

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



DISEÑO DE MACERADOR DE WHISKY

Entrega Final

Mayo 2023

DESCRIPCIÓN BREVE

Estudio, análisis, cálculo y diseño de la máquina encargada de llevar a cabo el primer y más importante proceso en la cadena de producción del Whisky de Malta. Basado en datos de una Destilería Nacional.

Santiago Zaghis

Universidad Tecnológica Nacional

Índice

1. Introducción	3
2. Conceptos Fundamentales del Proyecto	4
2.1 Nociones Básicas sobre Whisky	4
2.2 Etapas en la Producción de Whisky	5
2.3 Especificaciones del Proyecto	7
2.4 Maceración	11
2.4.1 Métodos de Maceración	12
2.4.2 Métodos de ‘Mashing’ y ‘Sparging’	14
2.4.3 Régimen de Maceración Típico	15
2.4.4 Condiciones Óptimas.....	16
2.5 Macerador: Tipos y Construcción	17
2.5.1 Importancia de la Molienda en el Filtrado	22
2.5.2 Importancia del Control de Diferencia de Presión	23
2.6 Falso Fondo	25
3. Diseño.....	27
3.1 Cálculos de Maceración	27
3.1.1 Cálculo de Temperatura de Primer Agua.....	27
3.1.2 Cálculo del Volumen de Primer Agua	27
3.1.3 Cálculo del Volumen de Bagazo.....	28
3.1.4 Cálculo de Agua Absorbida y Primer Volumen de Mosto	28
3.1.5 Determinación de Valores de Segunda Agua	29
3.1.6 Cálculo de Volumen de Macerado o Mezcla	29
3.1.7 Determinación de Caudales y Velocidades de Flujo.....	30
3.1.8 Cálculo de Fuerza de Bagazo	31
3.1.9 Cálculo de la Capacidad Calorífica del Grano	31
3.2 Composición del Macerador	32
3.3 Cálculos para Dimensionado del Macerador	40
3.3.1 Cálculo del Diámetro del Macerador	40
3.3.2 Cálculo de Espesor de Virola	41
3.3.3 Cálculo del Espesor de Fondo.....	49
3.3.4 Cálculo del Espesor de Cabezal	54
3.3.5 Cálculo del Volumen del Tanque	55
3.3.6 Determinación del Nivel de Mezcla y de Bagazo.....	56
3.4 Aislación del Tanque	58
3.5 Torreta	68
3.6 Toma de Grano	70

3.7 Anillo Rociador	80
3.8 Eje Giratorio	86
3.9 Cubo	92
3.10 Perno de Unión	93
3.11 Brazos Giratorios	97
3.12 Soporte de Falso Fondo	114
3.13 Pie de Máquina	117
3.14 Componentes Estándar	122
3.14.1 Motorreductor	122
3.14.2 Chaveta	127
3.14.3 Rodamiento	128
3.14.4 Retén	130
3.14.5 Cojinete de Fricción	131
3.14.6 Oring	133
3.14.7 Bocha CIP	135
3.14.8 Sensores	137
3.14.9 Compuertas	139
3.14.10 Pie de Máquina	143
3.14.11 Falso Fondo	143
3.15 Flow Sheet y Régimen de Maceración	146
4. Resultados y Conclusiones	148
4.1 Lista de Materiales	148
4.2 Análisis de Costos	154
4.3 Conclusión del Proyecto	157
5. Anexo: Planimetría	158
6. Bibliografía	159

1. Introducción

Se presentará a lo largo de este informe un proyecto final de carrera del área de ingeniería mecánica iniciado a mediados de marzo de 2022 en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Santa Fe y con una duración de aproximadamente un año.

El mismo consta del diseño de un macerador de whisky destinado a la producción en una destilería argentina. Es importante contar con un diseño preciso y detallado del macerador, que tome en cuenta aspectos como la capacidad, la forma, el tipo de fondo, los materiales, los espesores y el aislamiento térmico. En el interior de la maquina ocurre un proceso químico que puede ser optimizado o perjudicado según el diseño que se genere.

Este proyecto exigió muchos conocimientos tanto generales como específicos de este proceso. Fue necesario conocer sobre:

- Diseño de piezas mecánicas, de conjuntos y de piping;
- Cálculos de elementos de maquina por resistencia u otros métodos, así como estudios estructurales y mecánica de fluidos;
- Dimensionado, optimización de piezas, métodos de fabricación y mantenimiento;
- Sistemas de control y automatización;
- Selección de componentes estándar como motorreductores, rodamientos, sellos mecánicos, sensores, entre otros;
- Termodinámica;
- Normas nacionales relacionadas a la industria alimenticia, y específicamente a la de bebidas alcohólicas;
- Producción de whisky, y específicamente sobre el proceso de maceración.

El whisky tiene una importancia cultural y económica. En muchos países como Escocia e Irlanda, el whisky forma parte de la identidad nacional y es asociado fuertemente con la tradición y la historia. En términos económicos, la industria del whisky genera empleo y divisas para el país productor.

En Argentina, la producción de whisky se inició en la década de 1950 con la fundación de la destilería Fronteras del Chañar en la provincia de Neuquén. A partir de entonces, otras empresas se sumaron a la producción de whisky en el país, como la destilería Madoc, ubicada en Rio Negro. Según datos de la Cámara Argentina de Destiladores Licoristas y Afines (CADL), en el año 2019 se consumieron en Argentina aproximadamente 8,5 millones de litros de whisky, lo que representó un aumento del 4,5% en comparación con el año anterior.

A pesar de no ser una bebida de las más consumidas a nivel local, el whisky es una bebida popular en Argentina. Aunque tradicionalmente el consumo de whisky se ha asociado con ocasiones formales, en los últimos años ha habido un aumento en el consumo de whisky en bares o reuniones más informales, quizá debido al periodo de globalización por el que estamos pasando que lleva al consumidor argentino a empaparse con la cultura extranjera, por ejemplo, a través de series como puede ser la conocida serie británica Peaky Blinders.

El whisky importado es el tipo de whisky más consumido en Argentina, aunque también hay una creciente producción nacional de whisky. Algunas destilerías argentinas han comenzado a producir whisky de alta calidad utilizando técnicas de producción similares a las utilizadas en Escocia y otros países productores de whisky, lo que ha contribuido a aumentar la oferta de whisky local en el mercado argentino.

2. Conceptos Fundamentales del Proyecto

2.1 Nociones Básicas sobre Whisky

El Whisky es una bebida alcohólica preparada a partir de almidón de cereales. La principal característica de los cereales utilizados es su alto contenido de almidón.

Ésta bebida es conocida como “whisky” o “whiskey” dependiendo del lugar en donde se haya elaborado. En Escocia, Canadá, Japón y otras partes del mundo se escribe “whisky”, mientras que en Estados Unidos e Irlanda es común llamarlo “whiskey”.

Existen muchos tipos de whiskies y las características que los diferencian son principalmente cuatro: el grano utilizado, el proceso de producción, el lugar de elaboración (agua) y el tiempo de maduración. Entre los whiskies más conocidos a nivel mundial se encuentran:

- Scotch Whisky = Debe ser elaborado a partir de malta o grano y debe envejecer en barricas de roble. Para ser considerado un Scotch, debe ser enteramente elaborado en Escocia.
- **Single Malt Whisky** = Este es un whisky de una sola destilería elaborado sólo con cebada malteada, agua y levadura. El más consumido a nivel mundial es el Glenfiddich (Escocia) con un precio de unos 40 U\$D. En Argentina se encuentra el Whisky *Madoc* como principal exponente y ronda un precio de entre 30 y 40 U\$D.
- Single Grain Whisky = Este es un tipo de whisky en el que el ingrediente principal es el maíz, el trigo o ambos.
- Blended Scotch Whisky = Se elabora mezclando Whiskies de Malta (40%) y de Grano (60%). Uno de los más conocidos es el *Jonny Walker* y su botella más barata conocida como Red Label ronda los 50 U\$D.
- Irish Whiskey = Este tipo de whiskey es cualquiera hecho en República de Irlanda o en Irlanda del Norte.
- Bourbon = Es un whiskey americano elaborado con granos malteados que contienen al menos 51% de maíz. Las reglas sobre lo que constituye un bourbon son más laxas que las del Scotch, pero debe ser elaborado completamente en Estados Unidos para calificar. Uno de los más conocidos es el *Jim Beam* y ronda los 25 U\$D.
- Tennessee Whiskey = Este whiskey es, en esencia, igual al bourbon. La única diferencia es que es pasado por un filtro de carbón en el proceso de post-destilado. Uno de los más conocidos es el *Jack Daniels* y ronda los 60 U\$D.

En relación con muchas otras bebidas alcohólicas, los whiskies tienen características de sabor complejos. Estas no son añadidas; son creadas naturalmente durante las etapas de malteado del cereal, fermentación, destilación y maduración en barrica.

2.2 Etapas en la Producción de Whisky

La materia prima es principalmente:

- Cebada u otros granos como maíz, centeno y trigo,
- Agua,
- Levadura.

El punto de partida en la fabricación de cualquier whisky es la producción de un mosto de cereales (líquido fermentable). Los cereales son en gran parte no fermentables en su forma natural por lo que deben de ser convertidos en un sustrato fermentable. Esto implica romper los componentes estructurales del grano para liberar almidón, después el almidón es convertido enzimáticamente a azúcar. Hay dos formas de hacer esto:

- Maltear el cereal, que consiste en un proceso de germinación controlado y el desarrollo enzimático. El **malteado** es seguido por el **macerado**, donde se agrega agua caliente a la malta para gelatinizar el almidón y mejorar la susceptibilidad a la degradación enzimática.
- La alternativa al malteado y a la maceración es cocinar el cereal antes de la adición de una pequeña cantidad de malta o enzimas comerciales para proporcionar la ruptura requerida.

Lo más común es la formación de un mosto a partir del malteado y macerado, por lo tanto, se puede resumir la producción del whisky en los siguientes pasos:

1. **SELECCIÓN DEL GRANO** → Para la fabricación del whisky, las principales destilerías prefieren las nuevas especies de cebada cultivada en Escocia, ya que contienen mucho almidón y son bajas en proteínas.
2. **MALTEADO** → Tras las cosechas, se desbroza el cereal, se limpia para eliminar la paja y la suciedad y se humedece (por inmersión en agua hasta que alcanzan más de 40% de humedad), así se deja reposar entre 4 y 6 días hasta que el grano empieza a germinar (activación de las enzimas propias de la cebada). Los enzimas naturales del grano convierten el almidón en azúcares, sobre todo maltosa.
Es un proceso por el cual el almidón del cereal es convertido a azúcares fermentables. Este proceso se lleva a cabo a temperaturas bajas (alrededor de 16°C) para no inhibir la acción enzimática. Luego se seca al horno con aire caliente. El secado tiene la finalidad de detener la actividad biológica, cuando ya con la germinación de la semilla ha alcanzado el nivel deseado de enzimas y ha sufrido las modificaciones deseadas.
Luego del secado, los granos son enfriados y las raíces removidas. La malta es limpiada y empacada en bolsas herméticas.
La malta de acuerdo con su contenido de humedad puede ser clasificada como malta verde, cuando no ha sido secada (debe ser utilizada inmediatamente ya que no puede ser conservada) o malta seca, cuando esta ha sido sometida a un proceso de secado hasta alcanzado aproximadamente el 5% de humedad.
3. **MOLIENDA DE MALTA** → El grano malteado, seco y frío se tritura o muele para obtener un 10% de cáscara, un 20% de harina y un 70% de grano molido o triturado.
Parte de la harina es utilizada como alimento para los animales, mientras que el resto es utilizado para la elaboración de whiskies. La cebada malteada y molida se llama **grist**.
4. **MACERACIÓN** → Se coloca la malta molida en una caldera circular de remojo, llamada "**Mash Tun**" (Tonel de Mezcla o Macerador) y se mezcla con agua caliente, para provocar así que las enzimas de la malta transformen el almidón en un líquido azucarado, **mosto** (fermentable, también llamado **wort**), que se retira de la cuba para la fermentación. El material de desecho se llama **bagazo**.
En el mash tun, una parte del grist es mezclada con tres o cuatro partes de agua generalmente para obtener el wort. La mezcla se calienta a una temperatura entre 63 – 65° C durante unas 2 o 3 horas para luego poder separar el líquido de los restos sólidos.

Extraído el primer wort, se vuelve a añadir agua en menor cantidad y se calienta a mayor temperatura, hasta unos 75°C (se repite tres veces). El segundo wort se mezcla con el primero, para ser fermentados, mientras que el tercero y cuarto wort van a ser mezclados con el próximo lote de grist a procesar. Este último paso permite aprovechar la alta temperatura de los wort permitiendo disminuir el consumo energético del próximo mash, los restos sólidos se destinan a la alimentación del ganado.

La mezcla del primer y segundo wort se denomina mosto y contiene una alta concentración de azúcares.

5. **ENFRIAMIENTO** → El **enfriamiento de mosto** tras su **maceración**, y antes del **proceso de fermentación** en la producción de licores o bebidas alcohólicas de alta graduación, es una parte esencial del proceso, ya que a altas temperaturas baja la capacidad de fermentación, producen pérdidas de alcohol evaporado y se disminuye el aroma.

6. **FERMENTACIÓN** → El mosto se bombea en grandes toneles (fermentadores) en donde se le añade la levadura. Una fuerte fermentación transforma el azúcar en alcohol, donde al líquido resultante se le conoce como mosto fermentado o **wash**.

La capacidad de fermentar los azúcares en etanol es un rasgo metabólico clave de las **levaduras**.

Una fermentación típica dura de 40 a 48 horas. Las fermentaciones más cortas pueden ser perjudiciales para la calidad del alcohol y las fermentaciones excesivamente largas, después de los 20 días, permiten un crecimiento bacteriano considerable con la consecuente pérdida de rendimiento de etanol y peligro de defectos de sabor.

Se debe realizar a una temperatura entre 16 y 34°C, a mayor temperatura la levadura es destruida.

7. **DESTILACIÓN** → El objetivo de la destilación es obtener un mayor volumen de alcohol a partir del wash. Para esto se lo calienta a unos 80°C, logrando que el alcohol se separe del agua debido a que este se evapora a menor temperatura. A medida que el líquido se va evaporando, se eleva hasta la parte superior del alambique, pasando por su cuello y llegando a los condensadores, donde los vapores son condensados y vuelven a su estado líquido.

El mosto se destila dos veces en grandes **alambiques** de cobre. La primera destilación en los alambiques produce que el alcohol se evapore y se separe del agua, formando un líquido denominado "**low wines**" (20-25% de grado alcohólico). Este destilado es, posteriormente, trasladado a los alambiques de "**low wines**" para producir aguardiente.

La segunda destilación se efectúa esencialmente de la misma manera, excepto que se debe seleccionar una fracción del destilado como nuevo alcohol y aparece lo que se conoce como "**high wines**".

8. **ENVEJECIMIENTO o MADURACIÓN** → Tras la fermentación, al "**high wine**" se le añade agua y se envejece en cubas de madera de roble blanco. La duración del envejecimiento puede variar, pero en general suele ser entre 2 y 5 años, pudiendo llegar hasta los 10 y 15 años. El color, pH, sólidos totales, ácidos, ésteres y azúcares son muy influenciados por el tipo de barrica.

9. **EMBOTELLADO** → Tras la fase de envejecimiento, se reduce el whisky a la graduación alcohólica deseada por la adición de agua blanda. A continuación, se filtra el whisky cuidadosamente y se embotella con maquinaria automática en botellas que se sellan y se etiquetan. Finalmente, las botellas serán embaladas para el envío.

2.3 Especificaciones del Proyecto

Ahora que fue presentado qué es el whisky y cómo es su producción, se puede explicar de forma más clara cuales son las especificaciones y objetivos del proyecto.

El proyecto consiste en el diseño de un macerador isotérmico o por infusión simple, siguiendo las especificaciones de una de las destilerías nacionales de whisky más importantes a nivel nacional y que se ubica en la Patagonia. Por cuestiones legales, ya que no tuve un contacto directo con la empresa, decido no mencionar su nombre. Pero la totalidad de la información la obtuve en internet, desde su página web, artículos periodísticos de entrevistas a los dueños de la empresa y videos cargados en YouTube de visitas guiadas en la planta.

Dicha destilería produce un Single Malt Whisky (malta de cebada). Trabaja con 350 [kg] de malta por macerado, una relación de agua:malta de 3:1 y una temperatura de mezcla de 64°C. La cebada no es cultivada y malteada en la destilería, sino que se compra de la compañía británica Crisp por lo que el primer paso de la producción aquí es la maceración. La idea es dejar macerar por aproximadamente 2 horas. Entonces:

$$t \text{ maceración} \sim 2 [h]$$

$$m \text{ malta} = 350 [kg]$$

$$m \text{ primer agua} = 1050 [kg]$$

$$T \text{ mezcla} = 64 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Ilustración 1: Macerador de la Empresa



Ilustración 2: Tolva de Molienda de la Empresa



Ilustración 3: Enfriador de la Empresa

El agua se inyecta a poco más de 70°C. La mezcla estabiliza a una temperatura de alrededor 64°C. El mosto es trasladado a un recipiente llamado **under back** en Escocia. Luego se lo traslada mediante bomba a un intercambiador de calor (enfriador) para bajar la temperatura a unos 20°C, porque si no la levadura no resistiría las temperaturas tan elevadas. Posteriormente pasa al fermentador.

La fermentación en esta destilería es de unos 4 o 5 días. Con unos 1800 litros en el fermentador, se termina obteniendo 8% de alcohol.



Ilustración 4: Fermentadores de la Empresa

Los alambiques de esta destilería son de cobre. Destilación alrededor de 7 horas. Dos recipientes de destilado, en el primero se recoge “Low wines” (600 litros al 23 o 24%, se reduce 1/3 el volumen y se pierde muy poco el tenor alcohólico – de 8% pasa casi a 24%). La segunda destilada, se junta en un recipiente móvil hasta llegar a un tenor del 70% y se va a la barrica.

El destilado se termina volviendo a un recipiente de 400 litros a un tenor de 36%. Esos 400 litros se lo mezclan con los 600 litros de “low wine” y esa es la carga para el segundo destilado (1000 litros).



Ilustración 5: Alambique de la Empresa

Un requisito estético es que debe estar recubierto en cobre para acompañar el estilo tradicional de la destilería, ya que suelen tener muchas visitas guiadas en la empresa. Este requisito se evaluará al final del proyecto en base a los costos.

Como dije, no se tuvo la posibilidad de consultar directamente con alguien ligado a la empresa, pero por lo que se vio en una visita guiada (YouTube), la empresa trabaja con un macerador muy simple, que no cuenta con ingreso de segunda agua para aprovechar al máximo la malta que aún posee capacidad de seguir dando contenido fermentable. También se ve que la extracción del bagazo del tanque tras la maceración se da de forma manual, a cargo de algún operario, aunque en las imágenes no se alcanza a apreciar la compuerta de extracción (puede ser una extracción a través de una compuerta en el fondo). Además, no se aprecia un sistema CIP para la limpieza del tanque, sino que parece algo más manual con una manguera y un operario.

Se proponen algunas **mejoras** como la inclusión de anillos rociadores para el ingreso de segunda agua y un sistema giratorio interior al tanque con cuchillas (favorece la maceración) y rastrillo (facilita la extracción de bagazo). También un recirculado de mosto en caso de querer pasarlo nuevamente por el macerador. Y para tener más controlado todo el proceso se incluirán sensores de presión, temperatura y nivel. Para la limpieza del tanque se verá la posibilidad de colocar un sistema CIP. Todo esto se evaluará más adelante y desarrollará más adelante. Primero se analizará más profundamente el funcionamiento y diseño general del macerador.

Con toda la información recopilada hasta ahora se puede realizar el diagrama funcional del producto:

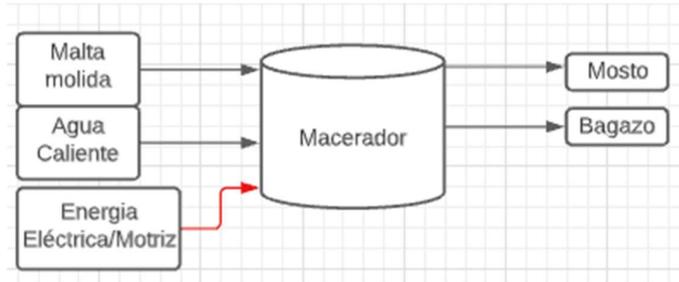


Ilustración 6: Diagrama Funcional I

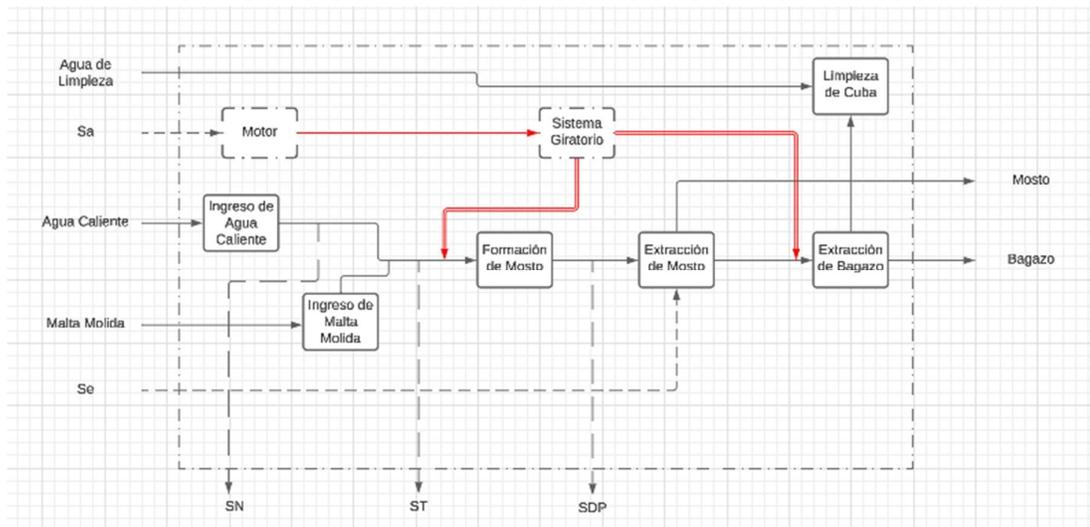


Ilustración 7: Diagrama Funcional II

La ilustración anterior presenta el diagrama de funcionamiento simplificado, donde se supone que solo hay un ingreso de agua y una única formación de mosto. Como se vio anteriormente, pueden generarse hasta cuatro ingresos de agua con realimentaciones y dos formaciones de mosto.

Las referencias que se usan en el diagrama son:

- Sa = Señal de Alimentación. Para activar el motorreductor colocado en el techo del tanque y así mover el sistema giratorio interior. El sistema giratorio cuenta con cuchillas para favorecer la maceración y con un rastrillo para la extracción de bagazo.
- Se = Señal de Extracción. Para abrir válvulas y/o activar bombas.
- SN = Sensor de Nivel.
- ST = Sensor de Temperatura.
- SDP = Sensor de Diferencia de Presión.

2.4 Maceración

La maceración es el proceso en el que se mezcla malta molida y agua caliente, con el fin de digerir los componentes clave del grano y generar mosto que contenga todos los ingredientes necesarios para una adecuada fermentación y los aspectos de la calidad del whisky.

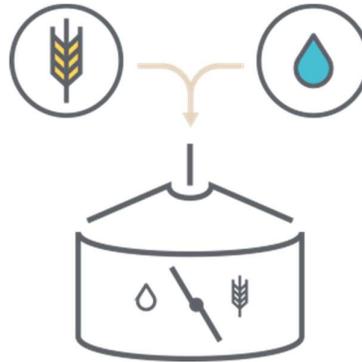


Ilustración 8: Maceración

GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN = Como sabemos, el objetivo de la maceración es lograr que el almidón sea degradado a azúcares fermentables. Pero en realidad cuando maceramos están ocurriendo dos procesos. Por un lado, el almidón se gelatiniza y, por el otro, ese almidón gelatinizado es degradado por enzimas a azúcares más simples. La gelatinización es simplemente la hidratación de las moléculas de almidón. Y esto permite que la estructura se vuelva más laxa y las enzimas puedan acceder y cortar las largas cadenas de glucosas que conforman el almidón.

FUENTE	Temperatura de Gelatinización [°C]
Cebada	61-62
Maíz	70-80
Avena	55-60
Arroz	70-80
Centeno	60-65
Sorgo	70-80
Trigo	52-54

Tabla 1: Temperatura de Gelatinización

Las enzimas que descomponen el almidón se llaman amilasas. Se desarrollan durante el proceso de malteado, pero solo comienzan a actuar una vez que se ha producido la gelatinización del almidón en el macerador.

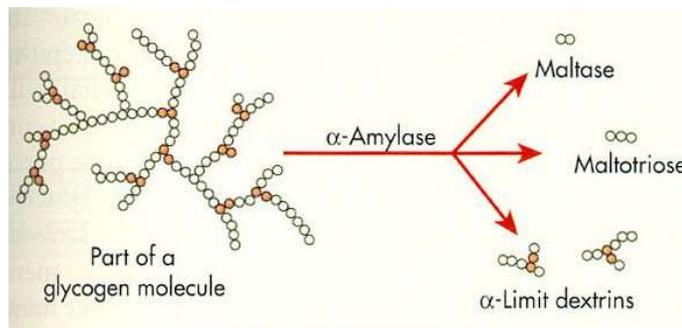


Ilustración 9: Acción de la Amilasa

Hay varios tipos de maceración que pueden clasificarse en términos generales como maceración por infusión (isotérmica), maceración por decocción y maceración con temperatura programada o escalonada. Mas adelante se hablará específicamente de cada una.

La elección del tipo de maceración depende en gran parte de si la malta está bien modificada o no. Si la malta está bien modificada no se requiere un calentamiento creciente, por lo que se usa una maceración isotérmica. Además, varía según el tipo de bebida alcohólica que se quiera obtener, no es lo mismo una maceración para una cerveza que para un whisky. Hoy en día la gran mayoría de la malta se consigue bien modificada.

Lo que ocurre es que los almidones que se quieren convertir en azúcares durante el macerado se encuentran encerrados dentro de la semilla de cebada en una matriz de proteína-carbohidrato llamada endospermo. Cuando el grano germina, las enzimas de la semilla comienzan a desbloquear el endospermo para que los nutrientes estén disponibles para el crecimiento de la planta. El propósito del malteado es permitir a la germinación llegar a esta liberación de nutrientes para acto seguido parar el proceso mediante un proceso de secado. De este modo se evita que la planta pueda usar los almidones, reservándolos así para la maceración.

Entonces, este grado de desbloqueo del endospermo es lo que se denomina **modificación**. Cuanto más se modifica, tanto más fácil resulta a las enzimas (amilasas concretamente) acceder y convertir los almidones en azúcares. El indicador más común del grado de modificación de la malta es el **índice Kolbach**, que informa del porcentaje de proteínas solubles sobre el total de proteínas.

El índice de Kolbach se define como el porcentaje de proteína soluble de una malta determinada comparado con su proteína total. Es un indicador del nivel de modificación de la malta, de su poder enzimático y con ello de su capacidad y rendimiento a la hora de transformar almidones en azúcares fermentables.

$$IK = \frac{\text{Proteínas Solubles}}{\text{Proteínas Totales}} \cdot 100$$

De una manera más práctica:

- Un ratio entre el 36-40% es una malta moderadamente modificada.
- Un ratio entre el 40-44% es una malta bien modificada.
- Un ratio entre el 44-48% es una malta altamente modificada.

La malta bien modificada tiene más proteína soluble que la malta poco modificada. La utilidad práctica del índice de Kolbach nos permite primero evaluar la calidad de una malta y su nivel de modificación. Si está muy modificada, un macerado simple a entre 65 y 67 grados suele ser suficiente para una extracción y conversión completa.

Si en cambio tenemos un índice de Kolbach bajo, de 35% o inferior, tendremos que hacer una maceración a distintas temperaturas, más tedioso y complicado de controlar, pero necesario para aumentar el rendimiento.

2.4.1 Métodos de Maceración

Como se mencionó, existen tres métodos principales de maceración y rociado:

- **MACERACIÓN ISOTÉRMICA** (temperatura única, típicamente alrededor de 65 °C), que tiene lugar en un **Mash Tun**. En el Mash Tun se produce la maceración y la separación de parte líquida y sólida. También llamada maceración por infusión simple (INFUSIÓN = En farmacología, acción de sumergir una sustancia orgánica en un líquido caliente, pero sin que llegue a hervir, para que se disuelvan sus partes solubles).
La maceración isotérmica fue diseñada en Inglaterra para tratar con maltas bien modificadas que no requerían un inicio de maceración a baja temperatura para tratar con el material residual de la pared celular (fi-glucanos).

Esta temperatura de 65°C facilita la gelatinización del almidón y la posterior acción amilolítica. Al finalizar la 'conversión', el mosto se separa de los granos gastados en el mismo recipiente, que incorpora un **fondo falso** (filtro que permite el paso del mosto y mantiene el bagazo dentro del tanque) y una instalación para regular la presión hidrostática a través del lecho de granos. Los granos que se gastan flotan de forma natural sobre el líquido si estos no son agitados o perturbados, lo que favorece el filtrado o la separación entre bagazo y mosto.

El mash tun suele ser precalentado con agua y las placas perforadas del falso fondo se inundan antes de que comience el macerado. Ésta primera agua se conoce como **strike wáter (agua de ataque)** y está a unos 70°C para obtener junto a la malta triturada, una temperatura de macerado que ronda los 65°C.

El mosto que sale del macerador, que tiene una gravedad específica (SG) de 1.070-1.060 (Ilustración 11) se recoge en un recipiente intermedio conocido como un '**under back**'. Después de ser enfriado a alrededor 25°C en un intercambiador de calor, el mosto se bombea en el recipiente de fermentación. La cama de granos en el macerador se vuelve a suspender en agua a 75° C (conocida como **sparge water**) y se extrae un segundo lote de mosto a una gravedad específica de alrededor de 1.030 y pasa al under back. Este proceso se conoce como el primer aftermash y se repite dos veces más; excepto que los mostos diluidos extraídos no pasan al under back, pero se devuelven al tanque de agua caliente para ser utilizado en el próximo macerado.

El residuo de grano gastado o 'bagazo' se elimina del mash tun y se vende como alimento para animales.

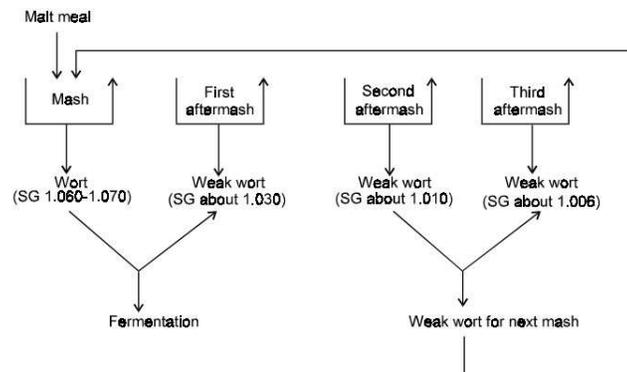


Figure 5. Flow diagram showing the mashing cycle in a Scotch malt whisky distillery.

Ilustración 10: Diagrama de Flujo del Macerador Isotérmico

→ Es el método más SENCILLO y ECONÓMICO.

- **MACERACIÓN POR INFUSIÓN A TEMPERATURA CRECIENTE**, que se lleva a cabo en un recipiente de mezcla de maceración (**Mash Tun**), y la separación tiene lugar en un recipiente separado, normalmente conocido como **Lauter Tun**. Aquí, la temperatura puede comenzar tan bajo como 42 °C, aumentando en etapas hasta quizás 79 °C. También se conoce como maceración a temperatura programada o maceración escalonada.

El macerado se inicia a una temperatura relativamente baja, pero los aumentos posteriores de temperatura se efectúan en un solo recipiente mediante el empleo de camisas calentadas por vapor alrededor del recipiente para elevar la temperatura del contenido, que se mezclan a fondo para garantizar una transferencia de calor uniforme.

El maceramiento puede comenzar a 45-50 ° C. Se emplean altas temperaturas al final del proceso para detener la actividad enzimática, facilitar la solubilización de los materiales y reducir la viscosidad, lo que permite una separación líquido-sólido más rápida.

→ Se suele preferir este método si se quiere modificar el perfil de la cerveza fijando los tiempos y las temperaturas para la actuación de las diversas enzimas y si usamos maltas poco modificadas. Necesitamos poder controlar la temperatura de la maceración. Son más CAROS y COMPLEJOS.

- **MACERADO POR DECOCCIÓN**, utilizando un recipiente para mezclar macerado (**Mash Tun**), un cocedor de macerado (**Mash Cooker**), seguido de un **Lauter Tun**.

La maceración por decocción se diseñó en el continente europeo para tratar maltas lager que estaban menos modificadas que las maltas ale. Esencialmente, brinda la posibilidad de comenzar a macerar a una temperatura relativamente baja, lo que permite la hidrólisis de los fi-glucanos presentes en la malta, seguido de un aumento de la temperatura a un nivel suficiente para permitir la gelatinización del almidón y su subsiguiente hidrólisis enzimática.

La decocción significa el hervor de la mezcla malta/agua, lo que intentará extraer y/o concentrar los sabores. Si el macerado es hervido, destruiremos las amilasas para la conversión del almidón. En este proceso, una porción del macerado es sacado del macerador principal y transferido a un recipiente para hervor. Esta porción es lo que se llama decocción, y es calentada suavemente y llevada a hervor. Después de un cierto tiempo, es regresada al macerador principal con su temperatura aumentada.

Las vitales enzimas amilasas son solubles, por lo que, si un denso macerado es decoccionado por hervor, el resto del diluido macerado principal contienen todas las enzimas que no sufrieron la degradación por calor. Cuando el porcentaje de decocción vuelve al macerador principal, los almidones disueltos están disponibles para que las enzimas trabajen, y luego se eleva la temperatura del macerado.

2.4.2 Métodos de ‘Mashing’ y ‘Sparging’

Ya se ha hablado anteriormente de esto, pero se cree importante dedicarle un pequeño enunciado para dejar en claro algunas cuestiones relacionadas al rociado (sparging). Sobre todo, teniendo en cuenta que es un proceso que se desea incluir en el macerador a diseñar.

El **mashing** y el **sparging** son dos pasos separados que la mayoría usa para convertir el grano en azúcar fermentable. El macerado (mashing) consiste en remojar el grano en agua a cierta temperatura (o varias temperaturas) durante un período de tiempo para crear azúcar para que la levadura fermente. El rociado (este es el paso que no todos hacen) es un proceso que algunos usan para enjuagar la mayor cantidad posible de azúcares restantes de su macerado.

Hay 2 tipos de sparging:

- **Batch Sparge**: Una vez que se completa la mezcla, se drena todo el mosto. Luego, se vuelve a agregar más agua caliente en el macerador (con el grano), se revuelve y se deja reposar durante unos 20 minutos. Finalmente se escurre de nuevo.
- **Fly Sparge**: Este método agrega constantemente agua caliente encima de la mezcla al mismo tiempo que se drena lentamente. Idealmente, el nivel del agua debería estar justo por encima del lecho de grano.

2.4.3 Régimen de Maceración Típico

A continuación, se describe un régimen de maceración típico para la producción de whisky de malta escocés en un cuba y configuración washback dado por el proveedor de malta escocés Crisp. El agua caliente se produce en un calentador separado, como en el caso de la destilería nacional seleccionada. Los mostos débiles de la maceración anterior pueden emplearse o no dependiendo de la disponibilidad de un recipiente para mantener el mosto débil por encima de 70°C para evitar la contaminación.

1. Caliente el agua a una temperatura de golpe de aproximadamente 68-70 °C para asegurar una temperatura de maceración de 63,5-64 °C.
2. **Antes de agregar la malta, llene el macerador con suficiente agua caliente para cubrir el falso fondo (filtro dentro del tanque) por 2 pulgadas (50 [mm]).** Esto asegurará que la cama flote y también calentará el tanque.
3. La malta y el agua deben mezclarse en un determinado tiempo (20 minutos), asegurándose de que la malta esté adecuadamente hidratada a medida que entra en el tanque. Si puedes dirija el flujo de la mezcla de malta y agua hacia el costado de la cuba o sobre el brazo giratorio, reducirá la velocidad de entrada de la masa y ayudará a mantener la cama flotando.
4. La cama de granos se puede dejar reposar hasta por 1 hora para permitir que las enzimas de la malta tengan el tiempo necesario para convertir el almidón en azúcar.
5. El mosto ahora se extrae del macerador de manera controlada, asegurando que la velocidad de escorrentía no sea tan rápida como para tirar la cama hacia abajo sobre las placas y, por lo tanto, atascar el paso del mosto.

Un simple “underback” es usado en las destilerías escocesas para evitar que la bomba de escorrentía cree una región de presión negativa debajo de las placas y haciendo que el lecho se comprima. Este es un dispositivo muy simple que crea una ruptura entre la bomba y el macerador. El underback generalmente se extiende hasta toda la altura del mash tun y el destilador puede observar el equilibrio de rociado en el underback contra el nivel en el macerador para medir la presión diferencial.

Si el nivel en el underback cae, entonces es un signo de compresión de la cama y en esta etapa las cuchillas se pueden girar para mejorar la escorrentía.

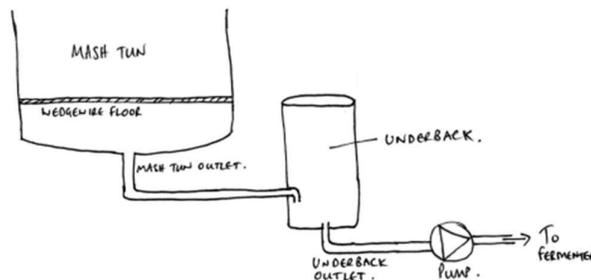


Ilustración 11: Under Back

6. Por lo general, esperaríamos que la escorrentía comenzara a 30 [l/min] durante 30 minutos. El mosto claro pasará por un intercambiador de calor y se enfriará a la temperatura de fermentación de la levadura.

Después de 1000L de recolección, el agua de rociado (segunda agua) debe comenzar y ser entregado a través del **anillo de rociado** a 50 [l/min]. El escurrimiento del macerador debe aumentarse a 50 [l/min] para que el rociado y el escurrimiento estén equilibrados. La segunda temperatura del agua debe ser de 75 °C. En una destilería escocesa, una vez que se recolectan 5000 L de mosto en el lavado, se introduce una tercera agua para el macerador a 90 °C y esto se recuperaría nuevamente en un tanque de mosto débil y se mantendría por encima de 70 °C y se usaría como primera agua para el siguiente macerado. Sin embargo, esto no es necesario.

En el ítem 3.15 se desarrollará el régimen de maceración de nuestro macerador con las condiciones dadas por la destilería nacional y teniendo en cuenta las condiciones óptimas que se verán a continuación.

2.4.4 Condiciones Óptimas

Tanto en cervecería como en destilería se busca la obtención de mostos con alto contenido de azúcares fermentables; sin embargo, mientras que en cervecería se busca un balance adecuado entre azúcares fermentables y dextrinas debido a que éstas últimas contribuyen en el cuerpo de la cerveza, en destilería se busca maximizar el desdoblamiento del almidón para la mayor generación posible de etanol, parámetro comúnmente denominado 'spirit yield'.

El contenido de etanol en mosto fermentado es el parámetro más importante para la producción de whisky en términos de volumen de destilado por unidad de malta. Se han realizado estudios para evaluar el efecto de diferentes condiciones de maceración y fermentación sobre el contenido de etanol en mosto fermentado.

Para este enunciado se ha sustraído información del estudio realizado por el Tecnológico Nacional de México y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias también de México, publicado por la Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud en 2021. En este estudio se realizaron diferentes tratamientos para determinar las mejores condiciones de maceración. Se realizaron tres experimentos: el primero para determinar la temperatura óptima de maceración (a 65°C, 60°C y temperaturas escalonadas de 50°C a 65°C), el segundo para determinar el tiempo de maceración usando la temperatura óptima (a 1, 2, 3 y 4 horas), y el tercero para determinar la relación agua:malta usando la temperatura y el tiempo óptimos (1:3, 1:4 y 1:5). En resumen, los resultados obtenidos fueron:

Experimento		Contenido de Fermentables [g/100ml]
Temperatura de Maceración	65°C	7,84
	60°C	7,69
	Temperatura escalonada de 50 a 65°C	7,41
Tiempo de Maceración	1 hora	7,64
	2 horas	7,77
	3 horas	7,95
	4 horas	7,96
Relación Malta:Agua	1:3	7,55
	1:4	7,47
	1:5	7,25

Tabla 2: Condiciones Óptimas de Maceración

En este estudio, se estima que la presencia de carbohidratos no fermentables en los mostos fue menor a 15 % en la maceración escalonada, y menor a 12 % y 10 % en las maceraciones isotérmicas a 60 y 65 °C, respectivamente. Para mostos cerveceros, es conveniente la presencia de estos carbohidratos no fermentables porque le dan cuerpo a la cerveza, pero para los whiskies se busca reducirlas al máximo y obtener la mayor cantidad de fermentables posible. Se ve que la maceración isotérmica a 65°C es la que genera mayor contenido de carbohidratos fermentables.

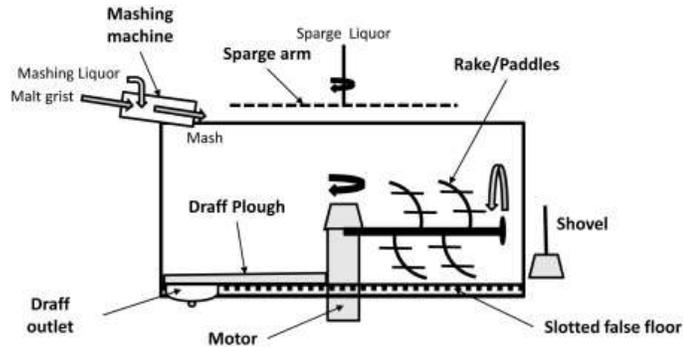
Se observó también que no existe diferencia en la generación de CF cuando se macera por tres o cuatro horas a 65 °C. A pesar de que las temperaturas de maceración utilizadas en la producción de whisky de malta oscilan en el rango 55-65 °C; los tiempos de maceración (sin contabilizar el tiempo de filtrado de mosto) generalmente varían entre 1 y 2,5 horas. Respecto a la relación malta:agua, la relación 1:3 es la que mayor CF genera.

Conclusión → Maceración isotérmica a 65°C por 3 horas y relación de malta:agua 1:3. También se ve que la Maceración escalonada es más adecuada para cervezas. Se confirma también que la elección de la destilería de la Patagonia respecto a las condiciones operativas es muy cercana a las óptimas según este estudio.

El tiempo de operación se calculará más adelante cuando estén definidas más cuestiones relacionadas al diseño.

2.5 Macerador: Tipos y Construcción

Son tanques cilíndricos y varían mucho en tamaño, pero generalmente tienen una altura de 2 a 2,5 [m]. Originalmente eran de madera. La madera es difícil de limpiar y tiene una vida limitada. Posteriormente pasaron a estar hechos de hierro o cobre y, más en la actualidad, casi exclusivamente de acero inoxidable por su cualidad sanitaria. Originalmente, estaban abiertas, pero ahora generalmente están cubiertas con cabezales de metal, equipados con compuertas de inspección. Durante muchos años contaron con 'rakes' que favorecían la mezcla de malta y agua pero que rompían la cama de grano, afectando la separación natural entre ambos y, por ende, el filtrado del mosto (ilustración 13).



Traditional Mash Tun

Ilustración 12: Diseño Macerador Antiguo (1880)



Ilustración 13: Imagen Macerador Antiguo

Cuando aparecen los distintos tipos de maceración, comienzan a surgir distintos tipos de maceradores. Como se mencionó, los principales son la maceración isotérmica (que cuenta con un único recipiente para maceración y filtrado) y la maceración escalonada (que cuenta con un recipiente para maceración y otro para filtrado). Básicamente la diferencia es la forma de recuperación de mosto. Los maceradores para maceración isotérmica son llamados **semi lauter tun** y es el tipo de máquina que utiliza la destilería nacional seleccionada. En la maceración escalonada, los recipientes encargados del filtrado se conocen como **lauter tun**. La combinación de las funciones mash tun y lauter tun en una sola unidad de tanque aumenta su eficiencia y reduce los costos. A partir de aquí, se hablará de macerador haciendo referencia al semi lauter tun.

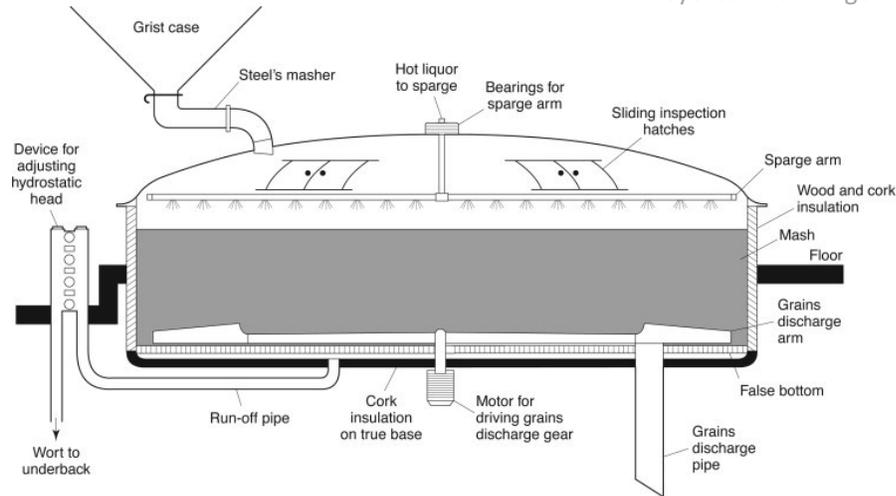


Ilustración 14: Diseño Macerador Moderno (hasta 1970)

La verdadera base del tanque está cubierta por un "fondo falso" que actúa como un filtro evitando el paso del grano, pero permitiendo el paso del mosto líquido. Existen varios tipos de falso fondo y se desarrollarán más adelante (ítem 2.6). Incluso dependiendo del tipo de maceración, no es utilizado en el tanque.

En la actualidad se emplea también el 'sparging' (aspersión), además del 'mashing', como ya se ha mencionado anteriormente (ítem 2.4.2). El agua caliente se rocía sobre la superficie del bagazo desde tubos perforados montados centralmente. Debido a que es deseable aplicar el agua por igual a todas las áreas del grano, las perforaciones suelen estar más espaciadas hacia el centro del tanque y más espaciadas hacia la periferia.

Durante la recolección del mosto, el líquido es conducido hacia abajo a través del lecho de grano por la diferencia de presión entre el líquido en la parte superior de la mezcla y la presión debajo del fondo falso. Esta diferencia de presión es medida y controlada.

Para controlar la diferencia de presión, y por lo tanto la "succión" en el lecho de grano y su compresión, se pueden utilizar varios dispositivos. Se suele usar un tubo en U invertido oscilante (un tubo de San Valentín) o un dispositivo equivalente a él (Ilustración 15). Mas adelante se hablará específicamente de este control (ítem 2.5.2). La presión excesiva puede forzar a la cama de grano a bajar a las placas del falso fondo y causar bloqueos o comprimir el lecho de tal manera que la escorrentía de mosto se ralentiza.

Para obtener una escorrentía y un sparge uniformes, **es deseable tener múltiples tubos de recolección de mosto**, conectados al verdadero fondo del tanque, distribuidos en un patrón uniforme. El objetivo es que cada tubería drene el mismo volumen. En la disposición tradicional, estos descargan el mosto a través de válvulas en un canal colector abierto. Esto permite comprobar la claridad, la gravedad y el caudal del mosto de cada tubo. Mediante la manipulación de las válvulas, la tasa de flujo se puede regular y equilibrar. Las diferencias en la calidad del mosto de diferentes tubos indican problemas con la calidad del lecho de grano o el sparge.

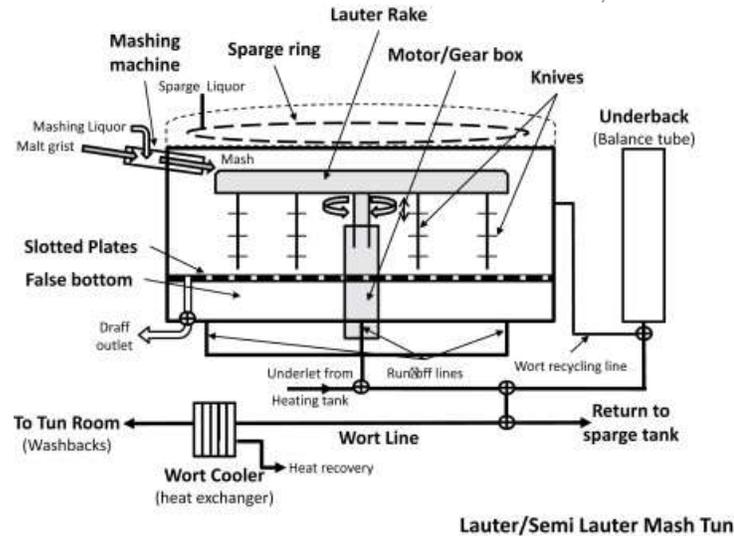


Ilustración 15: Diseño Macerador Actual

Desde la década de 1970 en adelante, los recipientes tradicionales comenzaron a ser reemplazados por maceradores que lucen largas **cuchillas verticales**, ellas mismas equipadas con pequeños filos (o aletas). Las cuchillas giran en el macerador mediante un motorreductor en el centro (ubicado en el techo o en el suelo). Lo que hacen es cortar la cama de grano que tiende a compactarse y se hace impermeable, impidiendo el paso de la parte líquida y el contacto entre el agua caliente y la parte sólida con capacidad de entregar almidón que puede quedar encerrada. Las cuchillas verticales cortan la cama de forma vertical y los filos de forma horizontal. El resultado es una extracción más rápida y eficiente sin pérdida de claridad ni cambios en la composición del mosto.

A continuación, se presentan dos ilustraciones del macerador, la primera durante la etapa de maceración y la segunda durante el sparging. En la primera se puede ver claramente la acción de las cuchillas y en la segunda se puede ver como ingresa el agua uniformemente mediante el anillo de rociado.



Ilustración 16: Cuchillas I



Ilustración 17: Cuchillas II

El diseño propuesto contará con cuchillas montadas sobre un caño circular similar a lo que se ve en la ilustración anterior. Las cuchillas al igual que los filos o aletas son de acero inoxidable.

En el pasado, la eliminación de granos se realizaba de forma manual, pero ahora, excepto en las pequeñas destilerías donde todavía se usa la extracción manual, los granos se barren fuera del tanque mediante brazos giratorios llamados ‘rake arms’ o **rastrillos**. Durante la maceración, este rastrillo se encuentra elevado, para no entrar en contacto con la mezcla y evitar romper la cama de grano. Una vez extraído el mosto, el rastrillo descende hasta el nivel del falso fondo y mediante el accionamiento del motorreductor comienza a girar dentro del tanque expulsando el bagazo por la compuerta lateral.



Ilustración 18: Extracción Manual de Bagazo

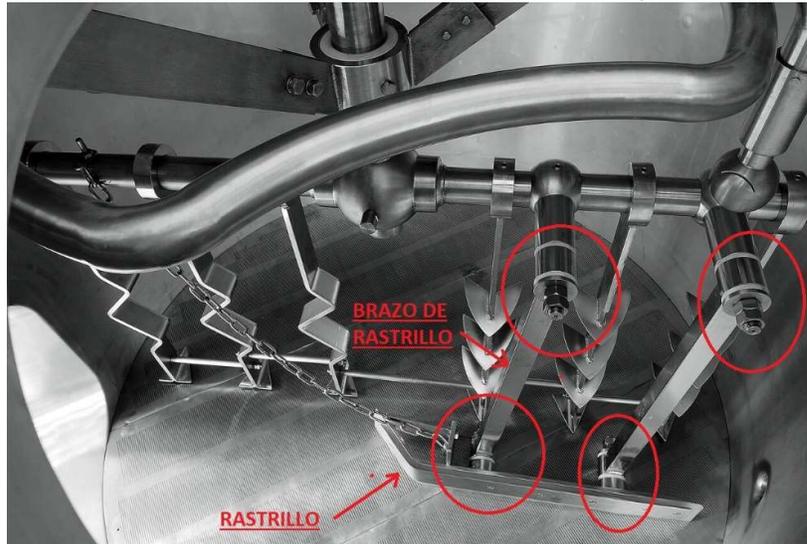


Ilustración 19: Rastrillo

La alzada o descenso del cuerpo del rastrillo se hace en general con el uso de una cadena como se ve en la imagen anterior. Un operario engancha o desengancha la misma desde una toma de hombre ubicada en el cabezal del tanque.

El rastrillo puede ser un cuerpo macizo de acero inoxidable o estar formado por algún material polimérico para evitar desgastes, reducir el coeficiente de fricción y funcionar como pieza fusible y no dañar el fondo en caso de falla. Para el diseño del rastrillo de nuestro macerador se tomará esta última opción.

Para darse una idea, un macerador actualmente luce de la siguiente manera:



Ilustración 20: Macerador de Destilería NOLA, USA

Se puede apreciar el motorreductor en el techo toriesférico y del lado izquierdo una escalera para acceder a la toma de hombre. También se aprecia una gran cantidad de tubos (agua de ataque, agua para rociador, CIP) que descienden por la pared para ingresar al tanque y un único tubo de extracción de mosto.

2.5.1 Importancia de la Molienda en el Filtrado

Antes de que se pueda extraer azúcares de malta u otros granos, deben molerse. Fundamentalmente, cuanto más extensa es la molienda, mayor es el potencial que hay para extraer materiales del grano. Sin embargo, en la mayoría de los sistemas para separar el mosto de los granos gastados después del maceramiento, **la cáscara es importante como medio filtrante**. Cuanto más intacta esté la cáscara, mejor será la filtración.

El requisito de molienda varía de destilería a destilería, dependiendo de la eficiencia del macerador, pero un objetivo de aproximadamente 20% de cáscara, 70% de grist y 10 % de harina es una práctica normal para los maceradores isotérmicos, ya que asegura un rendimiento óptimo en la escorrentía. La molienda es más fina cuando se trabaja con lauter tun, por lo tanto, la cama de grist es mucho menos porosa en relación con la del macerador tradicional.

En los maceradores isotérmicos, **el grist se muele toscamente** y, cuando se mezcla con agua, las cáscaras parciales del grano atrapan aire y hacen que la masa flote. Como resultado, la masa flota sobre el falso fondo y no tapa sus ranuras. Durante la maceración, los azúcares transformados se disuelven en el agua caliente. Esta agua azucarada, el mosto, se filtra a través del fondo perforado del tanque.

Por lo tanto, los maceradores tradicionales mezclan el grano y el agua una sola vez. No hay necesidad de revolver porque no agregamos calor a la mezcla y necesitamos asegurar una temperatura constante en toda ella. **Si revolvemos demasiado, podemos sacar el aire de la mezcla, se comprimirá y se hundirá en el falso fondo, creando la capa impermeable de mezcla.**

Hay fundamentalmente dos tipos de molienda: molienda seca y molienda húmeda. En el primero, los molinos pueden ser de rodillo, disco o martillo. Si la separación del mosto es por un lauter tun, entonces se utiliza un molino de rodillos. Si se instala un mash filter (otro método de separación que utiliza placas de polipropileno que se comprimen para escurrir el líquido del grano), entonces se puede emplear un molino de martillo (o disco) porque la cáscara no tiene importancia en la separación del mosto. La molienda húmeda, se introdujo en algunas operaciones de elaboración de cerveza como una oportunidad para minimizar el daño a la cáscara en la molienda. Al hacer que la cáscara esté "empapada", es menos probable que se rompa que una cáscara seca.

Como conclusión:

→ Cuando la malta está bien modificada, la molienda es menos fina y el método es isotérmico, esto permite que en el macerador, las partes sólidas floten y el mosto descienda por el recipiente a través de las ranuras.

→ Cuando la malta no está bien modificada, la molienda es más fina y se debe usar un calentamiento creciente con vapor, por lo que no se da una separación natural en el Mash Tun como en el caso anterior, por lo que se debe incorporar el Lauter Tun o el Mash Filter al sistema para realizar la separación.

Ya se ha hablado de que se prefiere una maceración isotérmica con una temperatura de mezcla constante de 64°C y también que la filtración se realice dentro del tanque con la utilización del falso fondo, pero se presentaron otras dos alternativas como lo son el uso del Mash Filter o del Lauter Tun. Para justificar un poco más la elección se presenta la matriz QFD que se generó comparando los tres métodos:

		Modelo Kano M Mandat3ria E Esperada A Atrac tiva				Relacionamiento 0 Cumple Mucho 1 Cumple medianamente 2 Cumple poco					
Item	M3x. relacionamiento del item	Importancia relativa	Modelo Kano	Conceptos de producto			Macerador con Laufer Tun	Macerador con Mash Filter	Macerador Compacto		
				Necesidades del cliente/producto							
1	9	23	M	Calidad de Mosto	0	0	0				
2	9	14	E	Tiempo de Proceso	0	0	2				
3	9	14	E	Simplicidad	0	2	0				
4	9	23	M	Costo capital	0	2	0				
5	9	23	M	Costo operacional	0	0	0				
6	9	5	A	Flexibilidad	0	0	2				
7		0									
8		0									
9		0									
10		0									
Limite superior							1	3	3	0	0
Medio							5	1	1	0	0
Limite inferior							0	2	2	0	0
M3x. relacionamiento de la columna							9	9	9		
Peso de importancia							4	5	6		
Importancia relativa %							29	31	40		
Nivel de importancia							3	2	1		

Ilustraci3n 21: Selecci3n de Filtrado

Se puede ver que el macerador compacto tiene mayor peso de importancia respecto a las otras tomando como necesidades la calidad del mosto, los costos, la simplicidad, el tiempo de proceso (considerando varias maceraciones con limpieza de tanque entre medio) y la flexibilidad (posibilidad de variar tipos de granos).

2.5.2 Importancia del Control de Diferencia de Presi3n

La diferencia de presi3n entre la parte superior e inferior del falso fondo debe ser controlada y tiene gran importancia en el proceso. La presi3n inferior debe ser m3s baja para que fluya el l3quido, pero se desea mantener la diferencia baja para evitar una compactaci3n excesiva en la cama de grano.

Tambi3n, escurrir el mosto demasiado r3pido, ya sea por gravedad o con una bomba, compactar3 en exceso la cama de grano. Esta compactaci3n se puede controlar midiendo la diferencia de presi3n.

Si la cama de granos est3 demasiado compactada, los caminos a trav3s de las c3scaras de los granos se cerrar3n y la escorrent3a se reducir3 a un goteo.

Cortar el lecho de granos ayuda a mantener las cosas sueltas, pero no se desea que el mosto fluya solo a trav3s de los canales creados por las cuchillas. Si eso sucede, se dejar3 una gran cantidad de az3car con el resto del grano por el que el mosto no fluye (por esto es importante tambi3n agregar los filos a las cuchillas).

Como conclusi3n, el flujo de extracci3n de mosto aumenta con la diferencia de presi3n, pero se desea que dicho flujo sea lento y controlado para no compactar el lecho de grano, entonces 3sta diferencia de presi3n debe ser lo menor posible.

La diferencia de presi3n entre debajo del falso fondo y la parte superior, medida por un man3metro, muestra si el lecho de grano no ofrece ninguna restricci3n al flujo de mosto.

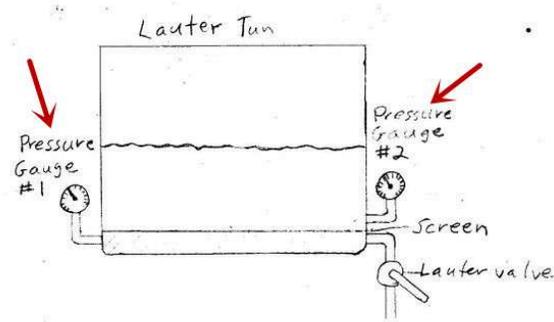


Ilustración 22: Control de Diferencia de presión

Se puede ver que hay dos manómetros conectados al tanque: el manómetro n° 1 mide la presión debajo del falso fondo, el manómetro n° 2 arriba. Ambos manómetros están calibrados en metros de columna de agua. Por necesidad, el manómetro n.º 2 es más alto que el n° 1. Entonces, a cero diferencias de presión, la lectura del manómetro n° 1 es igual a la lectura del manómetro n° 2, más la diferencia de altura entre ellos. Esto debe calibrarse.

Digamos, por ejemplo, que se está extrayendo el primer mosto. El manómetro n° 2 indica 6 [mca], el manómetro n° 1 lee 9 [mca] y sabemos que el n° 2 está 4 [m] más alto en la pared del tanque. Entonces, para diferencia de presión nula, el indicador n° 1 leería 10 [mca]. Si lee 9, la diferencia de presión es de 1 [mca].

Algunos métodos comúnmente utilizados para controlar la diferencia de presión tanto en lauter tun como en mash tuns son:

1. Tubo de equilibrio de nivel.



Ilustración 23: Tubo de equilibrio de nivel

2. Transmisor de DP → Los sensores de presión están instalados y envían datos al PLC/ordenador de control del sistema.



Ilustración 24: Transmisor de DP

3. Otra técnica común es el uso de un sistema de recirculación que permita la circulación del mosto a través del lecho de grano a una velocidad adecuada para evitar la compactación del lecho de grano.

2.6 Falso Fondo

El fondo falso se instala en el interior del macerador para brindar apoyo a la cama de grano durante el proceso de maceración y para retener el grano gastado una vez que se completa la escorrentía. Sin embargo, durante la escorrentía, la mayor parte de la separación del mosto de los granos ocurre en el lecho de granos.

Idealmente, el lecho de grano flota varias pulgadas por encima del fondo falso (30-40 [cm]). En recipientes grandes, el fondo falso se construye como una serie de placas entrelazadas que encajan entre sí para cubrir toda el área del fondo del recipiente. Los recipientes más pequeños pueden tener solo dos placas de este tipo.

Existen dos posibilidades de falso fondo:

1. El **falso fondo de alambre en cuña** también conocido como malla tipo Jonhson, se ha establecido como la construcción ideal para permitir que el proceso de filtración se lleve a cabo de manera adecuada y eficiente. Una pantalla de alambre en forma de cuña se construye con piezas de acero inoxidable en forma de "V", colocadas sobre vigas de soporte a intervalos regulares, generalmente con aberturas de 0,028 pulgadas o 0,030 pulgadas. Aunque se pueden usar otras dimensiones de abertura de la ranura según los requisitos específicos.

El alambre de cuña consta de perfiles de superficie, generalmente de forma triangular en V, soldados con TIG sobre perfiles de soporte. El alambre en V se utiliza para construir una pantalla de alambre de cuña soldada, que es robusta y extremadamente precisa.

Por lo general, la pantalla de fondo falso de alambre en cuña tiene aberturas de ranura de 0,7/0,75/1 [mm] para retener los sólidos y permitir el paso del líquido.

La pantalla de alambre en cuña se fabrica con un cierto tamaño de tela metálica tejida como telas de pantalla, luego se enmarca con placas de acero inoxidable.

BENEFICIOS DEL ALAMBRE DE CUÑA → Con el alambre en cuña, es mucho menos probable que ocurra una obstrucción, lo que significa que todos los pasos del proceso de filtración se pueden llevar a cabo de manera eficiente y con una necesidad mínima de ajustes o mantenimiento en el proceso por parte del personal. **El alambre de cuña también es el tipo de construcción más simple de limpiar y mantener.** Además, se puede fabricar fácilmente en secciones para permitir una simple adición y extracción, para mantenimiento. Los filtros de pantalla de alambre en cuña **proporcionan un área abierta más grande (de hasta el 22%) y, por lo tanto, un mayor rendimiento.**



Ilustración 25: Alambres de Cuña

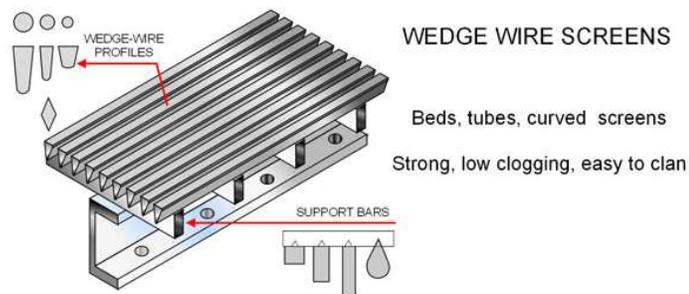


Ilustración 26: Soporte para Falso Fondo Alambre de Cuña

- Otro tipo es mediante **pantallas ranuradas**. El diseño de las ranuras en el fondo falso es importante. Deben ser lo suficientemente angostos para evitar que pasen partículas grandes, pero lo suficientemente anchas para no bloquearse y evitar el flujo por completo. **Es una buena idea que las ranuras u orificios sean más anchos en la parte inferior que en la parte superior para evitar partículas que pasan a través de la pantalla tapando los huecos.** Algunos fabricantes fresan ranuras en las pantallas y fresan la parte inferior más ancha. También se pueden realizar mediante corte laser. En general, el área abierta total del falso fondo está por encima del 11%.

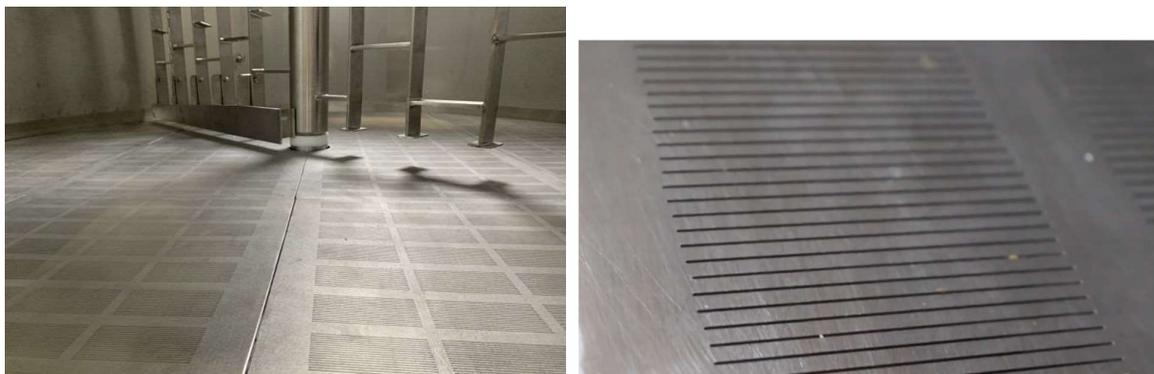


Ilustración 27: Falso Fondo con Pantalla Ranurada

3. Diseño

3.1 Cálculos de Maceración

3.1.1 Cálculo de Temperatura de Primer Agua

La maceración se realiza a una temperatura constante y controlada. La temperatura es un factor crítico en el proceso de maceración, ya que influye en la extracción de los componentes solubles y en la actividad enzimática necesaria para descomponer los almidones en azúcares fermentables.

La temperatura de maceración depende del tipo de whisky o cerveza que se esté produciendo y puede variar según la receta. Por ejemplo, para la elaboración de algunos tipos de whisky, la temperatura de maceración puede oscilar entre los 60°C y los 68°C, mientras que para otros tipos de whisky la temperatura puede ser más baja, alrededor de los 50°C. En este caso, y según las especificaciones de la destilería seleccionada:

$$T_{mezcla} = 64^{\circ}C$$

La temperatura de maceración se mantiene constante a lo largo del proceso mediante el uso de equipo de control de temperatura. Mantener una temperatura constante y precisa durante el proceso de maceración es importante para garantizar la consistencia y calidad del producto final.

Con carácter general, se necesitará poner el agua a una temperatura entre 5 y 8 °C por encima de la pretendida en la mezcla. A título práctico muchos recomiendan empezar con una proporción de agua-grano de 3:1 y un agua de infusión a 70-74 °C. Al emplear una cantidad de agua por debajo del máximo que admite el mash tenemos la ventaja de que si nos quedásemos bajos de temperatura siempre podremos añadir más agua caliente.

La temperatura objetivo de mezcla es de 64°C y la temperatura de grano se considera de unos 20°C. La relación malta:agua es de 1:3 (r=3). La temperatura de agua debe ser:

$$T_a = T_{me} + \frac{0,4 \cdot (T_{me} - T_m)}{r} + 1,7 = 64 + \frac{0,4 \cdot (64 - 20)}{3} + 1,7 = 71,6^{\circ}C$$

La fórmula es bridada por homebrewer.es y se conoce como fórmula de John Palmer. Es usada habitualmente en el ámbito cervecero. Los coeficientes 0,4 y 1,7 son factores de pérdidas térmicas que ocurren en el recipiente.

¿Cómo afecta la proporción de agua a grano molido a la temperatura del macerado? → Si la mezcla es "más espesa", entonces se está usando menos agua por cada kilo de malta agregado. El agua tiene que ser de una temperatura más alta.

Se debe tener en cuenta: antes de macerar, **siempre se debe precalentar**. Se usa el agua caliente a través del anillo rociador. Esto permitirá que el macerador tenga aproximadamente la misma temperatura de macerado en macerado, independientemente de la época del año. Elimina una variable de los cálculos.

3.1.2 Cálculo del Volumen de Primer Agua

Sabemos por las características óptimas de maceración evaluadas anteriormente y por las condiciones de operación del proceso dados por la destilería nacional que:

$$m_{malta} = 350 [kg]$$

$$r = 3$$

El volumen del agua de ataque ya se ha mencionado anteriormente, pero se calcula como:

$$V_{primera\ agua} = r \cdot M_m = 3 \cdot 350 = 1050 [l]$$

Si se tiene una parte inferior al falso fondo (o cualquier otro espacio que llena con líquido) en el mash tun, se deberá agregar el volumen debajo de él a su cálculo. Por ejemplo, si se tiene un espacio de 100 litros debajo del fondo falso y se calculó que necesitaba 1050 litros de agua de ataque utilizando la ecuación anterior, en realidad se necesitan 1150 litros de agua de ataque.

Todavía no se presentaron los cálculos (ítem 3.3.5), pero el volumen que abarca el fondo y la virola por debajo del falso fondo es de 447 [l], entonces el volumen total de agua a agregar en la primera maceración es de:

$$V_{1a} = V_{\text{primer agua}} + 447 \text{ [l]} = 1497 \text{ [l]}$$

3.1.3 Cálculo del Volumen de Bagazo

Para ello se debe conocer la densidad de la malta. La densidad de la cebada es de 0,618 [kg/l], se puede estimar que la densidad de la malta es de aproximadamente 0,67 [kg/l] según datos experimentales. Se puede calcular como:

$$\gamma_{\text{malta}} = 0,67 \left[\frac{\text{kg}}{\text{l}} \right]$$

$$V_{\text{malta}} = \frac{m_{\text{malta}}}{\gamma_{\text{malta}}} = 522,388 \text{ [l]}$$

En general, el volumen de grano gastado se expandirá a 1,65-1,8 veces respecto al grano seco. Para 350 [kg] de malta tenemos:

$$V_{\text{bagazo}} = V_{\text{malta}} \cdot 1,8 = 940,3 \text{ [l]} = 0,94 \text{ [m}^3\text{]}$$

3.1.4 Cálculo de Agua Absorbida y Primer Volumen de Mosto

Si mide la cantidad de agua que absorben sus granos, puede usar eso para calcular su volumen estimado de primer mosto. Esto es importante para los rociadores por lotes y también es útil cuando se elaboran cervezas muy grandes. Para calcular su tasa de absorción, utilice esta fórmula:

$$AR = \frac{V_{\text{absorbido}}}{m_{\text{malta}}}$$

donde AR es el volumen de agua absorbido por peso de grano [l/kg]. El volumen absorbido se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{\text{absorbido}} = V_{1a} - (V_{1m} + V_{\text{other}})$$

Es el volumen de agua de ataque restado por la suma del primer mosto (se necesita medir) y el volumen de cualquier agua que termine en cualquier lugar que no sea la absorción en el grano (se necesita medir). Supondré que $V_{\text{other}} = 0$ [l].

Frente a la imposibilidad de tomar dichas mediciones un valor promedio que se puede adoptar para la cantidad de agua absorbida por peso de malta, que suele rondar entre 1 y 1,25 [l/kg] dependiendo el tipo de malta y la humedad en el grano, es de:

$$AR_{\text{aprox}} = 1,04 \left[\frac{\text{l}}{\text{kg}} \right]$$

Entonces el volumen absorbido es:

$$V_{\text{absorbido}} = AR \cdot m_{\text{malta}} = 364 \text{ [l]}$$

Se puede ver que, si sumamos este volumen absorbido, al volumen inicial de la malta, el volumen del grano aumenta exactamente un 65%, lo que corrobora el dato utilizado para obtener el volumen de bagazo anteriormente. Aunque para sobredimensionar se ha tomado una expansión de grano gastado del 80%.

No hay que olvidar que son cálculos aproximados, y que posteriormente se tomaran coeficientes de seguridad para contemplarlo.

$$V_{\text{absorbido}} + V_{\text{malta}} = 886 [l] \sim V_{\text{bagazo}} = 940 [l]$$

Podemos decir que aproximadamente, el volumen del mosto este compuesto por el volumen de agua inicial menos el volumen de agua absorbido por el grano. Se puede ver que en todos estos cálculos no se hila muy fino, ya que no se tiene en cuenta el almidón que pierde el grano pero que se disuelve en el agua. Ahora se puede calcular el volumen del primer mosto como:

$$V_{1\text{mosto}} = V_{1a} - V_{\text{absorbido}} - V_{\text{others}} = 1133 [l]$$

Podría agregarse una segunda agua para aprovechar la malta que aún tiene capacidad para ceder contenido fermentable y obtener más mosto. La temperatura de la segunda agua en general es de unos 70-75 °C. Esto se deja en manos de los que manejarán el equipo, para las condiciones constructivas no tiene influencia ya que el volumen de esta agua es menor y no tiene aporte de malta triturada por lo que las condiciones más críticas para los cálculos son las del primer aporte de agua con malta.

También se cuenta con el dato experimental de la densidad del mosto. La densidad del mosto es una medida de la cantidad de azúcares y otros sólidos disueltos en el mosto antes de la fermentación. La densidad se mide en unidades de gravedad específica (SG) o en grados Plato (°P). Puede variar en función de la cantidad de malta utilizada, la relación agua-malta, la temperatura y el tiempo de maceración, entre otros factores. Para la producción de whisky de malta, la densidad del mosto suele estar en el rango de 1,07 a 1,1 [SG] o 20 a 25 °P, mientras que, para la producción de whisky de grano, la densidad del mosto puede estar en el rango de 1,05 a 1,065 [SG] o 12 a 16 °P.

$$\delta_{\text{mosto}} = 1070 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$m_{\text{primer mosto}} = \delta_{\text{mosto}} \cdot V_{\text{primer mosto}} = 1191 [kg]$$

3.1.5 Determinación de Valores de Segunda Agua

Se toma como recomendación de Crisp, una temperatura de segunda agua de 75°C y se adopta un volumen de 700 [l] considerando nula la capacidad de absorción de la malta que queda para estar del lado de la seguridad y así obtener hipotéticamente unos 700 [l] de segundo mosto y así completar unos 1800 [l] de mosto que se dirigirán al fermentador. Hay que recordar que los fermentadores de la destilería seleccionada tienen una capacidad de 1800 [l].

3.1.6 Cálculo de Volumen de Macerado o Mezcla

Para obtener el volumen total de macerado que se requerirá en el recipiente se debe tener en cuenta el volumen de agua que desplazará el grano, y que coincide aproximadamente con el volumen de malta.

$$V_{\text{macerado}} = V_{1a} + V_{\text{malta}} = 2019,388 [l] \sim 2020 [l]$$

El **volumen total del macerador** debe ser superior a este valor. Se suele adoptar un 60% del volumen útil entonces el volumen total de la cuba debe ser de unos 3365,6 [l]. Adopto en principio un volumen de **3500 [l]** como óptimo (el 60% útil es de 2100 [l]). Luego con la selección de la chapa y la adopción del diámetro, este volumen cambiará.

Hay espacio de sobra por si en un futuro se desea aumentar la producción y agregar más agua y malta. Por ejemplo, si se desea aumentar el mosto extraído incrementando la malta a 400 [kg] → el volumen de agua sería de unos 1650 [l] (manteniendo la relación 3:1) y el volumen total de macerado de 2200 [l] (cerca del 60% útil que se suele buscar). También podría buscar aumentarse la relación de malta:agua para buscar otros tipos de mostos y no se tendría ningún problema bajo ciertos rangos.

3.1.7 Determinación de Caudales y Velocidades de Flujo

El caudal de extracción del mosto del macerador puede variar dependiendo del tipo de equipo utilizado y las preferencias del fabricante de la cerveza o del whisky. En general, se recomienda un caudal de extracción lento y constante para evitar la compactación del lecho de grano y la extracción de taninos no deseados.

Como se ha mencionado anteriormente, CRISP propone los siguientes caudales:

$$Q_{\text{mosto 1}} = 30 \left[\frac{l}{\text{min}} \right] = 0,0005 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_{\text{mosto 2}} = Q_{\text{anillo rociador}} = 50 \left[\frac{l}{\text{min}} \right] = 0,00083 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

En general, se recomienda que el agua de ataque se agregue gradualmente al macerador para asegurar que los granos estén completamente empapados y se hidraten adecuadamente. La velocidad de ingreso del agua de ataque también puede influir en la eficiencia de la extracción y la calidad del mosto producido. Una velocidad demasiado alta puede hacer que el agua fluya por los granos sin empaparlos adecuadamente, mientras que una velocidad demasiado baja puede dar lugar a una extracción deficiente y a una baja eficiencia.

Se recomienda que el agua de ataque se agregue al macerador en un flujo constante y lento, a una tasa de alrededor de 1/3 de la cantidad total de agua de ataque necesaria durante los primeros 15 minutos de la maceración. Esto permite que los granos se empapen gradualmente y que las enzimas comiencen a descomponer los almidones en azúcares fermentables de manera uniforme.

$$Q_{\text{agua de ataque}} = \frac{V_{1a/3}}{15 [\text{min}]} = 33 \left[\frac{l}{\text{min}} \right] \sim 30 \left[\frac{l}{\text{min}} \right]$$

La selección de tubos de ingreso de agua y velocidades se presentarán en el enunciado encargado de los análisis por CFD de dichas piezas. En general las velocidades económicas para el agua rondan entre 1 y 2,5 [m/s]. Ahora se puede definir el tubo de extracción de mosto.

La velocidad de extracción del mosto del macerador dependerá del equipo utilizado y la receta de whisky que se esté produciendo. En general, se recomienda una velocidad de extracción del mosto del macerador de alrededor de 0,3 a 0,4 [m/s] para asegurar una extracción eficiente y una buena calidad de mosto.

Por lo tanto, se recomienda ajustar la velocidad de extracción del mosto del macerador cuidadosamente, monitoreando el flujo y la calidad del mosto en todo momento. Esto puede lograrse mediante el uso de válvulas y sistemas de medición de flujo precisos y la observación cuidadosa de la claridad y el sabor del mosto durante la producción. Para un **tubo de extracción de mosto de 2" (50,8 [mm]) espesor 1,5 [mm] AISI304 sin costura** (d = 47,8 [mm]), la velocidad de extracción de mosto es:

$$v_{\text{mosto 1}} = \frac{Q_{\text{mosto 1}} \cdot 4}{\pi \cdot d^2} = 0,27 \left[\frac{m}{s} \right]$$

La velocidad de retorno de mosto al macerador no es un parámetro crítico en el proceso de producción de cerveza o whisky. En principio se adopta entonces el mismo tipo de tubo usado para la extracción de mosto.

3.1.8 Cálculo de Fuerza de Bagazo

Es importante definir la fuerza que ejercerá el bagazo sobre el rastrillo encargado de su extracción, tras la maceración. Ésta fuerza será importante tanto para los estudios de tensiones de muchas de las piezas como para la selección de componentes estándar.

Para ello, se necesita la masa de bagazo que queda sobre el falso fondo tras la maceración. Conocemos su volumen (ítem 3.1.3), pero no se sabe con exactitud su densidad, entonces se hará uso de la **conservación de masas**.

Por conservación de masa: si ingresan 350 [kg] de malta y 1497 [kg] de agua; y salen 1191 [kg] de mosto → quedan 656 [kg] de bagazo.

$$m_{\text{bagazo}} = 656 \text{ [kg]}$$

Se puede calcular la densidad aproximada del bagazo para compararla con la densidad de la malta:

$$\delta_{\text{bagazo}} = \frac{m_{\text{bagazo}}}{V_{\text{bagazo}}} = 0,69 \left[\frac{\text{kg}}{\text{l}} \right]$$

Muy cercana a la densidad de la malta de 0,67 [kg/l].

El bagazo se encuentra apoyado sobre el falso fondo y el rastrillo lo empuja hasta moverlo. Ésta fuerza de oposición del bagazo al movimiento está relacionada con el coeficiente de fricción entre los granos de bagazo y también entre el bagazo y el fondo. Entonces:

$$F = m \cdot g \cdot \mu$$

Se encontró revisando documentos experimentales en la web que el coeficiente de fricción entre el bagazo y el acero del fondo puede estar cerca de $\mu = 0,3$. Se decide adoptar este dato ya que no se cuentan con fuentes sólidas sobre este estudio ni con la posibilidad de realizar el experimento. Para ponernos del lado de la seguridad se podría considerar que toda la masa del bagazo está aglomerada frente al cuerpo de rastrillo ejerciendo toda la fuerza, cosa que no ocurre ya que el bagazo está distribuido por todo el tanque.

Entonces:

$$F = 656 \cdot g \cdot 0,3 = 1930 \text{ [N]}$$

3.1.9 Cálculo de la Capacidad Calorífica del Grano

No es necesario para el diseño o el funcionamiento tener presente este valor, pero muchos destileros o cerveceros prefieren tenerlo para realizar cálculos por ejemplo de eficiencia.

- Capacidad calórica del agua → $C_{pa} = 4,186 \text{ [kJ/kg.}^\circ\text{C]}$
- Masa de agua → $M_{1a} = 1050 \text{ [kg]}$
- Temperatura de agua → $T_a = 71,6^\circ\text{C}$
- Masa de malta → $M_m = 350 \text{ [kg]}$
- Temperatura de malta = $T_{amb} \rightarrow T_m = 20^\circ\text{C}$
- Temperatura objetivo de mezcla → $T_{me} = 64^\circ\text{C}$

Sabemos que el calor que cede el agua es igual al calor que absorbe la malta y alcanzan el equilibrio en la temperatura de mezcla. Realizo esta relación para obtener la capacidad calórica práctica de la malta C_{pm} .

$$M_a \cdot C_{pa} \cdot (T_a - T_{me}) = -M_m \cdot C_{pm} \cdot (T_m - T_{me})$$

$$C_{pm} = \frac{M_a}{M_m} \cdot C_{pa} \cdot \frac{T_a - T_{me}}{T_{me} - T_m} = \frac{1497}{350} \cdot 4,186 \cdot \frac{71,6 - 64}{64 - 20} = 3,092 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.}^\circ\text{C}} \right]$$

La malta no solo está absorbiendo

3.2 Composición del Macerador

Primero que nada, se presenta un render del macerador junto a un tanque de almacenamiento de agua (similar a la disposición actual de la destilería seleccionada) indispensable para el proceso, y por el otro lado una escalera de acceso a la toma de hombre del techo. Se coloca también a un operario para poder imaginar las dimensiones reales del sistema.



Ilustración 28: Render del Macerador

Para facilitar el diseño se dividió a toda la maquina en cuatro conjuntos:

1. Cabezal/Techo;
2. Sistema Giratorio;
3. Virola;
4. Fondo.

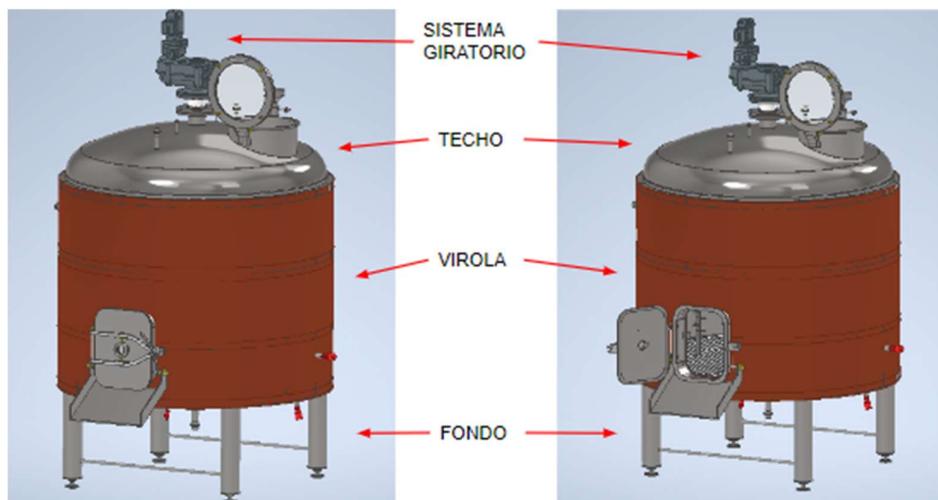


Ilustración 29: Conjuntos del Macerador

Dentro de cada conjunto, existen distintos subconjuntos. A su vez, cada subconjunto está formado por varias piezas. Además, éstos pueden ser totalmente estándares, pueden estar formados por piezas de diseño propio junto con ciertos componentes estándar o pueden estar formados completamente por piezas de diseño propio.

A lo largo del informe se hablará específicamente de cada una de las piezas que se presentaran a continuación, ahondando en sus funciones, estados de carga, cálculos, análisis, diseños, dimensiones, materias primas utilizadas y métodos de fabricación.

Los subconjuntos del cabezal son: Chapa de Cabezal, Toma de Grano, Anillo Rociador, Sistema CIP, Toma de Hombre y Brida Central sobre la que se monta la Torreta y el Motorreductor.

Cabe aclarar que la toma de primera agua que aparece junto a la toma de grano es para el ‘mashing’, mientras que el ingreso de agua mediante anillo rociador es para el ‘sparging’. Conceptos que se explicaron anteriormente.

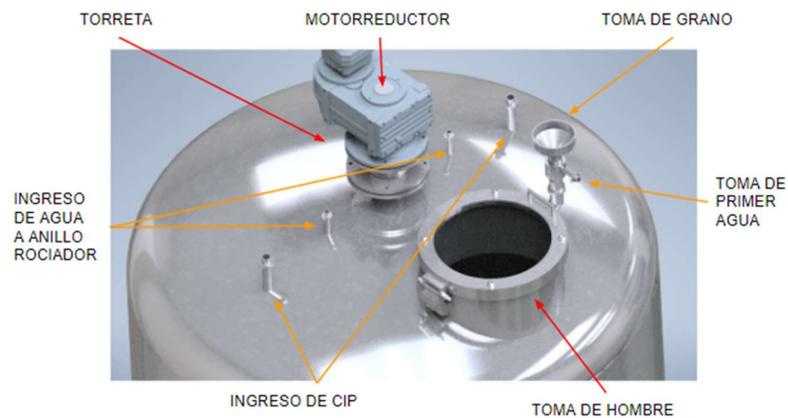


Ilustración 30: Cabezal y Componentes I



Ilustración 31: Cabezal y Componentes II

Para completar la información presentada se adjunta otra imagen con algunos de los componentes que se encuentran sobre el techo de un macerador real y que se han mencionado anteriormente:



Ilustración 32: Componentes del Techo

Los subconjuntos del sistema giratorio son: Motorreductor, Torreta, Eje Giratorio, Brazo Giratorio con y sin Rastrillo, Cubo y Perno de Unión.

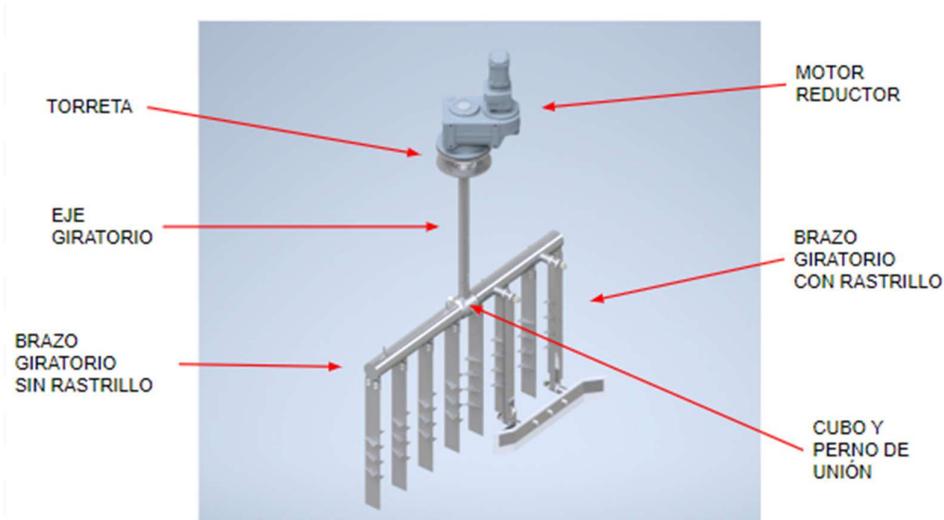


Ilustración 33: Sistema Giratorio

Para comprender mejor las piezas que entran en juego en el interior del macerador se presenta la siguiente ilustración tomada de una máquina real, y que incluye piezas del conjunto cabezal y del sistema giratorio. Se pueden apreciar también las bochas CIP (incluidas como subconjunto del cabezal) y un buje para el eje giratorio cuya función es la de restringir su movimiento radial, que no han sido identificadas como el resto de las piezas para no tapar tanto la imagen.

Dos de las partes principales de este conjunto, que se pueden ver a continuación y que ya han sido mencionadas y explicadas, son las cuchillas y el rastrillo.

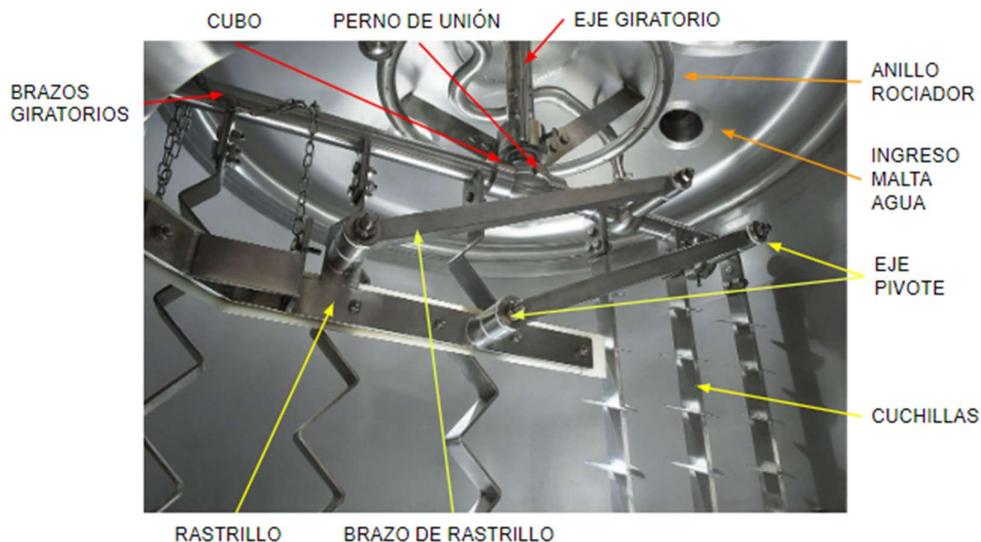


Ilustración 34: Componentes Internos del Macerador

Continuando con el sistema giratorio, existen varias secciones que se desea remarcar.

En primer lugar, se desea mostrar cómo es la interacción entre la torreta, el eje giratorio y el motorreductor. La torreta es un subconjunto del sistema giratorio compuesto por 3 piezas (un tubo y dos bridas) soldadas, el eje giratorio es una única pieza maciza y el motorreductor es un subconjunto completamente estándar que se selecciona de algún proveedor. Alojado en la torreta se encuentra un rodamiento y un retén, también estándares.

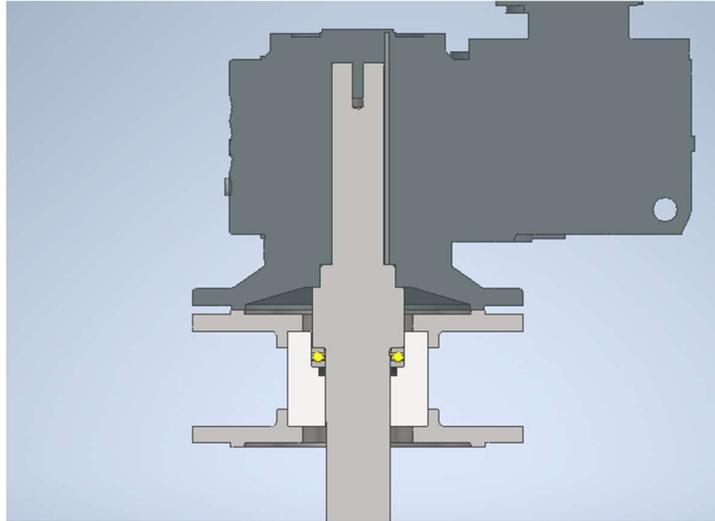


Ilustración 35: Torreta, Eje y Motorreductor I (Corte)

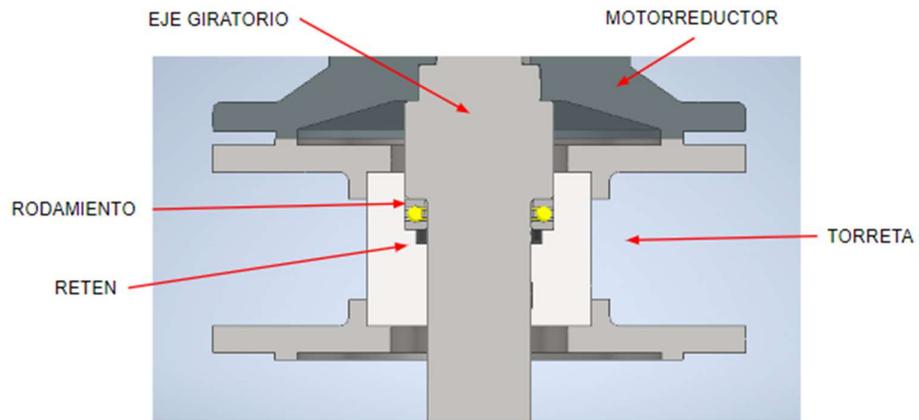


Ilustración 36: Torreta, Eje y Motorreductor II (Corte)

Descendiendo por el eje giratorio, aparece la unión entre los brazos y el eje. Los brazos se sueldan a una pieza central llamada cubo. El cubo y el eje giratorio se unen mediante una pieza denominada perno de unión y dos tuercas.

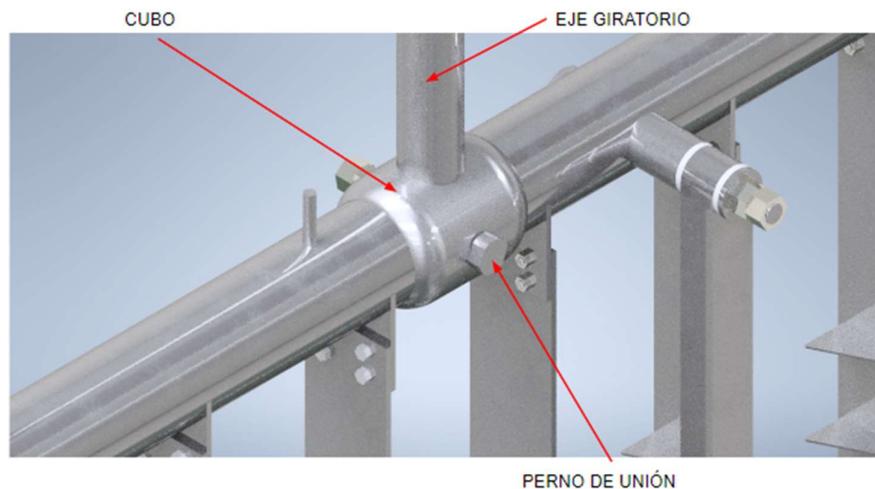


Ilustración 37: Conjunto de Perno de Unión I

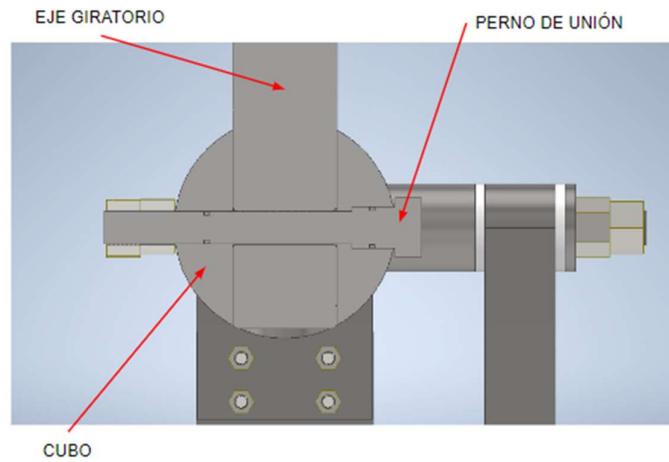


Ilustración 38: Conjunto de Perno de Unión II (Corte)

Por último, en este conjunto, se presenta la unión del eje pivote superior al tubo del brazo con rastrillo. El eje pivote superior se rosca al buje roscado (soldado al brazo giratorio). Sobre él se monta el brazo de rastrillo, en cuyos extremos se colocan arandelas plásticas para reducir la fricción. En el extremo del eje pivote se coloca una arandela metálica con un sistema de tuerca y contratuerca.

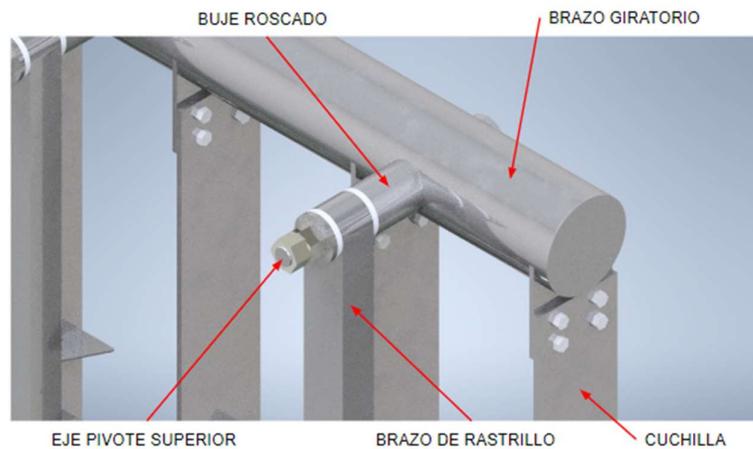


Ilustración 39: Sistema de Pivote I

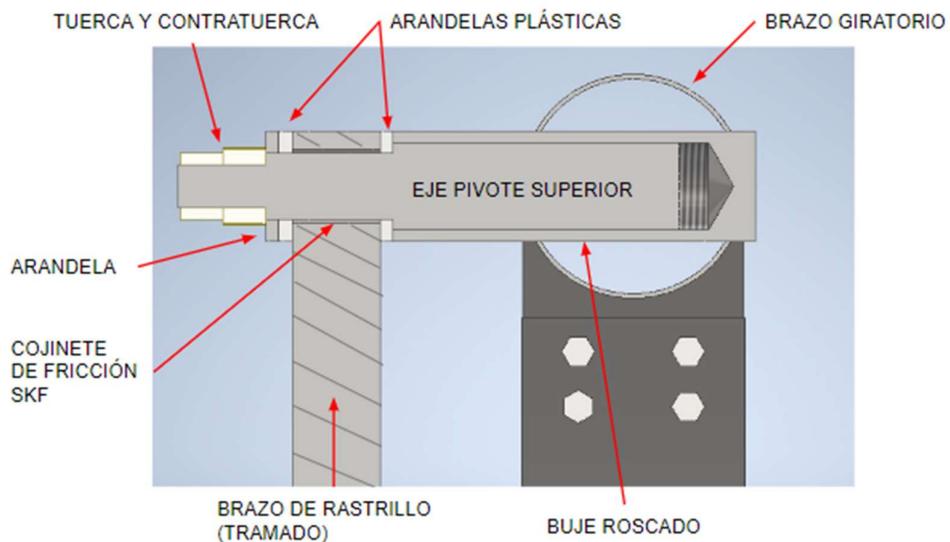


Ilustración 40: Sistema de Pivote II (Corte)

Los subconjuntos de la virola son: Chapa de Virola, Compuerta Lateral (con Refuerzo), Soporte de Falso Fondo, Falso Fondo, Sensores, Tubo de Retorno y Aislación.

Haciendo transparente toda la parte de la aislación en la virola, se pueden apreciar la chapa de la virola y el refuerzo de la compuerta lateral.

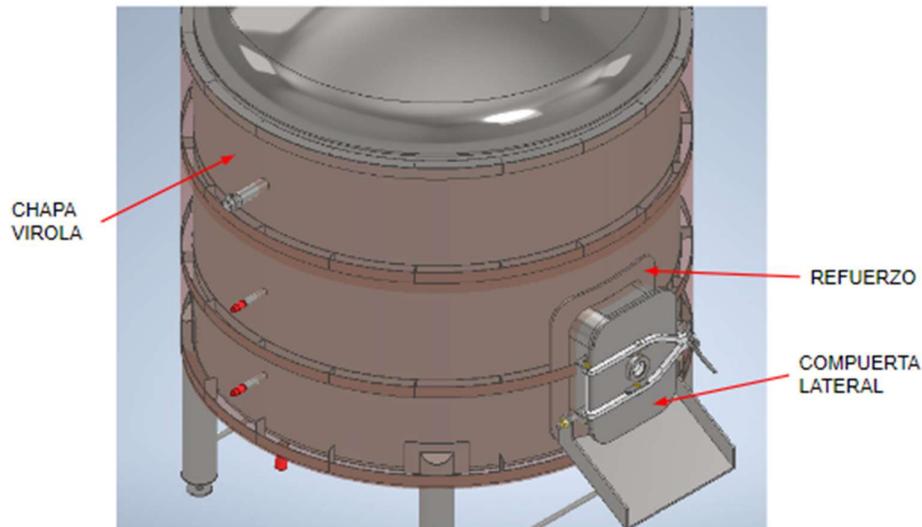


Ilustración 41: Componentes de Virola

Los únicos componentes interiores al tanque en este subconjunto son el soporte del falso fondo (compuesto por varias piezas soldadas) y el falso fondo (pieza estándar). El soporte del falso fondo se suelda al interior de la virola y el falso fondo se apoya sobre él. El falso fondo, sea cual sea su tipo, consta de varias partes (en general cuatro), y cada una de ellas ingresa por la compuerta lateral para colocarse en su lugar.

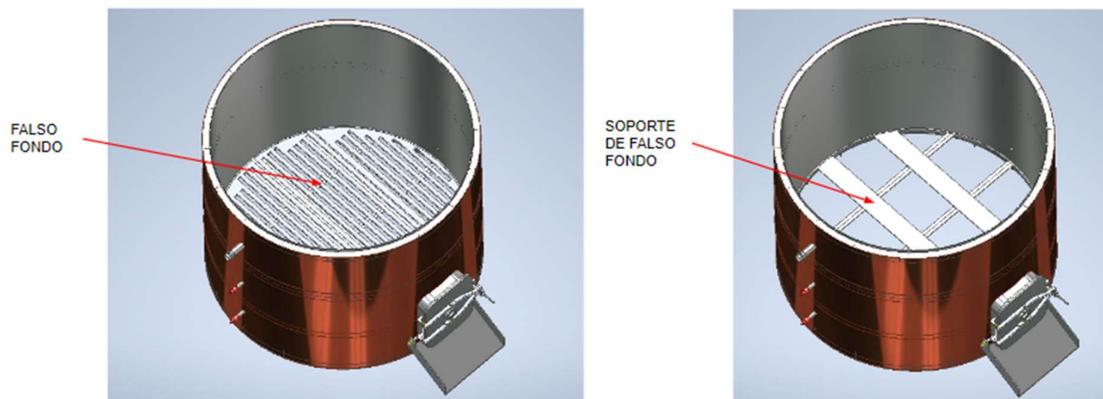


Ilustración 42: Falso Fondo y Soporte I

Se presenta a continuación lo mismo, pero con vista desde abajo. A la derecha se puede apreciar como el soporte del falso fondo se suelda en el interior de la virola.

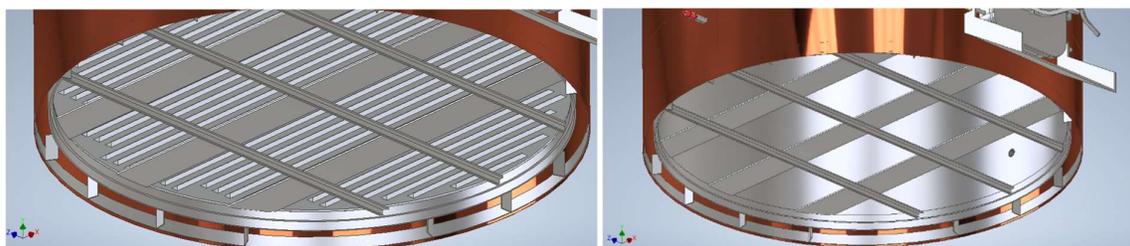


Ilustración 43: Falso Fondo y Soporte II

Finalmente, se muestra la ubicación de cada uno de los sensores seleccionados en el tanque. Algunos se montarán sobre la virola y otros sobre el fondo. También se puede apreciar el tubo de retorno de mosto sobre el sensor de nivel máximo a la izquierda. Es posible que no se use el sensor de nivel inferior y que el control de vaciado del tanque se haga por otros medios, pero igual se coloca en la ilustración.



Ilustración 44: Ubicación de Sensores

Los subconjuntos del fondo son: Chapa de Fondo, Piernas de Máquina, Sensores, Tubo de Extracción y Aislación.



Ilustración 45: Fondo

Haciendo transparente toda la parte de la aislación en el fondo, se pueden apreciar la chapa del fondo y la unión de las piernas de la máquina con el tanque.

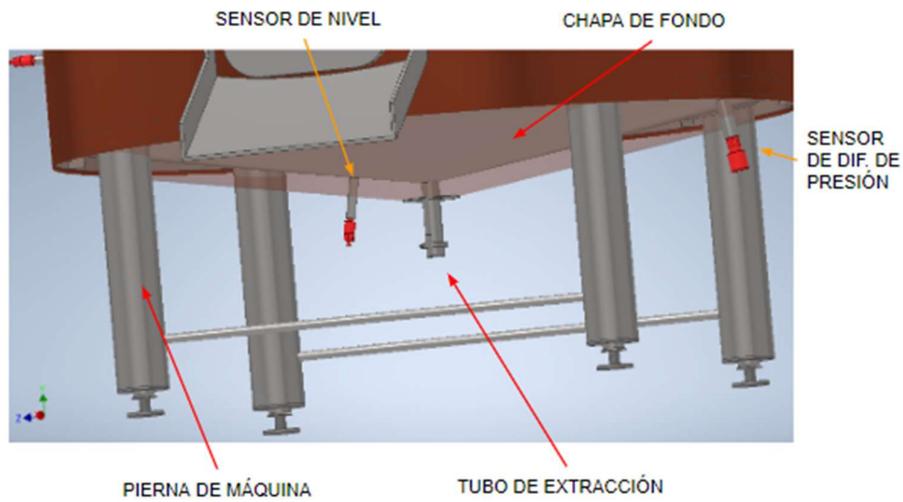


Ilustración 46: Subconjuntos del Fondo

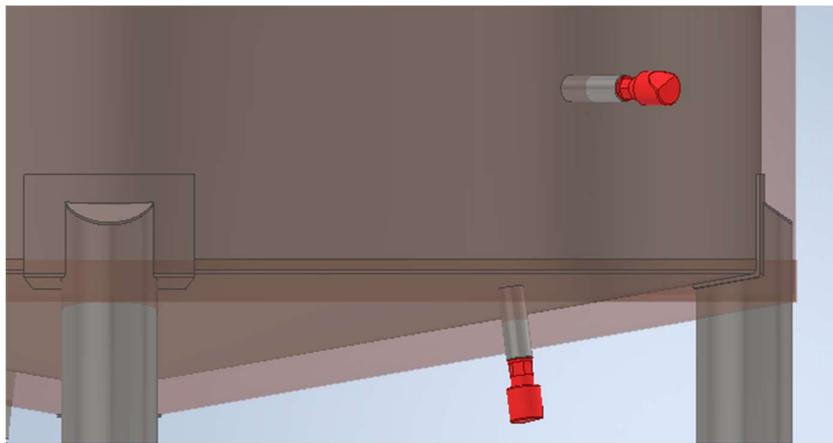


Ilustración 47: Unión de Pierna a Tanque

Ahora que fueron presentadas todas las piezas de la máquina, se puede adjuntar la siguiente ilustración que indica la distribución y algunas dimensiones generales que se han considerado importantes.

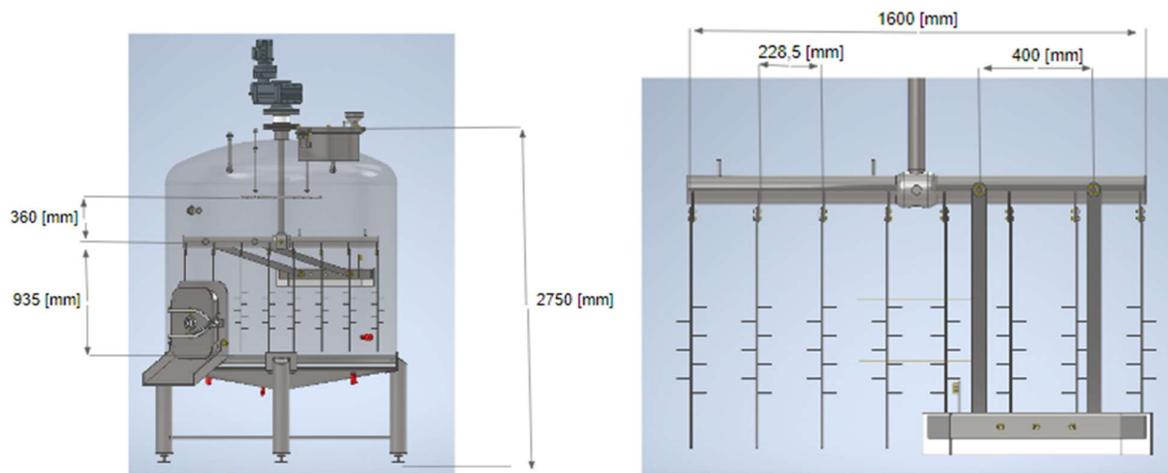


Ilustración 48: Algunas Dimensiones

3.3 Cálculos para Dimensionado del Macerador

Primero que nada, es importante saber el volumen que se le debe dar al tanque. Para ello se calcula el volumen de mezcla que entrará en juego. Luego se buscará definir el diámetro y la altura del tanque y finalmente los espesores de chapa utilizando el Manual de Recipientes a Presión que provee el código ASME como punto de partida. Con esta información, se obtiene también el nivel de mezcla y el nivel de bagazo dentro del tanque, datos muy importantes a tener en cuenta para el diseño de las piezas interiores del macerador.

La mayoría de los componentes se fabrican en AISI 304L o en su defecto en AISI 304. Según FAIRES pagina 732 Tabla AT4, para un acero 304L recocido se tiene:

$$\sigma_r = \text{Tensión de rotura} = 85 \text{ [ksi]} = 5976 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 586 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_f = \text{Tensión de fluencia} = 35 \text{ [ksi]} = 2460 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 240 \text{ [MPa]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad} = 1,968 \cdot 10^6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 1,93 \cdot 10^5 \text{ [MPa]}$$

Se tomará como referencia y límite para todos los análisis mediante elementos finitos la tensión de fluencia de 240 [MPa].

3.3.1 Cálculo del Diámetro del Macerador

Los diámetros de los maceradores utilizados en la producción de cerveza o whisky pueden variar dependiendo del tamaño de la destilería o cervecería y de la cantidad de producto que se esté elaborando. En general, los maceradores más comunes tienen diámetros que oscilan entre 1 y 3 metros, aunque algunos pueden ser más grandes o pequeños.

En principio se busca que el diámetro sea lo mayor posible para aumentar el área de flujo y así reducir las velocidades de descarga, y favorecer que la cama de granos permanezca conformada en la parte superior. Se ha visto en trabajos similares que **el diámetro se busca a partir del espesor ideal para la cama de grano**.

Lo ideal es que el espesor de la cama de grano esté entre 30 y 40 [cm] para facilitar el filtrado según las recomendaciones del proveedor de malta CRISP. Se supone entonces que para un espesor de cama de grano medianamente compactado de 40 [cm], la altura para la cama de bagazo que quedará tras la maceración sería de unos 35 [cm] aproximadamente. Considerando entonces las dimensiones óptimas de la cama de bagazo, se calcula un diámetro aproximado para el macerador.

$$V_{\text{bagazo}} = \pi \cdot \frac{D_{\text{macerador}}^2}{4} \cdot h_{\text{cama de bagazo}}$$

$$D_{\text{macerador}} = \sqrt{\frac{V_{\text{bagazo}} \cdot 4}{\pi \cdot 0,35}} = 1,8492 \text{ [m]} = 1849,2 \text{ [mm]}$$

Este diámetro sería el diámetro óptimo interior para el tanque. Ahora se debe ver los tipos de chapas comerciales que se encuentran en la región y adoptar una que permita obtener un diámetro interior similar. Primero se obtendrá el diámetro exterior y posteriormente con los cálculos por presión se hallará el espesor.

Tomamos a FAMIQ como proveedor y se parte de dos chapas de AISI 304L de 3000 x 1500 [mm]. La gama de espesores de este tipo de chapa es amplia por lo que luego se definirá. Tomamos como “d” y “a” a los lados de la chapa:

$$d = 3000 \text{ [mm]}$$

$$a = 1500 \text{ [mm]}$$

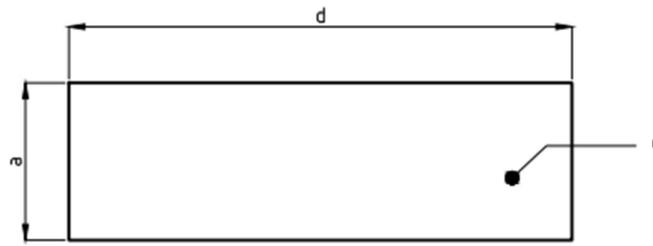


Ilustración 49: Chapa

Siendo D el diámetro exterior del tanque, si se dobla cada chapa en forma de medio cilindro y luego se sueldan en los extremos para formar la virola, se obtiene:

$$2 \cdot d = \pi \cdot D \rightarrow D_{\text{macerador}} = \frac{2 \cdot d}{\pi} = 1909,85 \text{ [mm]}$$

3.3.2 Cálculo de Espesor de Virola

Por lo general, los macerados isotérmicos tienen mayor espesor, mientras que los macerados de temperatura creciente y de decocción suelen ser más delgados para facilitar la mezcla y transferencia de calor.

En términos generales, el espesor del material de un macerador suele estar en el rango de 3 [mm], aunque algunos maceradores pueden tener un espesor mayor o menor. El espesor es importante porque afecta la capacidad del macerador para retener el calor y la resistencia a la deformación bajo la presión del agua caliente y los granos. En algunos casos, el espesor puede ser especificado por las regulaciones de seguridad y las normas de la industria, especialmente en grandes destilerías o cervecerías comerciales. En otros casos, el fabricante puede elegir el espesor del material en función de sus propias necesidades y preferencias en términos de calidad y durabilidad del equipo.

Como se mencionó anteriormente, se utilizó como base el Manual de Recipientes a Presión. A pesar de que el macerador es un tanque que trabaja a presión atmosférica, se dimensiona considerando la máxima presión hidrostática en el fondo de la virola como presión de trabajo. En algunos casos, quedará sobre dimensionado por lo que se tomará como correcta la decisión de reducir las presiones de diseño. Además, los cálculos irán acompañados de un posterior estudio mediante MEF.

En general la distancia entre el falso fondo y el fondo del tanque es de 150 a 160 [mm] para fondos planos. Se adopta una distancia de 100 [mm] entre el falso fondo y el fondo de la virola para reducir el volumen debajo del mismo.

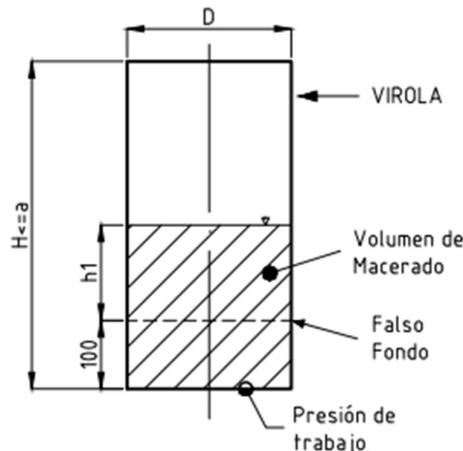


Ilustración 50: Referencias de Cálculo para Virola

$DR\ mosto = 1,07$ (dato extraído de proveedor de malta)

$$p\ trabajo = \gamma\ agua \cdot DR\ mosto \cdot g \cdot h$$

$$h = h1 + 100\ [mm]$$

Se llama “h” al nivel de líquido desde el fondo de la virola. El volumen de mezcla que se encuentra por debajo del falso fondo lo llamaremos **volumen muerto** y es la suma del volumen de macerado que se encuentra en la virola, pero bajo el falso fondo, y el volumen de macerado que se encuentre en el fondo (este volumen es nulo si el fondo es plano). Se llama volumen muerto porque representa al volumen de líquido que no puede estar en contacto directo con los granos de malta, ya que éstos se encuentran por encima del falso fondo. Lo ideal es que la mayor parte del volumen de líquido se encuentre por encima del falso fondo, por este motivo muchos de los maceradores utilizan fondos planos o fondos cónicos de muy pequeña altura.

$$V\ muerto\ virola = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 0,13 = \pi \cdot \frac{1,90985^2}{4} \cdot 0,10 = 0,2865\ [m^3] = 286,5\ [l]$$

Para calcular el nivel de mezcla por encima del falso fondo “h1” se utiliza el volumen de macerado y se le resta el volumen muerto (solo se le resta el volumen muerto por virola para aumentar la altura y tener mayor exigencia de presión). El cálculo preciso se debería realizar con el diámetro interior, pero considerando que la diferencia entre ambos es de unos pocos milímetros se utilizara de forma aproximada el diámetro exterior.

$$V\ macerado - V\ muerto\ virola = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h1$$

$$h1\ aproximada = \frac{V\ macerado - V\ muerto\ virola}{D^2 \cdot \pi} \cdot 4 = 0,605\ [m] = 605\ [mm]$$

Para facilitar el cálculo y ponerme del lado de la seguridad, tomo la totalidad del volumen de macerado y lo considero como mosto. Es importante tener en cuenta que todas las presiones son manométricas. De esta forma:

$$p\ trabajo = \gamma\ agua \cdot DR\ mosto \cdot g \cdot h$$

$$p\ trabajo = 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 1,07 \cdot g \cdot (0,605[m] + 0,1\ [m]) = 7400\ [Pa]$$

Obtenemos una presión muy baja, apenas superior a la atmosférica. La norma indica que la presión de diseño debe ser la mayor entre un 10% más que la presión de trabajo calculada 2 [bar M] (equivalente a unos 20 metros de columna de agua). Entonces:

$$p\ diseño = 2\ [bar\ M] = 2,04 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Ahora hay dos formas de encarar las fórmulas. Utilizaremos las que se basan en las dimensiones exteriores del tanque.

Tipo de Acero	S [kg/cm ²]
304 L	942,11 a 1103,82
316 L	935,08 a 1103,82

Tabla 3: Tensiones Admisibles de Acero Inoxidable

$$R = Radio\ Exterior = 954,925\ [mm]$$

$$S = Tensión\ admisible\ (Pag.\ 160\ de\ norma)\ para\ AISI\ 304L = 942,11 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$E = Eficiencia\ de\ soldadura\ (Pag.\ 142\ de\ norma) = 0,7\ (soldadura\ no\ examinada)$$

$$t = \frac{p \cdot R}{S \cdot E + 0,4 \cdot p} = 0,295 \text{ [cm]}$$

Entonces:

$$t \text{ mínimo virola} = 3 \text{ [mm]}$$

Podemos profundizar un poco más el cálculo realizando la verificación a la condición de vacío. Se comienza considerando el largo total de la chapa como la altura de la virola, es decir, 1500 [mm].

$$D_o = \text{Diámetro exterior} = 1909,85 \text{ [mm]}$$

$$L = \text{Largo de Virola} = 1500 \text{ [mm]}$$

$$t = 3 \text{ [mm]}$$

$$p_A = \text{Presión admisible o presión máxima de trabajo} \geq 1 \text{ [barM]}$$

Según ASME la siguiente fórmula se cumple solo para $D_o/t \geq 10$.

$$p_A = \frac{4}{3} \cdot \frac{B}{D_o/t}$$

El siguiente paso es entrar a la figura UGO-28.0 (página 40 del código) con:

$$\frac{D_o}{t} = 636,3$$

$$\frac{L}{D_o} = 0,785$$

Se obtiene un factor A:

$$A = 0,00008$$

Ahora considerando acero 304L, se ingresa a la figura UHA-28.3* teniendo en cuenta como módulo de elasticidad de Young $1,97 \cdot 10^6$ [kg/cm²] o $28 \cdot 10^6$ [psi]. El objetivo es obtener el factor B que influye en la fórmula de presión admisible. El factor A cae fuera de la gráfica por lo que el cálculo sigue de la siguiente manera:

$$p_A = \frac{2}{3} \cdot \frac{A \cdot E}{\frac{D_o}{t}} = 0,165 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] < 1 \text{ [barM]}$$

Un espesor de 3 [mm] no verifica a vacío. Algunos factores por tocar serían aumentar el espesor “t” o reducir la altura del tanque “L” para así aumentar el factor A. Se decide dejar la altura de 1,5 [m] y solo variar el espesor.

Se duplica el espesor. Ahora trabajamos con $t = 6$ [mm].

$$\frac{D_o}{t} = 318,3$$

$$\frac{L}{D_o} = 0,785$$

$$A = 0,00025$$

$$B = 3500 \text{ [psi]} = 246 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$p_A = \frac{4}{3} \cdot \frac{B}{D_o/t} = 1,03 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] > 1 \text{ [barM]}$$

Un espesor de 6 [mm] en la virola sería suficiente para verificar por presión interior y por vacío.

En algunos procesos industriales, se puede usar un macerador sometido a vacío para aumentar la eficiencia de la extracción y reducir el tiempo de maceración. Esto se conoce como maceración al vacío. Durante la maceración al vacío, el macerador se sella y se somete a una presión negativa, lo que reduce el punto de ebullición del agua y, por lo tanto, reduce el tiempo necesario para extraer los compuestos deseados del grano. La reducción de la presión también puede ayudar a reducir la formación de espuma, lo que puede mejorar la eficiencia de la extracción y la calidad del mosto producido.

Sin embargo, la maceración al vacío es un proceso que requiere equipo especializado y puede ser más costoso que la maceración convencional. Además, la maceración al vacío puede ser más difícil de controlar que la maceración convencional y puede requerir una mayor atención a los detalles para garantizar una extracción uniforme y una alta calidad del mosto producido. En general, la maceración al vacío se utiliza en procesos industriales a gran escala y no es común en la producción artesanal de whisky.

→ Es importante mencionar que el tanque en condiciones normales no trabaja a vacío, pero este aumento de espesor favorece al aumento de la resistencia de la estructura, considerando que debe resistir también los pesos del cabezal y todos los componentes montados sobre él. Pero, sobre todo, favorece a la continuidad con el fondo, el cual posiblemente requiera espesores mayores.

Se adoptó un espesor de 6 [mm] para realizar los análisis mediante MEF. Ahora se realizará una verificación de dicho espesor, no solo para la presión interior, sino también para las cargas provenientes del cabezal. La presión de diseño sigue siendo la que indica la norma de recipientes a presión:

$$p_{\text{diseño}} = 0,2 \text{ [MPa]}$$

Como parte del diseño, se adoptó una compuerta lateral con una abertura de 410 x 534 [mm] (ítem 3.14.9). Esto da un área de apertura de 218940 [mm²] o lo que es lo mismo 0,2 [m²]. Se desea verificar dicha región crítica y dimensionar un refuerzo en caso de ser necesario.

Al tratarse de una pieza fina el tipo de análisis que se realizará será tipo “Shell”. Consiste en tomar una superficie plana (no un sólido) coincidente con la superficie media de la virola. Se obtienen tensiones muy superiores a las de fluencia:

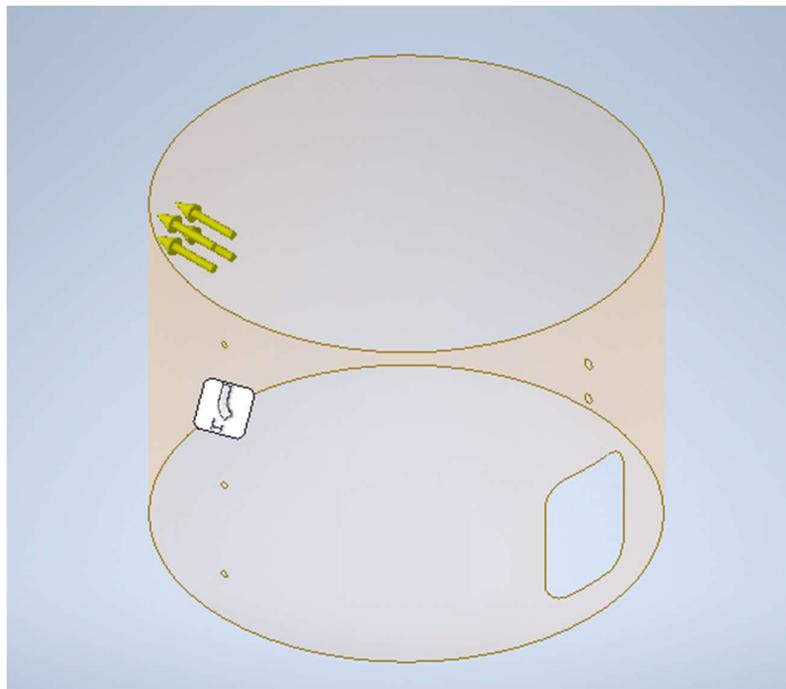


Ilustración 51: Shell de Virola

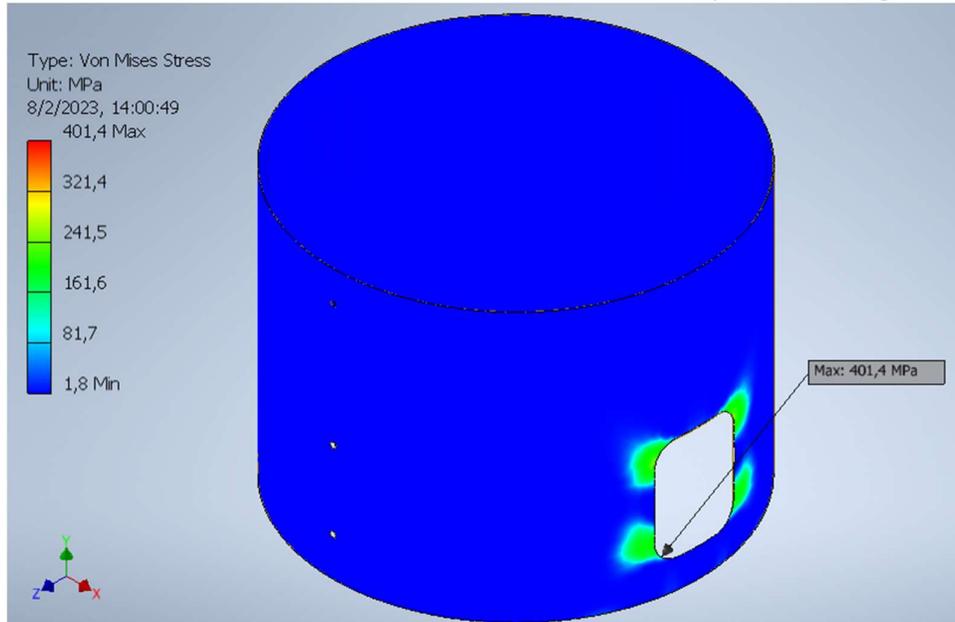


Ilustración 52: Tensiones de Virola Sin Refuerzo

Las reglas para el **refuerzo de aberturas** están tomadas de la norma, UG-36 a UG-44, y se aplican primordialmente a recipientes de más de 60" (1524 [mm]) de diámetro y que la abertura no exceda un tercio del diámetro del recipiente, es decir, 20" (508 [mm]). Estamos justo sobre estos límites.

El requisito básico es que el recipiente debe reforzarse con una cantidad de metal igual a la que se quitó para hacer la abertura. El refuerzo puede formar parte del recipiente y de la boquilla en forma integral o bien puede ser un parche adicional como es el caso.

Sin embargo, esta regla sencilla necesita de consideraciones extras, de acuerdo con lo siguiente:

1. No es necesario reponer la cantidad total de metal que se eliminó, sino solo la cantidad requerida para resistir la presión interna (A). El espesor requerido del recipiente en las aberturas generalmente es menor que en otros puntos del casco o la cabeza.
2. La placa que se emplea y el cuello de la boquilla son por lo general de mayor espesor que el que se requeriría por cálculo. Este exceso que hay en la pared del recipiente (A1) y el que hay en la pared de la boquilla (A2) sirven como refuerzo. De modo semejante pueden tomarse también como refuerzo la extensión interior de la abertura (A3) y el área del metal de la soldadura (A4).
3. El refuerzo debe estar comprendido dentro de ciertos límites.
4. El área del refuerzo debe aumentarse en forma proporcional si su valor de esfuerzo es más bajo que el de la pared del recipiente.
5. El requisito de área del refuerzo debe satisfacerse para todos los planos que pasen por el centro de la abertura y sean normales a la superficie del recipiente.

Se omitirán las áreas de la abertura y soldadura que favorecen el refuerzo tanto en el cálculo del área del refuerzo como en el análisis por MEF. Muchos fabricantes toman que el área extraída del tanque (A) debe ser igual al área que ocupará el refuerzo (A5), y esto da un exceso de refuerzo que resulta más económico al prescindir de cálculos. Cabe aclarar que la norma habla mucho sobre compuertas circulares y no rectangulares. El cálculo se hace como si fuera una compuerta circular de diámetro igual al largo mayor de nuestra abertura, es decir, $\varnothing 534$ [mm]. Haré el cálculo para tener una referencia y la decisión final saldrá del MEF.

En la siguiente ilustración:

- tr = Espesor del Refuerzo
- t = Espesor de Virola = 6 [mm]
- e = Dimensión del Refuerzo

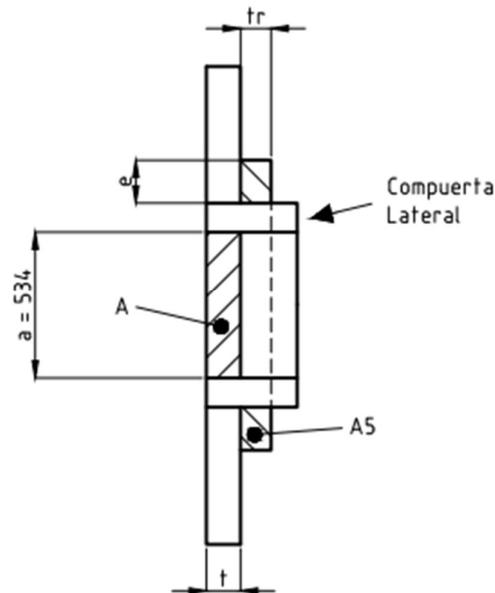


Ilustración 53: Dimensiones Refuerzo Virola

$$A = A5$$

$$a \cdot t = 2 \cdot e \cdot tr$$

$$tr = \frac{a \cdot t}{2 \cdot e}$$

Se puede realizar una tabla viendo los espesores de refuerzo “tr” que se obtienen variando la dimensión “e”.

e [mm]	tr [mm]
50	32,01
80	20,02
100	16,02

Tabla 4: Posibles valores de tr

Un $e = 100$ [mm] es el máximo permitido para que el refuerzo se encuentre apoyado sobre la virola en su totalidad (recordar que la distancia del falso fondo al fondo de la virola es de 100 [mm]). Un “e” mayor haría que partes de este se encuentren en voladizo por fuera de la virola.

Se genera el refuerzo con una chapa de acero inoxidable 304L (mismo material que la virola) y se inicia probando un espesor de 12 [mm]. Nuevamente el análisis es de tipo “Shell” tanto para la virola como para el refuerzo.

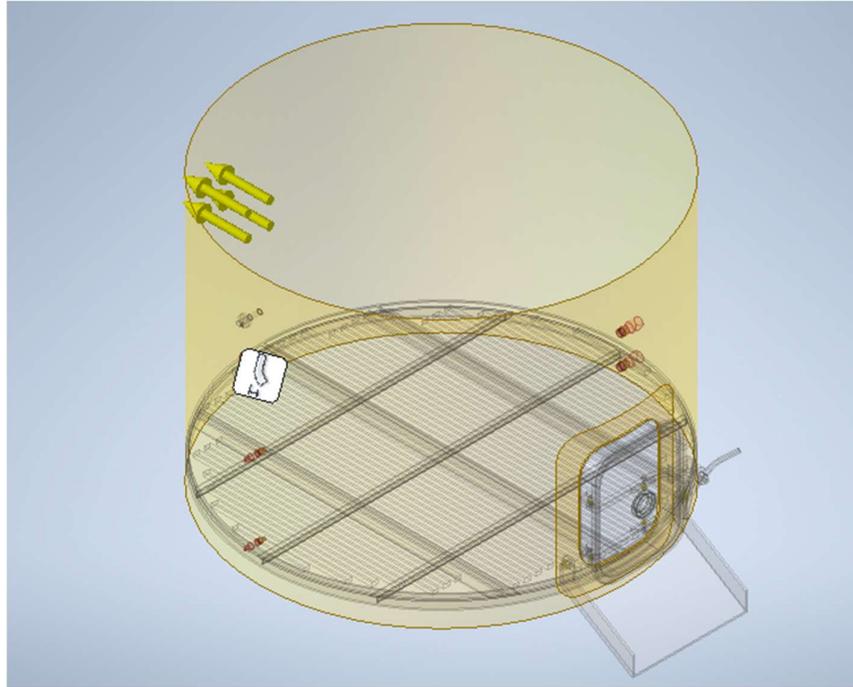


Ilustración 54: Shell de Virola Con Refuerzo

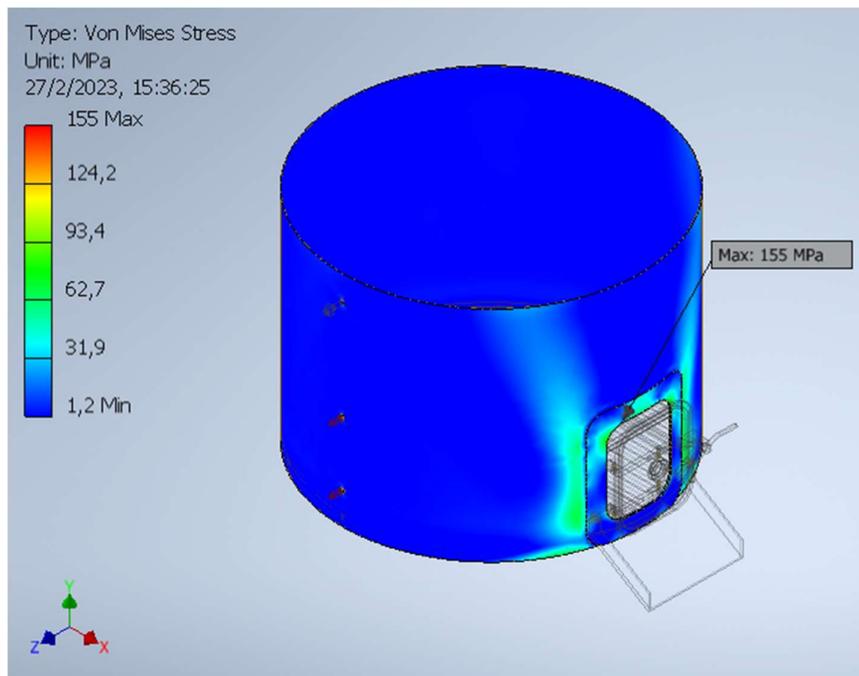


Ilustración 55: Tensiones para $e = 100$ [mm] y $t_r = 12$ [mm]

Se obtiene como resultado tensiones máximas de 155 [MPa], inferior a la tensión de fluencia del material.

Ahora se prueba con un $e = 80$ [mm]. Desde el punto de vista constructivo parece más adecuado este diseño por el hecho de mantener separadas las soldaduras de la virola con el refuerzo y de la virola con el fondo. En el caso de $e = 100$ [mm], dichas soldaduras se solapan. Se vio que FAMIQ comercializa chapas de 12 [mm] y 12,7 [mm] de espesor así que se aumentará el espesor para reducir “e”.

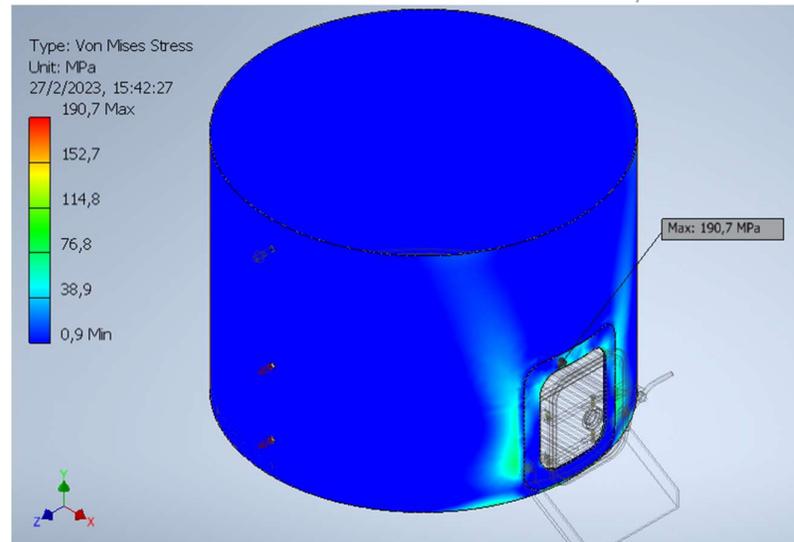


Ilustración 56: Tensiones para $e = 80$ [mm] y $t_r = 12,7$ [mm]

Se obtienen tensiones máximas que se siguen manteniendo por debajo de los límites, y recordando que las presiones de diseño son bastante mayores a las de trabajo. Se prueba con un $e = 50,8$ [mm] para facilitar la adquisición de la chapa, ya que es una medida más común y barata en el mercado.

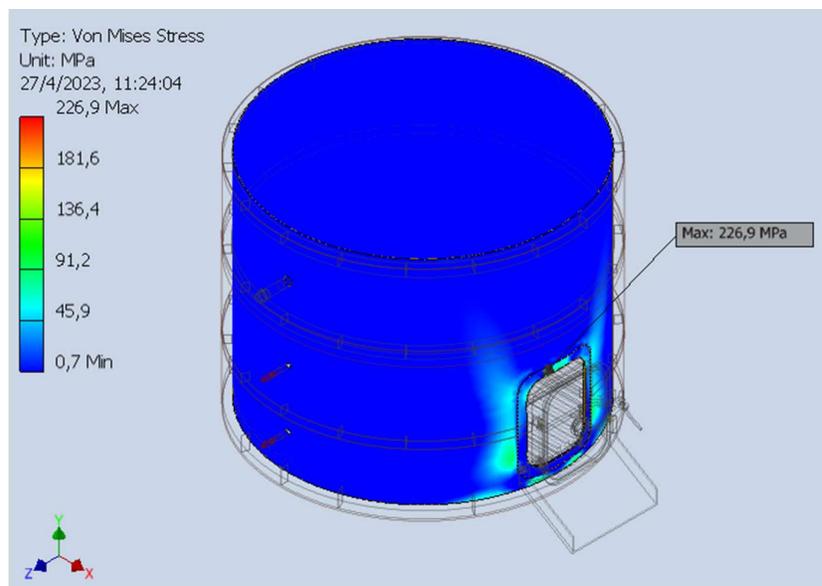


Ilustración 57: Tensiones para $e = 50,8$ [mm] y $t_r = 12,7$ [mm]

Para un valor de presión de 0,2 [MPa] se obtuvieron tensiones por debajo del límite de fluencia. Se probó reducir la presión a la mitad para acercarse más a la presión de trabajo y se obtuvieron tensiones máximas de 113 [MPa]. Se considera a este último modelo como el más óptimo:

$$t_{\text{refuerzo}} = 12,7 \text{ [mm]}$$

$$e_{\text{refuerzo}} = 50,8 \text{ [mm]}$$

Y se termina de definir el espesor de la virola:

$$t_{\text{virola}} = 6 \text{ [mm]}$$

Cabe mencionar que, a cada uno de los análisis, además de cargarlos con la presión interior, se les colocó una carga axial de compresión correspondiente al peso de los demás componentes equivalente a unos 1000 [kg].

3.3.3 Cálculo del Espesor de Fondo

En la producción de cerveza o whisky, los maceradores suelen tener fondos planos o cónicos. Ambos tipos de fondo tienen sus ventajas y desventajas, y la elección depende del método de producción y las preferencias del fabricante. Se realizarán ciertos análisis y al final se tomará una decisión.

- Fondo Plano

Se calcula el espesor para la presión de diseño de 2 [barM]:

$$t_{\text{fondo plano}} = d \cdot \sqrt{\frac{C \cdot p}{S \cdot E}}$$

$$d = \text{Diámetro interior} = D - 2 \cdot t_{\text{viola}} = 1903,85 \text{ [mm]}$$

$$tr = \text{espesor de viola (para } E = 1) = \frac{p \cdot R}{S + 0,4 \cdot p} = 2,06 \text{ [mm]}$$

$$C = 0,33 \cdot \frac{tr}{t_{\text{viola}}} = \frac{2,06}{3} = 0,23 > 0,2$$

C debe ser mayor a 0,2. Notar que, si aumento los espesores de la viola, C será cada vez menor y no cumplirá con la condición de la fórmula. Para este caso:

$$t_{\text{fondo plano}} = 5 \text{ [cm]} = 50 \text{ [mm]}$$

Parece demasiado espesor por lo que esta opción es descartada en principio. Sin embargo, se está dimensionando para presiones extremadamente elevadas y que se alejan de la realidad. Podría realizarse algún análisis por MEF con presiones más cercanas a la realidad y sacar conclusiones. La principal ventaja de este tipo de fondo es que no hay volumen muerto:

$$V_{\text{muerto por fondo}} = 0 \text{ [l]}$$

A continuación, presento una tabla resumen de los resultados obtenidos por MEF:

Presión [MPa]	Espesor [mm]	Tensión Máxima [MPa]
0,2 (p diseño)	25	167
0,1	20	130
0,05	15	120
0,05	12	200

Tabla 5: Espesores para Fondo Plano

Para una presión de diseño de 5 metros de columna de agua y un espesor de 12 [mm] se obtienen tensiones cercanas a las de fluencia. Recordemos que la presión de trabajo es de 1 metro de columna de agua como mucho.

- Fondo cónico

$$t_{\text{fondo cónico}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (S \cdot E + 0,4 \cdot p)}$$

La condición para usar dicha fórmula es que $\alpha < 30^\circ$ (semi ángulo del cono). No se busca que el cono sea de mucha altura porque conviene un volumen muerto lo menor posible. Cuando mayor sea dicho ángulo, menor será la altura del cono, llegando a una superficie plana cuando el ángulo es de 90° . A estas alturas sabemos que posiblemente en la parte inferior del fondo se encuentre un tubo de 2" (50,8 [mm]) y espesor de 1,5 [mm] para permitir la extracción del mosto. Con estos datos podemos realizar una tabla que compare las alturas del cono H y los espesores del fondo en función de los ángulos:

$$H = \frac{D - 50,8 \text{ [mm]}}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

α	$t \text{ [mm]}$	$H \text{ [m]}$
30	3,4	1,6
25	3,25	2
20	3,14	2,5
15	3	3,5

Tabla 6: Posibles ángulos para el fondo cónico

Se ve en los resultados que cuanto más largo sea el cono, menor será el espesor que requiere. Sin embargo, se decide no utilizar esta fórmula por la limitación del ángulo y se intenta obtener el espesor para un $\alpha > 30^\circ$. La solución se encuentra en el apéndice 1-5 (g) del código. Específicamente en la página 335 dice: “Cuando $\alpha > 30^\circ$, se puede usar el fondo cónico si el diseño se basa en un análisis especial, como el análisis de viga sobre base elástica de Timoshenko, Hetenyi o Watts y Lang (ver U-2(g)).”

Además, la pagina 355 da más detalles que pueden ser de utilidad como: “La unión soldada (3-2) debe diseñarse de forma equivalente a una doble “butt welded joint”, y por la alta tensión de flexión no debe haber zonas débiles alrededor de la unión en ángulo. **Es posible que se deba aumentar el espesor del cilindro para limitar la diferencia de espesor** de modo que la junta angular tenga un contorno suave.”

Se concluye que el espesor de la virola debe coincidir medianamente con el espesor del fondo para mantener continuidad y se refuerza el motivo por el cual se ha decidido darle un espesor de 6 [mm] y no de 3 [mm], siempre y cuando el espesor del fondo de entre 6 y 8 [mm].

Lo primero que se debe hacer ahora es definir un α adecuado para obtener un H que parezca admisible. Recordemos que se busca un volumen muerto bajo.

El volumen de un cono truncado es:

$$V \text{ cono truncado} = \frac{H \cdot \pi}{3} \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r)$$

$r = \text{Radio menor}$

$R = \text{Radio mayor}$

$H = \text{Altura}$

Tomamos medidas exteriores para sobredimensionar, además aún no se han definido los espesores. Considerando que para la extracción de mosto se usa un tubo de 2" (50,8 [mm]) $e=1,5$ [mm], tenemos que:

$$r = \frac{50,8}{2} = 25,4 \text{ [mm]}$$

$$R = \frac{D}{2} = 954,425 \text{ [mm]}$$

Se considera como aceptable una altura aproximada de 200 [mm]. En base a esto se busca el ángulo correspondiente.

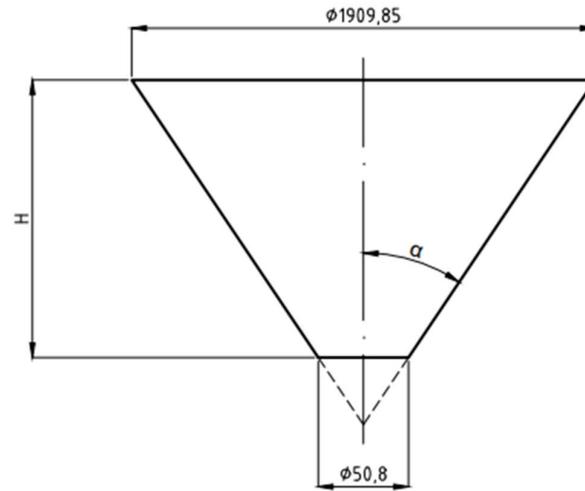


Ilustración 58: Dimensiones de Cono

$$H = \frac{R - r}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Para $\alpha = 80^\circ \rightarrow H = 164$ [mm]. Con estos datos como base se puede empezar a realizar los análisis en MEF modificando los valores del espesor y comparando los resultados de las tensiones.

$$V \text{ muerto por fondo} = V \text{ cono truncado} = 160,5 \text{ [l]}$$

Se partirá de un espesor de 10 [mm], y se tendrán en cuenta todas las dimensiones expuestas anteriormente para su diseño. Siguiendo la presión de diseño que da el código, se usará:

$$p \text{ diseño} = 0,2 \text{ [MPa]}$$

Se aplica nuevamente el análisis tipo "Shell". Se pueden apreciar cuatro cortes rectangulares que simulan la zona del apoyo de las patas del tanque y en el centro el orificio de extracción de mosto.

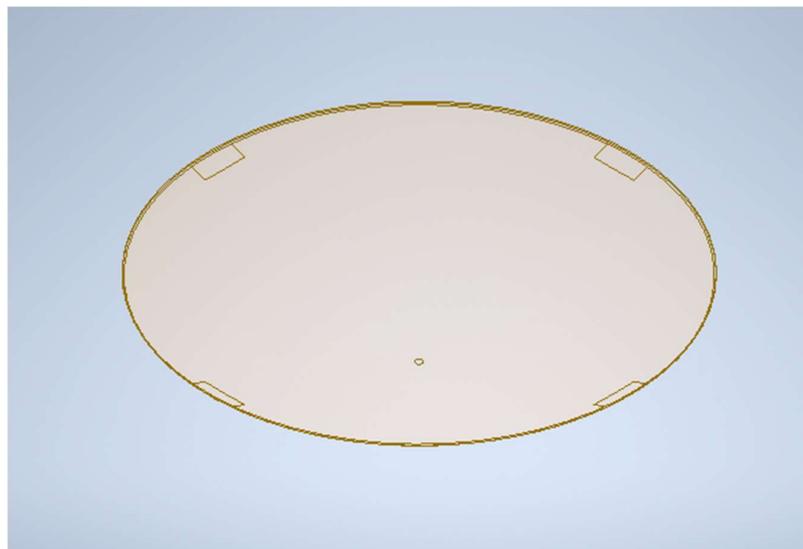


Ilustración 59: Shell de Fondo

Los resultados para un espesor de 10 [mm] fueron:

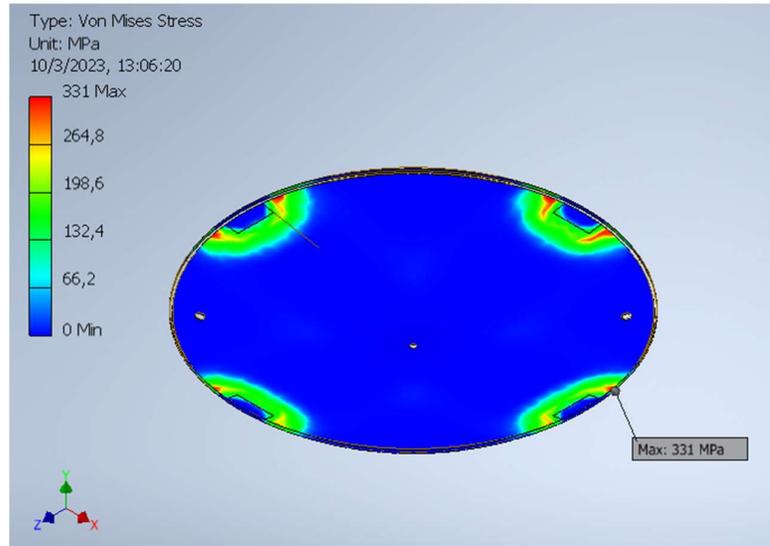


Ilustración 60: Tensiones Chapa Cónica 10 [mm]

Las tensiones superan ampliamente a la tensión de fluencia del material. Ahora se prueba con un espesor de 12 [mm].

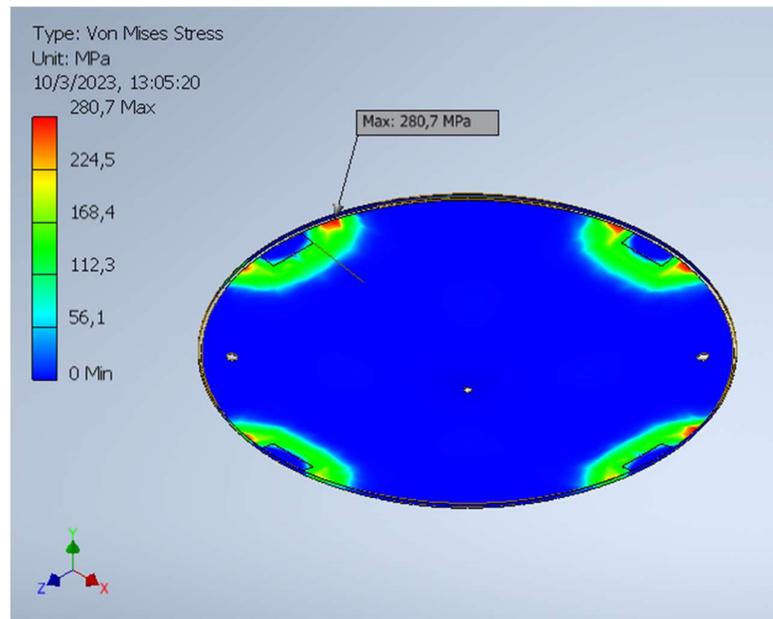


Ilustración 61: Tensiones Chapa Cónica 12 [mm]

En resumen, se obtuvo que para presión de diseño de 0,2 [MPa]:

Espesor [mm]	Tensión Máxima [MPa]
10	330
12	280

Tabla 7: Análisis de Espesor para Fondo Cónico

La tensión máxima sigue siendo superior al límite de fluencia y los espesores ya son superiores a los que se esperan para este tipo de aplicaciones. Se toma la decisión de reducir a la mitad la presión de diseño considerando que sigue siendo mayor a la presión de trabajo, como se hizo para el fondo plano.

$$p_{\text{diseño}} = 0,1 \text{ [MPa]}$$

Se prueba con un espesor de 10 [mm]:

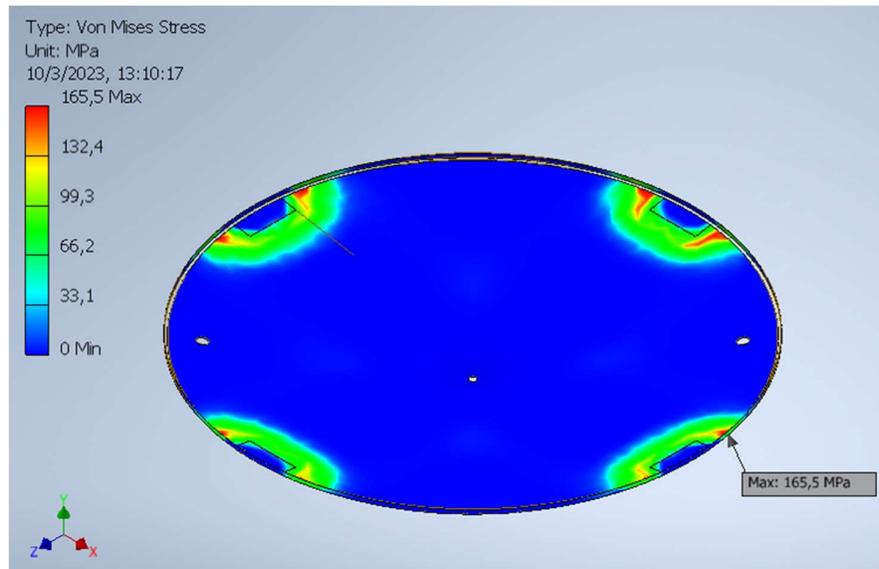


Ilustración 62: Tensiones Chapa Cónica 10 [mm]

Es inferior al límite de fluencia. Se cree conveniente probar con un espesor de 8 [mm]:

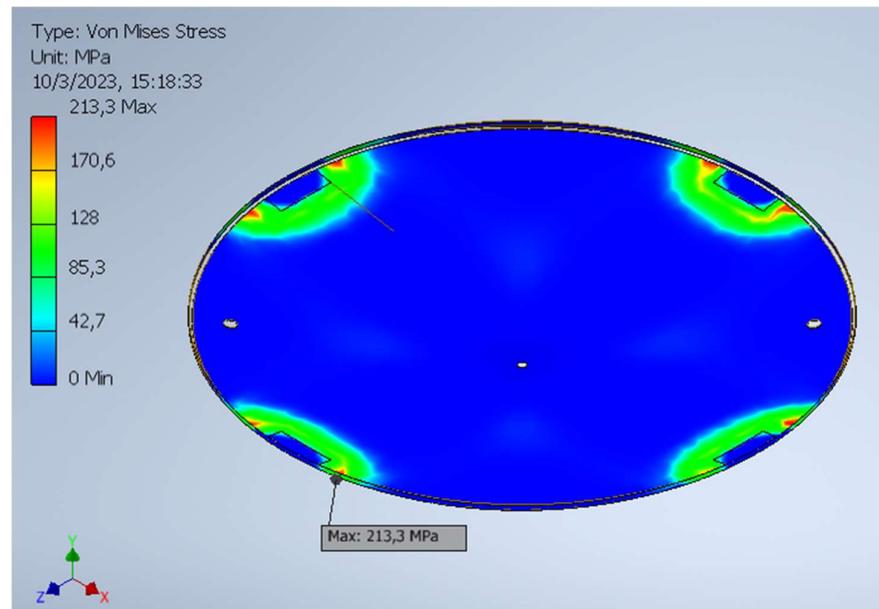


Ilustración 63: Tensiones Chapa Cónica 8 [mm]

Es probable que un espesor de hasta 6 [mm] soporte las condiciones de trabajo, pero se termina adoptando el espesor de 8 [mm]. Como se ha mencionado, los fondos cónicos de los tanques suelen tener un espesor mayor que la virola debido a las cargas de presión y a las concentraciones de tensiones que se producen en la transición del fondo al cuerpo del tanque.

Se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos:

Presión [MPa]	Espesor [mm]	Tensión Máxima [MPa]
0,1	10	165
0,1	8	213

Tabla 8: Espesores para Fondo Cónico

Conclusiones de Fondo → El fondo plano es el más adecuado teniendo en cuenta el volumen muerto nulo, pero es el que requiere espesores de mayor magnitud y ya que se habla de una maquina sanitaria, no favorece la decantación natural del producto que puede quedar sobre él. El fondo cónico en cambio permite menores espesores y es más sanitario, a pesar de introducir cierto volumen muerto.

Se adopta entonces un fondo cónico de:

$$t_{\text{fondo cónico}} = 8 \text{ [mm]}$$

Y se confirma así la adecuada elección del espesor de la virola.

3.3.4 Cálculo del Espesor de Cabezal

Y, por último, para el cabezal se adopta una forma toriesférica ASME 10%. Se define con las siguientes variables:

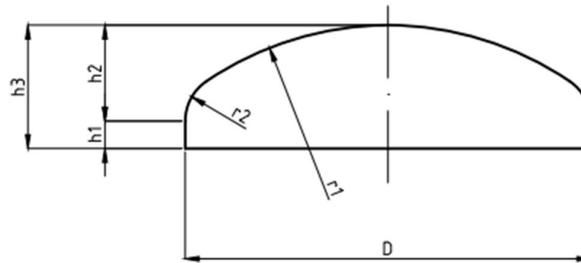


Ilustración 64: Dimensiones de Cabezal

Se decide mantener continuidad con la virola por lo que se parte del espesor mínimo de la virola de 3 [mm]. En este caso la chapa no está sometida a presión interior, sino que se encuentra soportando los pesos de todos los subconjuntos de la maquina (sistema giratorio con cuchillas y rastrillo, anillo rociador, bochas CIP, toma de hombre y toma de grano). Se busca realizar una verificación del espesor seleccionado.

Se realiza un análisis con cargas superiores a las reales para adoptar una postura más segura. De esta manera se tiene:

- Carga de Sistema Giratorio con Cuchillas y Rastrillo = 300 [kg]
- Carga de Anillo Rociador = 50 [kg]
- Carga de Bochas CIP = 50 [kg]
- Carga de Toma de Hombre = 100 [kg]
- Carga de Toma de Grano = 50 [kg]

Nuevamente se toma un análisis del tipo “Shell”.

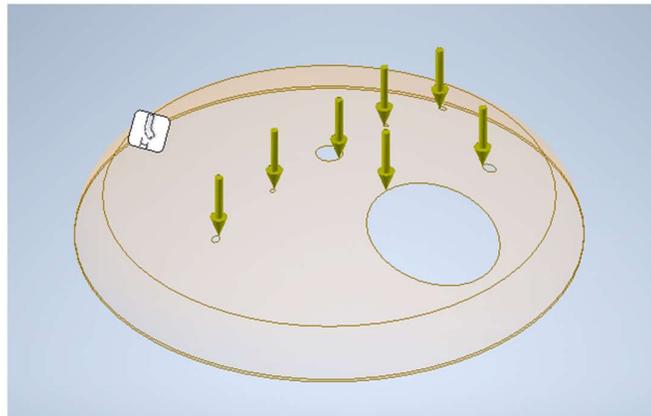


Ilustración 65: Shell de Cabezal

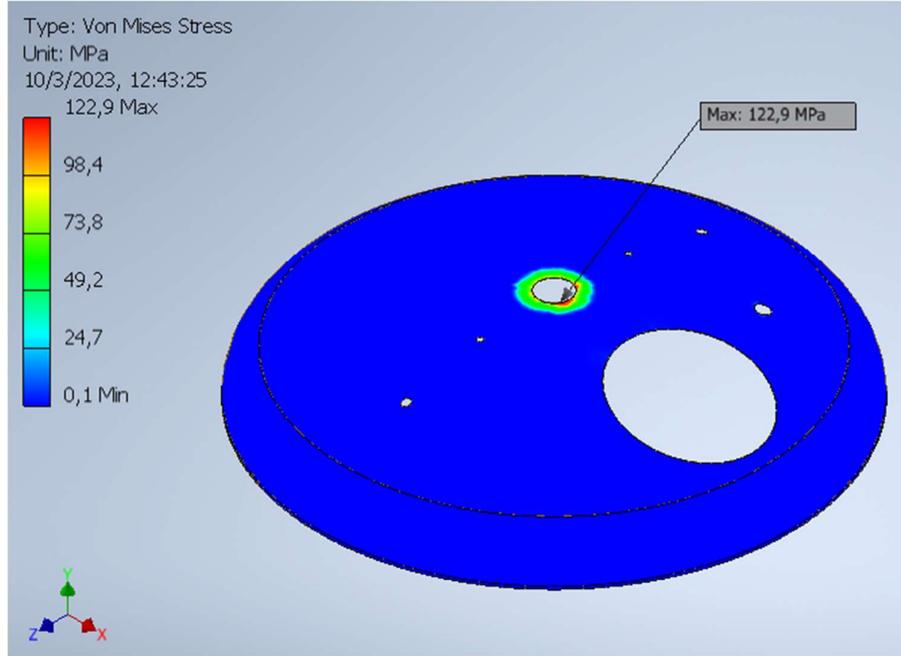


Ilustración 66: Tensiones en Cabezal

En el análisis por MEF se obtuvieron tensiones máximas de 120 [MPa] manteniendo un coeficiente de seguridad de 2 respecto al límite de fluencia por lo que se define que:

$$t_{\text{cabezal}} = 3 \text{ [mm]}$$

Para ASME 10% tenemos que:

$$r1 = \text{radio de abombado} = D = 1909,85 \text{ [mm]}$$

$$r2 = \text{radio de rodilla} = 0,1 \cdot r1 = 190,985 \text{ [mm]}$$

$$h1 = \text{pestaña} \leq 3,5 \cdot t = 10,5 \text{ [mm]} \rightarrow h1 = 10,5 \text{ [mm]}$$

$$h2 = 0,1935 \cdot D - 0,455 \cdot t = 368,2 \text{ [mm]}$$

$$h3 = h1 + h2 = 378,7 \text{ [mm]}$$

Tabla resumen:

Parte del Tanque	Espesor [mm]
Virola	6
Fondo	8
Cabezal	3

Tabla 9: Espesores Finales

3.3.5 Cálculo del Volumen del Tanque

Antes de nada, se define el volumen muerto total:

$$V_{\text{muerto total}} = V_{\text{muerto virola}} + V_{\text{muerto fondo}} = 286,5 + 160,5 = 447 \text{ [l]}$$

Este volumen representa al volumen de agua que no estará en contacto directo con el grano. Lo ideal sería que fuera lo menor posible pero no se puede hacer mucho como para reducirlo.

Finalmente se puede definir el volumen real del tanque sumando el volumen del fondo y el volumen total de la virola.

$$L = 1500 [mm]$$

$$d = 1897,85 [mm]$$

$$V \text{ virola} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot L = 4,25 [m^3] = 4250 [l]$$

Se obtiene un tanque de unos 4500 [l] de volumen. Es superior a los 3500 [l] que se habían considerado como óptimos (ítem 3.1.6). Si quisiéramos reducir este volumen habría que modificar el diámetro del tanque, la altura de la virola o las dimensiones del fondo. El diámetro del tanque se definió teniendo en cuenta el diámetro óptimo para el macerador y posteriormente una chapa estándar de FAMIQ por lo que no se modificará. La altura de la virola se definió teniendo en cuenta que todos los componentes interiores entren correctamente sin chocarse entre ellos ni con las paredes interiores además de coincidir con la dimensión de una chapa estándar de FAMIQ por lo que no se modificará. Las dimensiones del fondo se evaluaron profundamente y fueron sometidas a análisis MEF por lo que tampoco se modificarán. De esta manera queda definido el volumen del tanque.

3.3.6 Determinación del Nivel de Mezcla y de Bagazo

Es importante para el diseño conocer con cierta precisión el nivel de mezcla que habrá sobre el falso fondo durante la maceración y el nivel de bagazo que quedará para su extracción. Se ha aproximado a un valor anteriormente (ítem 3.2.2) pero ahora que se conocen todas las dimensiones del tanque se buscará calcularlo nuevamente para acercarse al valor real.

Se comienza con el nivel de bagazo:

$$V \text{ bagazo} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h \text{ bagazo} \rightarrow h \text{ bagazo} = \frac{V \text{ bagazo} \cdot 4}{d^2 \cdot \pi} = 0,332 [m]$$

Entonces:

$$h \text{ bagazo} = \text{Nivel de Bagazo} = 33,2 [cm]$$

Muy cercano a los 35 [cm] que se supusieron como óptimos teniendo en cuenta la recomendación del proveedor de malta.

Se prosigue con el nivel de mezcla sobre el falso fondo.

$$V \text{ mezcla sobre FF} = V \text{ macerado} - V \text{ muerto total} = 2019,388 - 447 = 1572,388 [l]$$

$$V \text{ mezcla sobre FF} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h1 \rightarrow h1 = \frac{V \text{ mezcla sobre FF} \cdot 4}{d^2 \cdot \pi} = 0,5488 [m]$$

Entonces:

$$h1 = \text{Nivel de Mezcla} = 548,8 [mm]$$

Cabe recordar que se está trabajando con una relación de malta:agua de 1:3 pero si se trabajara con otra relación, por ejemplo la de 1:4, se tendría mayor volumen de mezcla y por lo tanto mayor nivel de mezcla, pero igual nivel de bagazo.

Para dejar ilustrados dichos niveles, se generaron planos que los representan en el modelo 3D de la máquina. Para poder apreciarlo, se puede hacer transparente la virola, y se obtiene la siguiente imagen:

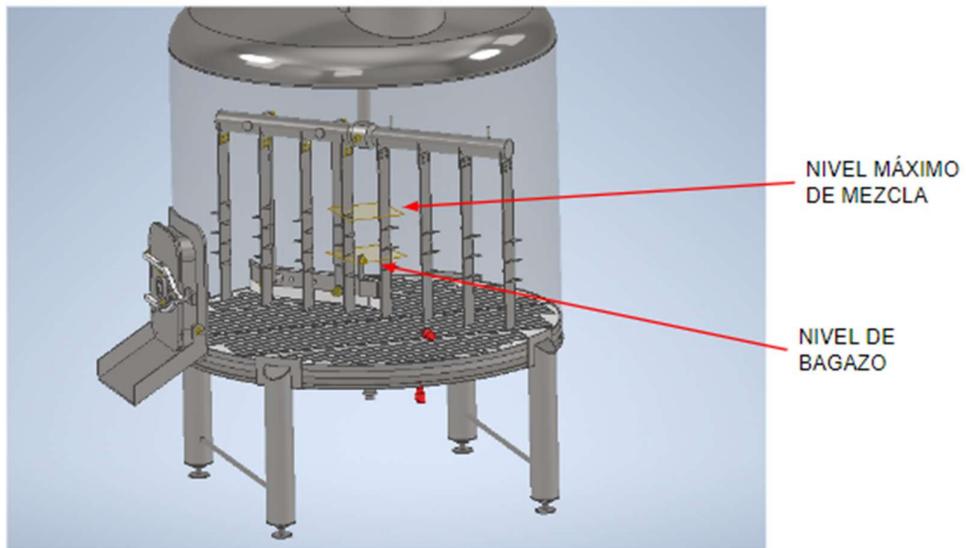


Ilustración 67: Niveles

Para diferenciar entre la maceración y la extracción de bagazo, se presentan las siguientes ilustraciones del sistema giratorio:

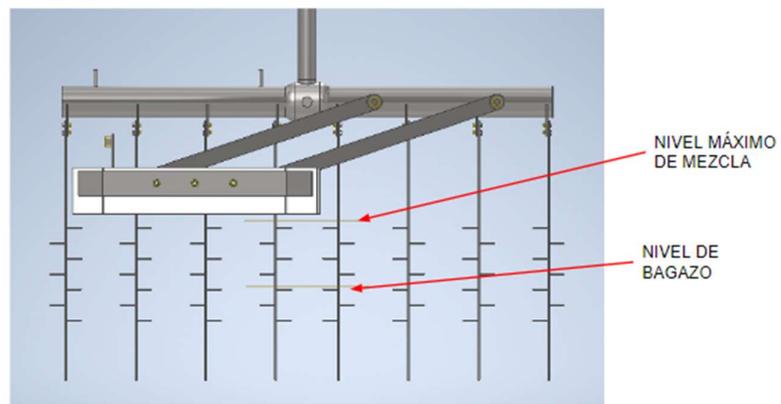


Ilustración 68: Maceración

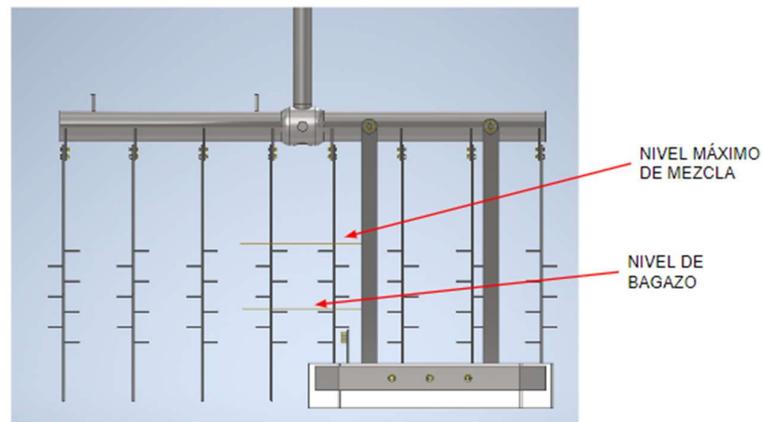


Ilustración 69: Extracción de Bagazo

3.4 Aislación del Tanque

El aislamiento del tanque de maceración es de gran importancia en la producción de whisky, ya que ayuda a mantener una temperatura constante durante el proceso de maceración. Esto es fundamental para lograr una extracción adecuada de los azúcares fermentables y otros componentes de la malta, lo que a su vez tiene un impacto directo en la calidad del whisky producido.

Si la temperatura es demasiado baja, es posible que no se extraigan suficientes azúcares de la malta, lo que puede dar lugar a un whisky con un sabor más seco o amargo. Si la temperatura es demasiado alta, es posible que se extraigan compuestos no deseados de la malta, lo que puede afectar el sabor y la calidad general del whisky.

Por lo tanto, el aislamiento del tanque es esencial para lograr una maceración óptima y obtener un whisky de alta calidad y consistencia. Además, el aislamiento también puede ayudar a reducir los costos de energía al minimizar la pérdida de calor durante el proceso de maceración.

Se plantea lo siguiente (para simplificar solo se considera la virola):

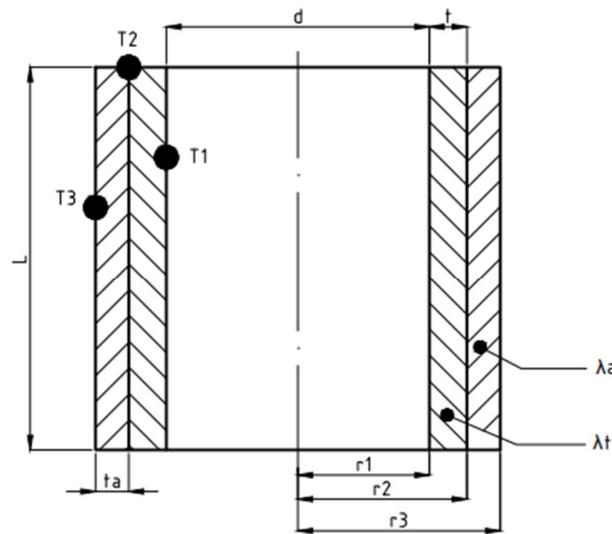


Ilustración 70: Aislación

Donde:

$$L = \text{Largo de Virola} = 1500 \text{ [mm]}$$

$$t = \text{Espesor de Virola} = 6 \text{ [mm]}$$

$$d = \text{Diámetro Interior} = 1897,85 \text{ [mm]}$$

$$T1 = \text{Temperatura de Mezcla} = 64^{\circ}\text{C}$$

$$T3 = \text{Temperatura Ambiente} = 24^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda_t = \text{Conductividad del Acero Inoxidable} = 16,3 \left[\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$$

Se adopta como aislante al material lana de roca, cuya conductividad térmica es:

$$\lambda_a = \text{Conductividad del Aislante} = 0,047 \left[\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$$

La decisión se basa principalmente en que es uno de los aislantes más utilizados por su gran eficiencia térmica, tiene una conductividad muy baja. Además, tiene multitud de formatos: en rollo, en planchas, en mantas, a granel. Esto permite utilizarla en muchas aplicaciones y usar diversas técnicas. Otra característica importante es su larga duración, no se deshace, ni pierde densidad ni propiedades. Y tampoco necesita mantenimiento.

También es considerado un material no combustible, funciona como barrera antiincendios, retrasando el avance del fuego y protegiendo la estructura. Es permeable al vapor de agua y por lo tanto evita las humedades por condensación. Además, es hidrófuga, no absorbe el agua, por lo que impide la proliferación de organismos como mohos y hongos.

Se procede a calcular el coeficiente de transferencia térmica total:

$$Ut = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{t}{\lambda t} + \frac{t_a}{\lambda a} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

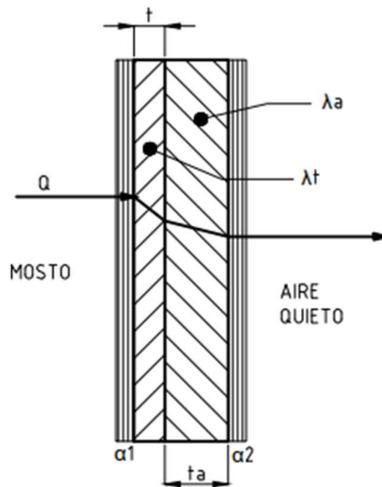


Ilustración 71: Coeficiente de Transferencia Térmica

Se pueden obtener los coeficientes peliculares del mosto y del aire siguiendo el método simplificado (correlaciones):

$$\alpha_1 = \alpha_{\text{mosto}} < \alpha_{\text{agua agitada}} = 2330 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$\alpha_2 = \alpha_{\text{aire quieto}} = 23,3 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

El coeficiente pelicular del mosto se considera igual al coeficiente del agua agitada para poder realizar los cálculos. El aire es la película controlante por lo que el coeficiente del mosto no influye prácticamente nada en el cálculo.

Para poder realizar comparaciones se calcula primero el coeficiente de transferencia térmica sin considerar el aislante:

$$U_{sa} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{t}{\lambda t} + \frac{1}{\alpha_2}} = 22,87 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Para estar del lado de la seguridad, y ya que no se considera el fondo cónico, se toma como área de intercambio a los 1,5 metros de la virola, aunque en realidad sea menos considerando el nivel de mezcla en el tanque:

$$A = \text{Area de Intercambio} = \pi \cdot D \cdot L = 9 \text{ [m}^2\text{]}$$

El flujo térmico a través de la pared cilíndrica sin considerar el aislante es:

$$Q_{sa} = U_{sa} \cdot A \cdot (T_1 - T_3) = 8233,2 \text{ [W]}$$

Aunque el espesor del tanque puede proporcionar cierto grado de aislamiento, no suele ser suficiente para garantizar una temperatura constante durante la maceración. El material del tanque y su espesor pueden ayudar a retener el calor, pero no son capaces de proporcionar el nivel de aislamiento necesario para garantizar una temperatura constante a lo largo de todo el proceso.

Se sabe de antemano que en la práctica es adecuado en espesor de aislante de entre 25 y 70 [mm]. Se adopta un espesor de 50 [mm]. Entonces el coeficiente de transferencia total es de:

$$U_t = 0,9 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Ahora el flujo térmico es de:

$$Q_t = 324 \text{ [W]}$$

El aislante reduce un 93,5% el flujo térmico, pero se desea saber que significa esto en términos de caída de temperatura en el mosto. Se recomienda que no haya una variación de temperatura de mezcla de más de 0,5°C:

$$\Delta T_{adm} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Suponiendo que la pérdida de energía en el mosto es lineal y que el calor específico del mosto es igual al del agua, para bajar de 64°C a 63,5°C y teniendo en cuenta una masa de mosto de aproximadamente 1200 [kg], debería perder una cantidad de calor de:

$$C_p \text{ mosto} \sim C_p \text{ agua} = 4186 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$q_{adm} = m_{mosto} \cdot C_p \text{ mosto} \cdot \Delta T_{adm} = 2500 \text{ [kJ]}$$

Suponiendo el tiempo de maceración de 2 horas, el flujo térmico sería de:

$$Q_{adm} = \frac{q_{adm}}{t_{maceración}} = 350 \text{ [W]}$$

Se verifica entonces que:

$$Q_t < Q_{adm}$$

Pero en realidad la pérdida de energía no es lineal, por lo que se puede ajustar un poco más el cálculo. También se busca saber cuál sería la temperatura aproximada de la mezcla al cabo de las 2 horas.

Se tiene por balance energético que:

$$\ln \frac{T_3 - T_1}{T_3 - T(t)} = \frac{U_t \cdot A \cdot t}{m \cdot C_p}$$

Entonces:

$$T(t) = -\frac{T_3 - T_1}{e^{\frac{U_t \cdot A \cdot t}{m \cdot C_p}}} + T_3$$

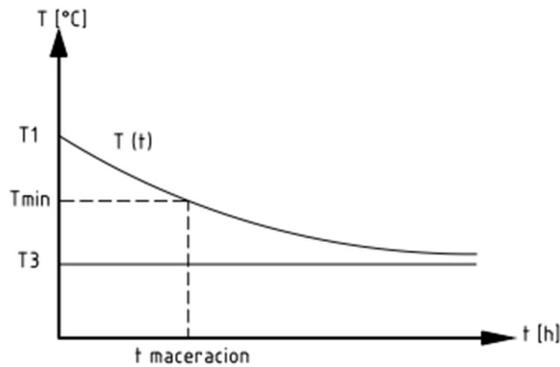


Ilustración 72: Caída de Temperatura en Mosto

Entonces:

t [h]	U	T [°C]
1	Sin aislante	58,51
	Con aislante	63,76
2	Sin aislante	53,78
	Con aislante	63,54
3	Sin aislante	49,69
	Con aislante	63,3

Ilustración 73: Temperaturas de Mezcla

Se puede ver que, con aislante, al cabo de 2 horas, está dentro de la caída admisible de temperatura, entonces se define:

$$t_{aislante} = 50 [mm]$$

Se adopta como proveedor para la colchoneta de aislante a INCA, quienes trabajan este tipo de aislantes bajo la Norma ASTM C592.



Ilustración 74: Colchoneta de Aislante

Para la protección exterior del aislante se seleccionan chapas de cobre de 1,5 [mm] de espesor. Se adopta a Pagani S.A. como el proveedor y las dimensiones de las chapas seleccionadas son de 2000 x 600 x 1,5 [mm]. Para cubrir todo el aislante de la virola se necesitará una longitud de chapa total de:

$$L = \pi \cdot (1909,85 + 2.50) = 6315 [mm]$$

Por lo que habrá que soldar 3 chapas estándares para obtener una chapa con la longitud requerida para cubrir todo el tanque. A su vez, el alto de la virola es de 1500 [mm] por lo que también se necesitarán 3 de estas chapas largas para cubrir toda la altura. En total se necesitarán 9 chapas estándares de Pagani para cubrir toda la virola. Posiblemente se necesiten 4 más para el fondo.

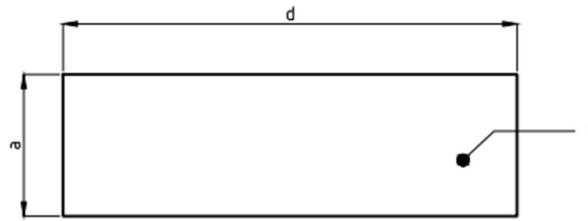


Ilustración 75: Chapa Larga

$$a = 600 \text{ [mm]}$$

$$d = 6315 \text{ [mm]}$$

$$e = 1,5 \text{ [mm]}$$

La unión entre las chapas largas se hará mediante remaches. Mas adelante se explicará el modo de llevar a cabo los remaches y que chapas entran en juego. Además, para la unión de la chapa de protección con el tanque hay una serie de anillos y chapas separadoras de AISI304 distribuidas como se indica a continuación:

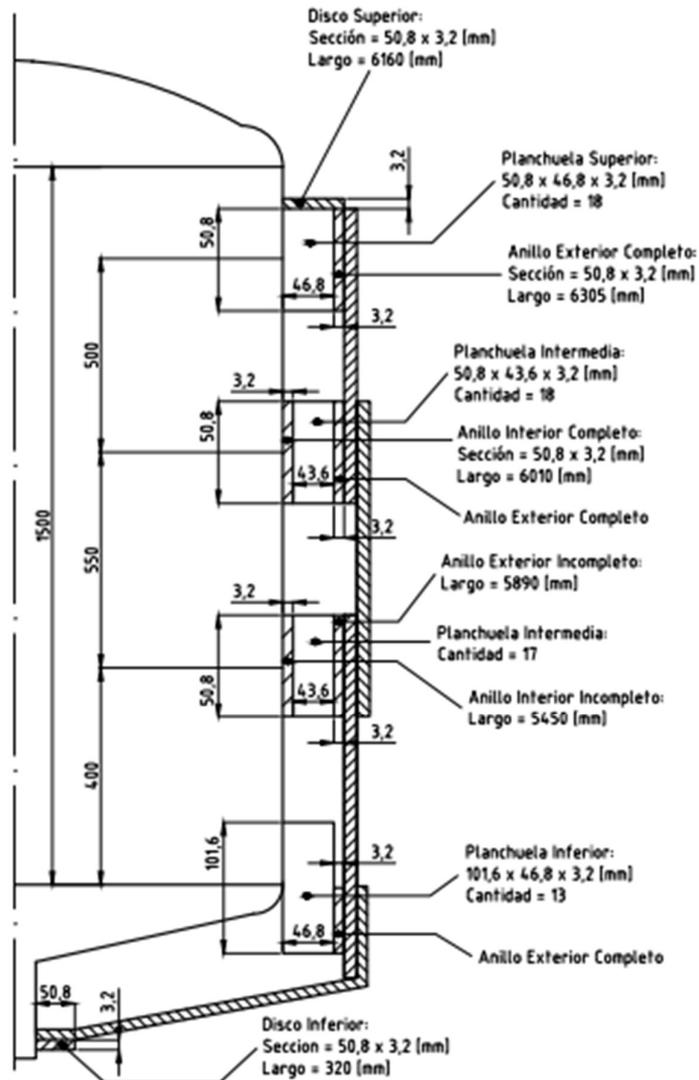


Ilustración 76: Componentes del Sistema de Aislación I

A su vez, se presenta una ilustración en del modelo 3D que representa lo mismo que se vio antes:

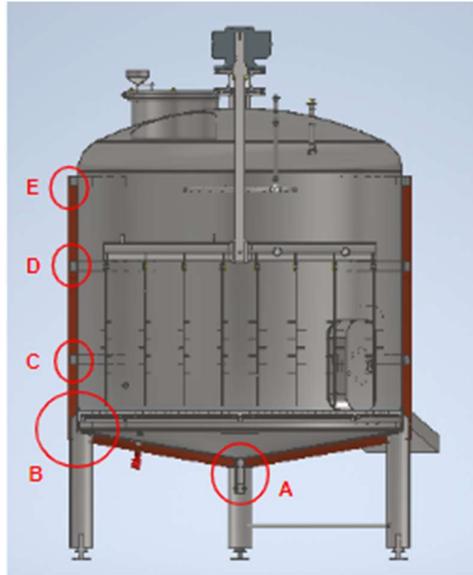


Ilustración 77: Componentes del Sistema de Aislación II

Las dimensiones de los separadores (AISI304) son:

- Separador Superior (cantidad = 18): 50,8 x 46,8 x 3,2 [mm]
- Separador Intermedio (cantidad = 18 + 17 = 35): 50,8 x 43,6 x 3,2 [mm]
- Separador Inferior (cantidad = 13): 101,6 x 46,8 x 3,2 [mm]

Las dimensiones de los anillos (AISI304) son:

- Anillo Interior Intermedio con Compuerta o Completo (cantidad = 1): 50,8 x 3,2 x 6010 [mm]
- Anillo Interior Intermedio sin Compuerta o Incompleto (cantidad = 1): 50,8 x 3,2 x 5450 [mm]
- Anillo Exterior con Compuerta o Completo (cantidad = 3): 50,8 x 3,2 x 6305 [mm]
- Anillo Exterior sin Compuerta o Incompleto (cantidad = 1): 50,8 x 3,2 x 5890 [mm]

Las dimensiones de los discos (AISI304) son:

- Disco Superior: 50,8 x 3,2 x 6160 [mm]
- Disco Inferior: 50,8 x 3,2 x 320 [mm]

A continuación, se analizará cada sección indicada en la ilustración anterior:

SECCIÓN A. El disco inferior se suelda al tubo de extracción de mosto. La chapa de protección cónica se une mediante remaches a este disco.

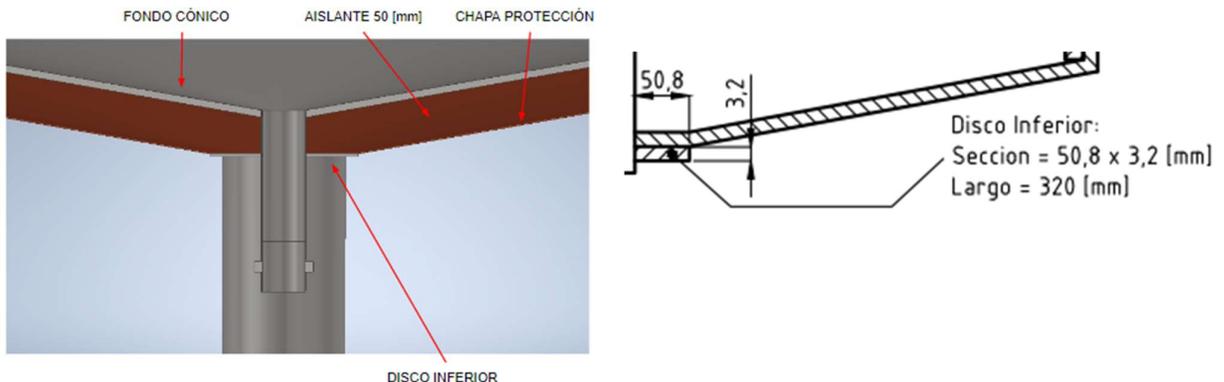


Ilustración 78: Sección A

SECCIÓN B. Cuenta con 13 planchuelas distribuidas en el perímetro de la virola y soldadas a ella. Bordeando dichas planchuelas se suelda un anillo llamado anillo exterior completo. Se llama completo porque tiene 360°. Las piernas de la maquina funcionan en este caso igual que las planchuelas, y por su exterior pasa el anillo. Remaches unen al anillo con las dos chapas de protección. En las dos ilustraciones siguientes se puede ver por un lado como actúa la pierna de maquina y por el otro el separador.

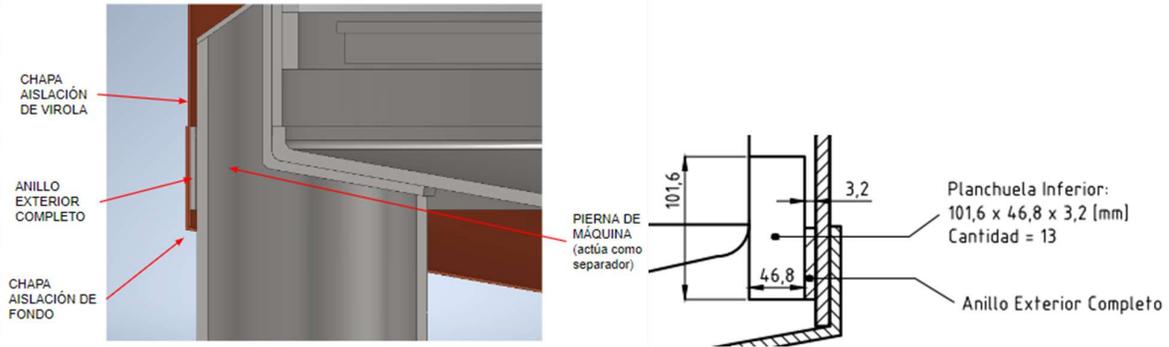


Ilustración 79: Sección B

SECCIÓN C. Se suelda a la virola un anillo llamado interior incompleto. Es incompleto ya que se corta para no interferir con la compuerta lateral del tanque. Distribuidos uniformemente en el perímetro de este anillo se encuentran soldadas 17 planchuelas llamadas intermedias. En la periferia de las planchuelas se suelda un anillo exterior con las dimensiones similares al anillo exterior de la sección B pero cortado para no interferir con la compuerta lateral. Finalmente, se conjugan dos chapas de protección sobre el anillo exterior. La unión de estas tres ultimas se hace mediante remache.

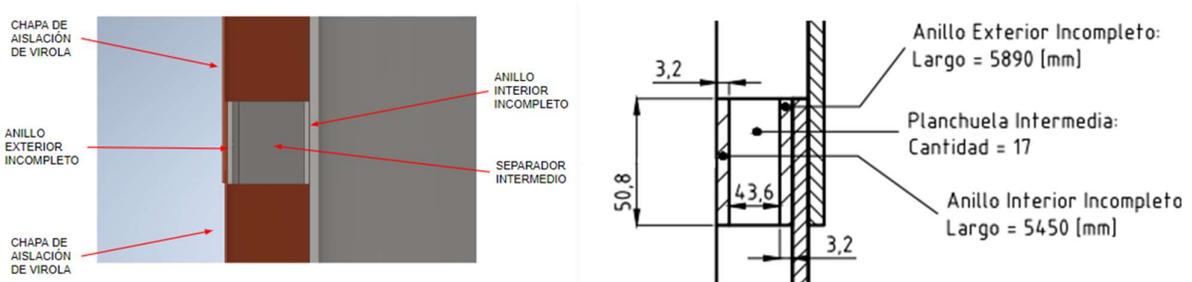


Ilustración 80: Sección C

SECCIÓN D. Es igual a la sección C pero aquí los anillos vuelven a ser completos ya que no está la compuerta y no es necesario cortarlos. Por este mismo motivo, hay una planchuela intermedia más, por lo tanto, se usan 18.

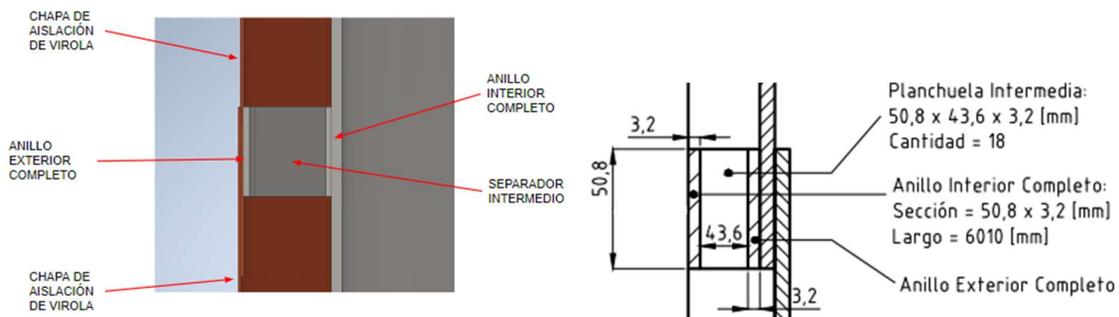


Ilustración 81: Sección D

SECCIÓN E. En esta sección no se usa un anillo interior por lo que las planchuelas separadoras se sueldan directamente al tanque como ocurría en la sección B. Hay 18 planchuelas. Bordeándolas, aparece nuevamente el anillo exterior completo. Ahora se unen mediante remachas una sola chapa de protección con el anillo, a diferencia de las dos secciones anteriores donde se unían tres chapas mediante remacha. Para cerrar el sistema en la parte superior, se suelda un disco directamente a la virola y por el otro lado al anillo exterior.

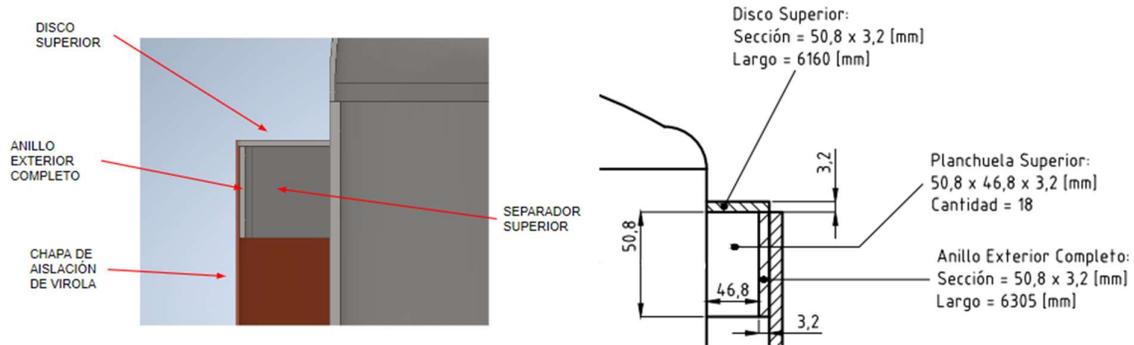


Ilustración 82: Sección E

Ahora para detallar un poco más las chapas de cobre, se presenta la siguiente ilustración. Se pueden ver los espacios libres de 50 [mm] de espesor para que entre correctamente la cama de aislante:

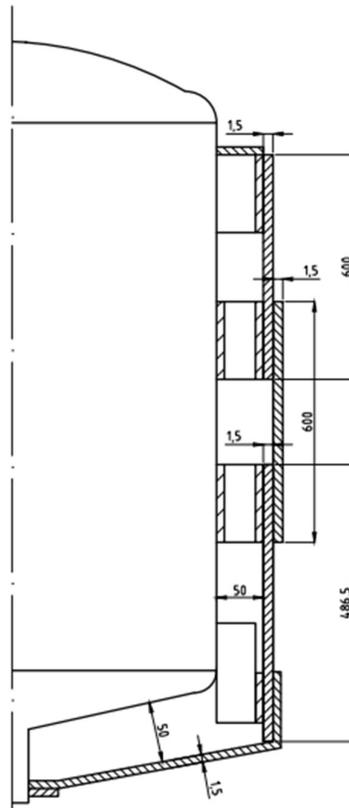


Ilustración 83: Componentes del Sistema de Aislación III

Las dimensiones de las chapas de protección (Cobre) son:

- Chapa Superior: 600 x 1,5 x 6315 [mm] (con corte para tubo)
- Chapa Intermedia: 600 x 1,5 x 6315 [mm] (con corte para compuerta y sensores)
- Chapa Inferior: 486,5 x 1,5 x 6315 [mm] (con corte para compuerta y sensores)
- Chapa Cónica (con corte para patas de máquina y sensores)

Se presentan en dos ilustraciones lo mismo que se explicó anteriormente, pero ahora usando el modelo 3D de la máquina, para permitir una mejor visualización. Se puede ver en la primera imagen (chapas exteriores de cobre en transparente), las secciones de la B a la E. Se aprecia como se colocan los separadores en cada sección y, además, cómo están incompletos los anillos de la sección C. A su vez, en la sección B, se muestra como la pierna de la máquina actúa como planchuela en dicha zona.

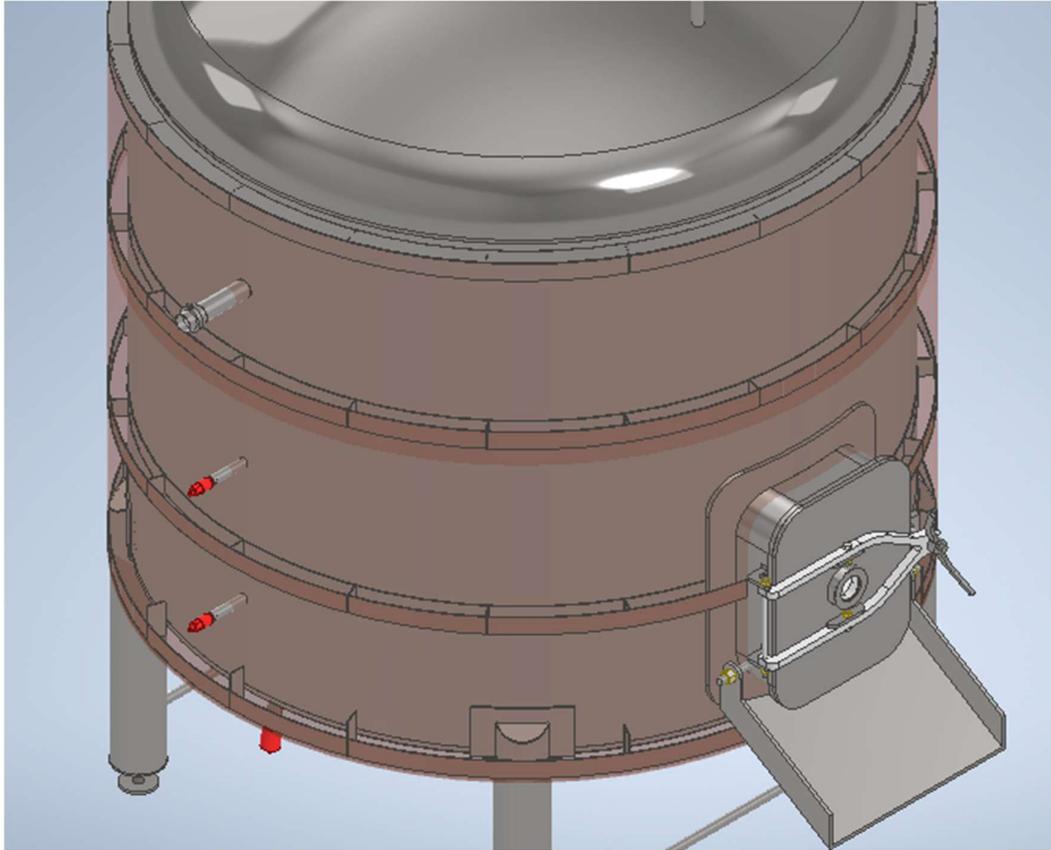


Ilustración 84: Secciones en 3D

En la segunda imagen, se hace foco en el disco inferior y el fondo cónico.



Ilustración 85: Disco Inferior

Para llevar a cabo el montaje, los pasos serían los siguientes:

1. Soldar todos los anillos, planchuelas y el disco superior.
2. Ir colocando el aislante en la virola, por fuera al mismo colocar las chapas de protección y remachar (sección C, D y E).
3. Una vez terminada la aislación de la virola, se voltea el tanque y coloca el aislante en el fondo.
4. Se hace ingresar la chapa de protección del fondo y se remacha en la sección B.
5. Se coloca el disco inferior y se suelda al tubo.
6. Se remacha la sección A si se ve necesario.

Cálculo de Remaches

El dimensionado de los remaches se hará teniendo en cuenta la siguiente situación, en donde se deben unir las dos chapas de cobre de 1,5 [mm] de espesor y el anillo exterior de AISI304 de 3,2 [mm] de espesor. Luego se usarán los mismos remaches para los casos en donde solo se deba unir una chapa de cobre con el anillo exterior.

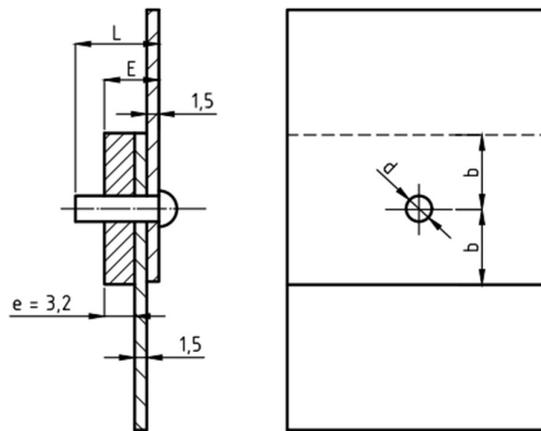


Ilustración 86: Planteo Cálculo de Remaches

Se comienza buscando el diámetro. Se sabe gracias a los proveedores de remaches y algunos manuales que se puede calcular de las siguientes formas:

$$d = \frac{45 \cdot e}{15 + e} \sim d = 3 \cdot e$$

e = mayor espesor de chapa = 3,2 [mm]

E = espesor total a atravesar = 6,2 [mm]

$$d = 10,5 [mm]$$

Se selecciona un **remache de ½"** (diámetro de 12,7 [mm]). Ahora es necesario conocer el largo de remache requerido. Para cabeza redonda:

$$L = E + 1,5 \cdot d = 25,25 [mm]$$

Y, por último, se debe calcular la distancia "b" mínima para poder realizar los montajes de las chapas:

$$b = (1,5 \text{ a } 2) \cdot d = 25,4 [mm]$$

Esto se cumple ya que los anillos tienen un ancho de 50,8 [mm] y si el remache se clave en la mitad de este, se obtienen justo los 25,4 [mm]. Si se coloca un remache entre cada planchuela separadora, se colocarán aproximadamente entre 70 y 80 remaches.

3.5 Torreta

Función: Contener al retén y al rodamiento (apoyo del eje giratorio). Permitir el montaje del motorreductor sobre él.

Estado de Carga: Soporta el peso del motor, del eje giratorio y de todo el sistema de brazos giratorios (compresión pura). 250 [kg] aproximadamente.

Materia Prima: Barra redonda de AISI304L y AISI316L.

Método de Fabricación: Mecanizado y Soldadura.

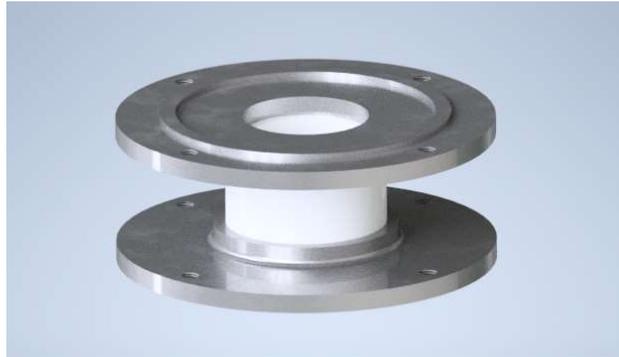


Ilustración 87: Torreta

La torreta es una pieza bastante robusta, diseñada a partir de las dimensiones requeridas para el correcto ensamblaje con el motorreductor y para alojar de forma adecuada al rodamiento y al retén. Se compone de tres piezas soldadas: un cilindro de acero inoxidable AISI304L en la parte central y dos bridas de tipo B5 en sus extremos, cuyo diseño se produjo pensando en la correcta unión con el cilindro central y en el correcto montaje del motorreductor.

Se le realizará un estudio por MEF ya que está soportando cargas muy elevadas correspondientes al motor y a todo el sistema giratorio de la máquina, que le generan una compresión pura. El peso total que soporta es de aproximadamente 250 [kg].

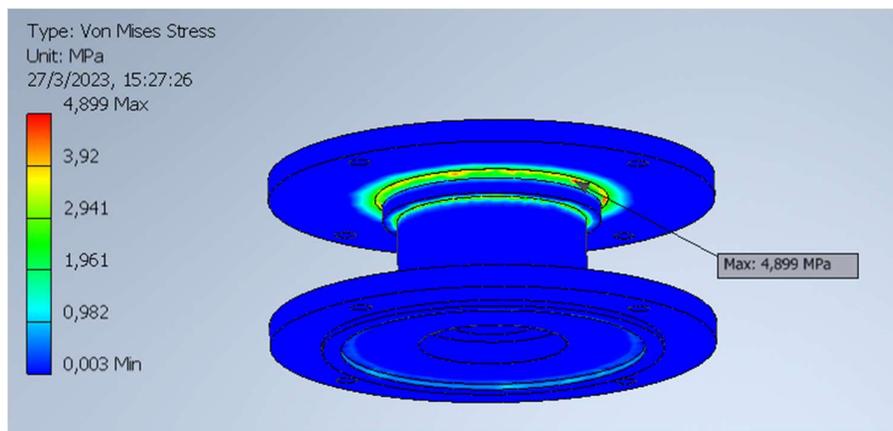


Ilustración 88: Tensiones en Torreta

Se puede ver que la pieza soporta muy bien las cargas de compresión, como era de esperarse por su diseño robusto. El caño que una las bridas se construye a partir del mecanizado de una barra cilíndrica de 127 [mm] de diámetro exterior (al igual que el cubo) y una altura de 86 [mm] de AISI304L. El menor diámetro interior de dicha pieza es de 60 [mm] por lo que hay espesores máximos de 33,5 [mm]. Las bridas, cuyo diámetro exterior debe ser de 300 [mm] para respetar el tipo de brida requerida para el montaje del motorreductor, se producen a partir de una barra de sección circular de 300 [mm] de diámetro de AISI316L. Se adopta este tipo de acero más caro porque en FAMIQ no se encontró otra barra con dicha dimensión requerida.

Se evalúa usar algún caño o tubo estándar de menor espesor, pero sería difícil obtener espesores suficientes como para poder mecanizar el alojamiento del rodamiento y del retén, y además permitir la correcta soldadura con las bridas. También se evalúa adoptar una brida estándar pero no se podría llevar a cabo la unión entre las bridas y el caño de torreta como se presenta a continuación:

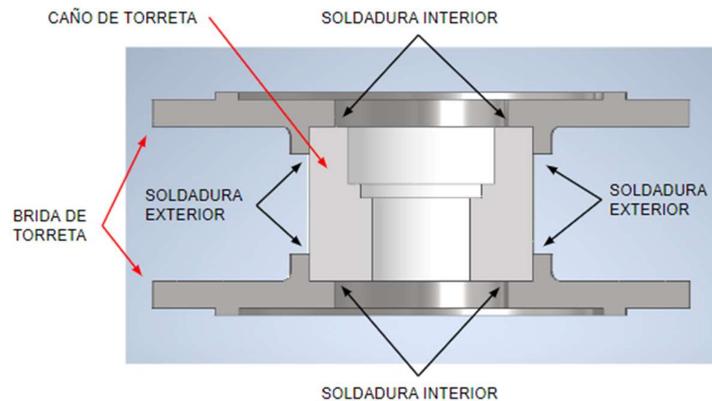


Ilustración 89: Partes de Torreta

Se puede ver que está constituida por tres piezas que se sueldan en el exterior y en el interior, siguiendo lo que se suele hacer cuando se trata de bridas slip on. A continuación, se presenta una ilustración en donde se hace hincapié en la soldadura de la torreta:

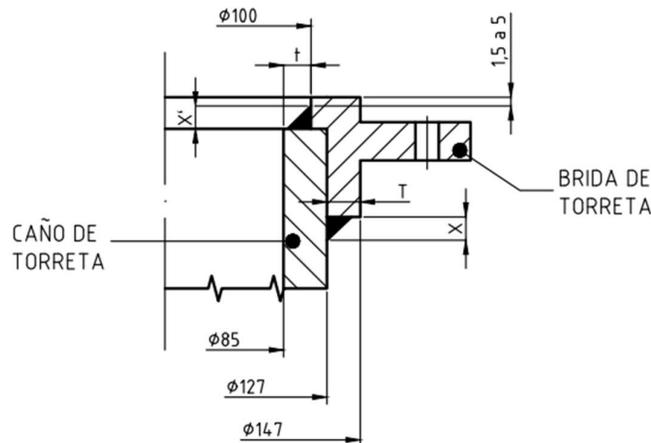


Ilustración 90: Soldadura de Torreta

Se sabe que:

$$X = \text{Menor de } 1,4 \cdot t \text{ y } T$$

$$X' = \text{Menor de } t \text{ y } 6 \text{ [mm]}$$

Se puede calcular que en base a las dimensiones dadas que:

$$t = 7,5 \text{ [mm]}$$

$$T = 10 \text{ [mm]}$$

Entonces se define:

$$X = 10 \text{ [mm]}$$

$$X' = 6 \text{ [mm]}$$

3.6 Toma de Grano

Función: Ingreso de malta humedecida al tanque.

Materia Prima: Tubos de AISI304L, Uniones doble clamp AISI304 y Chapas AISI304L.

Método de Fabricación: Mecanizado (orificios de ingreso de agua), conformado de chapa y soldadura.

Como se ha visto, el primer proceso dentro del macerador se conoce como “mashing”. En esta primera etapa, ingresa una determinada cantidad de agua caliente al tanque para precalentar (2” por encima del falso fondo). Luego comienza a agregarse en simultaneo la malta molida junto con agua caliente. Es conveniente que la malta esté adecuadamente hidratada, por eso se diseñó un **caño de ingreso de malta** con orificios para el ingreso de agua y mojado de la malta, previo al ingreso al tanque.

El diseño general consiste en un caño interior por donde ingresa la malta molida, y un caño exterior en forma de camisa alrededor del primero. El caño interior posee orificios que permiten que el agua pase del caño exterior al interior y de esta forma se moje la malta al ingresar al tanque.

En las siguientes ilustraciones se pueden apreciar como se ve esta pieza en maceradores del mercado:



Ilustración 91: Toma de Grano I



Ilustración 92: Toma de Grano II

La unión entre caño exterior e interior fue un gran desafío a la hora de diseñar. La primera opción fue soldar todo, pero de esta forma sería muy difícil acceder al interior para mantenimiento.

La segunda opción fue cortar longitudinalmente el caño exterior y soldar un semi caño exterior al interior, para luego unir los semi caños mediante bulones y tuercas (ilustración siguiente). Pese a que dicho concepto de diseño es adecuado para acceder al interior para limpieza, no se considera factible.

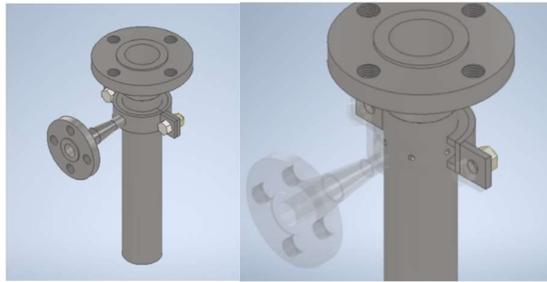


Ilustración 93: Primer Concepto

Finalmente se decidió utilizar tubos soldados y uniones tipo clamp (ilustración siguiente). En caso de requerirse limpieza profunda, la pieza completa es extraíble gracias a los clamps. Aparecen otras piezas como las uniones entre el tubo exterior y el interior. En la parte superior, la unión se da mediante una chapa plana con forma de anillo mientras que en la parte inferior se da mediante una reducción concéntrica o cono truncado. Soldado al tubo interior, en la parte superior, se ve una tolva cónica para la entrada de granos. Todas estas piezas se realizan por conformado de chapa de acero inoxidable AISI304L con FAMIQ como proveedor.

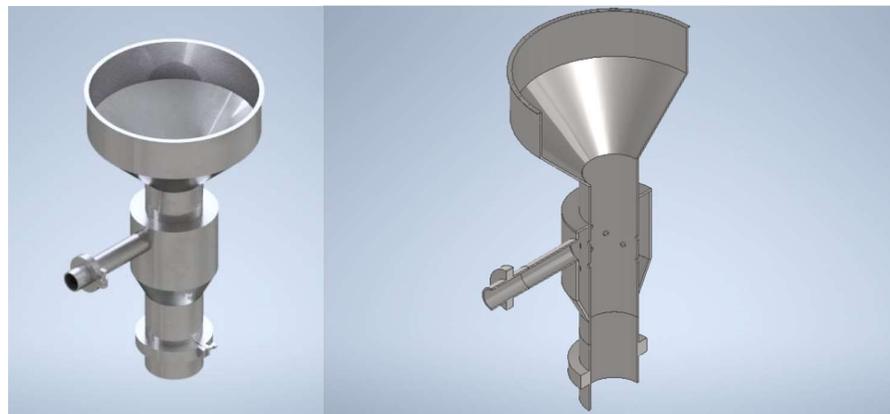


Ilustración 94: Concepto Final

Entonces, las partes componentes de este subconjunto son:

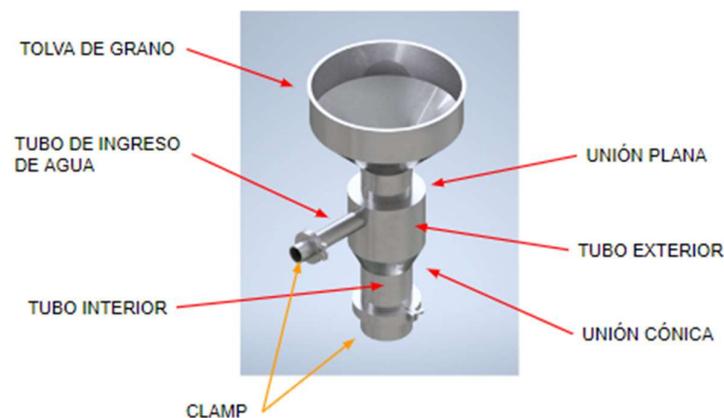


Ilustración 95: Componentes de Toma de Grano

En este caso, el caudal de agua debe ser de 30 [l/min] (0,0005 [m³/s]) por lo visto en el ítem 3.1.7. Se busca que el agua llegue con buena velocidad al tubo exterior, pero manteniéndose siempre cercano a la velocidad económica. Se adopta un tubo de ingreso de agua de ¾" (19,05 [mm]) e=1,5 [mm]:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0005 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi \cdot \frac{\phi^2}{4}} = 2,47 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Es una velocidad un poco elevada, pero se mantiene cercana a las velocidades económicas. Si en los análisis se ve que el agua no ingresa con la suficiente presión, se reducirá este diámetro. Para definir las dimensiones de los tubos interior y exterior se realizan ciertos análisis mediante CFD. Los mismos se harán teniendo en cuenta las siguientes **condiciones de borde**:

1. Flujo de 30 [l/min] de entrada de agua.
2. Presión atmosférica en los extremos del tubo interior.

Para tener en cuenta, de los estudios se obtienen mapas de velocidades o presiones y también trazos de flujos, entre otras cosas.

Primer Diseño: Comenzamos proponiendo un tubo interior de 4" (101,6 [mm]) e=2 [mm] y un tubo exterior de 5" (127 [mm]) e=2 [mm] de AISI 304. Soldado radialmente al tubo de 5" va el tubo de ingreso de agua de ¾". Se proponen 6 agujeros de 5 [mm] de diámetro.

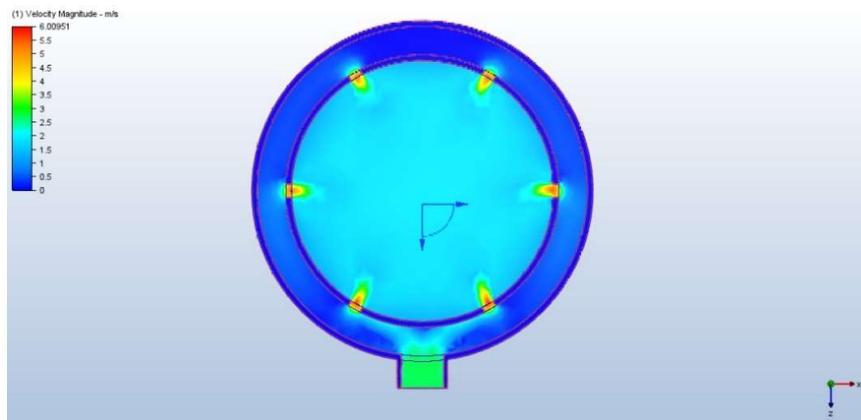


Ilustración 96: Velocidades Vista desde Arriba

Como se vio en el cálculo analítico, el agua ingresa con una velocidad cercana a los 3 [m/s] al tubo exterior, y luego ingresa al tubo interior con velocidades bastante elevadas que rondan los 4 o 5 [m/s].

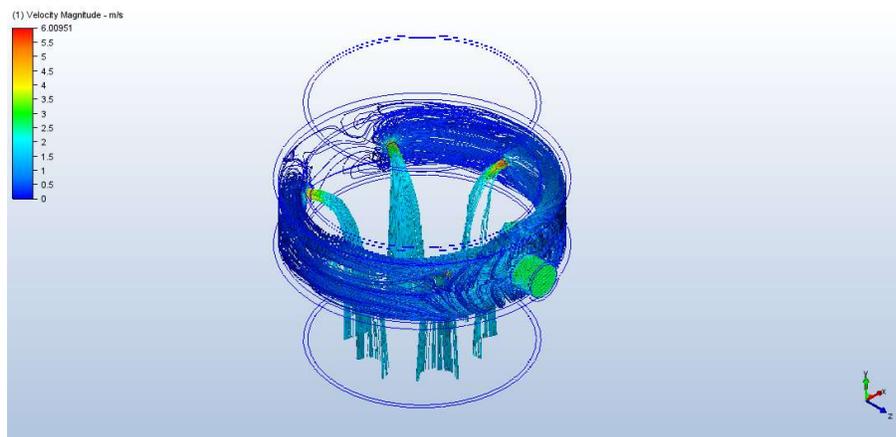


Ilustración 97: Trazos en Vista Isométrica

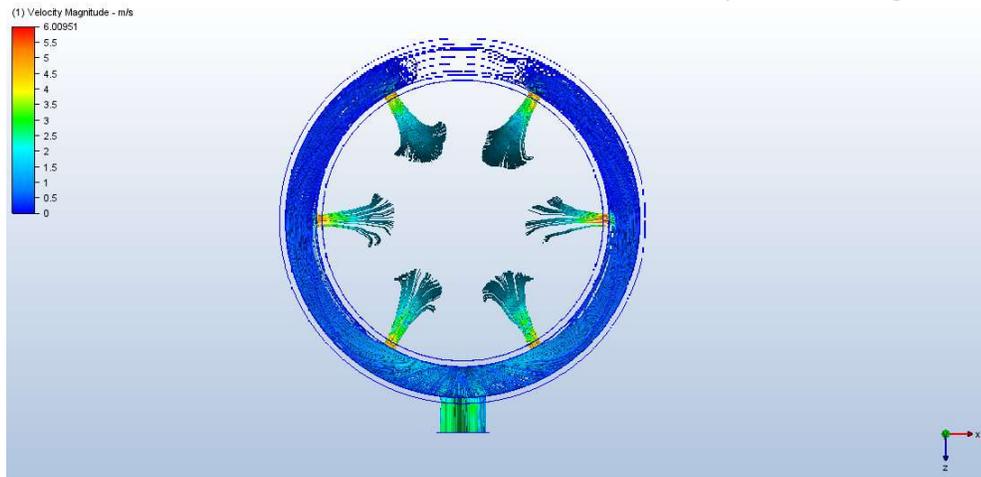


Ilustración 98: Trazos en Vista desde Arriba

Analizando los trazos, se ve que el agua no llega hasta el centro del tubo interior, por lo que habrá granos de malta molida que no se humedecerán.

Como conclusiones obtenemos que se podrían achicar un poco los tubos exteriores (de 5" a 4") e interior (de 4" a 3"). Respecto al diseño, y sin perder en vista el objetivo de humedecer correctamente toda la malta, se decide realizar varios escalones de orificios en el tubo interior en vez de solo uno.

Segundo Diseño: Ahora se propone un tubo interior de 3" (76,2 [mm]) e=2 [mm] y un tubo exterior de 4" (101,6 [mm]) e=2 [mm] de AISI 304. Soldado radialmente al tubo de 4" va el tubo de ingreso de agua de ¾". Se proponen 8 filas de 6 agujeros de 5 [mm] de diámetro obteniendo 48 orificios en total.

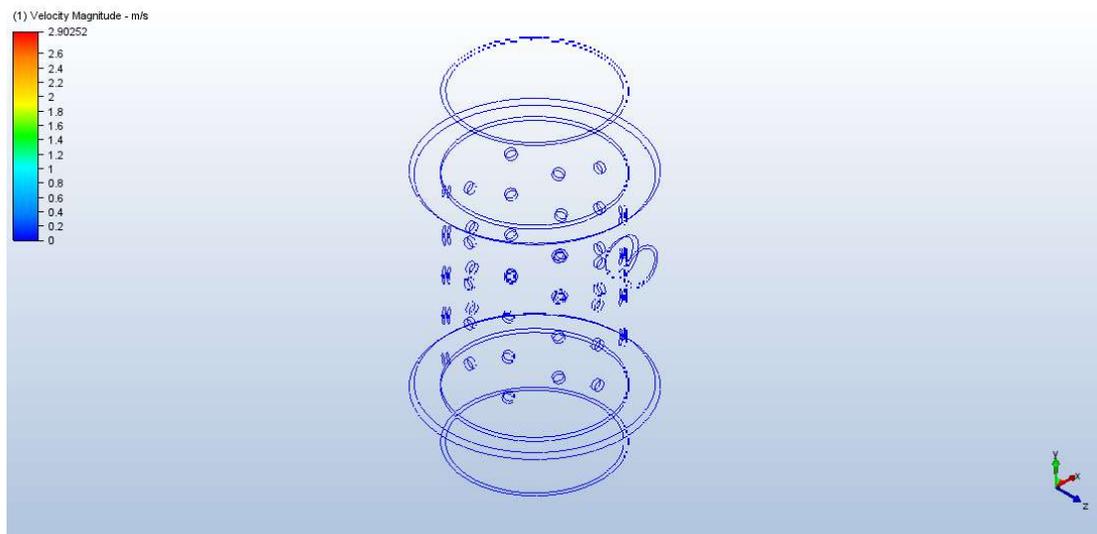


Ilustración 99: Preview con Solido Invisible

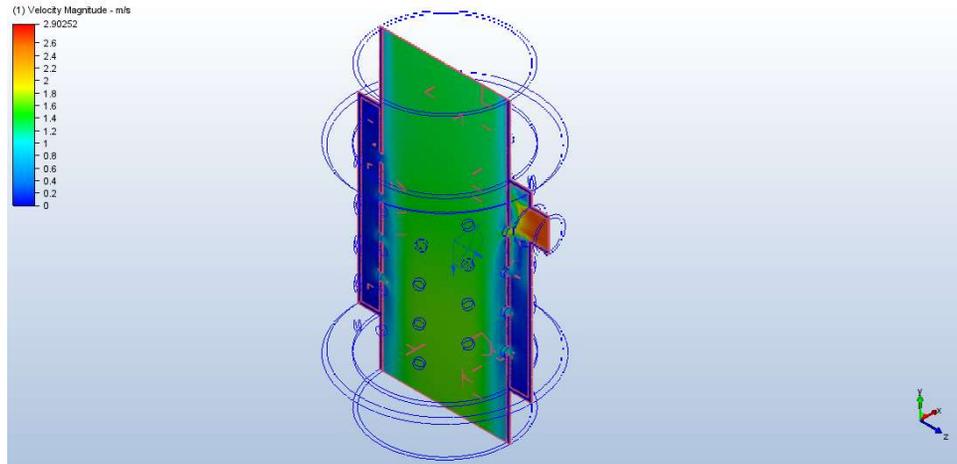


Ilustración 100: Velocidades Vista YZ Isométrico

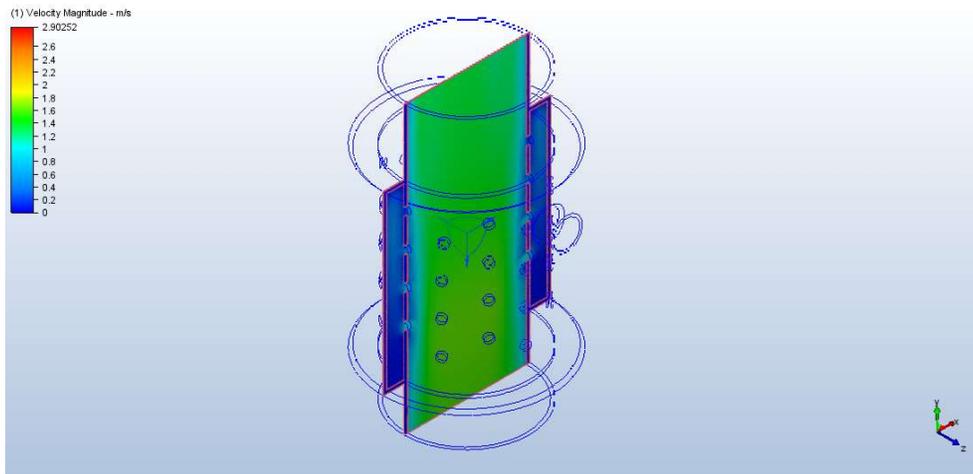


Ilustración 101: Velocidades Vista YX Isométrico

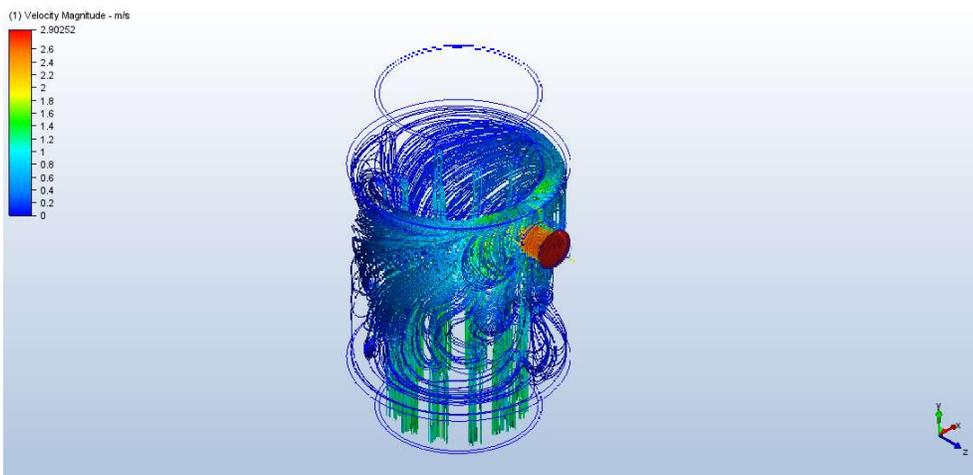


Ilustración 102: Trazos Isométrico

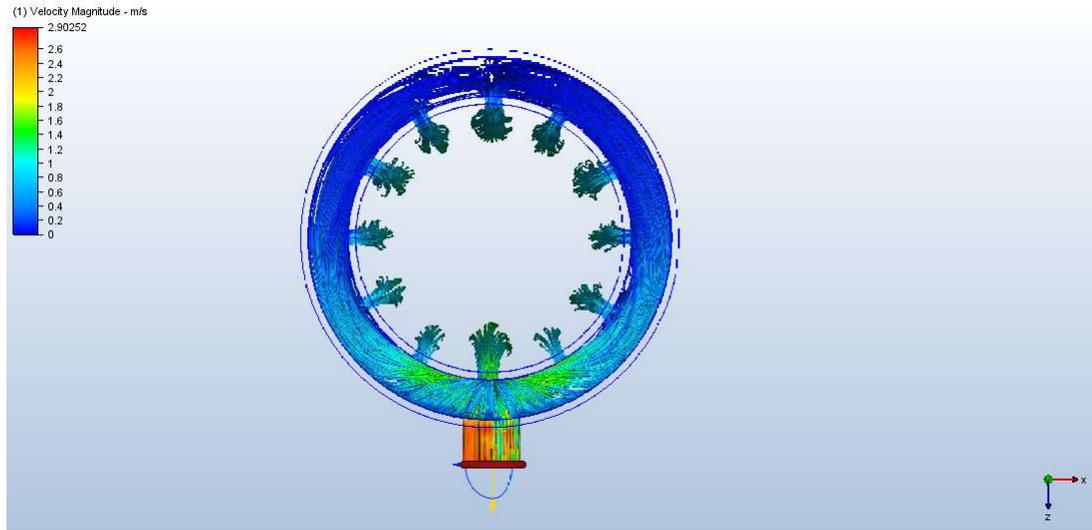


Ilustración 103: Trazos desde Arriba

Mas allá del análisis de velocidades, la vista terminante es esta última de los trazos desde arriba. Se ve que el agua no llega hasta el centro del tubo interior, y por este motivo no es aceptable este diseño. Se propone achicar nuevamente el tubo interior (3" a 2") y exterior (4" a 3") y reducir la cantidad de orificios para aumentar la velocidad de ingreso de agua al tubo interior.

Tercer Diseño: Ahora se propone un tubo interior de 2" (50,8 [mm]) e=1,5 [mm] y un tubo exterior de 3" (76,2 [mm]) e=2 [mm] de AISI 304. Soldado radialmente al tubo de 3" va el tubo de ingreso de agua de 3/4". Se proponen 18 orificios en total distribuidos en forma espiralada.

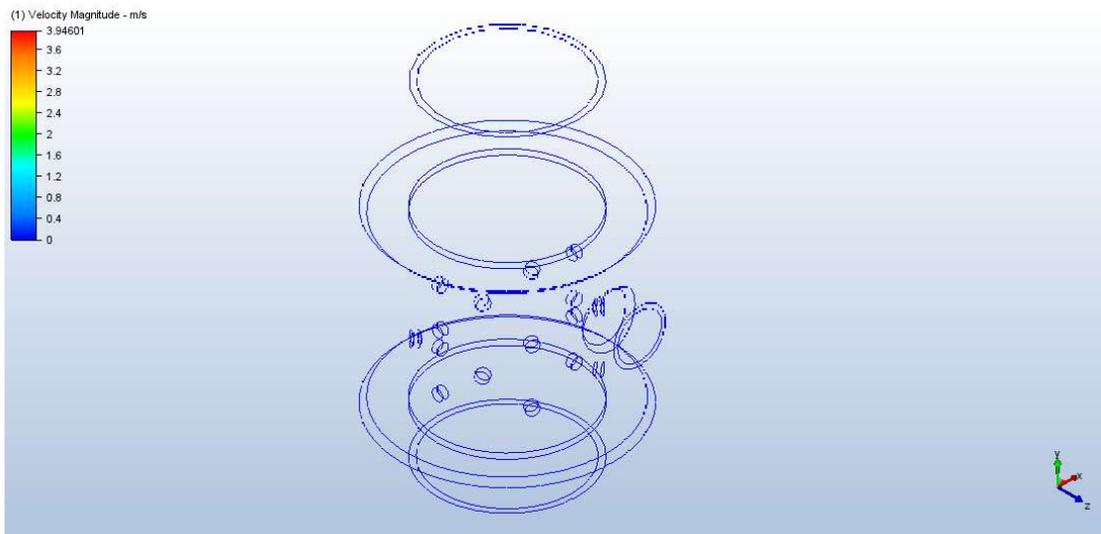


Ilustración 104: Preview con Solido Invisible

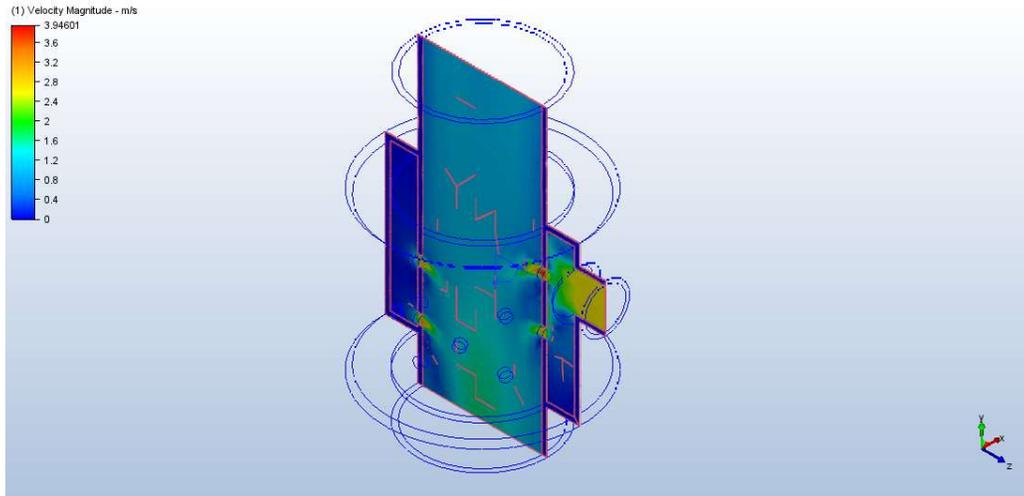


Ilustración 105: Velocidades Vista YZ Isométrico

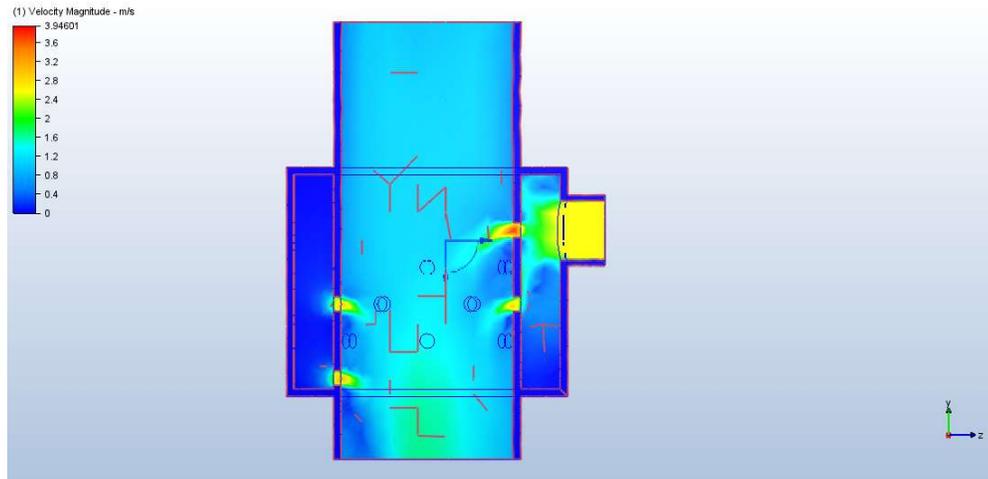


Ilustración 106: Velocidades Vista YZ

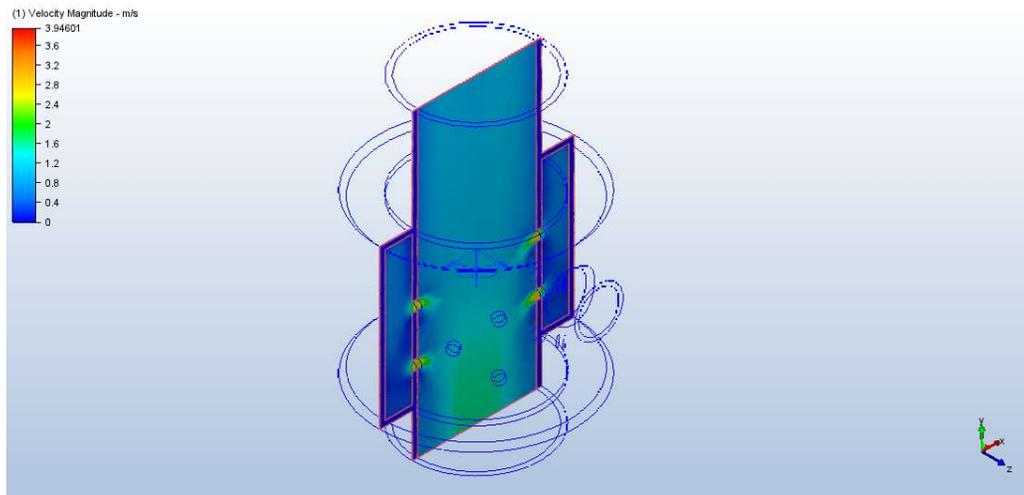


Ilustración 107: Velocidades Plano YX Isométrico

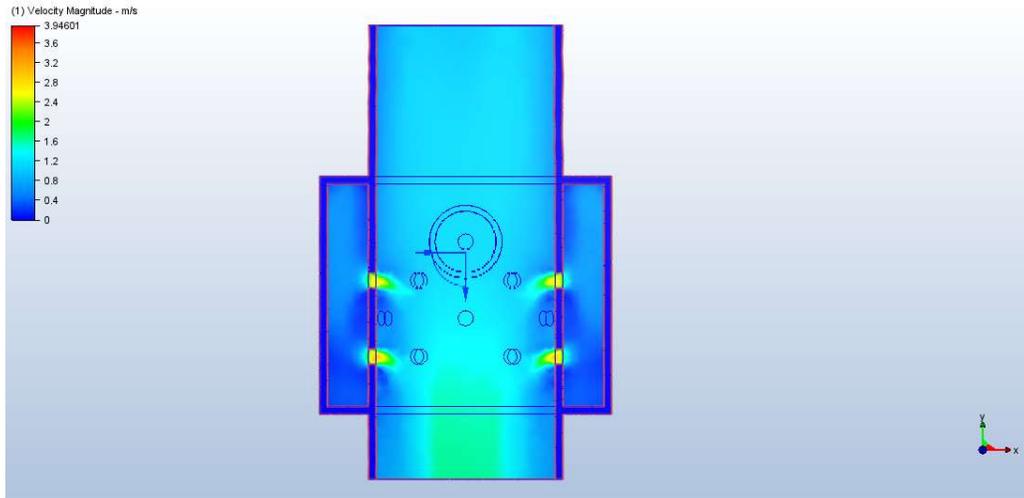


Ilustración 108: Velocidades Vista YX

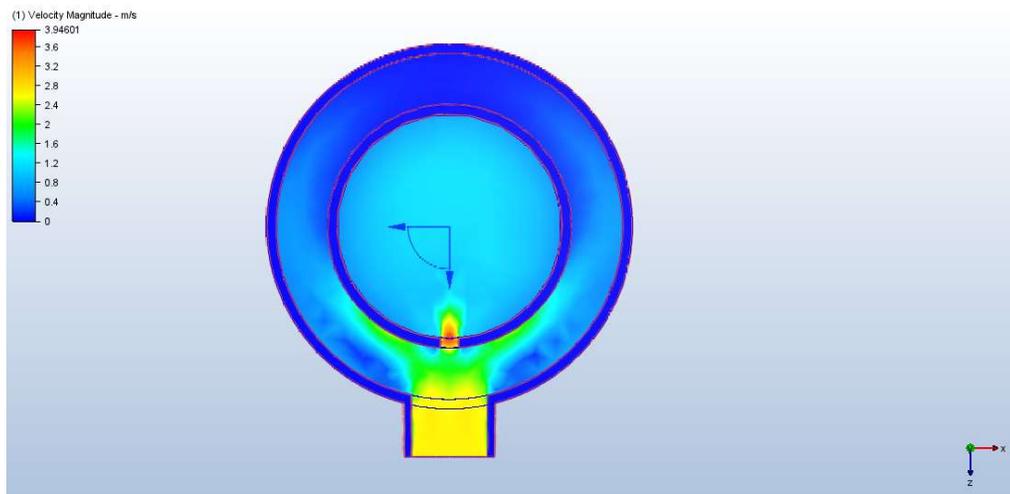


Ilustración 109: Velocidades Vista XZ Orificio Superior

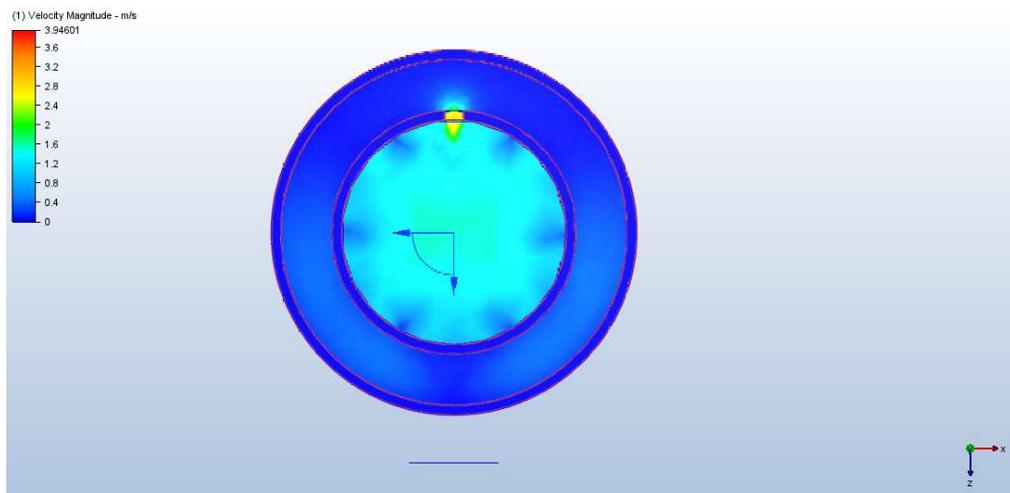


Ilustración 110: Velocidades Vista XZ Orificio Inferior

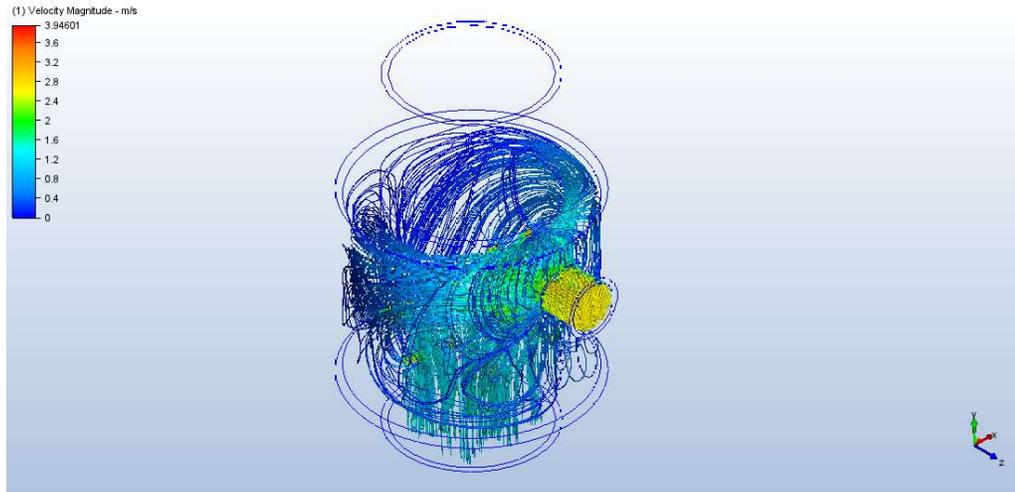


Ilustración 111: Trazos Isométricos

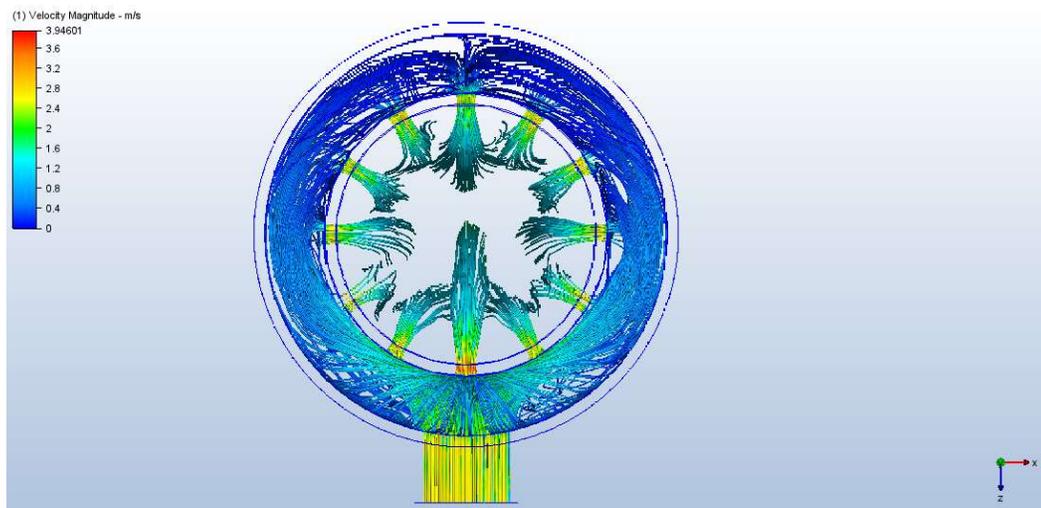


Ilustración 112: Trazos desde Arriba

Se concluye que el tercer diseño cumple con los requerimientos que se buscaban satisfacer. Solo quedaría construir un prototipo para realizarle estudios experimentales, pero en el marco de este trabajo se toma como aceptable.

Las dimensiones finales son:

- Tubo de Ingreso de Agua: $\frac{3}{4}$ " e=1,5 [mm]
- Tubo Interior: 2" e=1,5 [mm]
- Tubo Exterior: 3" e=2 [mm]
- Orificios de Entrada de Agua de 5 [mm]

Y se requieren:

- Uniones dobles clamp de $\frac{3}{4}$ " y 2"
- Chapas de AISI304L de 2 [mm] de espesor

Un inconveniente que puede aparecer y que no puede ser analizado por CFD es la posible obstrucción de orificios a causa de los granos molidos. Un grano de malta tiene aproximadamente:

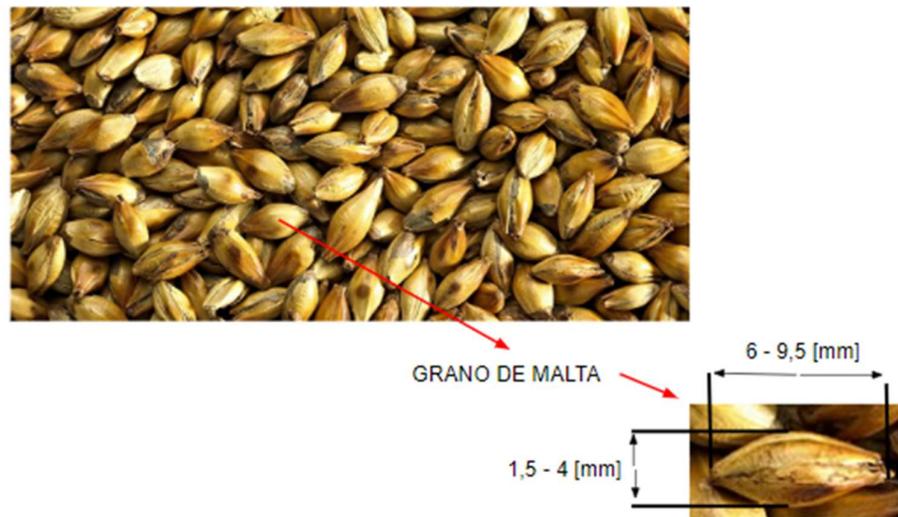


Ilustración 113: Grano de Malta

Es decir que el grano sin ser molido ya tiene la capacidad de obstruir el orificio. Hay que tener siempre presente que cuando se realice el ingreso de malta al tanque, debe haber flujo de agua por los orificios para evitar que la malta tienda a entrar al conducto de agua. En caso de ser necesario, se puede diseñar y soldar un techito sobre los orificios para evitar este problema.

3.7 Anillo Rociador

Función: Ingreso de agua de forma uniforme sobre toda la cama de granos dentro del tanque.

Materia Prima: Tubos AISI304L, Uniones doble clamp AISI304 y Tees AISI304L.

Método de Fabricación: Doblado de tubo por sistema de tres rodillos, mecanizado y soldadura.

El segundo paso se conoce como “sparging”. Aquí ya fue extraído el primer mosto y quedó sobre el falso fondo todo el bagazo húmedo. Para aprovechar la capacidad que puede llegar a tener el bagazo en este punto de entregar más almidón, se vuelve a introducir agua al tanque mediante los **anillos de rociado**. Consisten en dos caños curvos que se unen mediante soldadura (con dos tee entre sus extremos) para formar un anillo. Dichos caños poseen orificios para el ingreso del agua al tanque en forma homogénea.



Ilustración 114: Anillo Rociador

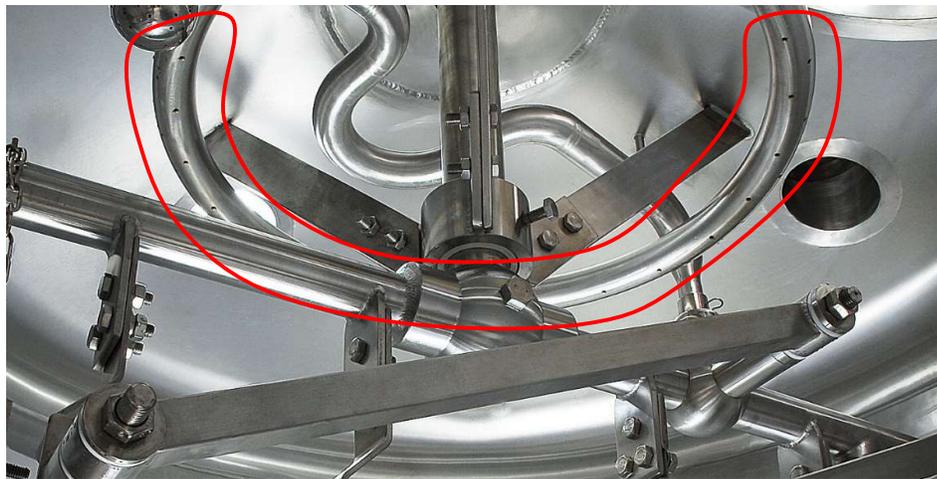


Ilustración 115: Anillo Rociador con Orificios

Considerando un diámetro del tanque de aproximadamente 1900 [mm], se tomó la decisión de adoptar un diámetro aproximado del anillo de 600 [mm]. Parece conveniente ya que se encuentra cercano al diámetro medio del tanque y permite una buena distribución del agua sobre el bagazo. Se adoptó un tubo 1" (25,4 [mm]) y espesor 1,5 [mm] (por la disponibilidad de accesorios en FAMIQ como es el caso de las Tee y las uniones clamp) ya que para un caudal de 25 [l/min] (en total 50 [l/min] pero distribuido en dos caños) se obtiene una velocidad de:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,000415 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi \cdot \frac{\phi^2}{4}} = 1,05 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Y parece aceptable considerando las velocidades económicas. Un desafío a tener en cuenta para el diseño es intentar lograr que la velocidad sea lo más homogénea posible y que el agua salga en proporciones similares en cada uno de los orificios a lo largo del anillo. El concepto de diseño es el siguiente:

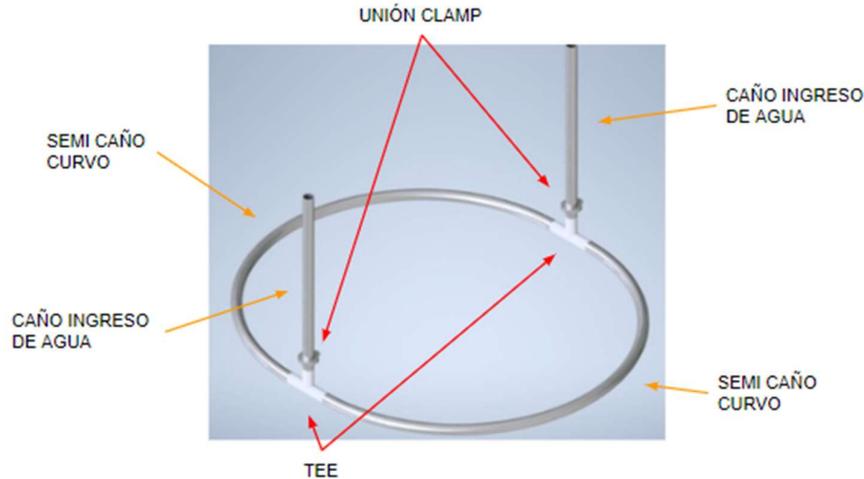


Ilustración 116: Concepto del Anillo Rociador

Ahora las variables que quedan por tratar son:

- Cantidad y diámetro de orificios.
- Distribución de orificios en el anillo.

Para el análisis de todos los diseños se tuvieron en cuenta las siguientes **condiciones de borde**:

- Caudal de 12,5 [l/min] ingresando por cada extremo del caño curvo (12,5 x 4 nos da el caudal total de 50 [l/min] – velocidad de entrada al caño curvo de 0,6 [m/s] aproximadamente).
- Presión atmosférica en cada orificio de salida.

Primer Diseño: Se adoptaron orificios sin inclinación (apuntando directamente hacia abajo) con 5 [mm] de diámetro. 76 orificios en total distribuidos uniformemente (38 por caño – 19 del lado de adentro y 19 del lado de afuera - todos los orificios con su eje a 90° de la horizontal).

El área de los orificios es de:

$$A = \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 0,0000196 [m^2]$$

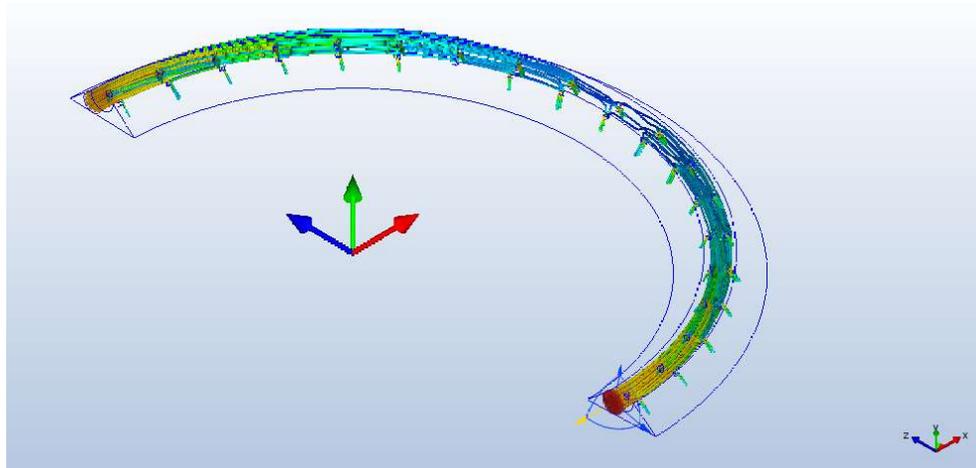


Ilustración 117: Trazos

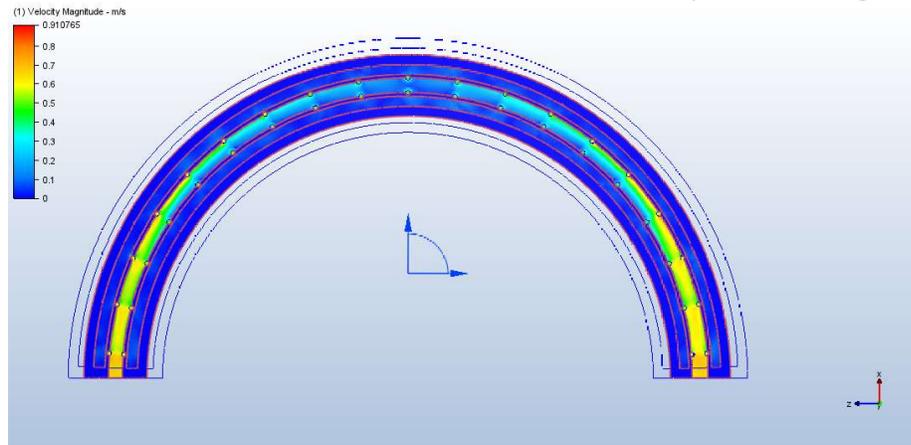


Ilustración 118: Velocidades Vista desde Arriba

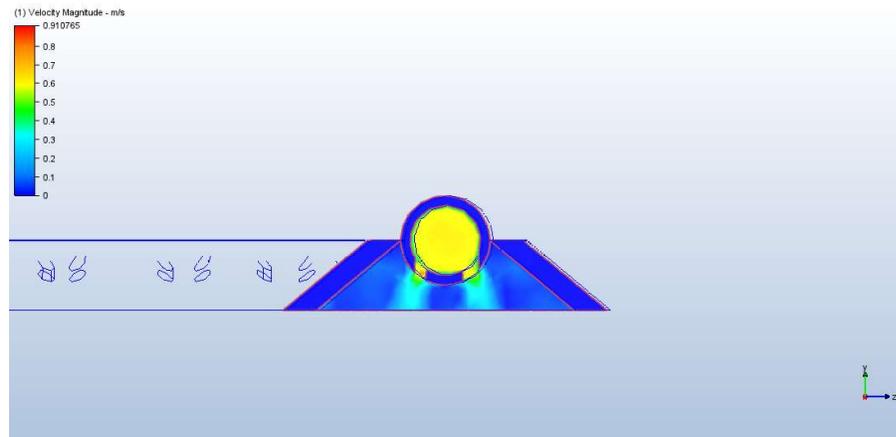


Ilustración 119: Velocidad en Primeros Orificios

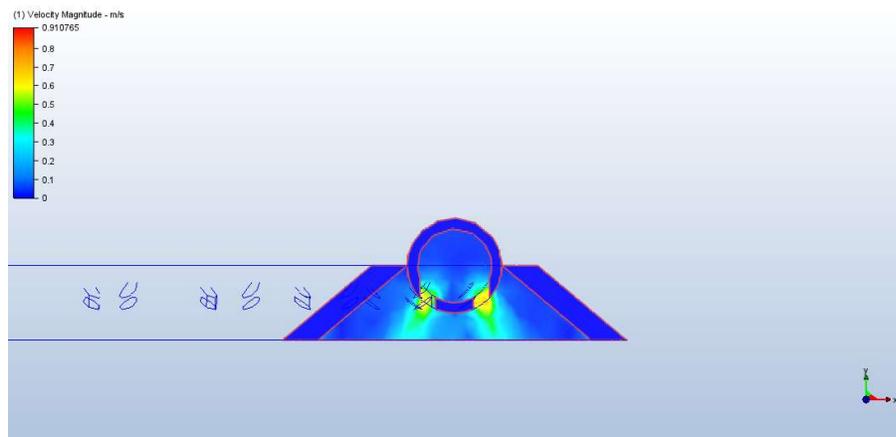


Ilustración 120: Velocidad en Últimos Orificios

Se puede ver en la gráfica que la velocidad va cayendo aproximadamente 0,06 [m/s] por orificios a medida que se aleja del ingreso del agua (en los orificios más alejados la velocidad es de aproximadamente 0,1 [m/s]). Los primeros orificios tienen una velocidad de salida de aproximadamente 0,7 [m/s] por lo que en la primera etapa se pierde un caudal de:

$$Q_1 = \left(0,7 \left[\frac{m}{s}\right] \cdot A\right) \cdot 2 [\text{orificios}] = 0,00002744 \left[\frac{m^3}{s}\right] = 1,6 \left[\frac{l}{min}\right]$$

Considerando que la velocidad se reduce un 10% aproximadamente por cada 2 orificios que se aleja, el caudal también lo hace (ya que el área de los orificios es igual). Entonces en los últimos dos orificios, el caudal será aproximadamente un 90% menor al de entrada:

$$Qf = \left(0,1 \left[\frac{m}{s}\right] \cdot A\right) \cdot 2 [\text{orificios}] = 0,00000392 = 0,2 \left[\frac{l}{min}\right]$$

Todos estos cálculos son muy aproximados y los hago para poder sacar algunas conclusiones de mejora.

→ Algunas conclusiones que obtuve de aquí son que se puede reducir el número de orificios para no perder tanto caudal y llegar a los orificios lejanos con mayor velocidad. No solo eso, sino que se puede variar la distribución: menos orificios cercanos y más orificios alejados. De esta forma se obtienen mayores velocidades en los orificios lejanos. También, se puede reducir el tamaño del tubo para aumentar la velocidad de entrada. Además, conviene darles cierta pendiente a los orificios para que el agua llegue a más zonas sobre el bagazo y no caiga solo sobre la proyección del anillo rociador.

Segundo Diseño: Se adoptaron orificios con su eje a 45° y con 5 [mm] de diámetro. 36 orificios en total (18 por caño – 9 apuntando hacia adentro y 9 hacia afuera). Ahora con una distribución heterogénea (ver ilustración siguiente) y con un tubo de $\frac{3}{4}$ " (19,05 [mm]) y espesor 1,5 [mm].

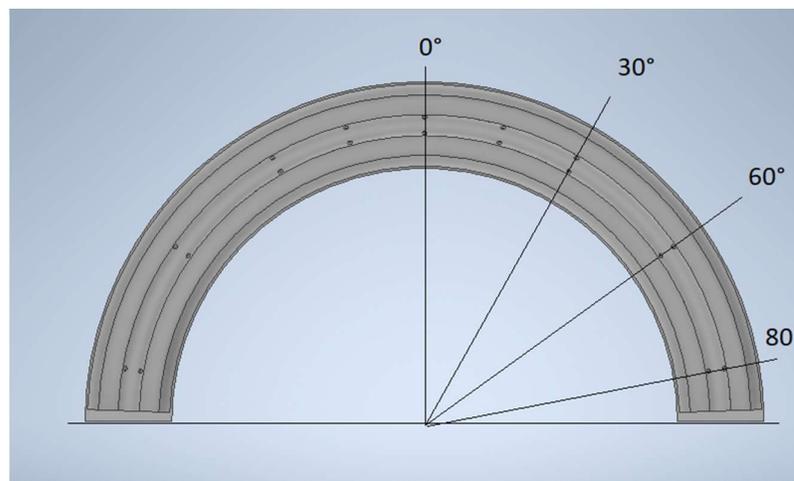


Ilustración 121: Distribución de Orificios

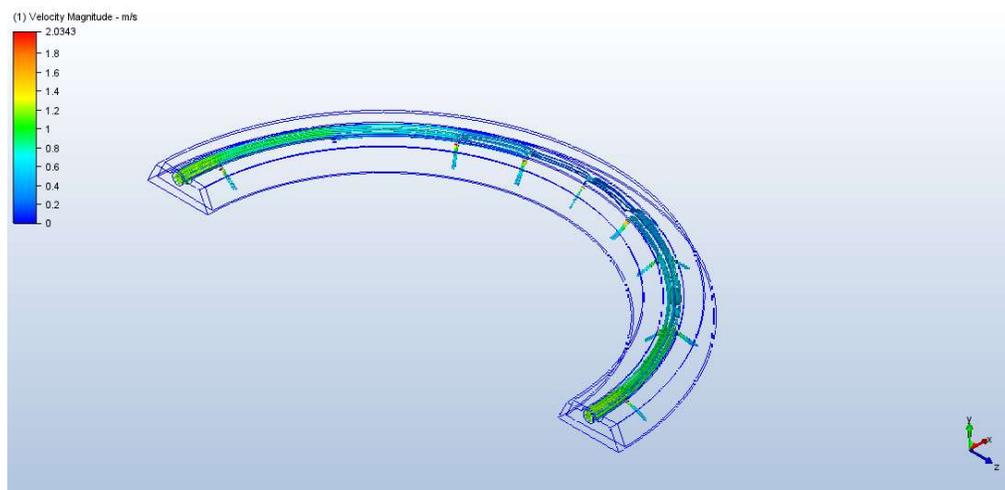


Ilustración 122: Trazos Isométricos

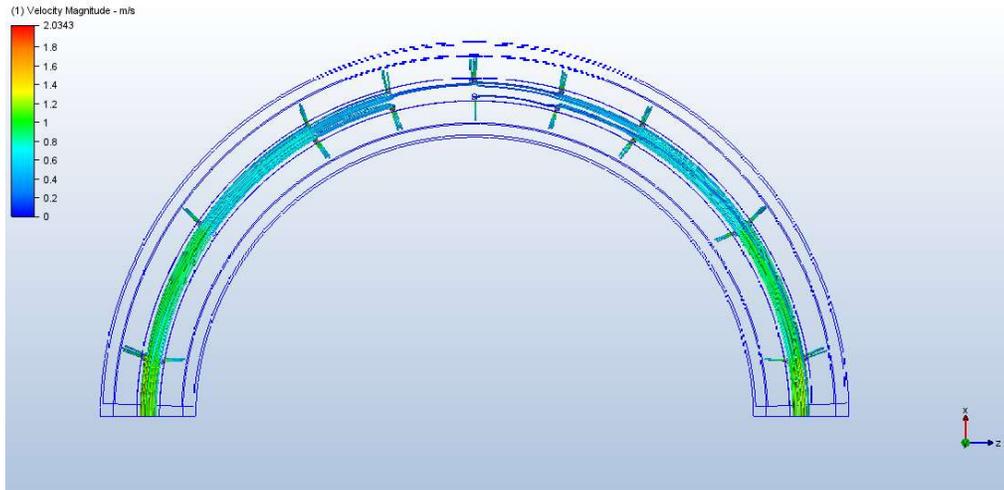


Ilustración 123: Trazos desde Arriba

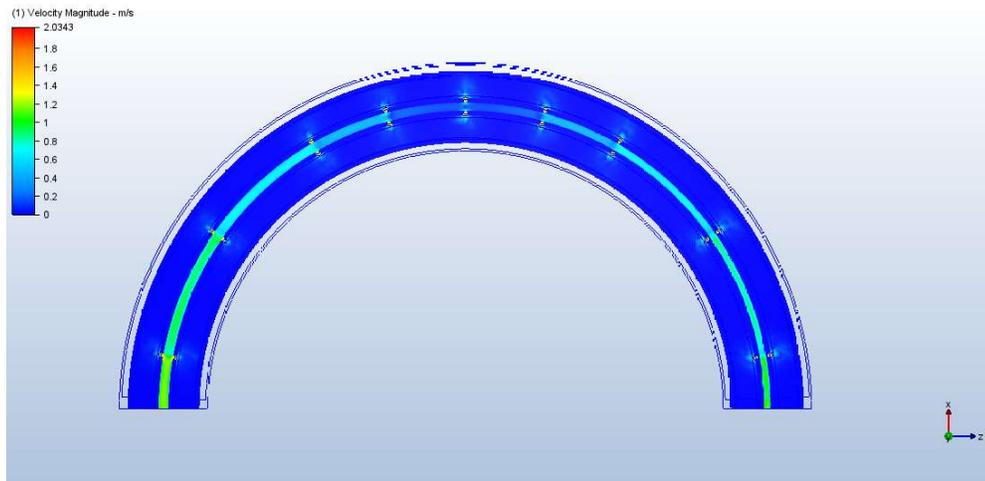


Ilustración 124: Velocidad desde Arriba

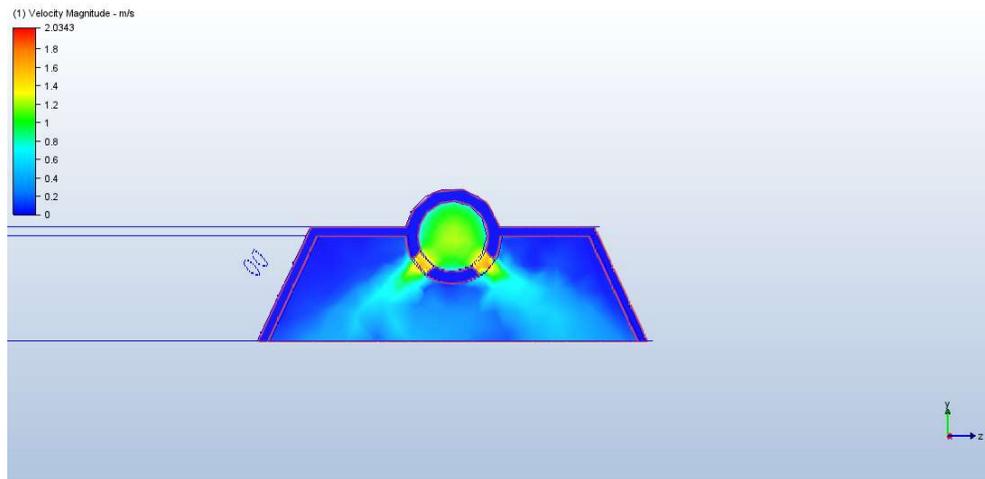


Ilustración 125: Velocidad en Orificios Cercanos

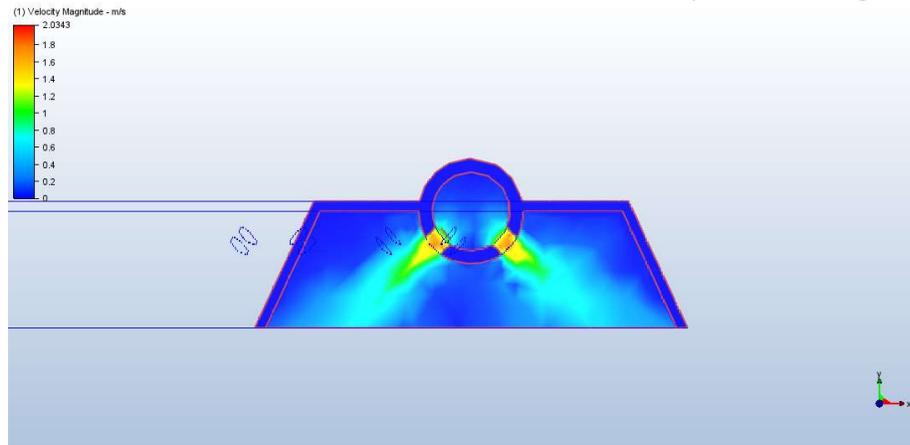


Ilustración 126: Velocidad en Orificios Lejanos

La última opción de diseño parece adecuada. Se ve que la velocidad de salida del agua del anillo es un poco más del doble que para el primer diseño ya que se redujo a la mitad el número de orificios y también se redujo el tamaño del tubo.

Se obtuvo gracias al CFD un tipo de diseño bastante óptimo. Queda analizar si estos tubos curvos son de fácil fabricación o si tienen alguna restricción. Se pueden realizar mediante un **doblado por sistema de tres rodillos** que es un método utilizado para producir piezas de grandes radios de curvatura como es el caso.

También surgió una tercera posibilidad de diseño que consiste en reemplazar los orificios por **sprinklers** como se ve en la ilustración al principio de este ítem. Por cuestiones económicas y teniendo en cuenta que los diseños anteriores cumplieron las expectativas, se adopta el segundo diseño.

3.8 Eje Giratorio

Función: Transmite el movimiento giratorio desde el motorreductor hasta el sistema de brazos giratorios, mediante su unión con el cubo gracias al perno de unión.

Estado de Carga: Tracción debido a los pesos del sistema de brazos giratorios (200 [kg]). Flexión (16000 [kg.cm]) y torsión (10000 [kg.cm]) durante la extracción de bagazo debido a la fuerza que ejerce el bagazo sobre el rastrillo.

Materia Prima: Barra redonda de AISI304L.

Método de Fabricación: Mecanizado.

El eje giratorio consiste en una barra de acero inoxidable mecanizada que se une en su parte superior al motorreductor montado en el techo del macerador, y en su parte inferior posee un orificio para el ingreso del perno de unión que permitirá la unión con el cubo y todo el sistema de brazos giratorios. Por lo tanto, las dimensiones del eje están ligadas directamente al motorreductor en su parte superior. Pero la parte inferior no debe cumplir ningún requisito en este aspecto, ya que el cubo y el perno de unión son de diseño propio. El orificio que se ve en la parte inferior es el que permite la unión con el cubo.



Ilustración 127: Eje Giratorio

Se presenta el diseño del extremo superior del eje giratorio. En ella se encuentran las dimensiones que requieren mayor precisión para el correcto montaje con el motorreductor y la torreta (rodamiento), así como la ranura para la chaveta.

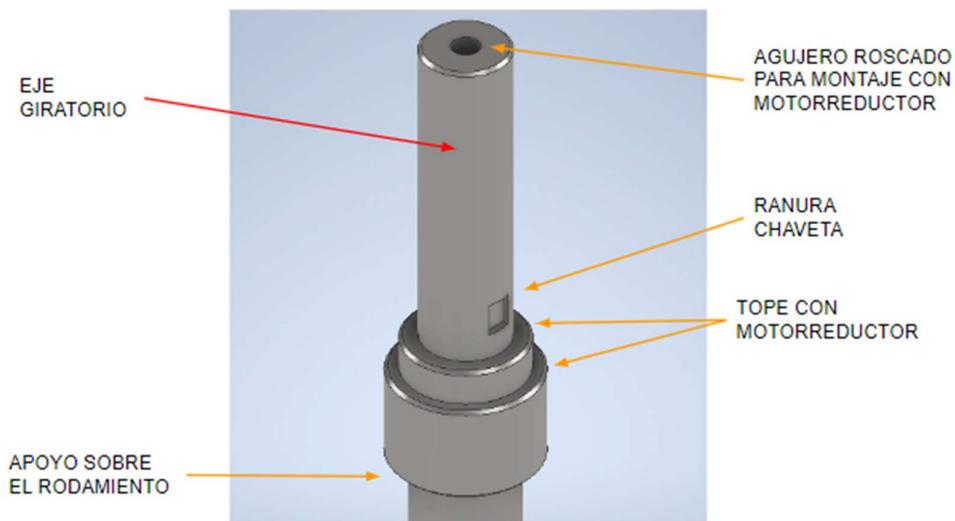


Ilustración 128: Extremo Superior de Eje Giratorio

El eje se dimensionará teniendo en cuenta la torsión generada por el bagazo durante su extracción y también, la flexión y las fuerzas normales de tracción, por separado. Además, se considerará un eje macizo y de sección constante para facilitar el cálculo y obtener un único diámetro que servirá de base para el diseño. Luego, al tener en cuenta el montaje con el motorreductor y el escalón necesario para el apoyo sobre el rodamiento, la sección dejará de ser constante. En este punto se utilizará un análisis mediante MEF para verificar las tensiones y deformaciones.

Primero se tomarán como parámetro las tensiones normales generadas por la flexión y la tracción que sufre el eje. La fuerza que ejerce el bagazo sobre el rastrillo fue calculada y es de unos 2000 [N] (ítem 3.1.8):

$$F_{\text{bagazo}} = 2000 \text{ [N]}$$

La distancia para calcular el momento flector se tomará de unos 0,8 [m] aproximadamente (largo del brazo de rastrillo).

$$M_f = 16000 \text{ [kg.cm]}$$

$$\sigma_{\text{adm}} = 950 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] (\text{coef. seg.} = 2,6)$$

Se va a considerar al momento flector como aquel que se genera en la zona del cubo, a pesar de que la distancia vaya aumentando a medida que se recorre el eje hasta el motorreductor. La intención es aproximar un resultado. La carga axial que aparece por el peso de todas las piezas del sistema de brazos giratorios es un poco menor a 200 [kg], entonces se tomará dicho peso para estar del lado de la seguridad.

$$P = 200 \text{ [kg]}$$

Entonces:

$$\sigma = \frac{M_f \cdot 32}{\pi \cdot d^3} + \frac{P \cdot 4}{\pi \cdot d^2} < \sigma_{\text{adm}}$$

Para evitar despejar el diámetro de la ecuación, se propondrán valores y se generará una tabla:

Diámetro [mm]	Tensión Normales [kg/cm ²]
40	2562,5
50	1313,9
60	761,6

Tabla 10: Tensiones en Eje según el Diámetro

Para ponernos del lado de la seguridad **se adopta un diámetro exterior de 60 [mm]** para iniciar el diseño, y se deja en duda hasta verificar mediante MEF. Se puede también calcular la tensión tangencial que se genera por el momento torsor con el diámetro seleccionado y ver que no se supere la admisible.

$$\tau_{\text{adm}} = 816,3 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] (\text{coef. seg.} = 3)$$

El momento torsor se obtiene aproximadamente multiplicando los 2000 [N] de fuerza del bagazo por 0,5 [m] (mitad del brazo giratorio o ¼ del diámetro del tanque):

$$M_t = 10000 \text{ [kg.cm]}$$

$$\tau = \frac{M_t \cdot 16}{\pi \cdot \emptyset^3} = 235,75 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] < \tau_{\text{adm}}$$

Tras la selección del motorreductor y el rodamiento, entre otros componentes estándar que influyen en el eje, se pudo completar el diseño de este y verificar toda la pieza mediante MEF para tener en cuenta concentración de tensiones y como afecta por ejemplo la ranura para la chaveta o los cambios de sección.

El eje, perno de unión y cubo son las tres piezas que se encargan de la unión entre el motor y el sistema de brazos giratorio. Es importante lograr un correcto dimensionado de las mismas ya que son piezas macizas de acero inoxidable, por lo que serán costosas, además de ser fundamentales para el funcionamiento de la máquina.

En primer lugar, se inicia realizando un estudio de conjunto para ver las zonas críticas respetando lo mejor posible el camino de las cargas hasta cada pieza y la interacción entre ellas. Se coloca la carga de 2000 [N] sobre los ejes pivotes superiores para reducir la complejidad del análisis.

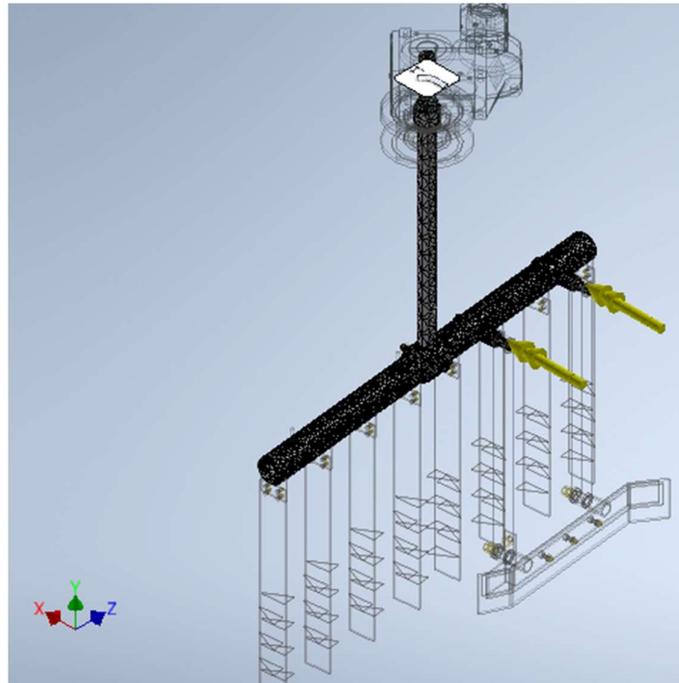


Ilustración 129: Sistema Giratorio – Cargas

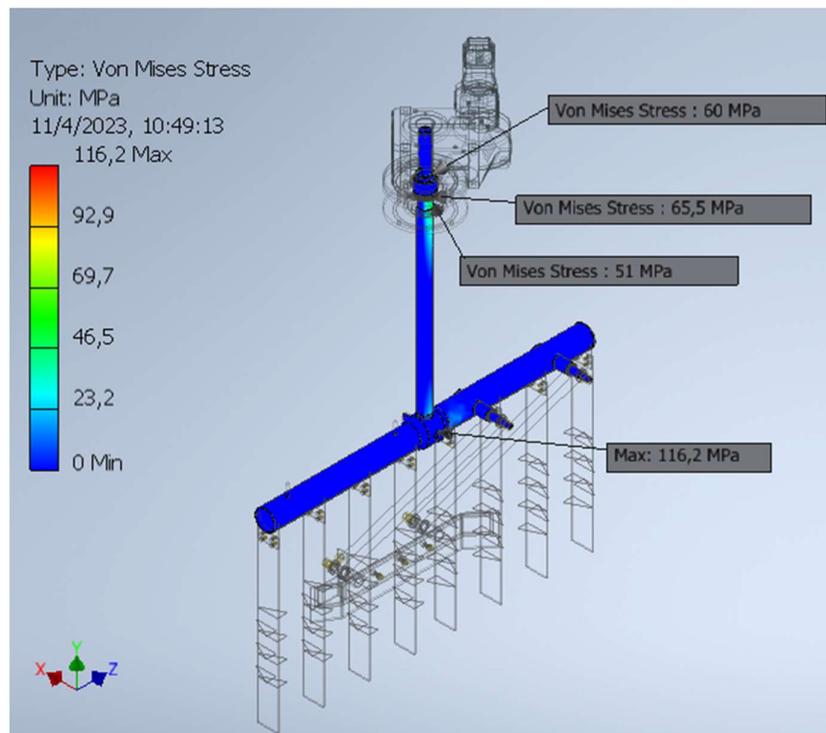


Ilustración 130: Sistema Giratorio – Tensiones

En este ítem solo se hará hincapié en el eje, a pesar de que se ve que las máximas tensiones del conjunto aparecen en el perno de unión. Interesa analizar la zona más tensionada del eje:

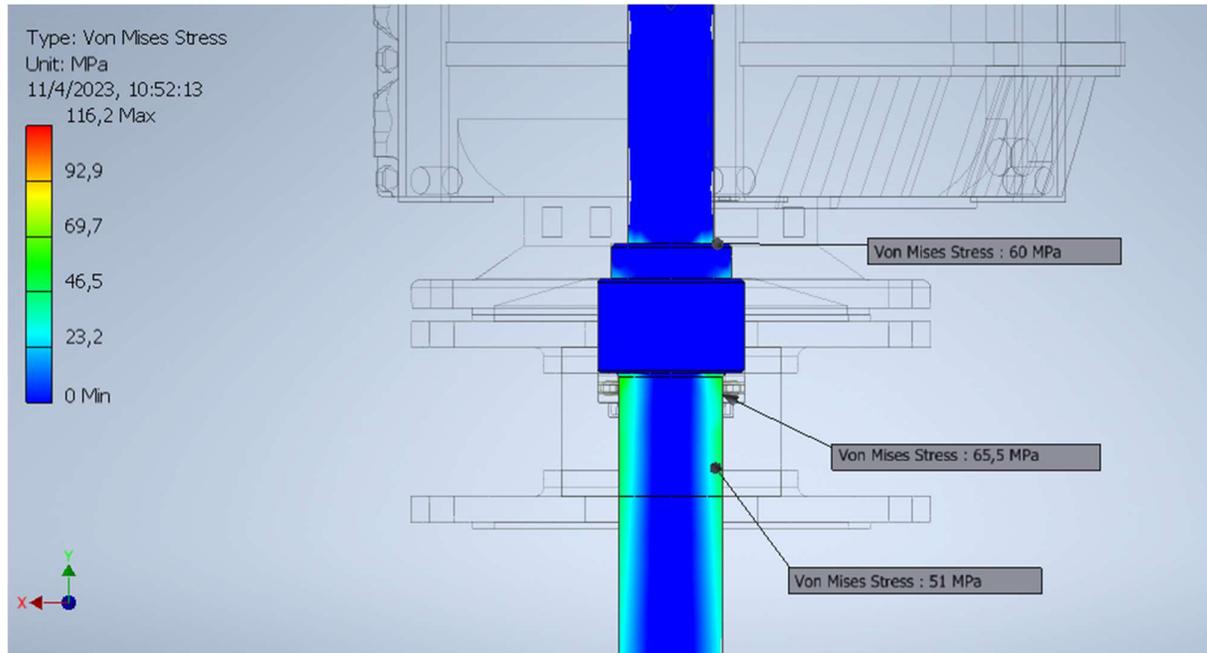


Ilustración 131: Sistema Giratorio - Tensiones en Eje

Se ve que las zonas del eje que más tensiones poseen son los cambios de sección con tensiones que rondan los 60 [MPa]. Con todos estos resultados como base, se pasa a un análisis individual del eje giratorio.

El eje entonces sufre una carga de tracción debido a todo el peso de los brazos giratorios junto con el conjunto rastrillo. Se supone una carga de 200 [kg]. Además, en la zona donde haría contacto con el cubo, aparece la fuerza del bagazo de 2000 [N] que genera flexión en el eje. Por último, aparece el momento torsor de 10000 [kg.cm]. En el análisis del conjunto se tomó como apoyo fijo la zona del eje en contacto con el motorreductor. Ahora, para ser más exactos, se tomará toda la zona en contacto con la torreta como un apoyo móvil (no permite el movimiento en sentido radial).



Ilustración 132: Cargas en Eje

Las máximas tensiones aparecen en el tope con el motorreductor con un valor de 120 [MPa] y luego se ven tensiones de 80 [MPa]. Esto puede deberse a que, en el análisis del conjunto, las demás piezas que fueron tenidas en cuenta hacen su aporte para aumentar la resistencia, y en el caso del análisis individual toda la carga actúa directamente sobre el eje. Además, en el análisis individual se han considerado mayores restricciones en cuanto al movimiento del eje.

En conclusión, tanto para el análisis de conjunto como el análisis individual, las tensiones están por debajo de la admisible con coeficientes de seguridad superiores a 2.

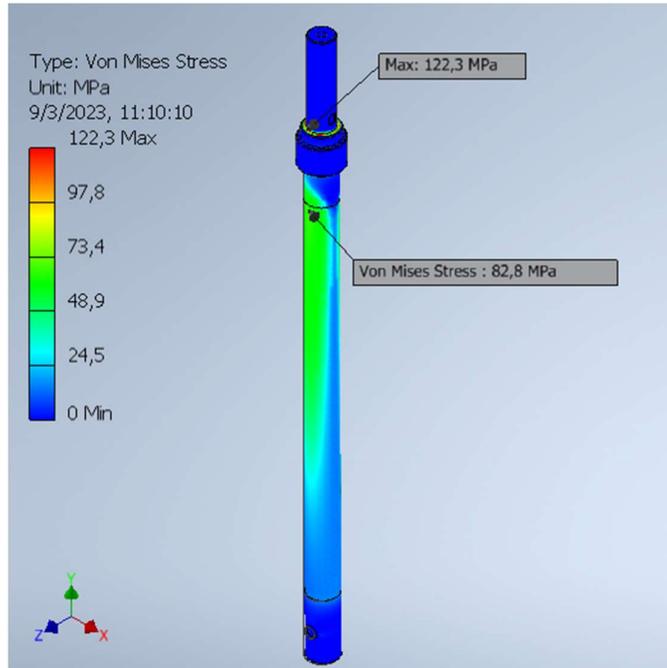


Ilustración 133: Tensiones en Eje

También es interesante analizar los desplazamientos máximos de la pieza, que alcanzan los 4 [mm] y no generan ningún inconveniente dentro del macerador.

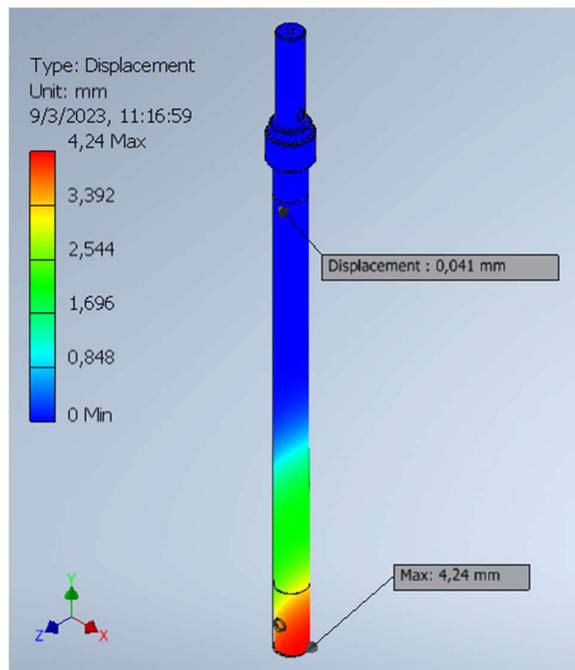


Ilustración 134: Desplazamientos en Eje

Las dimensiones finales del eje se verán en los planos ya que son muchas, pero se puede decir que el **largo total** de este es de **1350 [mm]**. También se define que el **mayor diámetro** del eje (coincidente con el diámetro mayor del rodamiento) es de **85 [mm]** por lo que la materia prima deberá ser una barra redonda de acero inoxidable de diámetro igual o superior a 85 [mm]. En FAMIQ se encuentran barras con diámetros de 90 [mm] para acero AISI304L.

Los distintos diámetros que aparecen en el eje son de 70 [mm] (tope con el motorreductor), 60 [mm] y 50 [mm] (unión con el motorreductor). Por lo tanto, el máximo espesor a mecanizar será de 20 [mm].

Una posibilidad para reducir las tensiones que sufre el eje, es colocar una pieza que se ha visto en otros maceradores del mercado, y que consiste en una camisa del eje o buje que pasa por la parte central del mismo y que limita su desplazamiento favoreciendo la reducción de tensiones en las secciones de cambio de diámetro. A esta pieza se la llama buje de restricción de eje y pese a no incluirla en el diseño actual, siempre está la posibilidad de incluirla en una futura mejora. Se tiene esto en cuenta para dejar el espacio necesario dentro del tanque.

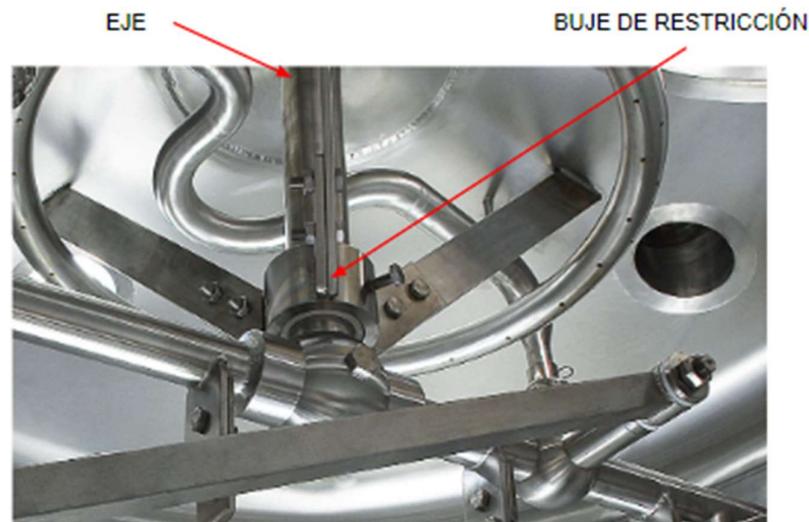


Ilustración 135: Buje de Restricción

3.9 Cubo

Función: Pieza central en la unión del sistema de brazos giratorios. Permite la unión de este conjunto con el eje y le trasmite el movimiento giratorio del motor.

Estado de Carga: Cargas debido al peso del conjunto de brazos giratorios (200 [kg]) y debido a la fuerza que genera el bagazo durante su extracción (2000 [N]).

Materia Prima: Barra redonda de AISI304L.

Método de Fabricación: Mecanizado.

El cubo es el elemento central del sistema de brazos giratorios. En él se sueldan los brazos giratorios, por un lado, el que posee el rastrillo y por el otro lado el que no lo posee. Esta pieza se une al eje giratorio mediante el perno de unión.



Ilustración 136: Cubo

Es una pieza bastante robusta por lo que se espera que las tensiones que sufra no sean elevadas. Sus dimensiones dependen más que nada de las dimensiones del eje giratorio, el perno de unión y los caños de los brazos giratorios. Para el análisis por MEF, se fija la zona de contacto con el perno de unión y se colocan los 200 [kg] de carga debido a los pesos de los sistemas de brazos y los 2000 [N] debido a la fuerza del bagazo durante su extracción.

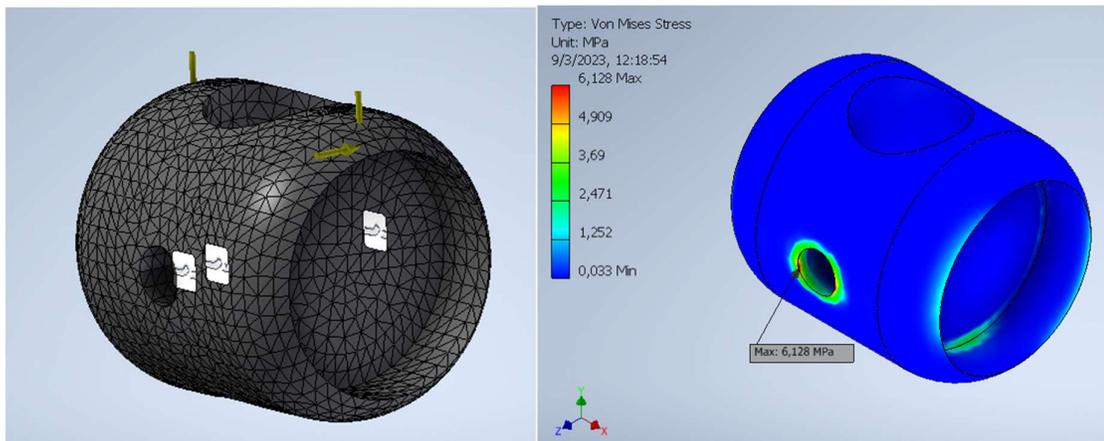


Ilustración 137: Cargas - Tensiones en Cubo

Las tensiones son extremadamente inferiores a las del eje giratorio. Podría optimizarse el material, pero no se cree conveniente porque afectaría a las demás piezas e incluso podría generar zonas de bajos espesores dentro del mismo cubo, además las dimensiones generales fueron tomadas en base a barras estándar de FAMIQ (127 [mm] de diámetro y 140 [mm] de largo). Este diámetro de barra es el mismo que se utiliza para el caño de la torreta.

3.10 Perno de Unión

Función: Unión entre el eje giratorio y el cubo.

Estado de Carga: Sufre esfuerzos de corte a causa de los pesos del cubo y todo el conjunto de brazos giratorios (200 [kg]), y de las fuerzas del bagazo que aparecen durante su extracción (2000 [N]).

Materia Prima: Barra redonda de AISI304L.

Método de Fabricación: Mecanizado.

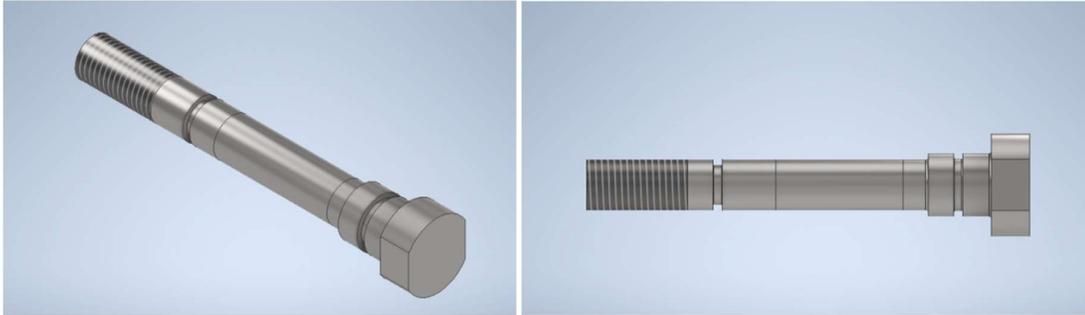


Ilustración 138: Perno de Unión

El perno de unión es una pieza extremadamente importante. Se encarga de la unión entre el eje que cuelga del motorreductor y el cubo que se encuentra soldado a los brazos giratorios. Sufre principalmente una fuerza de corte en la sección coincidente con el plano de contacto entre el eje y el cubo. Además, posee ranuras de oring para asegurar estanqueidad y un cambio de sección que facilita su montaje. Esto se analizará más adelante en la selección del oring (ítem 3.14.6).

Se adoptó un eje de 60 [mm] y un cubo de 127 [mm] teniendo en cuenta medidas estándar de FAMIQ para barras circulares de acero inoxidable. Entonces:

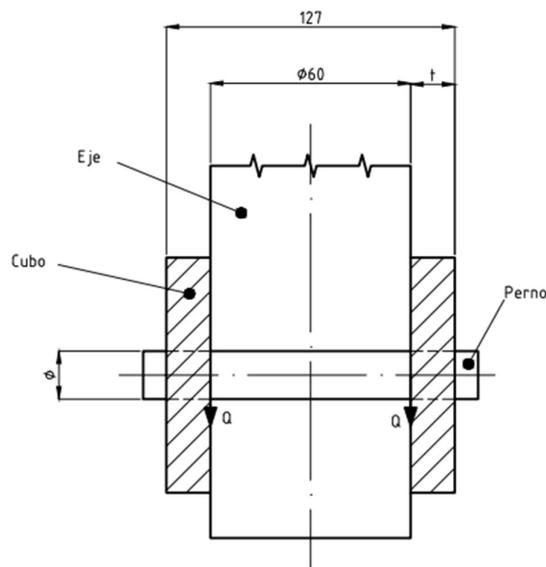


Ilustración 139: Dimensionado Perno Pistón

Se puede aproximar un diámetro del perno de unión teniendo en cuenta su condición de carga normal, es decir, sufriendo los pesos de todo el conjunto giratorio, y despreciando en principio el momento flector generado durante la extracción de bagazo. Entonces, a causa de dichas cargas, el perno sufre tensiones tangenciales por corte y tensiones normales de aplastamiento. Se calcula el diámetro siguiendo los dos caminos y se adopta el mayor.

Como se ha usado en el dimensionado del eje o del cubo, se considera una carga debida al peso del sistema de brazos de:

$$P = 200 [kg]$$

$$Q = \frac{P}{2} = 100 [kg]$$

Y las tensiones son:

$$\tau_{\max} = \frac{1,33 \cdot Q \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2}$$

$$\sigma_{\text{aplast max}} = \frac{Q}{\emptyset \cdot t}$$

Teniendo en cuenta las tensiones admisibles:

$$\tau_{\text{adm}} = 816,3 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_{\text{adm}} = 950 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Se calculan los diámetros:

$$\text{Por Corte} \rightarrow \emptyset = \sqrt{\frac{1,33 \cdot Q \cdot 4}{\tau_{\text{adm}} \cdot \pi}} = 0,45 [cm] = 4,5 [mm]$$

$$\text{Por Aplastamiento} \rightarrow \emptyset = \frac{Q}{t \cdot \sigma_{\text{adm}}} = 0,03 [cm] = 0,3 [mm]$$

Se obtienen diámetros muy pequeños. Ahora si consideramos a la carga Q como los 2000 [N] que ejerce el bagazo y usamos el dimensionado por corte que es el de mayor solicitud:

$$\text{Por Corte} \rightarrow \emptyset = \sqrt{\frac{1,33 \cdot Q \cdot 4}{\tau_{\text{adm}} \cdot \pi}} = 0,64 [cm] = 6,4 [mm]$$

El perno además posee ranuras para colocar orings y cambios de sección para lograr estanqueidad. Aparecen efectos de concentración de tensiones. Además, las cargas del bagazo y de los pesos del conjunto de brazos actúan en simultaneo. Para resguardarnos ante dichos efectos se aumenta el diámetro inicial con un coeficiente de seguridad de aproximadamente 2, obteniendo unos 20 [mm].

Con estas dimensiones como base, se inicia el análisis por MEF. Al igual que para el eje giratorio, se comienza con un análisis del conjunto.

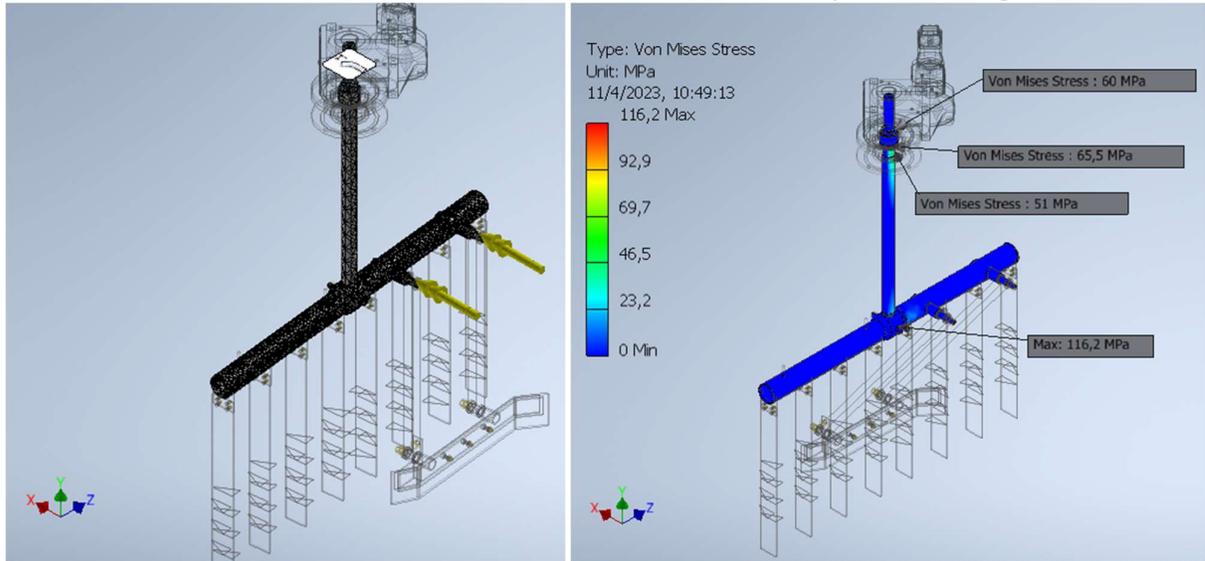


Ilustración 140: Sistema Giratorio – Cargas - Tensiones

Si nos enfocamos en el perno de unión, pieza más crítica del sistema, vemos que:

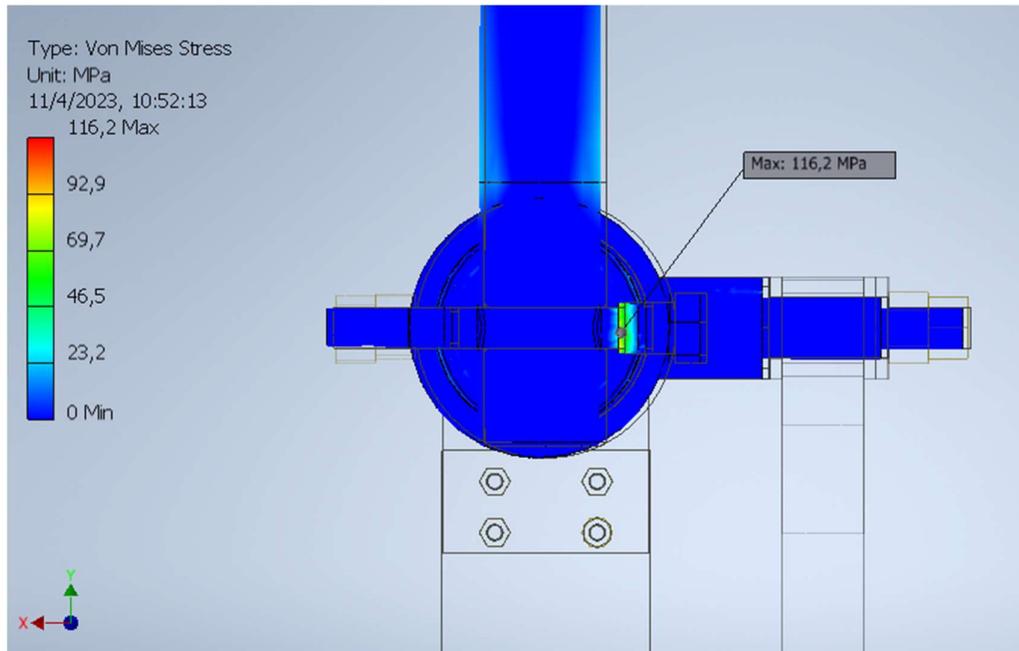


Ilustración 141: Tensión en Perno de Unión - Análisis de Conjunto

Cabe mencionar que para facilitar el mallado se eliminaron los radios de acuerdo, cosa que reduciría las tensiones. Son tensiones elevadas, pero se mantienen bastante por debajo del límite de fluencia. La máxima tensión es de 120 [MPa] aproximadamente y aparece en el cambio de sección del perno. Ahora se pasa al estudio individual de la pieza. Se carga con 120 [kg] de fuerza por los pesos de los demás componentes (para ser más exactos) y con una torsión y también corte generada por los 2000 [N] de la fuerza de bagazo. Se toma apoyo fijo en la zona del eje.

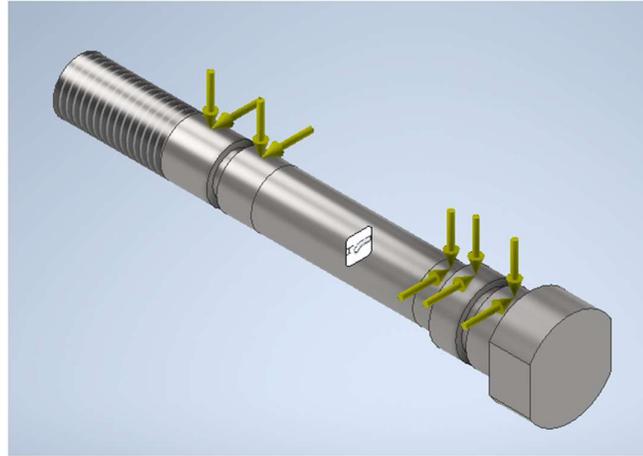


Ilustración 142: Cargas en Perno de Unión

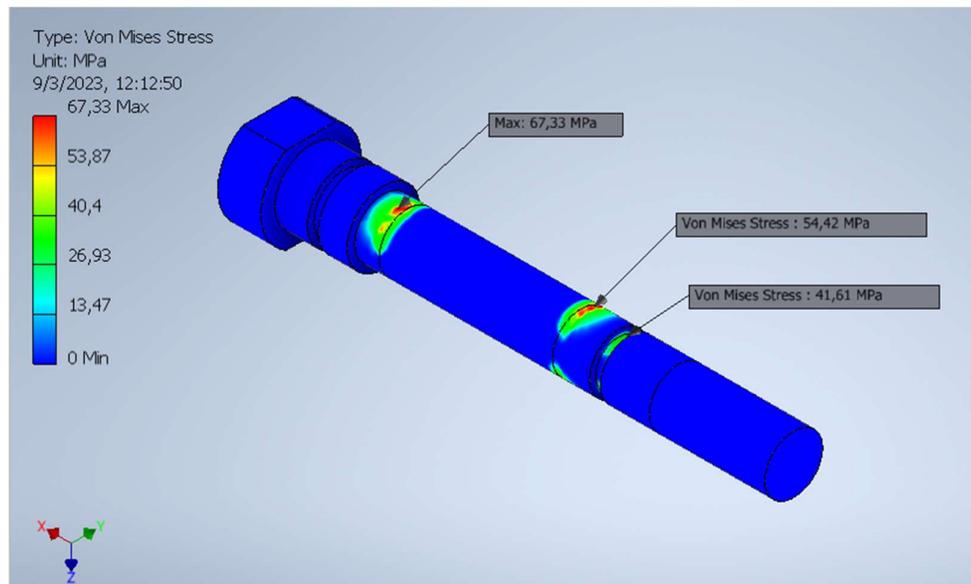


Ilustración 143: Tensiones en Perno de Unión

Las tensiones que se obtienen son de aproximadamente la mitad respecto al estudio en conjunto. Puede deberse a que no aparecen tensiones por contacto con el cubo y el eje. Se considera más apropiado esperar tensiones de 120 [MPa] en esta pieza para estar del lado de la seguridad, aunque esta tensión sigue teniendo un buen coeficiente de seguridad respecto a la fluencia.

El diámetro de casi la totalidad de la pieza es de 20 [mm] y tiene un largo de 182 [mm]. Las dimensiones exactas se verán en el plano. El diámetro mayor de la pieza es de 25 [mm]. Para poder realizar el entre caras para ajustar el perno del sistema, se adopta como materia prima una barra redonda de AISI304L de diámetro 40 [mm].

3.11 Brazos Giratorios

Se analiza como conjunto.

Función: Favorecer la maceración (cuchillas) y permitir la extracción del bagazo (rastrillo).

Materia Prima: Tubos de AISI304L (brazos giratorios), chapas y planchuelas de AISI 304L (cuchillas, porta cuchillas y chapas del rastrillo), barras redondas de AISI304L (ejes, bujes y sujeción de cadena), barras cuadradas de AISI304 (brazo de rastrillo) y placas de plástico HDPE (rastrillo).

Método de Fabricación: Mecanizado, conformado y soldadura.

Los brazos giratorios básicamente son tubos estándar de AISI304L sobre los que se montan ciertos componentes que cumplen una función fundamental en la maceración. Como se explicó anteriormente, estos se sueldan en sus extremos al cubo y este se une al eje giratorio mediante el perno de unión. Sobre uno de los tubos, cuelga una pieza indispensable para la extracción del bagazo que se llama **rastrillo**. El mismo se encuentra elevado durante la maceración para no interactuar con la mezcla y perjudicar el proceso. Para que esto ocurra, el brazo sin rastrillo posee unas varillas soldadas que permiten enganchar una **cadena**. El otro extremo de la cadena está unido al rastrillo. Un operario, desde la toma de hombre del cabezal, se encarga de enganchar o desenganchar manualmente la cadena para que el rastrillo ascienda o descienda, dependiendo el momento del proceso.

A continuación, se adjuntan imágenes de ambos brazos.



Ilustración 144: Brazo Giratorio con Cuchillas

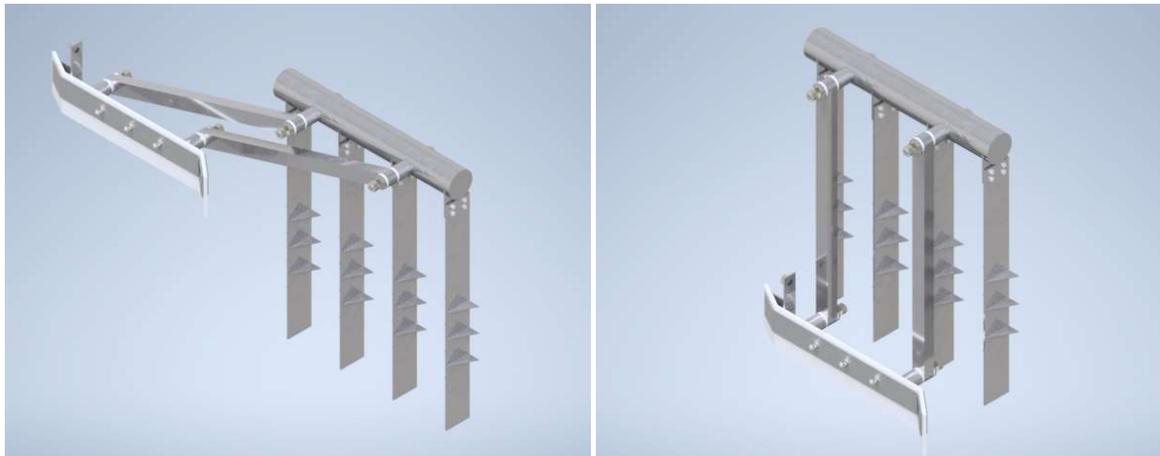


Ilustración 145: Brazo Giratorio con Rastrillo

Como se ve en las ilustraciones, tanto el brazo giratorio con rastrillo como el brazo sin rastrillo cuentan con las **cuchillas**, cuya función se explicó en el ítem 2.5. Las mismas se montan sobre el brazo gracias a una pieza intermedia llamada **porta cuchillas**. La porta cuchillas se suelda directamente al tubo y su función es permitir el sencillo montaje y desmontaje de las cuchillas mediante bulones y tuercas. Para evitar que la unión abulonada se afloje durante el giro de los brazos o por vibraciones, **las tuercas van soldadas a dicha pieza**. Además, sería un grave problema que una tuerca caiga sobre el falso fondo.

Algunos modelos cuentan con una unión mediante tres bulones. En este caso se usarán cuatro bulones para mantener cierta simetría en cuanto a las tensiones, además de esta forma se reduce la carga sobre cada bulón y permite reducir su sección. Se utilizan cuatro bulones M8.

Tanto la porta cuchillas (110 x 101,6 [mm]) como la cuchilla (845 x 101,6 [mm]) son chapas de AISI304L con espesor de 3,2 [mm]. Los filos son chapas de 3,2 [mm] de espesor, también de AISI304L.

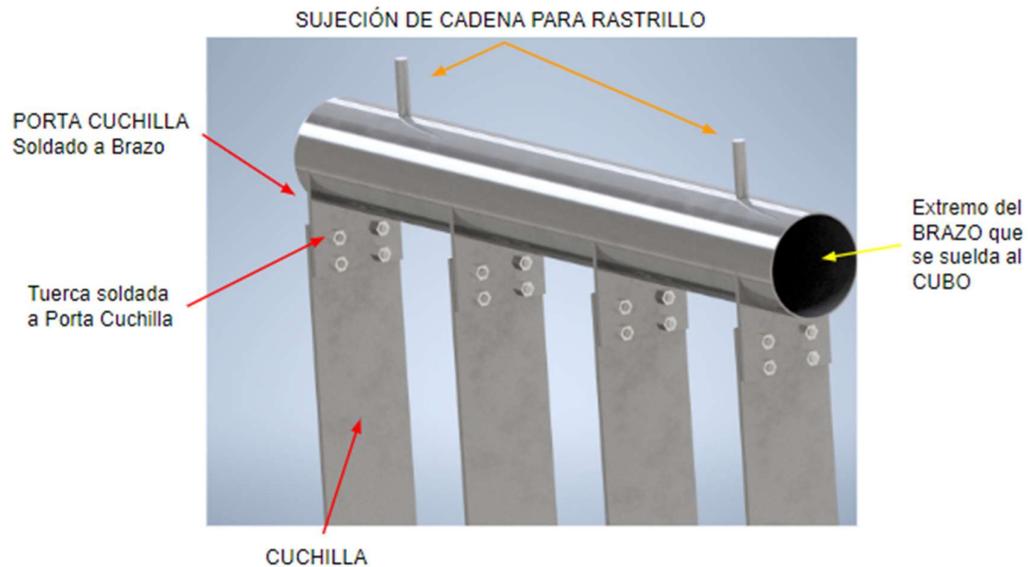


Ilustración 146: Unión Cuchilla – Brazo

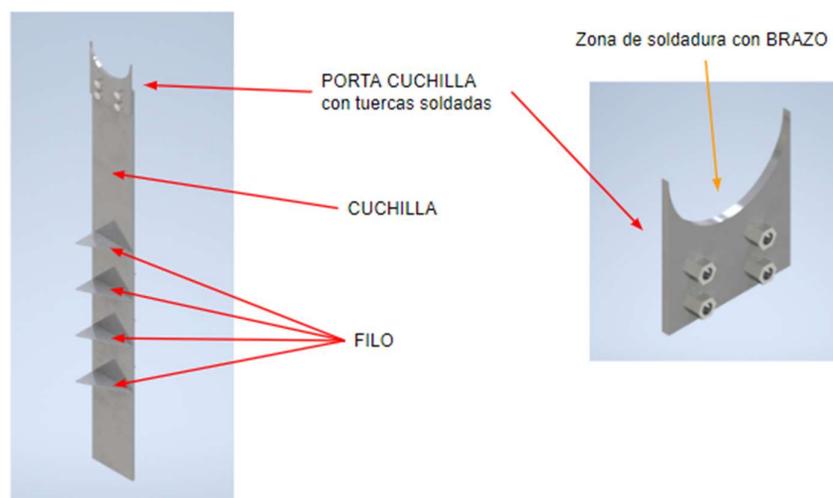


Ilustración 147: Porta Cuchilla con Tuercas Soldadas

Dimensionado Analítico del Tubo del Brazo

Al momento de la extracción de bagazo, el tubo del brazo giratorio con rastrillo sufre un momento torsor causado por la fuerza que ejerce el bagazo sobre el rastrillo. Además, aparecen cargas y flexiones a causa de los pesos de algunas piezas, pero se despreciarán en este cálculo. Las fórmulas para un brazo macizo son:

$$\tau = \frac{Mt}{Wt}; Wt = \frac{\pi \cdot \emptyset^3}{16}$$

Se tomará:

$$\tau_{adm} = 816,3 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \text{ (coef. seg. = 3)}$$

Sabemos que la fuerza del bagazo es de unos 2000 [N] y la distancia desde el rastrillo hasta el eje del brazo giratorio es de unos 0,8 [m] considerando el diámetro del tanque y que el rastrillo debe elevarse para la maceración (largo del brazo de rastrillo).

$$Mt = 16000 [kg \cdot cm]$$

Entonces:

$$\emptyset_{macizo} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot Mt}{\pi \cdot \tau_{adm}}} = 4,64 [cm] = 46,4 [mm]$$

Se podría usar una sección hueca para optimizar material:

$$Wt = \frac{\pi \cdot \emptyset^3}{16} \cdot (1 - n^4); n = \frac{d}{\emptyset}$$

Considerando un espesor estándar de unos 2 [mm] podemos dejar el “n” en función del diámetro exterior:

$$n = \frac{\emptyset - 2e}{\emptyset} = 1 - \frac{2e}{\emptyset}$$

Ahora conviene realizar una tabla de las tensiones tangenciales obtenidas para distintos diámetros exteriores dejando fijo el espesor:

Diámetro Exterior [mm]	Tensión Tangencial [kg/cm ²]
50	2298,5
75	981,15
100	540,9

Tabla 11: Tensiones en Brazo Giratorio según el Diámetro

Para mantenernos del lado de la seguridad, y teniendo en cuenta todas las suposiciones que se hicieron al dejar de lado las tensiones normales que sufre la pieza, se adopta en principio un **tubo de 4"** (101,6 [mm]) y espesor 2 [mm] de AISI304, hasta verificar mediante MEF.

Dimensionado Analítico del Eje Pivote

El eje pivote superior es otra de las piezas críticas a las que se le puede hacer un estudio previo. La misma sufre principalmente un momento flector debido a la fuerza del bagazo, además de una fuerza de corte debido al peso del conjunto rastrillo que puede despreciarse. Considerando el largo del brazo de rastrillo de unos 0,8 [m] y 2000 [N] de fuerza de bagazo, se obtiene un momento flector sobre un solo eje pivote de:

$$Mf = 8000 [kg \cdot cm]$$

$$\sigma_{adm} = 950 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \text{ (coef. seg. = 2,6)}$$

$$\sigma = \frac{Mf \cdot 32}{\pi \cdot d^3} \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{Mf \cdot 32}{\pi \cdot \sigma_{adm}}} = 4,4 [cm] = 44 [mm]$$

Se adopta entonces un diámetro de 40 [mm] para la mayor sección del eje pivote (alto coeficiente de seguridad), y se sabe que esta pieza que tendrá reducciones de diámetro en función del cojinete de fricción seleccionado.

Verificaciones Mediante MEF

El momento más crítico no es durante la maceración sino durante la extracción de bagazo. Allí aparece una fuerza que actúa directamente sobre el cuerpo de rastrillo. Dicha fuerza fue calculada (ítem 3.1.8) y es de:

$$F = 1930 [N]$$

Es pertinente iniciar con un análisis del conjunto, aplicando F sobre el cuerpo de rastrillo. El objetivo es ver las zonas y piezas críticas para luego analizarlas individualmente. Cabe mencionar que las dimensiones del buje y del eje pivote (diámetro mayor de 40 [mm]), y por consiguiente, de las arandelas y brazo de rastrillo, están dadas en principio para un cojinete de fricción de:

$$d = 25,4 [mm]$$

$$D = 30 [mm]$$

$$H = 40 [mm]$$

Pareció conveniente iniciar con un cojinete de dicho tamaño (PCZ 1624 M de SKF), pero está sujeto a posibles cambios. Posteriormente se explicará mejor en el enunciado de selección del cojinete de fricción (ítem 3.14.5). Cabe presentar la siguiente ilustración que relaciona las dimensiones dadas del cojinete con las dimensiones de las piezas que entran en juego:

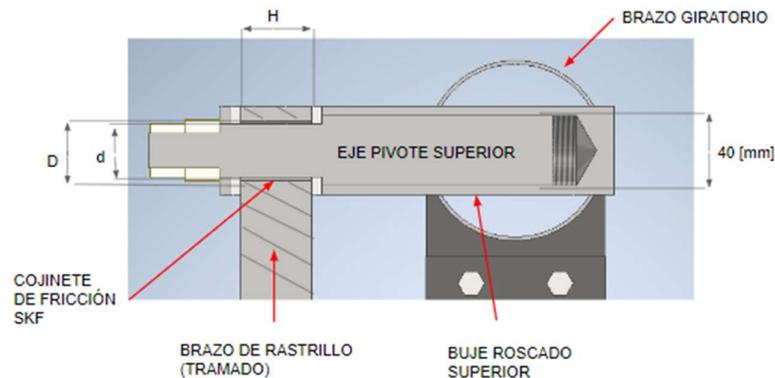


Ilustración 148: Algunas Dimensiones

Se puede ver que el largo “H” del cojinete debe coincidir con el ancho del brazo de rastrillo; el diámetro mayor “D” del cojinete debe coincidir con el diámetro interior del brazo de rastrillo; y el diámetro menor del cojinete “d” debe coincidir con el diámetro del eje pivote de esa zona y el diámetro interior de las arandelas.

En cuanto a las arandelas, tanto las plásticas como las metálicas inician con un espesor de 3 [mm], aunque ya de principio parece pequeño, teniendo en cuenta también las arandelas que se pueden ver en otros maceradores del mercado que usan un sistema similar.

La malla y las cargas se ven de la siguiente manera:

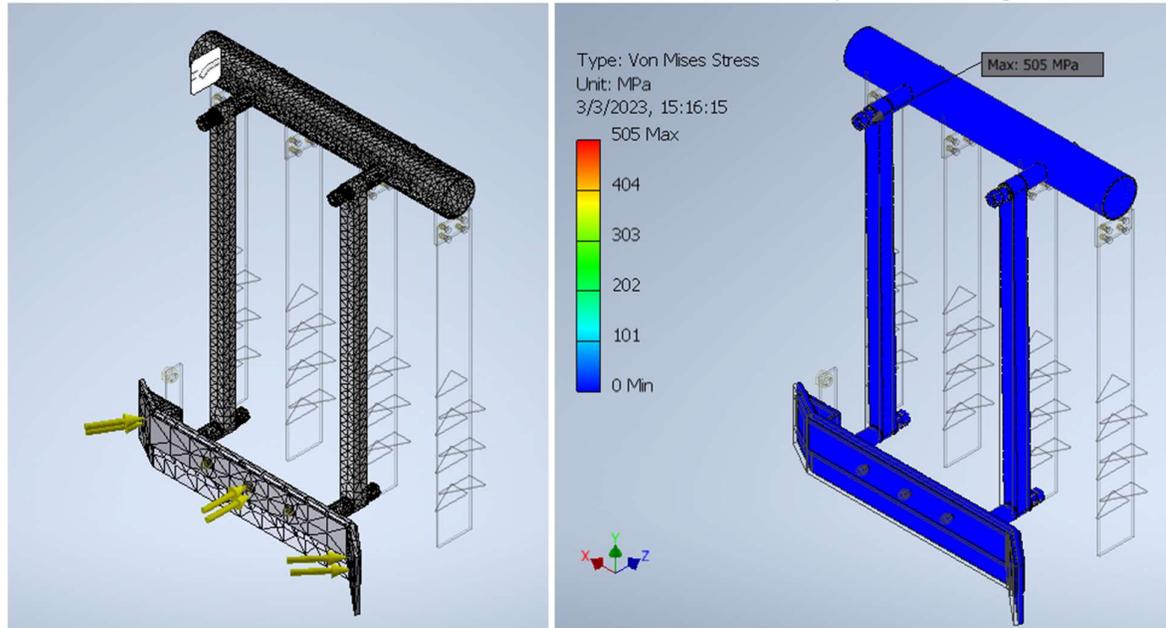


Ilustración 149: Malla – Cargas - Tensiones del Conjunto Rastrillo

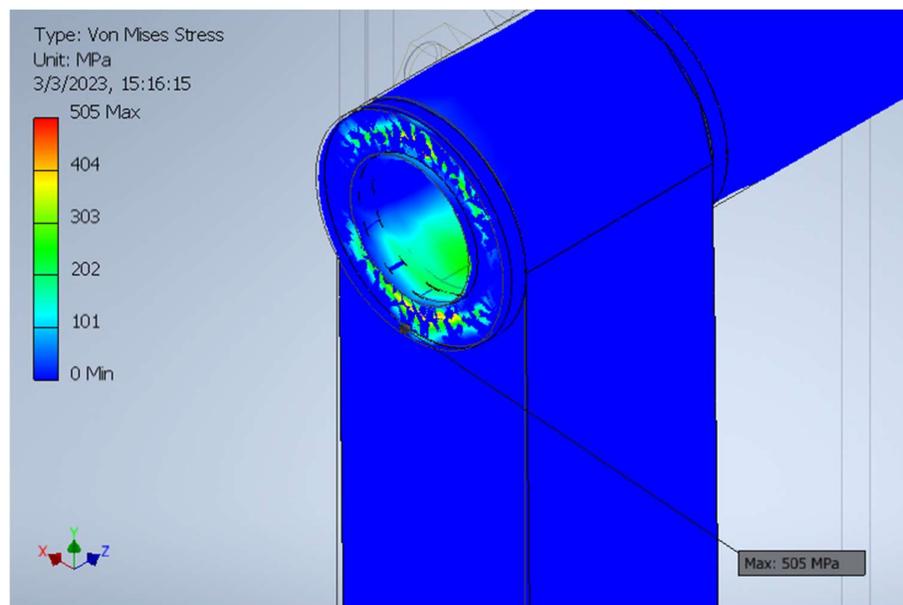


Ilustración 150: Corte en Zona de Tensión Máxima

Se ve que la tensión es extremadamente elevada (505 [MPa]) y se da en la arandela metálica de la parte superior del conjunto. El resto de las piezas, siguiendo los colores, pareciera que no tuviera tensiones demasiado elevadas, pero al tratarse de una máxima muy elevada, puede ocurrir que las mínimas también sean muy elevadas.

Para corroborar esto, se aumentará el espesor de las arandelas a 6 [mm] para aumentar su resistencia y ver como las cargas afectan a los demás componentes:

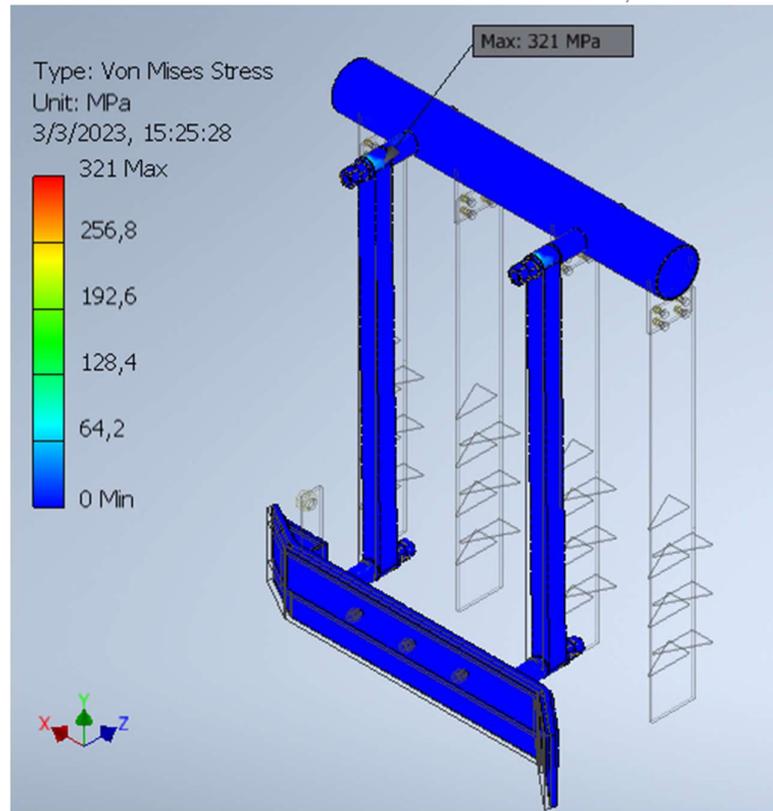


Ilustración 151: Tensiones Máximas

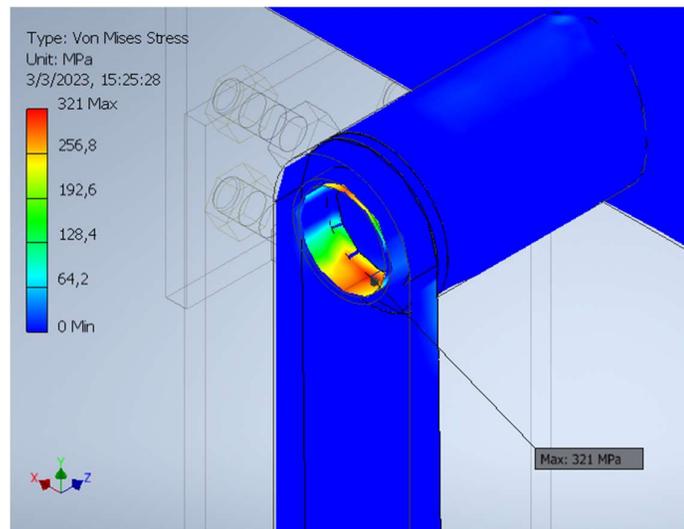


Ilustración 152: Corte en Zona de Tensión Máxima

Ahora que la tensión máxima bajó, se puede ver que otra zona afectada es la cavidad del cojinete de fricción de la parte superior. Ahora lo que se debe hacer es aumentar las dimensiones del eje pivote, del buje roscado y del brazo de rastrillo para aumentar su resistencia y reducir las tensiones. Se adopta otro cojinete de fricción (PCM 303440 M) con las siguientes medidas:

$$d = 30 \text{ [mm]}$$

$$D = 34 \text{ [mm]}$$

$$H = 40 \text{ [mm]}$$

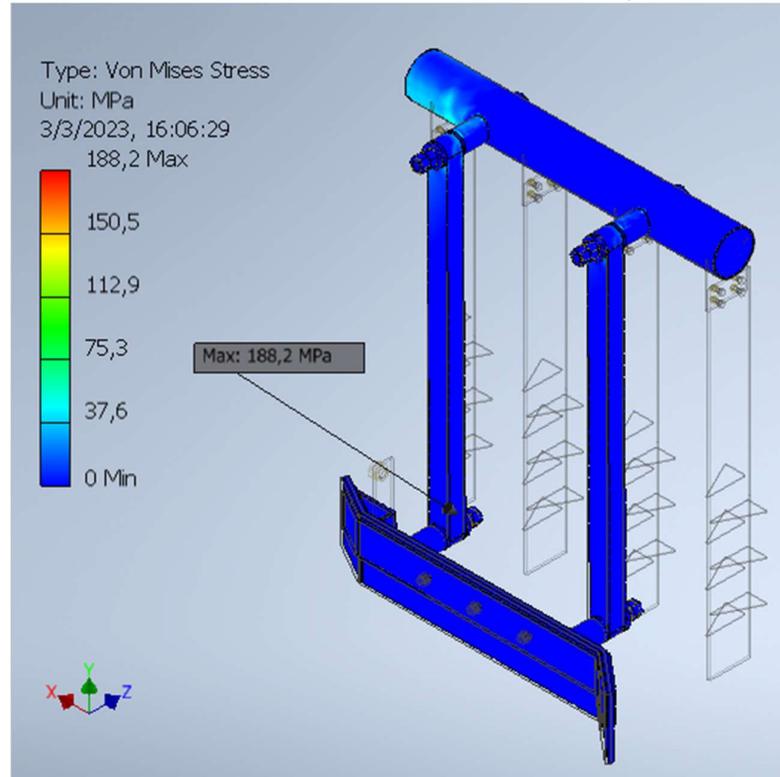


Ilustración 153: Tensiones Máximas

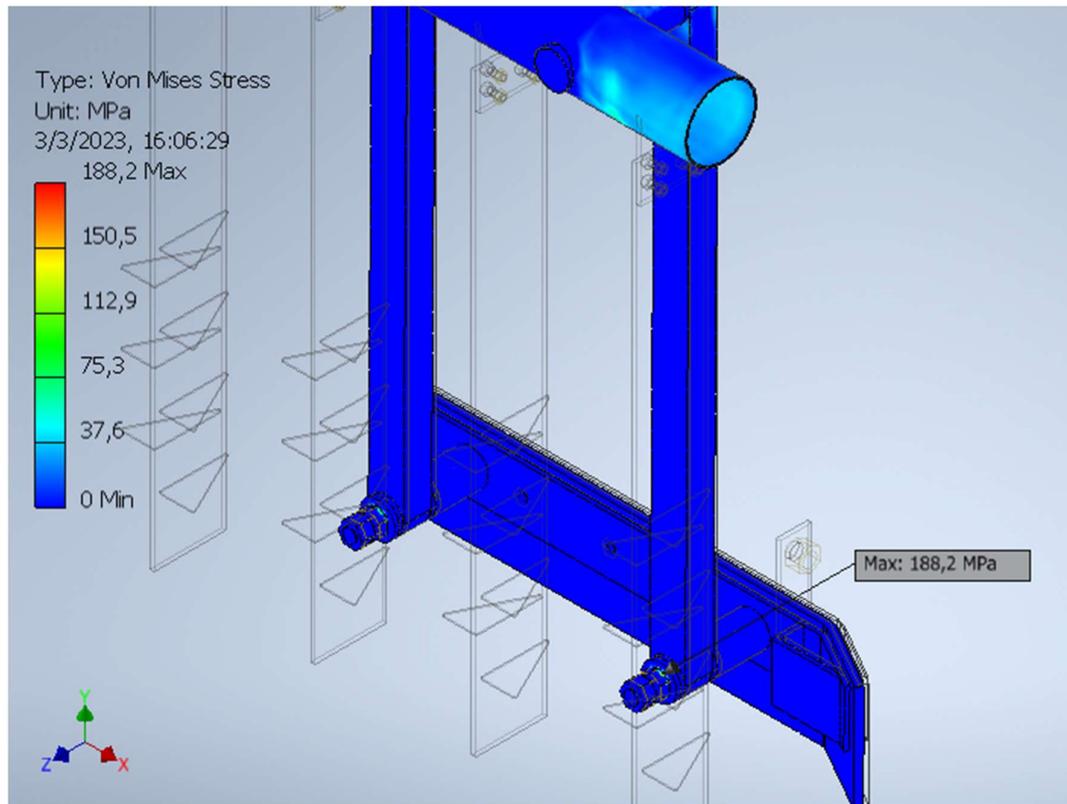


Ilustración 154: Tensiones Máximas II

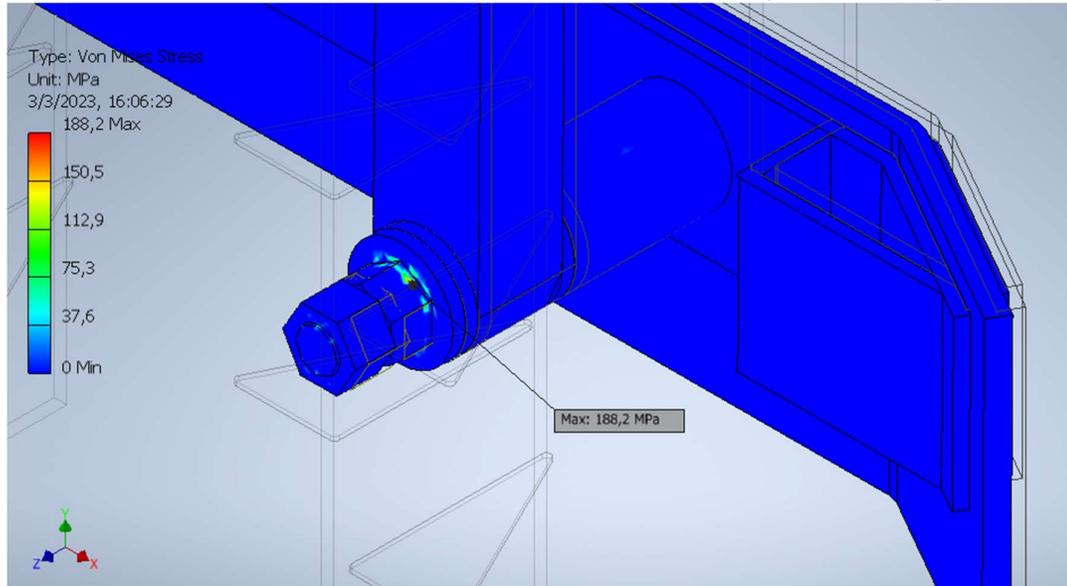


Ilustración 155: Zona de Tensión Máxima

Se ve que la tensión máxima es inferior al límite de fluencia y que se da sobre una de las tuercas del sistema inferior. No se considera que se requieran modificaciones, considerando también que las tuercas no tienen las puntas redondeadas, y éstas son las zonas en donde se generan las mayores tensiones por contacto. Para tener en cuenta, se toman muestras de las tensiones en regiones de interés de la parte superior:

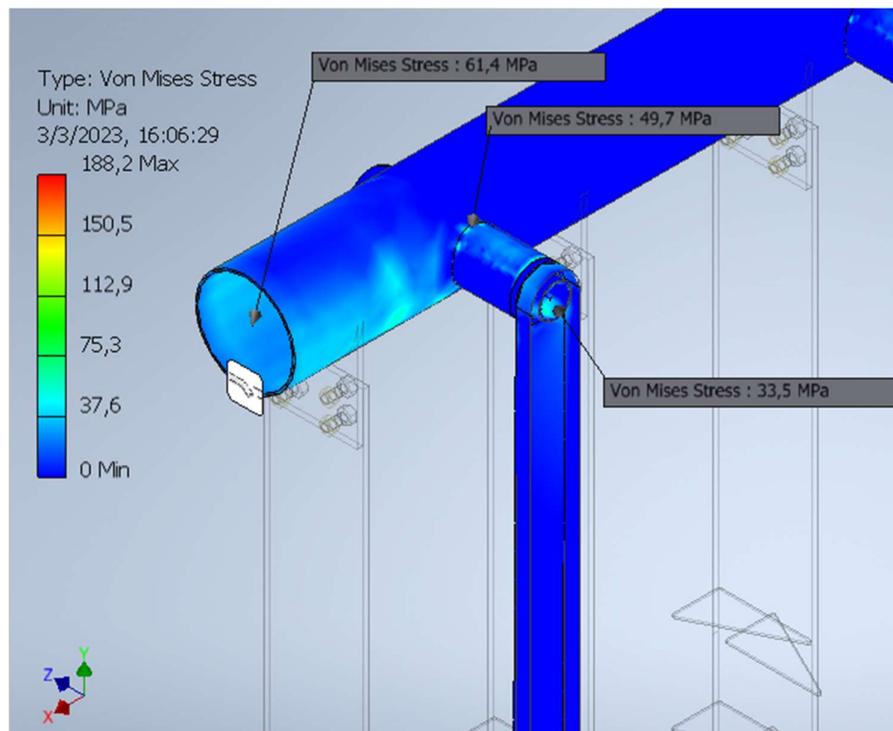


Ilustración 156: Corte de Tensiones en Zonas de Interés

Se ve que las tensiones que antes eran máximas ahora son muy aceptables, manteniendo un adecuado coeficiente de seguridad.

También es importante analizar la flexión del sistema, para ver si interfiere con las cuchillas en su parte inferior:

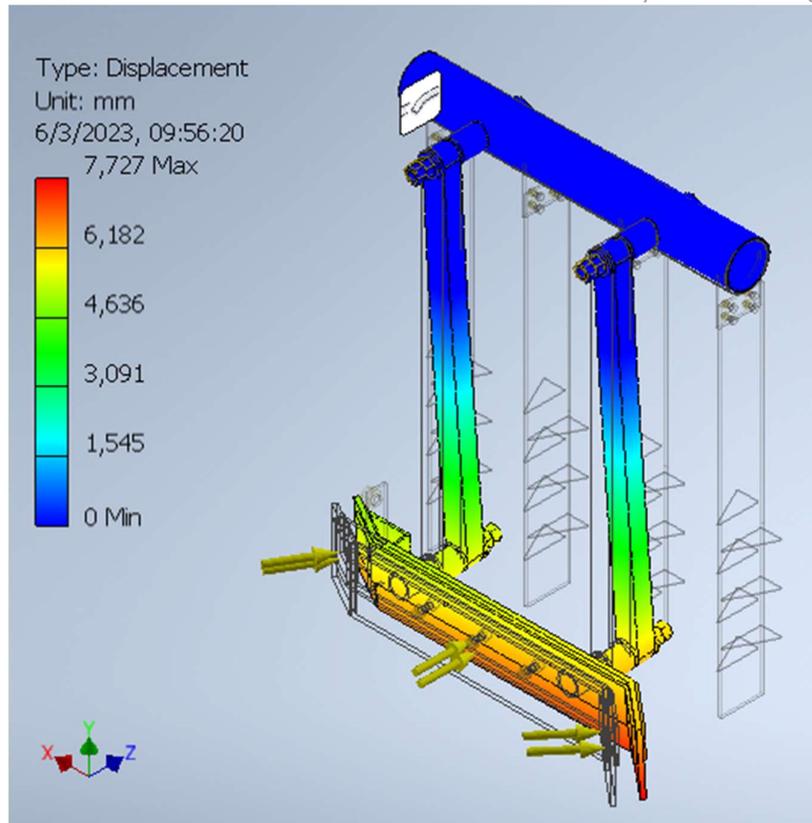


Ilustración 157: Desplazamientos I

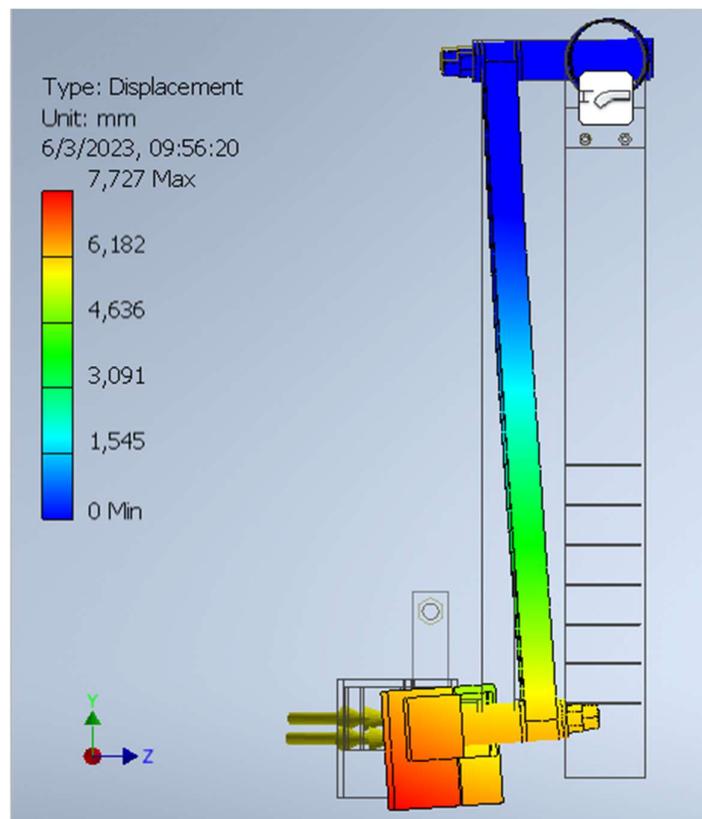


Ilustración 158: Desplazamientos II

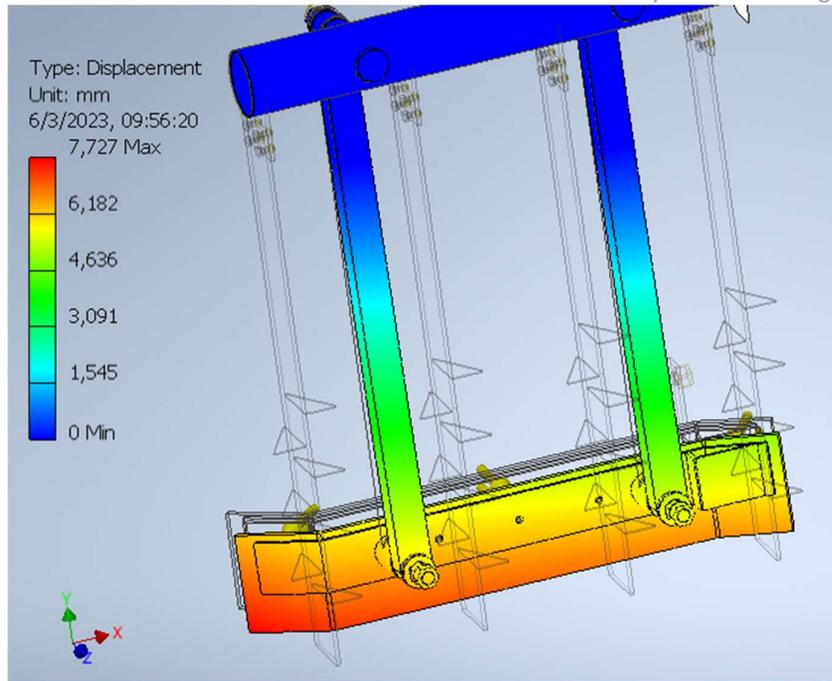


Ilustración 159: Desplazamientos III

Se puede ver que no hay interferencia entre las piezas a pesar de que los desplazamientos máximos son de 7 [mm]. Algunos modelos cuentan con varillas transversales entre las cuchillas que resultan de apoyo para el rastrillo en estas situaciones, pero no se ve necesario en este caso. Cabe mencionar que podría reducirse el largo del brazo rastrillo para reducir el momento que genera sobre las piezas superiores, pero no fue tomado como opción para lograr una correcta elevación del cuerpo de rastrillo durante la maceración. Si las tensiones no hubieran sido adecuadas, se hubiera tenido que modificar dicha variable.

Ahora se iniciará una serie de análisis individuales sobre las piezas, siendo estos más precisos, y considerando los pesos de los componentes del conjunto como cargas, más allá de la fuerza que ejerce el bagazo sobre el cuerpo de rastrillo.

- Cuerpo de Rastrillo + Chapas para Cadena = 10 [kg]
- Buje Roscado Inferior = 0,5 [kg]
- Eje Pivote Inferior = 1,5 [kg]
- Brazo de Rastrillo = 15 [kg]
- Buje Roscado Superior = 1,5 [kg]
- Eje Pivote Superior = 2 [kg]

Es de interés realizar análisis individuales sobre el brazo de rastrillo, el cuerpo del rastrillo, los ejes pivotes superiores y el tubo del brazo giratorio, ya que fueron las piezas más críticas en los análisis de conjunto.

Iniciando con el **brazo de rastrillo**, se coloca una carga perpendicular correspondiente a la mitad de la fuerza del bagazo (1000 [N]) y otra carga vertical correspondiente a la mitad del peso del cuerpo de rastrillo (100 [N]). Cabe mencionar que el tipo de apoyo ahora es fijo en la zona del cojinete de fricción (orificio superior de la pieza), cosa que no es real ya que tiene cierto grado de desplazamiento por las deformaciones de las arandelas.

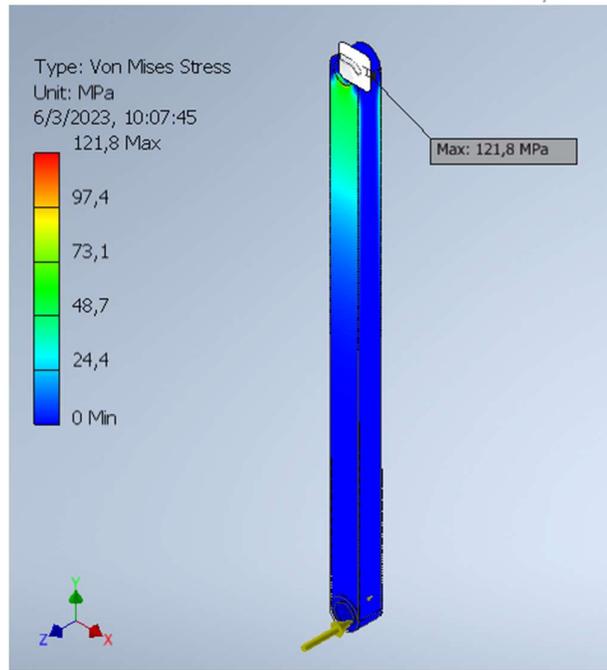


Ilustración 160: Tensiones de Brazo de Rastrillo

También se analizan los desplazamientos que sufre la pieza frente a este estado particular de carga.

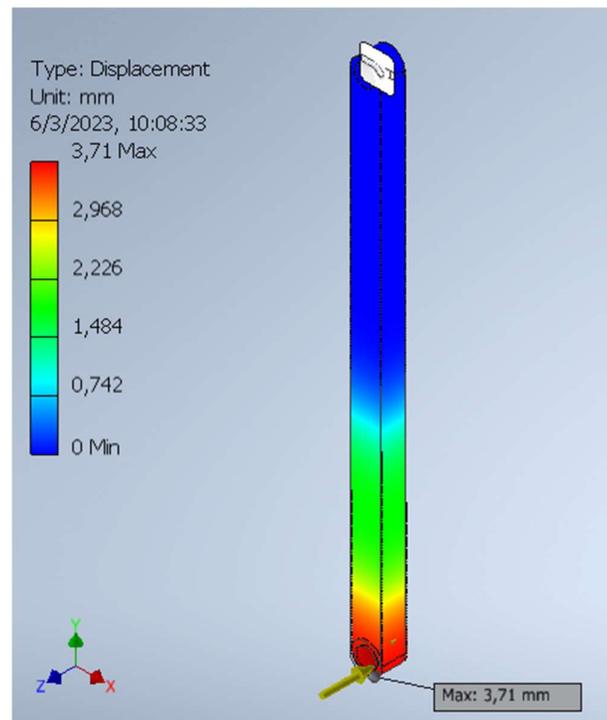


Ilustración 161: Desplazamientos de Brazo de Rastrillo

Se puede ver que las tensiones pasan de unos 40 [MPa] en el análisis del conjunto a unos 120 [MPa] y que se reduce casi a la mitad el desplazamiento. A pesar de haber considerado el apoyo superior como fijo, las tensiones se mantienen dentro de las admisibles.

Para su fabricación se parte de una barra cuadrada de AISI304 de 50 [mm] que se mecaniza hasta llegar a las dimensiones deseadas.

Ahora pasamos al **cuerpo de rastrillo**. Este subconjunto se encuentra formado por el buje roscado inferior (soldado a la chapa interior del conjunto), el eje pivote inferior (roscado en el buje roscado), una chapa exterior y otra interior dentro de las cuales se encuentra la chapa plástica (las tres chapas se unen mediante tres bulones con tuerca) y una serie de chapitas soldadas con un agujero mecanizado para permitir la sujeción de la cadena. Todas las chapas metálicas de esta pieza son de 3,2 [mm] de espesor. La placa plástica es de 10 [mm] de espesor.

Existían dos posibilidades para esta pieza, por un lado, que el cuerpo del rastrillo sea de acero inoxidable macizo, y por el otro, que haya dos chapas exteriores con una chapa plástica en el interior. Se ha definido usar esta última opción ya que el material polimérico evita desgaste, es un material con menor fricción y además funciona como pieza fusible para no dañar el fondo.

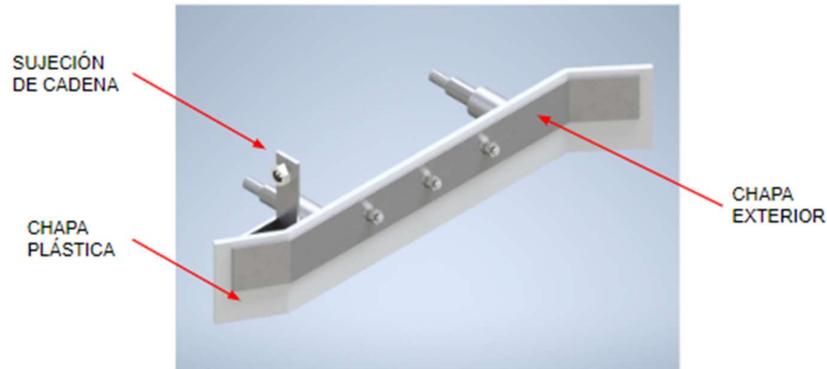


Ilustración 162: Composición del Rastrillo I

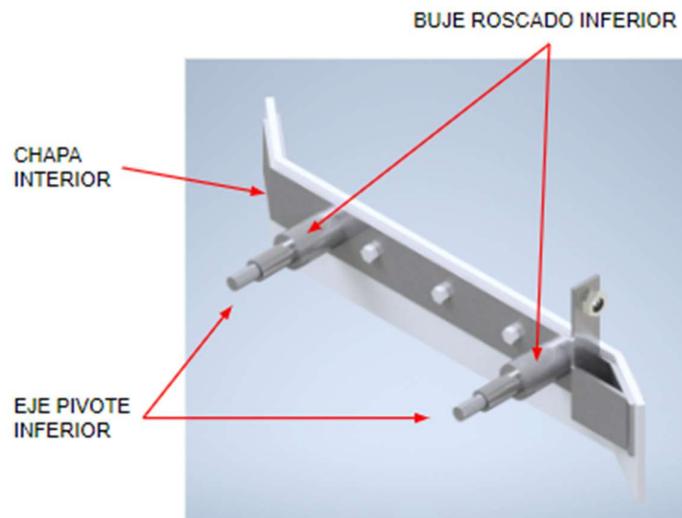


Ilustración 163: Composición del Rastrillo II

Aquí las cargas son exclusivamente las del bagazo (2000 [N]). Además, se colocará una carga simulando la fuerza de la cadena (150 [N]) que actúa durante la maceración.

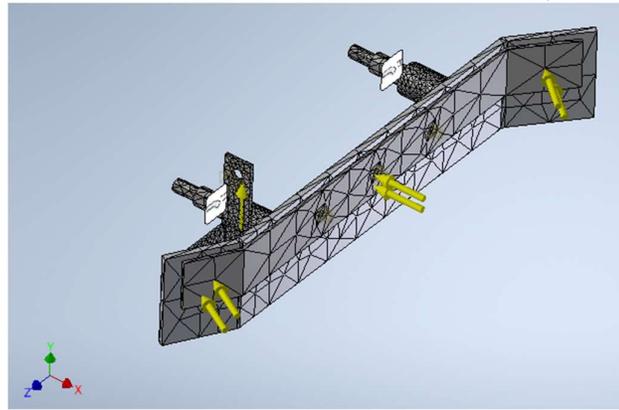


Ilustración 164: Cargas de Cuerpo de Rastrillo

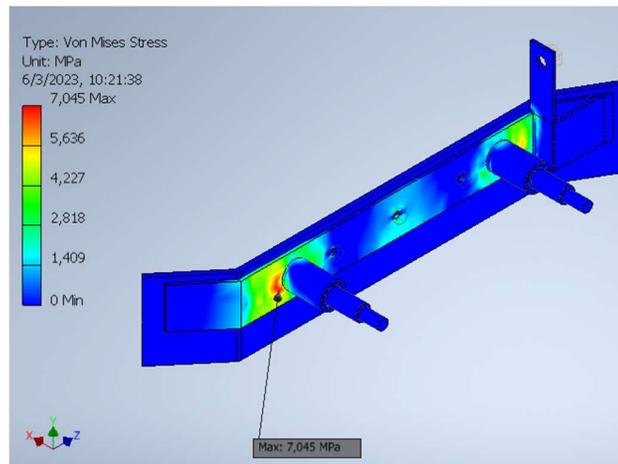


Ilustración 165: Tensiones de Cuerpo de Rastrillo

Aquí se ve mucha más similitud con los cálculos del conjunto. Las tensiones son extremadamente bajas. Podría evaluarse la posibilidad de reducir las dimensiones de estas piezas. También se ve que la zona de sujeción de la cadena prácticamente no sufre tensiones.

Respecto a los **ejes pivotes superiores**, éstos están sufriendo no solo de la carga que aparece por la fuerza del bagazo, sino también la de los pesos del conjunto de rastrillo y el brazo de rastrillo. Para el análisis se tomará solo un eje pivote por lo que las cargas serán la mitad. Son 1000 [N] de fuerza y 800 [Nm] de momento debido al bagazo, y además 150 [N] de fuerza por los pesos.

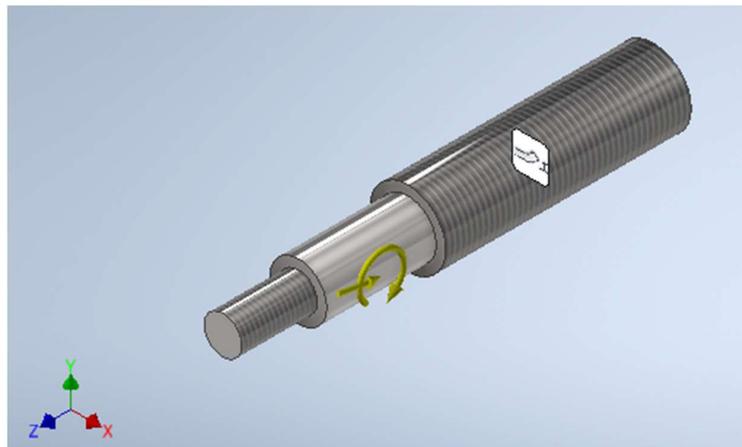


Ilustración 166: Cargas de Eje Pivote Superior

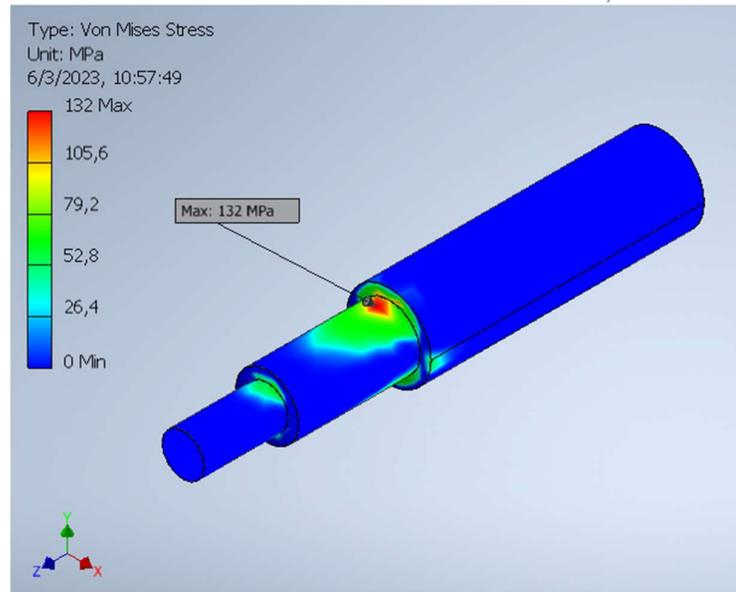


Ilustración 167: Tensiones de Eje Pivote Superior

Se puede ver al igual que con el brazo de rastrillo, que las tensiones son superiores a las obtenidas en el análisis de conjunto, sin embargo, se mantienen dentro de lo admisible. Como se dijo anteriormente, este aumento de tensión puede deberse a que no se tienen en cuenta las deformaciones de las demás piezas y que aumentan la resistencia del conjunto en general. Aquí se está focalizando toda la carga en esta única pieza. Viendo que las tensiones no superan al límite de fluencia, no se realiza ningún cambio en la pieza.

Por último, se analizará el **tubo del brazo giratorio**. Para ser más preciso con la ubicación de las cargas se tendrán en cuenta también los bujes roscados soldados a él. Las cargas aquí son iguales que las que se usaron para el eje pivote superior, pero ahora se usan enteras y no solo la mitad. Es decir, un momento flector de 1600 [Nm] y cargas de 300 [N] y 2000 [N] respectivamente.

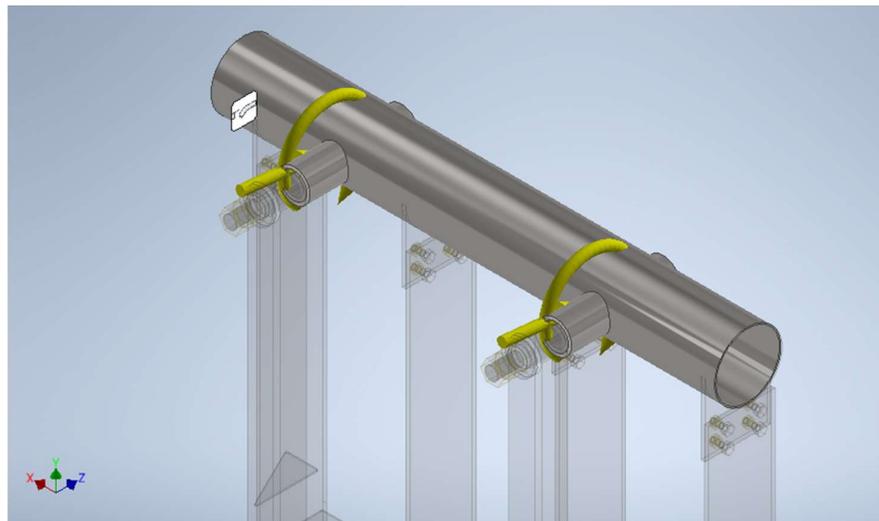


Ilustración 168: Cargas del Brazo Giratorio

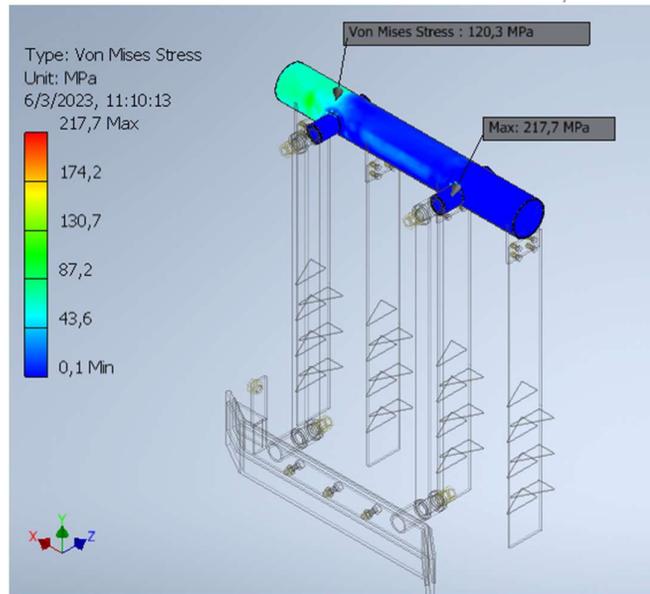


Ilustración 169: Tensiones de Brazo Giratorio I

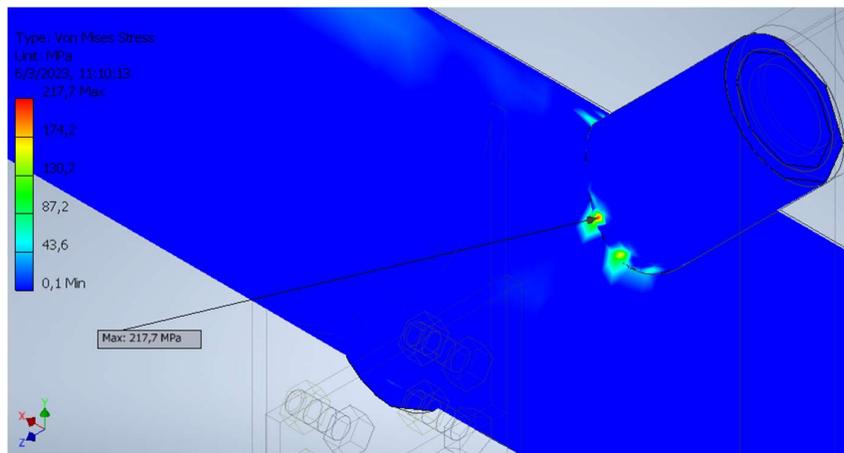


Ilustración 170: Tensiones en Brazo Giratorio II

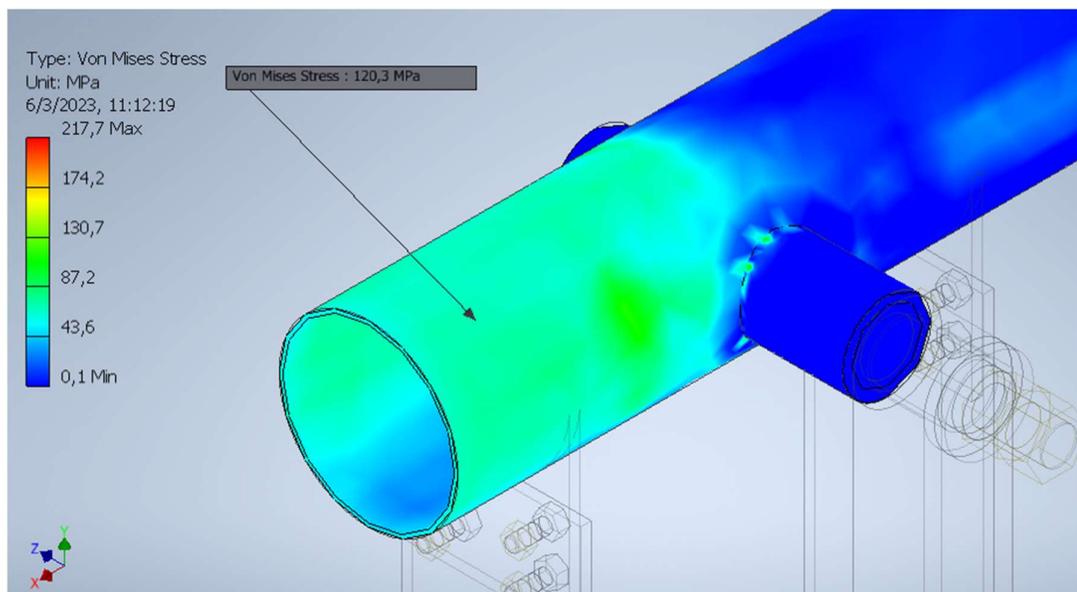


Ilustración 171: Tensiones en Brazo Giratorio III

Se puede ver que las tensiones máximas son superiores a las obtenidas en el análisis del conjunto y se dan en la unión entre el brazo giratorio y el buje roscado. Nuevamente se cae en lo expresado anteriormente; no se tiene en cuenta la resistencia que aportan las demás piezas en la realidad y se concentran las cargas por la forma de aplicarlas al modelo y por los apoyos perfectos que se utilizan. En fin, se mantiene por debajo del límite de fluencia, por lo que no se realizan cambios en la pieza.

Como conclusión, se pudo ver, como ya se intuía de antemano, que **las piezas críticas de este conjunto y quizá de toda la máquina en general son el eje pivote superior, el brazo de rastrillo y el brazo giratorio**. Además, por la variación de tensiones entre el estudio de conjunto y los estudios individuales, fue positivo la realización de estos. Todos estos puntos son importantes para tener en cuenta a la hora de los ensayos del prototipo.

Las dimensiones finales para las piezas, que se apreciarán mejor en los planos, son:

- Brazo Giratorio: Tubo 4" e = 2 [mm]; L = 760 [mm].
- Buje Roscado Superior: D = 50 [mm]; L = 165 [mm]; d = 40 [mm] (roscado).
- Eje Pivote Superior: D1 = 40 [mm] (roscado – Buje roscado inferior); L1 = 130 [mm]; D2 = 30 [mm] (cojinete); L2 = 58 [mm]; D3 = 20 [mm] (roscado – tuerca y contratuerca); L3 = 40 [mm].
- Buje Roscado Inferior: D = 50 [mm]; L = 75 [mm]; d = 40 [mm] (roscado).
- Eje Pivote Inferior: D1 = 40 [mm] (roscado – Buje roscado inferior); L1 = 75 [mm]; D2 = 30 [mm] (cojinete); L2 = 58 [mm]; D3 = 20 [mm] (roscado – tuerca y contratuerca); L3 = 40 [mm].
- Brazo de Rastrillo: 880 x 50 x 40 [mm]; dos agujeros de 34 [mm] de diámetro (cojinete).
- Cuerpo de Rastrillo (Plástico): 800 x 150 x 10 [mm].
- Cuerpo de Rastrillo (Chapas Interior y Exterior): 800 x 80 x 6 [mm].

Como materia prima se adopta de FAMIQ para las piezas de acero inoxidable y de DLS Comercial para las piezas de HDPE (plástico).

Los rastrillos para maceradores suelen estar fabricados en materiales plásticos de alta resistencia, como el polipropileno (PP) o el polietileno de alta densidad (HDPE). Ambos son materiales aptos para el uso en la industria alimentaria debido a su capacidad de resistir a altas temperaturas y productos químicos, así como por su facilidad de limpieza y mantenimiento. Además, el HDPE es un material más resistente y duradero que el PP, aunque también puede ser un poco más costoso. El HDPE es un plástico flexible que se puede obtener en forma de láminas o placas y posteriormente cortar y doblar para obtener la forma final deseada.

Por último, se realizó un estudio sobre el sistema de cuchilla y porta cuchilla. Mas que nada para optimizar el espesor de estas piezas. Se utiliza una carga de 50 [N] estando del lado de la seguridad ya que en la realidad la carga es mucho menor.

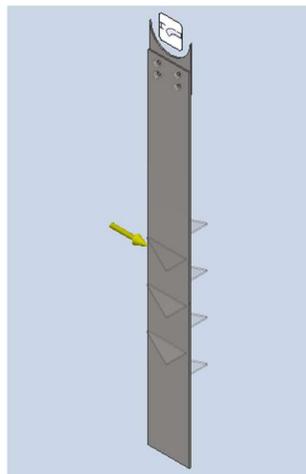


Ilustración 172: Carga en Cuchilla

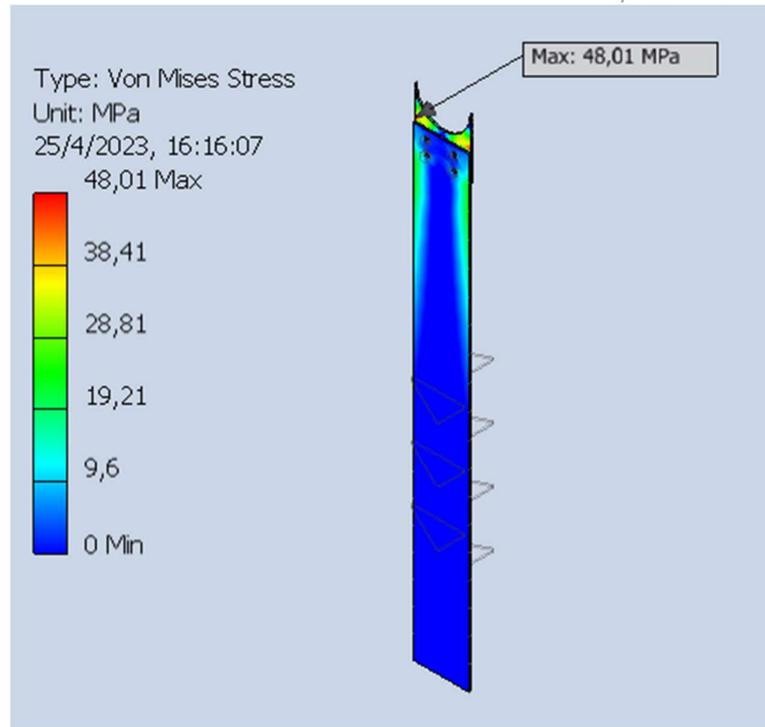


Ilustración 173: Tensiones en Cuchilla

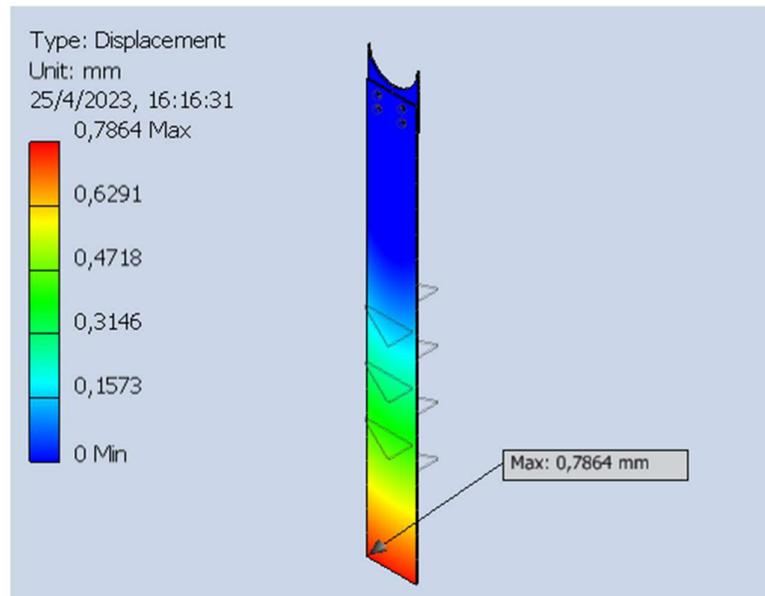


Ilustración 174: Desplazamientos en Cuchilla

Se puede ver que la carga máxima de 45 [MPa] es aceptable, al igual que los desplazamientos máximos de 0,7 [mm].

3.12 Soporte de Falso Fondo

Función: Ser apoyo del falso fondo para permitir un correcto filtrado durante el proceso.

Estado de Carga: Peso del bagazo, falso fondo y posiblemente 2 o 3 personas (650 [kg]).

Materia Prima: Chapas y ángulos de AISI304L.

Método de Fabricación: Conformado de chapa, corte y soldadura.

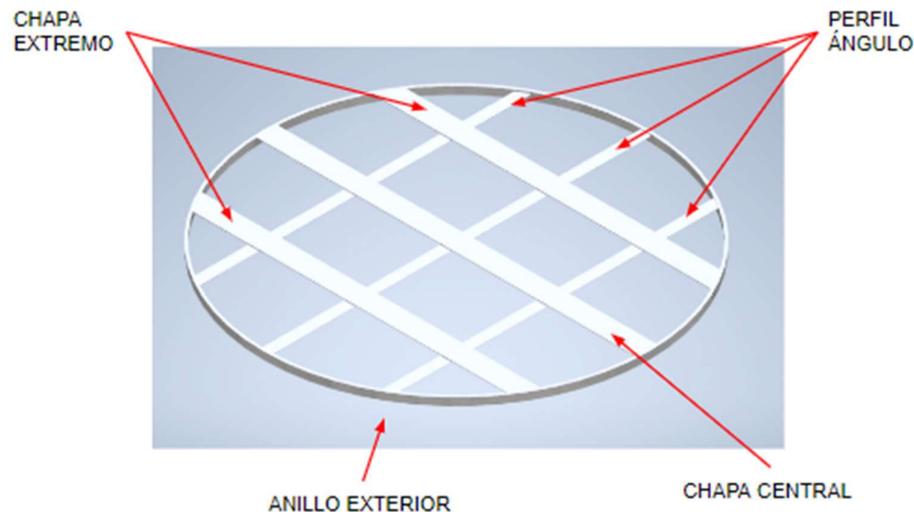


Ilustración 175: Soporte de Falso Fondo



Ilustración 176: Corte en Mitad de Chapa Central

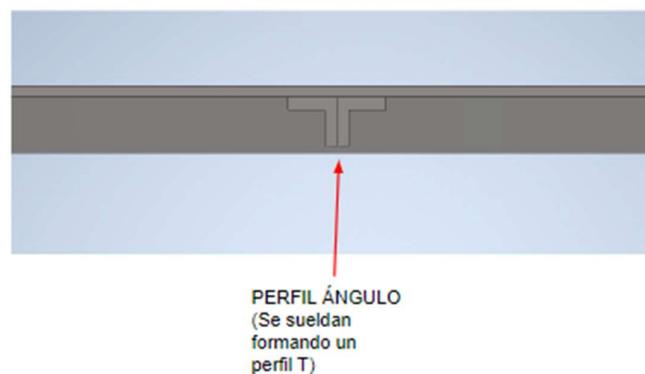


Ilustración 177: Ampliación en Sección

Esta es la segunda pieza a la que mayor importancia se le dio desde el punto de vista del diseño ya que, al igual que varias de las piezas del conjunto rastrillo, fueron diseñadas sin tener ningún tipo de referencia o información de lo que se usa en el mercado. Se busca que soporte unos 80 [kg] correspondientes al falso fondo y al equivalente a unas 2 o 3 personas que pueden estar paradas sobre él para el montaje de alguna pieza.

Además, durante la extracción del bagazo, se encuentra soportando cargas máximas cercanas a los 650 [kg]. Se adopta entonces una carga de 650 [kg] para realizar un análisis por MEF.

El soporte de falso fondo es un conjunto de piezas de acero inoxidable, entre las cuales aparecen chapas cortadas a medidas (chapas de apoyo del falso fondo), chapas plegadas en forma de anillo (anillo exterior) y ángulos también a medida (cada ángulo va emparejado con otro formando una sección tipo T y son el soporte de las chapas de apoyo), cuya materia prima se obtiene de FAMIQ. Todas de acero inoxidable AISI304L. Este conjunto de piezas se suelda directamente a la virola en la parte interior del tanque. Al no ser una pieza desmontable, como es el caso del falso fondo que se apoya directamente sobre ésta, es importante asegurarse de que resista correctamente todas las cargas y con un buen coeficiente de seguridad. Para realizar este análisis se colocarán las cargas pertinentes directamente sobre el conjunto y se realizará un MEF trabajando directamente con sólidos.

La pieza crítica es el ángulo. Se prueba con ángulos de 25,4 x 3,17 y 25,4 x 6,35:

Ángulo	σ_{max} [MPa]
25,4 x 3,17	391
25,4 x 6,35	150

Tabla 12: Tensiones Máximas en Porta Falso Fondo

Entonces se adopta un ángulo de **25,4 x 6,35**.

En el análisis también se ha buscado optimizar las dimensiones de las chapas planas en donde apoya el falso fondo y, por ende, en donde ingresa la carga que luego se transmite por todo el conjunto hasta el anillo exterior.

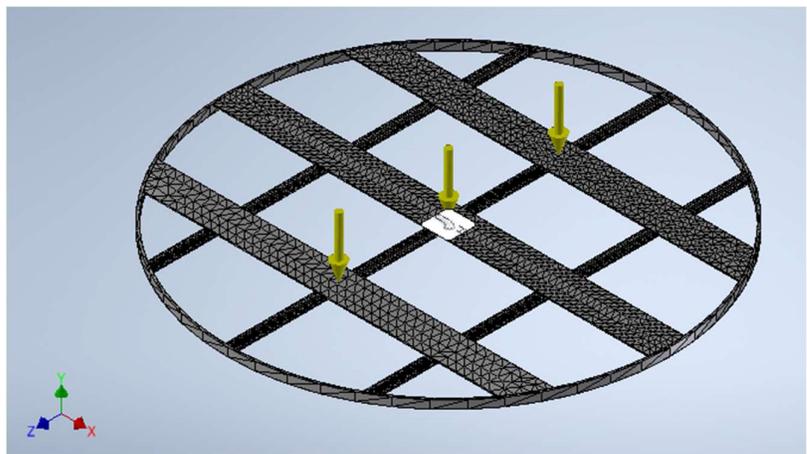


Tabla 13: Soporte Falso Fondo - Malla y Cargas

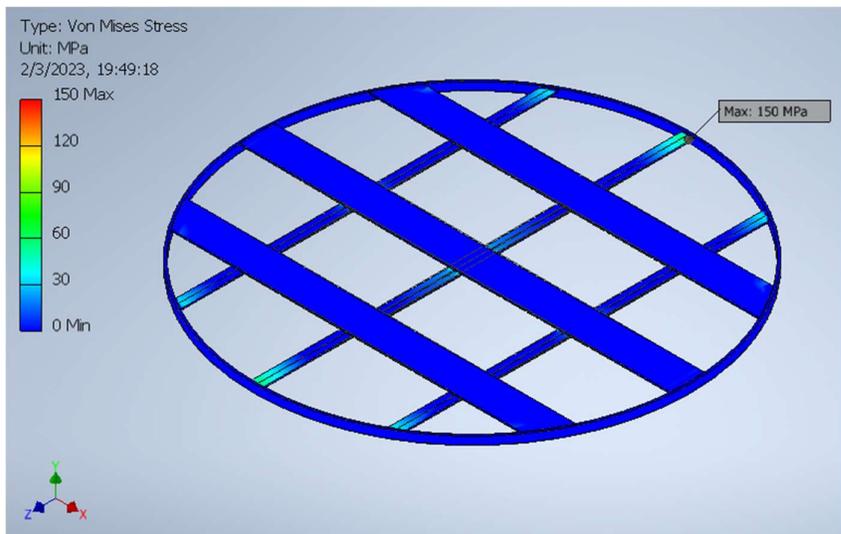


Tabla 14: Porta Falso Fondo - Tensiones Vista 1

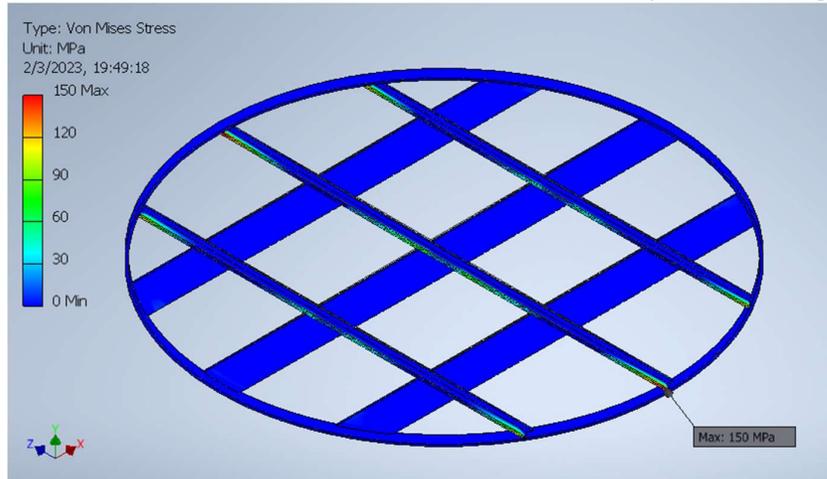


Tabla 15: Porta Falso Fondo - Tensiones Vista 2

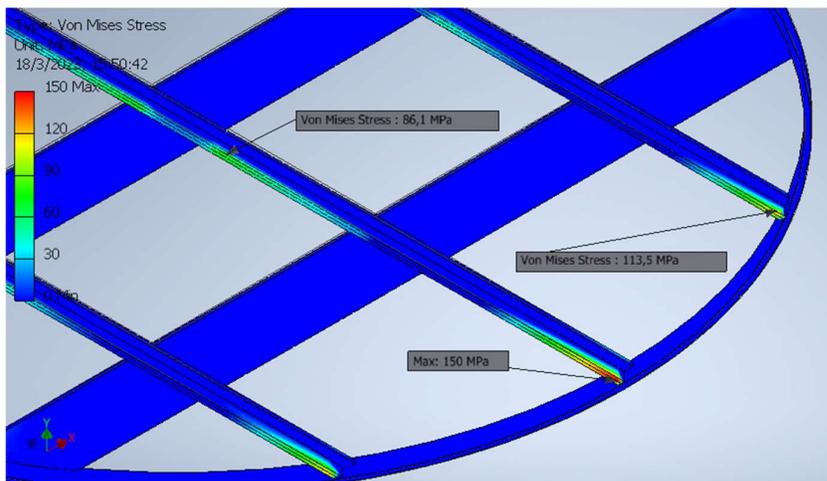


Ilustración 178: Zoom en Zona de Máxima Tensión

Como era de esperarse, las tensiones máximas se encuentran en los extremos de las vigas de soporte (ángulos soldados) pero se mantienen por debajo de la fluencia con coeficientes de seguridad de más de 1,5.

Las tres chapas de apoyo tienen un ancho de 101,6 [mm] y un espesor de 3,2 [mm]. La diferencia aparece en el largo. La chapa central tiene un largo máximo de 1880 [mm] y las chapas laterales de 1700 [mm].

3.13 Pie de Máquina

Función: Soportar todo el peso de la máquina.

Estado de Carga: Peso de toda la máquina (1500 [kg]) y el fluido que contiene (1000 [kg]).

Materia Prima: Chapas, Tubos y Pie Estándar de AISI304L.

Método de Fabricación: Conformado de chapa, corte y soldadura.

La unión de ésta con la virola y con el fondo se da de cómo se indica en la siguiente ilustración, mediante soldadura y con una chapa intermedia por protección y rigidez.

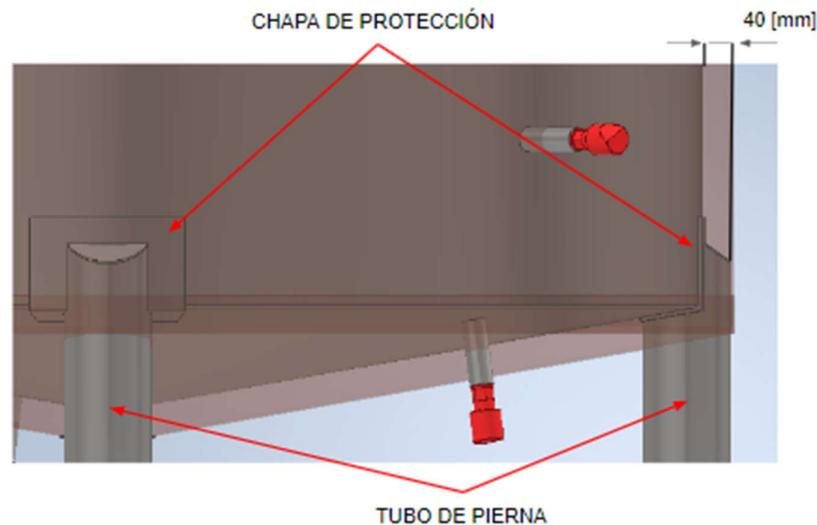


Ilustración 179: Unión Tanque – Pie de Máquina I



Ilustración 180: Unión Tanque - Pie de Máquina II

Los pies de la maquina son estándares, provenientes de FAMIQ, pero se cree conveniente realizar ciertos análisis para tener una idea respecto a las tensiones que se generan en los caños que forman las piernas de la máquina, ya que ellas soportan la totalidad del peso, y éste es muy elevado.

Sufren tanto fuerza de compresión como momento flector a causa de todo el peso. Aproximadamente el peso total de la maquina es de 1200 [kg]. Al tratarse de cuatro patas, la fuerza de compresión de cada una será de 300 [kg]. Se decide realizar un análisis de conjunto para que sea lo más real posible y se aplican la carga total sobre la unión entre el fondo cónico y la virola.

Las dimensiones de las patas son las de un **caño 5" Sch40** (141,3 [mm] de diámetro y 6,55 [mm] de espesor).

Los resultados obtenidos fueron:

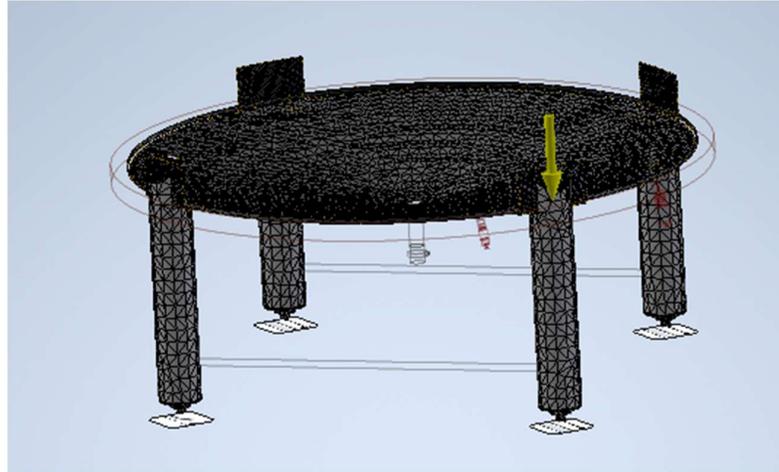


Ilustración 181: Cargas y Mallado

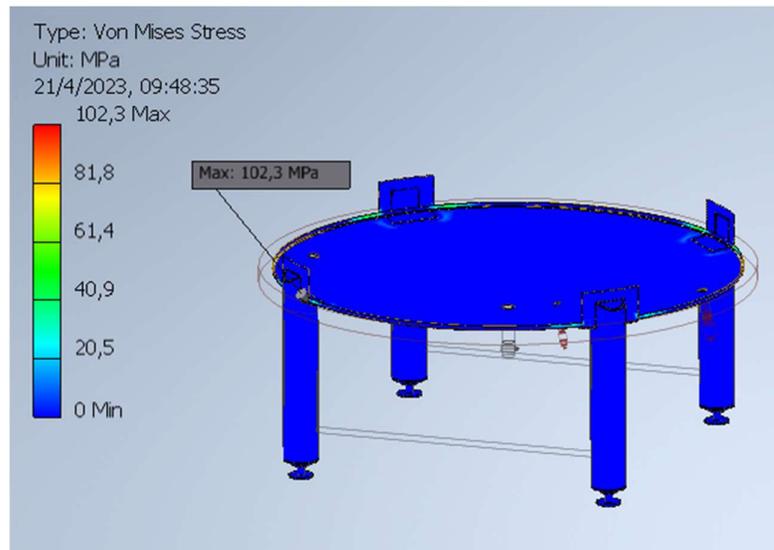


Ilustración 182: Tensiones en Pierna de Maquina I

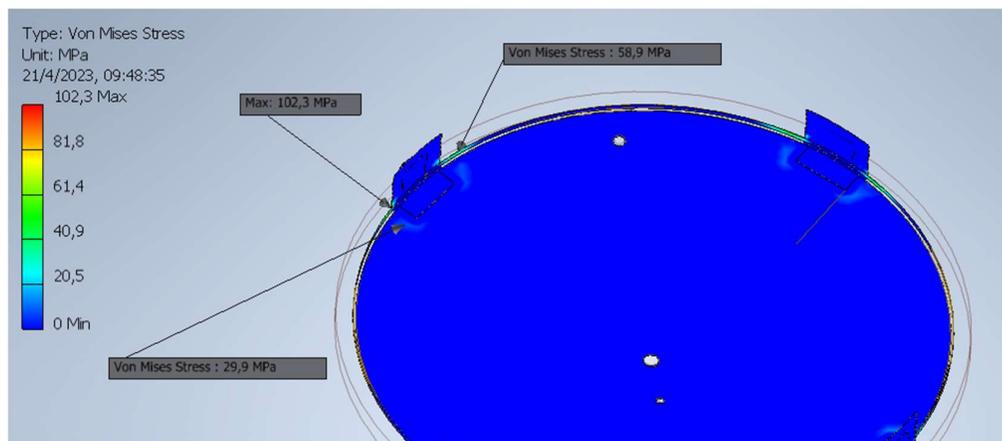


Ilustración 183: Tensiones en Pierna de Maquina II

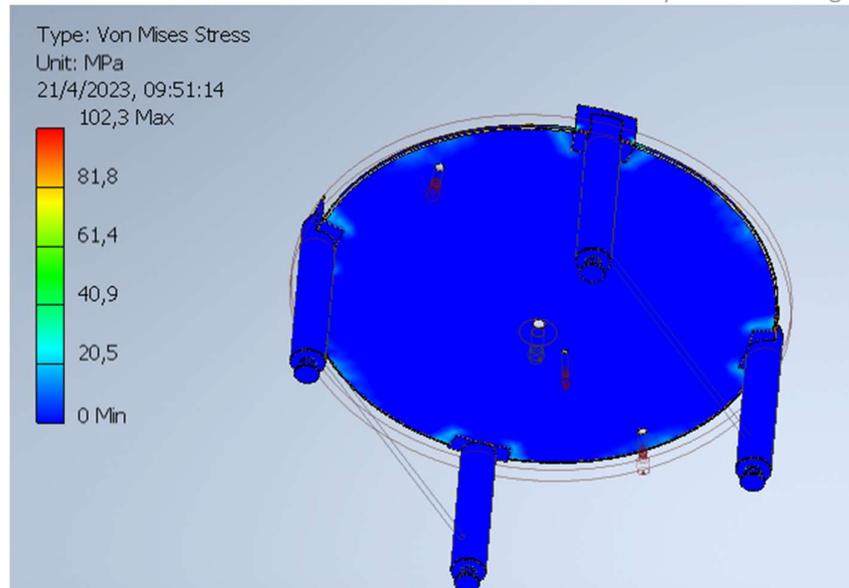


Ilustración 184: Tensiones en Pierna de Maquina III

Se puede ver que las tensiones máximas se dan en la unión entre la chapa del fondo y las piernas. La tensión máxima es de 105 [MPa]. El coeficiente de seguridad es de 2,3. Se considera aceptable. Ahora a los 1200 [kg] iniciales, se le agregan otros 1000 [kg] considerando al macerador lleno de agua.

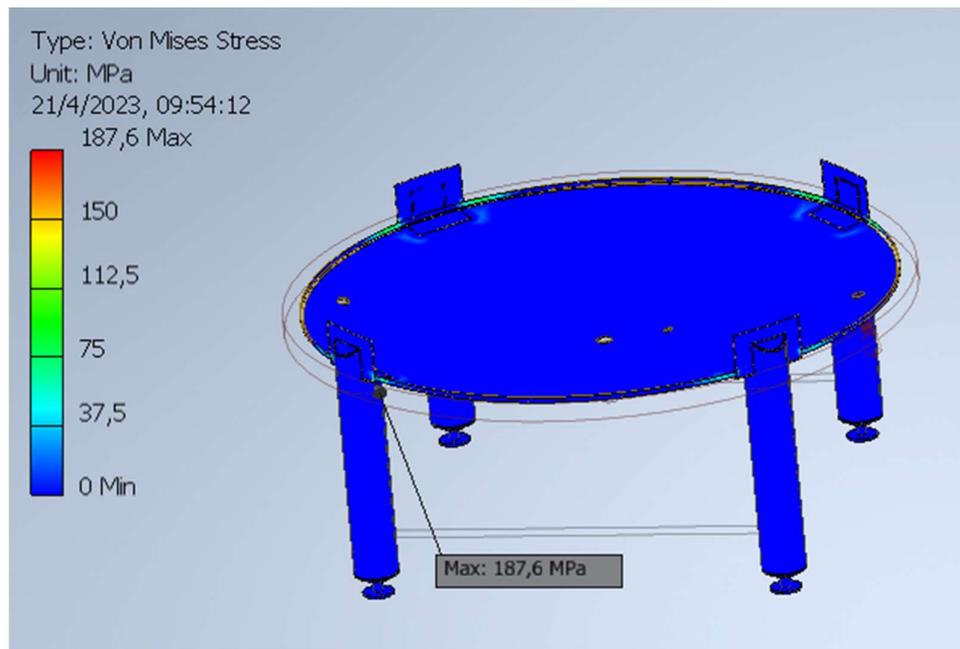


Ilustración 185: Tensiones en Pierna de Maquina IV

Ahora la tensión máxima es de 190 [MPa] en la misma región del análisis anterior. El coeficiente de seguridad se reduce a 1,3.

Para profundizar un poco más se realiza un estudio únicamente de la pieza en estudio y se considera compresión pura (550 [kg]). El resultado es:



Ilustración 186: Cargas y Mallado

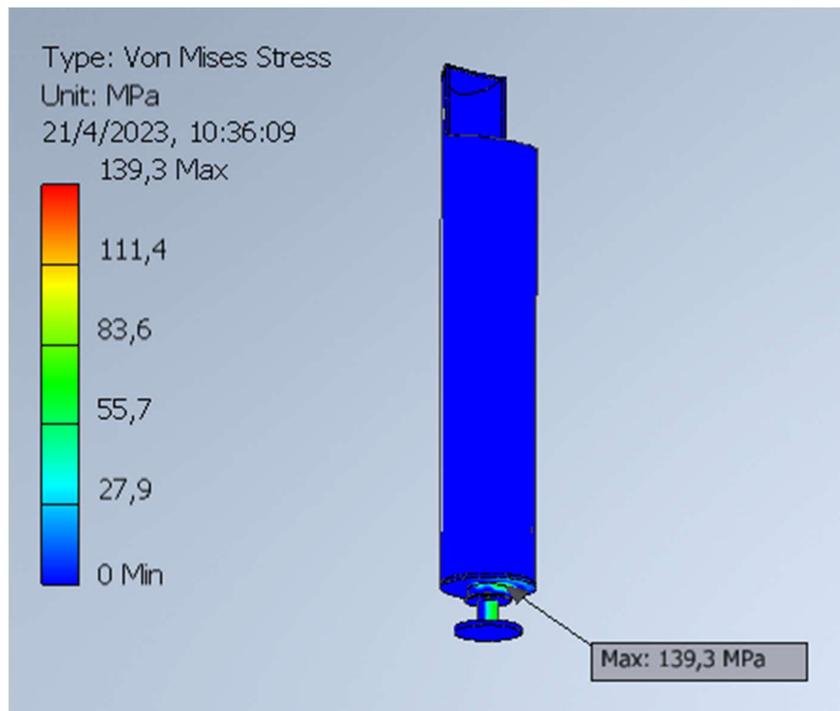


Ilustración 187: Tensión para Compresión Pura

En el análisis individual, las tensiones máximas aparecen en la base de la pierna, lo que tiene sentido por estar más cerca al apoyo y además poseer tensiones por contacto con la tuerca del pie. Para la tensión máxima de 140 [MPa], el coeficiente de seguridad es de 1,7. Se consideran resultados aceptables.

Por último, se decide vincular las cuatro patas por medio de tubos, más allá de que verifiquen a la sollicitación axial, ya que suelen colocarse en posición horizontal para el traslado a montaje y luego se levantan mediante auto elevadores o sistemas similares y sufren esfuerzos de flexión que pueden perjudicar al cuerpo del tanque.

En primer lugar, se optó por colocar ocho tubos de acero inoxidable de 1", cuatro de forma paralela y cuatro de forma diagonal al suelo. El conjunto quedaba de la siguiente forma:



Ilustración 188: Travesaños de Piernas de Tanque (Primer Opción)

Finalmente, se decide utilizar solo los cuatro travesaños paralelos al suelo y omitir los diagonales, por simpleza constructiva y facilidad de armado. Además, los tubos de 1" se doblarán fácilmente por el contacto o golpe del carro encargado del desplazamiento de la máquina, por lo que se opta utilizar **tubos de 3"** (considerando que las piernas son caños de 5").

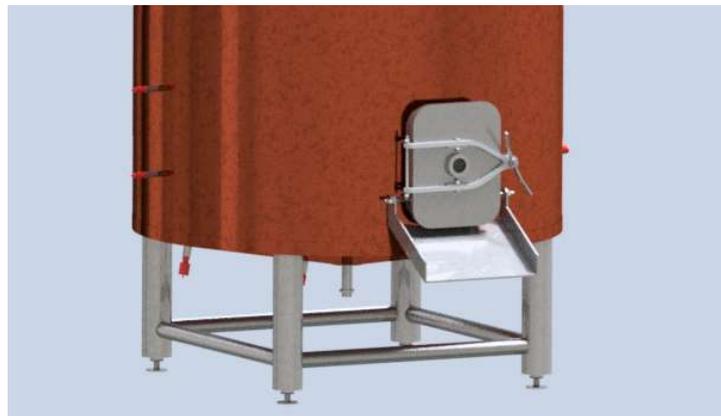


Ilustración 189: Travesaños de Piernas de Tanque (Final)

3.14 Componentes Estándar

La selección de los componentes estándar y los cálculos de las piezas se hicieron a la par. Por tal motivo, se pudo ver por ejemplo que, durante la verificación del espesor de la virola por MEF, ya se conoce la dimensión de la apertura para la compuerta lateral del tanque. Lo mismo sucede con el diseño de la torreta y el eje giratorio, donde se tuvieron en cuenta las dimensiones del rodamiento, el retén y el motorreductor. O el caso del cojinete de fricción que se monta sobre los ejes pivote.

Se tomó la decisión, para mantener cierto orden, de explicar primero cada una de las piezas, y ahora en este ítem, desarrollar la selección de cada componente estándar. Éstos son:

- Motorreductor;
- Chaveta;
- Rodamiento;
- Retén;
- Cojinete de Fricción;
- Oring;
- Bocha CIP;
- Sensores;
- Compuertas;
- Pie de Maquina;
- Falso Fondo.

3.14.1 Motorreductor

Para la selección del motorreductor se adopta a **SEW Eurodrive** como proveedor. El mismo, en su página web, permite seleccionar el producto de forma sencilla ingresando con ciertos datos como:

- Tipo de reductor;
- Tipo de motor;
- País de uso;
- Potencia del motor/Par;
- Velocidad de salida/índice de reducción.

Como se ha visto, el motorreductor inducirá un giro en el eje giratorio, y este lo transmitirá hasta el sistema de brazos giratorios que se encuentran dentro del tanque.

Cabe recordar que, durante la maceración, las cuchillas deben moverse con velocidades muy bajas para no romper la cama de granos, pero casi no encuentran resistencia a lo largo de su recorrido. Se puede ver en otros maceradores del mercado que las velocidades de giro están entre 0,5 y 2 revoluciones por minuto. En el caso de la extracción del bagazo, no hay limitación en cuanto a la velocidad, pero si es cierto que parece ser más eficiente una velocidad baja respecto a una más alta. La limitación en este punto aparece en cuanto al par resistente.

De forma aproximada, se puede calcular el par y posteriormente la potencia del motor. El par resistente coincide con el momento torsor que actúa sobre el eje durante la extracción de bagazo. A continuación, se presentan dos ilustraciones que pueden aclarar el planteamiento del problema. La fuerza actúa directamente sobre el cuerpo de rastrillo (zona rayada) y genera una flexión en el brazo de rastrillo y una torsión en el brazo y en el eje (el eje de referencia A-A coincide con el eje del motorreductor).

Como se ha calculado en el ítem 3.1.8, la fuerza de bagazo es:

$$F_{\text{bagazo}} = 1930 [N]$$

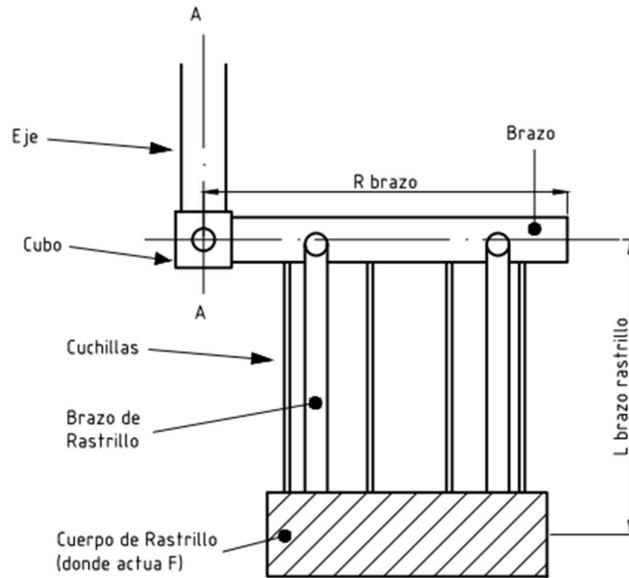


Ilustración 190: Vista Frontal del Sistema Giratorio

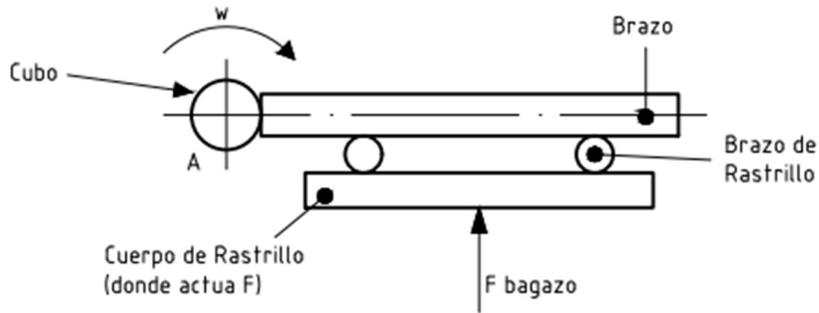


Ilustración 191: Vista desde Arriba del Sistema Giratorio

El par se puede aproximar de la siguiente manera, siendo el largo del brazo de unos 800 [mm]:

$$Mt = F \text{ bagazo} \cdot \frac{R \text{ brazo}}{2} = 772 \text{ [Nm]}$$

Se adopta para el cálculo de la potencia:

$$n = 1,5 \text{ [RPM]}$$

Entonces la potencia de cálculo es:

$$Na = \frac{Mt \text{ [Nm]} \cdot n \text{ [RPM]}}{9555} = 0,12 \text{ [kW]}$$

Tomando un rendimiento del 90%, la potencia de entrada (para catalogo) es:

$$N = \frac{Na}{r} = 0,13 \text{ [kW]}$$

Posteriormente, se debe seleccionar de forma adecuada el tipo de reductor. Para diseños del tipo de agitadores o plantas de mezcla, el proveedor recomienda:

- Series RM (con eje macizo) → Reductores de engranajes cilíndricos;
- Series FA (con eje macizo) / FAM (con eje hueco) → Reductores de ejes paralelos;
- Serie KM (con eje macizo) / KAM (con eje hueco) → Reductores de grupo cónico.

Las cargas radiales admisibles varían de 25000 [N] a 176500 [N]. Los motores adecuados para los tamaños varían en potencia de 0,12 [kW] a 90 [kW]. El par de salida máximo permitido del reductor oscila entre 820 [Nm] y 20000 [Nm].

Se selecciona la serie FA por ser adecuada para bajas velocidades y porque el par máximo que entrega no es extremadamente alto, lo que reduce los costos, pero es el suficiente para que la maquina funcione. Cabe mencionar que la serie que más se vio en otros productos de este tipo es la KM. Lo positivo es que ambas series son compatibles en cuanto a dimensiones de montaje, así que no habría ningún problema.

Entonces, ingresando todos estos datos en la web del proveedor se selecciona el modelo: **FAF77R37DRN63M4**. Se adjuntará la ficha técnica al final del informe. Algunas de las especificaciones técnicas son:



Ilustración 192: Motorreductor de Ejes Paralelos Serie FA

$M_n \text{ max} = 1110 \text{ [Nm]}$

$N = 0,18 \text{ [kW]}$

$n_s = 1 \text{ [RPM]}$

$n_{\text{mot}} = 1375 \text{ [RPM]}$

$i = 1343$

$\varnothing_{\text{brida}} = 300 \text{ [mm]}$ (exterior) – **Brida B5**

Posición M4 de montaje

$\varnothing_{\text{hueco}} = 50 \text{ [mm]}$

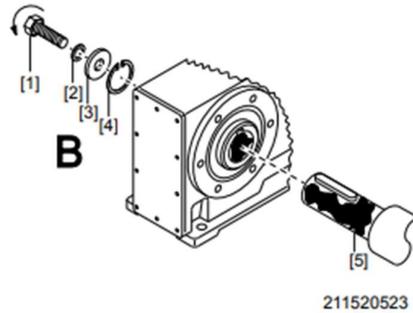
Peso neto = 75 [kg]

El proveedor también brinda un paper de “instrucciones de montaje y funcionamiento”. En la página 18 se indican las tolerancias de montaje:

- Extremo del eje → Tolerancia diametral de conformidad con DIN 748.
 - ISO k6 para ejes macizos con $\varnothing \leq 50 \text{ [mm]}$.
 - ISO m6 para ejes macizos con $\varnothing > 50 \text{ [mm]}$.
 - ISO H7 para ejes huecos.
 - Orificio central de conformidad con DIN 332, forma DR.
- Bridas → Tolerancia de centraje conforme a DIN 42948.
 - ISO j6 con $b1 \leq 230 \text{ [mm]}$.
 - ISO h6 con $b1 > 230 \text{ [mm]}$.

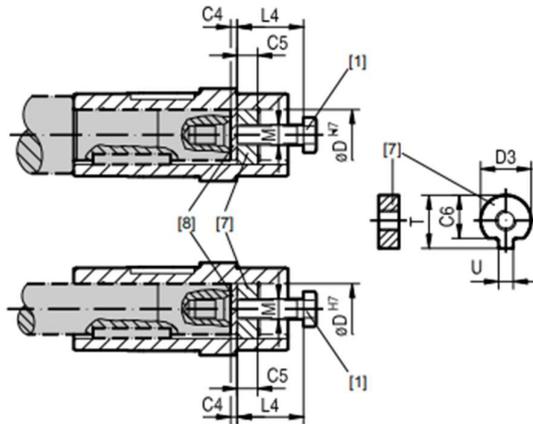
De la página 24 se obtiene que los tornillos para la brida son M14. De la página 33 se indica la forma de montaje. Nuestro eje cuenta con tope por lo que:

– Eje del cliente con tope



- [1] Tornillo de sujeción
- [2] Arandela elástica
- [3] Arandela
- [4] Circlip
- [5] Eje del cliente con tope

Ilustración 193: Kit de Montaje y Desmontaje de Motorreductor



- [1] Tornillo de sujeción
- [7] Tuerca de bloqueo para el desmontaje
- [8] Arandela de extracción

Ilustración 194: Dimensiones para Montaje I

Modelo	D ^{H7} [mm]	¹ /M	C4 [mm]	C5 [mm]	C6 [mm]	U ^{-0.5} [mm]	T ^{-0.5} [mm]	D3 ^{-0.5} [mm]	L4 [mm]	Ref. de pieza del kit de montaje y desmontaje
WA..10	16	M5	5	5	12	4,5	18	15,7	50	643 712 5
WA..20	18	M6	5	6	13,5	5,5	20,5	17,7	25	643 682 X
WA..20, WA..30, SA..37, WA..37, KA..19	20	M6	5	6	15,5	5,5	22,5	19,7	25	643 683 8
FA..27, SA..47, WA..47, KA..29	25	M10	5	10	20	7,5	28	24,7	35	643 684 6
FA..37, KA..37, SA..47, SA..57, WA..47, KA..29	30	M10	5	10	25	7,5	33	29,7	35	643 685 4
FA..47, KA..47, SA..57	35	M12	5	12	29	9,5	38	34,7	45	643 686 2
FA..57, KA..57, FA..67, KA..67, SA..67	40	M16	5	12	34	11,5	41,9	39,7	50	643 687 0
SA..67	45	M16	5	12	38,5	13,5	48,5	44,7	50	643 688 9
FA..77, KA..77, SA..77	50	M16	5	12	43,5	13,5	53,5	49,7	50	643 689 7
FA..87, KA..87, SA..77, SA..87	60	M20	5	16	56	17,5	64	59,7	60	643 690 0
FA..97, KA..97, SA..87, SA..97	70	M20	5	16	65,5	19,5	74,5	69,7	60	643 691 9
FA..107, KA..107	80	M20	5	20	75,5	21,5	85	79,7	70	106 8211 2
FA..107, KA..107, SA..97	90	M24	5	20	80	24,5	95	89,7	70	643 692 7
FA..127, KA..127	100	M24	5	20	89	27,5	106	99,7	70	643 693 5
FA..157, KA..157	120	M24	5	20	107	31	127	119,7	70	643 694 3

Ilustración 195: Dimensiones para Montaje II

Otro dato para agregar, dado en la página 34, es que para un tornillo M16 como es el caso, el par de apriete debe ser de 40 [Nm]. También de catalogo se obtuvo la siguiente ilustración para completar las dimensiones faltantes:

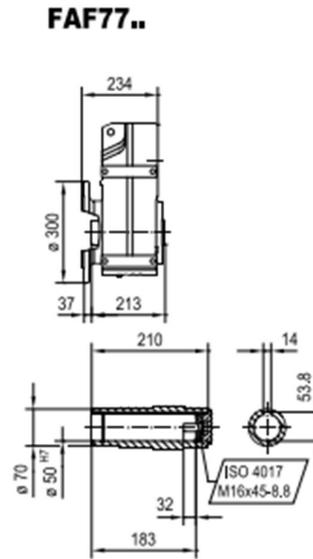
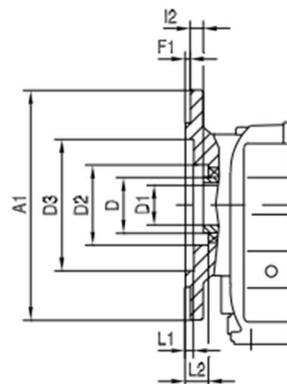


Ilustración 196: Mas Dimensiones para Montaje

Y para poder realizar las bridas que soportarán al motor (torreta) y terminar de definir el dimensionado del eje, es necesario contar con la siguiente información, también brindada por el catálogo:

6.15 Flange contours of FAF..., KAF..., SAF.. and WAF.. gear units



36028801329367819

Check dimensions L1 and L2 for selection and installation of output elements!

Type	Dimensions in mm								
	A1	D	D1	D2	D3	F1	I2	L1	L2
FAF27	160	40	25	66	96	3.5	20	3	18.5
FAF37	160	45	30	62	94	3.5	24	2	30
FAF47	200	50	35	70	115	3.5	25	3.5	31.5
FAF57	250	55	40	76	155	4	23.5	4	31
FAF67	250	55	40	76	155	4	23	4	31
FAF77	300	70	50	95	205	4	37	5	45
FAF87	350	85	60	120	220	5	30	5	39
FAF97	450	95	70	135	320	5	41.5	5.5	51

Ilustración 197: Dimensiones para Brida

Respecto al tipo de brida, se sabe que se trata de una brida B5 cuerpo 132, por lo que la brida de la torreta que se acopla a la brida del motor deberá cumplir con ciertas dimensiones estándar:

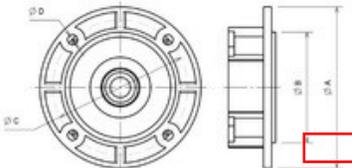
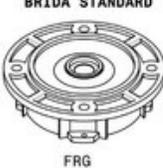
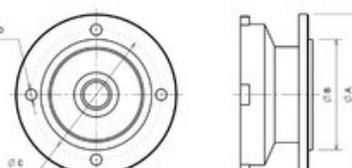
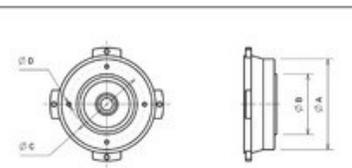
		A	B	C	D	BRIDA STANDARD  FRG
	CUERPO 63	140	95	115	9.5	
	CUERPO 71	160	110	130	9.5	
	CUERPO 80	200	130	165	11.5	
	CUERPO 90	200	130	165	11.5	
	CUERPO 100	250	180	215	14	
	CUERPO 112	250	180	215	14	
	CUERPO 132	300	230	265	14	
CUERPO 160	350	230	300	18		
		A	B	C	D	BRIDA REDUCIDA  FRGr
	CUERPO 71	105	70	85	9.5	
	CUERPO 80	160	110	130	11.5	
	CUERPO 90	160	110	130	11.5	
	CUERPO 100	200	130	165	14	
	CUERPO 112	200	130	165	14	
	CUERPO 132	250	180	250	14	
	CUERPO 160	250	180	250	18	
		A	B	C	D	BRIDA B14  FRGf
	CUERPO 63	90	60	75	M4	
	CUERPO 71	105	70	85	M4	
	CUERPO 80	120	80	100	M6	
	CUERPO 90	140	95	115	M8	
	CUERPO 100	160	110	130	M10	
	CUERPO 112	160	110	130	M10	
	CUERPO 132	200	130	165	M12	
CUERPO 160	200	130	165	M16		

Ilustración 198: Dimensiones Brida B5

3.14.2 Chaveta

De las ilustraciones anteriores conocemos:

$$B = \text{Ancho de chaveta} = 14 \text{ [mm]}$$

$$H = \text{Altura de chaveta} = 8 \text{ [mm]}$$

$$L = \text{Longitud de chaveta}$$



Ilustración 199: Chaveta

Selecciono chaveta plata DIN 6885 del proveedor **SKOTNIC**. En su catálogo se puede ver que para una B de 14 [mm], el menor H es de 8 [mm]. Para obtener L realizo un análisis de resistencia.

El material de la chaveta es un acero SAE 1045:

$$\sigma_r = 6749 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_f = 4148 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\tau_f = 0,6 \cdot \sigma_f = 2448,8 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Considerando el momento torsor de 772 [Nm] y el diámetro del eje de 50 [mm], la fuerza normal sobre la chaveta es:

$$F_n = \frac{Mt}{\frac{de}{2}} = 3088 \text{ [kg]}$$

Se deben realizar dos verificaciones:

$$CORTE \rightarrow F_c = \tau_{adm} \cdot B \cdot L < F_n$$

$$APLASTAMIENTO \rightarrow F_{ap} = \sigma_{adm} \cdot \frac{H}{2} \cdot L < F_n$$

Si consideramos a las tensiones admisibles como las de fluencia sobre un coeficiente de seguridad de 2:

$$\tau_{adm} = 1224,4 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\sigma_{adm} = 2074 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

Entonces:

$$L < \frac{F_n}{\tau_{adm} \cdot B} = 18 \text{ [mm]}$$

$$L < \frac{F_n \cdot 2}{\sigma_{adm} \cdot H} = 37,5 \text{ [mm]}$$

Selecciono una chaveta entonces de 18 [mm] de largo con una tolerancia de -0,2 [mm]. La medida B tiene una tolerancia de -0,043 [mm] y la medida H de -0,09 [mm] según el proveedor.

3.14.3 Rodamiento

Para la selección del rodamiento se adopta como proveedor a **SKF**. Dentro de la gran variedad de rodamientos que existen, se decide utilizar un rodamiento axial de bolas por el tipo de carga que sufrirá y la forma de montaje. Existen de simple efecto y doble efecto. En principio se utilizará uno de simple efecto.

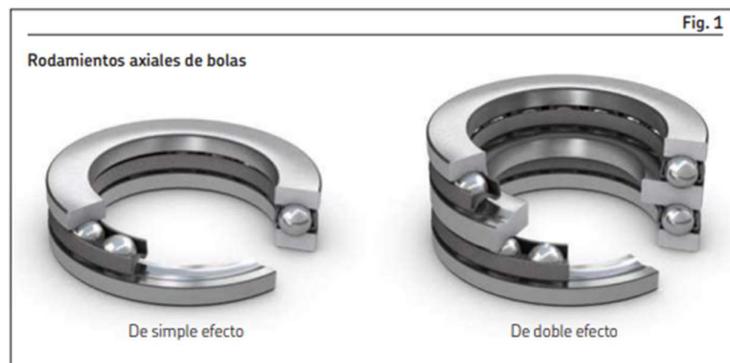


Ilustración 200: Rodamiento Axial de Bolas

La selección pasa por cumplir una cierta condición, y es que la carga axial sea mayor a la carga axial mínima ($F_a > F_{am}$). De la página 469 del catálogo se obtiene que:

$$F_{am} = A \cdot \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \text{ [kN]}$$

$A = \text{Factor de carga mínima}$

Y para este tipo de rodamientos:

$$P = \text{Carga dinámica equivalente} = Fa$$

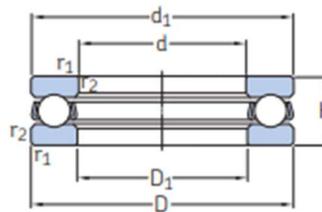
$$P_0 = \text{Carga estática equivalente} = Fa$$

Siendo F_a la carga axial en [kN] y n las revoluciones por minuto. Para determinar la carga axial real se debe tener en cuenta el peso del eje y de todos los componentes del sistema giratorio en el interior del tanque. El eje solo tiene una masa de unos 20 [kg] mientras que cada brazo ronda los 60 [kg]. Podemos decir de forma aproximada que:

$$F_a = 140 \text{ [kg]} = 1,4 \text{ [kN]}$$

Para tener un buen coeficiente de seguridad, se busca un $F_{am} < 0,5 \text{ [kN]}$.

En la página 474 se encuentra la lista de los rodamientos axiales de bola de simple efecto cuyo diámetro interior es de 60 [mm].



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Factor de carga mínima	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	H	dinámica C	estática C ₀	P _u	A	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	-	r. p. m.		kg	-
40	60	13	25,5	63	2,32	0,02	5 000	7 000	0,12	► 51108
	68	19	44,2	96,5	3,6	0,058	3 800	5 300	0,28	► 51208
	78	26	61,8	122	4,5	0,077	3 000	4 300	0,53	► 51308
	90	36	95,6	183	6,8	0,26	2 400	3 400	1,1	► 51408
45	65	14	26,5	69,5	2,55	0,025	4 500	6 300	0,14	► 51109
	73	20	39	86,5	3,2	0,038	3 600	5 000	0,3	► 51209
	85	28	76,1	153	5,6	0,12	2 800	4 000	0,66	► 51309
50	70	14	27	75	2,8	0,029	4 300	6 300	0,16	► 51110
	78	22	49,4	116	4,3	0,069	3 400	4 500	0,37	► 51210
	95	31	81,9	170	6,3	0,19	2 600	3 600	0,94	► 51310
55	78	16	30,2	81,5	3	0,039	3 800	5 300	0,23	► 51111
	90	25	58,5	134	4,9	0,11	2 800	4 000	0,59	► 51211
	105	35	101	224	8,3	0,26	2 200	3 200	1,3	► 51311
60	120	48	195	400	14,6	0,79	1 800	2 400	2,55	► 51411
	85	17	41,6	122	4,55	0,077	3 600	5 000	0,27	► 51112
	95	26	59,2	140	5,1	0,12	2 800	3 800	0,65	► 51212
	110	35	101	224	8,3	0,26	2 200	3 000	1,35	► 51312
	130	51	199	430	16	0,96	1 600	2 200	3,1	► 51412 M

Ilustración 201: Especificaciones Principales del Rodamiento

Se ve adecuado el Rodamiento **51112** cuyo $A = 0,077$. Posee una masa de 0,27 [kg] y su diámetro exterior es de 85 [mm]. Además, su altura es de 17 [mm]. Entonces para $n = 1 \text{ [RPM]}$:

$$F_{am} = 7,7 \cdot 10^{-8} \text{ [kN]} < F_a$$

Una vez seleccionado el rodamiento, se puede calcular la vida útil del mismo de la siguiente manera:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \text{ [h]}$$

De la tabla anterior tenemos que:

$$C = 41,6 [kN]$$

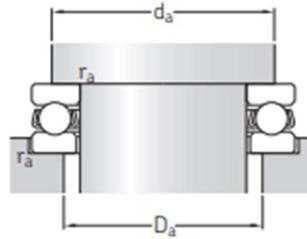
$$P = Fa = 1,4 [kN]$$

Además, para rodamientos de bolas se tiene que $p = 3$, entonces:

$$L10h = 437,26 \cdot 10^6 [h]$$

Son muchísimas horas, pero las revoluciones de operación son muchísimo menores a las de referencia.

En la página siguiente se encuentran más especificaciones importantes que servirán en el diseño del eje y del alojamiento (torreta).



d	d ₁ =	D ₁ =	r _{1,2} min.	d _a min.	D _a máx.	r _a máx.
mm				mm		
40	60	42	0,6	52	48	0,6
	68	42	1	57	51	1
	78	42	1	63	55	1
	90	42	1,1	70	60	1
45	65	47	0,6	57	53	0,6
	73	47	1	62	56	1
	85	47	1	69	61	1
	100	47	1,1	78	67	1
50	70	52	0,6	62	58	0,6
	78	52	1	67	61	1
	95	52	1,1	77	68	1
	110	52	1,5	86	74	1,5
55	78	57	0,6	69	64	0,6
	90	57	1	76	69	1
	105	57	1,1	85	75	1
	120	57	1,5	94	81	1,5
60	85	62	1	75	70	1
	95	62	1	81	74	1
	110	62	1,1	90	80	1
	130	62	1,5	102	88	1,5

Ilustración 202: Otras Especificaciones del Rodamiento

Es importante tener en cuenta el D_a máximo de 70 [mm] (influye en el alojamiento del retén) y el d_a mínimo de 75 [mm] (influye en el eje).

3.14.4 Retén

Para la selección del retén se adopta como proveedor a **DBH**. Los mismos cuentan con una gran variedad teniendo en cuenta distintos diseños, materiales y dimensiones. Se elegirá un compuesto NBR Nitrilo y para el diseño se tendrán en cuenta Kx (doble labio) o Lx por ser lo más común. Los nitrilos están recomendados para operaciones continuas desde $-54^\circ C$ a $107^\circ C$, e intermitentemente hasta $121^\circ C$.

El diseño Lx presenta doble labio y no tiene armadura interior. Un labio proporciona una buena protección a la entrada de polvo externo y el otro, que posee un resorte, asegura una excelente retención del lubricante. El diseño Kx de doble labio asegura una buena protección contra la suciedad exterior y una excelente condición de retención del lubricante por medio de su labio de retención con resorte. Posee una armadura interior que confiere una mayor resistencia estructural y lo protege en la zona de retención, de modo especial.

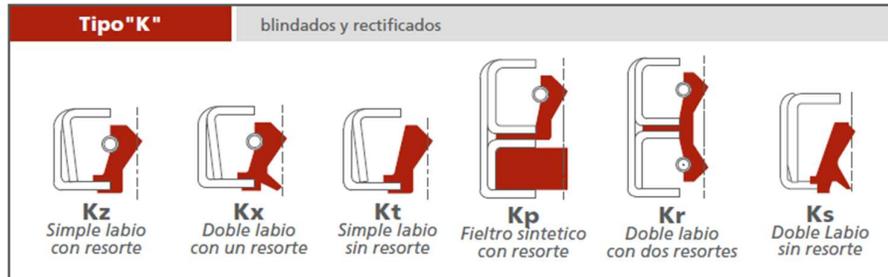


Ilustración 203: Reten Tipo K



Ilustración 204: Reten Tipo L

Con esto en mente, se debe ingresar a la tabla del proveedor con el diámetro del eje (60[mm]) o el diámetro del alojamiento. En nuestro caso usaremos el diámetro del eje y obtendremos un diámetro del alojamiento con el cual se diseñará la torreta. Hay que tener en cuenta que el diámetro del alojamiento debe ser como máximo de 70 [mm] para mantener la estabilidad del rodamiento.

No se encontró ningún retén que cumpla las especificaciones exactas pero el más cercano posee un diámetro de alojamiento de 72 [mm]. Por lo que se optó por un **retén n° DBH 9444**. El mismo cuenta con un diseño Lx y un compuesto NBR. Su altura es de 8 [mm].

3.14.5 Cojinete de Fricción

El único componente estándar que nos encontraremos en el sistema de brazos giratorios es el cojinete de fricción y que ya fue mencionado anteriormente en los análisis por MEF (ítem 3.11). Se necesitarán cuatro unidades, dos para la parte superior y dos para la parte inferior.



Ilustración 205: Cojinetes de Fricción SKF

El proveedor seleccionado fue **SKF**. Fabrican cojinetes de fricción en diversos diseños y de distintos materiales.

Los cojinetes de fricción son adecuados para movimientos giratorios, oscilantes y lineales, mientras que los cojinetes de fricción rectos (cilíndricos) pueden soportar solo cargas radiales, y los cojinetes de fricción con pestaña pueden soportar cargas radiales y axiales en un sentido. Se busca que cumpla la función de permitir el movimiento giratorio del brazo de rastrillo respecto al eje pivote, permitiendo así el ascenso o descenso del rastrillo dependiendo la etapa del proceso.

Para su selección, el primer paso es definir el material, y luego se deben ver las dimensiones adecuadas. Los materiales disponibles son: bronce sólido, bronce sinterizado, bronce laminado, material compuesto de PTFE, material compuesto de POM, PTFE poliamida y bobinado de filamentos. El proveedor da acceso a la “tabla 1 – características de funcionamiento de los tipos de rótulas y materiales”, de la que se puede sacar conclusiones respecto al tipo de material adecuado para nuestra aplicación.

Se terminó seleccionando el material compuesto de POM por ser el más común y uno de los más económicos. Se puede decir, en concordancia con la tabla 1 de SKF, que este tipo de material es adecuado para entornos sucios y para trabajar bajo posibles desalineaciones, es excelente para cargas pesadas y tiene una adecuada resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas. El material en concreto es de base de acero con una capa de estaño/bronce sinterizado, poros llenos y cubiertos con una capa de material compuesto de POM. El plástico POM es un termoplástico semicristalino de gran resistencia mecánica, rigidez y una excelente resistencia al desgaste, además de una baja absorción de humedad.

Para cojinetes de este tipo de material se tiene:

- Velocidad admisible de deslizamiento = 2,5 [m/s]
- Coeficiente de fricción = 0,02 a 0,2
- Carga admisible dinámica = 120 [N/mm²]
- Carga admisible estática = 250 [N/mm²]
- Rango de temperatura de funcionamiento admisible = -40 a 110°C

Respecto a las dimensiones del cojinete, se definió por MEF las dimensiones del brazo de rastrillo y del eje pivote, los cuales forman la cavidad para el cojinete. Entonces se obtiene:

- Ancho = 40 [mm]
- Diámetro interior = 30 [mm]
- Diámetro exterior = 34 [mm]

Se define entonces un cojinete de fricción SKF **PCM 303440 M**. El mismo tiene una masa de 0,05 [kg].



Ilustración 206: PCM 303440 M

De la página 4 de la ficha técnica del componente se obtienen las tolerancias recomendadas para el brazo de rastrillo y el eje pivote:

Ajustes recomendados

Tolerancia del eje	h8
Tolerancia del soporte	H7

Ilustración 207: Ajustes recomendados

3.14.6 Oring

Es el elemento más accesible y eficaz para prevenir la fuga de fluidos bajo distintas condiciones de servicio. Se montan sobre el perno de unión. Es importante remarcar en esta parte que se consideraron varios diseños para el alojamiento de mismo.

- 1- Ranurar el perno de sección constante.

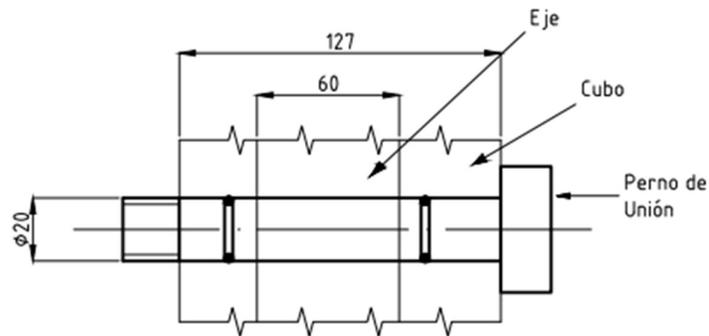


Ilustración 208: Primer Diseño

- 2- Escalonar el eje y ranurar.

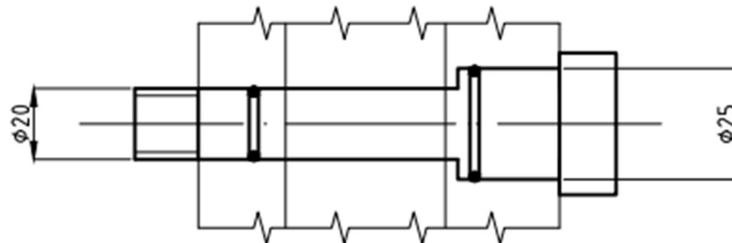


Ilustración 209: Segundo Diseño

3- Oring exterior con tuerca ranurada.

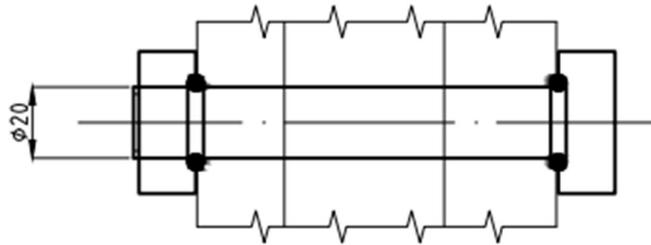


Ilustración 210: Tercer Diseño

Lo bueno de la primer y tercer opción es que no se requiere escalonamiento del perno por lo que se evita un foco de concentración de tensiones, aunque en la tercera opción aparecería dicho foco quizá en la ranura generada sobre el cubo o en la tuerca. La complejidad que trae el primer diseño es la del montaje de los oring. El segundo diseño en cambio permite un fácil montaje. Se terminó adoptando este último como ya se vio en el enunciado que trata específicamente sobre el perno de unión (ítem 3.10).

Ahora, respecto a la selección de los oring, se toma a **PARKER** como proveedor. El mismo da una guía sobre el diseño del alojamiento y una tabla de selección para los oring. La acción de sellado del oring se materializa mediante la deformación de su sección "W", obtenida a través de un correcto diseño de su alojamiento. Para este caso:

Sello de pistón- Deformación radial

El diámetro interior del O-Ring "D.I", deberá ser igual o menor a "d".
Estiramiento máximo: 7%.

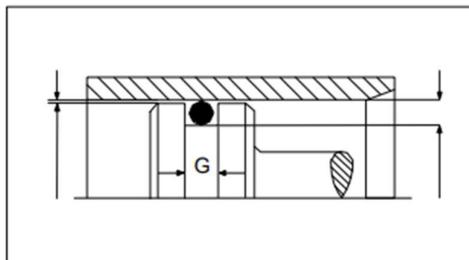


Ilustración 211: Diseño de Alojamiento según PARKER

Las dimensiones de ranura L y G se obtienen en la tabla de diseño:

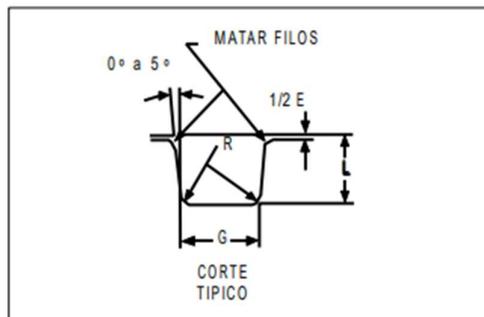


Ilustración 212: Dimensiones de Alojamiento

TABLA DE DISEÑO				
Secc. "W"	Dimensiones de Alojamiento			
	Profundidad "L"		Ancho "G" ± 0.1	Radio "R"
	Estático	Dinámico		
1.78	1.25 1.35	1.40 1.45	2.5	0.1 0.4
2.62	2.05 2.15	2.25 2.30	3.7	0.1 0.4
3.53	2.80 2.95	3.05 3.10	4.9	0.2 0.6
5.33	4.30 4.50	4.65 4.75	7.3	0.5 1.0
6.99	5.75 5.95	6.00 6.10	9.7	0.5 1.0

Ilustración 213: Tabla de Diseño de Alojamiento

Se selecciona una sección W de 2,62 y una profundidad L de 2,15. El ancho G es de 3,7. Entonces los diámetros interiores de las ranuras son 15,7 [mm] y 20,7 [mm] respectivamente. Se seleccionan:

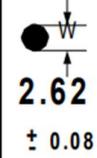
 2.62 ± 0.08	Parker N°	DI mm	DE mm	Parker N°	DI mm	DE mm
		2-102	1.24	6.48	2-115	17.12
	2-103	2.06	7.30	2-116	18.72	23.96
	2-104	2.84	8.08	2-117	20.30	25.54
	2-105	3.63	8.87	2-118	21.89	27.13
	2-106	4.42	9.66	2-119	23.47	28.71
	2-107	5.23	10.47	2-120	25.07	30.31
	2-108	6.02	11.26	2-121	26.64	31.88
	2-109	7.59	12.83	2-122	28.24	33.48
	2-110	9.19	14.43	2-123	29.82	35.06
	2-111	10.77	16.01	2-124	31.42	36.66
	2-112	12.37	17.61	2-125	32.99	38.23
	2-113	13.94	19.18	2-126	34.59	39.83
	2-114	15.54	20.78	2-127	36.17	41.41

Ilustración 214: Tabla de Selección

Un PARKER 2-113 y otro 2-116. El primero para el alojamiento de la sección de 20 [mm] y el segundo para el de la sección de 25 [mm] de diámetro.

3.14.7 Bocha CIP

El sistema CIP es una solución eficaz para la limpieza de tanques en la industria alimenticia. Asegura una correcta higiene y la optimización de recursos. Un diagrama de funcionamiento típico de este sistema de limpieza puede ser el siguiente:

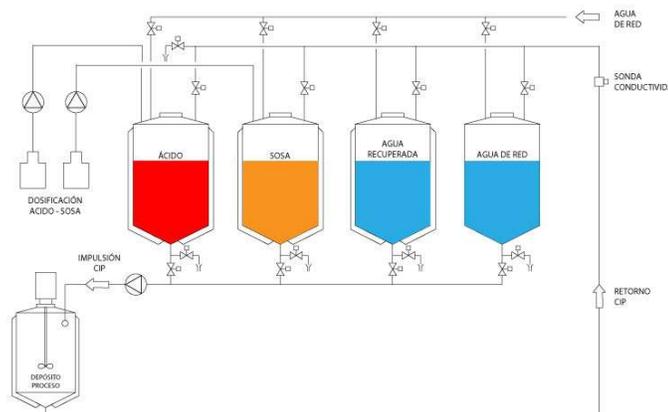


Ilustración 215: Diagrama de Limpieza CIP

En donde todos los productos químicos, inclusive el agua, ingresan por la parte superior del tanque mediante bocha CIP, y se da un retorno de estos a través de la parte inferior. En el caso del macerador, solo hay una salida del tanque en la parte inferior, por lo que se usará tanto para la extracción de mosto como para el retorno de CIP.

Se adoptó de **FAMIQ** una bocha de limpieza fija. Es una alternativa económica para la limpieza de las paredes internas del macerador. Sus principales características son que requiere un bajo mantenimiento y posee alta eficiencia de limpieza. No se necesitan repuestos, simplemente se inspecciona periódicamente para corroborar su correcto funcionamiento.

Su cuerpo es de inoxidable AISI 316 y tiene una conexión mediante clip. Su extremo es para soldar.



Datos técnicos

- **Max. temperatura funcionamiento: 95°C.**
- **Max. temperatura ambiente: 140°C.**

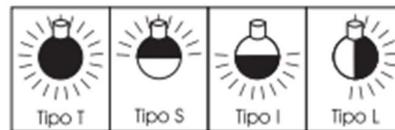


Ilustración 216: Bocha CIP Fija

Como se usa habitualmente, se seleccionó una bocha tipo T con aspersión de 360°. Preferentemente se deben ubicar en la zona central del tanque, pero como en el caso del macerador existe un eje central adosado al motorreductor del techo, se decide colocar en la parte lateral del mismo. Para que la limpieza sea más homogénea se colocan dos bochas, una a cada extremo del tanque.

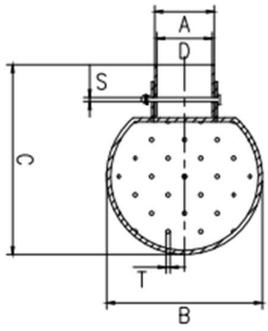
Para la selección del diámetro de la bocha se debe tener en cuenta el radio de limpieza. Como el macerador tiene un diámetro de aproximadamente 2 [m], una bocha con un radio de limpieza de aproximadamente 1 [m] estará bien, teniendo en cuenta que se colocan dos. También se debe tener en cuenta el tubo que llevará el fluido hasta la bocha. Con todo este se seleccionó:

DIÁMETRO (Ø)	PRESIÓN (BAR)	RADIO DE LIMPIEZA (M)	CAUDAL M ³ /H 360°/180°	PRESIÓN (BAR)	RADIO DE LIMPIEZA (M)	CAUDAL M ³ /H 360°/180°
	TIPO L-S-I			TIPO T		
22	2,5	1,00 - 1,25	10	2,5	1,00 - 1,25	17
28	2,5	1,00 - 1,25	10	2,5	1,00 - 1,25	17
32	2,5	1,00 - 1,25	17	2,5	1,25 - 1,75	23
38	2,5	1,25 - 1,75	17	2,5	1,25 - 1,75	23
52	3,5	1,25 - 1,75	38	3,5	2,0 - 3,0	55

Ilustración 217: Tabla de Selección de CIP

Diámetro de bocha de 32. Obteniendo las siguientes dimensiones:

Tipo T



TIPO T						
DIÁMETRO (Ø)	A	B	C	D	T	S
22	22	38	68	19	1,6x66	4,5
28	28	50	79	25	2,0x76	6
32	32	65	95	29	2,5x91	6
38	38	65	98	35	2,5x91	6
52	52	90	125	49	3x103	6,5

Ilustración 218: Dimensiones Generales de Bocha CIP

Entonces se debe soldar un **tubo de 31,7 [mm] de diámetro exterior (1 1/4") y 1,5 [mm] de espesor (tubo AISI 304 sin costura)** al extremo de la bocha.

3.14.8 Sensores

Ya se ha mencionado a lo largo del informe la importancia en la precisión de las condiciones operativas para la maceración. Es necesario monitorear y controlar la temperatura y la diferencia de presión, y también es necesario conocer el nivel de líquido para llevar a cabo procesos de automatización como el llenado del tanque.

Sensor de Temperatura

En los depósitos de mosto, la malta molida con agua se mezcla y calienta hasta conseguir mosto. En este caso, la exacta medición de temperatura es imprescindible.

IFM → Para reducir costes y aumentar la seguridad en el proceso se utiliza en este caso el sensor de temperatura TAD. El sensor con estructura redundante dispone de dos elementos sensores distintos, los cuales se controlan mutuamente durante el proceso. De este modo se puede detectar a tiempo la aparición de una fluctuación. Asimismo, en caso de que uno de los elementos falle, el proceso puede continuar con el segundo elemento de medición (función Backup).

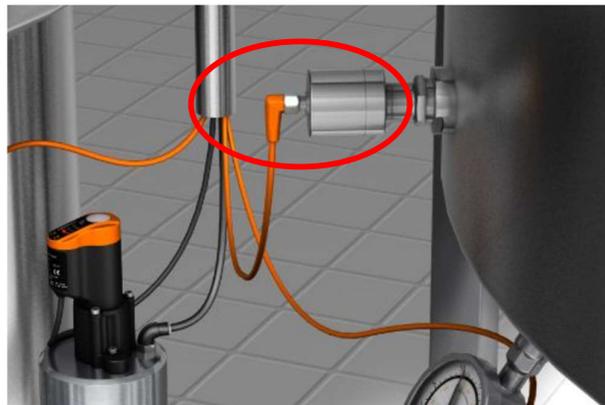


Ilustración 219: Sensor de Temperatura

Un producto desarrollado por IFM y que cumple las condiciones requeridas es el **TAD981**:

- Conexión de rosca G1, Rosca exterior Aseptoflex Vario.
- Longitud de instalación 33 [mm].

- Profundidad de inmersión mínima 25 [mm].
- Apto para fluidos viscosos.
- Rango de medición: -25 a 160°C.

Sensor de Nivel

Se requieren en principio dos sensores de nivel. Uno para el nivel máximo y otro 2" por encima del falso fondo para el precalentamiento con agua de tanque.

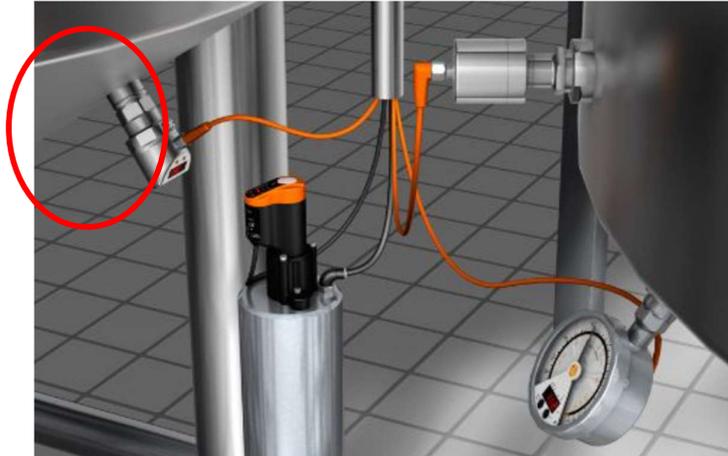


Ilustración 220: Sensor de Nivel

IFM → Un producto desarrollado por IFM y que cumple las condiciones requeridas es el **LMT100**:

- Conexión de rosca G1/2, Junta cónica.
- Longitud de sonda 11 [mm].
- Capacitivo.
- Apto para fluidos viscosos o con partículas sólidas.

Sensor de Diferencia de Presión

Los maceradores automáticos modernos incluyen sensores que detectan la presión y las tasas de flujo y envían dichos datos a una computadora que controla el sistema de rastrillado. Esto optimiza el flujo a través del lecho de grano.

Se usan dos manómetros conectados a la cuba, uno encima del falso fondo y otro debajo. Se debe calibrar que a cero DP (diferencia de presión), la lectura de presión del manómetro superior es igual a la lectura de presión del manómetro inferior más la diferencia de altura entre ambos.

La presión negativa causada durante el proceso de mezclado o escorrentía del mosto causa una compactación de la cama de grano produciendo que dicha escorrentía se reduzca a un goteo. Cortar el lecho de granos ayuda a mantener las cosas sueltas, pero no desea que el mosto fluya solo a través de los canales creados por las cuchillas. Si eso sucede, dejará una gran cantidad de azúcar con el resto del grano por el que el mosto no fluye (importancia de los filos de cuchilla). Es necesario inspeccionar y controlar la DP. Se busca evitar vacío debajo del falso fondo.

El flujo de extracción de mosto aumenta con la diferencia de presión, pero se desea que dicho flujo sea lento y controlado para no compactar el lecho de grano, entonces ésta diferencia de presión debe ser lo menor posible.



Ilustración 221: Sensor de DP

IFM → Los sensores de presión asépticos de la gama PI supervisan la presión diferencial en la unidad de filtrado. Un producto desarrollado por IFM y que cumple las condiciones requeridas es el **PI2797**:

- Conexión de rosca G1, Rosca exterior Aseptoflex Vario.
- Rango de medición: -0,05 a 1 [bar].
- Presión manométrica.

3.14.9 Compuertas

Compuerta Lateral (Virola)

Para seleccionar la compuerta lateral se tuvo en cuenta los siguientes factores:

- Disponibilidad en el mercado regional.
- Tamaño adecuado para permitir ingreso de piezas internas para montaje/desmontaje (chapas del falso fondo, cuchillas, brazos, anillo rociador, etc.) y mantenimiento.
- Que resulte adecuada para la función que está destinada a cumplir, es decir, la extracción del bagazo.

Se adopta una vez más a FAMIQ como proveedor. Existen diversos diseños para el tipo de compuerta como rectangular, oval, circular, entre otras. Para este tipo de aplicación, y por lo que se ve en el mercado, la mejor decisión para la extracción de bagazo es la compuerta rectangular con apertura exterior.



Ilustración 222: Compuerta Rectangular

Se selecciona entonces una puerta rectangular **P23-111** de AISI 304L con sello de Silicona. La presión máxima permitida es de 0,6 [bar], lo que equivale a unos 6 metros de columna de agua. Las dimensiones seleccionadas para el área de apertura son de 410 x 534 [mm].

Las piezas de sección pequeña como la bocha CIP, el cubo, las cuchillas, los brazos y el rastrillo ingresan sin problema. Las dos piezas de mayores dimensiones son las chapas del falso fondo y el anillo rociador.

El falso fondo se divide en cuatro secciones con un ancho aproximado de 500 [mm] por lo que pueden ingresar perfectamente por el lado de mayor longitud de la compuerta o siguiendo la diagonal de esta.

El anillo rociador tiene unos 600 [mm] de diámetro y una altura máxima en los extremos (tee más clamp) de 60 [mm]. La diagonal de la compuerta es de:

$$diag = \sqrt{534^2 + 410^2} = 673 \text{ [mm]}$$

El problema se puede plantear de la siguiente manera:

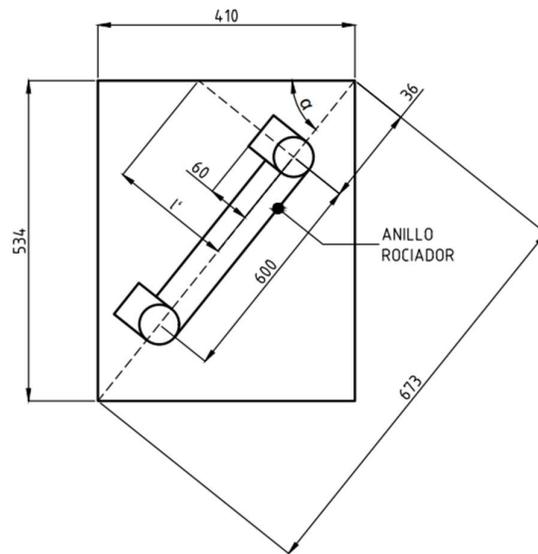


Ilustración 223: Anillo Rociador ingresando al Tanque

$$\alpha = \arctg \frac{534}{410} = 52,5^\circ$$

Suponiendo que se hace coincidir el plano central del anillo con la diagonal para el ingreso de la pieza al tanque, la altura del conjunto de la tee y el clamp debería ser menor a la longitud l' .

$$l' = tg \alpha \cdot 36 = 47 \text{ [mm]}$$

Por lo que, si se desea hacer lo planteado anteriormente, el anillo no cabe. Sin embargo, si se hace pasar el anillo por una posición un poco inferior a la planteada en el problema, se supone que sí cabría, ya que:

$$2 \cdot l' > 60 \text{ [mm]}$$

En el centro de la compuerta se coloca una mirilla plana de 4" extraída también de FAMIQ.



Ilustración 224: Mirilla Plana

El resultado es el siguiente:



Ilustración 225: Mirilla Plana en Compuerta Lateral

También cuenta con una chapa que guía al bagazo durante la extracción y se la conoce como **chapa de extracción**. Se puede montar de varias maneras, pero las principales son mediante soldadura directamente sobre la virola o mediante ganchos en sus extremos para que sea desmontable. Ésta última es la opción elegida.



Ilustración 226: Chapa Desmontable



Ilustración 227: Chapa Soldada



Ilustración 228: Compuerta en Modelo 3D

Toma de Hombre (Techo)

En el techo de la maquina se coloca una toma de hombre para facilitar el mantenimiento de la bocha CIP y permitir el ascenso y descenso del rastrillo mediante el anclaje y desanclaje de la cadena del brazo giratorio, a cargo de un operario.

Se selecciona una puerta redonda exterior **P22-210** con cuerpo de AISI 316L y sello de Silicona. La presión máxima que soporta es de 0,6 [bar] y su diámetro es de 500 [mm]. El proveedor es nuevamente FAMIQ.



Ilustración 229: Compuerta Redonda

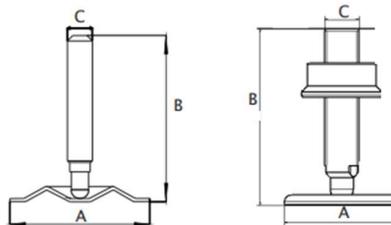
3.14.10 Pie de Máquina

Ya se ha realizado el análisis mediante MEF del conjunto de la pierna de la maquina y se vio que resiste correctamente (ítem 3.13). Ahora se demostrará como fue la selección del pie de dicho conjunto. Se adoptó a **FAMIQ** como proveedor.



Ilustración 230: Pie de Maquina

Se adopta un **pie regulable 330964** con una carga admisible de 10 toneladas y una base maciza.



CÓDIGO	DN	A(mm)	B(mm)	C(mm)	MODELO	CARGA ADMISIBLE*
333803	5/8"	105	124.5	15.8	BASE ESTAMPADA	900 Kg
333805	3/4"	105	124.5	19.05		1200 Kg
330964	M30	100	150	30	BASE MACIZA	10000 Kg

* Carga admisible para 1 pata.

Ilustración 231: Tabla de Selección de Pie

3.14.11 Falso Fondo

Se ha consultado a los siguientes proveedores respecto a cada tipo de falso fondo (pantalla ranurada y alambre en V) para sacar una conclusión:

Para Alambre de Cuña en V → SCREEN SYSTEMS → Proveedor inglés para fondos falsos de hornos de malta, cuba de maceración y también pisos de secado de granos. “El costo de instalación está incluido, lo que hace que los pisos de alambre en cuña sean menos costosos que los tipos de pisos menos eficientes de la competencia”. Los pisos de alambre de cuña no quedan cegados por la materia cuando están en uso. Por lo tanto, además de la ausencia de costos de reparación, los costos de mantenimiento son bajos ya que no se requieren costosas operaciones de limpieza.

Los costos dados por el proveedor para un falso fondo de 2 [m] de diámetro son los siguientes:

Secciones del Falso Fondo	Precio [euros]
1	2800
2	2600
4	2950

Tabla 16: Precio de Falso Fondo

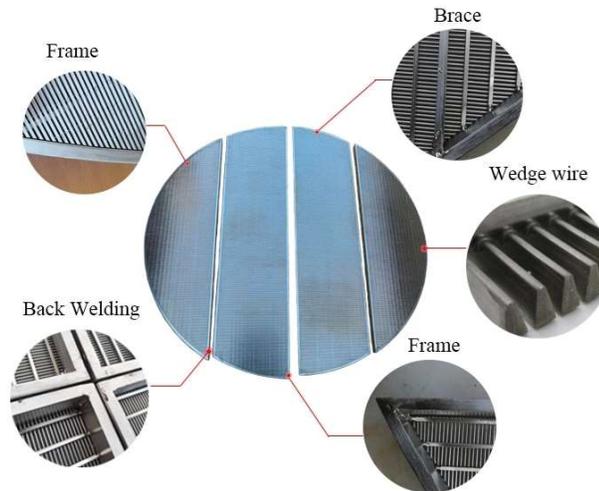


Ilustración 232: Falso Fondo de Cuatro Secciones

Para Fondo Ranurado → DESINMEC → Empresa santafecina que cuenta con máquinas de corte laser y por chorro de agua. Indican que no es posible realizar el fondo ranurado con corte en ángulo con las máquinas con las que cuentan, se puede solamente con cortadoras laser o chorro de agua que dispongan de movimiento angular del cabezal. Recomienda realizar ranuras perpendiculares a la chapa. También mencionan que se debe tener cuidado con el largo de la ranura, ya que cuanto más larga, mayor riesgo de ondulación de la chapa por tensiones internas.

Tras la consulta sobre los fondos con alambre de cuña, mencionan que los costos no son bajos pero que puede funcionar perfectamente.

Se opta por **Screen Systems** con la pantalla dividida en cuatro secciones. Ya se ha demostrado que cada una de estas pantallas puede ingresar perfectamente por la compuerta lateral del tanque, lo que permite montarla y desmontarla, por ejemplo, para su limpieza (ítem 3.14.9). Cabe recordar que cada pantalla va simplemente apoyada sobre el soporte del falso fondo (soldado a la virola en su interior) o bien, hay algunos maceradores en donde se fija mediante bulones.

Se selecciona un tipo de alambre “flat top” (el más común) con 0,75 [mm] de “slot opening”. Numero de sección 28 (21,9% de área libre). Así se obtiene un alambre de 2,33 [mm] de ancho x 3,83 [mm] de altura. Para los soportes se seleccionan los de sección rectangular de 25 x 6 [mm].

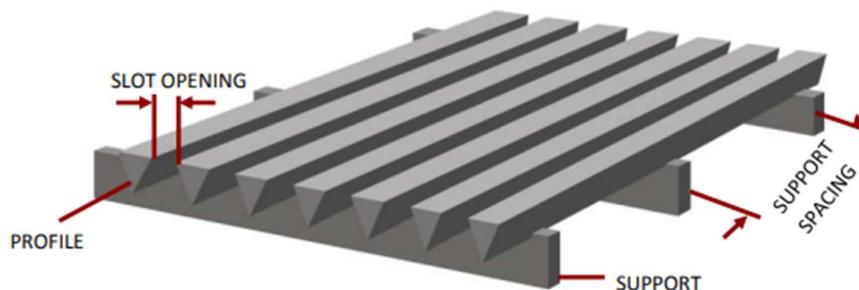


Ilustración 233: Especificaciones



Ilustración 234: Perfil Flat Top

Actual size of profile				Section number	Profile width		Profile depth		Min aperture ins.	Max aperture mm
F.	C.	S.	R.		ins.	mm	ins.	mm		
				23	0.076	1.93	0.121	3.07	0.125	1.5
				25	0.085	2.17	0.125	3.17	0.125	1.5
				28	0.092	2.33	0.150	3.83	0.125	1.75
				32	0.105	2.66	0.170	4.32	0.20	2.00

Ilustración 235: Tabla de Selección de Alambre

Se obtiene una pantalla de 28,6 [kg/m²]. Considerando una sección de 3 [m²] se tiene un peso de 80 [kg] aproximadamente (20 [kg] por placa). La distancia entre soporte es variable y no tiene alguna limitación aparente. El proveedor ofrece entre 7,72 [mm] y 70 [mm].

3.15 Flow Sheet y Régimen de Maceración

Para finalizar con el ítem 3 dedicado al diseño y funcionamiento de la máquina, se presenta el régimen de maceración acompañado de un Flow Sheet. Se explicará paso a paso cómo funciona éste macerador con sus valores específicos.

1. Llenar el macerador con agua caliente (71,6°C) 2" por encima del falso fondo. Esto asegura que la cama flote y precalienta el tanque. El ingreso de esta agua se da mediante los anillos rociadores y para controlarla se cuenta con un sensor de nivel a dicha altura.

El volumen de agua que ingresa corresponde a los 447 [l] (ítem 3.1.2) que hay por debajo del falso fondo, sumado al volumen entre el falso fondo y 2" (50,8 [mm]) por encima de 145,5 [l]:

$$V_{precal} = 447 + 145,5 = 592,5 [l]$$

Al ingresar por los anillos se considera el caudal de 50 [l/min] por lo que el tiempo de ingreso de agua de precalentamiento es de:

$$t_{llenado\ 1} = \frac{V_{precal}}{50 \left[\frac{l}{min} \right]} = 11,85 [min]$$

2. Ingreso en simultáneo de 350 [kg] de malta y agua a 71,6°C para que la malta entre adecuadamente hidratada. Se dirige el flujo sobre el brazo giratorio para reducir la velocidad de entrada y ayudar a mantener la cama.

El volumen de agua que ingresa con la malta es igual al volumen total del agua de ataque (ítem 3.1.2) menos el volumen que ya ingreso para precalentamiento:

$$V_{hidrat} = 1497 - 592,5 = 904,5 [l]$$

Se llena hasta alcanzar el nivel de mezcla de 548,8 [mm] (ítem 3.3.6). Ahora el caudal es de 30 [l/min] por lo que el tiempo de llenado es de:

$$t_{llenado\ 2} = \frac{V_{hidrat}}{30 \left[\frac{l}{min} \right]} = 30,15 [min]$$

Se alcanza la temperatura de mezcla de 64°C que se controla con sensor de temperatura. En caso de que se reduzca por debajo de los 63,5°C admisibles se introduce más agua caliente.

3. Se deja reposar y se giran las cuchillas para cortar la cama de grano que se forma pero sin romperla:

$$t_{reposo} = 30 [min]$$

4. Escorrentía controlada de mosto a baja velocidad. Se controla la diferencia de presión para evitar compresión de la cama. Si hay diferencia de presión se pueden accionar las cuchillas para mejorar la escorrentía. A un caudal de mosto de 30 [l/min] (ítem 3.1.7) y un volumen de primer mosto de 1133 [l] (ítem 3.1.4), se tiene un tiempo de extracción de:

$$t_{primer\ mosto} = \frac{V_{mosto\ 1}}{30 \left[\frac{l}{min} \right]} = 37,7 [min]$$

5. Ingreso de 700 [l] de agua de rociado a 75°C (ítem 3.1.5) y escurrimiento simultáneo del mosto a 50 [l/min] (ítem 3.1.7). El tiempo de segundo mosto es de:

$$t_{segundo\ mosto} = \frac{V_{mosto\ 2}}{50 \left[\frac{l}{min} \right]} = 14 [min]$$

6. Se desciende manualmente el rastrillo y se gira el motor para la extracción de bagazo.

7. Se acciona el sistema de CIP para limpiar el tanque previo a la siguiente maceración. Se considera un tiempo aproximado para extracción de bagazo y limpieza de:

$$t' = 60 \text{ [min]}$$

Se puede decir entonces que el tiempo de un ciclo de generación de 1800 [l] de mosto es de:

$$t_{total} = t_{maceración} + t' = 183,7 \text{ [min]} = 3 \text{ [h]}$$

Se puede decir que cada 3 horas se llena un fermentador con mosto. En una jornada diaria de 12 horas se llenan 4 fermentadores. Se puede ver que el tiempo de maceración coincide con el tiempo utilizado por la destilería nacional seleccionada.

A continuación, se presenta el Flow Sheet en el que se puede apreciar el flujo de malta (amarillo), de agua (celeste), CIP (violeta) y de mosto (verde).

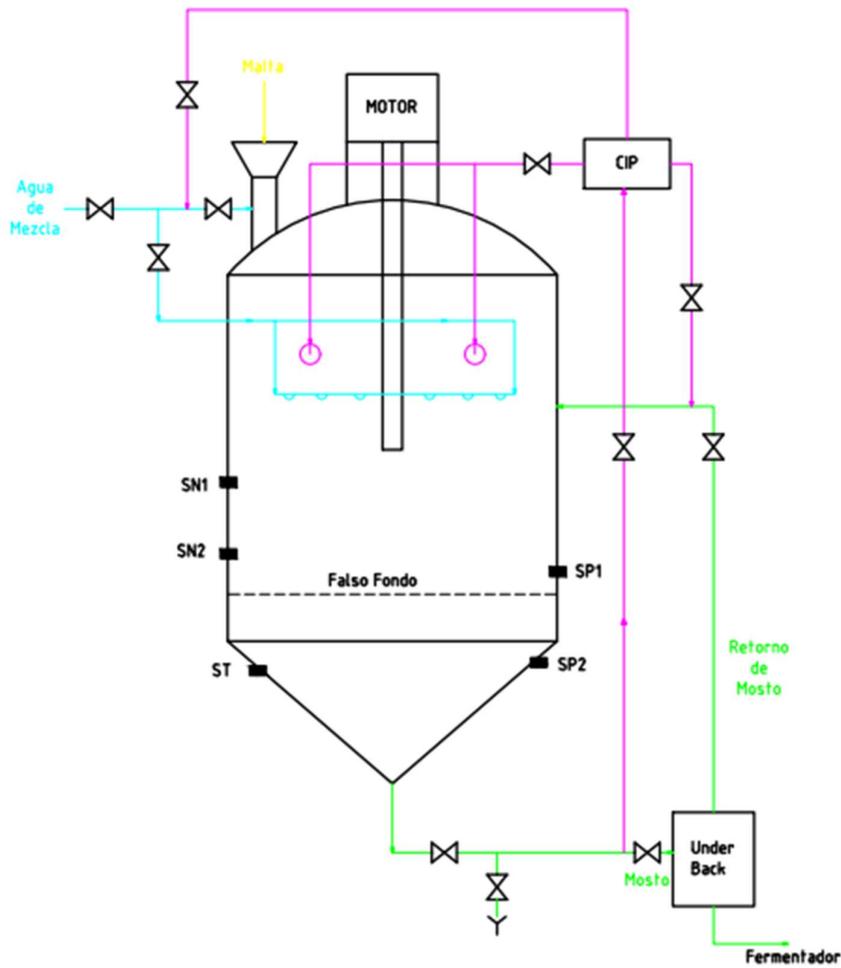


Ilustración 236: Flow Sheet

4. Resultados y Conclusiones

4.1 Lista de Materiales

La lista de materiales se realizó en Excel. Para ordenar todas las piezas se utilizaron 9 columnas en las que se especifica: Conjunto (Techo, Sistema Giratorio, Virola y Fondo), Subconjunto (Toma de Grano, Rociador, Torreta, etc.), Numero de Pieza, Denominación, Material, Cantidad, Masa, Descripción y Plano/Estándar. Aparece una décima columna en la que se indica el tipo de análisis o estudio realizado sobre la pieza, ya sea analítico, por CFD o por MEF; y se indica el ítem en concreto en donde se trata. Mas adelante, a esta misma tabla se le agregará la columna de materia prima, proveedor y costos (ítem 4.2). La lista cuenta con 89 piezas distintas, de las cuales 43 son estándar (tubos, accesorios, chapas o equipos como el motorreductor).

Para permitir la correcta legibilidad de la tabla, primero se colocan imágenes que muestran las columnas de conjuntos, material, cantidad y masa:

Conjunto	Subconjunto	N° de Pieza	Nombre de Pieza	Material	Cantidad	Masa [kg]
Techo	Techo	1	Chapa de Cabezal Toriesférico	AISI 304L	1	80
Techo	Toma de Grano	2	Tubo Ingreso de Agua Toma de Grano	AISI 304L	1	0,03
Techo	Toma de Grano	3	Tubo Interior Toma de Grano	AISI 304L	1	0,3
Techo	Toma de Grano	4	Tubo Exterior Toma de Grano	AISI 304L	1	0,2
Techo	Toma de Grano	5	Union Cónica	AISI 304	1	0,1
Techo	Toma de Grano	6	Union Plana	AISI 304	1	0,05
Techo	Toma de Grano	7	Tolva de Grano	AISI 304	1	0,5
Techo	Toma de Grano	8	Tubo de Techo	AISI 304L	1	0,05
Techo	Toma de Grano	9	Clamp Ingreso de Agua	AISI 304	1	0,01
Techo	Anillo Rociador		Clamp de Rociador		6	
Techo	Toma de Grano	10	Clamp Caño de Grano	AISI 304	1	0,02
Techo	Toma de Grano	-	Toma de Grano	-	-	1,26
Techo	Brida Central	11	Tubo Soporte Torreta	AISI 304L	1	5
Techo	Brida Central	12	Brida Torreta	AISI 316L	1	8,5
Sist. Giratorio	Torreta				2	
Techo	Brida Central	-	Brida Central	-	-	22

Techo	Toma de Hombre	13	Toma de Hombre	AISI 316L	1	30
Techo	CIP	14	Bocha CIP	AISI 316L	2	0,3
Techo	CIP	15	Tubo de Bocha	AISI 304L	2	0,2
Techo	CIP	16	Clamp de CIP	AISI 304	2	0,015
Techo	CIP	-	CIP	-	2	0,515
Techo	Anillo Rociador	17	Tubo de Rociador Exterior	AISI 304L	2	0,07
Techo	Anillo Rociador	18	Tubo de Rociador Interior	AISI 304L	2	0,2
Techo	Anillo Rociador	19	Tee de Rociador	AISI 304L	2	0,01
Techo	Anillo Rociador	20	Tubo Curvo de Rociador	AISI 304L	2	0,6
Techo	Anillo Rociador	-	Anillo Rociador	-	1	1,76
Techo	Techo	-	Techo	-	1	136,05

Sist. Giratorio	Torreta	21	Tubo de Torreta	AISI 304L	1	6
Sist. Giratorio	Torreta	-	Torreta	-	1	23
Sist. Giratorio	Torreta	22	Rodamiento	-	1	0,27
Sist. Giratorio	Torreta	23	Reten	-	1	0,001
Sist. Giratorio	Eje Giratorio	24	Chaveta	-	1	0,001
Sist. Giratorio	Motor Reductor	25	Motor Reductor	-	1	75
Sist. Giratorio	Eje Giratorio	26	Eje Giratorio	AISI 304L	1	28
Sist. Giratorio	Perno de Union	27	Perno de Union	AISI 304L	1	0,5
Sist. Giratorio	Perno de Union	28	Oring 1	-	1	0,001
Sist. Giratorio	Perno de Union	29	Oring 2	-	1	0,001
Sist. Giratorio	Cubo	30	Cubo	AISI 304L	1	5
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	31	Caño de Brazo con Rastrillo	AISI 304L	1	3,7
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	32	Caño de Brazo sin Rastrillo	AISI 304L	1	4
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	33	Chapa Tapa de Brazo	AISI 304	2	0,13
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	34	Eje Pivote Superior	AISI 304L	2	1,7
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	35	Buje Roscado Superior	AISI 304L	2	1,1
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	36	Cojinete de Fricción	POM	4	0,05
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	37	Arandela Plástica	HDPE	8	0,01
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	38	Arandela Metálica	AISI 304L	4	0,06
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	39	Porta Cuchilla	AISI 304L	8	0,3
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	-	Porta Cuchilla con Tuerca	-	8	-

Sist. Giratorio	Sistema Brazos	40	Gancho Largo de Brazo	AISI 304L	1	0,05
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	41	Gancho Corto de Brazo	AISI 304L	1	0,05
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	42	Cadena	AISI 304	1	-

Sist. Giratorio	Sistema Brazos	43	Cuchilla	AISI 304L	8	4,1
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	44	Filo de Cuchilla	AISI 304L	56	0,04
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	-	Cuchilla con Filos	-	1	4,38
Sist. Giratorio	Rastrillo (Sistema Brazos)	45	Brazo de Rastrillo	AISI 304	2	13,3
Sist. Giratorio	Rastrillo (Sistema Brazos)	46	Eje Pivote Inferior	AISI 304L	2	1,2
Sist. Giratorio	Rastrillo (Sistema Brazos)	47	Buje Roscado Inferior	AISI 304L	2	0,4
Sist. Giratorio	Rastrillo (Sistema Brazos)	48	Chapa Trasera de Proteccion de Rastrillo	AISI 304L	1	3
Sist. Giratorio	Rastrillo (Sistema Brazos)	49	Chapa Delantera de Proteccion de Rastrillo	AISI 304L	1	3
Sist. Giratorio	Rastrillo (Sistema Brazos)	50	Chapa para Cadena en Ángulo	AISI 304L	1	0,5
Sist. Giratorio	Rastrillo (Sistema Brazos)	51	Chapa para Cadena Plana	AISI 304L	1	0,2
Sist. Giratorio	Rastrillo (Sistema Brazos)	52	Cuerpo de Rastrillo	HDPE	1	1,6
Sist. Giratorio	Rastrillo (Sistema Brazos)	-	Rastrillo	-	1	11,5
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	-	Brazo Giratorio con Rastrillo	-	1	66,77
Sist. Giratorio	Sistema Brazos	-	Brazo Giratorio sin Rastrillo	-	1	22,95
Sist. Giratorio	Sistema Giratorio	-	Sistema Giratorio	-	1	221,22

Viola	Viola	56	Chapa Refuerzo Comp. Lat.	AISI 304	1	18,4
Viola	Piso de Extracción	57	Chapa de Piso de Extracción	AISI 304L	1	22,6
Viola	Piso de Extracción	58	Varilla de Compuerta	AISI 304L	2	1,5
Viola	Retorno de Mosto	59	Tubo de Retorno de Mosto	AISI 304L	1	0,05
Fondo	Extracción de Mosto y CIP		Tubo de Extracción de Mosto y CIP		1	
Viola	Retorno de Mosto	60	Clamp Retorno de Mosto	AISI 304	1	0,01
Fondo	Extraccion de Mosto		Clamp Extraccion de Mosto y CIP		1	

Viola	Sensores	61	Cupla Sensor de Temperatura	AISI 304L	1	0,035
Viola	Sensores	62	Cupla Sensor de Nivel	AISI 304L	2	0,03
Viola	Sensores	63	Cupla Sensor de Presión	AISI 304L	2	0,05

Virola	Falso Fondo	64	Falso Fondo	AISI 304	1	80
Virola	Soporte Falso Fondo	65	Anillo	AISI 304	1	16,6
Virola	Soporte Falso Fondo	66	Angulo de Soporte Central	AISI 304	2	4,3
Virola	Soporte Falso Fondo	67	Angulo de Soporte Interior	AISI 304	2	3,7
Virola	Soporte Falso Fondo	68	Angulo de Soporte Exterior	AISI 304	2	3,6
Virola	Soporte Falso Fondo	69	Chapa Central	AISI 304L	1	13,5
Virola	Soporte Falso Fondo	70	Chapa Lateral	AISI 304L	2	11,6
Virola	Soporte de Falso Fondo	-	Soporte de Falso Fondo	-	1	76,5
Virola	Virola	-	Virola	-	1	640,5

Fondo	Fondo	71	Chapa de Fondo Conico	AISI 304L	1	193
Fondo	Patas	72	Chapa de Protección de Patas	AISI 304L	4	3
Fondo	Patas	73	Pie de Maquina	AISI 304	4	2
Fondo	Patas	74	Pierna de Maquina	AISI 304L	4	22,5
Fondo	Patas	75	Tubo de Unión de Patas	AISI 304L	4	5
Fondo	Patas	-	Patas de Maquina	-	4	24,5
Fondo	Fondo	-	Fondo	-	1	323

Varios	Aislante	76	Aislante	Lana Mineral	-	-
Varios	Aislante	77	Protección de Aislante	Cobre	-	225
Varios	Aislante	78	Anillo Exterior	AISI 304L	3	9,5
Varios	Aislante	79	Anillo Exterior Incompleto	AISI 304L	1	8
Varios	Aislante	80	Anillo Interior	AISI 304L	1	8
Varios	Aislante	81	Anillo Interior Incompleto	AISI 304L	1	7,5
Varios	Aislante	82	Disco Superior	AISI 304L	1	8
Varios	Aislante	83	Disco Inferior	AISI 304L	1	0,5
Varios	Aislante	84	Separador Superior	AISI 304L	18	0,1
Varios	Aislante	85	Separador Intermedio	AISI 304L	35	0,1
Varios	Aislante	86	Separador Inferior	AISI 304L	13	0,1
Varios	Sensores	87	Temperatura	AISI 316L	1	0,4
Varios	Sensores	88	Nivel	AISI 316L	2	0,2
Varios	Sensores	89	Presión Diferencial	AISI 316L	2	0,4

Ahora se completa la información de la tabla anterior agregando las columnas de descripción de cada pieza, si la pieza requiere plano o es estándar y el tipo de análisis o estudio que se le realizó y en que ítem del informe fue realizado.

Como dato extraído de la tabla se obtiene el **peso total de la máquina**, suma de los pesos de cada pieza multiplicado por su cantidad, de unos **1585 [kg]**, llegando a unos 3000 [kg] al estar lleno de mezcla.

Subconjunto	N° de Pieza	Nombre de Pieza	Descripción	Plano/Estandar	Análisis/Estudio
Techo	1	Chapa de Cabezal Toriesférico	D = 1910 [mm] e = 3 [mm] H = 378,7 [mm]	Plano	Análisis y MEF 3.3
Toma de Grano	2	Tubo Ingreso de Agua Toma de Grano	Tubo 3/4" e=1,5mm L = 50mm	Estandar	-
Toma de Grano	3	Tubo Interior Toma de Grano	Tubo 2" e=1,5mm L = 140 [mm] con perforaciones para ingreso de agua	Plano	-
Toma de Grano	4	Tubo Exterior Toma de Grano	Tubo 3" e=2mm L = 60 [mm]	Estandar	-
Toma de Grano	5	Union Cónica	Cono e = 2 [mm] H = 25 [mm]	Plano	-
Toma de Grano	6	Union Plana	Disco e = 2 [mm]	Plano	-
Toma de Grano	7	Tolva de Grano	Tolva e = 2 [mm] H = 90,5 [mm]	Plano	-
Toma de Grano	8	Tubo de Techo	Tubo 2" soldado al techo	Estandar	-
Toma de Grano	9	Clamp Ingreso de Agua	Clamp 3/4"	Estandar	-
Anillo Rociador		Clamp de Rociador			
Toma de Grano	10	Clamp Caño de Grano	Clamp 2"	Estandar	-
Toma de Grano	-	Toma de Grano	CONJUNTO TOMA DE GRANO	Plano	CFD 3.6
Brida Central	11	Tubo Soporte Torreta	Barra Ø127 [mm] ranurada	Plano	-
Brida Central	12	Brida Torreta	Brida B5 Cuerpo 132 Ancho 15 [mm] y Øinterior 127 [mm] soldado al "Caño de Torreta" o "Caño Soporte Torreta" respectivamente. Ømayor 300 [mm]	Plano	-
Torreta					
Brida Central	-	Brida Central	CONJUNTO BRIDA CENTRAL	Plano	-

Toma de Hombre	13	Toma de Hombre	Puerta redonda exterior P22-210 316L Silicona pmax = 0,6 [bar] y diámetro 500 [mm] FAMIQ	Estandar	-
CIP	14	Bocha CIP	Bocha de Limpieza Fija tipo T 32 FAMIQ. Incluye Bocha, Perno y Caño para soldar de 32 [mm]	Estandar	-
CIP	15	Tubo de Bocha	Tubo 1 1/4" e=1,5 Longitud 200 [mm]	Estandar	-
CIP	16	Clamp de CIP	Clamp 1 1/4"	Estandar	-
CIP	-	CIP	CONJUNTO CIP	Plano	-
Anillo Rociador	17	Tubo de Rociador Exterior	Tubo 3/4" e=1,5 de Longitud 105 [mm]	Estandar	-
Anillo Rociador	18	Tubo de Rociador Interior	Tubo 3/4" e=1,5 de Longitud 300 [mm]	Estandar	-
Anillo Rociador	19	Tee de Rociador	Tee para Soldar 3/4" e=1,5	Estandar	-
Anillo Rociador	20	Tubo Curvo de Rociador	Tubo 3/4" curvo de radio 300 [mm] y perforaciones	Plano	-
Anillo Rociador	-	Anillo Rociador	CONJUNTO ANILLO ROCIADOR	Plano	CFD 3.7
Techo	-	Techo	TECHO CONJUNTO	Plano	-

Torreta	21	Tubo de Torreta	Barra de 127 [mm] de diámetro exterior y 86 [mm] de alto que contiene los asientos para el rodamiento y el retén	Plano	-
Torreta	-	Torreta	TORRETA CONJUNTO	Plano	MEF 3.5
Torreta	22	Rodamiento	Rodamiento axial de bolas SKF 51112	Estandar	-
Torreta	23	Reten	N° DBH 9444 Compuesto NBR Nitrilo y diseño Lx	Estandar	-
Eje Giratorio	24	Chaveta	Chaveta DIN 6885 Chavetas Skotnica Largo 18 [mm]	Estandar	-
Motor Reductor	25	Motor Reductor	SEW Eurodrive FAF57R37DRN63M34	Estandar	-
Eje Giratorio	26	Eje Giratorio	Diametro 60 [mm] en su mayoria L1350 [mm]. 85 [mm] es el diámetro mayor.	Plano	Análítico y MEF 3.8
Perno de Union	27	Perno de Union	Perno que permite la unión entre el "Eje Giratorio" y el "Cubo". Ø25 y 20 [mm] L182[mm]	Plano	Análítico y MEF 3.10
Perno de Union	28	Oring 1	PARKER N° 2-113	Estandar	-
Perno de Union	29	Oring 2	PARKER N° 2-116	Estandar	-
Cubo	30	Cubo	Parte central del sistema. Ø127 [mm] L140[mm]	Plano	MEF 3.9
Sistema Brazos	31	Caño de Brazo con Rastrillo	Tubo 4" e = 2 [mm] L760 [mm]	Plano	Análítico y MEF 3.11
Sistema Brazos	32	Caño de Brazo sin Rastrillo	Tubo 4" e = 2 [mm] L760 [mm]	Plano	Análítico y MEF 3.11
Sistema Brazos	33	Chapa Tapa de Brazo	Chapa circular Ø101,6 [mm] e = 2 [mm]	Plano	-
Sistema Brazos	34	Eje Pivote Superior	Ømayor40 [mm] L228 [mm]	Plano	Análítico y MEF 3.11
Sistema Brazos	35	Buje Roscado Superior	Ømayor50 L165 [mm] - M40	Plano	MEF 3.11
Sistema Brazos	36	Cojinete de Fricción	PCM 303440 M	Estandar	-
Sistema Brazos	37	Arandela Plástica	d30[mm] e6[mm]	Plano	-
Sistema Brazos	38	Arandela Metálica	d30[mm] e6[mm]	Plano	-
Sistema Brazos	39	Porta Cuchilla	Chapa rectangular 101,6x 110 [mm] e = 3,2	Plano	MEF 3.11
Sistema Brazos	-	Porta Cuchilla con Tuerca	PORTA CUCHILLA CON TUERCAS SOLDADAS	Plano	-

Sistema Brazos	40	Gancho Largo de Brazo	La cadena se encuentra fija en él, pero actúa cuando se deja caer el rastrillo, para no perder la unión entre el rastrillo y el brazo, y poder agarrar la cadena nuevamente para la elevación $\varnothing 12$ [mm]	Estandar	-
Sistema Brazos	41	Gancho Corto de Brazo	La cadena se encuentra enganchada en él durante la maceración - Luego se desengancha y se deja caer $\varnothing 12$ [mm]	Estandar	-
Sistema Brazos	42	Cadena	Cadena de acero inoxidable L2[m] $\varnothing 5$ [mm] con eslabones soldados	Estandar	-

Sistema Brazos	43	Cuchilla	Chapa rectangular 101,6 x 845 [mm] e = 3,2	Plano	MEF 3.11
Sistema Brazos	44	Filo de Cuchilla	Chapa triangular 101,6 x 50 [mm] e = 3,2	Plano	-
Sistema Brazos	-	Cuchilla con Filos	CUCHILLA CON FILOS CONJUNTO (Soldados)	Plano	-
Rastrillo (Sistema Brazos)	45	Brazo de Rastrillo	Barra sección rectangular 50 x 40 [mm] L880[mm]	Plano	MEF 3.11
Rastrillo (Sistema Brazos)	46	Eje Pivote Inferior	\varnothing mayor40 [mm] L173 [mm]	Plano	-
Rastrillo (Sistema Brazos)	47	Buje Roscado Inferior	\varnothing mayor50 L75 [mm] - M40	Plano	-
Rastrillo (Sistema Brazos)	48	Chapa Trasera de Protección de Rastrillo	Chapa 800 x 101,6 x 3,2 [mm] plegada	Plano	-
Rastrillo (Sistema Brazos)	49	Chapa Delantera de Protección de Rastrillo	Chapa 800 x 101,6 x 3,2 [mm] plegada	Plano	-
Rastrillo (Sistema Brazos)	50	Chapa para Cadena en Ángulo	Chapa rectangular de 116 x 80 [mm] e = 3,2 doblada a 90°.	Plano	-
Rastrillo (Sistema Brazos)	51	Chapa para Cadena Plana	Chapa rectangular 120 x 45 [mm] e = 3,2. Con orificio de 20 [mm].	Plano	-
Rastrillo (Sistema Brazos)	52	Cuerpo de Rastrillo	Placa plástica plegada 800 x 150 x 10 [mm]	Plano	-
Rastrillo (Sistema Brazos)	-	Rastrillo	RASTRILLO CONJUNTO	Plano	MEF 3.11
Sistema Brazos	-	Brazo Giratorio con Rastrillo	BRAZO CON RASTRILLO CONJUNTO (Soldados)	Plano	MEF 3.11
Sistema Brazos	-	Brazo Giratorio sin Rastrillo	BRAZO SIN RASTRILLO CONJUNTO (Soldados)	Plano	MEF 3.11
Sistema Giratorio	-	Sistema Giratorio	SISTEMA BRAZOS + CUBO + EJE + PERNO DE UNIÓN + MOTOR	Plano	MEF 3.8-9-10-11

Virola	56	Refuerzo Comp. Lat.	Se suelda a la "Virola" 511,6 x 635,6 [mm] e=12,7 [mm]	Plano	Analítico y MEF 3.3
Piso de Extracción	57	Chapa de Piso de Extracción	Se engancha con la "Varilla de Compuerta" 900 x 450 [mm] e = 10 [mm]	Plano	-
Piso de Extracción	58	Varilla de Compuerta	Se suelda a la "Compuerta Lateral". $\varnothing 20$ [mm] - L130[mm]	Plano	-
Retorno de Mosto	59	Tubo de Retorno de Mosto	Tubo 2" e=1,5 L = 50 [mm]	Estandar	-
Extracción de Mosto y CIP		Tubo de Extracción de Mosto y CIP			
Retorno de Mosto	60	Clamp Retorno de Mosto	Clamp 2"	Estandar	-
Extracción de Mosto		Clamp Extracción de Mosto y CIP			

Sensores	61	Cupla Sensor de Temperatura	Cupla Rosca G1 - \varnothing mayor 40[mm] L120[mm]	Plano	-
Sensores	62	Cupla Sensor de Nivel	Cupla Rosca G1/2 - \varnothing mayor 30[mm] L120[mm]	Plano	-
Sensores	63	Cupla Sensor de Presión	Cupla Rosca G1 - \varnothing mayor 40[mm] L120[mm]	Plano	-

Falso Fondo	64	Falso Fondo	Fondo de alambre en V en 4 partes "Flat Top" n°28 con 0,75 [mm] de S.O. y soportes de 25 x 6 [mm] SCREEN SYSTEMS	Estandar	-
Soporte Falso Fondo	65	Anillo	Chapa de 35 x 10 [mm] de sección rolada con diámetro exterior 1897,85 [mm]	Plano	-
Soporte Falso Fondo	66	Angulo de Soporte Central	Angulo 25,4 x 6,35 [mm] FAMIQ redondeado en los bordes	Plano	-
Soporte Falso Fondo	67	Angulo de Soporte Interior	Angulo 25,4 x 6,35 [mm] FAMIQ redondeado en los bordes	Plano	-
Soporte Falso Fondo	68	Angulo de Soporte Exterior	Angulo 25,4 x 6,35 [mm] FAMIQ redondeado en los bordes	Plano	-
Soporte Falso Fondo	69	Chapa Central	Chapa de 101,6 [mm] de ancho y e3,2 [mm] que se suelda al anillo para ser el apoyo del falso fondo. L1880 [mm]	Plano	-
Soporte Falso Fondo	70	Chapa Lateral	Chapa de 101,6 [mm] de ancho y e3,2 [mm] que se suelda al anillo para ser el apoyo del falso fondo. L1700 [mm]	Plano	-
Soporte de Falso Fondo	-	Soporte de Falso Fondo	SOPORTE FALSO FONDO CONJUNTO Debe soportar el peso de dos personas	Plano	MEF 3.12

Virola	-	Virola	VIROLA CONJUNTO	Plano	-
Fondo	71	Chapa de Fondo Conico	D = 1910 [mm] e = 8 [mm] H = 188,5 [mm]	Plano	Analítico y MEF 3.3
Patas	72	Chapa de Protección de Patas	Chapita 250 x 250 x 6 [mm] que se suelda al fondo y sobre ella se suelda la pierna de la maquina	Plano	-
Patas	73	Pie de Maquina	Pie Regulable 330964 FAMIQ	Estandar	-
Patas	74	Pierna de Maquina	Caño 5" Sch40	Estandar	-
Patas	75	Tubo de Unión de Patas	Tubos 3" e2 [mm] L1225 [mm]	Estandar	-
Patas	-	Patas de Maquina	PATAS DE MAQUINA CONJUNTO	Plano	MEF 3.13
Fondo	-	Fondo	FONDO CONJUNTO	Plano	-

Aislante	76	Aislante	50 [mm] de espesor	Estandar	Analítico 3.4
Aislante	77	Protección de Aislante	Chapa de Cobre e1,5mm	Plano	Analítico 3.4
Aislante	78	Anillo Exterior	50,8 x 6305 x 3,2 [mm]	Estandar	-
Aislante	79	Anillo Exterior Incompleto	50,8 x 5890 x 3,2 [mm]	Estandar	-
Aislante	80	Anillo Interior	50,8 x 6010 x 3,2 [mm]	Estandar	-
Aislante	81	Anillo Interior Incompleto	50,8 x 5450 x 3,2 [mm]	Estandar	-
Aislante	82	Disco Superior	50,8 x 6160 x 3,2 [mm]	Estandar	-
Aislante	83	Disco Inferior	50,8 x 320 x 3,2 [mm]	Estandar	-
Aislante	84	Separador Superior	50,8 x 46,8 x 3,2 [mm]	Estandar	-
Aislante	85	Separador Intermedio	50,8 x 43,6 x 3,2 [mm]	Estandar	-
Aislante	86	Separador Inferior	101,6 x 46,8 x 3,2 [mm]	Estandar	-
Sensores	87	Temperatura	TAD981 IFM	Estandar	-
Sensores	88	Nivel	LMT100 IFM	Estandar	-
Sensores	89	Presión Diferencial	PI2797 IFM	Estandar	-

4.2 Análisis de Costos

Finalmente, se puede completar la lista de materiales con los costos de cada pieza para obtener un costo total aproximado del macerador, y se lo comparará con los precios de maceradores similares que se encuentran en el mercado. El precio de un macerador de whisky de 4000 a 5000 litros puede variar dependiendo de varios factores, como la calidad de los materiales, la complejidad del diseño, la marca, el país de origen y otros factores. Uno de los proveedores consultados es Forsyth's. Es un fabricante de equipos para la industria de bebidas alcohólicas con sede en Escocia. Ofrecen maceradores a medida para la producción de whisky. En el ámbito nacional se encontraron industrias encargadas de la elaboración de equipos de acero inoxidable, incluyendo máquinas para la industria cervecera y del whisky, como son Lucmar o Acero304, ambas de la provincia de Buenos Aires.

En general, se estima que el precio puede oscilar entre los 20.000 y los 60.000 dólares, aunque puede ser más alto o bajo dependiendo de los factores mencionados anteriormente. Es importante tener en cuenta que este precio es solo una estimación y que puede variar significativamente según el proveedor y el país de origen.

Cabe mencionar que cada proveedor maneja su propia conversión de pesos argentinos a dólares, o incluso directamente trabaja en pesos argentinos como es el caso del proveedor de sensores IFM o en euros como es el caso del proveedor de falso fondo Screen Systems. Por ejemplo, Famiq trabaja con una conversión de 225 [pesos/dólar]. Hoy en día algunos tipos de dólares alcanzan los 490 pesos argentinos. Se tomará como factor de conversión un valor de 400 [pesos/dólar]. Por este motivo, además de presentar el valor total en dólares, se presentará un valor aproximado en pesos argentinos siguiendo las conversiones de cada proveedor y finalmente se pasará de nuevo a dólares considerando una conversión de 400 [pesos/dólar] para unificar criterios.

Para aproximar el costo total de fabricación de la máquina, se deben considerar otros factores además del costo de la materia prima y de los componentes estándar. Algunos de los costos que se deben tener en cuenta incluyen:

- Mano de obra: Este es uno de los principales costos a tener en cuenta en la fabricación de la máquina. Se debe estimar el tiempo necesario para la fabricación y ensamblaje de las piezas y luego multiplicarlo por el costo por hora de los trabajadores.
- Gastos generales: También se deben considerar los gastos generales de la fábrica, como el alquiler del espacio, los costos de energía eléctrica, los gastos administrativos, entre otros.
- Transporte y envío: Si la máquina se debe enviar a otro lugar, se deben considerar los costos de transporte y envío.
- Margen de beneficio: Por último, se debe agregar un margen de beneficio para la empresa que fabrica la máquina.

Para aproximar, se considerarán estos costos como el 50% del valor total de la máquina. Por lo tanto, el valor de venta de la máquina podría ser el doble del valor de materia prima y componentes.

Subconjunto	N° de Pieza	Nombre de Pieza	Cantidad	Materia Prima / Denominación	Proveedor	Precio [dolares]
Patas	74	Pierna de Maquina	4	Caño redondo 141.30 x 6.55 304L SCH40S A312 (4 [m])	FAMIQ	2285,28
Sistema Brazos	31	Caño de Brazo con Rastrillo	1	Tubo redondo (A-554) 304L 101.6 x 2.0 (1,6 [m])	FAMIQ	174,6
Sistema Brazos	32	Caño de Brazo sin Rastrillo	1			
Toma de Grano	4	Tubo Exterior Toma de Grano	1	Tubo redondo (A-554) 304L 76.2 x 2.0 (6 [m])	FAMIQ	488,82
Patas	75	Tubo de Unión de Patas	4			
Toma de Grano	3	Tubo Interior Toma de Grano	1	Tubo redondo (A-554) 304L 50.8 x 1.5 (1 [m])	FAMIQ	30,36
Toma de Grano	8	Tubo de Techo	1			
Retorno de Mosto	59	Tubo de Retorno de Mosto	1			
Extracción de Mosto y CIP		Tubo de Extracción de Mosto y CIP	1			
CIP	15	Tubo de Bocha	2	Tubo redondo (A-554) 304L 31.7 x 1.5 (0,5 [m])	FAMIQ	12,8
Toma de Grano	2	Tubo Ingreso de Agua Toma de Grano	1	Tubo redondo (A-554) 304L 19.05 x 1.5 (2 [m])	FAMIQ	31,84
Anillo Rociador	17	Tubo de Rociador Exterior	2			
Anillo Rociador	18	Tubo de Rociador Interior	2			
Anillo Rociador	20	Tubo Curvo de Rociador	2			

Toma de Grano	5	Union Cónica	1	Planchuela cortada de chapa 2B (A-240) 304 2.0 x 101.6 mm (2 [m])	FAMIQ	58,78			
Toma de Grano	6	Union Plana	1						
Toma de Grano	7	Tolva Toma de Grano	1						
Sistema Brazos	33	Chapa Tapa de Brazo	2	Planchuela cortada de chapa 2B (A-240) 304L 3.2 x 101.6 mm (18 [m])	FAMIQ	1441,95			
Sistema Brazos	44	Filo de Cuchilla	56						
Aislante	86	Separador Inferior	13						
Sistema Brazos	39	Porta Cuchilla	8						
Sistema Brazos	43	Cuchilla	8						
Rastrillo (Sistema Brazos)	48	Chapa Trasera de Proteccion de Rastrillo	1						
Rastrillo (Sistema Brazos)	49	Chapa Delantera de Proteccion de Rastrillo	1						
Rastrillo (Sistema Brazos)	50	Chapa para Cadena en Ángulo	1						
Rastrillo (Sistema Brazos)	51	Chapa para Cadena Plana	1						
Soporte Falso Fondo	69	Chapa Central	1						
Soporte Falso Fondo	70	Chapa Lateral	2						
Aislante	78	Anillo Exterior	3				Planchuela cortada de chapa 2B (A-240) 304L 3.2 x 50.8 mm (132 [m])	FAMIQ	3072,96
Aislante	79	Anillo Exterior Incompleto	1						
Aislante	80	Anillo Interior	1						
Aislante	81	Anillo Interior Incompleto	1						
Aislante	82	Disco Superior	1						
Aislante	83	Disco Inferior	1						
Aislante	84	Separador Superior	18						
Aislante	85	Separador Intermedio	35						

Techo	1	Chapa de Cabezal Toriesférico	1	Chapa (A-240) mate 2B 304L 3.0 x 1500 x 3000	FAMIQ	1340,84
Virola	53	Chapa de Virola	1	Chapa (A-240) mate 2B 304L 6.0 x 1500 x 3000 (2)	FAMIQ	5524,3
Sistema Brazos	38	Arandela Metálica	4	Chapa (A-240) mate 2B 304L 6.0 x 1000 x 2000	FAMIQ	1227,62
Patas	72	Chapa de Protección de Patas	4			
Fondo	71	Chapa de Fondo Conico	1	Chapa (A-240) mate 2B 304L 8.0 x 1500 x 3000	FAMIQ	3682,87
Soporte Falso Fondo	65	Anillo	1			
Piso de Extracción	57	Chapa de Piso de Extracción	1			
Virola	56	Refuerzo Comp. Lat.	1	Planchuela cortada de chapa N1 (A-240) 304 12.7 x 50.8 mm (3 [m])	FAMIQ	188,94

Sistema Brazos	37	Arandela Plástica	8	Placa de HDPE 2000 x 1000 x 8 [mm]	DLS Comercial	120
Rastrillo (Sistema Brazos)	52	Cuerpo de Rastrillo	1			

Toma de Grano	9	Clamp Ingreso de Agua	1	Clamp 3/4" (7)	FAMIQ	275,1
Anillo Rociador		Clamp de Rociador	6			
Toma de Grano	10	Clamp Caño de Grano	1	Clamp 2" (3)	FAMIQ	154,23
Retorno de Mosto		Clamp Retorno de Mosto	1			
Extraccion de Mosto		Clamp Extraccion de Mosto y CIP	1			
CIP	16	Clamp de CIP	2	Clamp 1 1/4" (2)	FAMIQ	80,26
Anillo Rociador		Tee de Rociador	2	Tee para Soldar 19,05 x 2 (2)	FAMIQ	81,2
Soporte Falso Fondo	66	Angulo de Soporte Central	2	Angulo 25,4 x 6,35 [mm] (6 [m])	FAMIQ	254,7
Soporte Falso Fondo	67	Angulo de Soporte Interior	2			
Soporte Falso Fondo	68	Angulo de Soporte Exterior	2			

Sistema Brazos	40	Gancho Largo de Brazo	1	Barra redonda (A-276) 304L 12.7 [mm] (0,2 [m])	FAMIQ	17,98
Sistema Brazos	41	Gancho Corto de Brazo	1			
Piso de Extracción	58	Varilla de Compuerta	2	Barra redonda (A-276) 304L 20 [mm] (0,5 [m])	FAMIQ	8,87
Perno de Union	27	Perno de Union	1	Barra redonda (A-276) 304L 40 [mm] (2 [m])	FAMIQ	35,48
Sistema Brazos	34	Eje Pivote Superior	2			
Rastrillo (Sistema Brazos)	46	Eje Pivote Inferior	2			
Sensores	61	Cupla Sensor de Temperatura	1			
Sensores	62	Cupla Sensor de Nivel	2			
Sensores	63	Cupla Sensor de Presión	2			
Sistema Brazos	35	Buje Roscado Superior	2	Barra redonda (A-276) 304L 50 [mm] (1 [m])	FAMIQ	278,56
Rastrillo (Sistema Brazos)	47	Buje Roscado Inferior	2	Barra redonda (A-276) 304L 90 [mm] (1,5 [m])	FAMIQ	1353,6
Eje Giratorio	26	Eje Giratorio	1			
Brida Central	11	Caño Soporte Torreta	1	Barra redonda (A-276) 304L 127 [mm] (0,5 [m])	FAMIQ	962,37
Torreta	21	Caño de Torreta	1			
Cubo	30	Cubo	1			
Brida Central	12	Brida Torreta	1	Barra redonda (A-276) 316L 300 [mm] (0,1 [m])	FAMIQ	1404,04
Torreta			2			

Rastrillo (Sistema Brazos)	45	Brazo de Rastrillo	2	Barra cuadrada de 50 [mm] de AISI304 (2 [m])	FAMIQ	808,98
Toma de Hombre	13	Toma de Hombre	1	P22-210 316L Silicona pmax = 0,6 [bar] y diámetro 500 [mm]	FAMIQ	1349,89
Compuerta Lat.	54	Compuerta Lateral	1	P23-111 304L Silicona pmax = 0,6 [bar] 410 [mm] x 534 [mm]	FAMIQ	1057,71
Compuerta Lat.	55	Mirilla Plana	1	Mirilla visor plana para soldar 316L 4"	FAMIQ	434,41
CIP	14	Bocha CIP	2	Bocha de Limpieza Tipo T 316 32 (2)	FAMIQ	247,2
Patas	73	Pie de Maquina	4	Pie Regulable 330964 (4)	FAMIQ	268,52
Sistema Brazos	42	Cadena	1	Cadena eslabones soldados Ø5[mm] (2 [m])	FAMIQ	124,56

Torreta	22	Rodamiento	1	Rodamiento axial de bolas SKF 51112	SKF	70
Sistema Brazos	36	Cojinete de Fricción	4	PCM 303440 M (4)	SKF	65
Torreta	23	Reten	1	N° DBH 9444 Compuesto NBR Nitrilo y diseño Lx	DBH	6,75
Eje Giratorio	24	Chaveta	1	Chaveta DIN 6885 Largo 18 [mm]	SKOTNICA	3,75
Motor Reductor	25	Motor Reductor	1	SEW Eurodrive FAF57R37DRN63MS4	SEW EURODRIVE	625
Perno de Union	28	Oring 1	1	Oring PARKER N° 2-113	PARKER	0,25
Perno de Union	29	Oring 2	1	Oring PARKER N° 2-116	PARKER	0,25
Falso Fondo	64	Falso Fondo	1	Fondo de alambre en V en 4 partes "Flat Top" n°28 con 0,75 [mm] de S.O. y soportes de 25 x 6 [mm]	SCREEN SYSTEMS	3241,76
Aislante	76	Aislante	-	Colchoneta 3 x 1 [m] con 50 [mm] de espesor de Lana Mineral 100 [kg/m3] de densidad (5)	INCA	297
Aislante	77	Protección de Aislante	-	Chapa de cobre 600 x 2000 x 1,5 [mm] (9)	PAGANI S.A.	793,53
Sensores	87	Temperatura	1	TAD981	IFM	505,17
Sensores	88	Nivel	2	LMT100 (2)	IFM	403,52
Sensores	89	Presión Diferencial	2	PI2797 (2)	IFM	1269,40

Sumando los precios en dólares de cada fila se llega a un valor de 36.160,99 [dólares]. Pero este valor, si se desea pasar a pesos argentinos, no se puede hacer con una conversión directa, ya que como se mencionó anteriormente, algunos proveedores trabajan con una conversión de 225 [pesos/dólar] y otros trabajan al dólar oficial.

Lo que se hace entonces es convertir el valor de cada fila a pesos teniendo en cuenta la conversión que indica el proveedor y luego se suma. Se obtiene un valor de 4.982.023,1 [pesos]. Si se convierte usando 400 [pesos/dólar] se obtiene → 12.455,06 [dólares]. Si multiplicamos este valor por dos obtenemos el costo de venta aproximado de la maquina:

$$\text{Costo de venta aproximado} = 25.000 \text{ [dólares]}$$

Obteniendo así un precio dentro de lo esperado, e incluso se podría considerar barato. Si Famiq y los demás proveedores no permitieran pagar en pesos, entonces el valor real a pagar por la materia prima sería de 36.160,99 [dólares] y pasándolo a pesos se obtendrían unos 14 millones. Generando un precio de venta de unos 70.000 [dólares]. Este valor si está por encima de lo esperado.

4.3 Conclusión del Proyecto

Al principio del proyecto se habían planteado ciertos requisitos para cumplir con una destilería nacional. Se partió del conocimiento de la cantidad de malta y agua a utilizar, temperatura y tiempo del proceso. Finalizado el diseño, se puede decir que se han cumplido los objetivos técnicos, y que se cuenta con un macerador construido con materia prima y componentes estándar adquiridos en un 90-95% de industria nacional. La máquina permite producir incluso más mosto del que producía la maquina original con la incorporación de los anillos rociadores. Además, la filtración de este es más optima gracias a la inclusión de las cuchillas y al falso fondo moderno, y la extracción de bagazo es más sencilla gracias al rastrillo automático. También se han introducido bochas CIP para mejorar y facilitar la limpieza del tanque, y sensores que permiten controlar mejor las variables e incluso automatizar el proceso.

Se logró cumplir el requisito estético al cubrir toda la virola y el fondo con una chapa de cobre que acompaña muy bien al diseño clásico de los alambiques y de toda la destilería en general.

Respecto al alcance del proyecto, se cree que la maquina diseñada no solo puede cubrir las necesidades de una destilería mediana, sino que incluso permite una futura ampliación en cuanto a la producción, pudiendo aumentar la masa de malta puesta en juego, variando la relación malta:agua o utilizando otros tipos de granos. A lo largo del informe también se fueron presentado distintas opciones de diseño o alternativas para agregar al diseño actual, pensando en posibles futuras mejoras a la máquina, como puede ser el caso de utilizar sprinklers en el anillo rociador o el buje de restricción de desplazamientos del eje giratorio.

Los estudios y análisis realizados en CFD y en MEF permitieron optimizar muchas de las piezas del equipo. Como síntesis de estos análisis, se puede decir que la zona critica es la relacionada al pivote del rastrillo en el brazo giratorio. Le sigue el eje giratorio y el perno de unión.

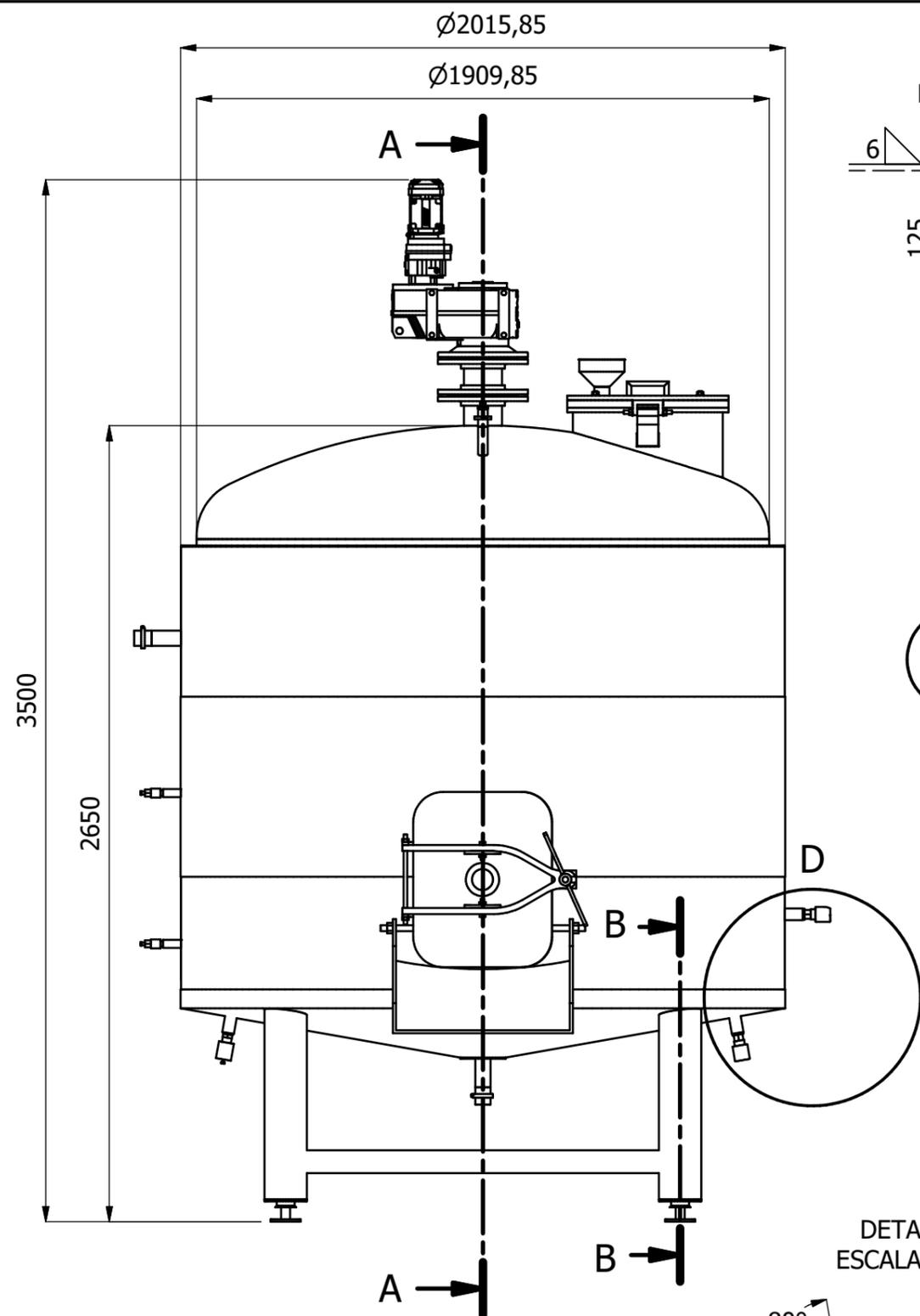
Para finalizar, quiero agradecer a los profesores de la catedra por acompañarme a lo largo del año 2022 y principios del 2023 con todas las dudas relacionadas al diseño.

5. Anexo: Planimetría

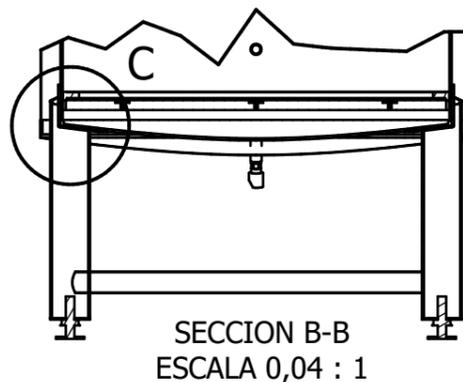
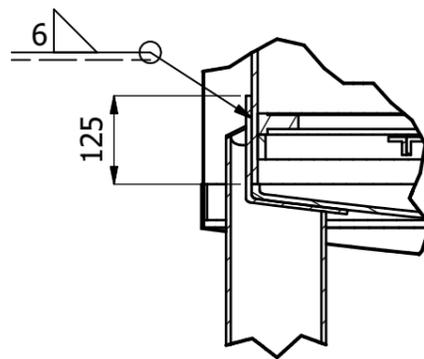
Se requieren 41 planos para la completa definición de la máquina. Incluye un plano de conjunto, 4 planos de subconjuntos principales, 12 planos de subconjuntos secundarios (componentes de los subconjuntos principales) y 24 planos de piezas. Éste número sirve para denominar a cada plano y se indica en el rótulo. En el marco de este proyecto final, se presentan los planos del conjunto y de los cuatro subconjuntos principales. Además, se incluyen los planos de la torreta y el eje giratorio, por contar con indicaciones de soldaduras y tolerancias. Los planos presentados irán en negrita en la siguiente tabla (el número de pieza es dentro de la planimetría y no coincide con el número de pieza dado en la lista de materiales cargado anteriormente):

N° Plano	Título	N° Conjunto	N° Subconjunto Principal	N° Subconjunto Secundario	N° Pieza
1	Macerador de Whisky	1	-	-	-
2	Cabezal	-	1	-	-
3	Sistema Giratorio	-	2	-	-
4	Virola	-	3	-	-
5	Fondo	-	4	-	-
6	Chapa de Cabezal	-	-	-	1
7	Brida Central (Cabezal)	-	-	1	-
8	Anillo Rociador (Cabezal)	-	-	2	-
9	Tubo Curvo (Anillo Rociador)	-	-	-	2
10	Toma de Grano (Cabezal)	-	-	3	-
11	Tubo Interior (Toma de Grano)	-	-	-	3
12	Unión Cónica (Toma de Grano)	-	-	-	4
13	Unión Plana (Toma de Grano)	-	-	-	5
14	Tolva de Grano (Toma de Grano)	-	-	-	6
15	Torreta (Sistema Giratorio)	-	-	4	-
16	Brida de Torreta	-	-	-	7
17	Tubo de Torreta	-	-	-	8
18	Eje Giratorio	-	-	-	9
19	Perno de Unión	-	-	-	10
20	Cubo	-	-	-	11
21	Brazo sin Rastrillo (Sistema Giratorio)	-	-	5	-
22	Brazo con Rastrillo (Sistema Giratorio)	-	-	6	-
23	Rastrillo (Brazo con Rastrillo)	-	-	7	-
24	Eje Pivote Superior	-	-	-	12
25	Buje Roscado Superior	-	-	-	13
26	Eje Pivote Inferior	-	-	-	14
27	Buje Roscado Inferior	-	-	-	15
28	Porta Cuchilla con Tuercas (Sist. Girat.)	-	-	8	-
29	Cuchilla con Filos (Sistema Giratorio)	-	-	9	-
30	Chapa de Virola	-	-	-	16
31	Soporte de Falso Fondo (Virola)	-	-	10	-
32	Compuerta Lateral (Virola)	-	-	11	-
33	Chapa Refuerzo de Virola	-	-	-	17
34	Chapa Piso de Extracción	-	-	-	18
35	Chapa de Protección de Aislante 1	-	-	-	19
36	Chapa de Protección de Aislante 2	-	-	-	20
37	Chapa de Protección de Aislante 3	-	-	-	21
38	Chapa de Fondo	-	-	-	22
39	Chapa de Protección de Aislante 4	-	-	-	23
40	Pierna de Maquina (Fondo)	-	-	12	-
41	Chapa de Protección de Pierna	-	-	-	24

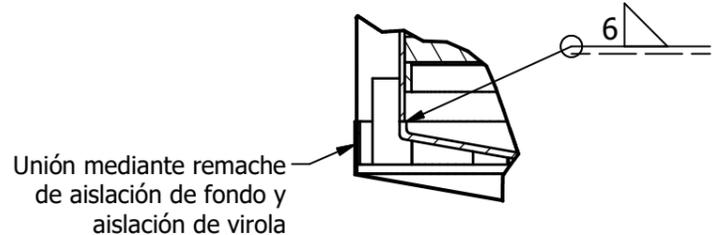
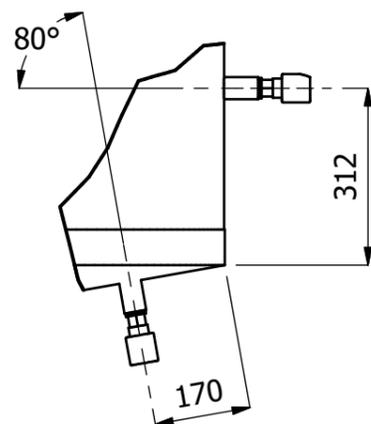
Tolerancias Generales:
ISO 2768 - mH



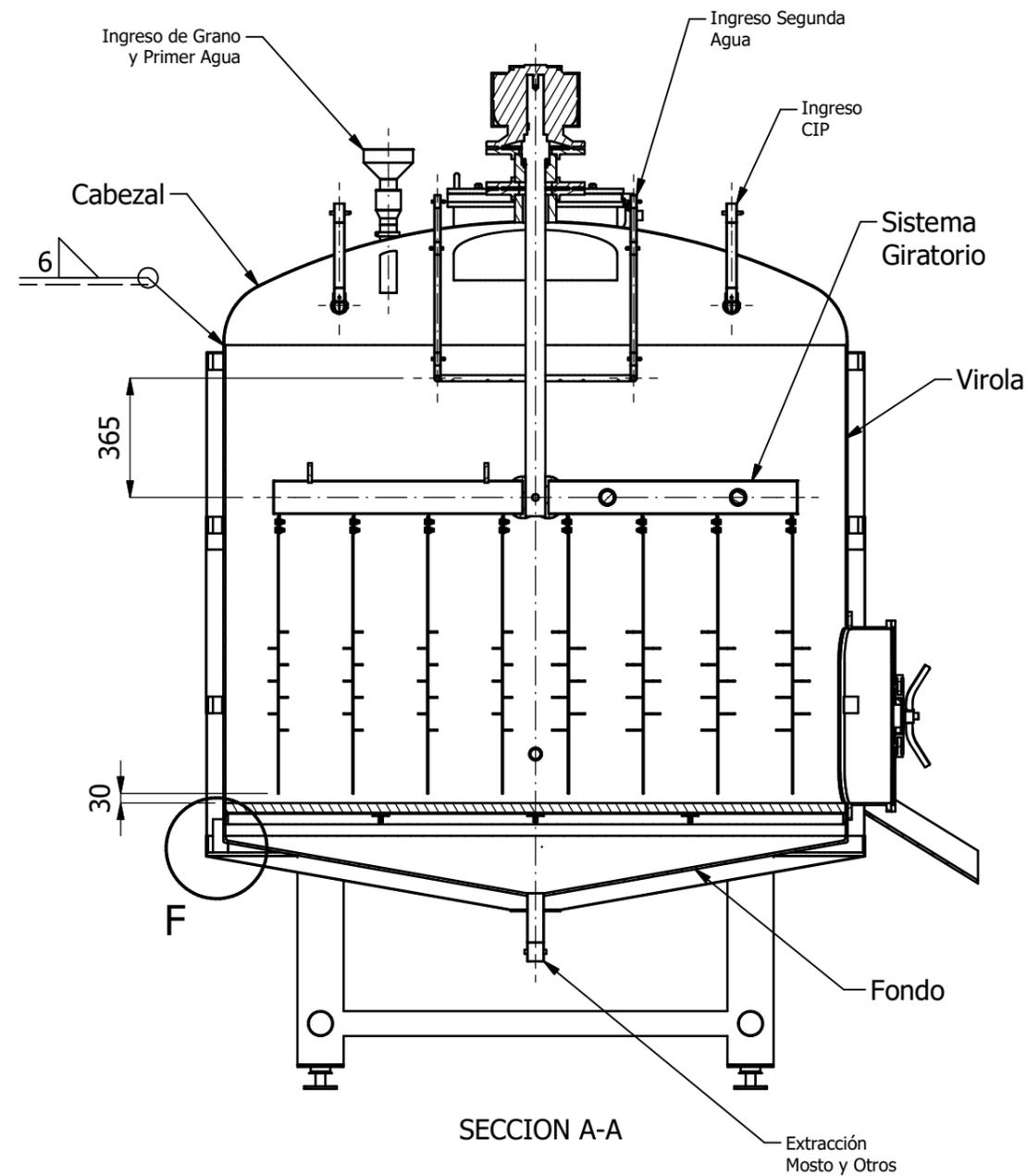
DETALLE C Unión ESCALA 0,1 : 1 Tanque - Piernas



DETALLE D Sensores de ESCALA 0,08 : 1 Presión

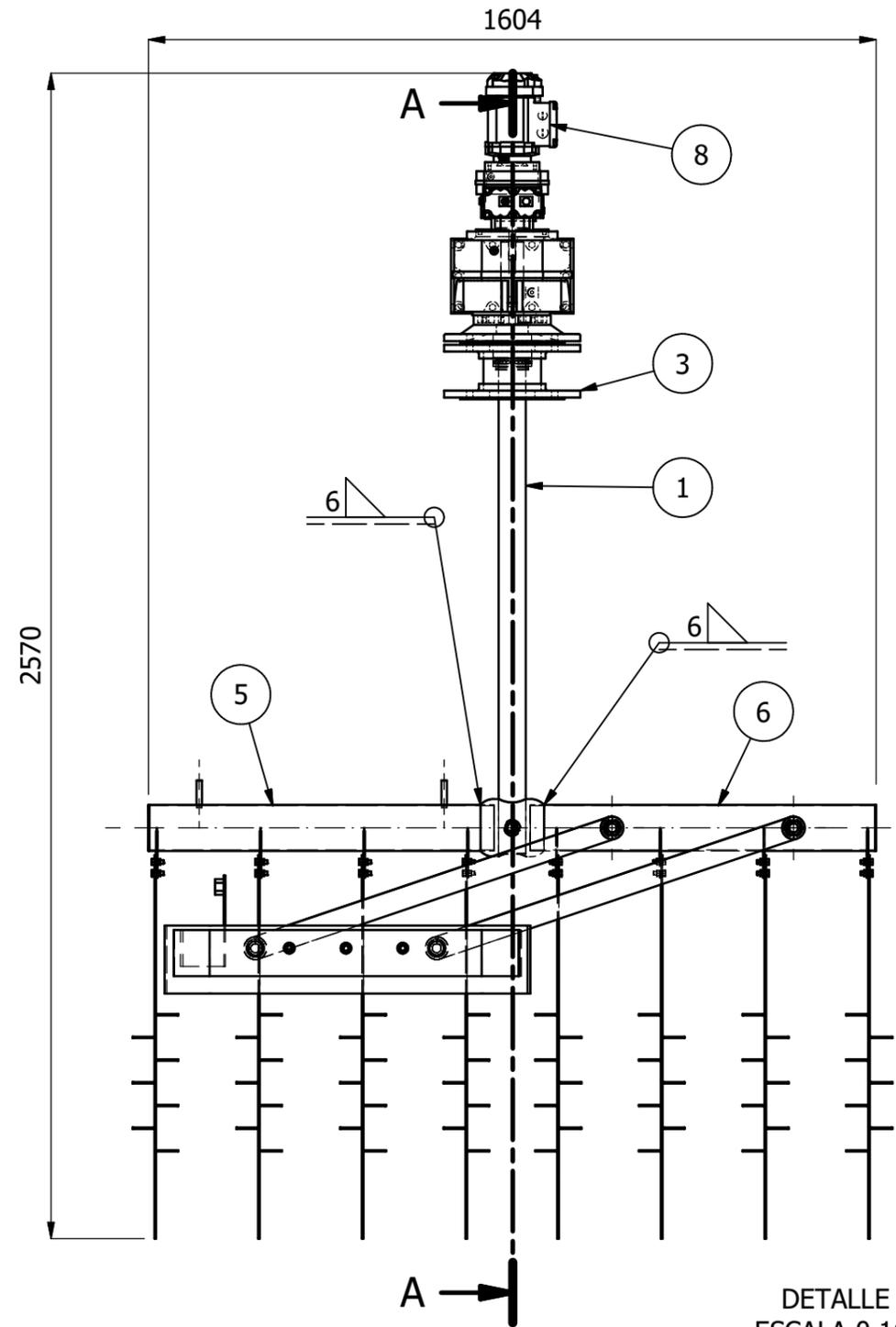


DETALLE F Unión ESCALA 0,12:1 Virola - Fondo

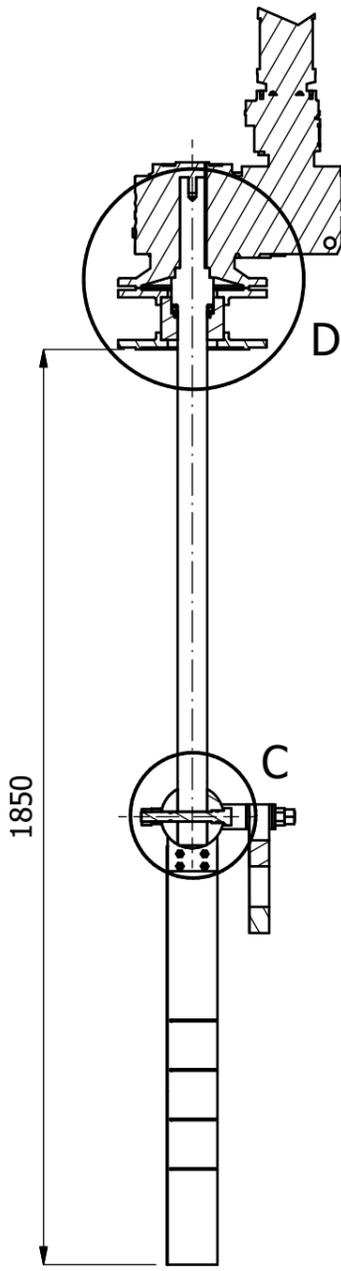


Obs. Solo se indican las soldaduras y dimensiones entre subconjuntos.	Fecha	Nombre	Profesores:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRSF	
	Dibujante	15/05/23	Zaghis		Monti, Ruben
	Revisión				Benzi, Sebastian
	Aprobación				Brunas, Cristian
	Escala 0,05 : 1	Proyecto: MACERADOR DE WHISKY			Masa: 1500 [kg]
	Titulo: MACERADOR DE WHISKY		Nº Conjunto: 1		
A3			Nº Plano: 1		

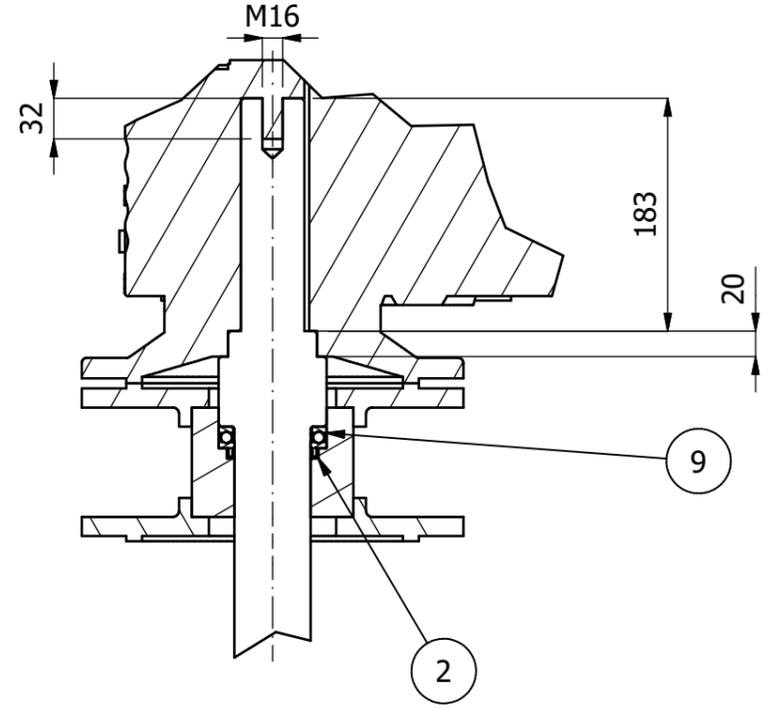
Tolerancias Generales:
ISO 2768 - mH



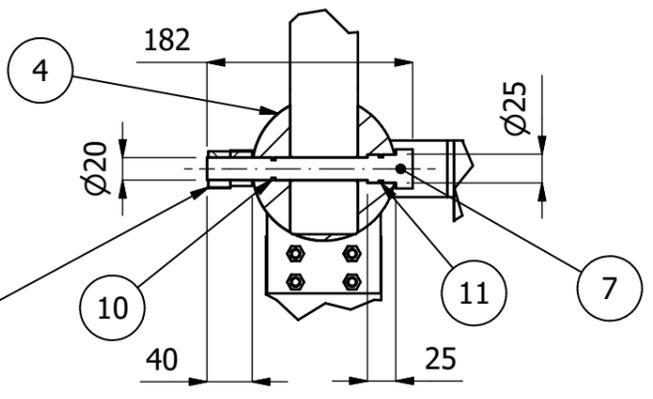
SECCION A-A



DETALLE D
ESCALA 0,18 : 1



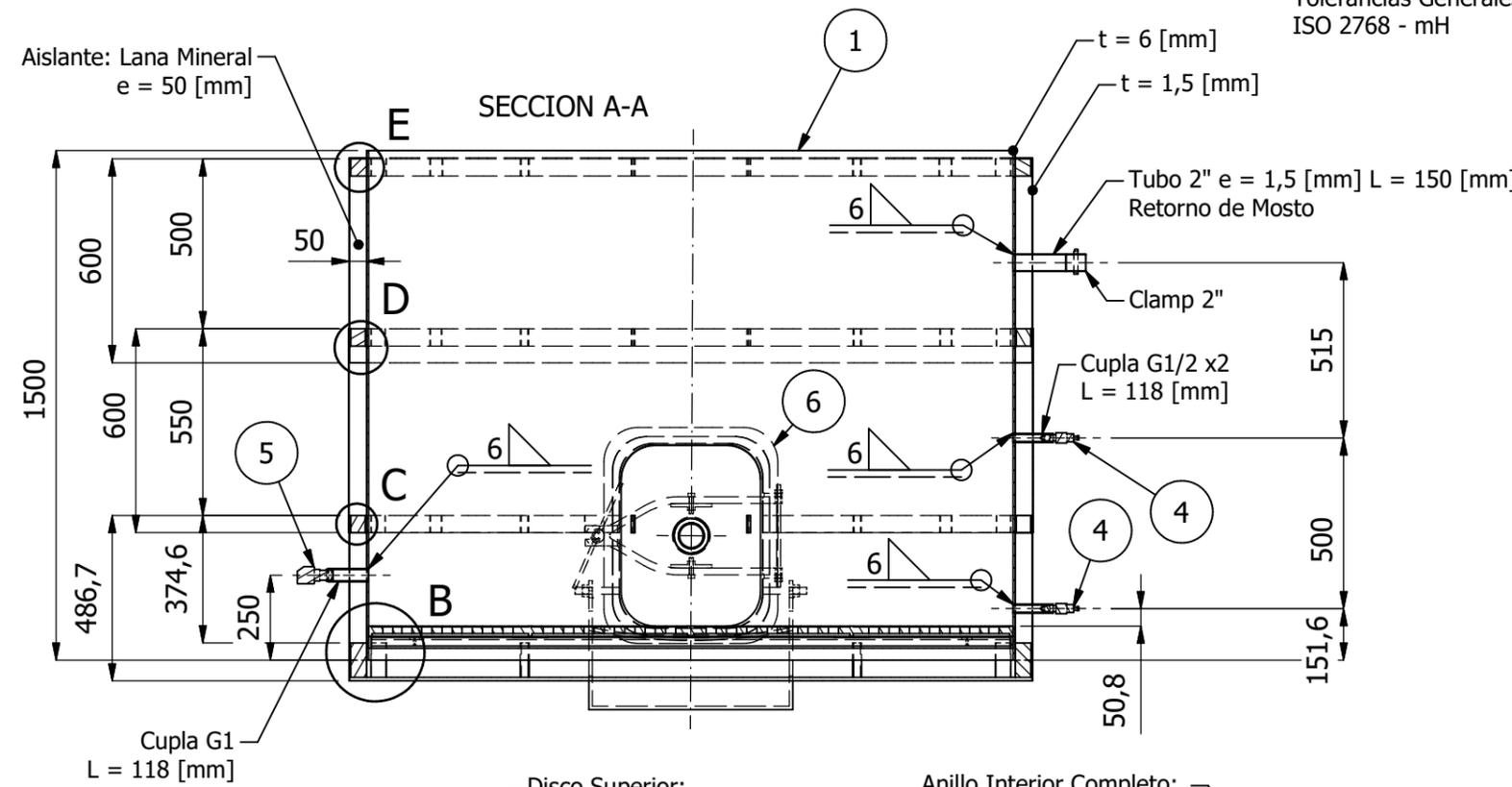
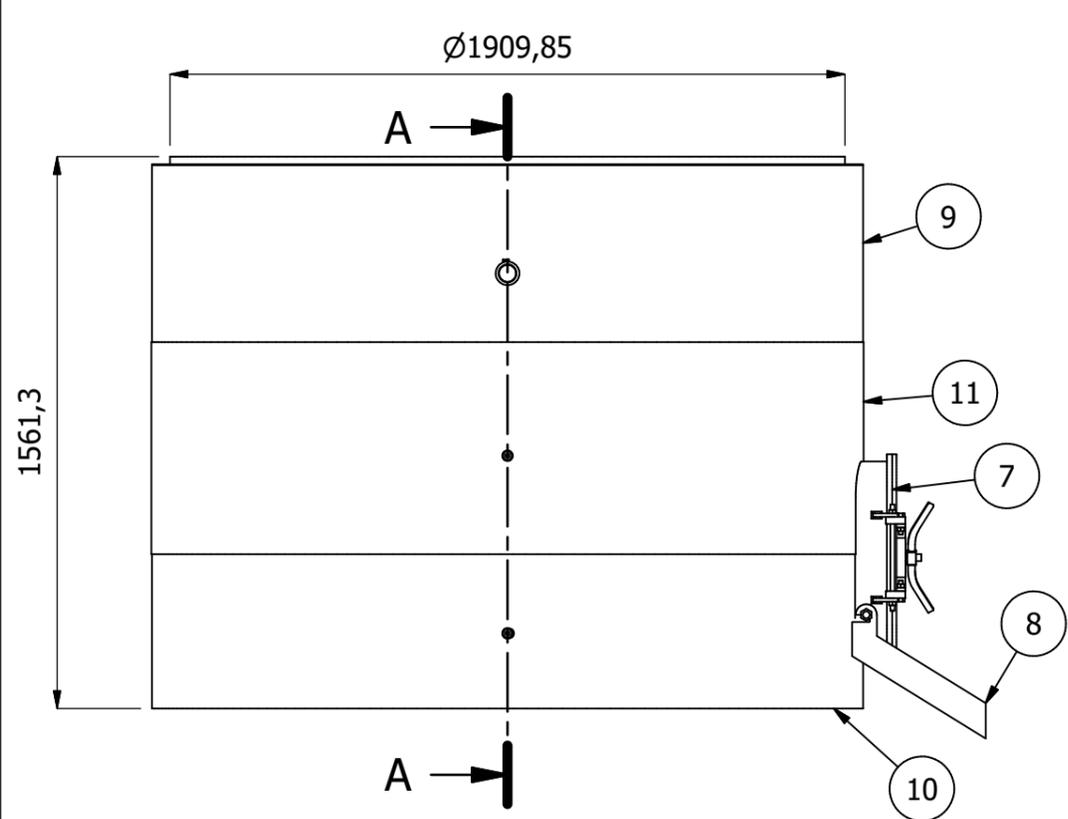
DETALLE C
ESCALA 0,16 : 1



PARTS LIST					
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
1	1	Eje Giratorio	Plano 18 - Pieza	AISI304L	28 kg
2	1	Reten	DBH 9444	-	-
3	1	Torreta	Plano 15 - Subconjunto	-	23 kg
4	1	Cubo	Plano 20 - Pieza	AISI304L	5 kg
5	1	Brazo sin Rastrillo	Plano 21 - Subconjunto	-	20 kg
6	1	Brazo con Rastrillo	Plano 22 - Subconjunto	-	60 kg
7	1	Perno de Union	Plano 19 - Pieza	AISI304L	0,5 kg
8	1	Motor Reductor	FAF77R37DRN63M4 SEW Eurodrive	-	75 kg
9	1	Rodamiento Axial de Bolas	SKF 51112	-	-
10	1	Oring 1	Parker 2-113	-	-
11	1	Oring 2	Parker 2-116	-	-
12	1	Chaveta	DIN 6885	-	-

Obs. Las piezas no acotadas o detalladas forman parte de un subconjunto mas pequeño y se especificaran en el plano corresp.	Fecha	Nombre	Profesores: Monti, Ruben Benzi, Sebastian Brunas, Cristian	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRSF	
	Dibujante	15/05/23			Zaghis
	Revisión				
	Aprobación				
	Escala 0,07 : 1	Proyecto: MACERADOR DE WHISKY		Masa: 220 [kg]	
A3	Titulo: SISTEMA GIRATORIO		Nº Subconjunto Principal: 2		
			Nº Plano: 3		

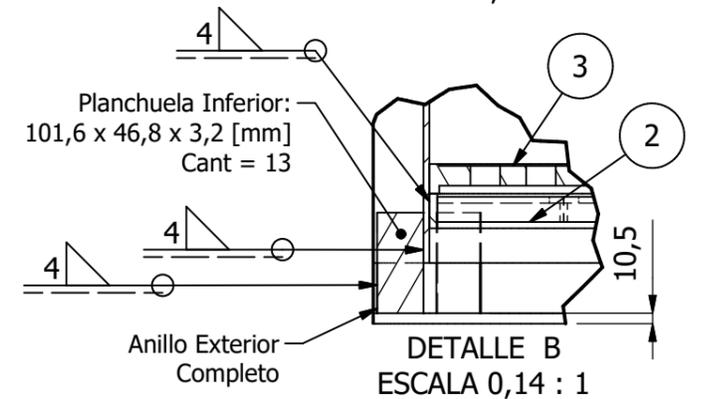
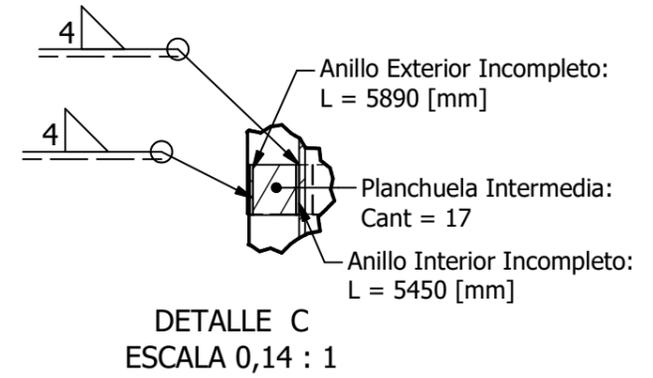
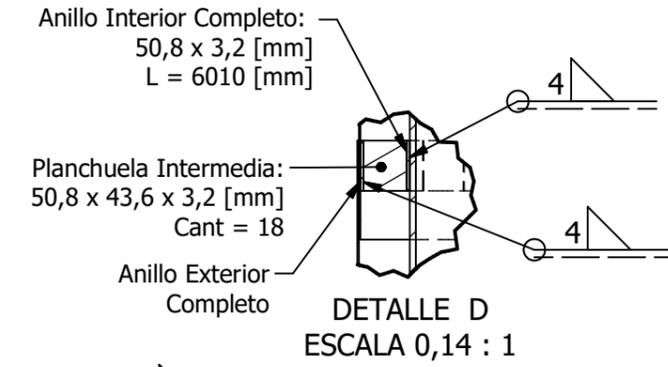
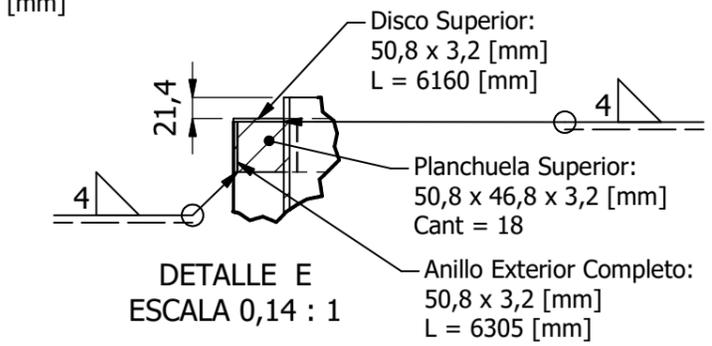
Tolerancias Generales:
ISO 2768 - mH



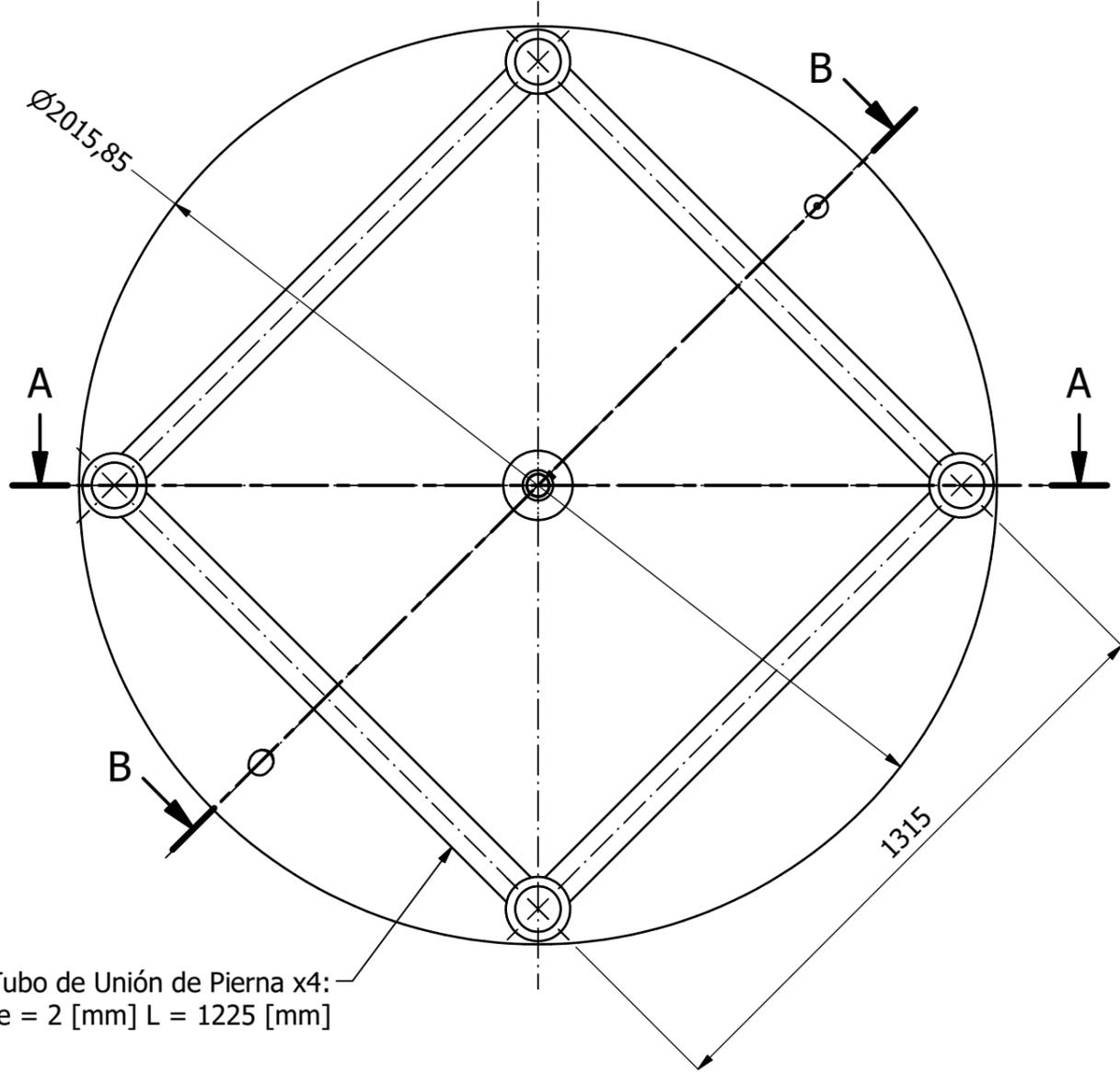
Nota: Las uniones entre chapas de aislación y anillos exteriores se realizan mediante remaches. Todas las planchuelas y anillos son de AISI304L. El refuerzo de virola se suelda a la chapa de virola.

PARTS LIST

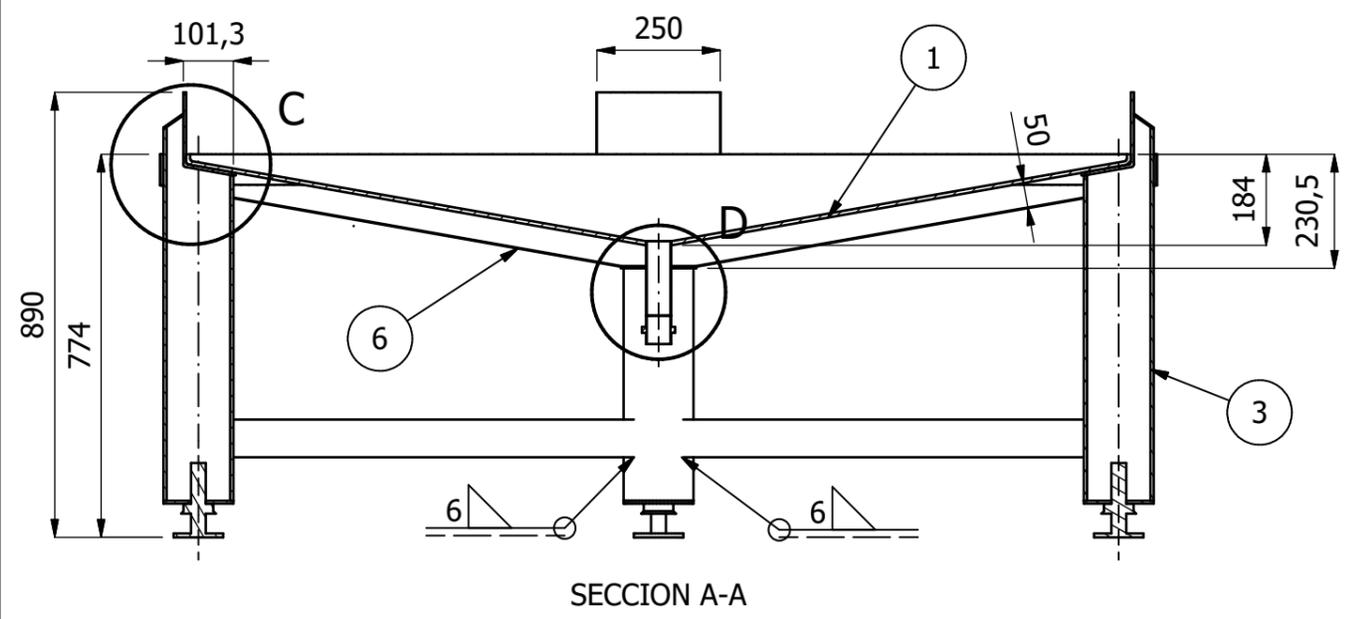
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
1	1	Chapa de Virola	Plano 30 - Pieza - Chapa plegada y soldada - 3000 x 1500 x 6 [mm]	AISI304L	420 kg
2	1	Soporte Falso Fondo	Plano 31 - Subconjunto	-	76,5 kg
3	1	Falso Fondo	Fondo de alambre en V Flat Top n°28	-	80 kg
4	2	Sensor Nivel	LMT100 IFM	-	-
5	1	Sensor Presion	PI2797 IFM	-	-
6	1	Refuerzo de Virola	Plano 33 - Pieza - Chapa conformada 511,6 x 635,6 x 12,7 [mm]	AISI304	18 kg
7	1	Compuerta Lateral	Plano 32 - Subconjunto	-	20 kg
8	1	Piso de Extraccion	Plano 34 - Pieza - Chapa conformada 900 x 450 x 10 [mm]	AISI304L	22,5 kg
9	1	Chapa de Protección Aislante 1	Plano 35 - Pieza - Chapa conformada 600 x 2000 x 1,5 [mm]	Cobre	50 kg
10	1	Chapa de Protección Aislante 2	Plano 36 - Pieza - Chapa conformada 600 x 2000 x 1,5 [mm]	Cobre	40 kg
11	1	Chapa de Protección Aislante 3	Plano 37 - Pieza - Chapa conformada 600 x 2000 x 1,5 [mm]	Cobre	50 kg



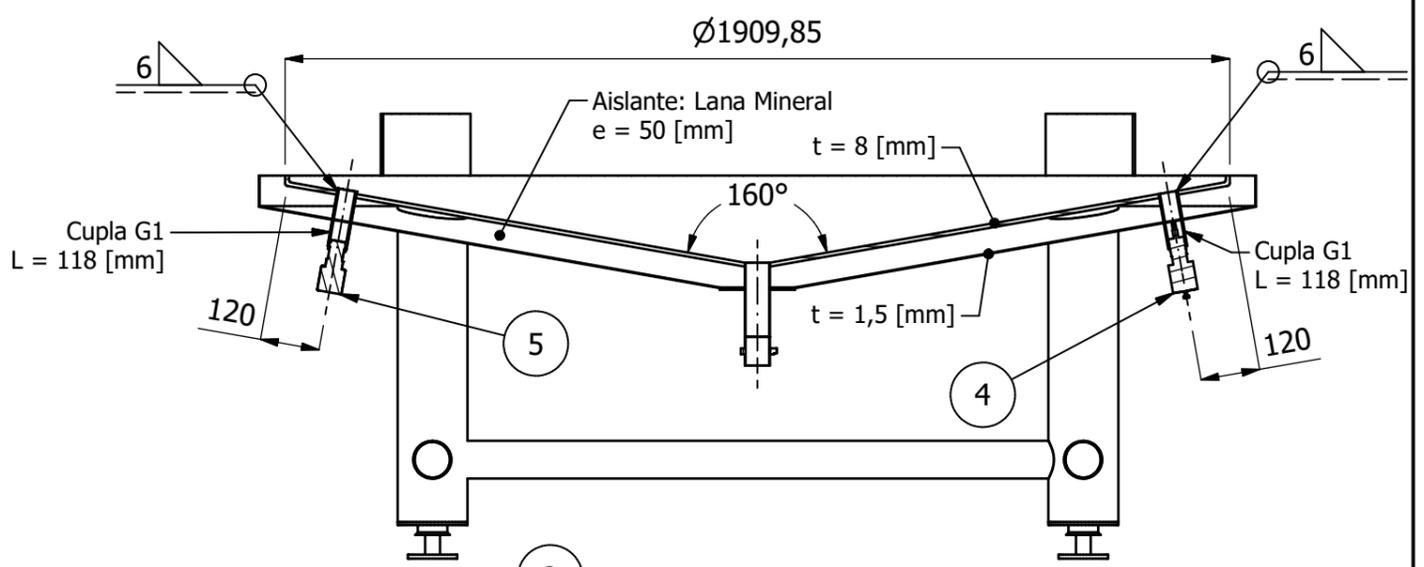
Obs. Las piezas no acotadas o detalladas forman parte de un subconjunto mas pequeño y se especificaran en el plano corresp.	Fecha	Nombre	Profesores:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRSF	
	Dibujante	16/05/23	Zaghis		Monti, Ruben
	Revision				Benzi, Sebastian
	Aprobacion				Brunas, Cristian
	Escala	Proyecto:	MACERADOR DE WHISKY		Masa: 640 [kg]
	0,05 : 1	Titulo:		Nº Subconjunto Principal: 3	
	A3	VIROLA		Nº Plano: 4	



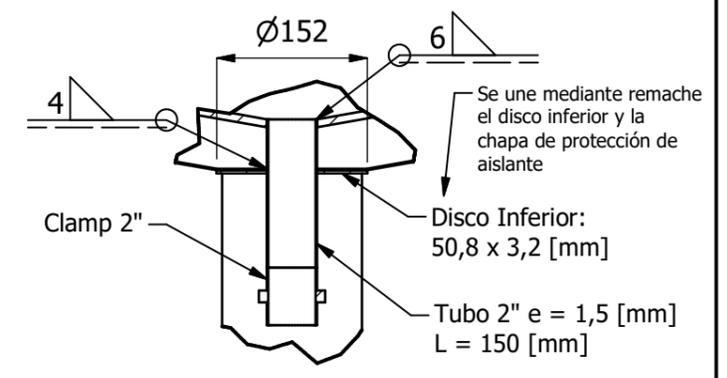
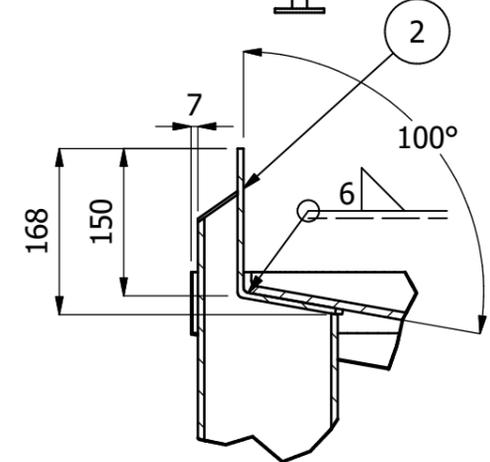
Tubo de Unión de Pierna x4:
 3" e = 2 [mm] L = 1225 [mm]



Tolerancias Generales:
 ISO 2768 - mH



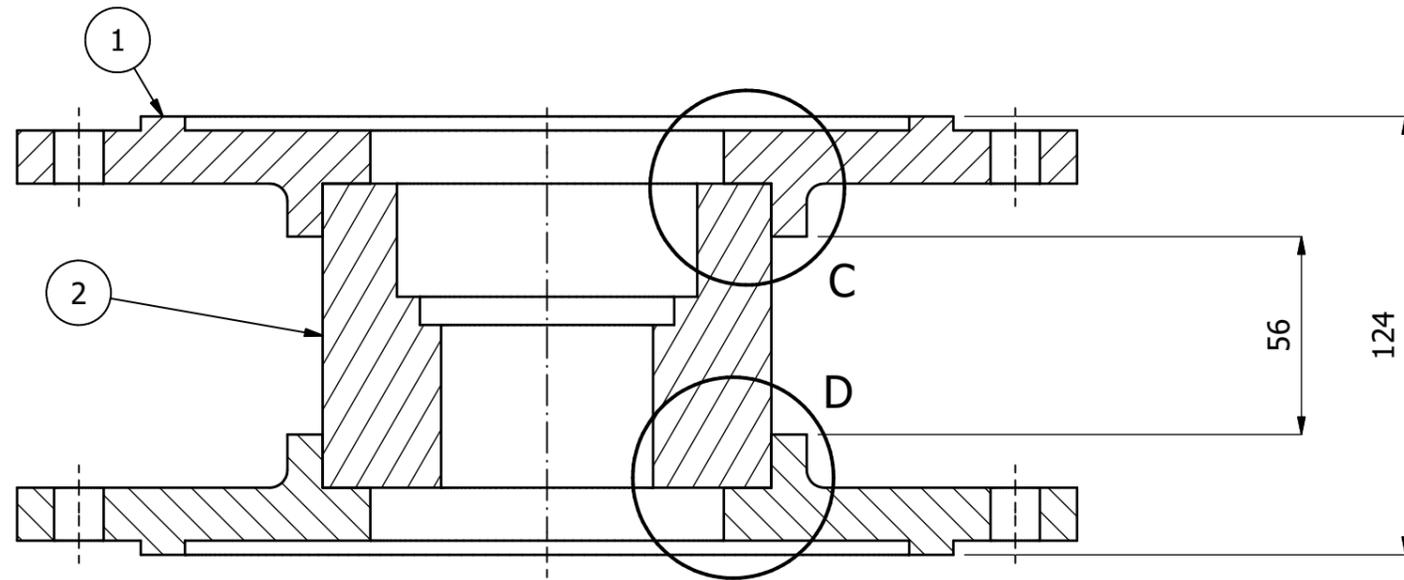
SECCION B-B



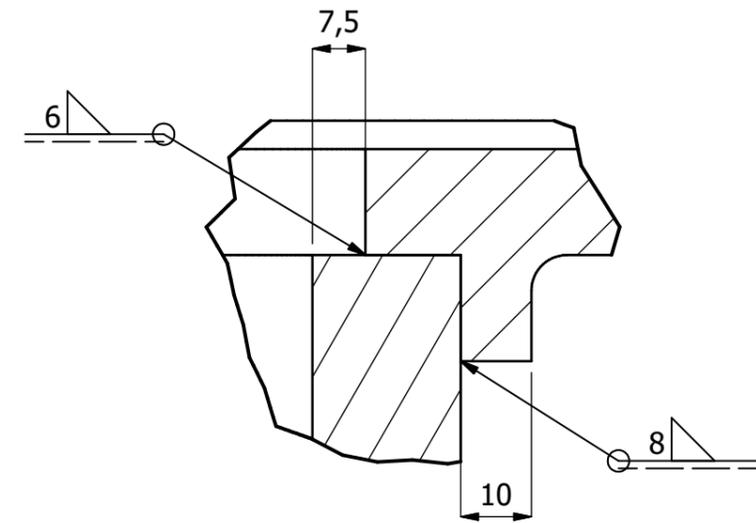
DETALLE D
 ESCALA 0,14 : 1

PARTS LIST					
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
1	1	Chapa de Fondo Conico	Plano 38 - Pieza - Chapas dobladas y soldadas - Cono e = 8 [mm]	AISI304L	193 kg
2	4	Chapa de Proteccion de Pierna	Plano 41 - Pieza - Chapa conformada 250 x 250 x 6 [mm]	AISI304L	3 kg
3	4	Pierna de Maquina	Plano 40 - Subconjunto	-	18 kg
4	1	Sensor Temperatura	TAD981 IFM	-	-
5	1	Sensor Presion	PI2797 IFM	-	-
6	1	Chapa de Proteccion de Aislante 4	Plano 39 - Pieza - Chapa Conformada 600 x 2000 x 1,5 [mm]	Cobre	50 kg

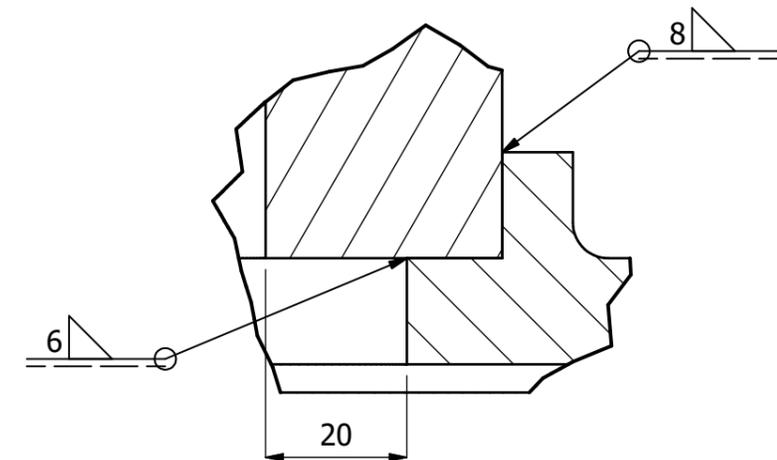
Obs. Las piezas no acotadas o detalladas forman parte de un subconjunto mas pequeño y se especificaran en el plano corresp.	Fecha	Nombre	Profesores: Monti, Ruben Benzi, Sebastian Brunas, Cristian	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRSF
	Dibujante	Zaghis		
	Revision			
	Aprobacion			
	Escala 0,07 : 1	Proyecto: MACERADOR DE WHISKY	Masa: 330 [kg]	
	Titulo: FONDO	Nº Subconjunto Principal: 4		
A3		Nº Plano: 5		



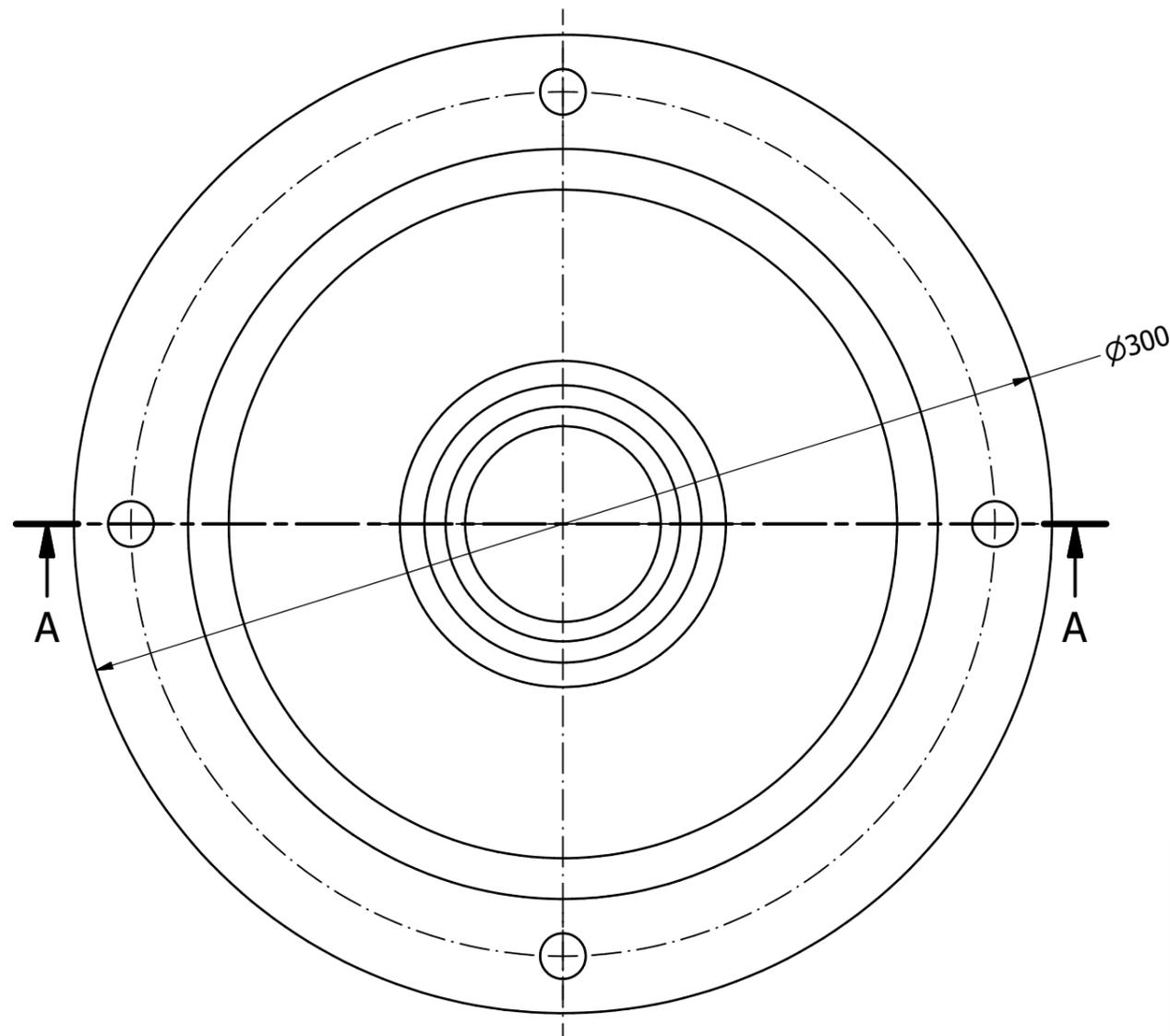
SECTION A-A



DETALLE C
ESCALA 1 : 1

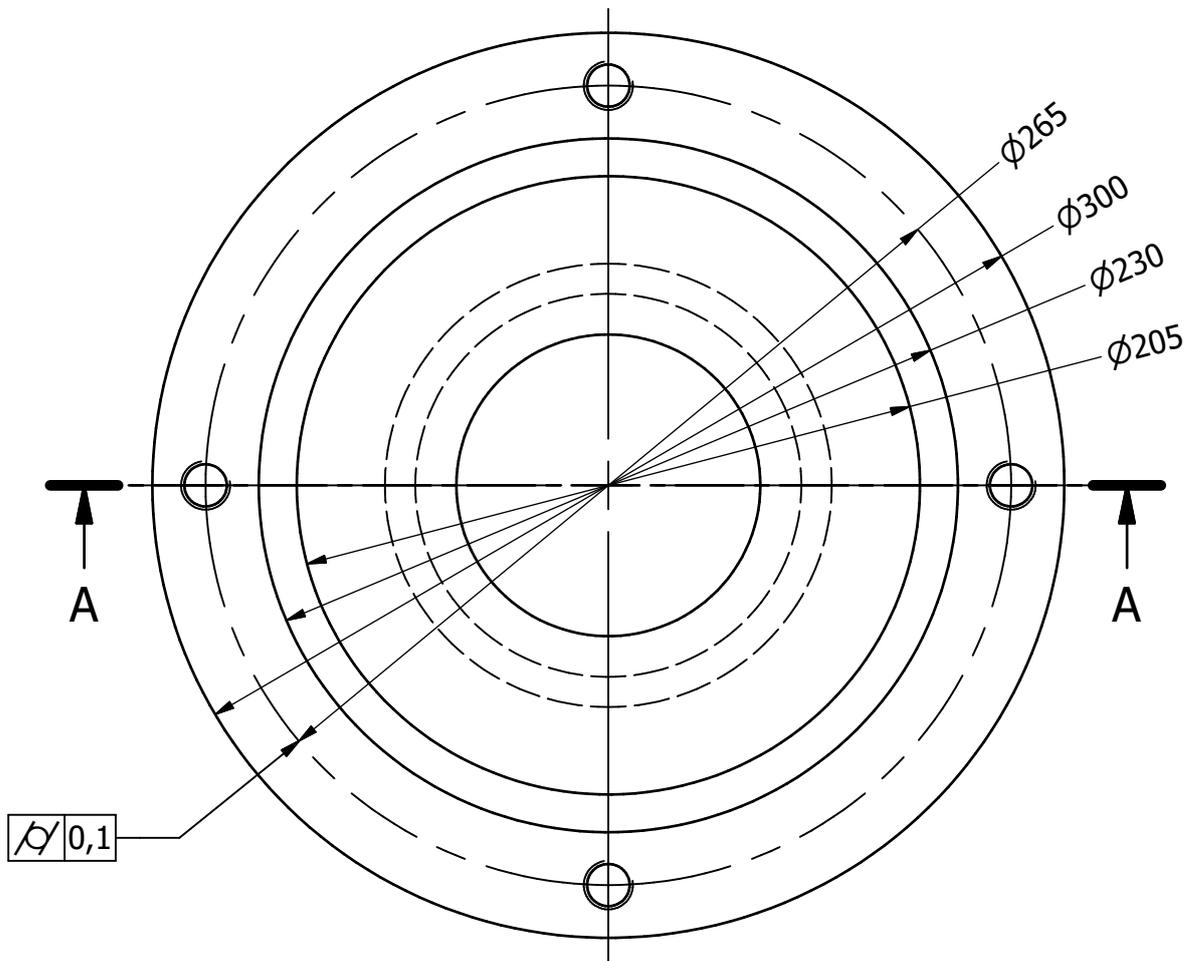
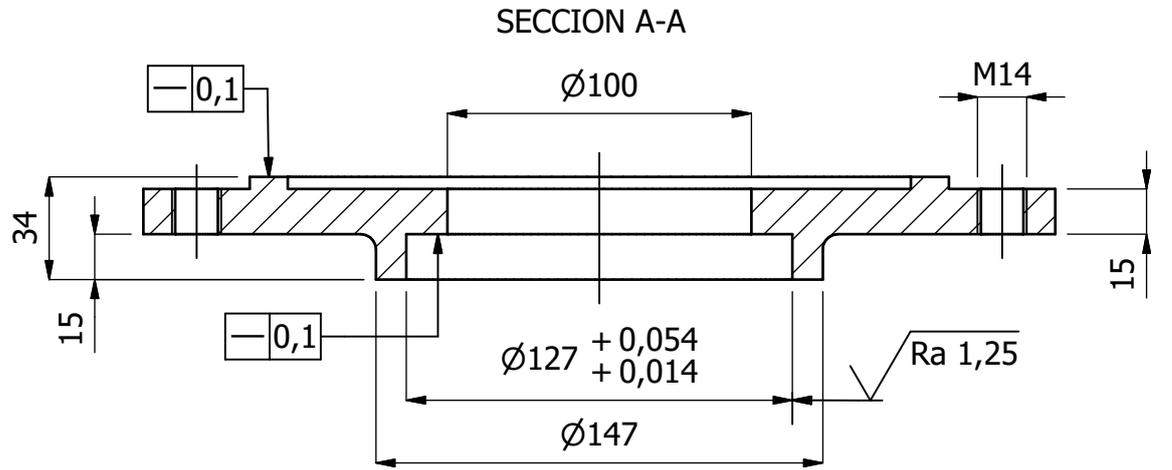


DETALLE D
ESCALA 1 : 1

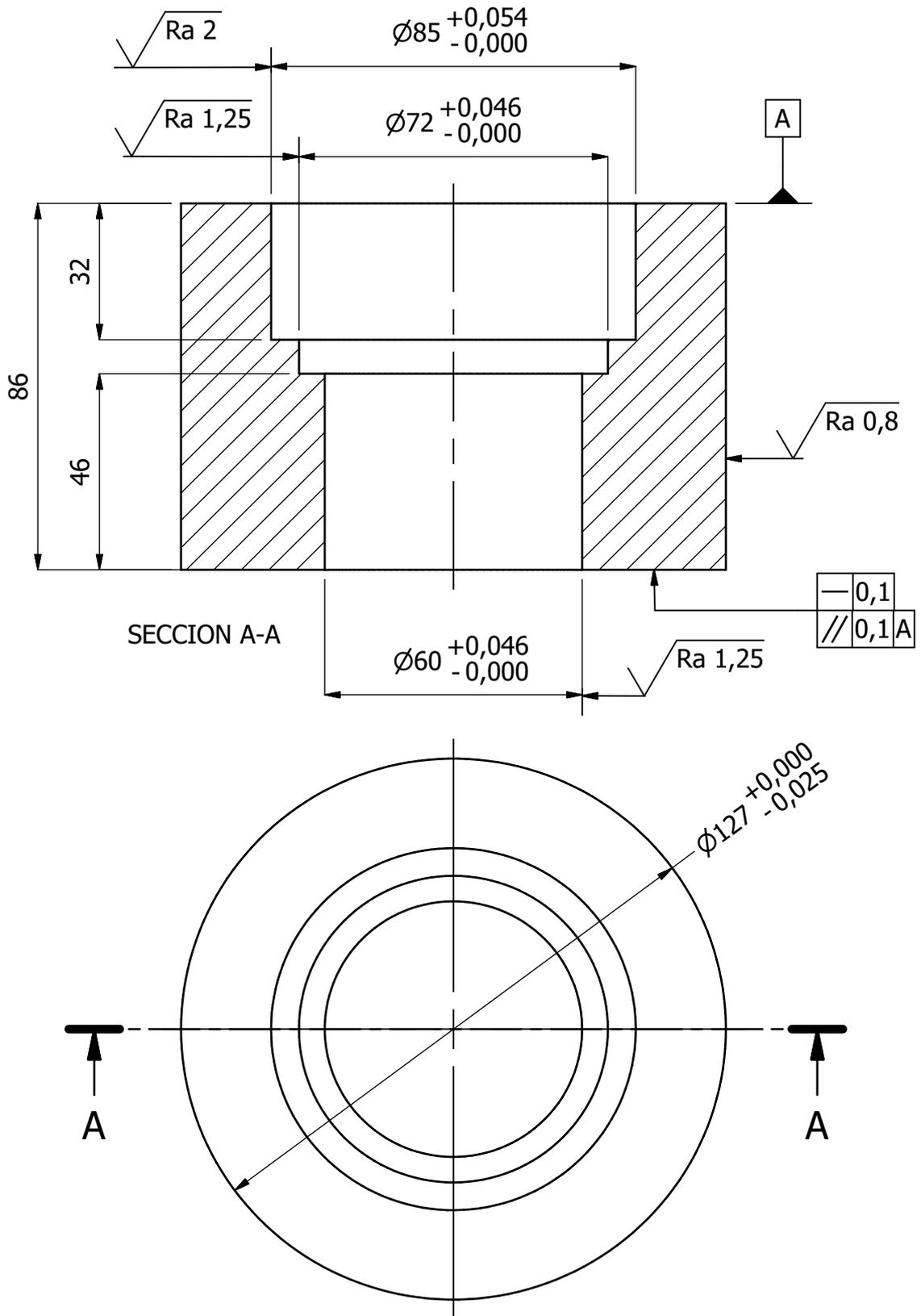


PARTS LIST					
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	MASS
1	2	Brida de Torreta	Plano 16 - Pieza	AISI316L	8,5 kg
2	1	Tubo de Torreta	Plano 17 - Pieza	AISI304L	6 kg

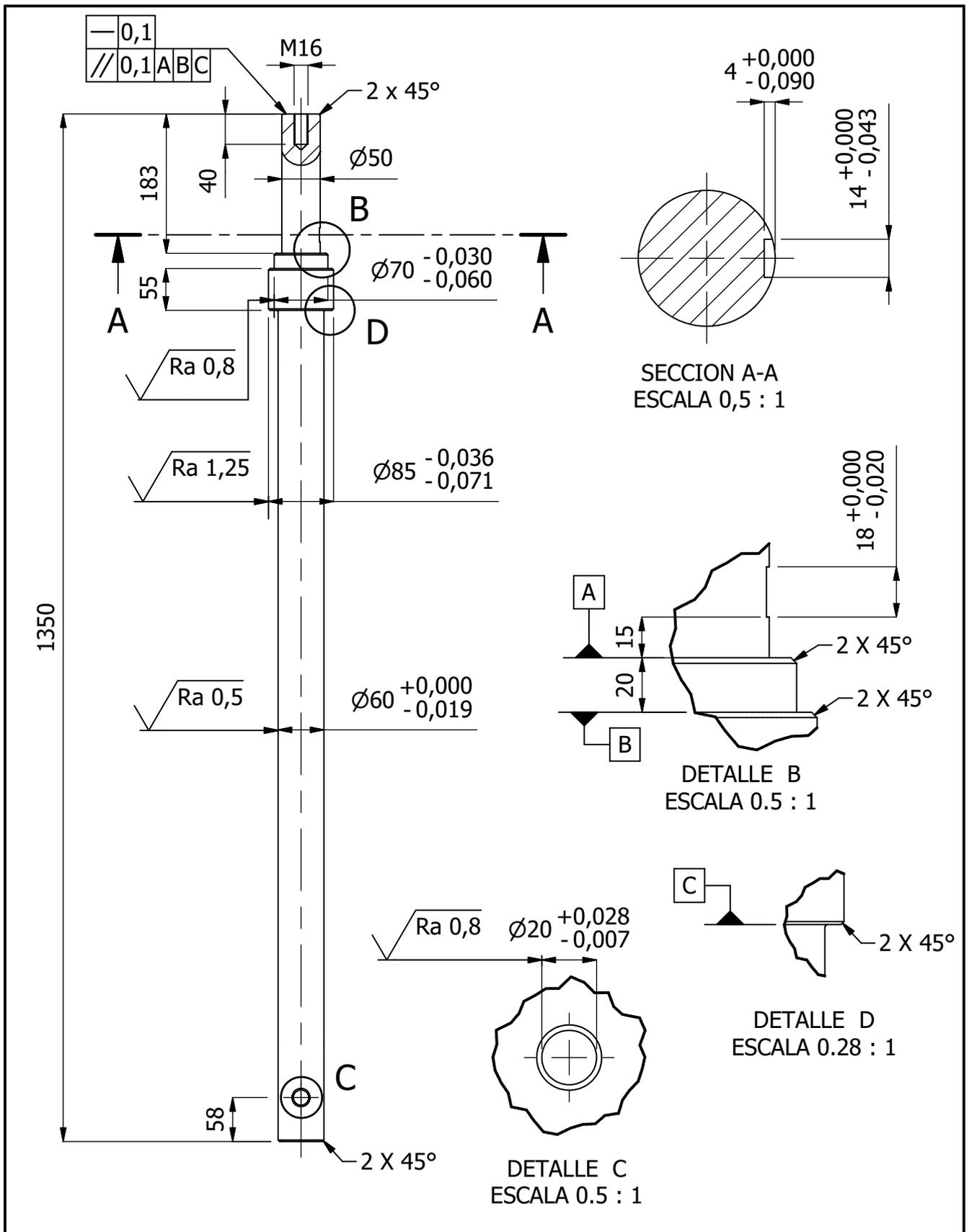
Obs. Las tolerancias dimensionales y geométricas de cada pieza se indican en el plano corres.	Fecha	Nombre	Profesores: Monti, Ruben Benzi, Sebastian Brunas, Cristian	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRSF	
	Dibujante	17/05/23			Zaghis
	Revision				
	Aprobacion				
	Escala 1 / 2	Proyecto: MACERADOR DE WHISKY		Masa: 23 [kg]	
		Titulo: TORRETA		Nº Subconjunto Secundario: 4	
A3			Nº Plano: 15		



Tolerancias Generales ISO 2768 - mH $\sqrt{6,4}$		Fecha	Nombre	Profesores:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRSF
	Dibujante	18/05/23	Zaghis	Monti, Ruben	
	Revisión			Benzi, Sebastian	
	Aprobación			Brunas, Cristian	
	Escala 0,4:1	Proyecto: MACERADOR DE WHISKY			
	Titulo: BRIDA DE TORRETA			Nº Pieza: 7	
A4				Nº Plano: 16	



Tolerancias Generales ISO 2768 - mH √ 6,4		Fecha	Nombre	Profesores:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRSF
	Dibujante	18/05/23	Zaghis	Monti, Ruben	
	Revisión			Benzi, Sebastian	
	Aprobación			Brunas, Cristian	
	Escala 0,7:1	Proyecto: MACERADOR DE WHISKY			Material: AISI304L
	Titulo: TUBO DE TORRETA			Nº Pieza: 8	
A4				Nº Plano: 17	



Tolerancias Generales ISO 2768 - mH $\sqrt{3,2}$		Fecha	Nombre	Profesores:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FRSF
	Dibujante	18/05/23	Zaghis	Monti, Ruben	
	Revisión			Benzi, Sebastian	
	Aprobación			Brunas, Cristian	
	Escala 0,14 : 1	Proyecto: MACERADOR DE WHISKY			
	Titulo: EJE GIRATORIO			Nº Pieza: 9	
A4				Nº Plano: 18	

6. Bibliografía

- NORMAS:

Código Alimentario Argentino: [Código Alimentario Argentino | Argentina.gob.ar](#)

Código ASMA: Manual de Recipientes a Presión.

- ELABORACIÓN DE WHISKY:

<https://titowhisky.com/2020/10/09/elaboracion-del-whisky/>

How Whisky is made - 3D: <https://www.youtube.com/watch?v=kNW2TJAQrCE>

[¿Cómo hacer whisky casero? ¡Para principiantes! \(Receta e ingredientes\) \(losvinos.com.ar\)](#)

- MALTA:

[¿Qué es una malta modificada? - Cervezodromo](#)

- MACERACIÓN y FILTRADO:

[Mash - an overview | ScienceDirect Topics](#)

[Info - Food Fermentation - Brewiki](#)

[Conoce los Métodos de Macerado - Che!Cerveza \(checerveza.com\)](#)

[Single Malt Scotch Whisky Production - Mashing \(diffordsguide.com\)](#)

[Mash course - Whisky Magazine](#)

[Batch Sparging Analysis - German brewing and more \(braukaiser.com\)](#)

[Mashing and Sparging Methods | MoreBeer](#)

- VELOCIDAD DE AGITACIÓN EN MACERADO:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308503703472>

[difference between lauter tun and mash tun - ProBrewer Discussion Board](#)

[Lauter Tun Run off - ProBrewer Discussion Board](#)

- SISTEMA DE CONTROL:

[Lauter Tun control | MLogics \(mlogics-automation.com\)](#)

[Introduction of DP in Lauter tun and the solutions to control it | Tiantai® 2-150bbl Brewery Equipment Proposal \(craftbreweryequipment.com\)](#)

[Mash tun | JUMO Process Control, Inc. \(jumousa.com\)](#)

[Handheld Digital Mash Tun Brewing Thermometer - Reotemp Brew](#)

[Best Thermometer For Monitoring Temperature In A Mash Tun – BeerCreation.com](#)

Sensores: [Inicio - ifm](#)

- PRODUCTOS SIMILARES:

[Olla Mash Tun de 75 Litros con Brazo Sparging | Inoximexico](#)

[Encuentre whisky mash tun energéticamente eficientes - Alibaba.com](#)

[Tanque-Lauter 1,900 L Nominales \(1,500L Útiles Cóncavo\) | Inoximexico](#)

[Cuba-filtro fabricantes y proveedores - productos personalizados - Jiangsu Prettech maquinaria y tecnología Co., Ltd \(prettechtank.com\)](#)

[200L Lab Brewery - China Brewing Equipment](#)

[The best diameter lauter tun | TIANTAI® 1-200hl Brewery Equipment Proposal \(brewerybeerequipment.com\)](#)

[Cerveza - \(medelinox.com\)](#)

[Distillery Mash Tuns - Allied Beverage Tanks](#)

- SEMI LAUTER TUN / MASH TUN:

The Making of the Mash Tun Bar: https://www.youtube.com/watch?v=9s_XIJ-VYgs

[Lauter Tun or Mash Tun- Which One Is Better? | Spectac International](#)

[What's the point of separate mash and lauter tuns \(vessels\)? - ProBrewer Discussion Board](#)

[Mash Tun/Lauter Tun Combinatons from Portland Kettle Works \(tanquesdemezcla.com\)](#)

[mash tun vs lauter tun | Homebrew Talk - Beer, Wine, Mead, & Cider Brewing Discussion Forum](#)

[Why do commercial breweries have separate mash and lauter tuns? | Community | BeerAdvocate](#)

[Lauter Tun | PDF | Brewing | Malt \(scribd.com\)](#)

[\(267\) DBT Equipment Spotlight: Mash Lauter Tun - YouTube](#)

[Mashing - Whisky.com](#)

[Whisky For Everyone: Distillery visit - Inchdairnie](#)

- AISLAMIENTO:

[Tanques y cisternas \(isover-aislamiento-tecnico.es\)](#)

[INCA - Aislaciones \(incaaislaciones.com.ar\)](#)

- FONDO FALSO:

[Wedge Wire Screens False Bottom Screens For Food Processing \(hendrickcorp.com\)](#)

[Wedge Wire Screen - Wedge Wire Screen Sieves and Wedge Wire Grids \(shaleshakerscreen.com\)](#)

[Flowline - Flowline Wedge Wire Screens](#)

[Lauter Tun False Bottom Wedge Wire Screen for Brewery, Manufacturer \(steellong.com\)](#)

[How is false bottom constructed in lauter tun? | Tiantai® 2-150bbl Brewery Equipment Proposal \(craftbreweryequipment.com\)](#)

[Breweries & beverages \(andritz.com\)](#)

[filter element,filter strainer,sinter filter,wedge wire screen,UBO Filter Equipment Co.,LtdWedge wire false bottom screen, lauter tun screens,brewing tank false bottom screens, - YUBO \(ubooem.com\)](#)

[Lauter Tun Wedge Wire False Bottom Screen \(wedgewire-filter.com\)](#)

[Lauter Tun Screen For Brewing Equipment \(zhehanfilter.com\)](#)

[Stainless Steel Mash/lauder Tun/false Bottom For Brewing House - Buy Mash Tun & Lauter Tun,False Bottom,Lauter Tun Product on Alibaba.com](#)

[Lauter Tun Screens - YUBO \(ubofilters.com\)](#)

[falso bottom screen, lauter tun screen, wedge wire screen, brewing equipment filter screen,Wedge Wire Screen,vee wire Screens, Wire wrapped Screen-Steellong Wire Cloth Co.,Ltd-Steellong Wire Cloth Co.,Ltd](#)

[Welded Wedge Wire | Wedge Wire Screens | Screen Systems](#)

[WEDGE WIRE SCREENS | TECHINCAL INFO | SCREEN SYSTEMS](#)

[WHAT ARE BENEFITS OF A WEDGE WIRE FALSE BOTTOM FOR A LAUTER TUN IN A BREWERY? | Tiantai® 2-150bbl Brewery Equipment Proposal \(craftbreweryequipment.com\)](#)

[Perforated Metal for Making Malted Barley \(perforatedmetalsupplier.com\)](#)

[Stainless Steel Slotted Hole Perforated Sheet Manufacturers, Slotted Hole Perforated Steel Sheet Exporters, Slotted Steel Perforated Hole Sheet Suppliers, SS Slot Hole Perforated Sheets Best Price in India. \(ssperforatedsheet.com\)](#)

[Perforated Slotted Hole Sheets John Staniar & Co Ltd](#)

[Slotted Filter Sheets – Precise Screen - Perforated Metal Products \(perforated-metal.net\)](#)

[WEDGE WIRE SCREENS | TECHINCAL INFO | SCREEN SYSTEMS](#)

[Welded Wedge Wire | Wedge Wire Screens | Screen Systems](#)

[Grain Drying Floors | Malt Kiln Floors | Screen Systems](#)

[Stainless Steel Wedge Wire Screen Mesh Water Filter Plate Supplier for Wastewater Treatment - China Wedge Wire, Screen | Made-in-China.com](#)

- CUCHILLAS:

[Mash tun - Scottish Delight](#)

[Questions on mash tuns and lauter tuns - ProBrewer Discussion Board](#)

[Tecnología de cuba-filtro GEA LAUTERSTAR®](#)

- EXTRACCIÓN DE BAGAZO Y COMPUERTAS:

[Graining out Your Mash-Lauter Tun - YouTube](#)

[Puerta Lateral o Tapa para Tanque de 534 x 415 mm en Acero Inoxidable | fabricantes de abrazaderas clamp sanitarias, acero inoxidable pipa colgador, uniones sanitarias. \(aceroinoxidablesanitario.com\)](#)

- CIP:

[\(267\) ¿Qué es la Limpieza en el Lugar o Cleaning In Place \(CIP\)? - YouTube](#)

[\(267\) Bürkert Spotlight: CIP \(Clean in Place\) Application Training - YouTube](#)

[¿Qué es un SISTEMA CIP? - YouTube](#)

- FORMULAS Y CALCULOS:

Fórmula calculadora Tª agua macerado - Foro ACCE (cerveceros-caseros.com)

Batch Sparge Calculator: Brewheads.com - <?=\$pagetitle?>

Calculadora Elaboración Cerveza (achtcervezas.blogspot.com)

CALCULAR EL RENDIMIENTO DE NUESTRO EQUIPO CERVECERO - La Maltería del Cerveceros (lamalteriadelpervecero.es)

Cp Malta: Managing Mash Thickness - Brew Your Own (byo.com)

Mash Thickness Tips – How Thick Should It Be? - Asian Beer Network

Calculate wort volume from weight in vessel? : Homebrewing (reddit.com)

Sparge Water Calculator | MoreBeer

Useful Brewing Calculations (beerandwinejournal.com)

Calculation for the Diameter of the Mash/Lauter tun | Tiantai® 2-150bbl Brewery Equipment Proposal (craftbreweryequipment.com)