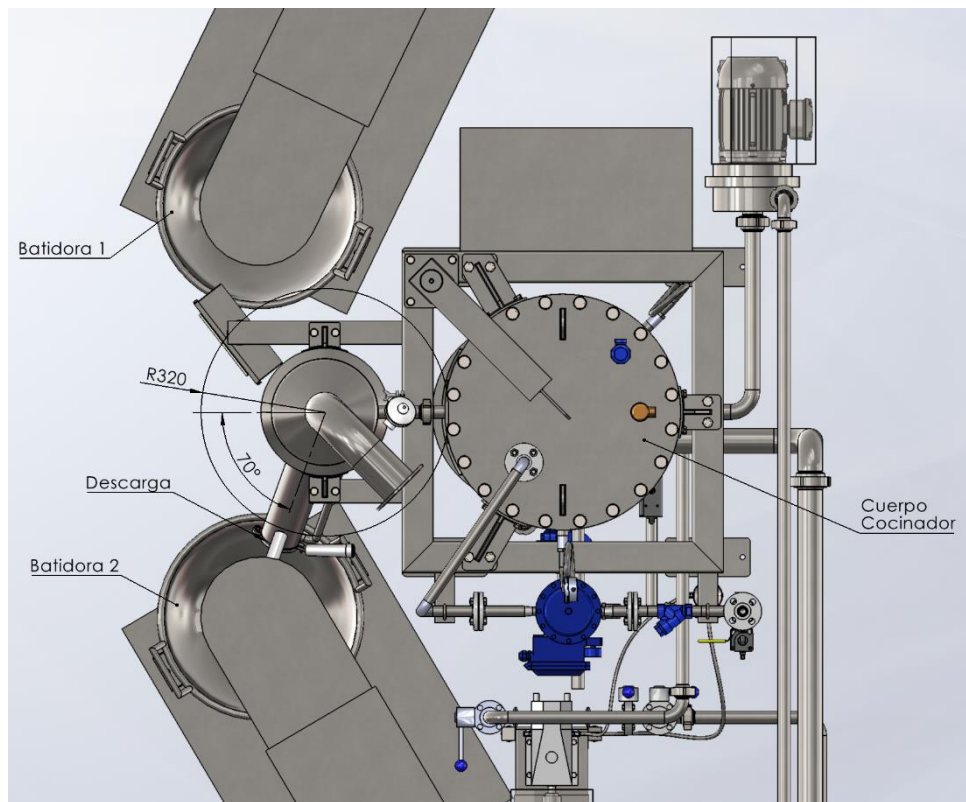


IMAGEN 29

La "Imagen 29" brinda una vista en planta de una porción del equipo, mostrando las posiciones de las batidoras respecto al equipo, para así poder visualizar con más precisión la necesidad de incorporar un conducto de descarga giratorio. También se muestra implícitamente la posición del tanque de recirculación de lavado, que se encuentra debajo del cuerpo del cocinador indicado en la imagen. El conducto de descarga debe poder posicionarse tanto en ambas batidoras, como debajo del cuerpo del cocinador, sobre el tanque de recirculación de lavado.

Vemos que se forma un Angulo de  $70^\circ$  entre la posición de la descarga sobre la batidora y la horizontal. También sabemos que respecto a la horizontal, el conducto de descarga debe poder girar  $180^\circ$  para ubicarse en el tanque de lavado debajo del cuerpo del cocinador. Por lo tanto, la amplitud de giro necesaria para poder ubicar la descarga tanto sobre la "Batidora 1" como en el tanque de lavado es de  $180^\circ + 70^\circ = 250^\circ$

De la misma "Imagen 29" nos valemos para determinar el alcance radial que debe tener el conducto de descarga. Vemos que la distancia mínima requerida para dosificar el producto dentro de los recipientes de batidoras es de 320 mm. Por lo tanto el radio de acción que debe cubrir el conducto es de al menos 320 mm. Tal como se muestra en la "Imagen 30", donde se visualiza que el radio de acción adoptado es de 330 mm, valor suficiente para descargar con seguridad el caramelo dentro de recipiente, y a la vez evitar interferencias entre el cabezal planetario de la batidora.



IMAGEN 30

Posee dos partes principales, como se muestra en la "Imagen 30". El conducto encamisado en la parte inferior, y la unión rotativa en la parte superior que permite su giro, también en la imagen se indica el manguito clamp  $\varnothing 76.2$  soldado para su unión al separador de vahos.

#### 4.3.2.1 Conducto Encamisado

Es necesario que el producto se mantenga a temperatura suficiente para evitar que se solidifique durante su pasaje por el conducto de descarga. Es por ello que se planteó este esquema de doble tubo, que permite la circulación de condensado proveniente del propio cocinador para mantener la temperatura del producto circulante por la descarga en valores adecuados para asegurar su fluidez.

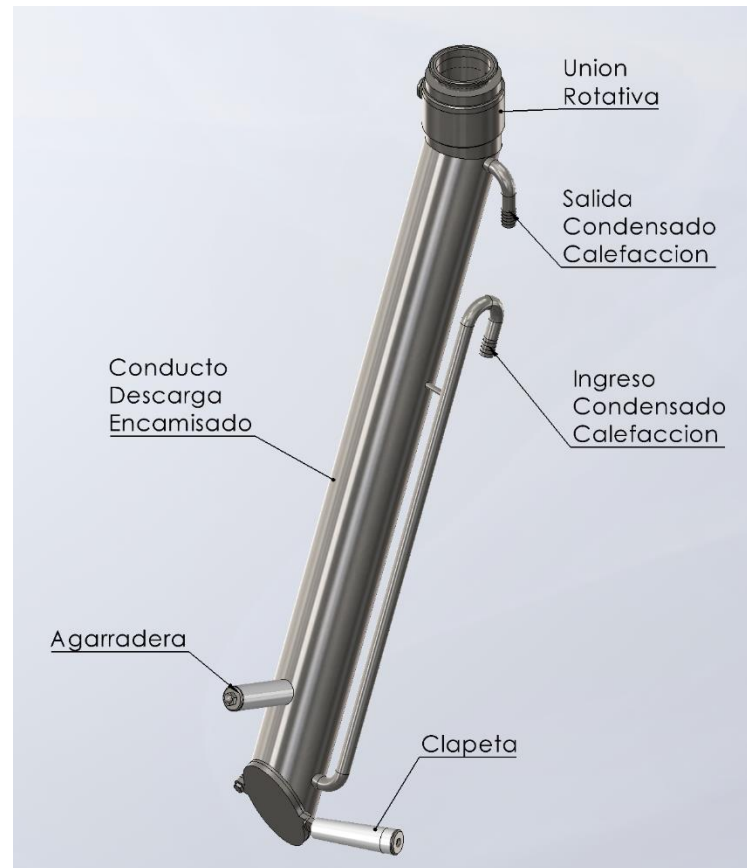


Imagen 31

En la "Imagen 31" nos encontramos con una vista indicando las partes principales del conducto de descarga, donde también se incluye la unión rotativa, de la cual hablaremos más adelante.

Las conexiones que se visualizan en el lateral corresponden a las de ingreso y salida de condensado para calefacción. Como podemos ver, ambas corresponden a olivas para mangueras flexibles aptas para alta temperatura y presión, de tal manera que el conducto pueda rotar sin impedimentos.

El ingreso de condensado se da por la parte inferior del conducto, y su salida por la parte superior. Esto para favorecer al barrido del aire en las puestas en marcha del equipo, evitando que burbujas de aire queden atrapadas, entorpeciendo la entrega de calor por parte del condensado hacia el producto circulando por la descarga.

Se incorporó una agarradera como se muestra en la imagen para permitir la manipulación del conducto de descarga, ya que su superficie se encuentra a alta temperatura.

En el extremo inferior del conducto se colocó una clapeta giratoria, para interrumpir por un breve lapso de tiempo la caída de almíbar durante las maniobras de cambio de batidora.

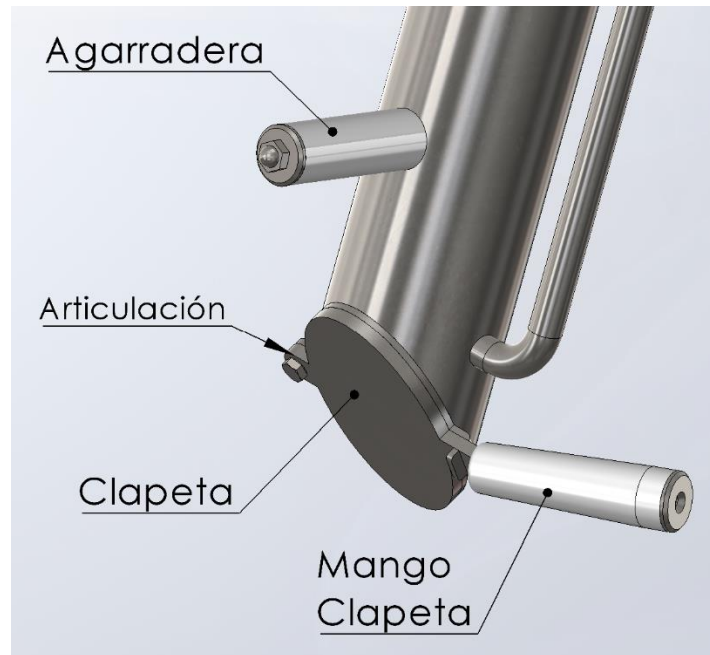


IMAGEN 32

En la "Imagen 32" se muestra un detalle de la clapeta de descarga, con la indicación de su articulación y el mango para abrir y cerrar la misma.

En cuanto a la selección del diámetro interno del conducto de descarga, nuevamente se recurrió al cliente para evaluar esta cuestión. Teniendo en cuenta que a través del conducto de descarga circula un volumen muy reducido de producto, ya que es el caramelo cocido prácticamente sin humedad, que cae en forma de hilo al punto de utilización, se decidió mantener el mismo diámetro de descarga que poseía el equipo de referencia de  $\varnothing_{\text{ext}} 76,2$  mm. Considerando que, aunque se aumente el flujo másico en un 18% respecto al equipo de referencia como vimos anteriormente para el cálculo del cuerpo del separador de vahos, el nuevo valor de caudal de caramelo circulante será igualmente muy bajo como para considerar necesario un aumento de sección en esta tubería.

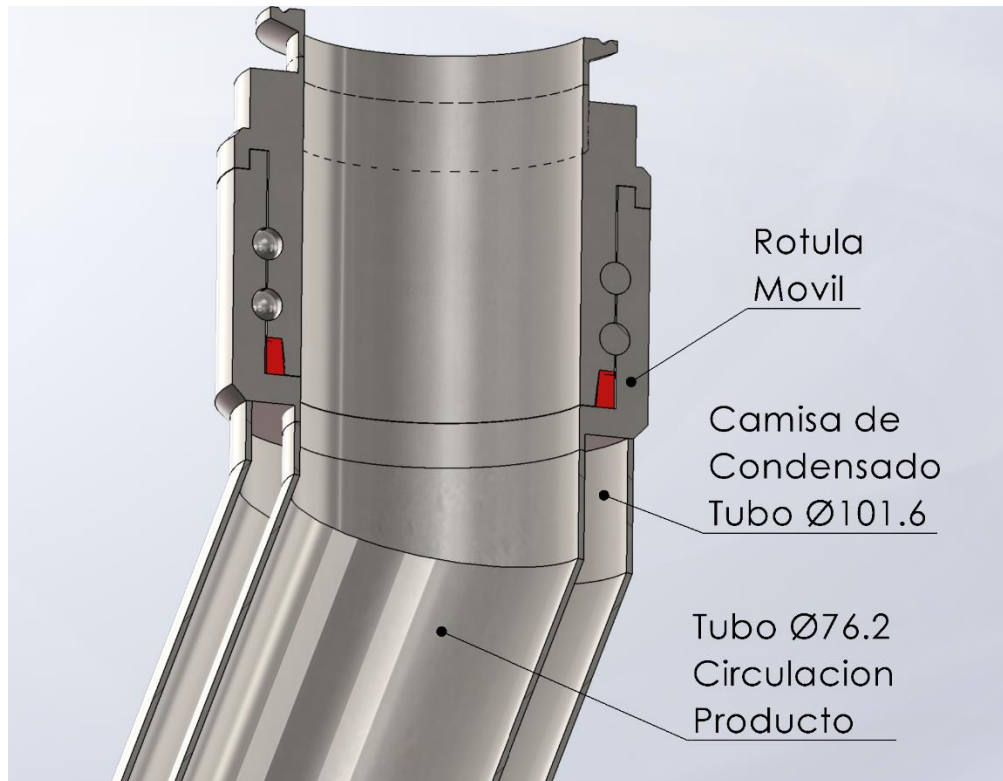


IMAGEN 33

La "Imagen 33" nos brinda una vista en corte de la parte superior del conducto de descarga junto con la unión rotativa, la cual desarrollaremos más adelante. Se indica el conducto de circulación del producto, conformado por dos secciones soldadas de un tubo de  $\varnothing 76.2$  como se mencionó con anterioridad, formando un ángulo para lograr el alcance radial necesario. Este tubo de  $\varnothing 76.2$  se suelda a la parte inferior de la rótula móvil de la unión rotativa, mientras que entre el exterior del tubo de  $\varnothing 76.2$  y el interior del tubo de  $\varnothing 101.6$  mostrado en la imagen, se genera una cámara por donde circula el condensado proveniente del equipo cocinador, y que se utiliza para calefaccionar el conducto de descarga.

Se consideró agregar aislación térmica al conducto de descarga por cuestiones principalmente de seguridad, pero el cliente decidió no incorporarla ya que en el sector los operarios trabajan con gran cantidad de elementos de protección personal, y por ello la consideraron innecesaria. Cabe notar que el conducto no alcanza temperaturas potencialmente peligrosas como para considerar la aislación como un elemento obligatorio.

#### 4.3.2.2 Unión Rotativa.

Como se mencionó con anterioridad, la descarga de producto debe tener la posibilidad de girar para ubicarse en la posición correspondiente a cada batidora, y además debajo del recipiente presurizado, en donde se encuentra el tanque de recirculación de lavado. Teniendo en cuenta las 3 posiciones a las que debe llegar, su amplitud de giro debe ser de al menos  $250^\circ$

Como primera medida se buscaron proveedores de este tipo de dispositivos para buscar una solución existente en el mercado, pero las restricciones que se tenía respecto al diámetro y al material debido a las condiciones sanitarias, sumado esto a las altas temperaturas, hicieron que una unión rotativa para este tipo de equipo fuese muy costosa. Es por ello que se decidió generar desde cero una solución a la problemática, que cumpla con los requisitos antes mencionados, y a un costo competitivo.

La unión debía ser, además de todo lo anteriormente mencionado, robusta para soportar las condiciones de trabajo, y también desarmable para eventuales limpiezas.

Para ello se diseñó un sistema de dos rótulas mecanizadas encastrables que poseen en su interior bolas de rodamiento que posibilitan su giro relativo.

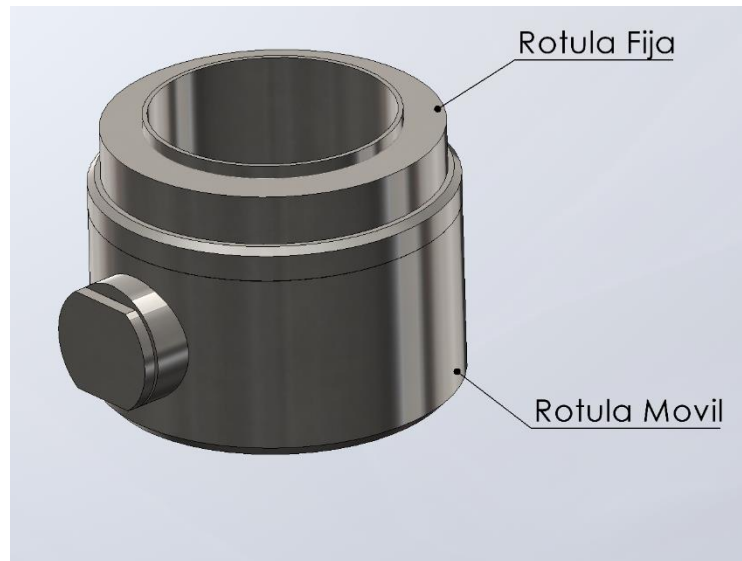


IMAGEN 34

La "Imagen 34" muestra una vista tridimensional de la unión rotativa con las dos partes principales que la componen. A la rótula fija se le soldó un manguito clamp de diámetro  $\varnothing 76.2$  en el resalto superior, de tal manera de poder generar la unión fija con el cuerpo del separador de vahos, tal como se verá a continuación.

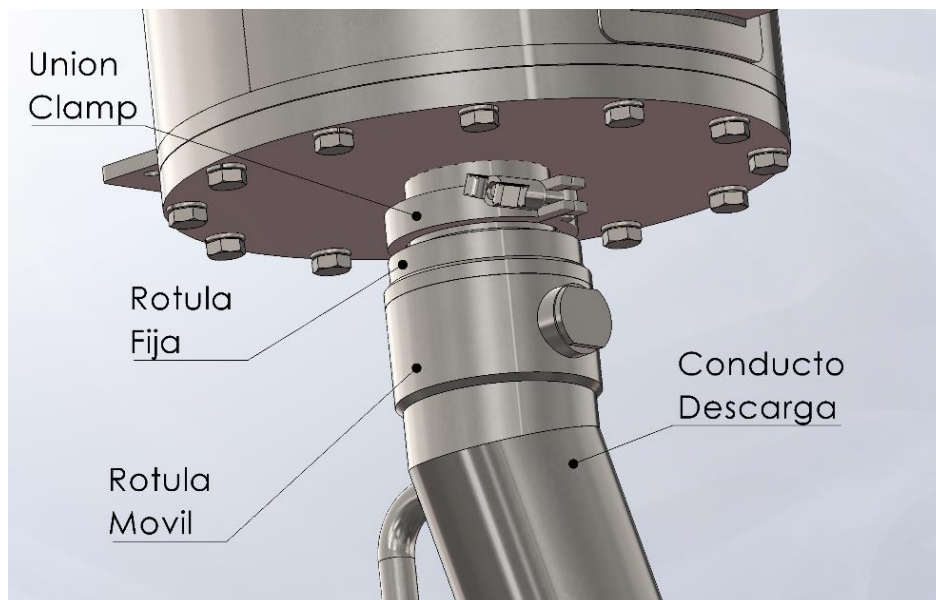


IMAGEN 35

En la "Imagen 35" se puede visualizar en detalle la zona de unión entre el separador de vahos y el conducto de descarga. Como se mencionó con anterioridad, ambas partes se unen mediante una unión tipo clamp con junta de vitón para soportar las altas temperaturas del almíbar. Este tipo de unión es de uso muy frecuente en la industria y además brinda robustez y facilidad a la hora de separar las partes.

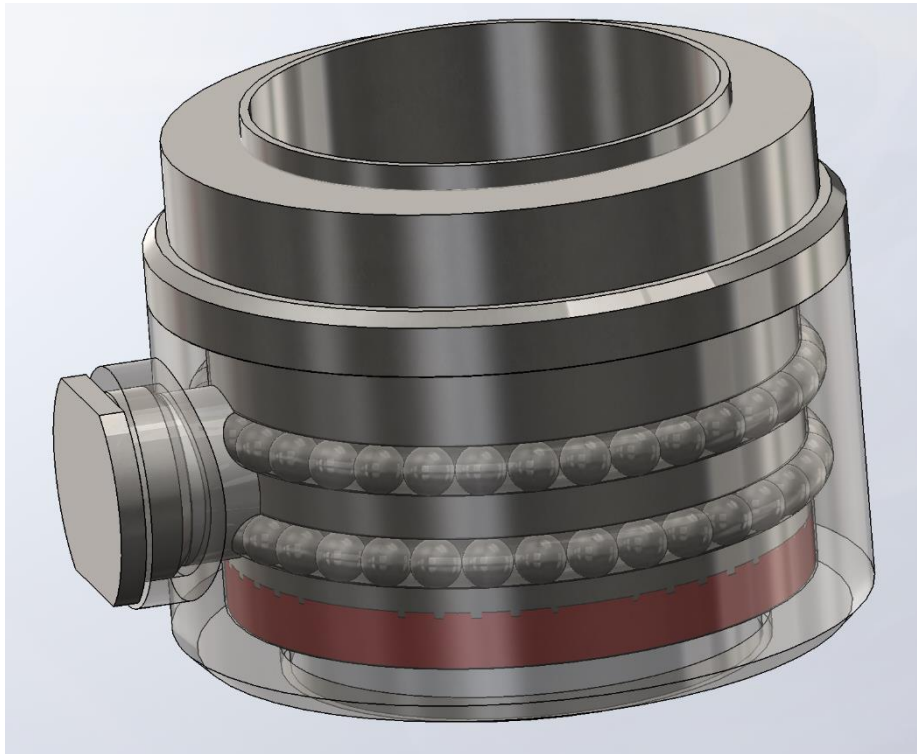


IMAGEN 36

La "Imagen 36" muestra una vista de la unión rotativa con la rótula móvil en visualización de transparencia, para poder apreciar cómo se distribuyen las dos hileras de bolas de rodamiento, uniendo las rotulas fija y móvil, pero permitiendo el giro relativo entre ambas.

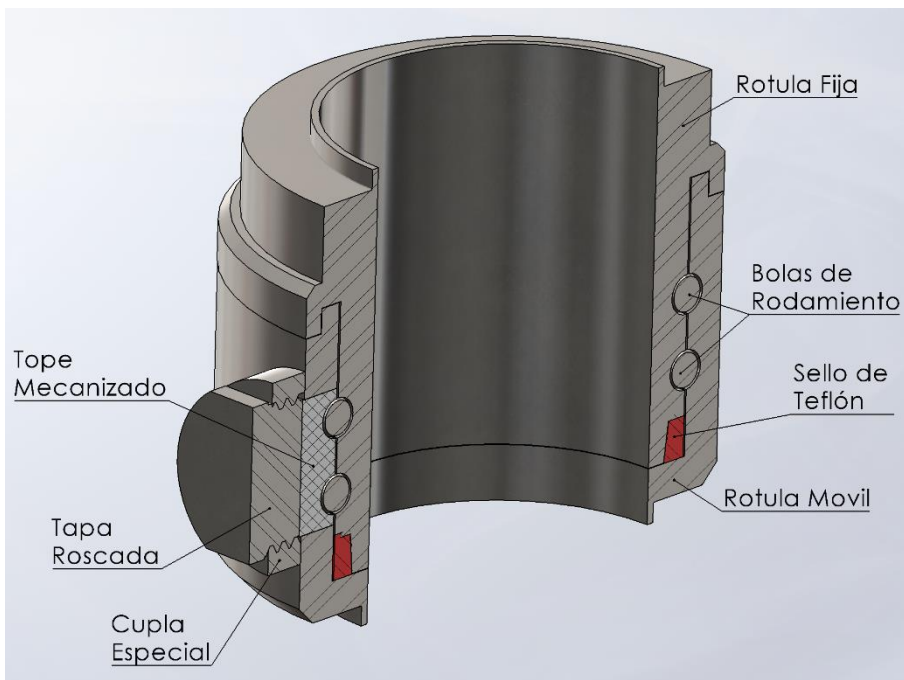


IMAGEN 37

Si vemos la “Imagen 37” podemos apreciar una vista en corte de la unión, con las indicaciones de todas sus partes constitutivas. En color rojo podemos ver distinguido el sello de teflón. Fabricado a partir de una barra maciza mecanizada, se le dio forma de anillo de sección trapezoidal para su correcta alineación, y de una altura tal que se genere una interferencia entre ella y las rotulas una vez montada la unión, para permitir el sello e impedir el paso del almíbar cocido al interior de la unión.

Se eligió ese material para el sello por ser resistente a las altas temperaturas, fácilmente mecanizable, de una dureza suficientemente baja para permitir una deformación plástica que genere un adecuado sello, y además de tener un bajo coeficiente de rozamiento, lo cual ayuda a que las rotulas se muevan con mayor facilidad.

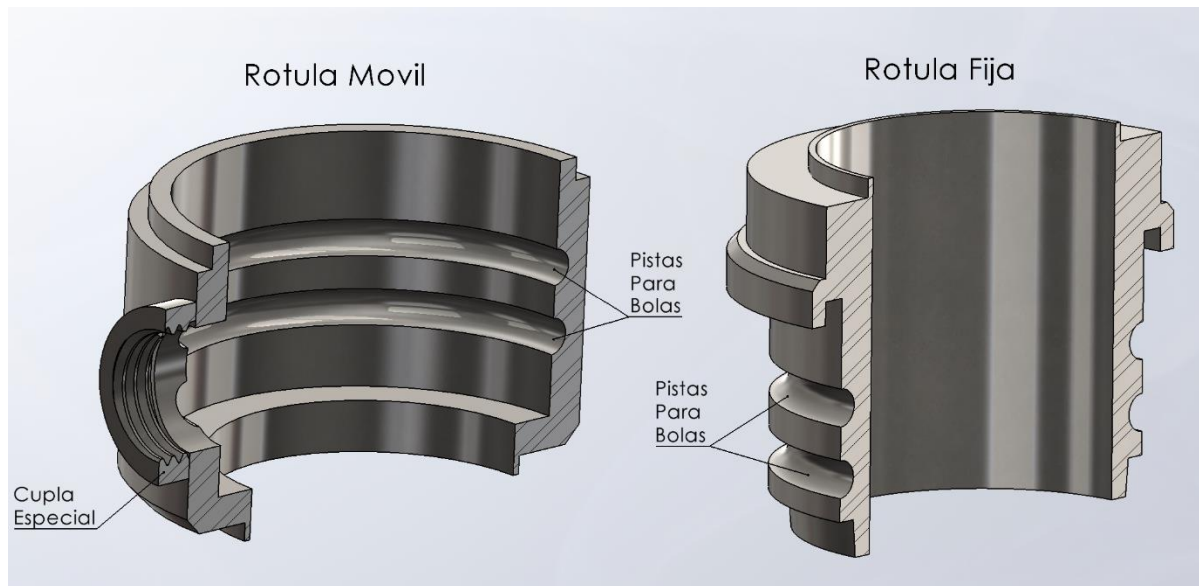


IMAGEN 38

En la “Imagen 38” se muestra un a vista en corte de la rótula fija y la rótula móvil, indicando las pistas mecanizadas para las bolas de rodamiento que permiten la unión entre las dos rotulas, permitiendo a la vez su giro relativo.

En caso de la rótula móvil, se indica también la cupla especial soldada en el lateral. La cual cumple su función durante el desarme de la unión rotativa, como se entrará en detalles a continuación.

Para el desarme de la unión rotativa, primeramente se deben desalojar las bolas de rodamiento ubicadas en los canales mecanizados de ambas rotulas, para así poder separar las partes.

Para esto se debió diseñar un sistema que permitiera acceder a los canales mecanizados para retirar o colocar las bolas de rodamiento durante las tareas de desarme y armado de la unión rotativa correspondientemente.



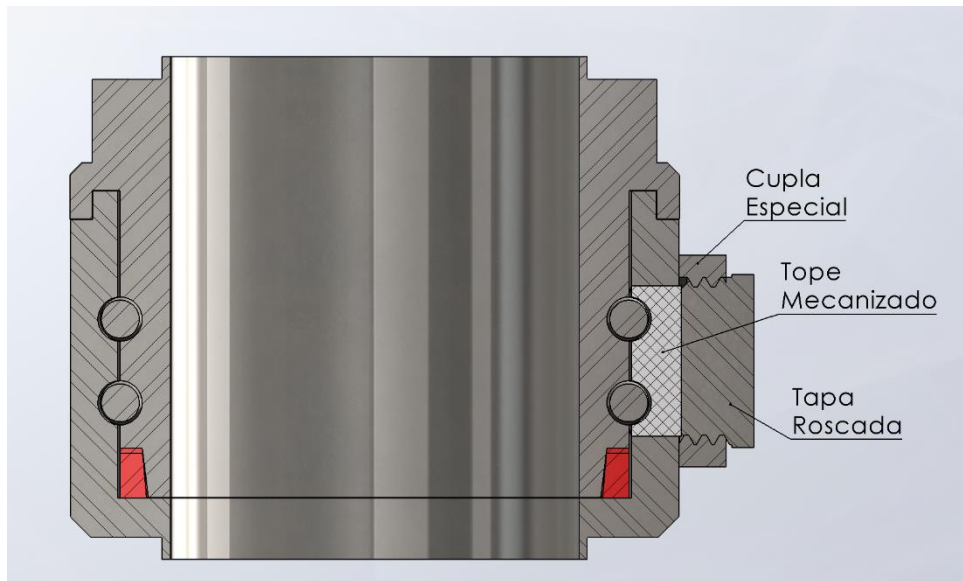


IMAGEN 39

El esquema diseñado consta de 3 partes principales, ellas son “tope mecanizado”, “tapa roscada”, y “cupla especial”. Montados como se señala en la “Imagen 39”

En los párrafos siguientes, se dará explicación del proceso de fabricación de cada una de las partes que componen el sistema de desarme de la unión rotativa.

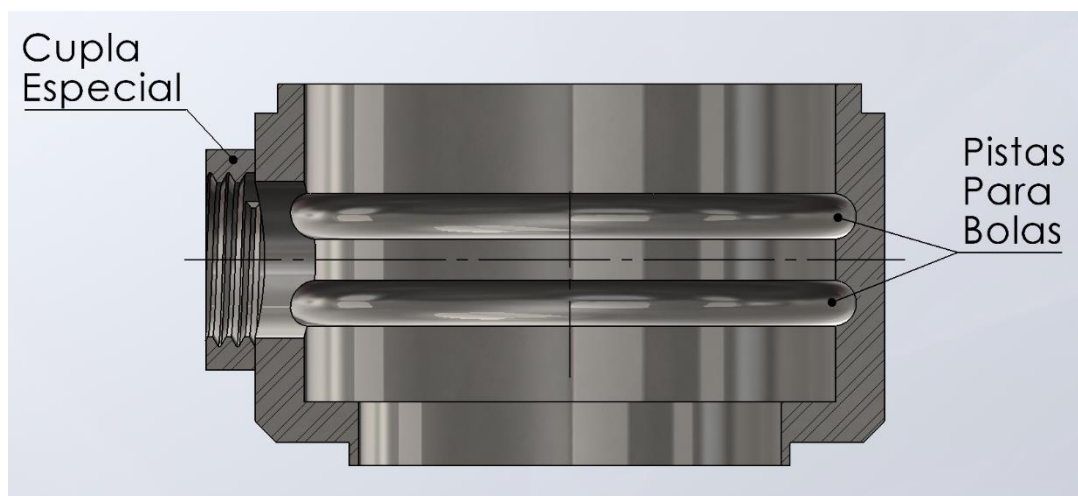


IMAGEN 40

Primeramente, se debe tener la cupla especial soldada en la rótula móvil tal como se muestra en la “Imagen 40”. Estando su eje central equidistante respecto a cada una de las pistas para bolas. La rótula móvil posee un orificio concéntrico a la cupla especial para exponer las pistas y así poder cargar o descargar las bolas de rodamiento sobre estas. Este elemento se fabrica a partir de una cupla estándar de  $\varnothing 1''$  cortada mediante un sistema de corte laser para tubos. Luego del corte se pasa un macho de roscar sobre la rosca interior para eliminar cualquier residuo que pueda quedar en los filetes luego del corte, y por último se suelda al cuerpo de la rótula móvil pre-mecanizada. No se debe soldar sobre la rótula móvil mecanizada a sus medidas finales ya que se corre riesgo de sufrir deformaciones en las pistas que interfieran con la correcta alineación y geometría de las mismas, impidiendo el giro relativo con la rótula fija. Una vez soldada la cupla especial, se pasa a la fase

de mecanizado final donde se mecanizan las pistas y se le dan las medidas finales a la pieza tal como lo muestra la imagen.

Como sabemos, la rótula móvil posee una perforación desde donde se extraen o se colocan las bolas de rodamiento, dejando de dar continuidad a las pistas para las bolas en la rótula. Por lo tanto, se debe diseñar un elemento cumpla la función de generar la continuidad necesaria para asegurar que las bolas de rodamiento puedan recorrer libremente la totalidad de las pistas de la rótula móvil. Este elemento es el tope mecanizado, cuya posición de montaje se puede observar en la "Imagen 39".

Su proceso de fabricación se comentará a continuación.

El material a utilizar para esta pieza es barra circular de teflón. Ya que es fácilmente mecanizable, soporta altas temperaturas, y tiene una muy buena resistencia química, siendo esto un punto importante a tener en cuenta ya que las pistas para bolas de rodamientos deben ir lubricadas con grasa sanitaria.

Primeramente se debe realizar un roscado de Dn 1" en el exterior de uno de los extremos de la barra de teflón, y en el otro extremo se debe generar una superficie cilíndrica de igual diámetro que la perforación sobre la rótula, dando como resultado la pieza mostrada en la "Imagen 41"

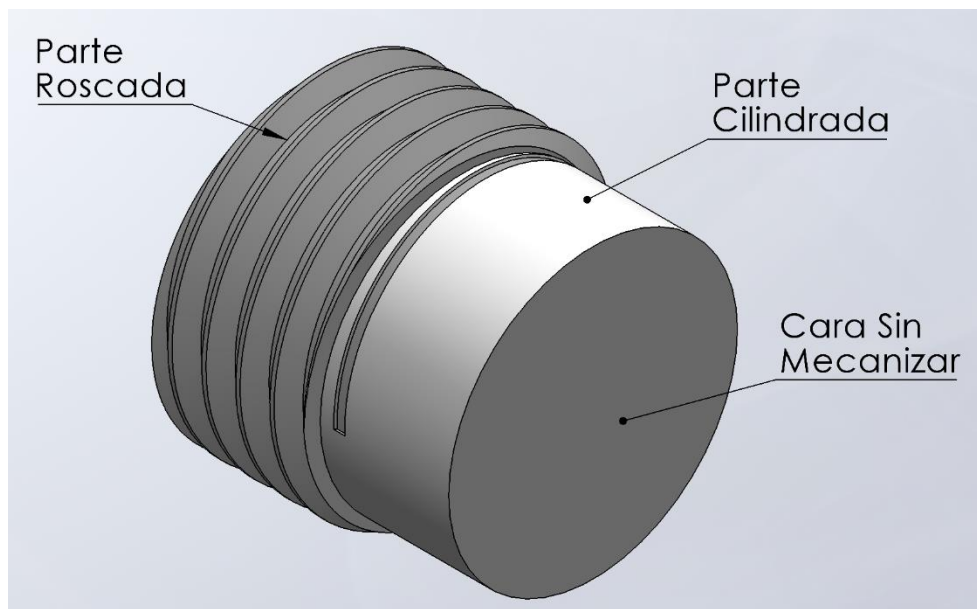


IMAGEN 41

Paso seguido, se debe roscar la barra pre mecanizada de la "Imagen 41" sobre la cupla soldada en la rotula movil, tal como se muestra en la "Imagen 42"

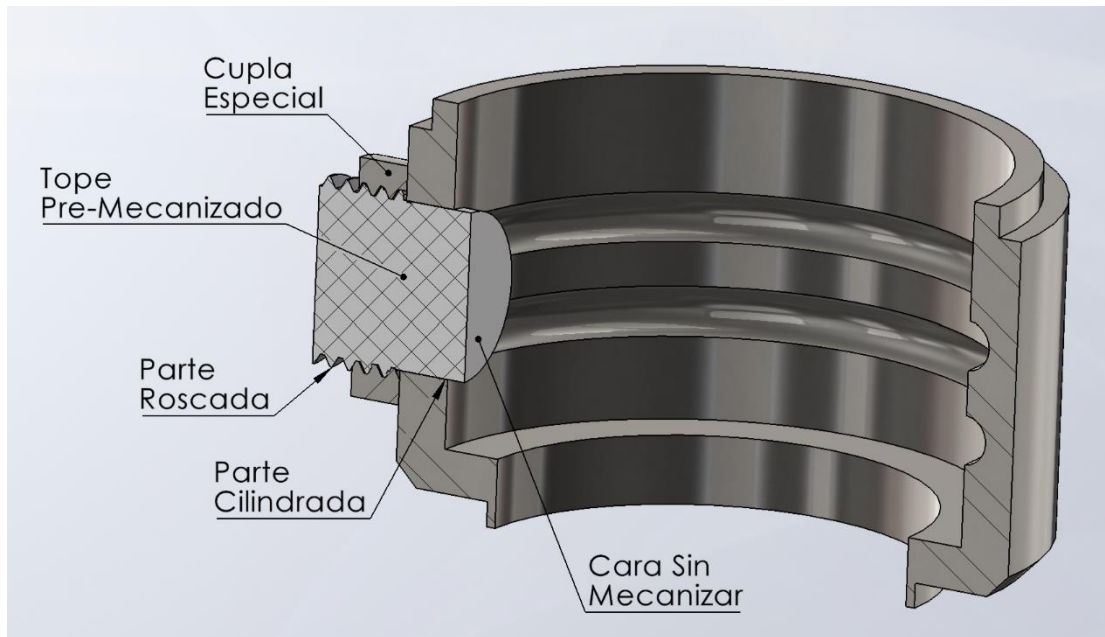


IMAGEN 42

Luego de roscar la barra de teflón asegurándola sólidamente, se procede al mecanizado final de la rótula móvil conjuntamente con la pieza plástica roscada, dando esto como resultado una copia fiel del perfil interior de la rótula móvil sobre nuestra pieza de teflón, tal como lo muestra la "Imagen 43"

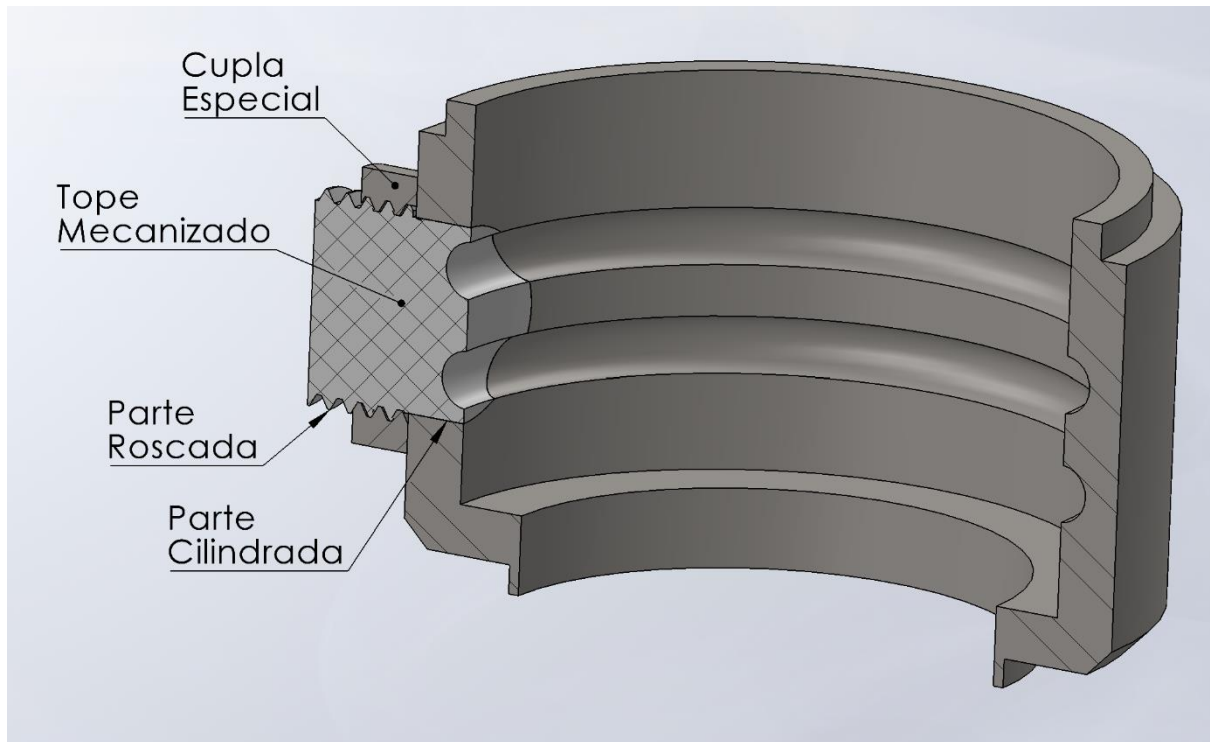


IMAGEN 43

Una vez completado este paso, debemos desenroscar el tope pre-mecanizado de la cupla especial, dejando la pieza que vemos en la "Imagen 44", donde se muestra la barra de teflón con las pistas mecanizadas, pero aún con la parte roscada.

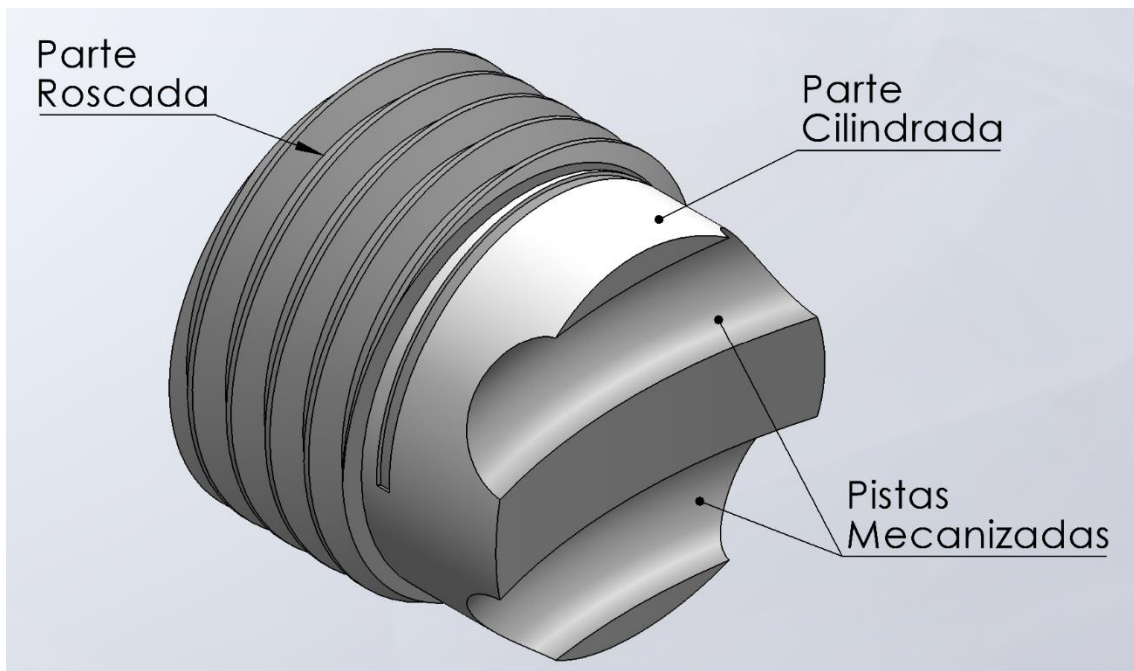


IMAGEN 44

El paso final para obtener el tope plástico mecanizado, es tronzar la pieza generando una cara plana en su parte trasera tal como se muestra en la "Imagen 45". Donde vemos dos vistas tridimensionales del tope mecanizado.

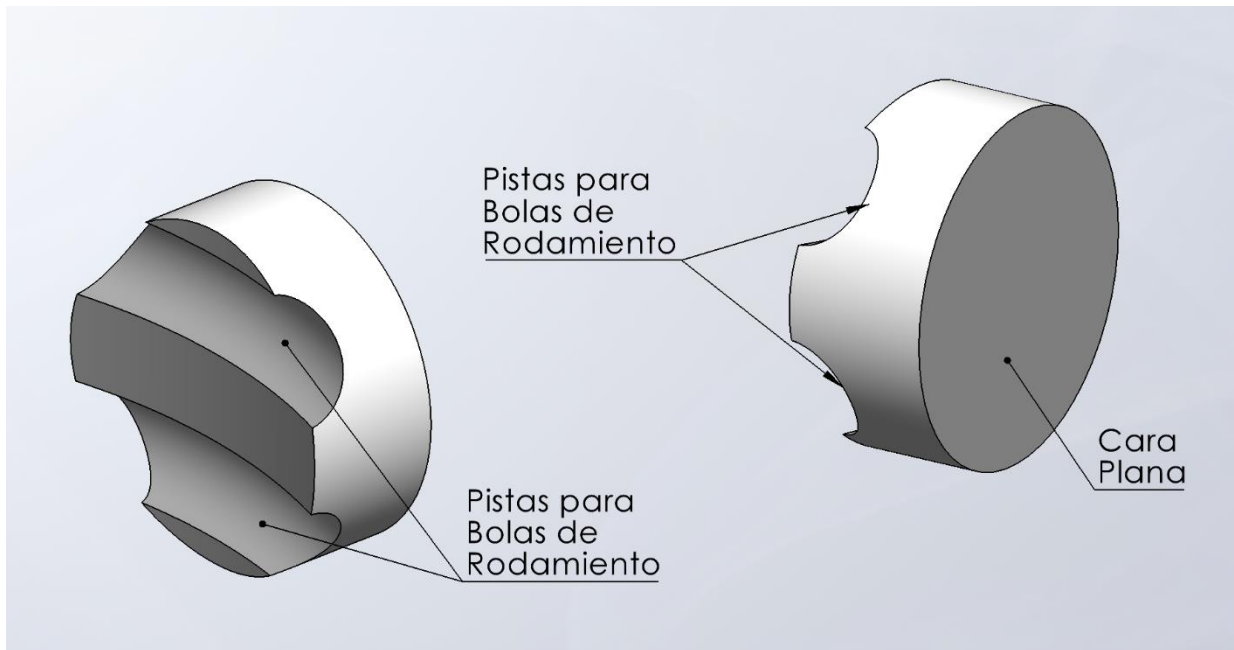


IMAGEN 45

Para concluir el sistema de desarme de la unión rotativa, pasamos al último elemento que lo compone; la tapa roscada, la cual se desarrollará a continuación.

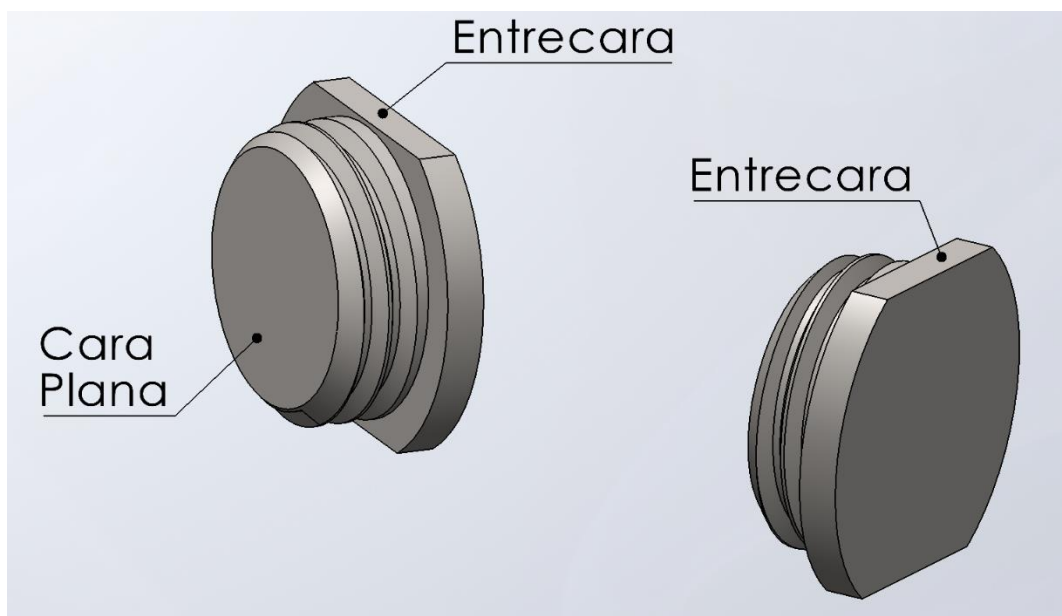


IMAGEN 46

En la "Imagen 46" se muestran dos vistas tridimensionales de la tapa roscada. La ubicación de este elemento dentro del sistema de desarme de la unión rotativa se puede ver en la "Imagen 39". Su función es la de posicionar y fijar el tope mecanizado haciendo contacto entre las caras planas de ambos elementos indicadas en la "Imagen 45" y la "Imagen 46", y así asegurar la continuidad de las pistas para bolas de rodamiento.

Se fabricó partiendo de una barra de acero inoxidable torneada, y se agregó una entrecara para poder ajustarlo mediante una llave. Su largo es tal que el tope mecanizado quede en su ubicación cuando la tapa está completamente roscada sobre la cupla especial, nuevamente nos referimos a la "Imagen 39" para mostrar sus posiciones relativas.

#### 4.4 Cuadro de vapor y Válvula de Seguridad.

Como se mencionó con anterioridad, la calefacción del producto se realizará mediante vapor proveniente de una caldera humotubular que entrega vapor saturado a una presión de  $9 \text{ kg/cm}^2$ .

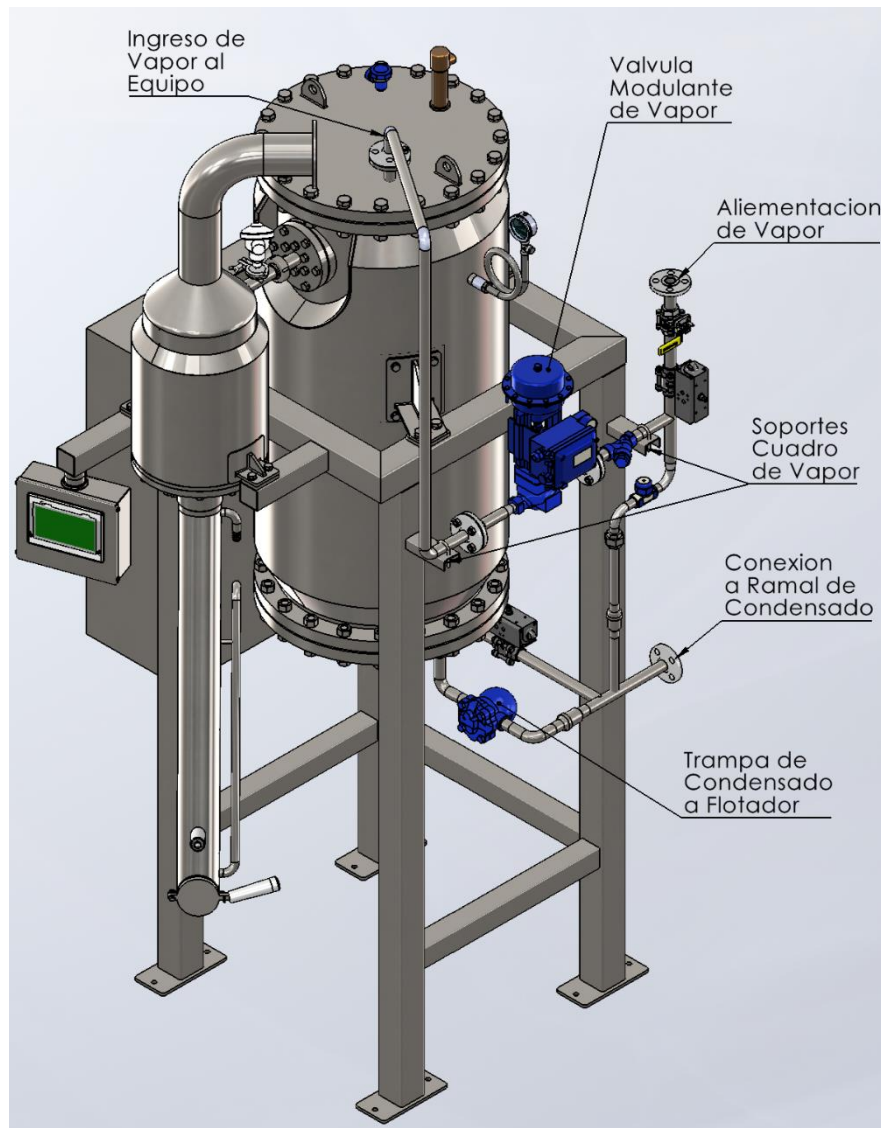


IMAGEN 47

En la "Imagen 47" vemos una vista tridimensional del equipo cocinador con la base, y en ella montado el cuadro de vapor sobre los soportes específicos para este. Se mencionan las partes principales que componen el cuadro de vapor, las cuales se detallarán a continuación.

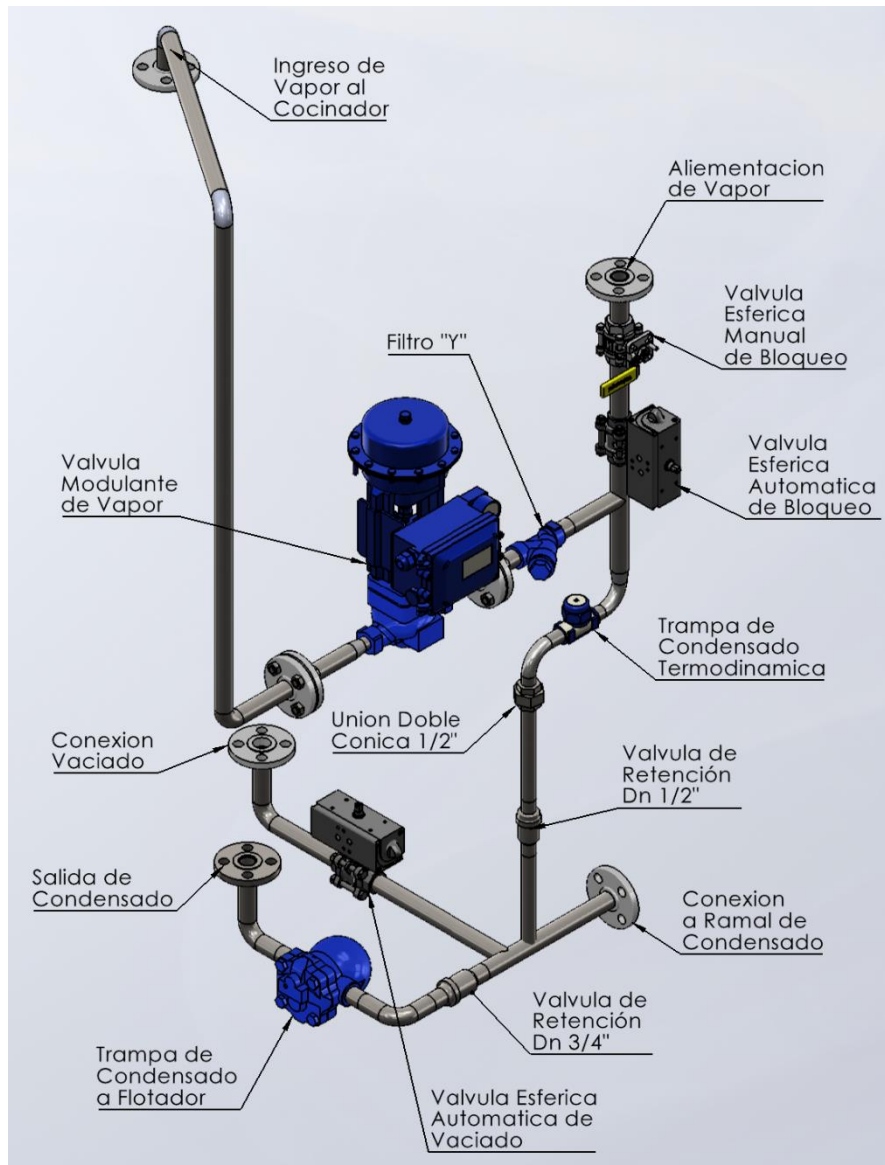


IMAGEN 48

Las partes principales que componen en cuadro de vapor se muestran en la "Imagen 48" arriba.

Se incorporó en primer lugar una válvula esférica de bloqueo manual inmediatamente después de la brida de alimentación de vapor que se debe abrir y cerrar manualmente en el comienzo y final de la producción. La finalidad de esta válvula es agregar un estamento de seguridad por sobre el elemento siguiente, que es la válvula esférica automática de bloqueo, la misma está programada para abrir y cerrar automáticamente al inicial y finalizar las cocciones. Pero también es un elemento de seguridad, ya que en su programación se incorporó una sentencia que cuando se llega a un valor de presión menor al que está titulado la válvula de seguridad, se cierre automáticamente bloqueando el ingreso de vapor al equipo.

Se incorporó también una trampa de vapor termodinámica en derivación como se muestra en la imagen, de tal manera que permita el drenaje del condensado que pueda estar presente en la cañería para evitar que pase a través de la válvula modulante, ya que podría causar erosión y por consiguiente un desgaste prematuro.

La válvula esférica automática de vaciado, está programada para despresurizar el equipo en caso de se detecte una sobrepresión en el equipo, sumando así otro elemento de protección. Por ello es que se instalaron las dos

válvulas de retención de ¾" y de ½" para evitar que al descargar la presión interna del equipo se puedan generar daños en las trampas a flotador y termodinámica.

Para purgar el condensado generado durante la cocción del almíbar se seleccionó una trapa de vapor a flotador, cuya selección se abordará con posterioridad.

El otro elemento que se puede ver en la imagen, es el filtro ubicado previo a la válvula modulante de vapor, su función es evitar que cualquier partícula extraña presente en el vapor llegue hasta los internos de la válvula modulante.

Y por último el corazón del cuadro de vapor es la válvula modulante, utilizada para regular el caudal de vapor que se suministra al equipo en función del requerimiento de capacidad de producción. Su selección será tratada en los capítulos siguientes.

#### 4.4.1 Dimensionamiento de Cañerías

La principal variable a tener en cuenta para el dimensionamiento del cuadro de vapor en general es el flujo másico que circula por el mismo.

Para ello tomamos como referencia el caudal de producto a procesar, y con el dato de los grados Brix de la solución podemos determinar la cantidad de agua que contiene.

El almíbar a procesar posee una concentración de 65 °Brix, lo que quiere decir que el 65 % de esa solución son sólidos disueltos, por lo tanto el 35 % restante es agua.

El vapor se debe utilizar primeramente para elevar la temperatura del almíbar hasta su punto de ebullición, y luego evaporarlo.

Primeramente calcularemos el consumo de vapor necesario para elevar la temperatura del amigar hasta su punto de ebullición. Sabemos que se debe elevar la temperatura del almíbar desde 80 °C, que es la temperatura a la que ingresa al cocinador, hasta unos 105 °C, punto de ebullición del almíbar a 65 °Brix.

Consideraremos un calor específico de producto igual al agua, ya que su valor no se modifica demasiado con la adición de azúcar.

$$Q_{latente} = m * C_p * \Delta t$$

Siendo:

- "m" el flujo másico de producto = 330 kg/h
- $C_p$  el calor específico = 4,18 kJ/kg°C
- $\Delta t$  la diferencia de temperatura = 105 °C – 80 °C = 25 °C

$$Q_{latente} = 330 * 4,18 * 25 = 34500 \text{ kJ/h}$$

Ahora teniendo en cuenta el calor latente de evaporación  $C_{p_{evap}}$  del agua a 7,5 kg/cm<sup>2</sup> es de 2040 kJ/kg, planteamos un balance de masa y energía.

$$Q_{latente} = C_{p_{evap}} * m_{vapor}$$



Por lo tanto:

$$m_{vapor} = \frac{Q_{latente}}{Cp_{evap}} = \frac{34500}{2040} = 17 \frac{kg}{h} = m_{vapor}$$

Por lo tanto, 17 kg/h de vapor se utilizarán solamente para aplicar calor sensible a la solución hasta que llegue a su temperatura de evaporación.

Por otro lado, sabiendo que se debe procesar un gasto máximo de 330 kg/h de almíbar, de los cuales el 35 % es agua, la cantidad de agua a evaporar en el producto es de 116 kg/h. Esto significa que tendríamos que poseer un gasto de vapor de al menos 116 kg/h extra solamente para la evaporación del agua restante en la solución, si consideramos que se evapora la totalidad de la misma.

Sumando ambas cantidades obtenemos un gasto total de  $116 + 17 = 133$  kg/h de vapor circulando por el cuadro.

Debido a las pérdidas de calor por falta de aislaciones en las tapas planas, como así también en el propio cuadro de vapor y cañerías de distribución, se afectará el valor de consumo de vapor total por 1,3, obteniendo un valor de consumo de vapor nominal de  $1,3 * 133 = 173$  kg/h.

Ahora, para determinar el diámetro de la cañería a utilizar, debemos conocer que caudal de vapor circulará por la misma. Para ello con el dato del volumen específico del vapor a la presión de trabajo, calculamos el caudal en  $m^3/s$

Ingresando a la tabla de vapor saturado, vemos que el volumen específico del vapor saturado a 8 kg/cm<sup>2</sup> de presión es 0,223 m<sup>3</sup>/kg, por ende.

$$Caudal Vapor = 173 \frac{kg}{h} * 0,223 \frac{m^3}{kg} = 38,6 \frac{m^3}{h}$$

Ahora pasando a volumen de vapor por segundo:

$$Caudal Vapor = 38,6 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s} = 0,01072 \frac{m^3}{s}$$

Con este valor, podemos determinar el diámetro de cañería mediante la siguiente expresión, adoptando una velocidad dentro de la cañería igual a 25 m/s, que es lo recomendado para transporte de vapor manteniendo un nivel de ruido aceptable.

$$Vel = \frac{Caudal}{Area} = \frac{0,01072 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi * \emptyset^2}{4}} = \frac{0,04288 \frac{m^3}{s}}{\pi * \emptyset^2}$$

Ahora despejando en  $\emptyset$ , el cual es el diámetro interno de la cañería.

$$\emptyset = \sqrt{\frac{0,04288 \frac{m^3}{s}}{\pi * Vel}} = \sqrt{\frac{0,04288 \frac{m^3}{s}}{\pi * 25 \frac{m}{s}}} = 0,0233 m = 23,3 mm$$

Por lo tanto, se seleccionará un caño de Dn  $\frac{3}{4}$ " y Sch5, con un diámetro interior de 23,4 mm para el cuadro de vapor.

El material de construcción será de acero inoxidable AISI 304, debido a que se encuentra en un ambiente en presencia de productos alimenticios, para evitar cualquier posible contaminación con óxido de hierro.

#### 4.4.2 Selección de Trampa de Condensado.

Primeramente se seleccionó el tipo de trampa de vapor que se utilizará para drenar el condensado formado durante la cocción.

Se eligió el tipo de trampa de vapor a flotador, debido a que son equipos robustos, muy confiables y con larga vida útil, con excelente capacidad para drenar inmediatamente el condensado generado, evitando así que se cubra parte de la serpentina, lo que causaría que se reduzca el área de contacto entre la serpentina y el vapor, disminuyendo la capacidad de transferencia de calor.

Por petición del cliente, todos los elementos del cuadro de vapor debían ser marca Spirax-Sarco.

El modelo seleccionado en función del caudal y la presión es el modelo FT-551 con conexión de  $\frac{3}{4}$ ".

#### Capacidades

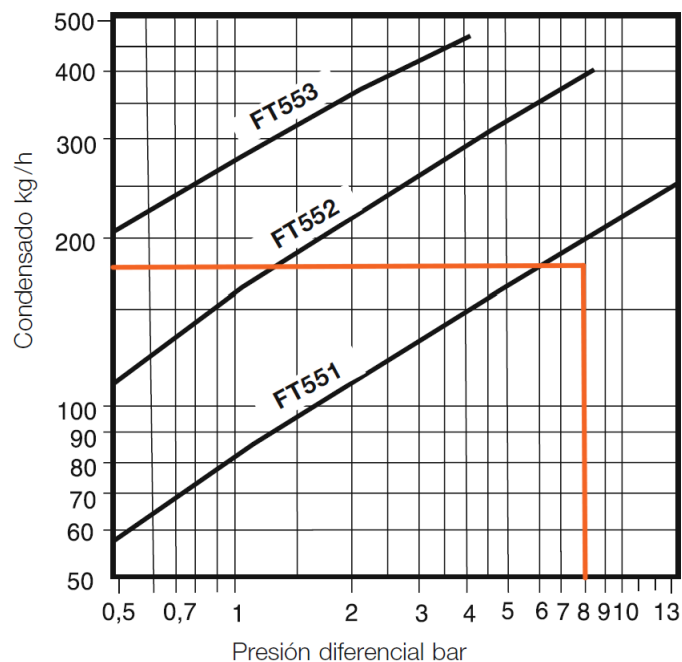


IMAGEN 49

La "Imagen 49" muestra la tabla de selección de trampa de vapor, mediante la cual se dimensionó la del equipo.

#### 4.4.3 Selección de Válvula Modulante de Vapor

La válvula modulante de vapor se incorpora como parte del paquete de automatización del equipo, ya que permite una regulación automática del ingreso de vapor al equipo mediante un actuador neumático y un electroposicionador.

Se seleccionó la serie KEA de la marca Spirax-Sarco. Esta válvula es tipo globo de 2 vías, con características de modulación equiporcentual, que es adecuada para aplicaciones de medias presiones y donde se requiera un

control de entrega de vapor preciso. Este modelo de válvula es muy utilizado en la industria, y además se posee experiencia previa dentro de la empresa en trabajos con este equipo.

Para su dimensionamiento debemos hallar el Cv para ingresar a la tabla provista por el fabricante.

Utilizamos la expresión siguiente.

$$K_v = \frac{Q_m}{31,7} \sqrt{\frac{V_2}{\Delta p}}$$

Siendo:

- $Q_m$ : Flujo másico de vapor nominal = 173 kg/h
- $V_2$ : Volumen específico de vapor aguas abajo de la válvula = 0,223 kg/m<sup>3</sup>
- $\Delta p$ : Diferencia de entre presión de entrada y de salida de la válvula. Siendo 9 kg/cm<sup>2</sup> la presión de suministro de vapor, y 7,5 kg/cm<sup>2</sup> la presión de trabajo, tenemos = 9 - 7,5 = 1,5 kg/cm<sup>2</sup>

Reemplazando en la fórmula de  $K_v$  tenemos:

$$K_v = \frac{173}{31,7} \sqrt{\frac{0,223}{1,5}} = 2,1 = K_v$$

Aplicando el factor de corrección de 1,17 para obtener  $C_v$ :

$$C_v = 1,17 * K_v = 1,17 * 2,1 = 2,46 = C_v$$

Al valor obtenido de  $C_v = 2,46$  se lo debe afectar por un coeficiente de sobredimensionamiento de entre 20% y 80% según el manual de cálculo para instalaciones de vapor de Spirax-Sarco, por lo tanto tomando un coeficiente del 50%, tenemos:

$$C_v = 1,5 * 2,46 = \underline{3,7} = C_v$$

Ahora ingresamos a la tabla dada por el fabricante para la selección del tamaño de válvula mostrada en la """. Teniendo en cuenta que se eligió el tipo de válvula equiporcencial.

### Valores $C_v$ (US)

Tamaño válvula		1/2"	3/4"	1"
Carrera pulgadas		3/4	3/4	3/4
Equi %	Cv	4,7	7,4	12,0
Lineal	Cv	4,7	7,4	12,0
Paso reducido	Cv	1,9	4,7	7,4
Equi %	Cv	1,2	1,9	4,7
y Lineal	Cv	0,5	1,2	1,9
Bajo ruido	Cv	-	-	9,3

IMAGEN 50

Vemos que para el valor de  $C_v$  hallado, el tamaño de 1/2" satisface el criterio de dimensionamiento.

#### 4.4.4 Válvula de Seguridad

Como se vio anteriormente, la presión de diseño adoptada para el cálculo del equipo es de 9 bar, por lo tanto, la válvula de seguridad debería actuar a una presión menor que esta, según lo que nos especifica la norma ASME VII div. 1. Se adopta un valor de apertura de válvula de seguridad de 8,5 bar

Conociendo el  $K_v$  de la válvula modulante, podemos determinar el caudal máximo que circulará por ella cuando esté completamente abierta.

$$Q = K_v * 31,7 * \sqrt{\frac{\Delta p}{V_2}}$$

En este caso el  $\Delta p$  resulta ser de 0,5 bar, ya que se toma como referencia que la valvula de seguridad abrirá a los 8,5 bar, y como se mencionó anteriormente, la presión de suministro de vapor es de 9 bar.

$V_2$  en este caso es el volumen específico del vapor a una presión de 8,5 bar. Que es igual a 0,20

$$Q = 4,7 * 31,7 * \sqrt{\frac{0,5}{0,20}} = 744 \text{ kg/h}$$

Adoptando un sobredimensionamiento del 30% respecto al valor obtenido, llegamos al valor de  $1,3 * 744 = 967$  kg/h de vapor.

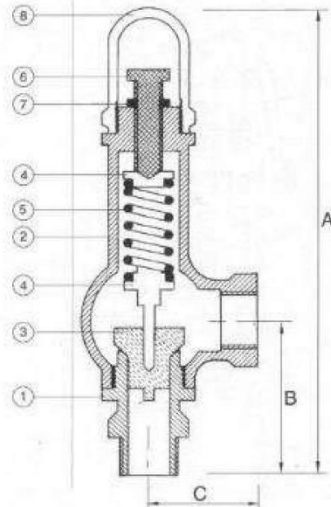
Con este flujo másico de vapor encontrado, vamos a la tabla de la "Imagen 51" correspondiente al fabricante local de válvulas "Metalúrgica León" para seleccionar la válvula de seguridad que se adapte a estos requerimientos.

Se seleccionó la válvula sin actuador manual mostrada como Art. 515. Ya que no se considera que sea de utilidad debido a la posición de la válvula en el equipo.

VALVULA DE SEGURIDAD ANGULAR A RESORTE - Art. 515 / 516



Art. 515



PIEZA	ESPECIFICACION / CARACTERISTICA
1	Cuerpo Bronce fundido ASTM B62
2	Bonete Bronce fundido ASTM B62
3	Pistón Bronce fundido ASTM B62
4	Táco resorte Bronce fundido ASTM B62
5	Resorte Acero al carbono
6	Registro Bronce trafileado
7	Contratuercia Bronce trafileado
8	Capuchón Bronce trafileado
9	Palanca Bronce fundido ASTM B62

CAPACIDAD DE DESCARGA VAPOR SATURADO  
10% Acumulación

PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad de descarga (kg/h vapor saturado)			
	Ø 1"	Ø 1 1/4"	Ø 1 1/2"	Ø 2"
2	221	379	472	678
4	336	573	706	1010
6	423	728	873	1278
8	494	851	1011	1446
10	539	963	1194	1683
12	589	983	1301	1780

DIMENSIONES Y PESOS

Entr. x sal. Cota	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
	x 1"	x 1 1/4"	x 1 1/2"	x 2"
A (mm)	220	270	270	300
B (mm)	80	95	95	110
C (mm)	45	59	60	72
Peso (kg)	2,200	4,100	4,550	4,900

Presión admisible:

Regulable 2 - 12 kg/cm<sup>2</sup> (30 - 180 lbs/pulg<sup>2</sup>)

CONEXION A ROSCA:

- BSP (Whitworth gas 55°)
- BSPT (Whitworth cónica)
- NPT (Americana 60°)

FABRICADA BAJO NORMAS:

IRAM IAP 25-11; IRAM IAP 25-16; IRAM 895; IRAM 5063D

Art. 516

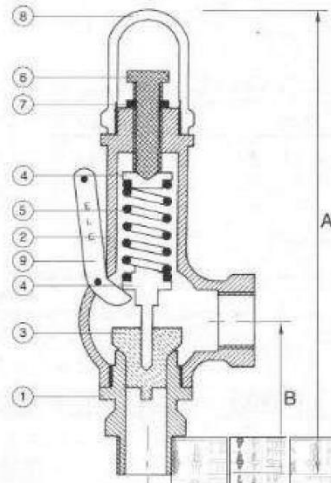


IMAGEN 51

Vemos que la válvula de seguridad que cumple con la condición de desalojo del flujo másico hallado en nuestro calculo es la válvula de 1 y 1/2", que tiene una capacidad nominal de 1011 kg/h de vapor a una presión de 8 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.4.5 Purgador Termostático

En este caso, el purgador termostático en el equipo se colocó con la finalidad de eliminar el aire alojado en el cuerpo cilíndrico del cocinador al iniciar la cocción, y los incondensables que puede llegar a tener el vapor. Eliminarlos es de suma importancia ya que entorpecen en gran medida el intercambio de calor entre el vapor las paredes de la serpentina.

El purgador se ubica en la tapa superior del cuerpo cilíndrico, en el punto más alto del equipo, como lo muestra la "Imagen 52". Se eligió esa posición ya que por la diferencia de densidades entre el vapor y el aire, este último tiende a quedar atrapado en las partes superiores de los equipos, es por ello que los purgadores de aire deben ser ubicados sobre sus puntos más altos.

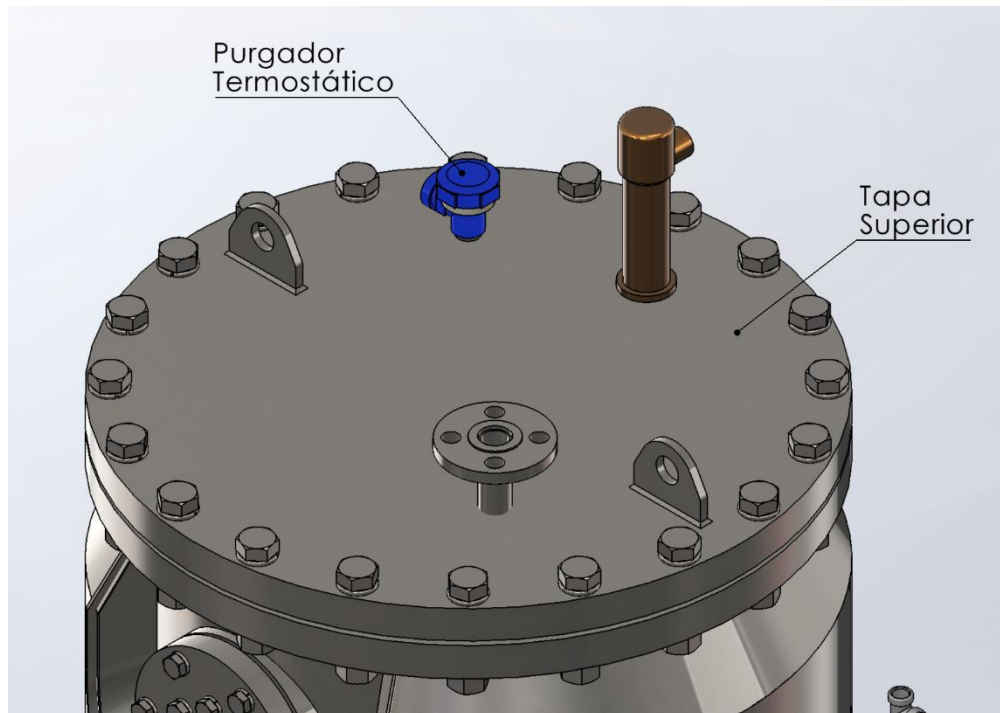


IMAGEN 52

En cuanto a su dimensionamiento, se seleccionó un modelo ampliamente utilizado para estas aplicaciones, ya que es muy eficaz, de bajo costo y fácil recambio. Es el producto BPT-13A de la marca Spirax-Sarco, con conexión de  $\frac{1}{2}$ ". Se seleccionó este tamaño debido al poco volumen de aire que se debe desalojar en el cocinador.

#### 4.5 Acondicionamiento de Tanque Depósito de Almíbar:

Una de las tareas que se le encargó a ASEMA fue la de llevar a cabo un acondicionamiento sobre un tanque existente, para ser utilizado como pulmón para el almíbar a procesar por el equipo suministrado.

El tanque es de tipo cilíndrico vertical de una capacidad de 750 litros, con 4 patas, posee camisa para vapor atmosférico, un agitador vertical tipo ancla con su motorreductor, y entrada de hombre superior.

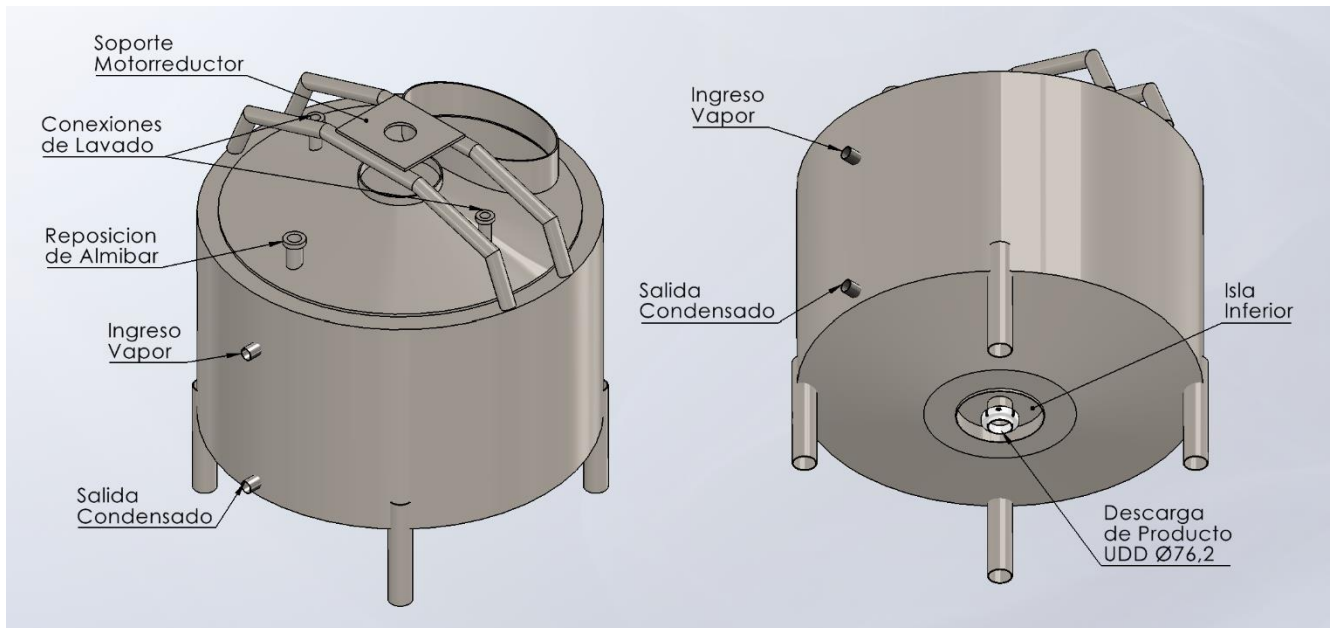


IMAGEN 53

La "Imagen 53" muestra dos vistas del tanque depósito de almíbar sin su motorreductor en el estado en que se recibió. Se pueden apreciar los ingresos de lavado y de producto en la parte superior, conexiones laterales de ingreso de vapor y salida de condensado. Y en el fondo del tanque se muestra la salida de producto, con conexión unión doble danesa en diámetro 76,2 mm, y la isla inferior para colocación de sensores.

Teniendo en cuenta los automatismos incluidos en el cocinador, y además considerando que se integraría una pantalla HMI al mismo, se decidió modificar el tanque para incluir algunos elementos de automatización.

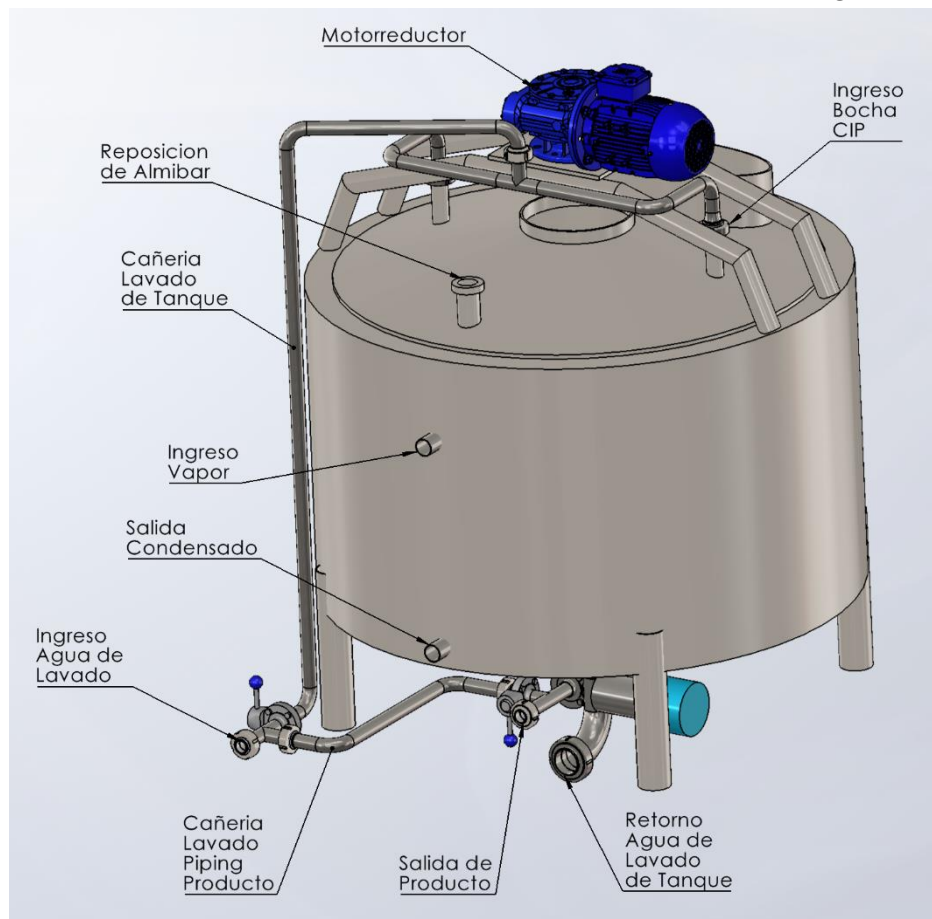


IMAGEN 54

En la "Imagen 54" nos encontramos con una vista tridimensional del tanque depósito de almíbar con las modificaciones efectuadas en él. Se instalaron dos bochas CIP en el tanque con su correspondiente cañería de interconexión a la del equipo. En la misma imagen se visualizan las conexiones de ingreso de agua de lavado, la salida del producto, y la cañería de retorno de agua de lavado que únicamente se utiliza cuando se está lavando el tanque, se entrarán en detalles acerca de esto más adelante en los párrafos específicos.



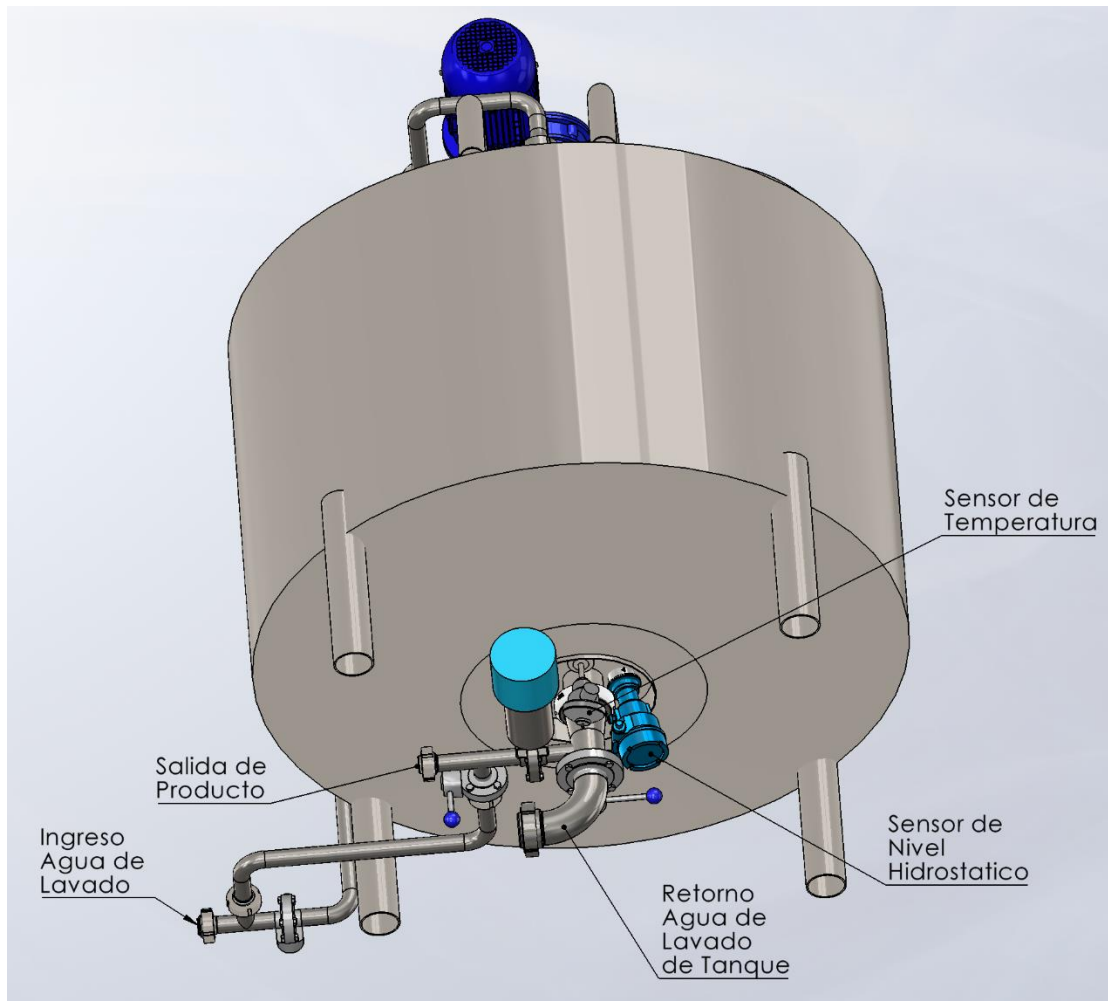


IMAGEN 55

En la "Imagen 55" se visualiza una vista tridimensional del tanque y sus modificaciones. Podemos destacar la incorporación de un sensor de nivel, con indicación en la pantalla HMI de cocinador para informar al operario cuando se debe reponer almíbar. Monitoreo y control de temperatura de producto en tanque mediante adición de un sensor de temperatura tipo PT-100 y válvula esférica de ingreso de vapor atmosférico a camisa calefactora (no mostrado en la imagen, ya que se encuentra ubicada en la bajada de vapor al equipo). A su vez, se programó el equipo para accionar el motorreductor para dar agitación al producto mientras se inyecta vapor a la camisa, con la finalidad de favorecer al intercambio térmico entre el vapor y el almíbar durante el calentamiento. Todos estos elementos y su programación fueron incorporados al PLC del cocinador.

La medición de nivel se efectúa mediante un sensor de presión hidrostática de construcción sanitaria, es por ello que se debió ubicar el mismo en el fondo del tanque. Se solicitaba además de una medición de nivel en la pantalla HMI, un indicador que arroje también un aproximado en kg de almíbar en el tanque. Es por ello que se seleccionó este elemento de medición, ya que se nos brinda una medición continua de presión hidrostática, la cual se puede extrapolar a valores de masa y altura de columna de líquido en el tanque. Se tuvo que aplicar una corrección a la función para obtener la masa de almíbar contenida en el tanque debido a la conicidad que posee en su inferior. Cabe destacar que la medición de la presión no se ve afectada por el movimiento del líquido que produce el agitador.

En cuanto al monitoreo y control de la temperatura, se optó por colocar un sensor de temperatura tipo P-100 en el fondo del tanque. Este sensor no solo refleja en la pantalla HMI del cocinador el valor de la temperatura del almíbar en el depósito, sino que es parte del sistema de control de temperatura del mismo. El PLC del equipo fue programado para accionar conjuntamente la válvula esférica actuada de ingreso de vapor a la camisa y el agitador tipo ancla del taque, de tal manera que cuando la PT-100 arroje un valor de temperatura inferior al set point programado (en este caso 75°C), se abra la válvula y se encienda el motorreductor accionando el agitador para promover el intercambio térmico y homogeneizar la temperatura del producto para evitar obtener lecturas no representativas. Una vez que se alcanzó un valor de set point de temperatura superior (85 °C) el PLC cierra la válvula esférica de vapor y mantiene el agitador funcionando un periodo de tiempo de 60 segundos antes de apagarlo.

En cuanto a las cañerías de lavado y producto, serán abordadas con posterioridad en las secciones correspondientes.

#### 4.6 Piping de Producto.

Se abordarán en esta sección los temas referenciados al diseño y dimensionamiento de la cañería de producto, resaltado en color azul en la “Imagen 56” abajo. Se trata de la cañería lleva producto desde el tanque depósito de almíbar hasta el equipo cocinador.

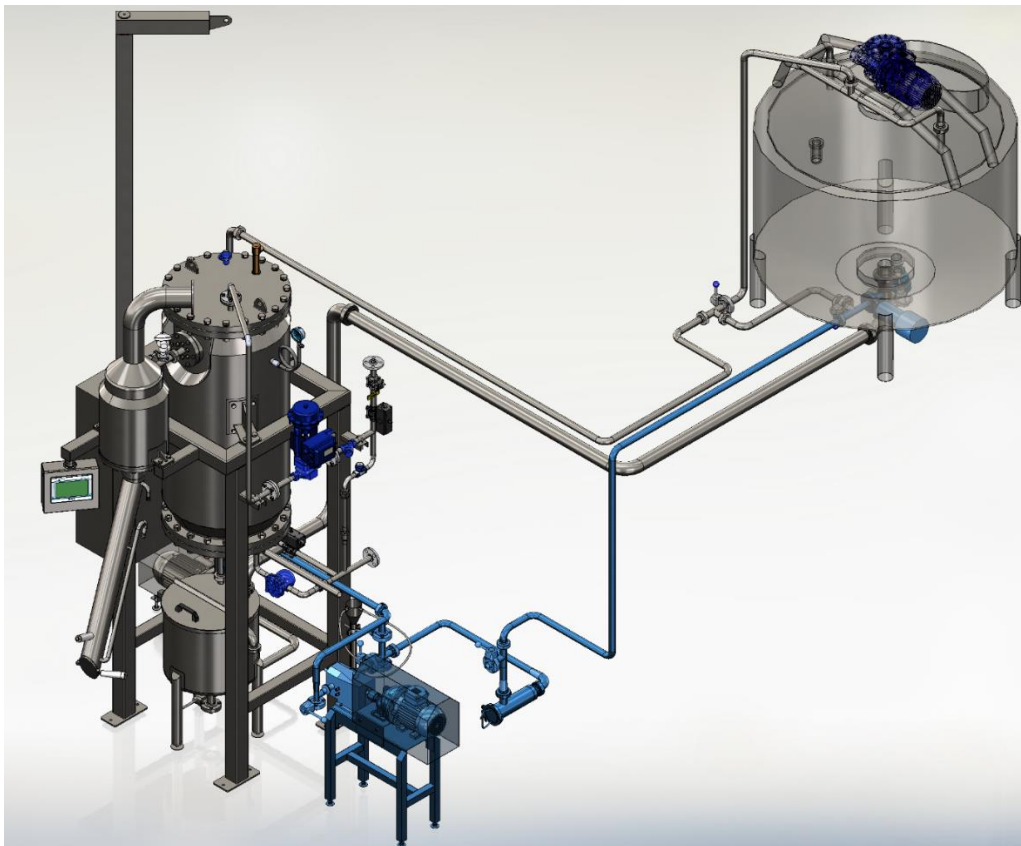


IMAGEN 56

A continuación se presenta en la “Imagen 57” una vista de la cañería de producto con mención de sus partes principales, conjuntamente con el tanque depósito de almíbar y el cocinador de jarabe.

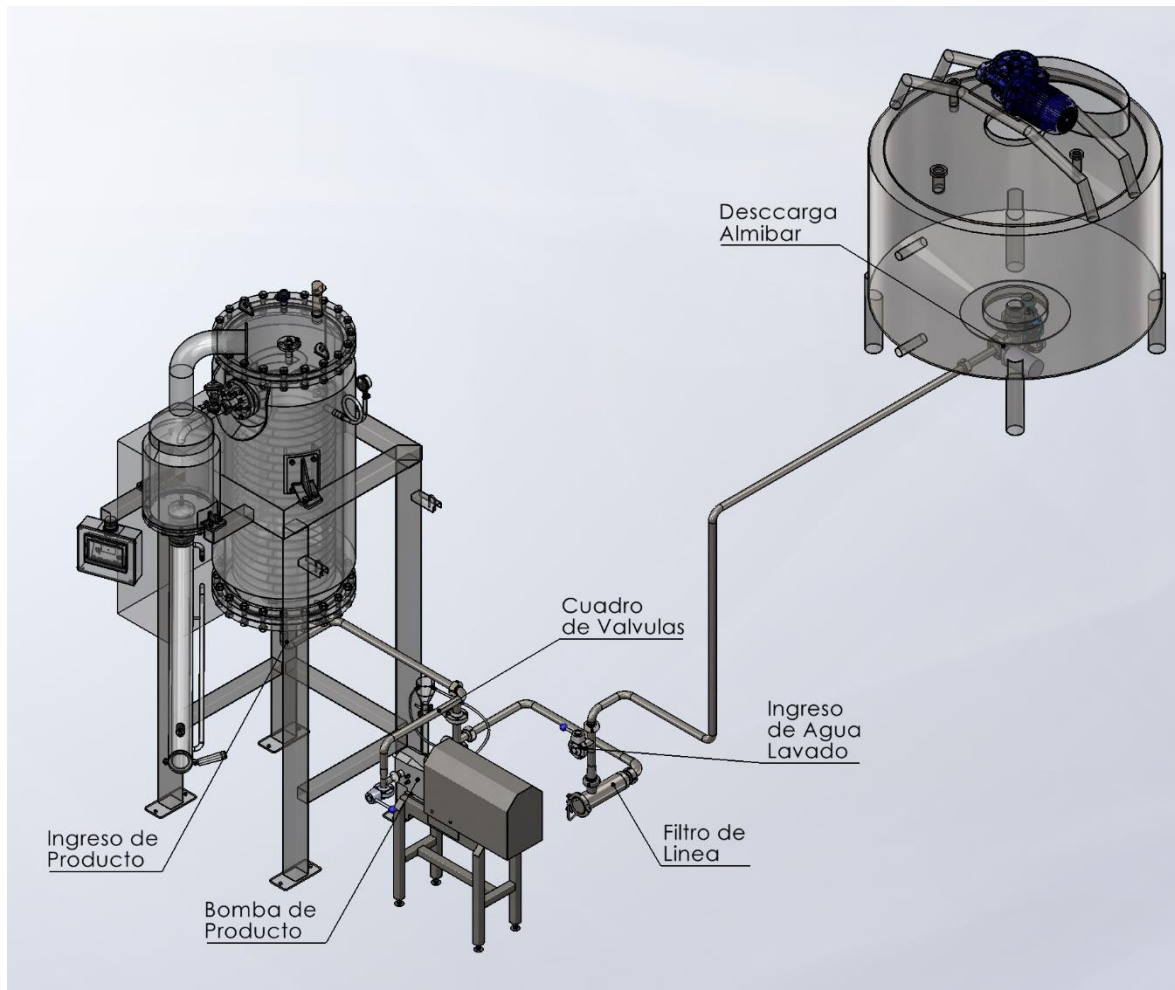


IMAGEN 57

#### 4.6.1 Cañería

#### Producto

Su construcción se realizó íntegramente con tubos de acero inoxidable AISI 304 de diámetro exterior 31,8 mm. Las soldaduras de todos los accesorios se efectuaron con respaldo gas nitrógeno en su interior para lograr terminaciones sanitarias.

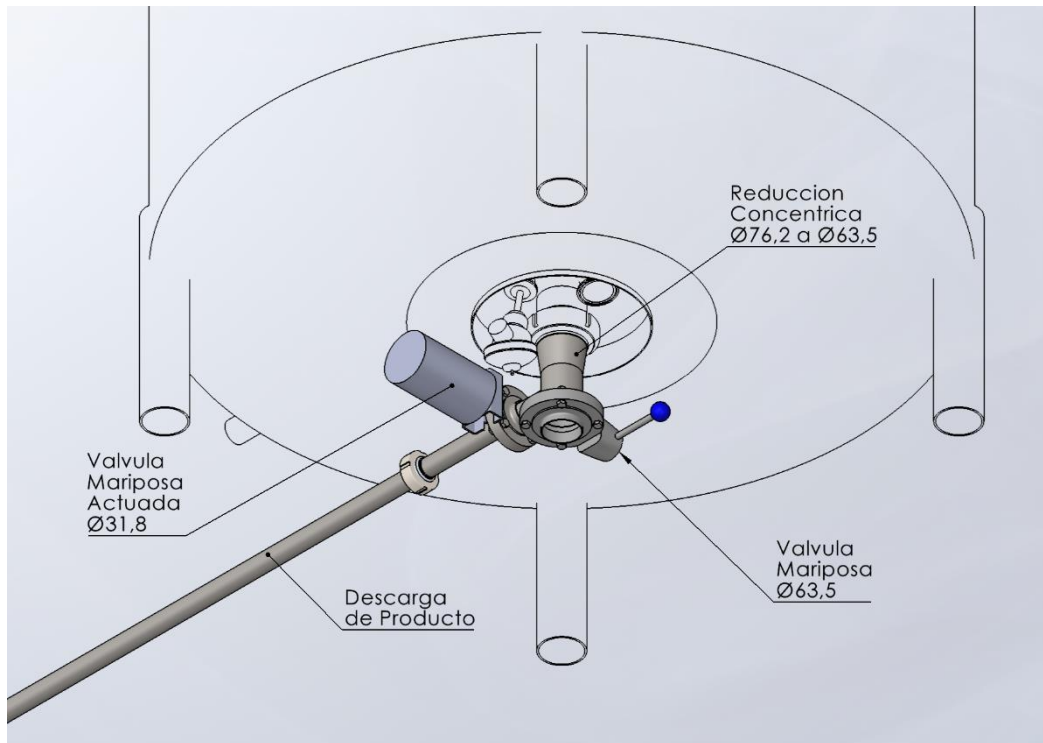


IMAGEN 58

En la "Imagen 58" se muestra una vista del fondo del tanque depósito de almíbar, donde nace la cañería de producto.

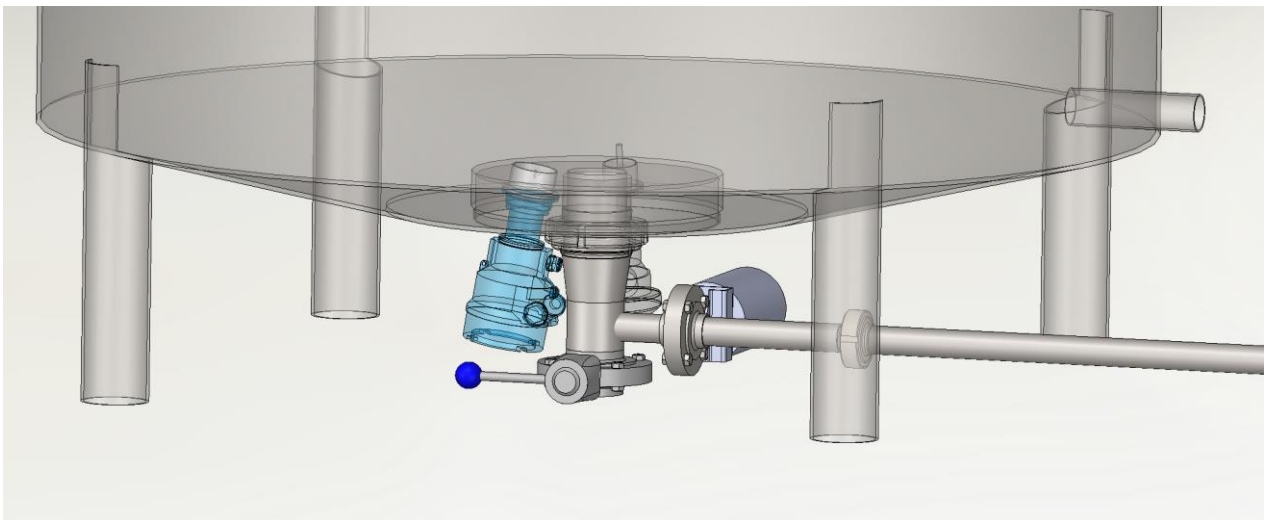


IMAGEN 59

Vemos otra vista con más detalle en la "Imagen 59", donde podemos ver el punto de inicio de la cañería de producto, justo debajo de la conexión de descarga del tanque.

Se colocó una válvula tipo mariposa sanitaria actuada de  $\varnothing 31,8$  mm en el comienzo de la cañería, para habilitar el paso de almíbar de manera remota al cocinador desde su pantalla HMI, y también como un elemento de seguridad que impide que ingrese agua de lavado al tanque mientras se realiza una limpieza del equipo, esto se abordará con más detalles en la siguiente sección.

El dimensionamiento de la cañería estuvo condicionado principalmente por el diámetro interior del serpentín del equipo cocinador, ya que se querían lograr velocidades de lavado similares en ambos casos. También se pretendía obtener una velocidad relativamente baja en la circulación de producto para minimizar la pérdida de carga en la cañería. Teniendo en cuenta que el producto se encuentra circulando la cañería a una temperatura aproximada de 80 °C, su viscosidad es relativamente baja, alrededor de 30 cPs

Sabiendo que circula un flujo másico de 330 kg/h de almíbar por la cañería, con una densidad de 1300 kg/m<sup>3</sup> podemos calcular el volumen por unidad de tiempo que circula.

$$\text{Caudal circulante} = 0,23 \text{ m}^3/\text{h} = 0.000064 \text{ m}^3/\text{seg}$$

determinamos su velocidad con el área de paso, teniendo en cuenta que se utilizaron tubos de Ø31,8 mm y espesor 1,5 mm, resultando en un diámetro interior de 28,7 mm = 0.0287 m =  $\phi_i$

$$Vel = \frac{\text{Caudal}}{\text{Area de paso}} = \frac{\text{Caudal}}{\frac{\pi * \phi_i^2}{4}} = \frac{0.000064 \text{ m}^3/\text{seg}}{\frac{\pi * (0.0287 \text{ m})^2}{4}} = Vel = 0.1 \text{ m/seg}$$

Obteniendo una velocidad de 0.1 m/seg, con lo cual nos aseguramos una pérdida de carga sustancialmente baja en el producto, a la vez que homogeneizamos las velocidades de circulación de agua de lavado para las operaciones de limpieza.

Siguiendo el recorrido del producto a través de la cañería, nos encontramos con el filtro de línea, mostrado en la "Imagen 60".

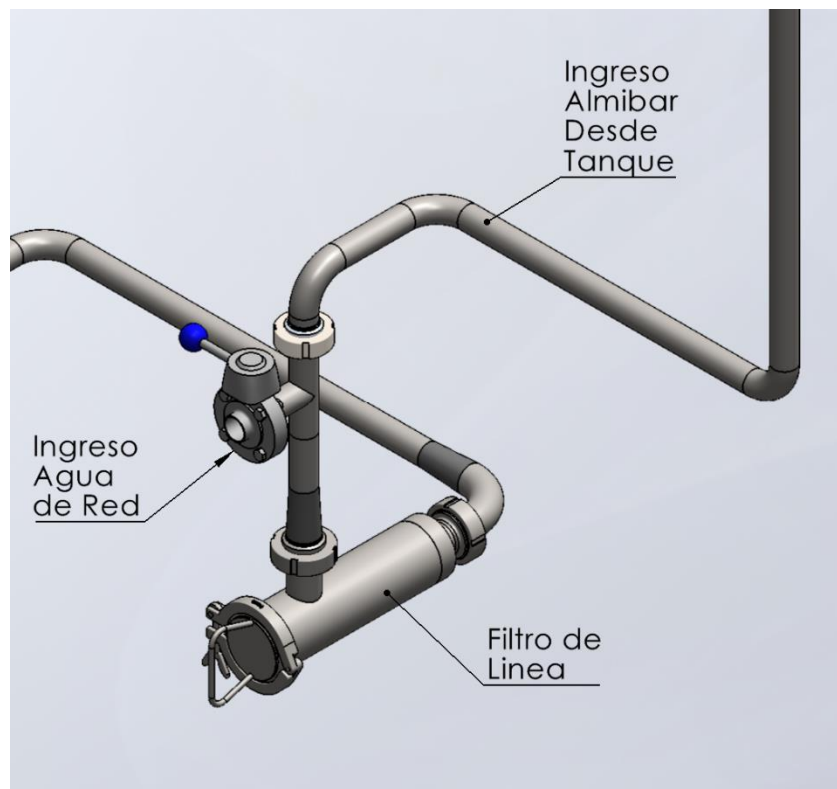


IMAGEN 60

Se visualizan las conexiones de ingreso por la parte superior del filtro, y de egreso por la posterior. En cuanto a la válvula mariposa para ingreso de agua de red, fue una petición del cliente para generar un barrido del almíbar restante aguas arriba de la conexión, incluyendo la bomba de producto y el serpentín. Esto con la finalidad de evitar incrustaciones principalmente en la bomba y la serpentina, esto se verá con más detalles con posterioridad.

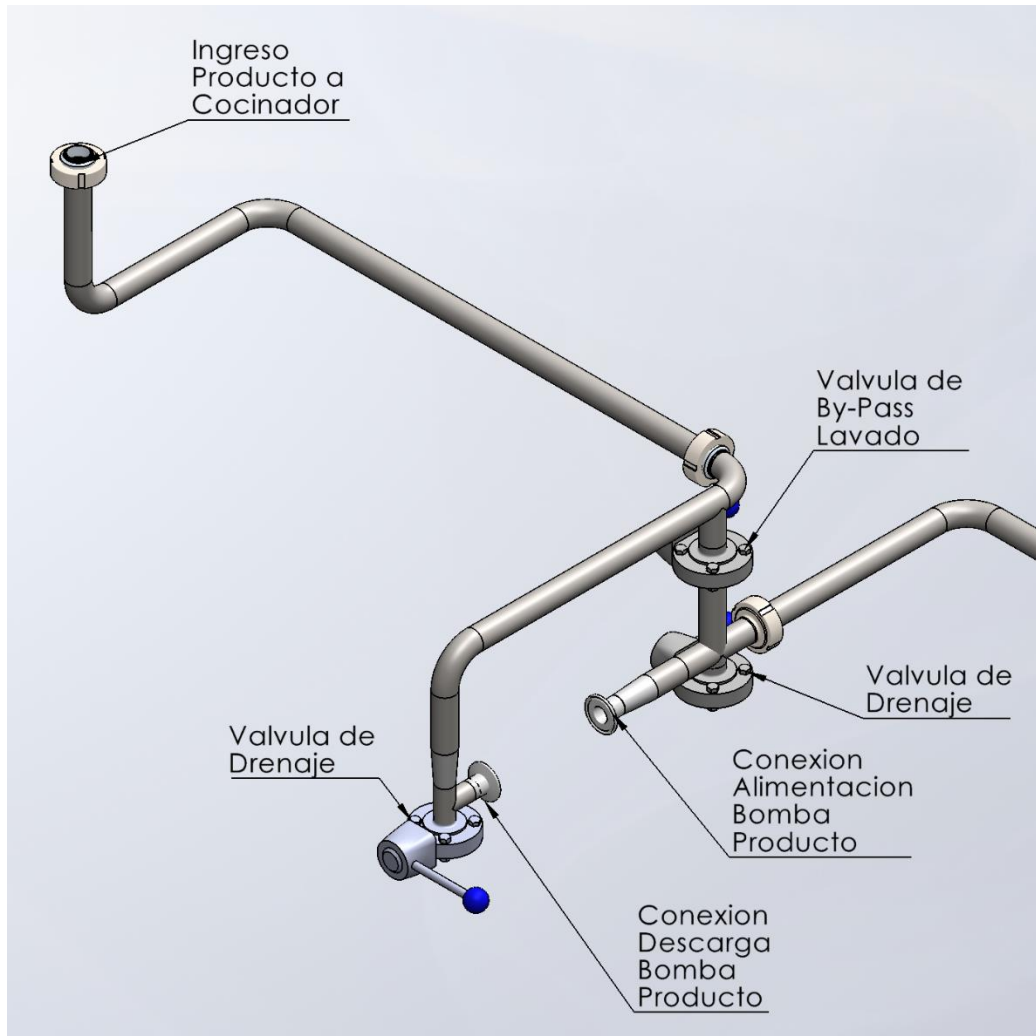


IMAGEN 61

En la "Imagen 61" se muestra un detalle del cuadro de válvulas, comenzando por la válvula de By-Pass, la cual es de utilidad durante el lavado del equipo, para que la bomba de producto no restrinja el caudal, ya que la misma posee una muy alta pérdida de carga. Las dos válvulas de drenaje se colocaron para vaciar principalmente el serpentín y la bomba de producto cuando sea requerida una limpieza, pero la principal función de la válvula de drenaje mostrada aguas arriba de la bomba lobular (la de mayor cercanía a la conexión descarga bomba lobular) es la de purgar el aire contenido en la bomba lobular antes del arranque de un ciclo cuando el equipo se encuentra vacío, para evitar que la bomba funcione sin producto en la recámara, lo que podría dañarla. A continuación la conexión con la bomba de producto, realizadas mediante uniones tipo CLAMP. Y por último se visualiza el ingreso de producto al cocinador mediante unión doble danesa

#### 4.6.2 Bomba de Producto

Para seleccionar la bomba impulsora de producto hacia el cocinador, se tuvieron en cuenta ciertas características que debía cumplir la misma. Primeramente ser apta para aplicaciones alimenticias, y tener la capacidad de manejar fluidos viscosos. Otra de las condiciones que debía reunir es la de mantener linealidad entre velocidad de giro y caudal de salida, ya que una de las exigencias del cliente para con el equipo es tener la capacidad de variar la capacidad de producción del equipo, y esto se logra particularmente variando el caudal de salida de la bomba que impulsa producto al cocinador.

Se contactó a la firma Famiq S.R.L., quienes tienen representación de bombas marca INOXPA en Argentina, solicitando asesoramiento por parte de un especialista acerca de la aplicación de uno de estos equipos. Se decidió trabajar con esa marca ya que además de ser una firma muy reconocida a nivel internacional, tiene presencia nacional con servicio post-venta oficial en cuanto a asesoramiento y venta de repuestos e insumos.

Al proveedor se le facilitaron los siguientes datos solicitados para la selección de la bomba:

- Composición: Agua con glucosa y sacarosa a 65 °Brix
- Temperatura: Máxima 85°C
- Viscosidad: 30 cPs
- Densidad: 1300 kg/m<sup>3</sup>
- Caudal de salida: 0,23 m<sup>3</sup>/h

Las opciones que nos brindó el técnico especialista consultado fueron dos, bomba de tipo lobular, o tipo tornillo estator. Ambas cumplen con las condiciones anteriormente mencionadas. Pero se seleccionó la de tipo lobular por su reducido tamaño, ya que es un factor importante en este caso.

La bomba seleccionada es marca Inoxpa, modelo SLR 1-25. Con conexiones de entrada y salida de tipo clamp de Ø25,4 mm. Posee eje macho con de Ø19,05 mm chavetero en la parte posterior para acoplarse al sistema de potencia. Para alcanzar el caudal requerido, se debe tener una velocidad de rotación de 266 R.P.M. en el eje de entrada de la bomba, absorbiendo bajo esos parámetros una potencia de 0,19 kW. Una fotografía de un equipo similar se presenta en la "Imagen 62"

Una de las características particulares de la bomba para esta aplicación es la de la incorporación de un sello tipo FLUSHED o QUENCH, con circulación de agua para evitar el sobrecalentamiento del sello (recordemos que estamos trabajando con fluido a 80 °C), y por otra parte el agua sirve para lavar cualquier resto de almíbar que pueda solidificarse e impedir el giro de la bomba.



IMAGEN 62

Para animar la bomba lobular, se seleccionó un motorreductor cuya potencia sea superior a 0,19 kW y su velocidad de giro sea lo más cercana posible a el valor requerido de 266 R.P.M.

Se seleccionó un motorreductor de la marca STM, modelo AMP-40 de 0,75 kW de potencia nominal, con velocidad de salida 284 R.P.M. y factor de servicio 1,8. La pequeña diferencia en velocidad de giro requerida para alcanzar las revoluciones necesarias será dada mediante la regulación que nos permite el variador de frecuencia aplicado al motor eléctrico.

Cabe destacar que el motorreductor fue pedido sin motor, para ser acoplado a un motor eléctrico de la marca WEG, cuya vida útil suele ser mayor que los motores marca STM.

La conexión de salida del motorreductor es de eje macho de  $\varnothing 19,05$  mm con chavetero, al igual que la bomba lobular. Para unir estos dos elementos y lograr el giro de los lóbulos de la bomba, se requiere un acople para ambos ejes macho. Atento a las posibles dilataciones térmicas que pueda sufrir tanto la bomba lobular como la cañería, se seleccionó un acople flexible que permitiera cierta tolerancia de concentricidad y de linealidad entre los ejes.

Se decidió utilizar un acople flexible marca GUMMI serie M, que es de un bajo costo y permite absorber las imperfecciones antes mencionadas entre los ejes, y es de amplia utilización en el sector industrial.

El dimensionamiento viene dado por el momento torsor máximo que puede soportar la union, en este caso tomaremos el momento torsor nominal del motorreductor, que lo hemos de obtener del catalogo del mismo, mostrado en la "Imagen 63"




$n_2$ min <sup>-1</sup>	ir	T2 Nm	FS'	AM AC	
<b>0.75 kW</b>		$n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}$ $n_1 = 1390 \text{ min}^{-1}$ $n_1 = 920 \text{ min}^{-1}$ $n_1 = 910 \text{ min}^{-1}$		71C 2 80B 4 90S 6 80C 6	
535	1.7	13	3.1	40/1	80C 6
463	3.0	15	1.7	32/1	80B 4
455	2.0	15	2.9	40/1	80C 6
434	3.2	16	3.1	40/1	80B 4
409	3.4	17	1.5	32/1	80B 4
408	3.4	17	2.1	35/2	80B 4
376	3.7	18	2.7	40/1	80B 4
356	3.9	19	1.3	32/1	80B 4
350	2.6	20	2.5	40/1	80C 6
346	4.0	20	1.9	35/2	80B 4
309	4.5	22	1.2	32/1	80B 4
296	4.7	23	1.7	35/2	80B 4
284	4.9	24	1.8	40/1	80B 4
273	5.1	25	2.9	50/1	80B 4
262	5.3	26	1.0	32/1	80B 4

IMAGEN 63

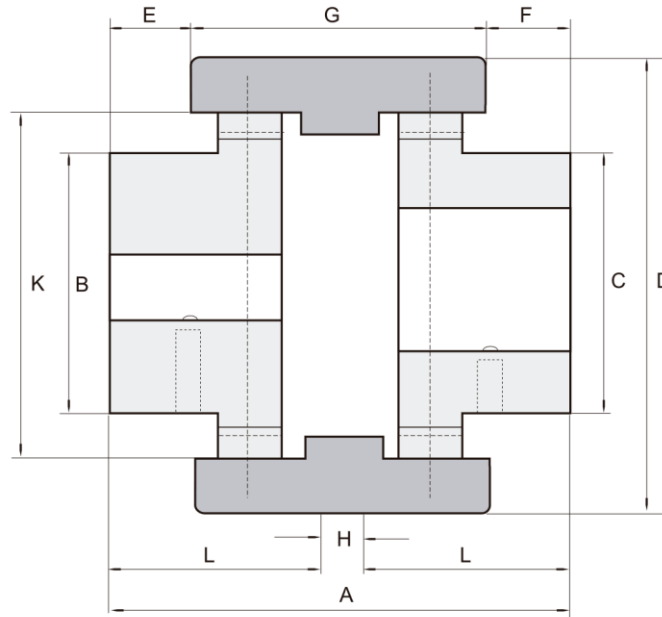
Como podemos observar, nos arroja un momento torsor máximo de 24 Nm, lo que es equivalente a unos 2,5 kg.m. Con este valor, ingresamos al catálogo de acoples GUMMI serie M, mostrado en la "Imagen 64" abajo.

Mod. N°	N° Parte	Torque nominal Kgm.	Torque máximo Kgm.	H.P. Nominal 1750 R.P.M.	H.P. Nominal 1140 R.P.M.	Máx R.P.M.
M-14*	6300	1	1.9	2.5	1.5	14000
M-19	6301	1.5	3	3.7	2.5	1800
M-24*	6302	1.9	3.4	4.5	3.2	10600
M-28	6303	4	8.5	10.5	7.0	8500
M-32	6304	5.5	11.5	14.5	9.5	7500

IMAGEN 64

El acople seleccionado es el modelo M28, ya que el momento torsor nominal para el cual ha sido diseñado es de 4 kg.m, mientras que su inmediato inferior solamente alcanza un valor de 1,9 kg.m.

Otra cuestión a tener en cuenta son los diámetros de eje máximos admitidos por los cubos. Para ello, nuevamente vamos al catálogo, donde nos encontramos con la siguiente figura mostrada en la "Imagen 65"



MOD	Largo Acopl. Completo	Diámetro máximo	Diámetro de Cubo	Extensión del Cubo Libre	Diámetro del anillo Dentado	Largo del Cubo	Largo de la Camisa	Abertura de Ejes	Número de Dientes	Peso de Acoplam.	Agujero Mínimo	Agujero Máximo
	A	D	B y C	E y F	K	L	G	H	Z	grs.	mm.	mm.
M-14*	46	39	25	4.5	33	20	37	4.5	20	.181	4.5	15.6
M-19	50	48	32	6.5	39	21.5	37	6.5	24	.272	9.5	20.0
M-24*	53	52	36	6	45	21.5	41	9	28	.362	9.5	22.5
M-28	84	66	44	19	56	35.5	46	9	34	.816	6.5	27.5

IMAGEN 65

Vemos que para el modelo seleccionado, nos encontramos dentro del rango admisible, teniendo en cuenta que ambos ejes son de  $\varnothing 19,05$  mm.

Todos los elementos antes mencionados se montan sobre una base como se muestra en la "Imagen 66", en ella vemos las partes que componen el sistema de bombeo.

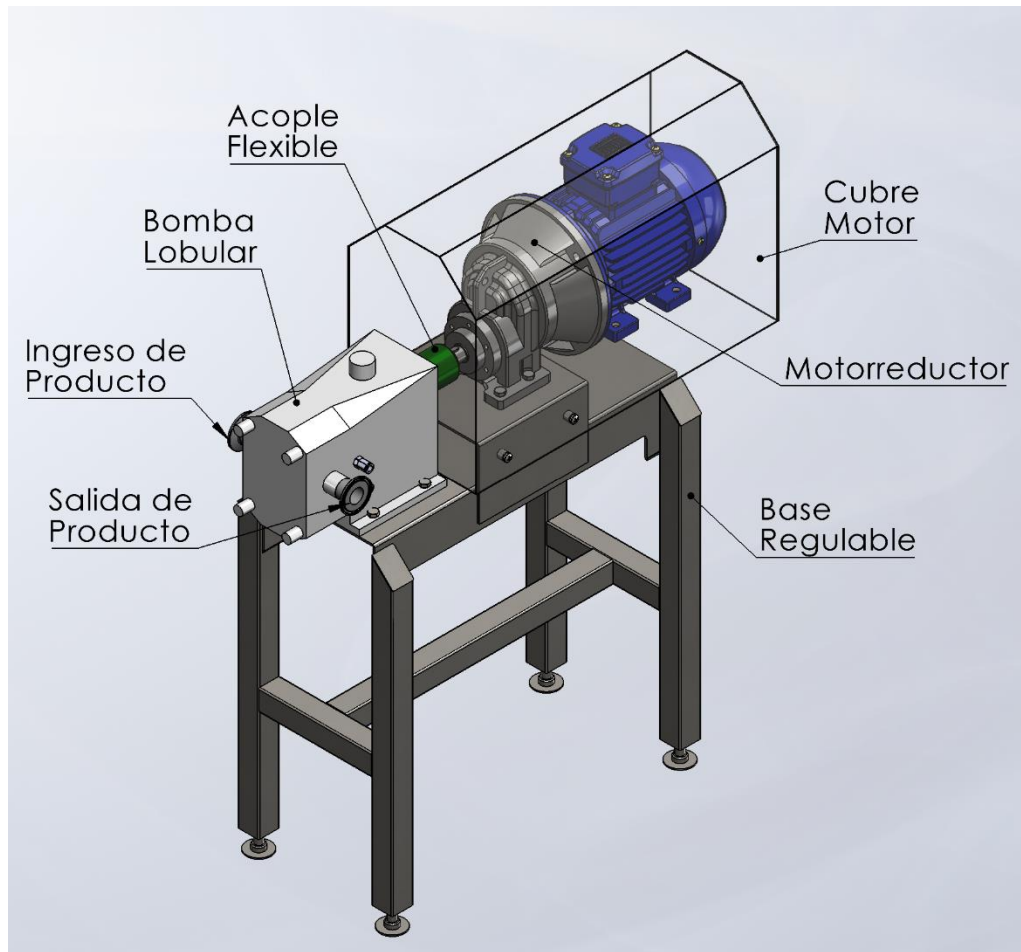


IMAGEN 66

En la "Imagen 67" se muestra un detalle de la unión entre el motorreductor y el eje de entrada a la bomba lobular

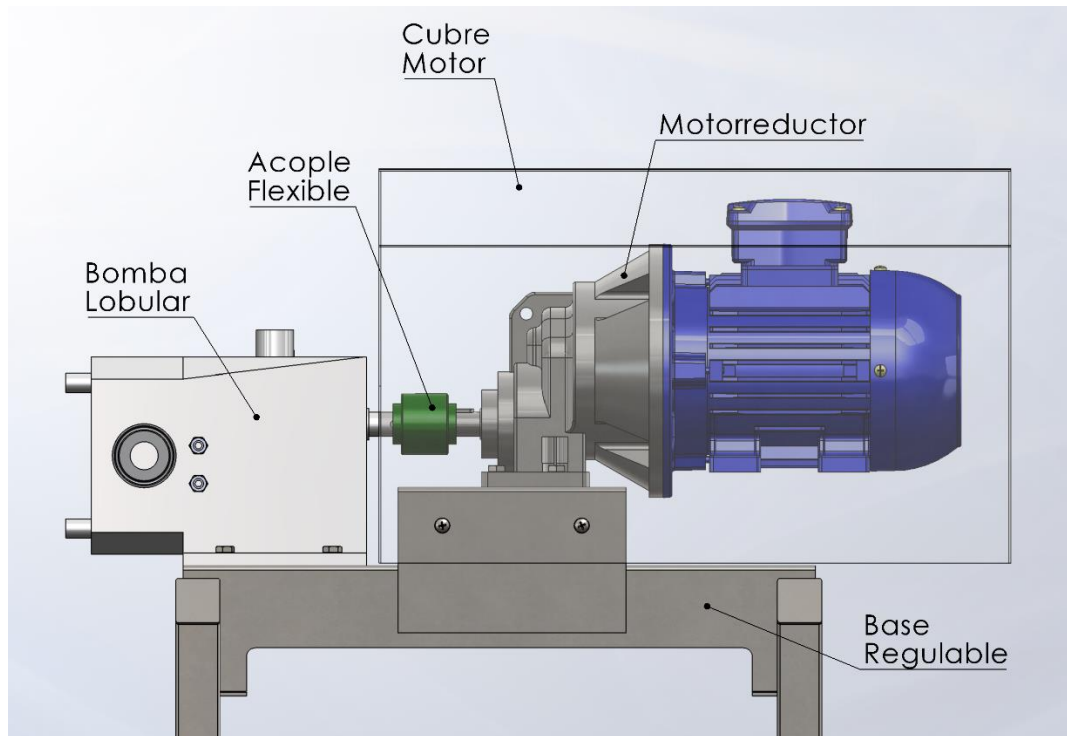


IMAGEN 67

#### 4.6.3 Filtro de Línea

Sabemos que la bomba lobular trabaja con tolerancias muy ajustadas entre sus lóbulos, y que cualquier partícula sólida que ingrese en la misma podría dañarla. Por ello se decidió colocar un filtro previo al ingreso a la bomba lobular para retener cualquier partícula extraña que pudiese contener el producto.

Ya vimos en la "Imagen 57" y la "Imagen 60" la ubicación del filtro, por lo tanto en esta sección trataremos los pormenores de diseño de este elemento.

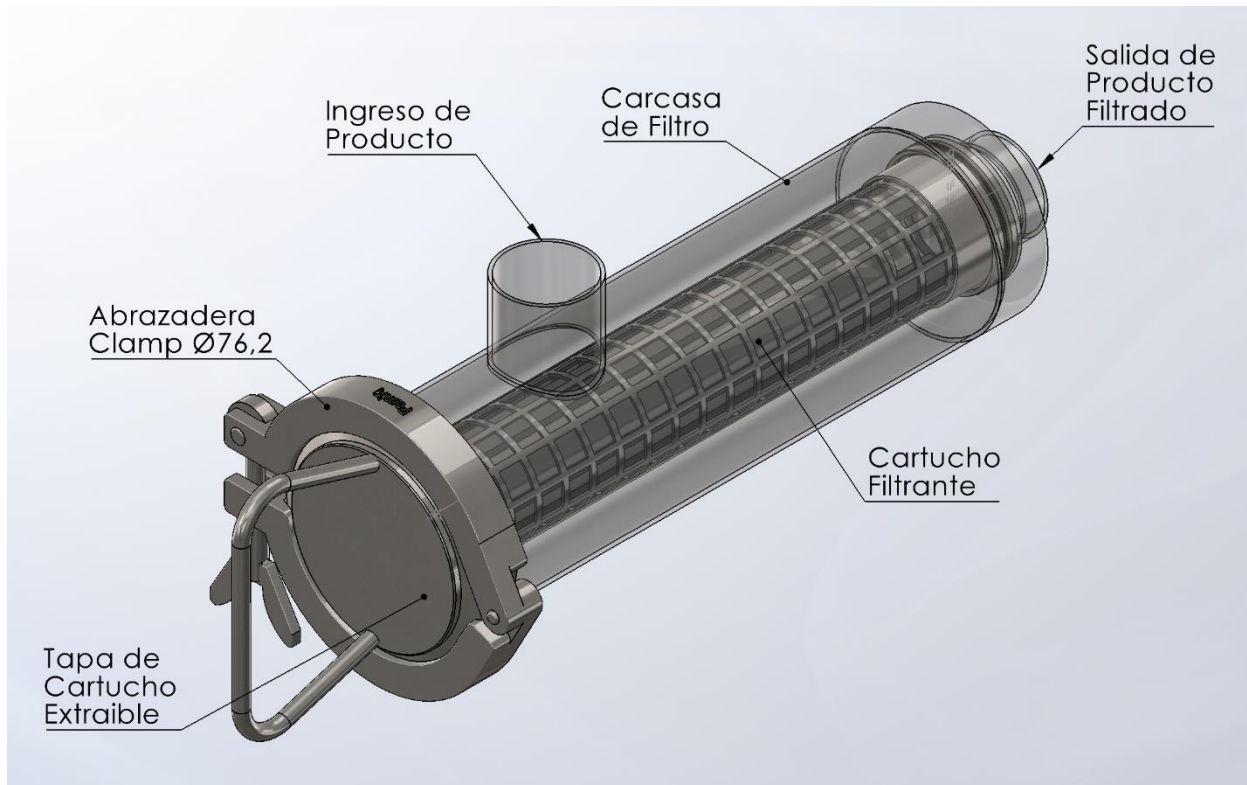


IMAGEN 68

En la "Imagen 68" podemos observar una vista tridimensional del filtro de línea, con su carcasa en estado de transparencia para visualizar el cartucho filtrante en su interior. Se mencionan las partes principales, así también como las conexiones de ingreso y salida de producto.

La malla filtrante utilizada en el cartucho es malla Mesh 30, con una luz entre alambres de 0,5 mm, de acero inoxidable AISI 304.

Para el desarme del filtro, se debe desajustar la abrazadera clamp  $\varnothing 76,2$  y de esa manera se puede retirar el cartucho filtrante completo para su lavado o mantenimiento.

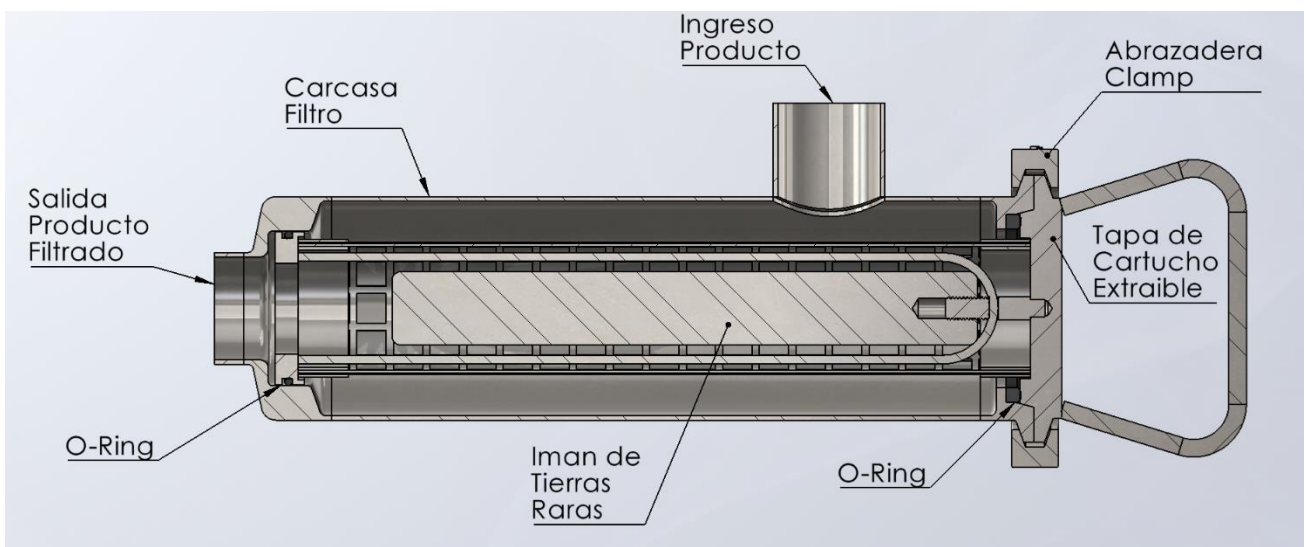


IMAGEN 69

La "Imagen 69" muestra una vista en corte del filtro de línea mencionando sus partes, se muestran los O-Rings para sellar los extremos del cartucho filtrante, y además se indica el imán de tierras raras incluido en el filtro a pedido del cliente, quien también suministró el mismo. La adición del imán en el filtro es para captar cualquier partícula metálica de tamaño pequeño que pueda filtrarse a través de la malla.

El imán debe ser desmontable para permitir su limpieza. Viene equipado con una rosca en uno de sus extremos, por lo tanto se adicionó una porción de varilla roscada al alma del cartucho del filtro para soportar el imán, tal como se muestra en el detalle de la "Imagen 70".

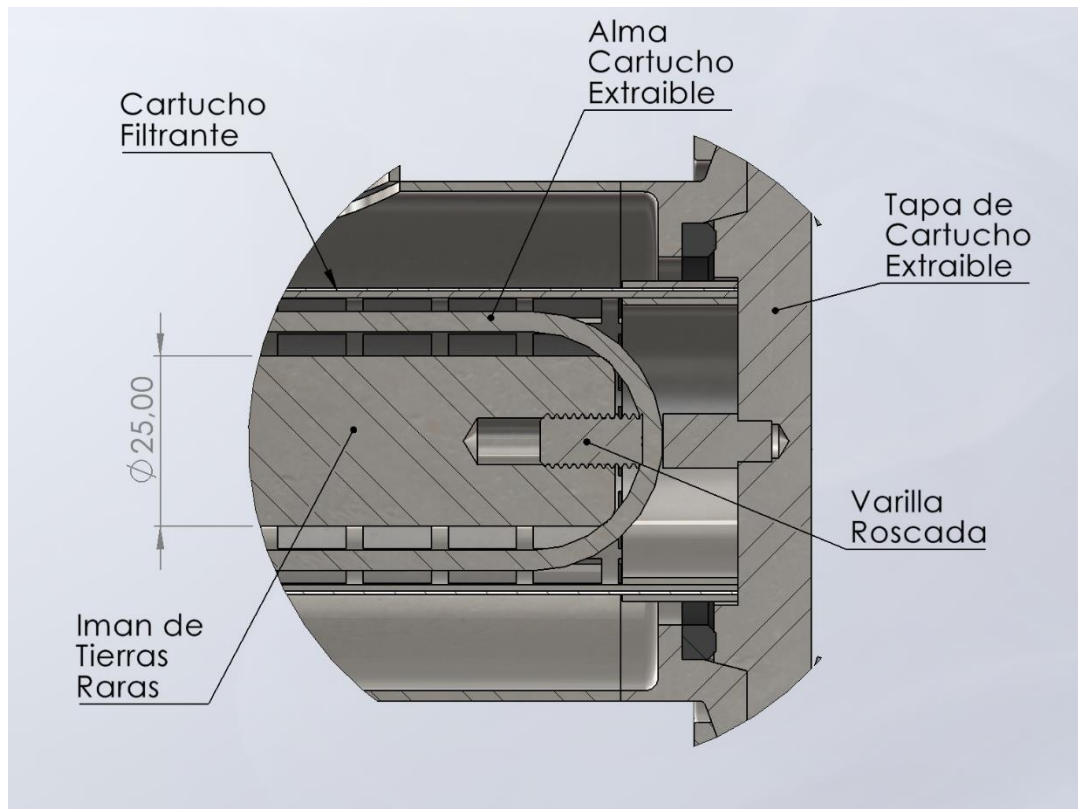


IMAGEN 70

#### 4.7 Piping de Lavado.

Como se ha descrito con anterioridad, el producto posee características que hacen que su permanencia en la cañería sea muy riesgosa, ya que si se solidifica dentro de la misma genera una situación muy compleja de subsanar. Por ello, es de suma necesidad incluir un esquema de lavado que elimine la posibilidad de un evento como el mencionado.

Esto se logra mediante una rápida eliminación del almíbar contenido en la cañería, particularmente de la serpentina, donde el almíbar se encuentra concentrado y por ende cristalizará a mayor temperatura que el resto.

El producto a lavar es básicamente una mezcla de agua con azúcar, por lo tanto no es necesario realizar limpiezas periódicas con agentes químicos ácidos o alcalinos. En la gran mayoría de los casos, se utilizará solamente agua potable para la limpieza del equipo, la cual se calefaccionará durante los lavados para aumentar su capacidad de disolución de azúcar.

La calefacción del agua se realizará durante el comienzo del ciclo de lavado, aprovechando que se debe recorrer la serpentina para su limpieza, se inyectará vapor en el cuerpo del equipo para calefaccionarla, de igual manera que se calefacciona el almíbar, hasta alcanzar un set point de 80 °C. Sabemos que esto puede provocar incrustaciones en el interior de la serpentina debido a las durezas contenidas en el agua. Atento a lo mencionado, cabe destacar que el equipo está preparado para ser lavado con soluciones acidas de limpieza para desincrustar los depósitos que se puedan adherir durante los lavados. Estos lavados ácidos están previstos de manera semanal.

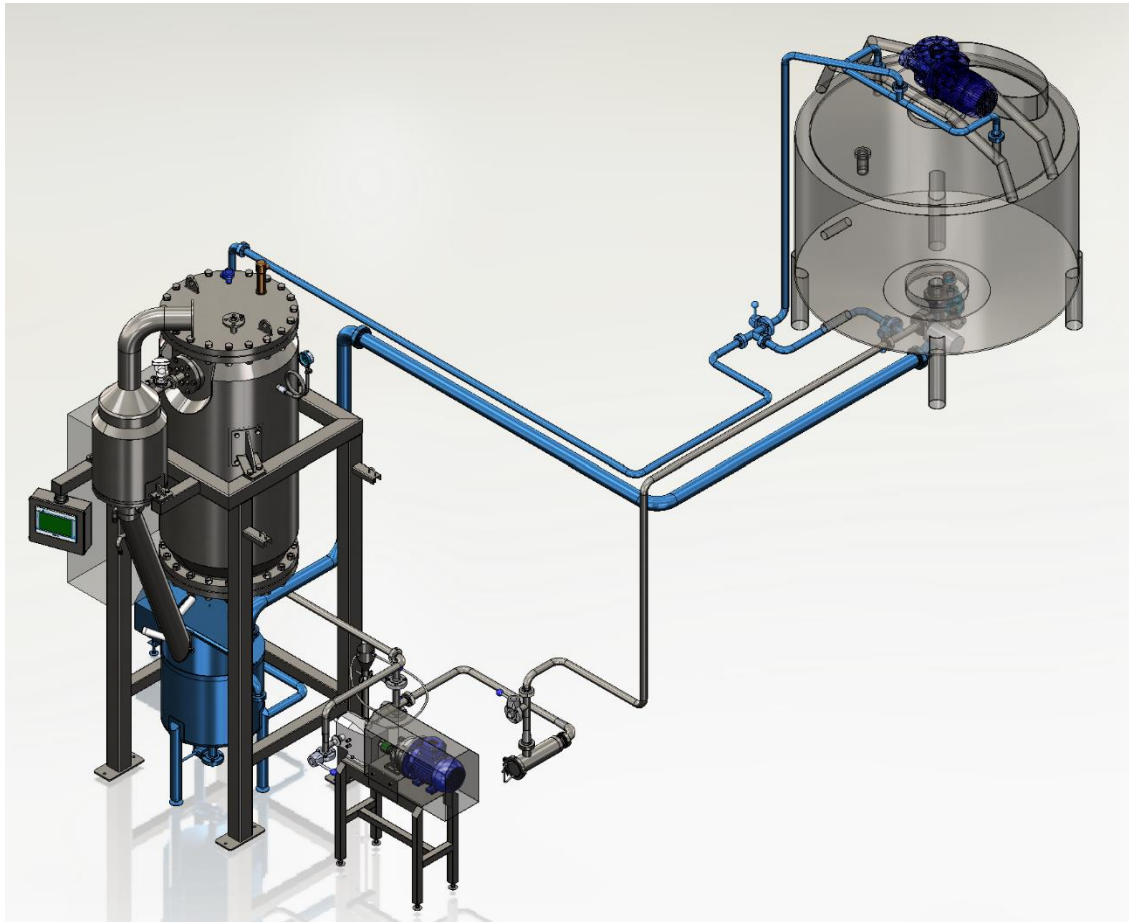


IMAGEN 71

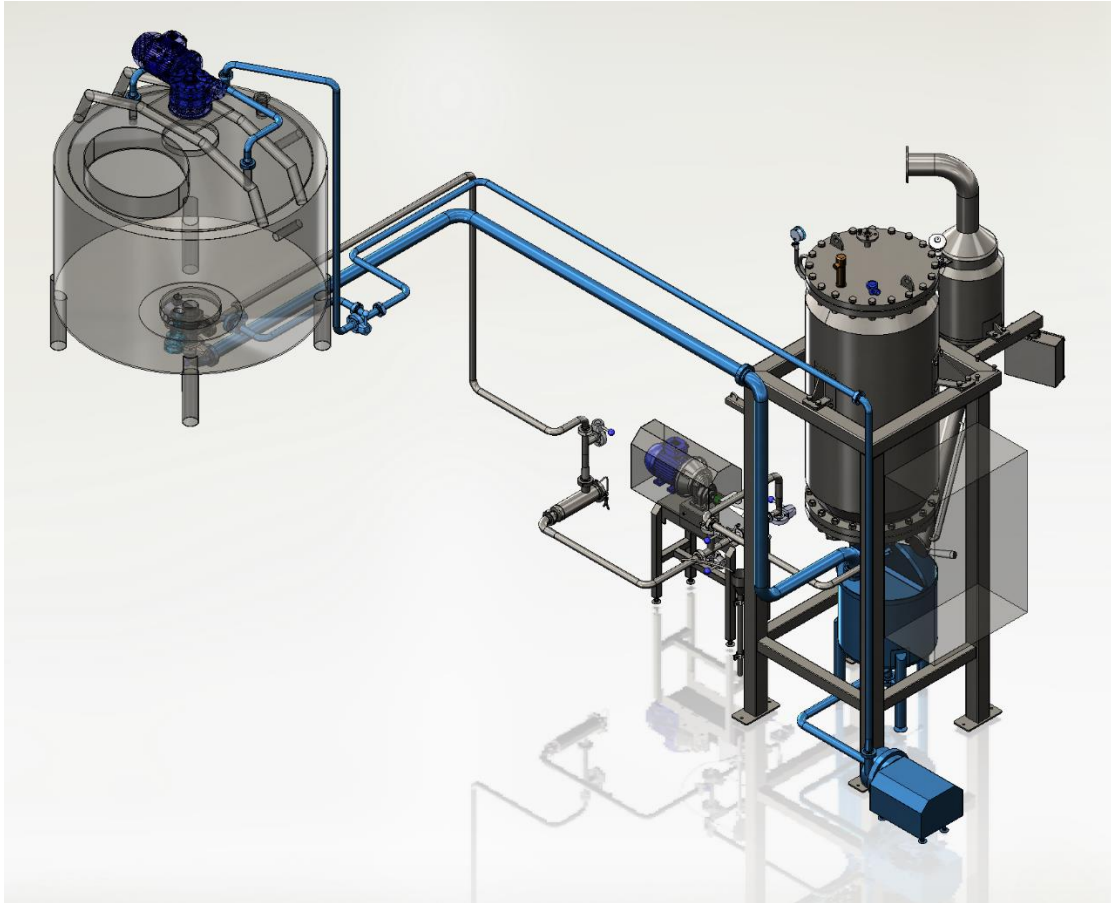


IMAGEN 72

En la “Imagen 71” e “Imagen 72” se muestra resaltado en color azul las cañerías que se deben agregar al equipo para lograr lavar la cañería de producto, la cual abordamos en el capítulo anterior.

A continuación, en la “Imagen 73” e “Imagen 74” se visualizan dos vistas con las partes principales que componen el esquema de lavado del equipo.



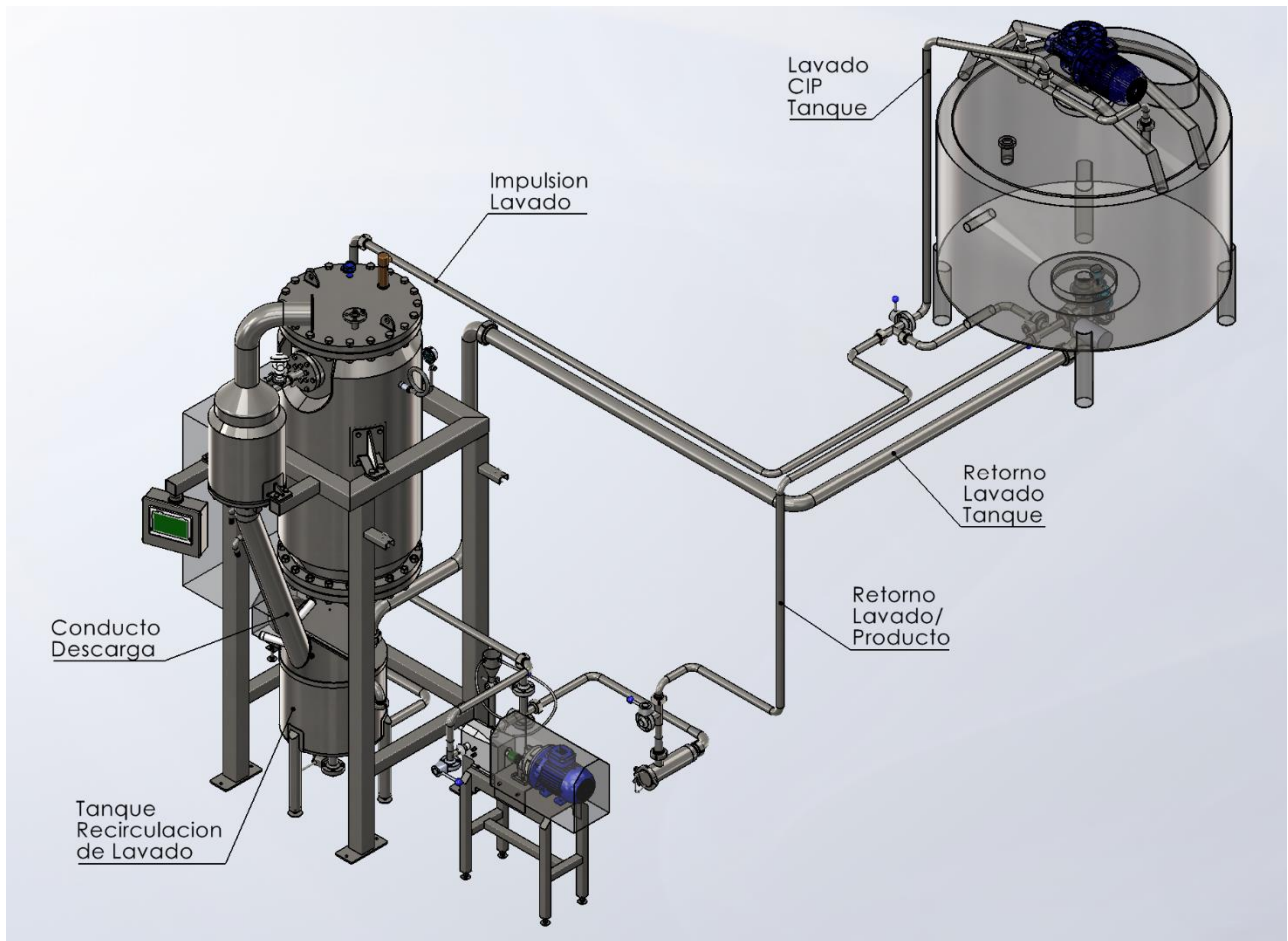


IMAGEN 73

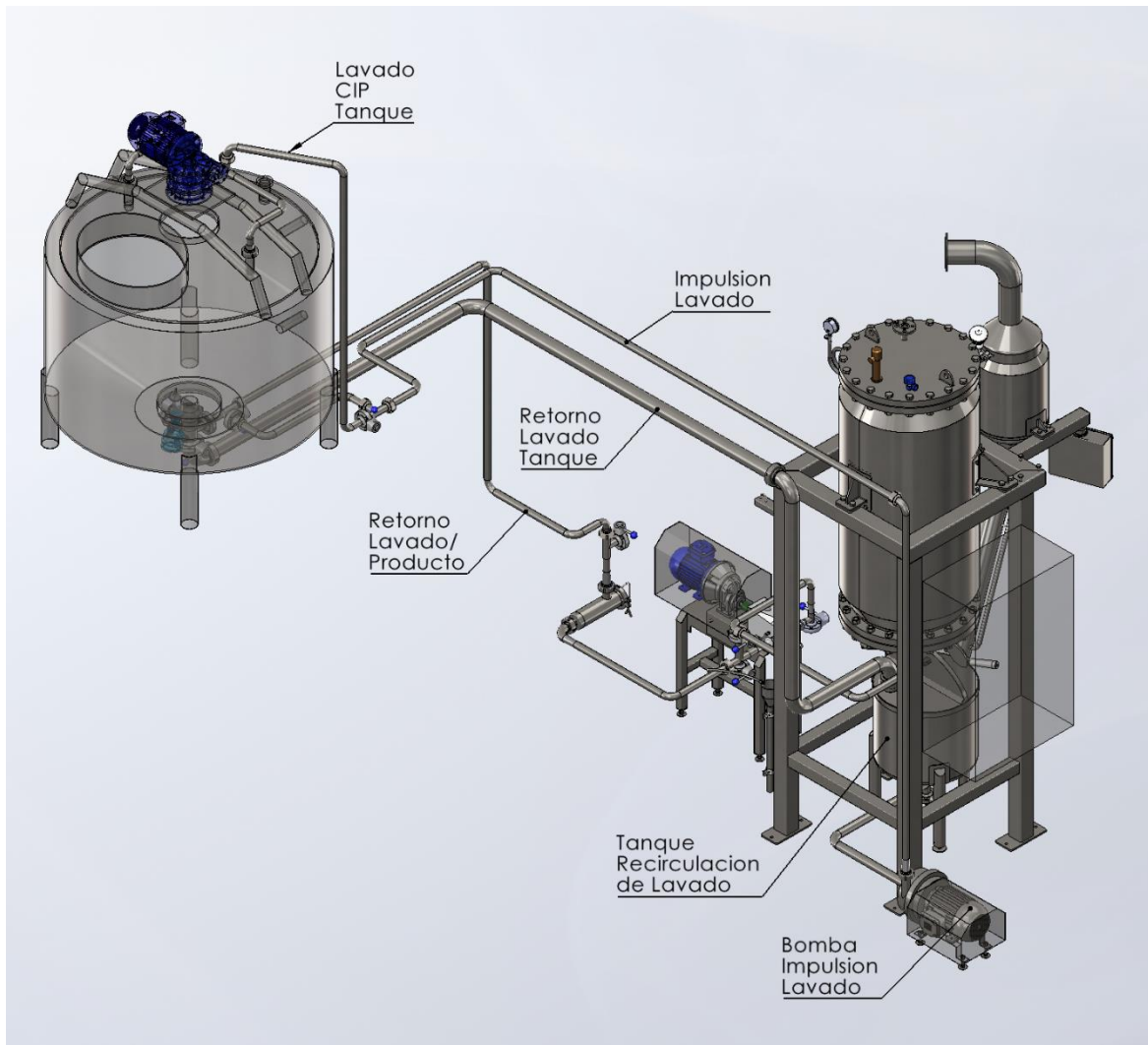


IMAGEN 74

El esquema de lavado previsto contempla dos posibilidades, por un lado el lavado de la cañería de producto conjuntamente con la serpentina y el separador de vahos. Y por otro lado, el lavado del depósito de almíbar, que se efectúa de manera semanal conjuntamente con el lavado ácido para desincrustar.

En la pantalla HMI del equipo, se selecciona la opción que despliega el menú de lavado, en este último se selecciona que tipo de lavado se desea realizar, si lavado diario de cañería de producto, o lavado semanal de tanque.

Cabe destacar que las cañerías de producto y lavado fueron fabricadas parcialmente por la empresa ASEMA. Quedando su montaje en planta a cargo del cliente una vez entregado el equipo.

#### 4.7.1 Lavado Cocinador y Piping Producto

La operación de lavado de cañería de producto con serpentina y separador de vahos se realiza diariamente al finalizar la producción. El recorrido de cañería que se lava en este caso se muestra de color rojo, junto con la serpentina y el separador de vahos que se muestran en corte en la "Imagen 75" y la "Imagen 76" abajo, junto con la indicación de las partes principales del circuito de lavado.

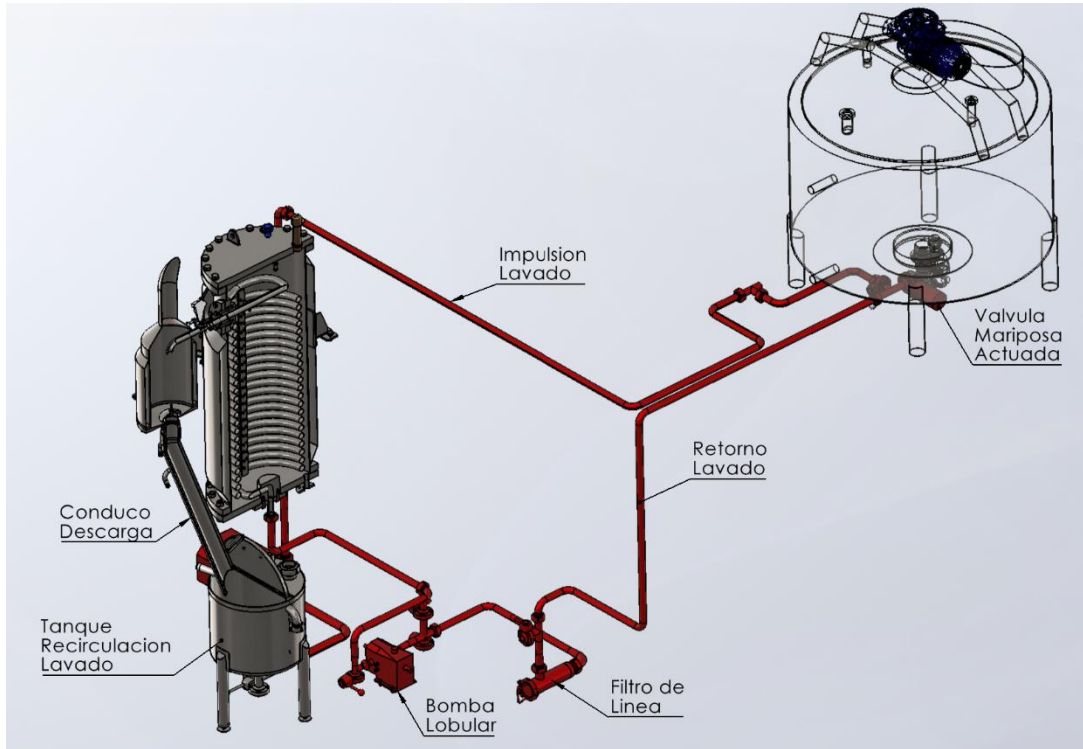


IMAGEN 75

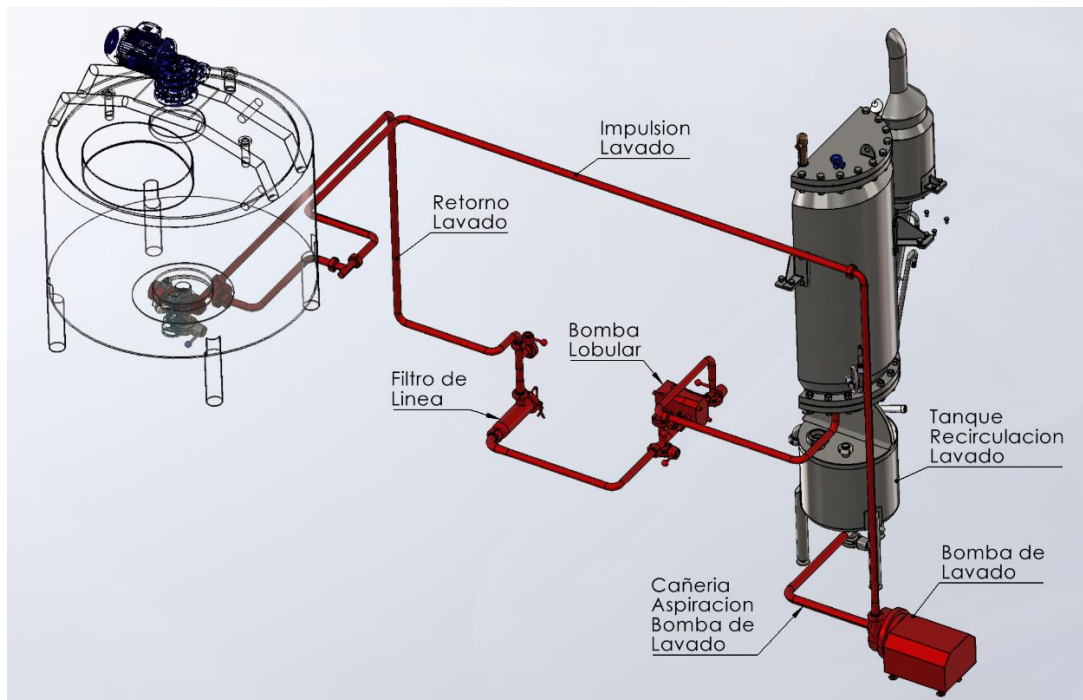


IMAGEN 76

Para dar comienzo al ciclo de lavado diario una vez terminada la producción, lo primero que se debe hacer es purgar de almíbar el filtro de línea y la bomba, para ello nos apoyaremos en la "Imagen 77" mostrada a continuación.

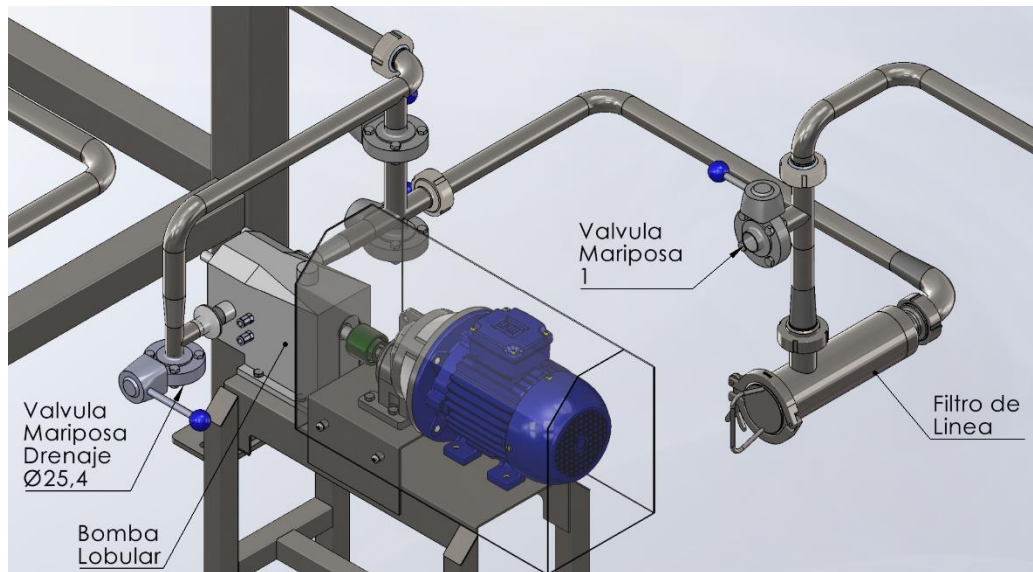


IMAGEN 77

El primer paso es abrir la "Válvula Mariposa Drenaje Ø25,4", al mismo tiempo que se debe abrir la "Válvula Mariposa 1", esta última habilita el paso de agua a través del filtro y por la cañería hacia la bomba lobular, la cual se debe encender para lograr que circule el agua de lavado y desaloje el almíbar residual en los equipos. La "Válvula Mariposa Drenaje Ø25,4" está conectada a una cañería hacia un drenaje, tarea de la que se encargó el cliente una vez recibido el equipo.

Por otra parte, se debe abrir la tapa rebatible y ubicar el conducto de descarga de producto con su clapeta abierta sobre el tanque, tal como se muestra en la "Imagen 78"

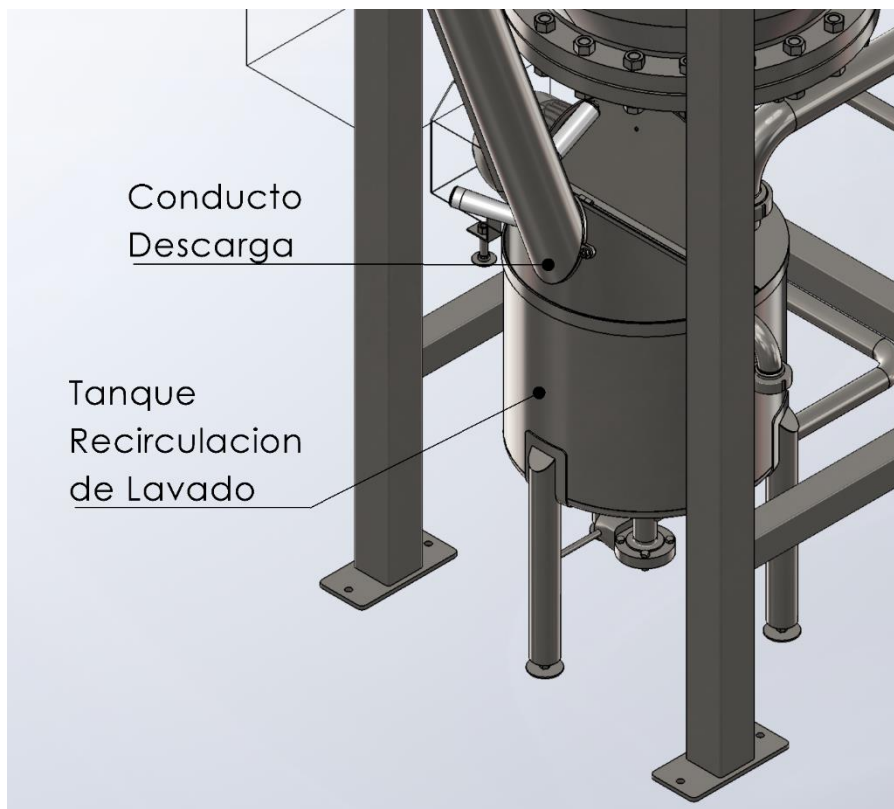


IMAGEN 78

Paso siguiente, se debe llenar el tanque de recirculado abriendo la válvula que habilita el ingreso de agua al tanque por su conexión de llenado, al mismo tiempo que se debe asegurar que la válvula mariposa de drenaje se encuentre cerrada. En la imagen "Imagen 79" se visualiza una vista del tanque de recirculación de lavado con la conexión para el ingreso de agua, cuya conexión estuvo enteramente a cargo del cliente.

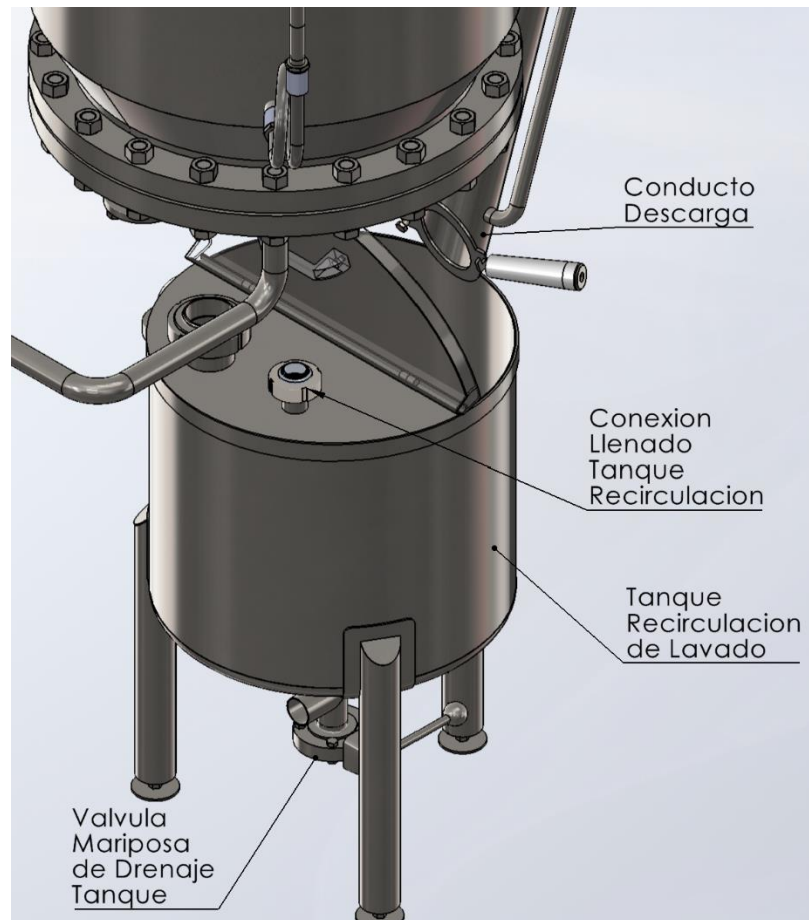


IMAGEN 79

Una vez lleno el tanque de recirculado, se deben accionar manualmente las válvulas que se muestran en la "Imagen 80", primeramente se debe mantener cerrada la "Válvula mariposa de Lavado de Tanque", de tal manera que el agua de lavado circule en la cañería de impulsión proveniente de la bomba, entre al ramal de lavado de producto. A su vez, se debe abrir la "Válvula Mariposa de Lavado de Producto" para lograr que el agua circule hacia la cañería de retorno de lavado hacia el filtro de línea. Consecuentemente, y para evitar que el agua de lavado ingrese al tanque y así diluir el almíbar dentro de este, se incluyó una sentencia de programación en la "Válvula Mariposa Actuada" para que la misma se encuentre siempre cerrada cuando el equipo cocinador no se encuentre en fase de producción.

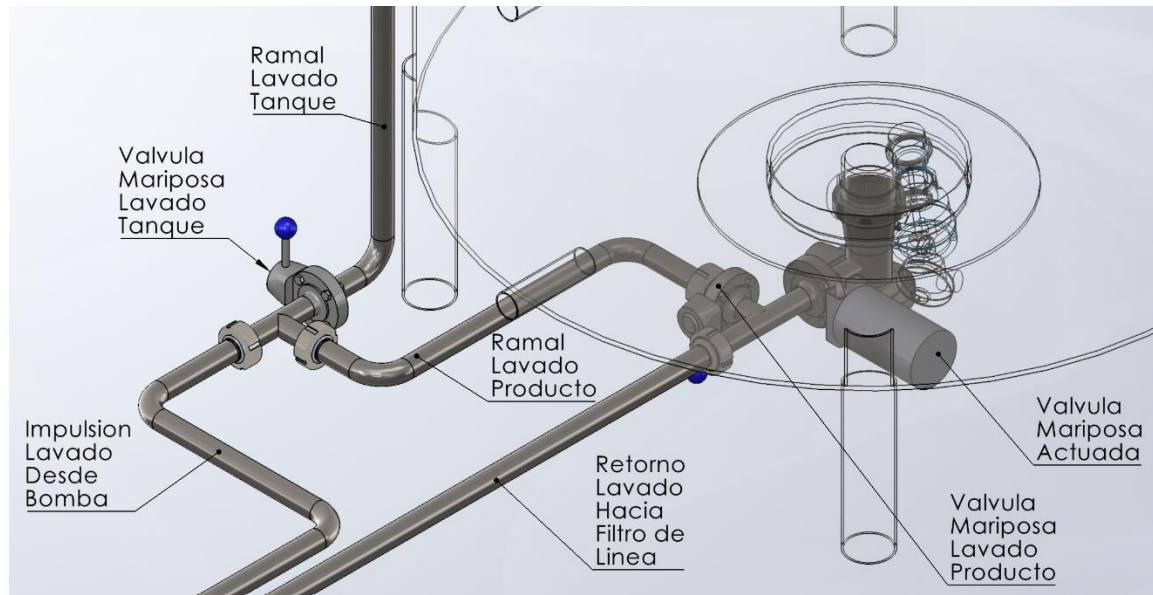


IMAGEN 80

Cabe destacar que si bien el sistema incorpora válvulas manuales que se deben accionar antes de comenzar el ciclo de lavado, toda la instalación está preparada para ser automatizada en un futuro agregando actuadores neumáticos a las válvulas manuales y realizando la programación del PLC correspondiente.

La "Imagen 81" muestra una captura del menú de lavado mostrado en la pantalla HMI del equipo. Una vez seleccionado el tipo de lavado tocando la perilla roja de la parte superior del menú de lavado, vemos que debajo se muestra una lista de todas las instancias mencionadas anteriormente que se deben corroborar antes de que el equipo habilite el inicio del lavado. De esta manera nos evitamos posibles riesgos de malas maniobras por olvidos por parte del operario.



IMAGEN 81

En la parte inferior del menú de lavado de la pantalla vemos que se encuentra un contador de tiempo, para llevar control del ciclo de lavado.

Para eliminar la totalidad del almíbar en las cañerías, se deben realizar dos o tres lavados en recirculación sucesivos. Una vez transcurrido un tiempo determinado, una alarma sonora nos indica que es tiempo de parar el ciclo de lavado actual, drenar el agua contenida en el taque de recirculado, y llenarlo nuevamente para recircular agua limpia.

#### 4.7.2 Lavado Tanque Almíbar

Como se mencionó con anterioridad, este lavado se suele realizar de manera semanal, para evitar cristalizaciones en los laterales del interior del taque depósito de almíbar.

En este caso, el recorrido del agua es el mostrado en color rojo en la "Imagen 82"

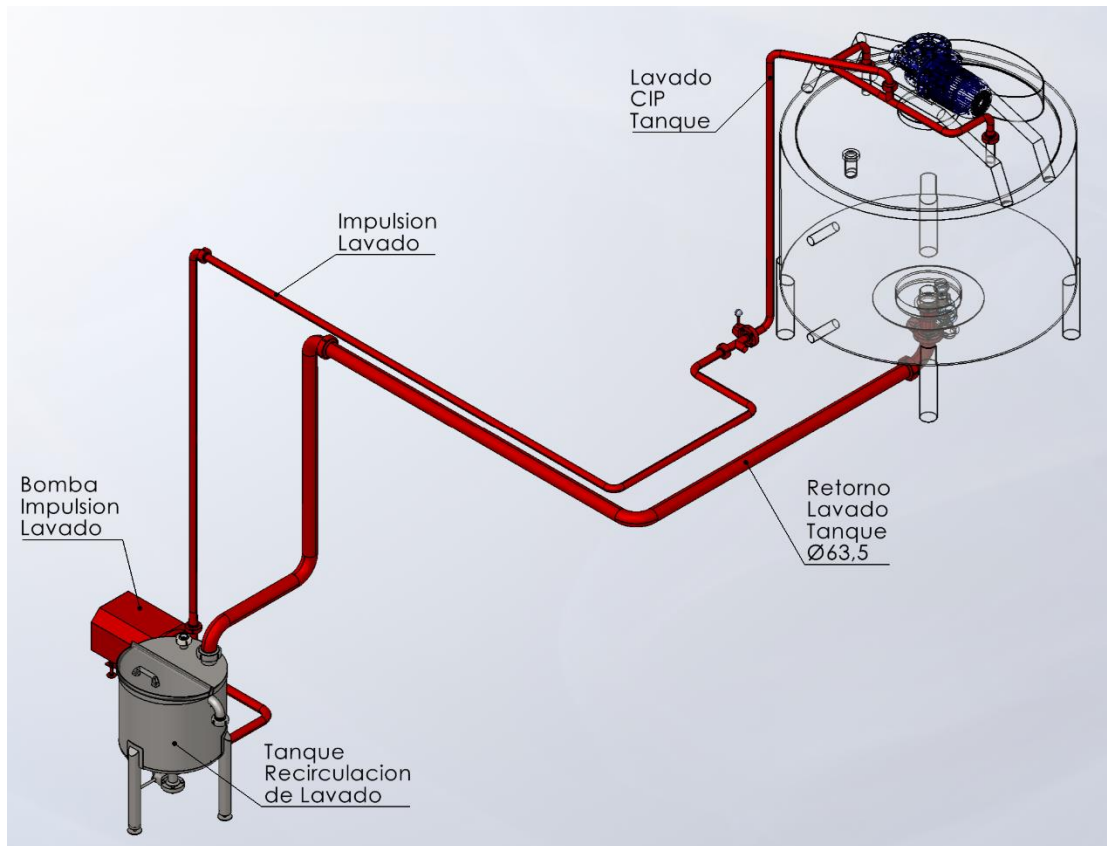


IMAGEN 82

Para dar comienzo al lavado del tanque depósito de almíbar, primeramente se debe seleccionar ese tipo de lavado en el menú de la pantalla HMI que se muestra en la "Imagen 81"

Los pasos siguientes son similares a los del lavado de la cañería de producto; llenar con agua limpia el tanque de recirculación de lavado. Accionar las válvulas, pero esta vez de manera diferente para lograr otro recorrido del agua de lavado.

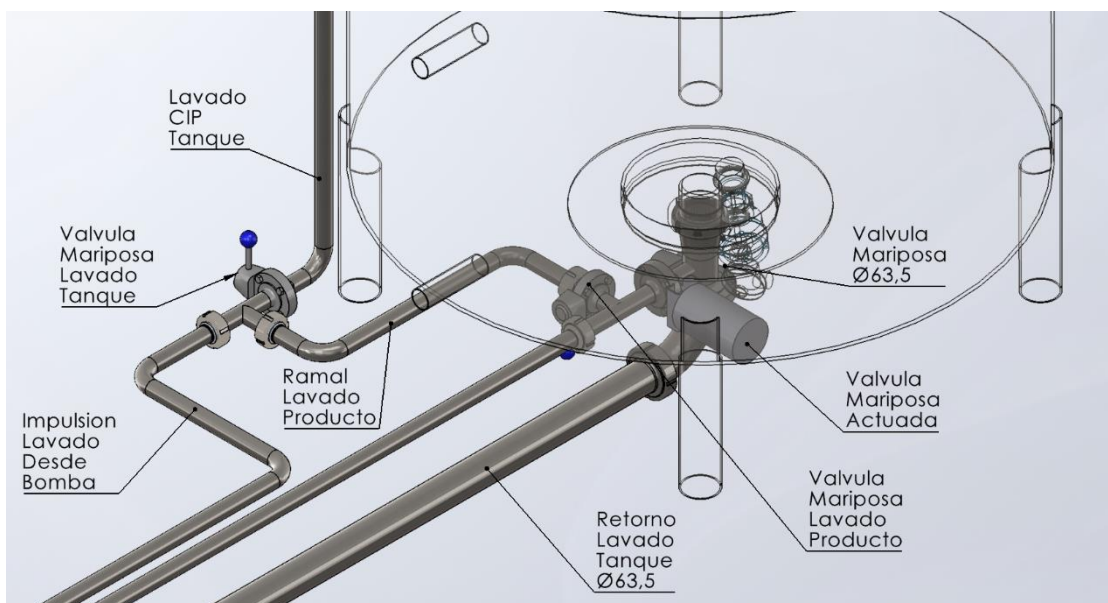


IMAGEN 83



En la "Imagen 83" nos encontramos con una vista donde se aprecian las válvulas que debemos actuar manualmente para lograr un recorrido de agua de lavado direccionado hacia las bochas de lavado del tanque de almíbar. Para ello, primeramente debemos abrir la "Válvula Mariposa Lavado Tanque" y cerrar la "Válvula Mariposa Lavado Producto". Con ello lograremos que el agua proveniente de la cañería de impulsión de lavado desde la bomba, se dirija hacia el ramal de lavado CIP del tanque y posteriormente a las bochas CIP del mismo.

Por otra parte, para permitir el retorno de agua hacia el tanque de recirculado, se debe abrir la "Válvula Mariposa Ø63,5" que se ubica en el fondo del tanque, esto habilita el paso de agua de lavado desde el interior del tanque hacia la cañería de retorno de lavado de Ø63,5 mm, la cual devuelve el agua al tanque de recirculación de lavado para ser captada nuevamente por la bomba.

Como se mencionó anteriormente, el sistema está preparado para incorporar válvulas automáticas comandadas por el PLC en un futuro. De esta manera solo con accionar los comandos en la pantalla HMI, el sistema abre o cierra las válvulas correspondientes según el lavado que se seleccione.

Para lograr disolver con mayor facilidad los cristales de azúcar del interior del tanque depósito de almíbar, se debe calefaccionar el agua para aumentar su solubilidad. Recordemos el esquema mostrado en la "Imagen 82", en la cual vemos que el agua no circula a través de la serpentina para su calefacción, por lo tanto no podrá ser calefaccionada de esta manera. Pero como sabemos, contamos con una camisa calefaccionada mediante vapor en el tanque de almíbar, y en su fondo un sensor de temperatura con el que podemos generar un lazo de control del agua en recirculación. Una vez iniciado el ciclo de lavado, la bomba comienza a enviar agua fría hacia el tanque, al mismo tiempo que se abre la válvula esférica de bloqueo de vapor en la camisa del tanque, esto genera que el agua de lavado dentro del tanque se caliente al entrar en contacto con las paredes de mismo. Mediante el sensor de temperatura PT-100 del fondo del tanque de almíbar, podemos utilizar los mismos set points de temperatura para agua que utilizamos en el caso del lavado de serpentina.

#### **4.7.3 Cañería de Impulsión de Lavado.**

La cañería de impulsión de lavado del producto que se abordará se muestra en color rojo en la "Imagen 84"

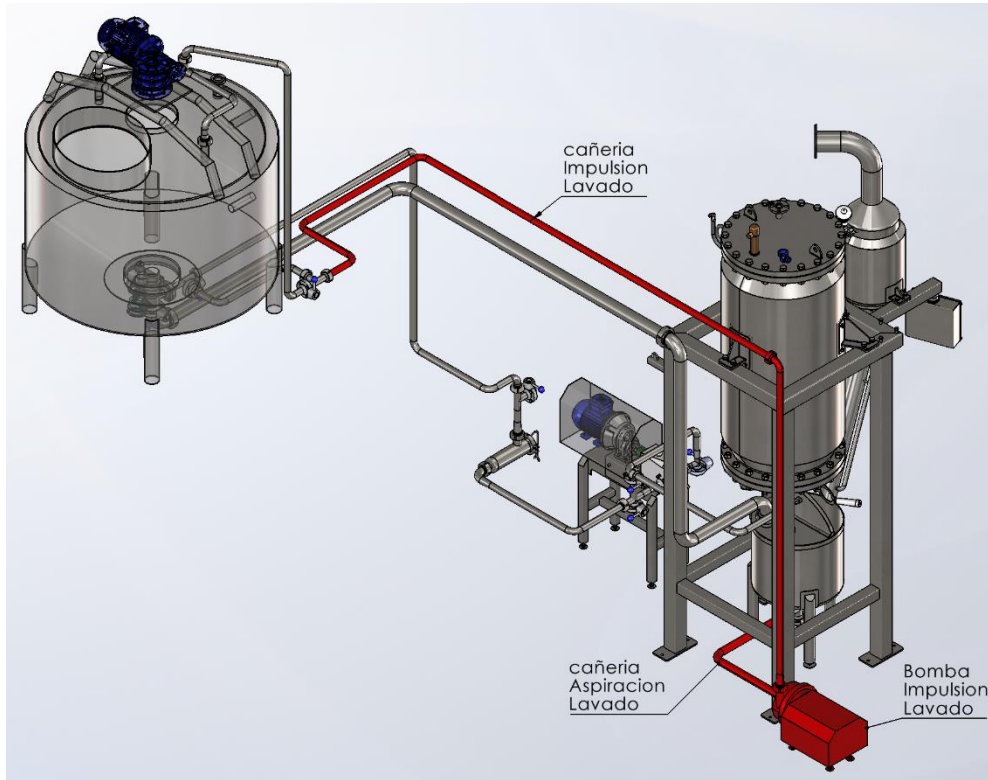


IMAGEN 84

Comprende desde la aspiración de la bomba de lavado ubicada sobre el tanque de recirculación de lavado, referirse a la "Imagen 85", hasta la bifurcación de la cañería del tanque de almíbar mostrada en la "Imagen 86"

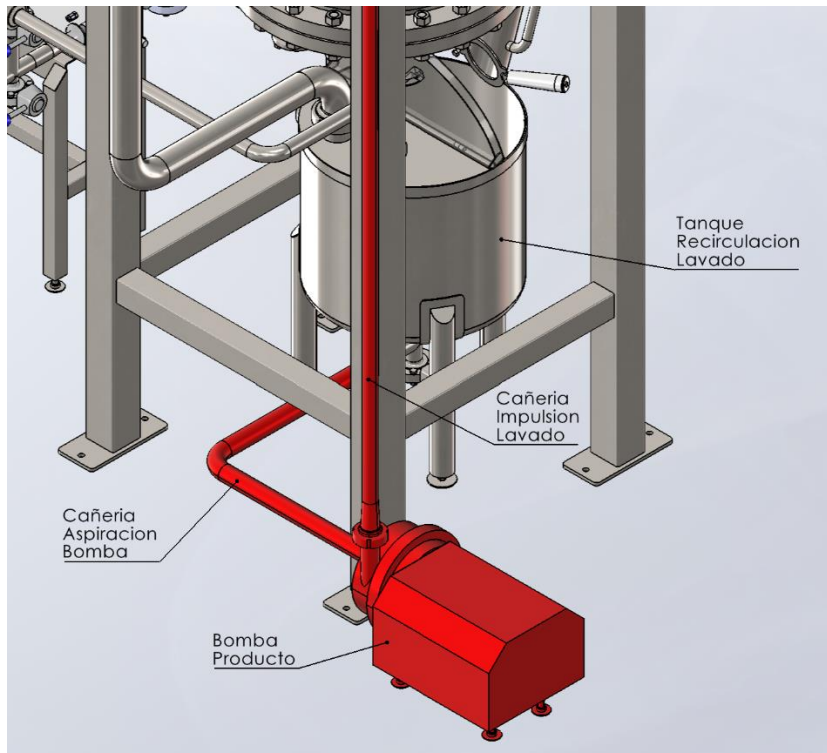


IMAGEN 85

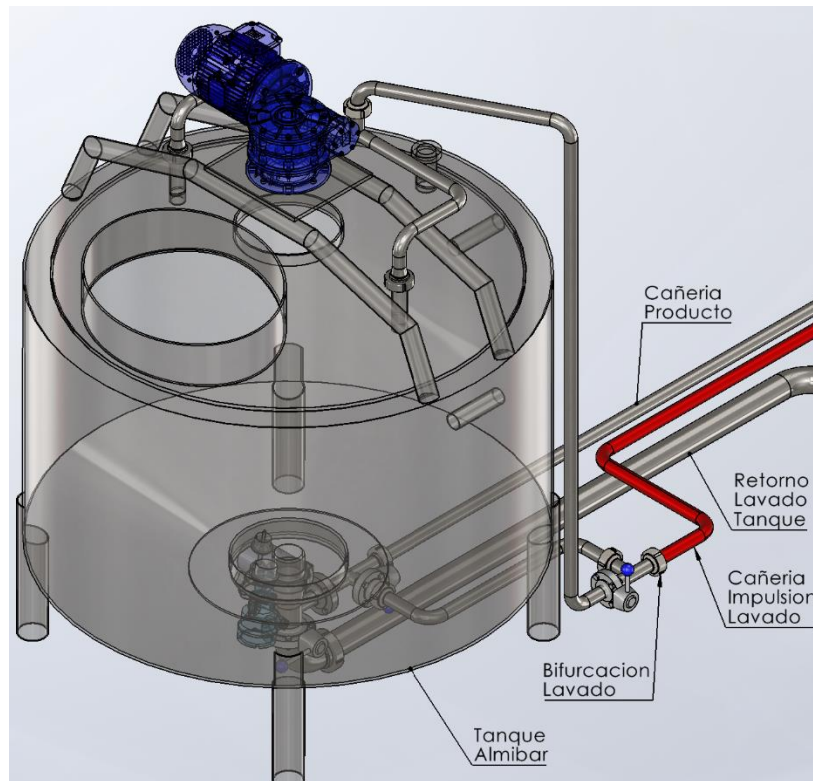


IMAGEN 86

En cuanto al dimensionamiento de esta cañería, se tuvo en cuenta principalmente el factor de unificación de elementos de toda la instalación, tales como válvulas y uniones dobles, por ello es que se decidió utilizar el mismo diámetro de 31,8 mm que para la cañería de producto, con la finalidad de facilitar el stock de repuestos.

Esto además teniendo en cuenta que la pérdida de carga adicional que este tramo de cañería suma al sistema no es sustancial si consideramos el resto de la cañería con todos sus accesorios, como veremos mas adelante durante el cálculo y la selección de la bomba de lavado.

#### 4.7.4 Bomba de Lavado

Para seleccionar la bomba de impulsión de lavado, se deben tener en cuenta algunos factores como por ejemplo el fluido que se está impulsando y las condiciones sanitarias requeridas por la instalación. En nuestro caso, el fluido a manejar es agua en el mayor de los casos. Pero como se mencionó con anterioridad, semanalmente se realiza un lavado en recirculación con solución acida con ácido nítrico al 2% de concentración, concentración estándar para un ciclo de lavado industrial. Es por ello que debemos asegurarnos de que el equipo seleccionado sea apto para limpieza CIP.

Por otro lado los datos requeridos para la determinación de la bomba a utilizar son caudal y presión de impulsión.

Primeramente determinaremos el caudal que debe circular en la cañería. Para ello, proponemos una velocidad de lavado de 3 m/s en la serpentina.

Teniendo en cuenta la el área de la sección interior de la serpentina, recordando que se fabricó de caño de Dn 1" ( $\varnothing 33,4$  mm) Sch5 (esp: 1,65 mm)

$$Area Interior = \frac{(D_{ext} - 2 * esp)^2 * \pi}{4} = \frac{(33,4 \text{ mm} - 2 * 1,65 \text{ mm})^2 * \pi}{4} = 712 \text{ mm}^2 = 0.000712 \text{ m}^2 = Area Interior$$

$$Caudal = Area\ Int * Velocidad = 0.000712\ m^2 * 3\ \frac{m}{s} = 0.002136\ \frac{m^3}{s} = 7,70\ \frac{m^3}{h} = Caudal$$

El cálculo del caudal nos brinda un resultado de 7,7 m<sup>3</sup>/h.

Para terminar con la selección de la bomba, debemos determinar la presión a la que debe impulsar el caudal calculado. Para ello debemos determinar cuál de los dos circuitos de lavado posibles del equipo genera mayor pérdida de carga.

En primer lugar, el lavado del tanque depósito de almíbar, donde tenemos que impulsar el agua hasta las bochas CIP en la parte superior del tanque, para visualizar esto podemos referenciamos a la “Imagen 82”.

Para ello, calculamos la cantidad de metros de cañería y sus accesorios, también debemos tener en cuenta la diferencia de altura a la que se debe elevar el agua de lavado que en este caso es de 3 metros.

La longitud de cañería lineal resultan ser 8 metros, tenemos 1 válvula mariposa y 8 codos a 90°.

Con la ayuda de un software online de TLV para determinar la perdida de carga de líquidos en cañerías. Obtenemos el siguiente valor mostrado en la “”.

Pipe Inner Diameter	28.8	mm
Pipe Length [?]	8	m
Obstructed Flow Valves (e.g.Globe) (Qt'y) [?]	0	
Through Flow Valves (e.g. Gate) (Qt'y) [?]	1	
Check Valves (Qt'y) [?]	0	
Elbows (Qt'y) [?]	8	
Roughness of Interior Pipe Wall [?]	0.05	mm
Water Flow Rate	7.7	m <sup>3</sup> /h

Hide Advanced Options

**Calculate**

Clear

**Result**

Pressure Loss                      0.812601                      bar

**IMAGEN 87**

Vemos que nos arroja un valor de perdida de carga en la cañería de aproximadamente 0,8 bar, lo que equivale a unos 8 metros de columna de agua.

A este valor debemos sumar también la pérdida de carga extra que generan las bochas CIP. Para ello nos valemos de una tabla mostrada en la “Imagen 88” que brinda datos de pérdida de carga de bochas CIP con dimensiones muy similares a las utilizadas en el equipo.

Al tener dos bochas CIP instaladas, el caudal circulante por cada una de ellas será la mitad del caudal impulsado por la bomba. Es decir, que por cada bocha CIP circulará alrededor de 4 m<sup>3</sup>/h

Gráfica Caudal vs.Presión Bolas SC

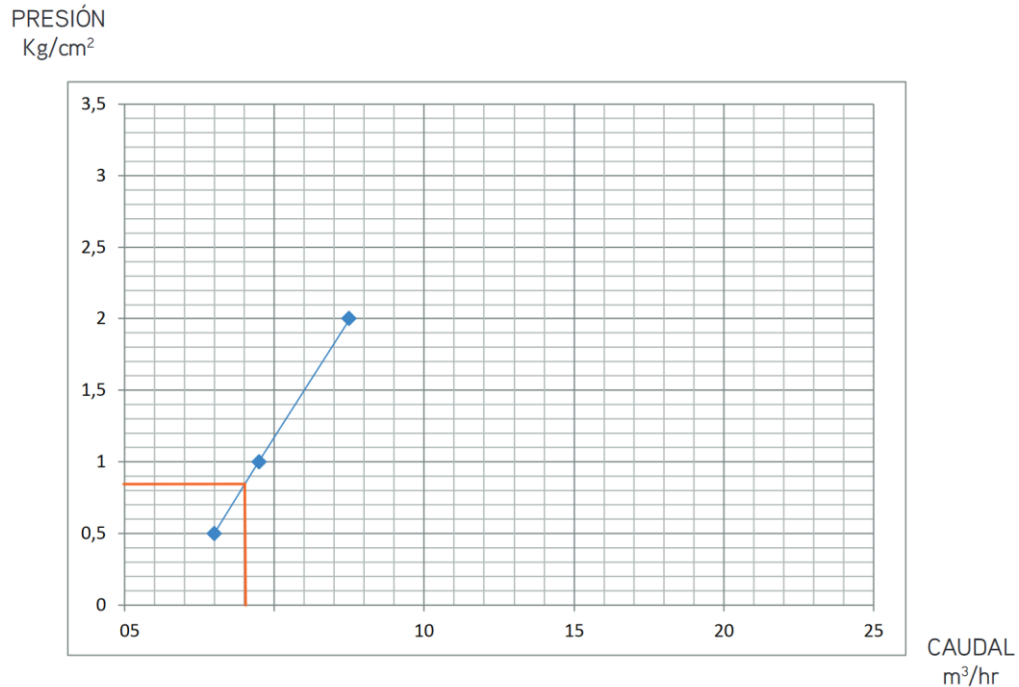


IMAGEN 88

Vemos que tenemos alrededor de 0,85 bar, u 8,5 metros de columna de líquido de pérdida de carga.

Por lo tanto la pérdida de carga total del sistema será la sumatoria de las pérdidas de carga de la cañería y las bochas CIP, más la diferencia de altura.

$$\text{Perd Carga Total} = \text{Altura} + \text{Perd Carga}_{\text{Cañería}} + \text{Perd Carga}_{\text{Bochas}} = 3 \text{ m.c.a.} + 8 \text{ m.c.a.} + 8,5 \text{ m.c.a.} = \underline{19,5 \text{ m.c.a.}}$$

La pérdida de carga del circuito de lavado cuando circulan 7,7 m<sup>3</sup>/h es de 19,5 m.c.a.

Ahora veremos la pérdida de carga total del sistema teniendo en cuenta el circuito de lavado de cañería de producto más serpentina. El esquema de lavado se muestra en la "Imagen 75" y la "Imagen 76"

En este caso la diferencia de altura se toma hasta la parte más elevada del serpentín. Es de aproximadamente 2,1 metros, tal como se ve en la "Imagen 89"

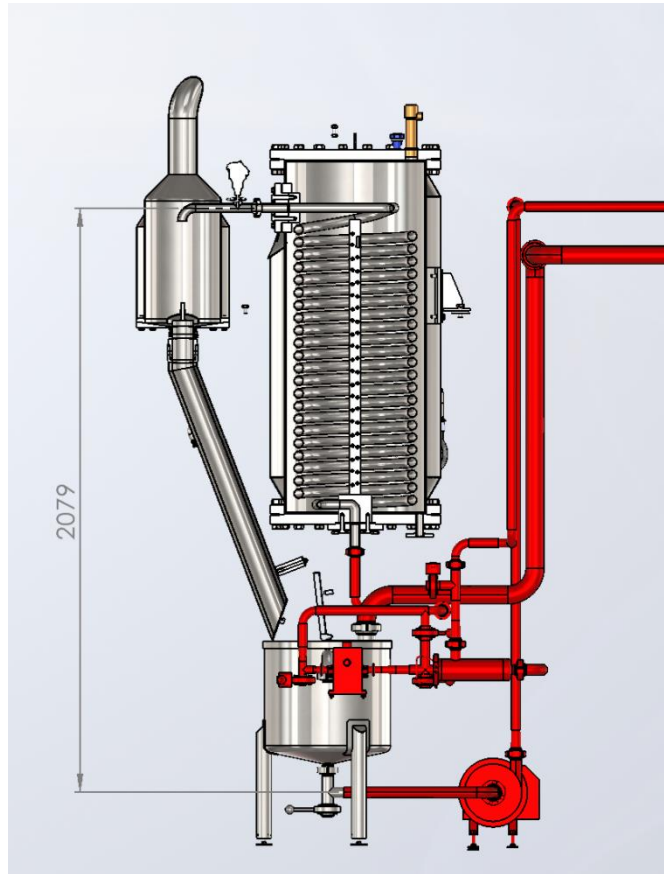


IMAGEN 89

El largo total de cañería en este caso es de 42 metros lineales, hay 21 codos a 90°, y 3 válvulas mariposa.

Cabe destacar que no se considerará la pérdida de carga en el filtro de línea, ya que para su limpieza se retira el cartucho filtrante y el imán para lavarlos en una estación de lavado. Por lo tanto el agua de lavado puede circular a una velocidad mucho más baja a través de él debido a su diámetro mucho mayor y por lo tanto su pérdida de carga será insignificante.

Nuevamente recurrimos al software de cálculo de pérdida de carga de TLV para determinar su valor en este caso, referirse a la "Imagen 90".

Pipe Inner Diameter	<input type="text" value="28.8"/>	mm	▼
Pipe Length [?]	<input type="text" value="42"/>	m	▼
Obstructed Flow Valves (e.g.Globe) (Qt'y) [?]	<input type="text" value="0"/>		
Through Flow Valves (e.g. Gate) (Qt'y) [?]	<input type="text" value="3"/>		
Check Valves (Qt'y) [?]	<input type="text" value="0"/>		
Elbows (Qt'y) [?]	<input type="text" value="21"/>		
Roughness of Interior Pipe Wall [?]	<input type="text" value="0.05"/>	mm	▼
Water Flow Rate	<input type="text" value="7.7"/>	m <sup>3</sup> /h	▼

Calculate

Clear

<b>Result</b>		
Pressure Loss	3.10919	bar

**IMAGEN 90**

Vemos que en este caso la pérdida de carga en la cañería es sustancialmente mayor, dando un resultado de aproximadamente 3,1 bar, o 31 m.c.a.

La pérdida de carga total será la sumatoria de la perdida de carga de la cañería, más la diferencia de altura.

$$\text{Perd Carga Total} = \text{Altura} + \text{Perd Carga}_{\text{Cañeria}} = 2,1 \text{ m.c.a.} + 31 \text{ m.c.a.} = \underline{\underline{33,1 \text{ m.c.a.}}}$$

Comparando los dos valores obtenidos entre los dos diferentes circuitos de lavado, concluimos que la mayor pedida de carga se da en el caso del lavado de la cañería de producto, con 33,1 m.c.a.

Por lo tanto, la bomba a seleccionar debe cumplir los requisitos de sanitariedad, aptitud para manejar líquidos de limpieza CIP, y cubrir los valores de caudal y presión hallados.

Para estos parámetros de caudal y presión, una bomba de tipo centrifuga horizontal se adecúa de manera correcta. Son normalmente utilizadas para impulsión de fluidos de lavado en la industria, son robustas, económicas y de simplicidad constructiva.

La bomba seleccionada es marca SIMES, modelo 340, de 3 kW de potencia. La misma es apta para limpieza CIP y para aplicaciones sanitarias, todos los elementos en contacto con el producto son fabricados en material acero AISI 304.

Su curva característica se muestra a continuación en la “Imagen 91”, con su indicación de punto de funcionamiento de 7,7 m<sup>3</sup>/h a 33 m.c.a.

SIMES 340

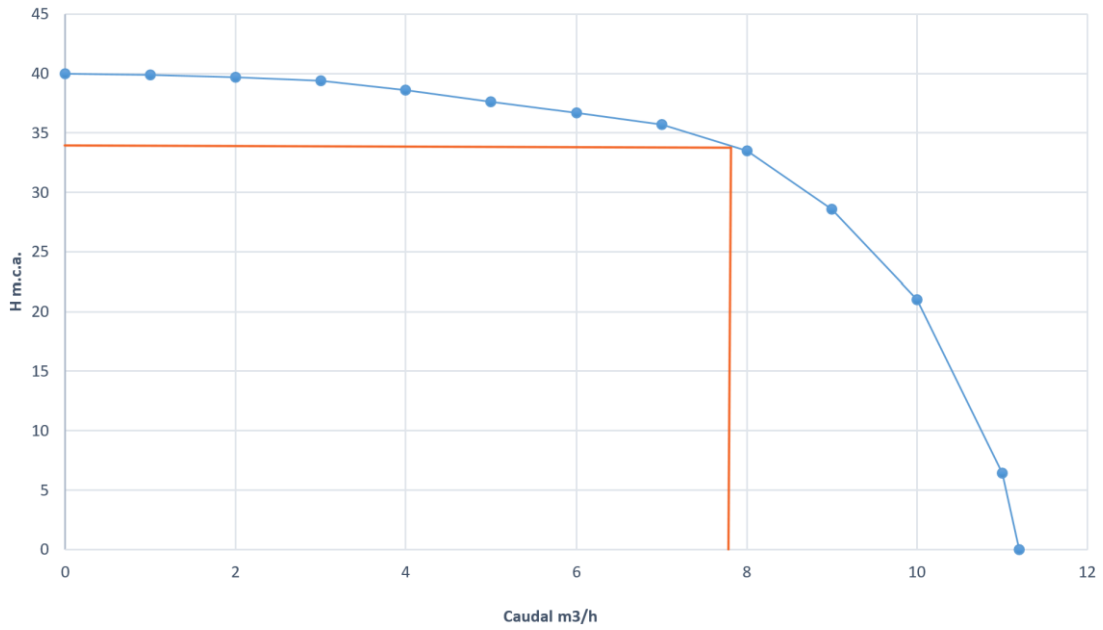


IMAGEN 91

#### 4.7.5 Cañería de Retorno de Lavado.

En este apartado, se tratará el proceso de selección del diámetro de la cañería de retorno de lavado, resaltado en color rojo en la "Imagen 92"

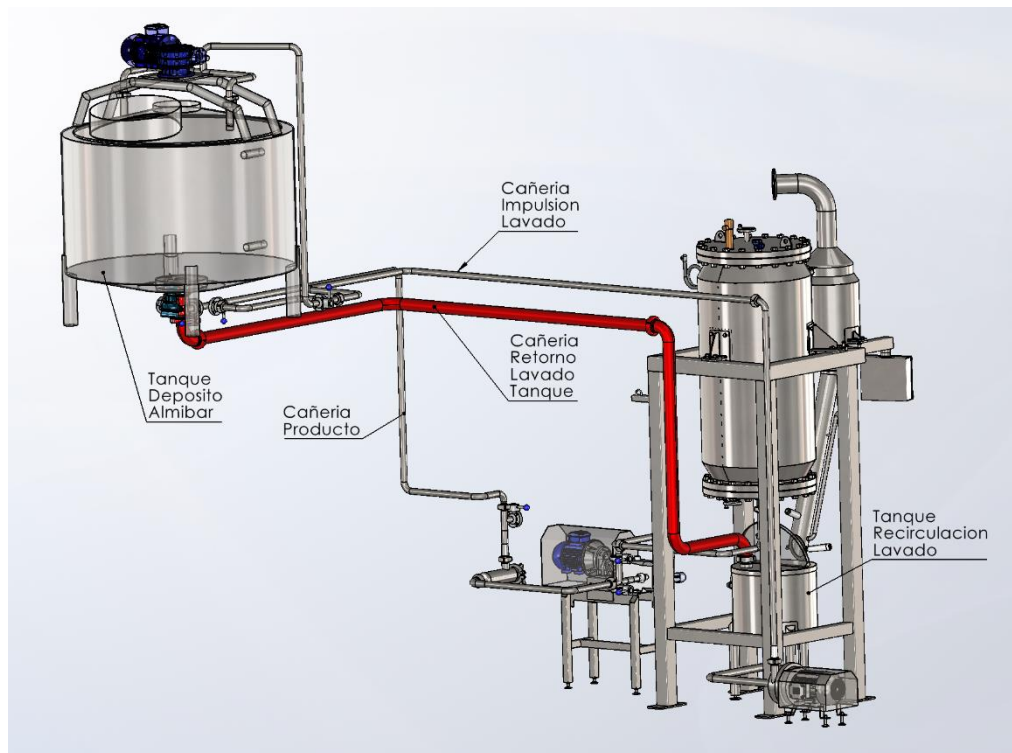


IMAGEN 92

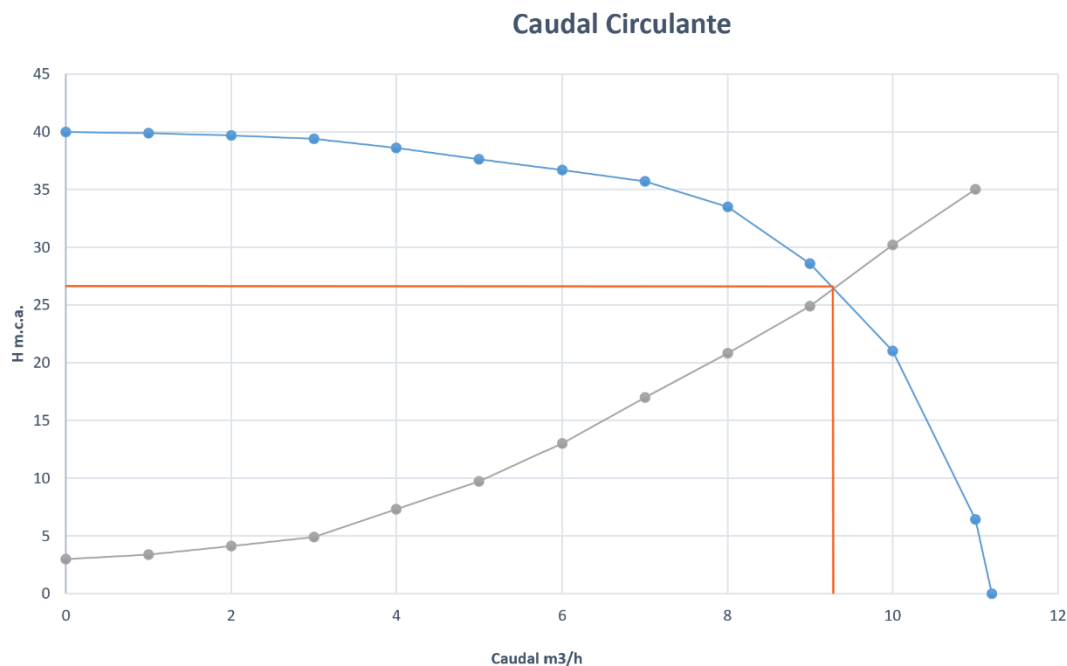


Para calcular el diámetro de cañería, primeramente debemos conocer que caudal circulará por la misma.

Ahora que ya seleccionamos la bomba a utilizar para el sistema de lavado, teniendo en cuenta que se halló el caudal circulante para el circuito de lavado de cañería de producto, ahora debemos conocer el nuevo caudal que circulará en la cañería de lavado hasta las bochas CIP, para el circuito de lavado de tanque de almíbar, ya que ese será el caudal que debemos poder desalojar con la cañería calculada.

Para conocer este dato, debemos intersecar la curva de la bomba brindada por el fabricante con la curva que representa la pérdida de carga del sistema en función del caudal.

Los datos de pérdida de carga del sistema fueron hallados utilizando la herramienta online de TLV para pérdida de carga en cañerías de líquido, sumando la pérdida de carga parcial de las bochas CIP y contemplando la diferencia de altura de 3 metros.



**IMAGEN 93**

En la "Imagen 93" se muestra la intersección de las curvas de la bomba, mostrado en color azul, con la curva del sistema, mostrada en color gris. Vemos que el punto de intersección, correspondiente a los parámetros bajo los cuales estará trabajando la bomba arrojan un caudal de aproximadamente 9,2 m<sup>3</sup>/h a una presión de unos 27 m.c.a.

Es decir, que el caudal que debemos desalojar por nuestra cañería de drenaje es de 9,2 m<sup>3</sup>/h.

Para la verificación de la cañería a utilizar, partiremos del planteamiento de la ecuación de Bernoulli para los puntos comprendidos entre la descarga del tanque de almíbar a lavar (Punto 1), y la conexión de ingreso de agua al tanque de recirculación de lavado (Punto 2).

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Vemos en la "Imagen 94" que la altura comprendida entre los dos puntos es de 1663 mm.

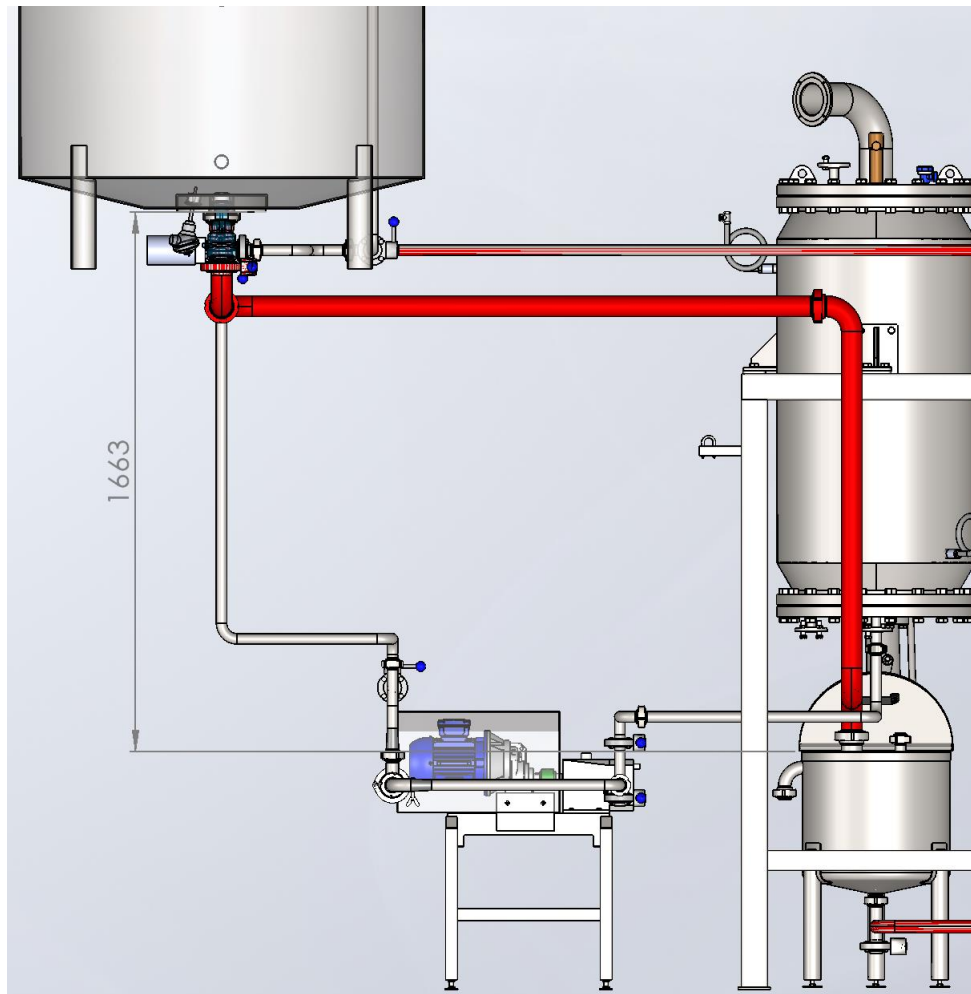


IMAGEN 94

Tomando como punto de altura cero al ingreso de agua al tanque de recirculado (Punto 2), y teniendo en cuenta que las densidades son iguales en los dos puntos, además de que la velocidad del Punto 1 en el interior del tanque es suficientemente baja para ser considerada cero. Y por último, por ser las presiones en el Punto 1 y Punto 2 ambas atmosféricas, la ecuación de Bernoulli se nos ve simplificada a esta expresión:

$$gh_1 = \frac{1}{2}v_2^2$$

Ahora despejando la velocidad:

$$\sqrt{2gh_1} = v_2$$

Multiplicando por el área interior de la cañería para obtener el caudal.

Siendo el área interna:

$$Area = \frac{\pi * \phi_i^2}{4} = \frac{\pi * 0.0605^2}{4} = 0.002875 \text{ m}^2 = Area$$

Ahora multiplicando área por velocidad para obtener caudal:

$$Q = 0.002875 \sqrt{2gh_1}$$

Elevando al cuadrado a ambos lados de la igualdad:

$$Q^2 = 0.002875^2 * 2 * 9.8 * h_1$$

Dejamos el caudal en función de la altura afectada por la constante:

$$Q^2 = 0.000162 * h_1 \quad (\text{Ec. 1})$$

Ahora, teniendo en cuenta que la fuerza motriz  $h_1$  del agua es la diferencia de altura, a la que hay que restarle la pérdida de carga que se genere en la cañería, planteamos la siguiente ecuación.

$$h_1 = h - h_f$$

Donde:

- $h$  es la diferencia de altura entre puntos 1 y 2, que resulta ser 1663 mm
- $h_f$  es la pérdida de carga del sistema para el caudal determinado.

Reemplazando  $h_1$  en la ecuación (Ec. 1) tenemos:

$$Q^2 = 0.000162 * (h - h_f) \quad (\text{Ec. 2})$$

Para el cálculo de  $h_f$ , utilizaremos la ecuación de Darcy-Weisbach, que nos brinda una expresión para determinar la pérdida de carga en tuberías.

$$h_f = 0.0826 * f * \frac{Q^2}{\emptyset^5} L$$

Siendo:

- " $h_f$ " la pérdida de carga del sistema cuando circula el caudal  $Q$
- " $f$ " es el factor de fricción
- " $\emptyset$ " es el diámetro interno de la cañería, que es igual a 0.0605 m
- Y el factor " $L$ " es el largo efectivo de la cañería comprendiendo accesorios y válvulas. Que resulta ser 20 metros, considerando una válvula mariposa abierta y 5 codos a 90°.

Ahora reemplazamos  $h_f$  en la (Ec. 2) y obtenemos:

$$Q^2 = 0.000162 * (h - 0.0826 * f * \frac{Q^2}{\emptyset^5} L) \quad (\text{Ec. 3})$$

Para obtener el factor de fricción " $f$ ", debemos suponer una velocidad, para poder ingresar al diagrama de Moody. Luego de obtener el primer resultado, se recalcula el factor " $f$ " con el caudal obtenido para mayor precisión. Es decir que se debe realizar un proceso iterativo de cálculo.

Considerando una velocidad de 3 m/s obtenemos un factor de fricción de 0.02, obtenido mediante un calculador online mostrado en la "Imagen 95"

## Pressure Drop Online-Calculator

### Calculation output

Flow medium:	Water 20 °C / liquid
Volume flow::	31 m³/h
Weight density:	998.206 kg/m³
Dynamic Viscosity:	1001.61 10-6 kg/ms
Element of pipe:	circular
Dimensions of element:	Diameter of pipe D: 60.5 mm Length of pipe L: 20 m
Velocity of flow:	3 m/s
Reynolds number:	180607
Velocity of flow 2:	-
Reynolds number 2:	-
Flow:	turbulent
Absolute roughness:	0.05 mm
Pipe friction number:	0.02
Resistance coefficient:	6.76
Resist.coef.branching pipe:	-
Press.drop branch.pipe:	-
Pressure drop:	302.89 mbar 0.3 bar

IMAGEN 95

Trabajando la Ec. 3 obtenemos:

$$Q^2 = 0.000162 * (1.663 - 0.0826 * 0.02 * \frac{Q^2}{0,0605^5} 20)$$

Despejando  $Q^2$

$$Q^2 = 0.000269 - 6,6 Q^2$$

Resolviendo para Q y multiplicando por 3600 para obtener el valor en unidades de m³/h, obtenemos:

$$Q = \sqrt{\frac{0.000269}{7,6}} * 3600 = 21 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ahora con este valor obtenido, hallaremos un nuevo valor de factor de fricción “f” y realizaremos el calculo nuevamente.

“f” para el valor de caudal nuevo es de 0,017.

Recalculando obtenemos un valor de caudal

$$Q^2 = 0.000269 - 5,6 Q^2$$

Resolviendo para Q y multiplicando nuevamente por 3600 para obtener el valor en unidades de m³/h, obtenemos:

$$Q = \sqrt{\frac{0.000269}{6,6}} * 3600 = 23 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con este valor queda demostrado que la cañería es capaz de desalojar un volumen sustancialmente mayor que los 9,2 m<sup>3</sup>/h que impulsa la bomba de lavado en las condiciones de lavado de tanque de almíbar.

#### 4.7.6 Tanque de Recirculación.

El tanque de recirculación de lavado cumple su rol durante cualquier de los dos ciclos de limpieza del equipo, tanto del lavado de cañería de producto y serpentina, como de lavado de depósito de almíbar. De igual manera se utilizará para los lavados con solución acida desincrustante.

En ambos casos, oficia de tanque pulmón para acumular cierto volumen de agua, el cual se ocupará para llenar las cañerías hasta que pueda retornar nuevamente al tanque.

En la "Imagen 96" se muestra una vista tridimensional del tanque, donde se indican sus partes principales y sus conexiones.

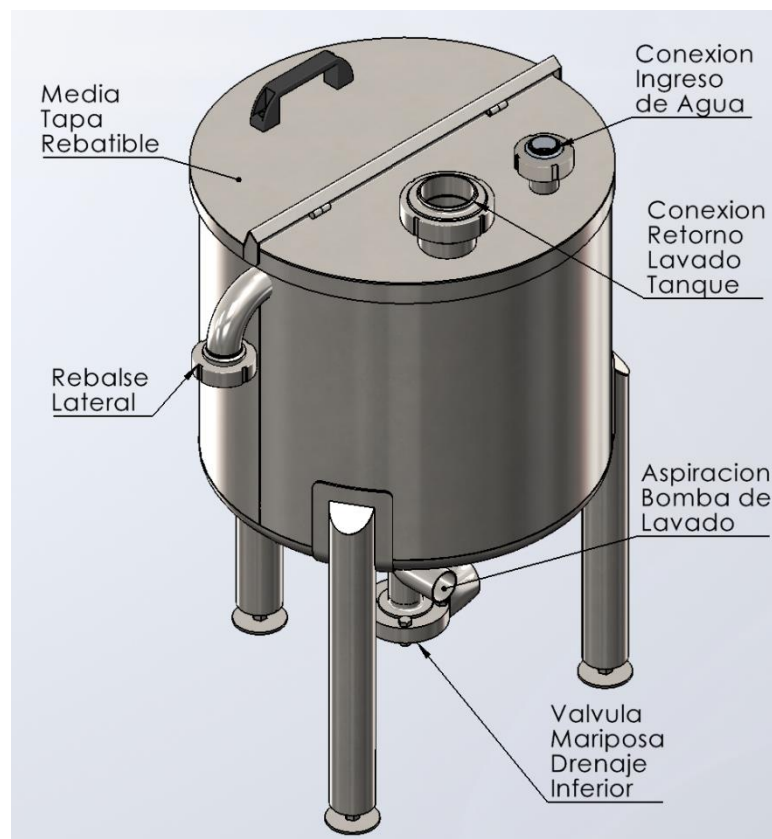


IMAGEN 96

Las conexiones de drenaje inferior y de rebalse lateral fueron conectadas a ramales que conducen el fluido hacia rejillas de desagüe, tarea que fue realizada por el cliente una vez recibido el equipo.

Se incorporó en la parte superior media tapa rebatible, para inspeccionar el agua de lavado durante las sucesivas limpiezas, pero también para preparar la solución desincrustante directamente en el tanque.



IMAGEN 97

En la "Imagen 97" se visualiza la tapa rebatible incorporada en el tanque.

El criterio para determinar la capacidad del tanque de recirculación será la de asegurar que el mismo no quede sin nivel de líquido durante el llenado de la cañería al principio de los lavados, mientras se está esperando que retorne el agua al mismo.

Es decir que, el tanque de recirculación debe poseer igual o mayor volumen que el que ocupa se ocupa para llenar el interior de la cañería a lavar.

Evaluaremos los dos circuitos a lavar, y se tomará como referencia el mayor valor.

Primeramente determinamos el volumen que toma llenar la cañería en el esquema de lavado del tanque de almíbar

En este caso tendremos dos volúmenes que llenar, en el primer caso la longitud total de cañería de  $\varnothing_1=31,8$  mm hasta las bochas CIP. Y por otro lado la cañería de  $\varnothing_2=63,5$  mm de drenaje de lavado del tanque

La longitud del primer tramo desde la impulsión de la bomba hasta el ingreso a las bochas CIP es de:  $L_1=8$  m

El segundo tramo a considerar es el de drenaje del agua del tanque, en  $\varnothing 63.5$ :  $L_2=4,2$  m

$$Volumen_{Tq} = \frac{(\varnothing i_1)^2 * \pi}{4} * L_1 + \frac{(\varnothing i_{12})^2 * \pi}{4} * L_2 = \frac{(0.0288 \text{ m})^2 * \pi}{4} * 8 + \frac{(0.0605 \text{ m})^2 * \pi}{4} * 4,2 = 17 \text{ litros} = Volumen_{Tq}$$

Para el caso del lavado de la cañería de producto, tenemos 42 metros lineales que llenar contando la serpentina.

$$Volumen_{Prod} = \frac{(\varnothing i)^2 * \pi}{4} * L_{Prod} = \frac{(0.0288 \text{ m})^2 * \pi}{4} * 42 \text{ m} = 27 \text{ litros} = Volumen_{Prod}$$

Se tomará un volumen del tanque de 50 litros, con esto nos aseguramos que el agua del tanque no se encontrará en niveles demasiado bajos como para producir que la bomba se descebe.

Se incorporó un sistema de rompe vórtice en la descarga del tanque para evitar que se generen torbellinos durante la aspiración, ya que sabemos que esto suele generar problemas de descebado en las bombas centrífugas, interrumpiendo el ciclo de lavado y a la vez produciendo riesgos de daños en la bomba.

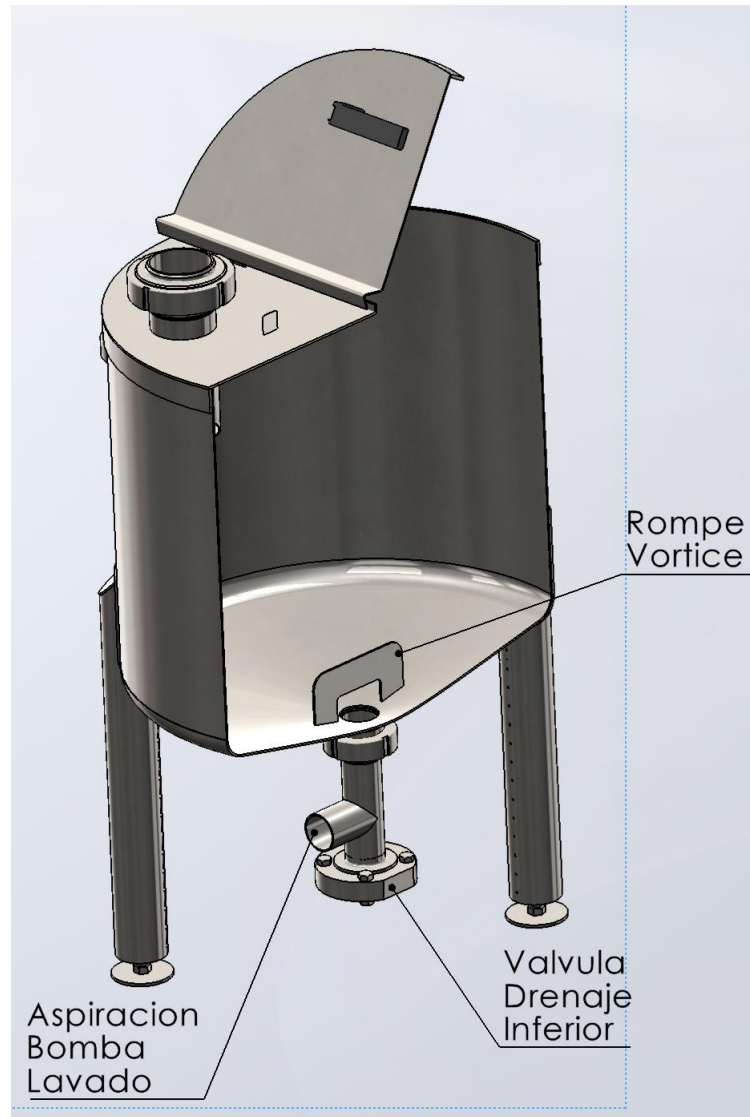


IMAGEN 98

En la "Imagen 98" se muestra un detalle del rompe vórtice del tanque.

En cuanto a los materiales para su construcción, se empleó en su totalidad acero inoxidable AISI 304 al igual que el resto del equipo, por su sanitariedad y aptitud para resistir los químicos utilizados durante los lavados desincrustantes.

La ubicación del mismo es la mostrada en la "Imagen 99" abajo, se eligió de tal manera que no obstruya con las tareas en el área de trabajo, y también hay que tener en cuenta que debía quedar al alcance del radio de acción del conducto de descarga de producto, ya que este último debe poder ubicarse encima del tanque para recircular el agua durante el lavado de serpentina.

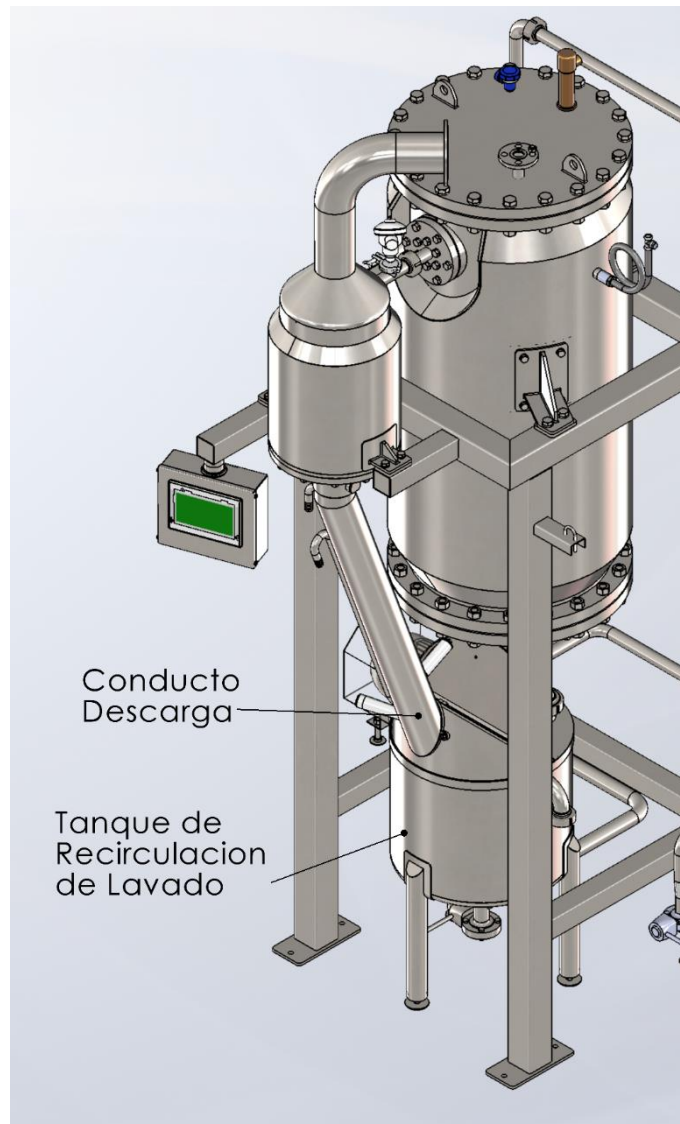


IMAGEN 99

#### 4.8 Pantalla HMI

Ubicada en la zona de trabajo del operario, y se ubica en un bastidor de chapa de acero inoxidable, el cual se fija a la estructura soporte del equipo. Posee un sistema pivotante que permite el giro de la misma para adecuarse a la ubicación del operario durante la producción, tal como se muestra en la "Imagen 100".



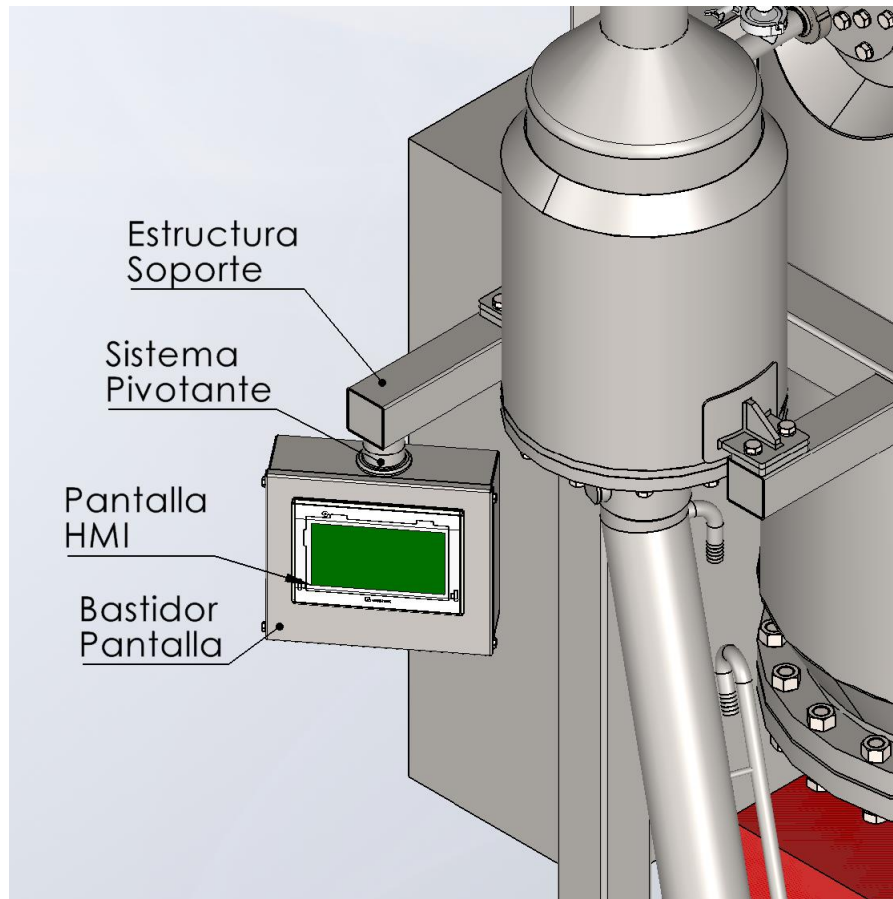


IMAGEN 100

Se seleccionó una pantalla táctil marca Weintek de 7", esta decisión estuvo a cargo del sector especializado de automatización de la empresa, debido a su experiencia con estos equipos y teniendo en cuenta también la cantidad de variables del equipo a controlar y visualizar.

La pantalla HMI es el elemento que muestra al operario la información más importante del equipo, permite el monitoreo y variación de parámetros tales como velocidad de giro de la bomba lobular, seteo de valores de presión en el cocinador durante la producción, apertura y cierre de válvulas automáticas, y además de mostrar advertencias e indicaciones durante la operación.

En la "Imagen 101" se muestra una captura de la pantalla principal. Donde se visualiza un Flow Sheet de la instalación con indicación de parámetros.

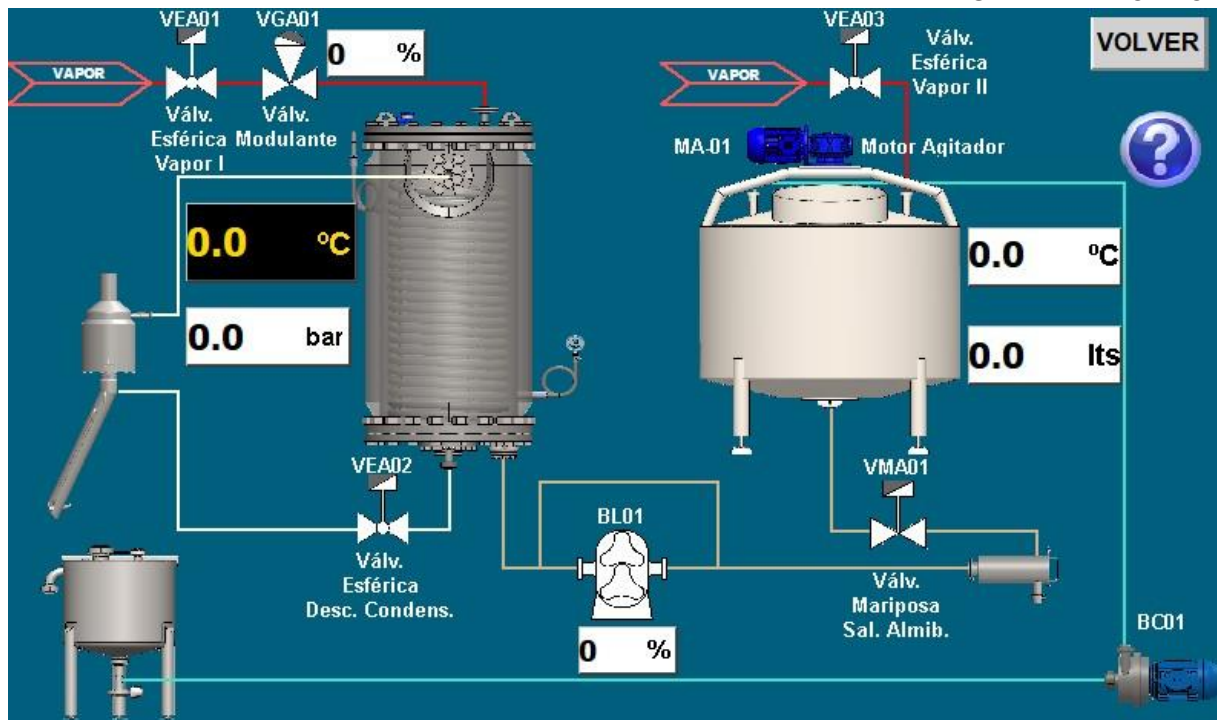


IMAGEN 101

Vemos que tenemos indicaciones como temperatura y nivel de almíbar en el tanque depósito en la parte central derecha, velocidad de giro de bomba lobular en la parte inferior central. En el extremo superior derecho se muestra la temperatura de salida de producto en amarillo, indicación de presión en el depósito y porcentaje de apertura de válvula modulante de vapor.

También cumple su rol durante las tareas de lavado tanto de cañería de producto, como de lavado de depósito como se mostró en los párrafos donde se desarrollaron estos temas.

#### 4.9 Puesta en Marcha

La puesta en marcha del equipo se realizó en la planta del cliente, posteriormente a la finalización de las cañerías de producto y lavado llevadas a cabo por parte del mismo.

Los servicios de ASEMA fueron principalmente la sintonización del lazo PID para controlar la temperatura de salida del producto comandando la válvula modulante de vapor. La sintonización se realizó tomando las lecturas del transductor de presión ubicado en el cuerpo cilíndrico del cocinador. Fijando un valor de presión de vapor saturado en el cuerpo, el PLC toma los valores entregados por el transductor de presión y en función del set point seleccionado, actúa la válvula modulante de vapor abriendo o cerrándola.

Y por otro lado el durante la puesta en marcha se realizó el acompañamiento del personal en la capacitación de operación del equipo, y entrega del manual del mismo.

## 5 Costos.

Para abordar los costos, se realizará un detalle de los costos, que tendrá en cuenta materiales y mano de obra para cada uno de los subconjuntos detallados a continuación.

Subconjunto	Costo en Materiales U\$D	Mano de Obra U\$D	Total
Recipiente Presurizado y Serpentina	7500	13700	21200
Separador Vahos y Conducto descarga	2300	3400	5700
Estructura Soporte	1050	960	2010
Cuadro de Vapor	6500	850	7350
Piping Producto	9600	2800	12400
Piping Lavado	4300	650	4950
Tanque Recirculación de Lavado	580	800	1380
Acondicionamiento de Tanque de Almíbar	4800	650	5450
Tablero eléctrico de Automatización y Puesta en Marcha.	6500	5600	12100
<b>COSTO TOTAL U\$D</b>			<b>72540</b>

## 6 Conclusión.

Se logró desarrollar un equipo que cumpliera con todos y cada uno de los requisitos solicitados por el cliente. Brindando soluciones de automatización que resultaron en controles de proceso muy precisos, y consecuentemente mejoras en la calidad del producto final respecto al obtenido por el cliente con el equipamiento anterior carente de automatización, además de una disminución en los costos de producción debido a la menor cantidad de producto de se envía a reproceso por no acatar las especificaciones requeridas.

A su vez, con el desarrollo del proyecto, se afianzaron los conocimientos adquiridos durante el cursado de las diferentes asignaturas correspondientes a la carrera de Ing. Mecánica. Al mismo tiempo, se incorporaron nuevas habilidades en cuanto a manejo de procesos industriales en general, principalmente en cuanto a equipamiento para industrias alimenticias.