



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD
REGIONAL SANTA FE**

PROYECTO FINAL DE CARRERA

EQUIPOS PARA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

ALUMNOS:

Frutos, Javier Andrés

DIRECTOR DE PROYECTO:

Ing. Toniollo, Maximiliano

DOCENTES:

Ing. Monti, Rubén

Ing. Benzi, Sebastián

Ing. Brunas, Cristian

INDICE

Contenido

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	5
1.1 Introducción	5
1.2 Descripción del proceso productivo de la cerveza.....	5
1.3 Definición de objetivos.....	7
CAPITULO II: MARCO LEGAL.....	8
2.1 Legislación involucrada	8
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO	10
3.1 Proceso de elaboración de la cerveza	10
3.2 Descripción de procesos individuales	11
3.3 Descripción de operaciones auxiliares	12
CAPITULO IV: REQUERIMIENTOS DE PROCESO	13
4.1 Alcance del proyecto.....	13
4.2 Estudio del proceso	14
4.3 Conceptos generales sobre el macerador y el proceso de macerado	16
4.4 Tipos de macerado	21
4.5 Cálculo de la temperatura de mezcla.....	21
4.6 Cálculo del volumen de primer agua	23
4.7 Cálculo del rendimiento de la malta, volumen de primer mosto y volumen ocupado por el bagazo	23
4.8 Agua de lavado y cálculo de la misma.....	24
CAPITULO V: COMPOSICIÓN DEL MACERADOR.....	25
5.1 Composición general del equipo.....	26

CAPITULO VI: CALCULO Y DISEÑO DE VIOLA O CUERPO CILINDRICO	30
6.1 Diseño y verificación de viola o cuerpo cilíndrico.....	30
6.2 Dimensionado del cuerpo cilíndrico o viola del macerador	30
6.3 Cálculo y verificación de espesores de viola.....	32
6.4 Materiales para cuerpo cilíndrico o viola	33
6.5 Verificación de refuerzos para orificio de descarga.....	34
CAPITULO VII: CALCULO Y DISEÑO DE CASQUETE SUPERIOR	36
7.1 Diseño y verificación de casquete superior	36
7.2 Selección de entrada de hombre	37
7.3 Ingreso de Agua de proceso.....	39
7.4 Selección de sistema de limpieza CIP.....	41
7.5 Introducción sobre agitación en el macerado.....	51
7.6 Selección del motorreductor.....	56
7.7 Cálculo y dimensionamiento del eje de agitación.....	61
7.8 Cálculo y dimensionamiento de torreta.....	63
7.9 Diseño del cuadro de agitación	68
7.10 Cálculo y verificación de brazos giratorios.....	70
7.11 Diseño de portacuchillas y cuchillas.....	75
7.12 Diseño de brazos de rastrillo.....	77
7.13 Diseño de vinculación entre brazos giratorios y eje principal	81
7.14 Verificación de casquete superior.....	82
CAPITULO VIII: CALCULO Y DISEÑO DE FONDO CONICO.....	84
8.1 Diseño de fondo inferior	84
CAPITULO IX: CALCULO Y DISEÑO DE FALSO FONDO.....	88
9.1 Introducción	88

9.2 Materiales	88
9.3 Formas de construcción	89
9.4 Diseño del falso fondo.....	90
9.5 Diseño del soporte de falso fondo	91
CAPITULO X: CALCULO DEL MATERIAL AISLANTE Y FORRO DE AISLACION	95
10.1 Introducción	95
10.2 Selección del material aislante.....	96
10.3 Verificación de espesor de material aislante	97
10.4 Virola externa o forro del equipo.....	99
CAPITULO XI: CALCULO Y DISEÑO DE PIE DE MÁQUINA.....	102
11.1 Diseño de pie de máquina.....	104
11.2 Verificación de pie de máquina.....	105
CAPITULO XII: EQUIPOS AUXILIARES.....	107
12.1 Diseño de estructura y pasarela de acceso a zona superior del equipo	107
12.2 Cálculo de Wort grant para proceso	108
12.2 Cálculo energético para llevar agua de primer empaste a temperatura	110
CAPITULO XIII: MEDICION DE NIVEL DE LIQUIDO	113
CAPITULO XIV: CONCLUSION Y AGRADECIMIENTOS.....	116
CONCLUSIÓN FINAL.....	116
CAPITULO XV: BIBLIOGRAFIA	118
CAPITULO XVI: PLANIMETRIA.....	119

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Debido al gran auge y crecimiento que experimentó la industria de la elaboración de cerveza artesanal en nuestra región en los últimos años, se ha observado la creación de varias Pymes abocadas a dicho rubro. Si bien este sector experimentó un estancamiento en su progreso, consideramos que es un rubro bastante interesante considerando las diversas variedades de cervezas que existen en el mercado y la posibilidad de ir experimentando en su producción es un verdadero desafío dispuesto a asumir por varios microemprendedores.

Teniendo en consideración las incumbencias de nuestra profesión nos proponemos como proyecto final de carrera poder realizar el diseño de equipos que se ven involucrados dentro del proceso de elaboración de la misma que permitan agilizar o mejor dicho solucionar algunos puntos que consideramos claves dentro de éste.

Teniendo en consideración diferentes aspectos dentro del proceso productivo observados durante la visitas a diferentes industrias ubicadas dentro de la ciudad de Santa Fe, nos abocaremos al diseño y cálculo de un rack molienda-macerador, compuesto por el molino para el molturado de la malta y el recipiente macerador. Planteamos esta disposición de ambos equipos en conjunto para evitar el constante manipuleo de la materia prima (bolsas de malta) ocasionado por el traslado de la misma desde el molino molturador hasta el recipiente macerador, el cual se realiza en reiteradas oportunidades debido al formato en el cual se comercializa la malta (bolsas de 25 kg).

1.2 Descripción del proceso productivo de la cerveza

A modo de introducción dentro del contexto de dicho proyecto, procedemos a describir a grandes rasgos las etapas que se ven involucradas dentro de la cadena productiva de la cerveza.

La manufactura de esta bebida se logra por medio de cuatro ingredientes principales, los cuales pueden variar sus proporciones dependiendo de las características que se le quiera conferir a este producto. Ellos son Malta, la que puede ser de cebada o trigo; Lúpulo, Levadura y Agua.

La cebada es el elemento principal en la fabricación de cerveza, su uso radica en el hecho que posee un alto contenido de almidón y la cáscara sigue adherida al grano luego del molturado, la cual posee la propiedad de formar una capa filtrante necesaria en una etapa posterior en la cadena productiva.

Por otra parte, el lúpulo le brinda a este producto un sabor amargo y a su vez tiene notable influencia sobre el aroma de la misma.

La mayor porción de materia prima está formada por el agua, que influye en el carácter y la calidad de la cerveza, debido a que tiene influencia en diversas etapas durante la elaboración (también es utilizada en la desinfección y limpieza como así otros procesos dentro de la maltería).

En la cerveza la fermentación alcohólica depende de la actividad de la levadura y debido a la interacción de sus subproductos, tiene influencia también en la calidad de la cerveza.

Detallamos a continuación en forma ilustrativa en la figura 1, las etapas que contempla el proceso productivo de dicha bebida



(Figura 1: Etapas del proceso productivo de cerveza).

1.3 Definición de objetivos

Como objetivos para éste proyecto nos proponemos interferir sobre una parte clave del proceso que involucra las operaciones descritas en la figura 1 desde la etapa 1 hasta la etapa 6 a través de la realización de cálculos, diseño de equipos, cálculos de componentes, balances de energía, flujos másicos; intervinientes en la manufactura de la bebida; con el fin de tener una producción mensual de 40.000 litros.

A su vez, de acuerdo a lo observado en empresas productoras de cervezas, notamos que el sector de molienda del grano se encuentra distanciado de la sala de maceración, es por ello que nos proponemos realizar un rack compacto donde se pueda acoplar el macerador, y un transporte de granos molidos al mismo para

poder realizar la elaboración del mosto. Esta disposición se efectúa para agilizar el proceso productivo, ahondaremos en esto en capítulos posteriores.

CAPITULO II: MARCO LEGAL

2.1 Legislación involucrada

Dentro de nuestro país la normativa que se encarga de regular la producción, elaboración y circulación de alimentos de consumo humano es la Ley N° 18.284, en su artículo primero es el Código Alimentario Argentino (“Decláranse vigentes en todo el territorio de la República con la denominación de Código Alimentario Argentino, las disposiciones higiénico-sanitarias, bromatológicas y de identificación comercial del Reglamento Alimentario aprobado por Decreto N° 141/53, con sus normas modificatorias y complementarias”).

En su artículo tercero, la misma nos dice que quienes cumplan con lo mencionado en el mencionado reglamento podrá producir y comercializar productos para el consumo humano de forma libre dentro del territorio nacional (“Los productos cuya producción, elaboración y/o fraccionamiento se autorice y verifique de acuerdo al Código Alimentario Argentino, a esta ley y a sus disposiciones reglamentarias, por la autoridad sanitaria que resulte competente de acuerdo al lugar donde se produzcan, elaboren o fraccionen, podrán comercializarse, circular y expendirse en todo el territorio de la Nación, sin perjuicio de la verificación de sus condiciones higiénico-sanitarias, bromatológicas y de identificación comercial en la jurisdicción de destino”).

Dentro del ya citado código en su capítulo número XIII podemos encontrar las siguientes definiciones que atañen a nuestro proyecto:

- **Cerveza:** Se entiende exclusivamente por cerveza la bebida resultante de fermentar, mediante levadura cervecera, al mosto de cebada malteada o de extracto de malta, sometido previamente a un proceso de cocción, adicionado de lúpulo. Una parte de la cebada malteada o de extracto de malta podrá ser reemplazada por adjuntos cerveceros.

- **Cebada malteada o malta:** Se entiende exclusivamente por cebada malteada o malta al grano de cebada cervecera sometido a germinación parcial y posterior deshidratación y/o tostado en condiciones tecnológicas adecuadas.
- **Extracto de malta:** Se entiende exclusivamente por extracto de malta al producto seco o de consistencia siruposa o pastosa, obtenido exclusivamente de malta o de cebada malteada.
- **Adjuntos cerveceros:** Se entiende por adjuntos cerveceros a las materias primas que sustituyan parcialmente a la malta, o al extracto de malta en la elaboración de cerveza. Su empleo no podrá ser en su conjunto superior al 45% en relación al extracto primitivo. Se consideran adjuntos cerveceros a la cebada cervecera y a los cereales, malteados o no, aptos para el consumo humano, a excepción de los productos definidos en los numerales, 1.1.3 y 1.1.4. También se consideran adjuntos cerveceros a los almidones y azúcares de origen vegetal. Cuando se trate de azúcares de origen vegetal distintos de los que provienen de cereales, la cantidad máxima de azúcar empleada en relación a su extracto primitivo deberá ser: cerveza clara, menor o igual al 10% en peso o cerveza oscura, menor o igual al 25% en peso.
- **Mosto:** Es la solución en agua potable de carbohidratos, proteínas, sales minerales y demás compuestos resultantes de la degradación enzimática de la malta, con o sin adjuntos cerveceros, realizada mediante procesos tecnológicos adecuados.

Por otro lado, cabe destacar que en el mencionado código en su capítulo IV, se encuentran las normativas vigentes sobre el uso de materiales que serán destinados a la construcción de equipos para la elaboración de productos alimenticios.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Proceso de elaboración de la cerveza

A continuación se detalla mediante un diagrama de planta el proceso para la manufacturación de la cerveza. Este diagrama muestra los procesos básicos que implementan la mayoría de las fábricas actuales, es posible que alguna de las mismas adicione ciertos procesos que no se encuentran detallados a razón de atribuirle características especiales a su producto.

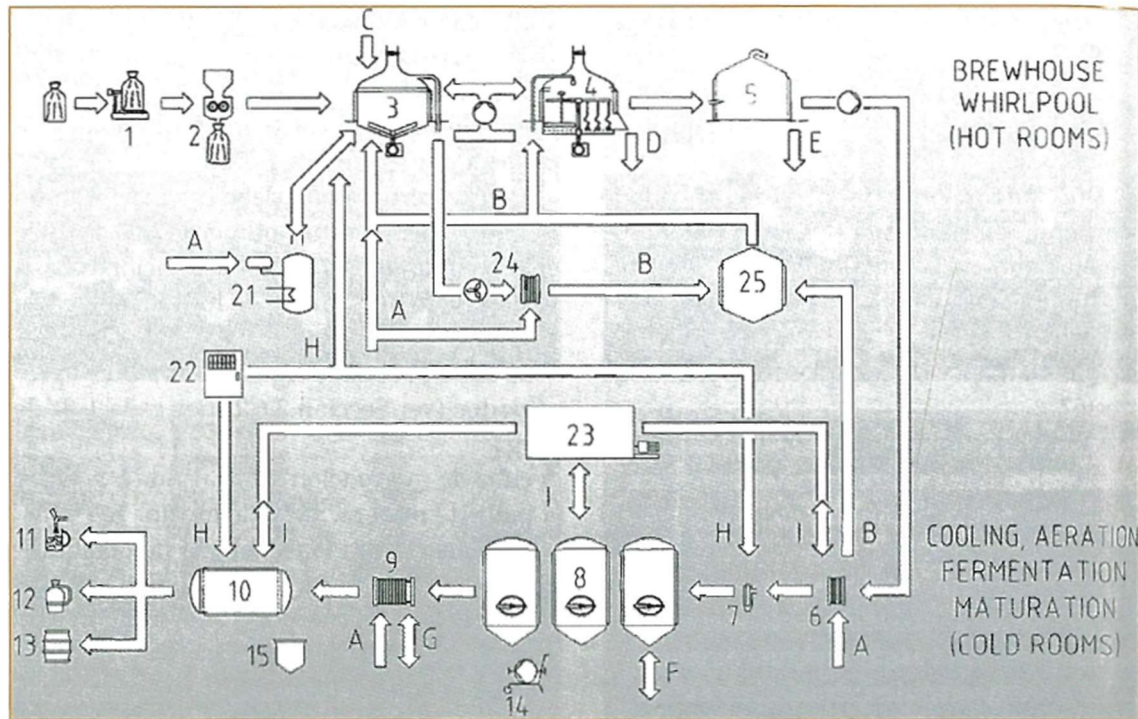


Diagrama de planta y de proceso de una cervecería de restaurante
(BTE Brauerei-Technik, Essen)

- (1) balanza de malta, (2) molino de malta, (3) paila de maceración/de cocción, (4) cuba de filtración, (5) Whirlpool, (6) enfriador de mosto, (7) aireador de mosto, (8) tanques de fermentación y de reposo, (9) filtro de cerveza, (10) tanque de presión,
- (11) expendio, (12) llenado de sifones, (13) envasado en barril, (14) bomba, (15) tanque de CIP,
- (21) generador de vapor, (22) compresor de aire, (23) refrigerador para agua helada, (24) condensador de vahos, (25) tanque de agua caliente.
- (A) agua fría, (B) agua caliente, (C) lúpulo, (D) heces, (E) trub, (F) levadura, (G) kieselgur, (H) aire comprimido, (I) agua helada

(Figura 2: equipos intervinientes en el proceso productivo)

En el presente proyecto me abocaré a los procesos 3 y 4 de la figura 2

3.2 Descripción de procesos individuales

- **Molienda y macerado:** En la maceración, las enzimas deben tener la posibilidad de alcanzar los componentes de la malta, para degradarlos. Para ello, la malta debe ser triturada. Con una trituración progresiva, aumenta la superficie de ataque para las enzimas y mejora la degradación de las sustancias. Esto es un proceso, en el que se requieren las cáscaras como material filtrante, en dependencia del equipo de filtración de mosto utilizado.

Los molinos más comúnmente utilizados en las fábricas de cerveza son los molinos trituradores de malta en seco. En éstos, la malta es triturada en seco entre rodillos dispuestos en pares. Según la cantidad de rodillos, se diferencia entre:

- Molinos de dos rodillos
 - Molinos de cuatro rodillos
 - Molinos de cinco rodillos
 - Molinos de seis rodillos
- **Filtrado del mosto:** Tras la maceración, se separa el mosto líquido de los restos de malta. Para ello filtramos el mosto a través de una cuba filtro o de un filtro prensa, en ambos casos se separa el líquido del sólido, a este último le llamamos bagazo y normalmente es reaprovechado para alimentación animal.
 - **Cocción del mosto:** El mosto se lleva a ebullición con el objetivo de aportar amargor y aroma presentes en el lúpulo. Además, durante esta etapa se esteriliza el mosto, se coagulan proteínas y se evaporan aromas indeseables. Normalmente este proceso dura en torno a una hora o más, dependiendo del estilo de cerveza que se esté elaborando. Posteriormente el mosto final es sometido a una especie de centrifugado o whirlpool.

- **Fermentado de la cerveza:** Finalmente llegó el momento de enfriar y airear el mosto para luego sembrar la levadura. Durante la fermentación se transforman los azúcares fermentables en alcohol y CO₂, al tiempo que se generan una gran variedad de compuestos, muchos de los cuales contribuyen a darle los aromas característicos tan populares de la cerveza. Usualmente en el proceso cervecero se utilizan dos grandes familias de levaduras: lager y ale. Este proceso se desarrolla en tanques de fermentación que en ocasiones son conocidos como fermentadores.
- **Maduración:** El líquido resultante requiere de un período de maduración, donde la cerveza es sometida a bajas temperaturas para que el sabor y los aromas logrados durante el proceso se establezca y se consiga el justo balance entre los diferentes matices.
- **Envasado:** Generalmente al terminar la maduración la cerveza es sometida a un proceso de filtración para separar pequeñas partículas de levadura y compuestos que aún se encuentran en suspensión. Una vez filtrada se obtiene la cerveza brillante, la cual se envasa en diferentes formatos para su consumo y en muchos casos se pasteuriza para luego ponerla a disposición del consumidor final.

3.3 Descripción de operaciones auxiliares

- **Limpieza de equipos:** Durante el proceso de elaboración se producen adherencias de sales inorgánicas y de productos orgánicos en las paredes de los depósitos. Por tanto, es necesario realizar limpiezas periódicas de los equipos para evitar que dichas adherencias contaminen el producto o favorezcan el desarrollo de microorganismos contaminantes; se utiliza un sistema CIP.
- **Transporte de materias primas:** El objetivo es transportar de forma rápida y segura la materia prima dentro de la misma fábrica, desde el

almacenamiento hacia los puntos de consumo. La metodología de transporte dependerá del formato en el que se encuentre la materia prima.

CAPITULO IV: REQUERIMIENTOS DE PROCESO

4.1 Alcance del proyecto

En el presente escrito se va a desarrollar equipos para poder llegar a producir una capacidad de 40.000 litros mensuales de cerveza. Para ello se debe determinar las cantidades requeridas de cada elemento y sus propiedades (lo que se verá más adelante) para luego comenzar con la etapa de cálculo y diseño.

El arte de elaborar cerveza no solo se limita a la receta y los ingredientes; la relación entre cantidad de malta por litro juega un papel crucial en la calidad, sabor y características generales del producto final. Esta proporción puede variar considerablemente dependiendo del tipo de cerveza que buscamos elaborar, desde una ligera American Lager hasta un robusto Imperial Stout. Analizar la cantidad adecuada de malta no solo resulta fundamental para lograr resultados óptimos, sino también parte integral de un proceso creativo que involucra técnicas avanzadas y sabores distintivos.

Para lo mencionado se va a tomar una receta como base para elaborar cerveza del tipo Pilsen ya que para obtener distintos tipos de cerveza se debe realizar variaciones en la relación entre malta y agua siendo para el tipo pilsen siendo la más significativa, haciendo así que el equipo sea aplicable a su vez para elaboración de otros tipos de producto.

Antes de ello debemos realizar un estudio del proceso para estipular los posibles cuellos de botellas que se encuentran dentro del mismo, esto nos va a ayudar a obtener de manera real los volúmenes que debe procesar cada equipo en un espacio de tiempo determinado.

Analizando lo anteriormente mencionado, nos encontramos que el principal “cuello de botella” que encontramos es el fermentado y madurado del mosto, allí éste debe

quedar durante 14 días promedio para una cerveza de tipo pilsen (siendo más para cervezas con mayor contenido de lúpulo).

Nosotros vamos a adoptar que para el proceso se debe realizar el fermentado/madurado del mosto en fermentadores de 2.000 litros de capacidad los mismos, pueden ser llenados de una sola vez o 2 veces al día siempre teniendo cuidado no alterar las condiciones del mosto dentro del fermentador como así también cuidar que no ingrese oxígeno dentro del mismo y se vea alterado el proceso de la levadura.

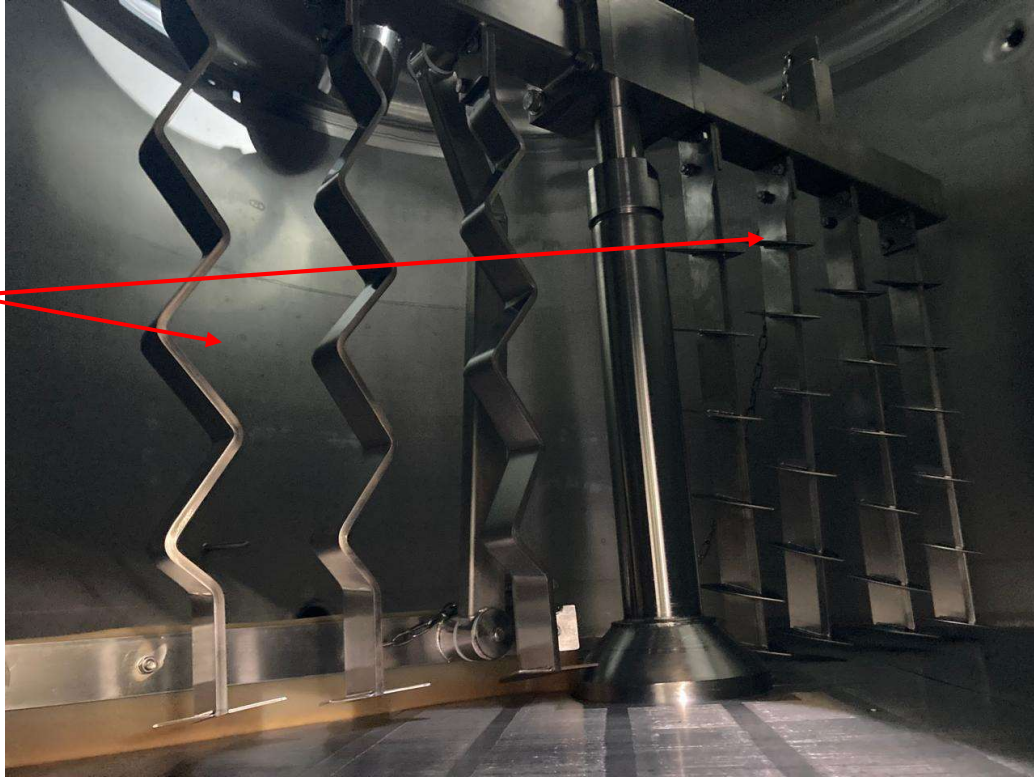
Basándonos en lo que dice el manual “Tecnología para malteros y cerveceros” de Wolfgang Kunze, necesitamos realizar una relación de 3 volúmenes de agua a 1 de malta por lo que tomando nuestra producción requerida de 40.000 litros de cerveza mensual y contemplando un promedio de 20 días hábiles al mes, deberíamos entonces producir un aproximado de 2000 litros de cerveza diarios.

4.2 Estudio del proceso

Las operaciones que se vinculan a la etapa de cocción son macerado, filtrado, hervor y whirlpool. Ello se realiza en lo que llamamos bloque de cocción y para ello se necesitan 3 tanques que son un tanque de agua caliente, el macerador y la olla de cocción.

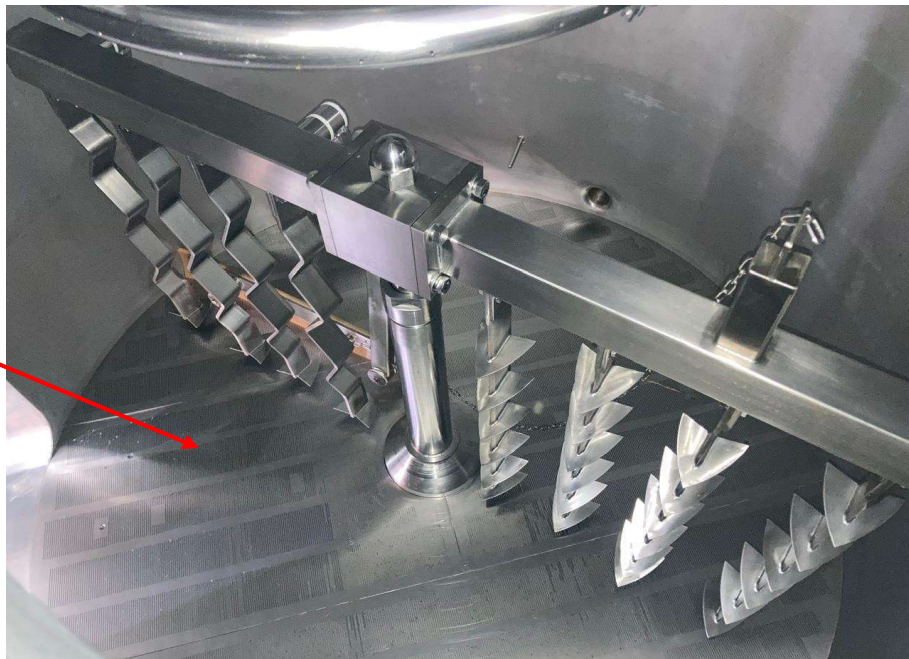
Nosotros nos abocaremos en el presente al diseño del macerador, el mismo es un tanque vertical, dotado de agitadores (como puede verse en figura 3) para que no se formen grumos, aquí nos encontramos con un inconveniente, en el proceso de agitación se debe tener cuidado no dañar la cáscara de la malta ya que posee un fondo ranurado (ver figura 4) dónde se forma un filtro natural con la cáscara de la malta y un daño excesivo en ella puede ocasionar que se forme un tapón que impida el paso del mosto.

AGITADORES



(Figura 3: Agitadores del macerador)

FONDO
RANURADO



(Figura 4: Fondo ranurado)

4.3 Conceptos generales sobre el macerador y el proceso de macerado



(Figura 5: Ilustración del macerado)

La maceración es el proceso más importante dentro de la elaboración de la cerveza, allí el grano triturado de malta y el agua son mezclados entre sí. Los componentes de la malta entran así en solución y, con ayuda de las enzimas, se los obtiene como extractos.

Sólo una parte de los componentes de la molienda es soluble. Pero a la cerveza sólo pueden pasar sustancias solubles. Es por ello necesario que las sustancias insolubles de la molienda sean convertidas en sustancias solubles durante la maceración. Todas las sustancias que entran en solución se denominan extractos.

Son solubles, por ejemplo, dextrinas, las sustancias minerales y determinadas sustancias albuminoideas. Insolubles son el almidón, la celulosa, una parte de las sustancias albuminoideas de alto peso molecular y otros compuestos, que quedan como heces al final del proceso de filtración de mosto.

Sin embargo, no es sólo de importancia la cantidad, sino en especial la calidad del extracto,

porque hay ciertas sustancias (por ejemplo, los taninos provenientes de las cáscaras)

que son indeseadas, en lo posible, en tanto que otras (por ejemplo, determinados azúcares o productos de degradación de proteínas) son particularmente requeridas. Por eso, el propósito de la maceración es la degradación completa del almidón, para la obtención de azúcares y dextrinas solubles. Se forman en esto también otros extractos. Esa cantidad principal de extracto es recién formada durante la maceración, por la actividad de las enzimas, a las cuales se deja actuar con sus temperaturas óptimas.

La propiedad más importante de las enzimas es su actividad en la disociación de los substratos dicha actividad depende de varios factores o palancas como ser:

- Tiempo de acción.
- La temperatura
- Valor de pH del agua de proceso
- Empaste.

Para explayarnos un poco en estos factores, primero debemos exponer sobre dos enzimas muy importantes en el proceso, ellas son las enzimas amilasas, más en concreto las alfa-amilasa y beta-amilasa.

- La alfa-amilasa trabaja más cómoda en rangos de temperatura más altos que su prima la beta-amilasa, y convierte el almidón en dextrinas. Estas dextrinas son cadenas largas de azúcares que pueden ser no digeribles por la levadura. Un mosto “dextrinoso” es un mosto macerado en un rango de temperatura alto, cercano a los 70 °C y que (teóricamente) va resultar en una cerveza con un dulzor residual, compuestos complejos de sabor derivados de estos azúcares y con cuerpo.
- La beta-amilasa trabaja mejor en un rango de temperatura más bajo que las alfa-amilasas, y pulveriza partes del almidón y de las dextrinas que ha fabricado la alfa-amilasa en azúcares sencillos, como la maltosa, fácilmente asimilable por la levadura. Es favorecida por empastes ligeros. Se desactiva alrededor de los 70 °C. En rangos generales, cuánto más baja sea la

temperatura del macerado, más fermentable será el mosto y la cerveza resultante, más seca.

Ahora visto esto, podemos comenzar a describir las cuatro “palancas” mencionadas con anterioridad, entender ésto nos dará la capacidad de entender el proceso y así poder ser más concretos a la hora del diseño del equipo.

- **Tiempo de acción:**

Dando el suficiente tiempo de trabajo a las enzimas, conseguiremos un macerado más eficaz (ergo, rendimientos más altos), pero un macerado de cinco horas es bastante aburrido, y costoso de mantener (en energía, que siempre es dinero). Así que hay que conseguir la conversión del almidón en azúcares simples en un tiempo razonable.

Evidentemente, cuanto más tiempo se emplee en el rango de temperatura óptimo para cada una de las enzimas, va a haber una potenciación de la actividad. Y dicha actividad, tiene un efecto concreto en el mosto resultante, que no siempre va a ser positivo.

Por ejemplo, en rangos bajos de temperatura (esos que hemos dicho que es mejor olvidarnos si usamos maltas bien modificadas), un breve tiempo de actividad de las proteasas va a favorecer la claridad de la cerveza. Sin embargo, si el tiempo de actividad es prolongado, incidirá directamente en un problema en la generación de la espuma de servido. Por estas cosas es preferible no gestionar el macerado al azar, sin saber qué consecuencias tiene cada decisión. Por tanto, un mayor tiempo dedicado al rango favorable de la alfa-amilasa va a provocar una mayor proliferación de las dextrinas, y más tiempo en rangos bajos de temperatura, favorecerá la actuación de la beta-amilasa y el mosto será más fermentable, por lo que conseguiremos una mayor atenuación al fermentar, más alcohol y una cerveza más seca.

A pesar de lo dicho, se dice que, a partir de los 60 minutos de macerado, la actividad enzimática se empieza a ralentizar, lo que no quiere decir que se detenga. Está comprobado que macerados más duraderos tienen un mejor rendimiento. Existe un método muy rudimentario para controlar la actividad de la sacarificación, que es mediante la prueba del yodo, que vamos a comentar más adelante. Mediante esta prueba, sabrás si merece la pena alargar el macerado o ya ha transcurrido el tiempo suficiente.

Macerados muy eficientes completan la conversión en media hora, aunque lo usual y más extendido es apuntar a una hora para asegurarse una conversión completa. Como esto depende mucho de los equipos, del volumen del lote y de procesos auxiliares (como remover el empaste o recircular el mosto), no hay una guía fija que seguir y una vez más hay que recurrir a la experiencia.

- **Temperatura:**

Como podemos intuir, la temperatura es un factor clave dado que de esto depende la actuación de las enzimas amilasas, una temperatura demasiado alta, destruirá las enzimas o las dejará inactivas (posiblemente para siempre), y una temperatura demasiado baja, no conseguirá activarlas, al menos por completo.

En el Radical Brewing, de Randy Mosher, por ejemplo, se dice que las alfa-amilasas trabajan en rango óptimo entre 65,5 y 71 °C, mientras que las beta-amilasas, entre 60 y 65,5 °C. Randy aconseja trabajar a 65,5 °C y mantenerlo una hora para conseguir un mosto que se convertirá en una cerveza muy buena.

Otro punto importante es la temperatura final o de lavado, donde hacemos correr el mosto a través de la cama de grano con la gracia de arrastrar todos los azúcares posibles.

Aquí podemos preguntarnos qué se obtiene con la realización de éste lavado, y ello es muy importante. Si se deja el mosto a su suerte en este punto, las enzimas van a seguir actuando, con más o con menos efectividad, pero podrán variar las cualidades del mosto, por ejemplo, las beta-amilasas pueden seguir acuchillando de manera despistada y vaga ciertas dextrinas y aumentar la fermentabilidad, y con ello, bajar el cuerpo de la cerveza, cuando se deseaba lograr una cerveza con mayor cuerpo.

Si sube la temperatura se conseguirá que las enzimas queden inactivas, lo que fijará, de algún modo, la proporción de azúcares fermentables y no fermentables que has estado trabajando todo este tiempo. Además, de manera colateral, se podrá gelatinizar algún almidón residual, lo que va a permitir un mejor flujo del mosto, algo importante a la hora de vaciar el macerador a través de la cama de grano.

- **Valor de pH:**

Es muy importante comprender que el pH es un parámetro importante, dado que por más que se logren los dos parámetros anteriores a la perfección, si éste factor no es el adecuado puede afectar de forma negativa, siendo que afecta en la actividad enzimática, haciendo que la conversión de los almidones sea más lenta y costosa. Habitualmente, se suele recomendar un rango de pH para el macerado de entre 5,2 y 5,6 o incluso se acota a 5,3 – 5,6 .

- **Empaste:**

Llamamos empaste a la relación agua/grano de la mezcla en el macerador, también conocido como “disolución” .Muchas veces se tiene poco en cuenta, pero es necesario saber que empastes más espesos (de 1,7 a 2,6 litros de agua por cada kilo de grano), provocará que las enzimas tengan más

movilidad, y actúen más rápido. Sin embargo, tienen una vida más corta. En general, los empastes más espesos son más fermentables.

Empastes más ligeros o aguados (más de 3 litros de agua por cada kilo de grano), provocará que la actividad de las enzimas sea más lenta, por lo que el mosto resultante será menos fermentable, aunque si se alarga el tiempo, podemos compensar ese punto.

4.4 Tipos de macerado

En lo que respecta al proceso de maceración se presentan distintos tipos, los cuales son:

- Maceración por infusión: Este método consiste en remojar cebada malteada triturada en agua caliente a una temperatura constante
- Maceración por infusión escalonada: Consiste en aumentar la temperatura de maceración por etapas, cada una de ellas dirigida a diferentes actividades enzimáticas.
- Maceración por decocción: 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.

En lo que requiere al presente estudio, me abocaré a realizar un equipo basado en el principio de maceración por infusión y la mezcla se mantendrá a una determinada temperatura durante todo el proceso.

4.5 Cálculo de la temperatura de mezcla

La maceración se debe realizar a una temperatura constante y controlada dado que como se dijo anteriormente es un factor importante en el proceso ya que influye en

la extracción de los componentes solubles y en la actividad enzimática necesaria para descomponer los almidones en azúcares necesarios.

Esta puede variar dependiendo del tipo de cerveza que se requiera producir y su receta, según lo consultado con productores artesanales de cerveza artesanal locales, la misma puede oscilar entre 65 y 70°C. Por lo mencionado nosotros optamos por utilizar una temperatura de:

$$T_{mezcla} = 65^{\circ}C$$

Como se ha hecho mención es de importancia crucial mantener la temperatura constante para que tanto la calidad como la consistencia del producto final sean óptimas.

Según lo mencionado por estos productores, sumado a lo obtenido del libro "Tecnología para malteros y cerveceros de Wolfgang Kunze" la relación sugerida para dicha mezcla es de 3 partes de agua a 1 de malta.

Para obtener la temperatura a la que se debe inyectar el agua vamos a basarnos en una fórmula empírica denominada fórmula de Palmer, la cual tiene en consideración los factores mencionados y coeficientes empíricos que corresponden a pérdidas térmicas ocurridas dentro del equipo. La misma es la que se indica a continuación:

$$\begin{aligned} T_{am} &= T_{me} + \frac{0,4 \times \Delta T}{r} + 1,7 = T_{me} + \frac{0,4 \times (T_{me} - T_p)}{r} + 1,7 \\ &= 65^{\circ}C + \frac{0,4 \times (65^{\circ}C - 20^{\circ}C)}{3} + 1,7 \end{aligned}$$

$$T_{am} = 72,7^{\circ}C \approx 73^{\circ}C$$

Aquí hemos tomado un coeficiente $r=3$ (relación Agua/malta) y una temperatura promedio del grano de malta de 20°C, estipulamos promedio dado que la misma se encuentra almacenada en un depósito sin control de temperatura lo que deriva que en verano sea mayor la temperatura y en invierno sea menor.

4.6 Cálculo del volúmen de primer agua

Por características propias del proceso de maceración, y por condiciones operativas, se sabe que se hace un primer ingreso de agua, 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 para finalmente escurrir nuevamente.

Al primer agregado de agua le llamaremos agua de primer empaste, el que calculamos de la siguiente manera:

$$V_{1e} = r \times M_m = 3 \times 427 \text{kg} = 1281 \text{kg} = 1281 \text{ l}$$

Dónde r es la relación de receta entre malta y agua (vistos anteriormente) y Mm la masa de malta que se utiliza.

Se sabe además que se tiene un volumen muerto por debajo del falso fondo del equipo, el cual se verá en cálculos posteriores y es equivalente a 180 litros.

Esto nos indica que al volumen de primer ingreso de agua debemos realizar un agregado de 180 litros, entonces nos queda:

$$V_{1a} = 1281 \text{ l} + 180 \text{ l} = 1461 \text{ l}$$

4.7 Cálculo del rendimiento de la malta, volúmen de primer mosto y volumen ocupado por el bagazo

El rendimiento del grano de malta es algo complejo de medir por lo que se consulta con fabricantes de cerveza artesanal y se tiene que el mismo ronda entre valores de 1 y 1,25 kg/l, tomando un valor promedio de 1,125 l/kg, tenemos que el volúmen de agua absorbida por los granos de malta es:

$$V_{abs} = 1,125 \frac{l}{kg} \times 427kg = 481l$$

de aquí puedo realizar una estimación que el volumen de primer mosto macerado es el siguiente:

$$V_{1m} = V_{1a} - V_{abs} = 1461 l - 481 l = 980 l$$

Según datos obtenidos de forma empírica por fabricante de este tipo de equipos tenemos que la malta seca después de moler y agregar agua, el volumen de grano gastado se expandirá a 1,65 a 1,8 veces el tamaño inicial y teniendo la densidad de la misma estipulada entre 530 a 600 kg/m³ y adoptando un promedio de 570 kg/m³, podemos determinar lo siguiente:

$$V_{bagazo} = \frac{427kg}{570 \frac{kg}{m^3}} * 1,8 \cong 1,35 m^3 = 1350l$$

4.8 Agua de lavado y cálculo de la misma

Luego de finalizado el macerado, es de importancia efectuar la operación de filtrado o lavado del mosto. Esto se lleva a cabo debido a que el mismo en ésta etapa se encuentra lleno de partículas sólidas (restos de malta, cascarillas) que pueden llegar a entorpecer procesos posteriores, a su vez si analizamos el grano luego del macerado, el mismo presenta azúcares aún los cuales deben ser extraídos

Se añade el agua de lavado en una o más tandas, tras cada una de las cuales se remueve el macerado, se permite que asiente y se recircula hasta que está claro, antes de vaciar el macerador completamente a la olla.

La filtración se realiza por medio de un falso fondo perforado ubicado en la parte inferior del macerador (el cual analizaremos en capítulos posteriores) por el cual fluye el mosto reteniendo en su paso el bagazo.

Este proceso se realiza en simultáneo con el trasvase del mosto macerado a la olla de cocción (hervidor) y su tiempo de duración es de aproximadamente 60 minutos.

Para poder calcular el volúmen de agua requerido vamos a necesitar conocer el volúmen de mosto que llega a cocción, el cual es distinto del volumen de primer mosto calculado en el inciso anterior.

De datos empíricos se tiene que para llegar a la densidad deseada se debe agregar agua al primer mosto para poder alcanzar un valor requerido antes de ingresar a la olla de 1816 l.

Con éste valor podremos calcular el agua de lavado de la siguiente forma:

$$V_{\text{agua de lavado}} = V_{\text{final macerado}} - V_{\text{agua empaste}} + V_{\text{agua bagazo}} + V_{\text{res}}$$

$$V_{\text{agua de lavado}} = 1816l - 1461l + 481l + 100l = 936l$$

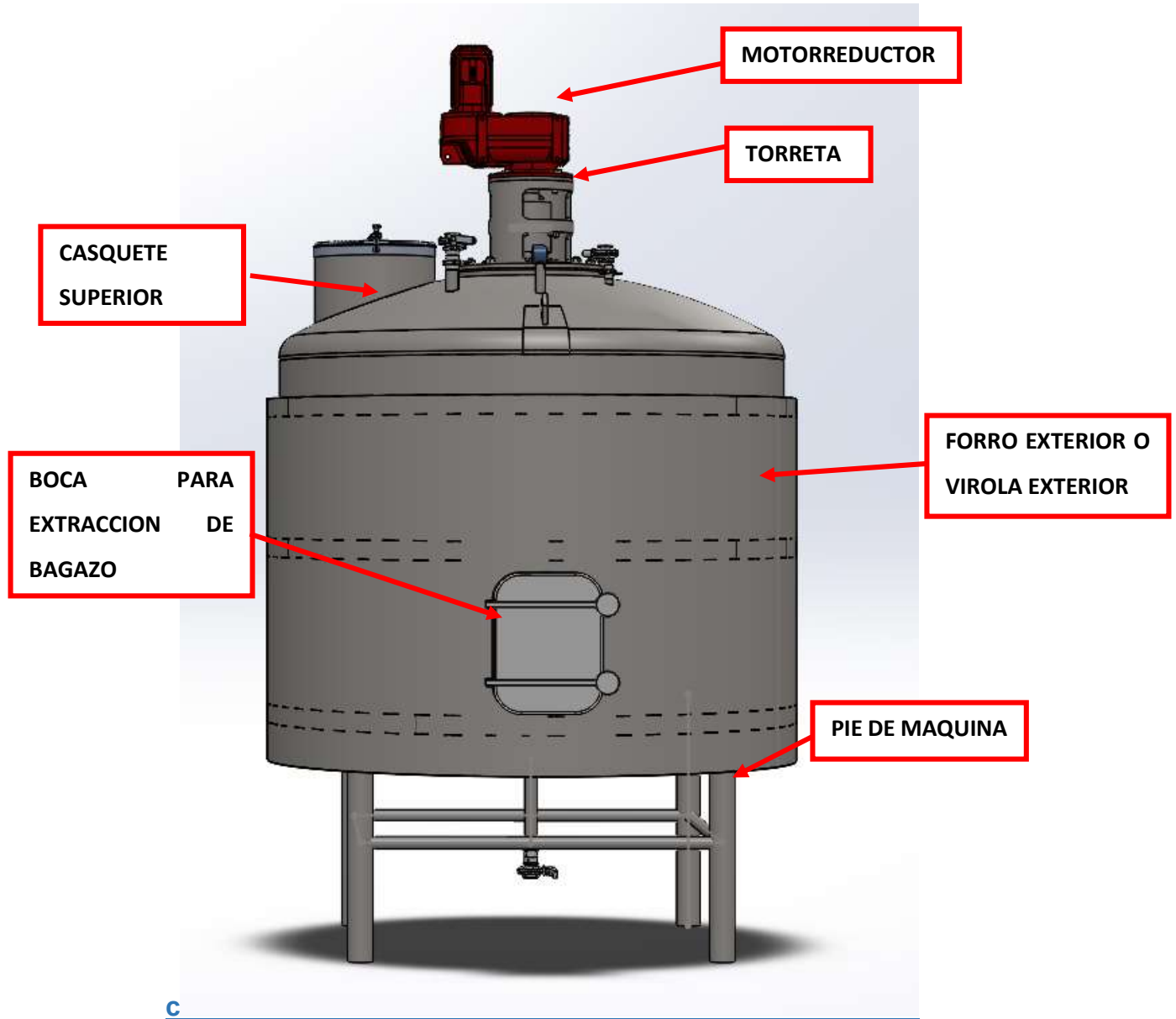
Cabe destacar que se toma como volumen de agua residual del equipo un porcentaje estimado del 5% (empírico) y se toma como el total el equivalente a la producción deseada final que es de 2000 l.

CAPITULO V: COMPOSICIÓN DEL MACERADOR

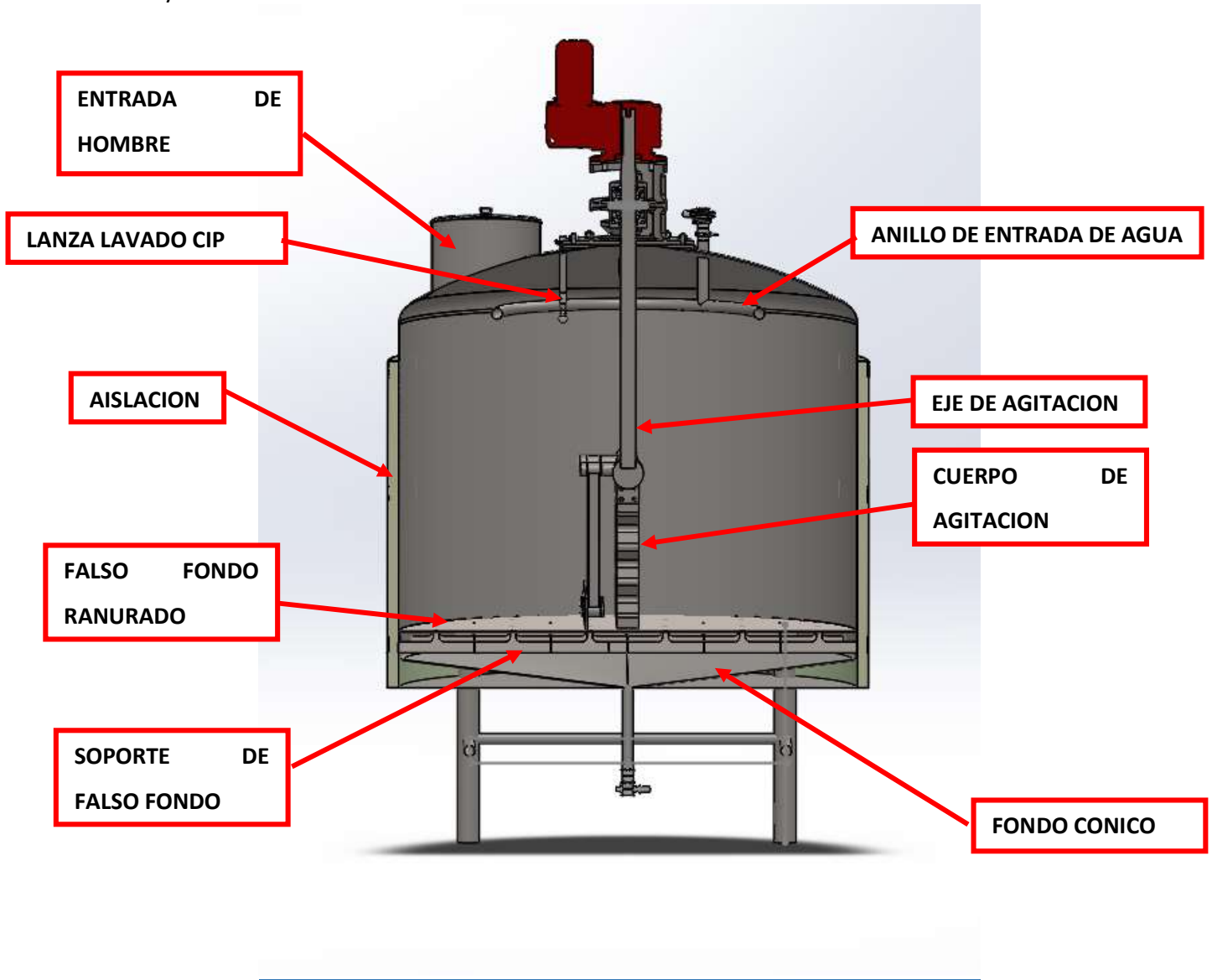
Como se mencionó con anterioridad el mismo es un cuerpo cilíndrico dónde se realiza la mezcla de malta molida junto con el agua a temperatura y se obtiene luego de un tiempo mencionado el mosto que posteriormente será convertido en cerveza.

Aquí nosotros podemos realizar una división del mismo en subconjuntos, contemplando primeramente el exterior y luego su interior.

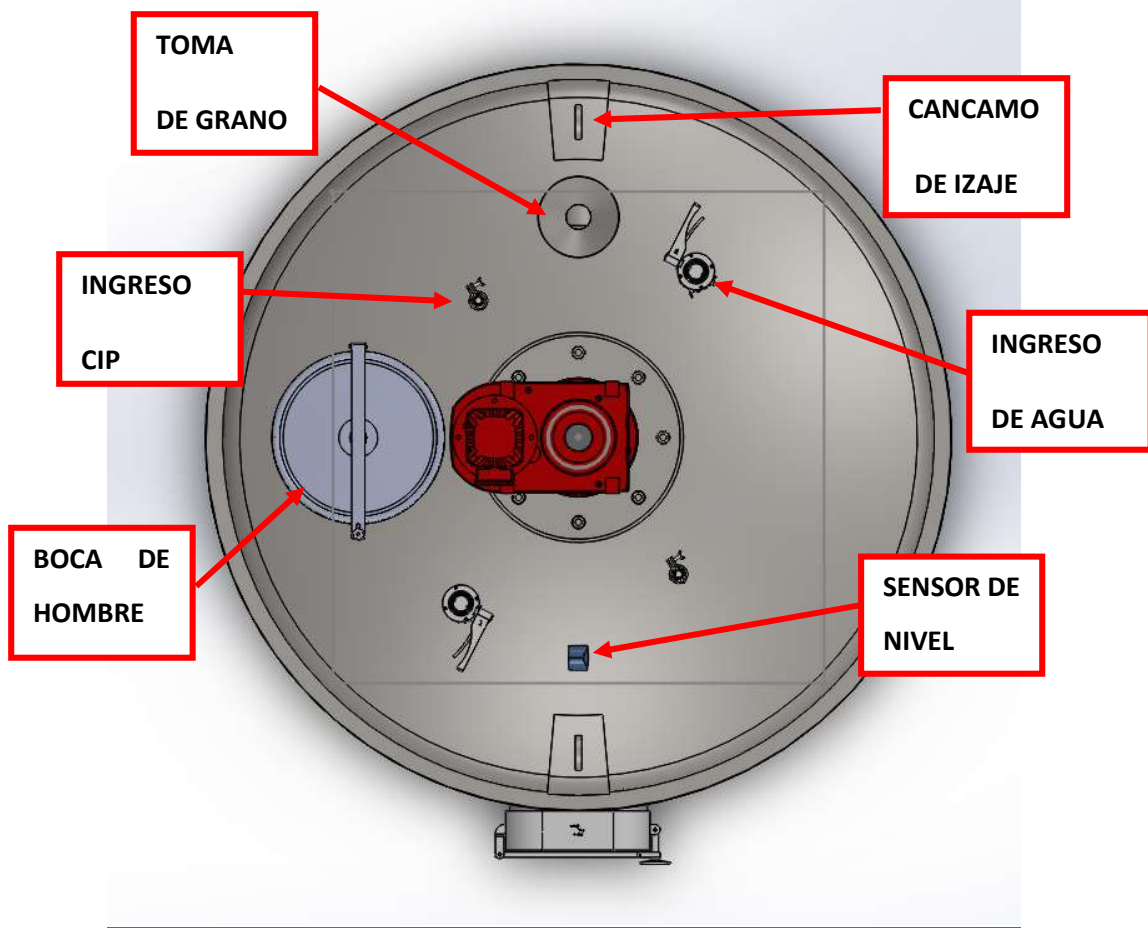
5.1 Composición general del equipo



(Figura 6: Composición del equipo)



(Figura 6b: Composición del equipo)



(Figura 6c: Composición del equipo)

Como se puede observar en figuras 6, el exterior del macerador conlleva de varios subconjuntos, los cuales podemos dividir como:

- Casquete superior
- Entrada de hombre
- Toma de grano y primer agua
- Boca para extracción de bagazo
- Motorreductor
- Tomas de agua para lavado
- Tubo de descarga de mosto
- Visor de nivel

Ingeniería Mecánica

Asignatura: Proyecto Final

Proyecto Final de Carrera

- Fondo o casquete inferior
- Soporte de recipiente



A continuación se detallan los subconjuntos que se encuentran en el interior del macerador

- Sistema de agitación para mezclado de malta y distribución del calor
- Sistema de lavado, mediante esferas/bochas
- Fondo de filtración de bagazo (más adelante será llamado falso fondo)

CAPITULO VI: CALCULO Y DISEÑO DE VIOLA O CUERPO CILINDRICO

6.1 Diseño y verificación de viola o cuerpo cilíndrico.

En lo que respecta a este equipo, debo tener como consideración que según los datos obtenidos por consulta a fabricantes de cerveza artesanal de la zona, se busca lograr una cama de granos que oscile entre los **350 y 400 mm de altura** y a su vez se debe tener en cuenta que para que la cama de granos quede constituida la velocidad de descarga del mosto debe ser lo más baja posible a fin de favorecer que la cama de granos quede debidamente conformada, lo que nos da la pauta que para lograr ello debo lograr tener un buen diámetro de la viola, el cual será obtenido partiendo del volúmen obtenido de bagazo.

Considerando ésto y aplicando las fórmulas para el cálculo de un volúmen cilíndrico se tiene:

$$V_{\text{bagazo}} = \pi \times \frac{(D_m)^2}{4} \times H_{\text{cama}}$$

Despejando el D_m obtenemos

$$D_m = \sqrt{\frac{4 \times 1350 \text{ dm}^3}{\pi \times 4 \text{ dm}}} = 2073 \text{ mm}$$

Ahí por medio de ésta ecuación se obtiene el diámetro interior óptimo que se debe adoptar para cumplir con las especificaciones mencionadas anteriormente.

6.2 Dimensionado del cuerpo cilíndrico o viola del macerador

La premisa que se tiene es la de lograr que la altura de la cama de bagazo que se forma oscile entre 350 y 400 mm de altura. Planteamos antes en i tener ésta de 400 mm (máximo) para obtener el diámetro mínimo.

Ahora se busca obtener un desarrollo de chapa que permita un aprovechamiento de materia prima.

Utilizando la fórmula que se presenta a continuación obtenemos un desarrollo para el diámetro de 2073 mm.

$$Perimetro = \pi \times D = \pi \times 2073 \text{ mm} = 6512,52 \text{ mm}$$

Teniendo en consideración que una de las chapas más comúnmente utilizadas dentro del mercado es de 1500 mm de alto por 3000 mm de lado se plantea utilizar 2 placas de ésta más una fracción de 1500 mm de alto y 600 mm de lado (la quinta parte de una chapa).

De acuerdo con lo mencionado en el párrafo anterior tendríamos una placa de 1500 mm de alto y 6600 mm de lado para rolar. Ahora procedemos a calcular el nuevo diámetro y correspondiente altura de bagazo.

$$\begin{aligned} Perimetro = \pi \times D \Rightarrow D &= \frac{6600 \text{ mm}}{\pi} = 2100,85 \text{ mm} \\ &= 21,0085 \text{ dm} \end{aligned}$$

Con este nuevo diámetro tenemos una altura de cama de bagazo

$$V_{\text{bagazo}} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times H_{\text{cama}}$$

Despejando de aquí tenemos un valor de H_{cama} de 389 mm lo que verifica que la cama se encuentre dentro de lo estipulado.

6.3 Cálculo y verificación de espesores de virola

Para realizar el cálculo y la verificación de los espesores de chapa necesaria, tomo como parámetro lo estipulado por el código ASME para recipientes sometidos a presión.

Como primera medida se debe conocer la presión ejercida por la mezcla bagazo-mosto para poder llevar a cabo el dimensionamiento pertinente.

Siguiendo ahora lo que nos indica el código ASME para el cálculo de recipientes sometidos a presión, se tiene que la presión de diseño debe ser 1,1 veces la

presión de trabajo o un equivalente a 2,11 kg/cm² lo que sea mayor. En base a esto y lo calculado voy a utilizar una presión para el cálculo del espesor de nuestro cuerpo cilíndrico igual a 2,11 kg/cm².

Del código ya mencionado en su página 16 se tiene que las fórmulas para casco cilíndrico se dan para la costura longitudinal ya que es la que rige generalmente.

El esfuerzo de la costura circunferencial rige solamente cuando la eficiencia de la junta circunferencial es menor que la mitad de la eficiencia de la junta longitudinal, o cuando además de la presión interna hay cargas adicionales que producen flexión o tensión longitudinal. La razón de esto es que el esfuerzo que se origina en la costura circunferencial es igual a la mitad del que se origina en la costura longitudinal.

De acuerdo a lo anterior, la fórmula para la costura es la siguiente:

$$P = \frac{S \times E \times t}{R - 0,4t} \Rightarrow t = \frac{P \times R}{S \times E + 0,4P}$$

Los parámetros mencionados en la presente fórmula son:

S: Tensión admisible

P: presión de diseño 2,11 Kg/cm²

E: eficiencia de la soldadura (p 142 código ASME)

R: Radio exterior (1050,5 mm)

t: espesor

Adoptando un coeficiente de seguridad de 1,3 y una tensión de 1103,82 kg/cm² tenemos que la tensión admisible S=850 kg/cm²

$$t = \frac{\frac{2,11 \text{ kgf}}{\text{cm}^2} \times 105,5 \text{ cm}}{850 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times 0,7 + 0,4 \times 2,11 \text{ kgf} / \text{cm}^2} = 0,373 \text{ cm}$$
$$= 3,73 \text{ mm}$$

Adopto así un espesor para el cuerpo cilíndrico de 4 mm.

6.4 Materiales para cuerpo cilíndrico o virola

En lo que respecta a los materiales que se deben adoptar para el equipo cabe destacar que por ser un producto alimenticio, los mismos deben ser sanitarios por lo que se optará por utilizar acero inoxidable AISI 304. Mencionado esto debemos se puede decir que consideré los productos ofrecidos por un proveedor local de nombre FAMIQ quienes se especializan en comercialización de aceros inoxidables.

6.5 Verificación de refuerzos para orificio de descarga

Ahora nos encontramos frente a la necesidad de verificar el refuerzo que se le debe colocar a la apertura que se tiene para poder realizar la extracción del bagazo mencionado.

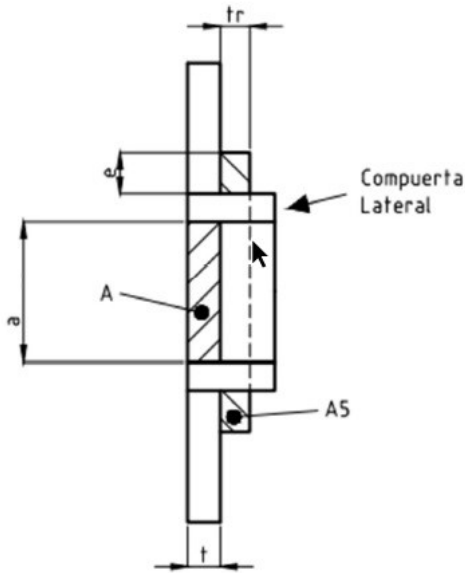
Aquí utilizaré una compuerta estándar conseguido de la empresa FAMIQ, el mismo posee un sello de silicona H230 para una presión relativa máxima de 0,6 bar y para vacío absoluto de 0,5 bar.

El mencionado elemento es el código P23-111-//304L el cual se puede ver a continuación.



(Figura 7: Compuerta)

Para realizar ésta verificación tenemos que el requisito básico es que en torno a la abertura, el recipiente debe reforzarse con una cantidad de material igual a la que se quitó para realizar dicha abertura. El refuerzo puede formar parte del recipiente y de la boquilla en forma integral, o bien puede ser un parche adicional.



(Figura 8: Refuerzo de apertura)

Viendo la imagen anterior, lo que deseo saber es el parámetro tr dado que suponemos que el espesor “ e ” es de 50 mm. Para llegar a este valor vamos a regirnos con el principio mencionado anteriormente de colocar la misma cantidad de material que fue retirada para realizar la apertura. Partimos de lo siguiente:

$$A = A5$$

$$A \times t = 2 \times e \times tr$$

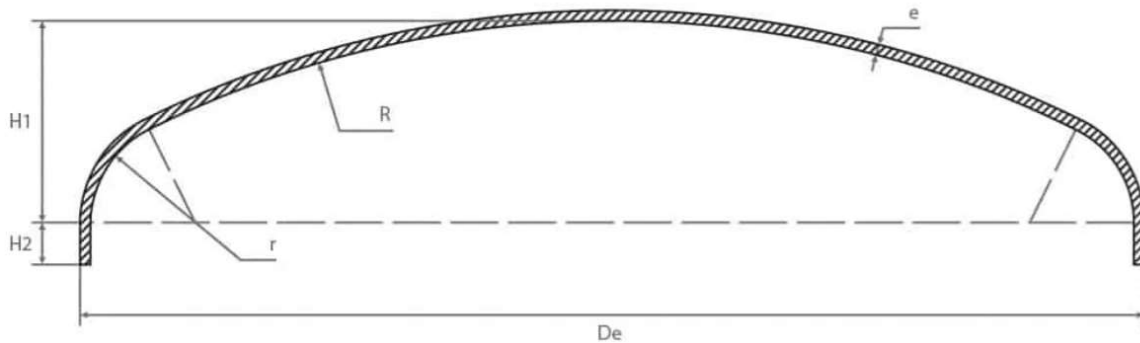
$$tr = \frac{a \times t}{2 \times e} = \frac{530mm \times 4mm}{2 \times 50mm} = 21,2mm$$

Visto lo anterior, decidimos que el refuerzo va a tener un espesor de 50 mm y un tr de 22 mm.

CAPITULO VII: CALCULO Y DISEÑO DE CASQUETE SUPERIOR

7.1 Diseño y verificación de casquete superior

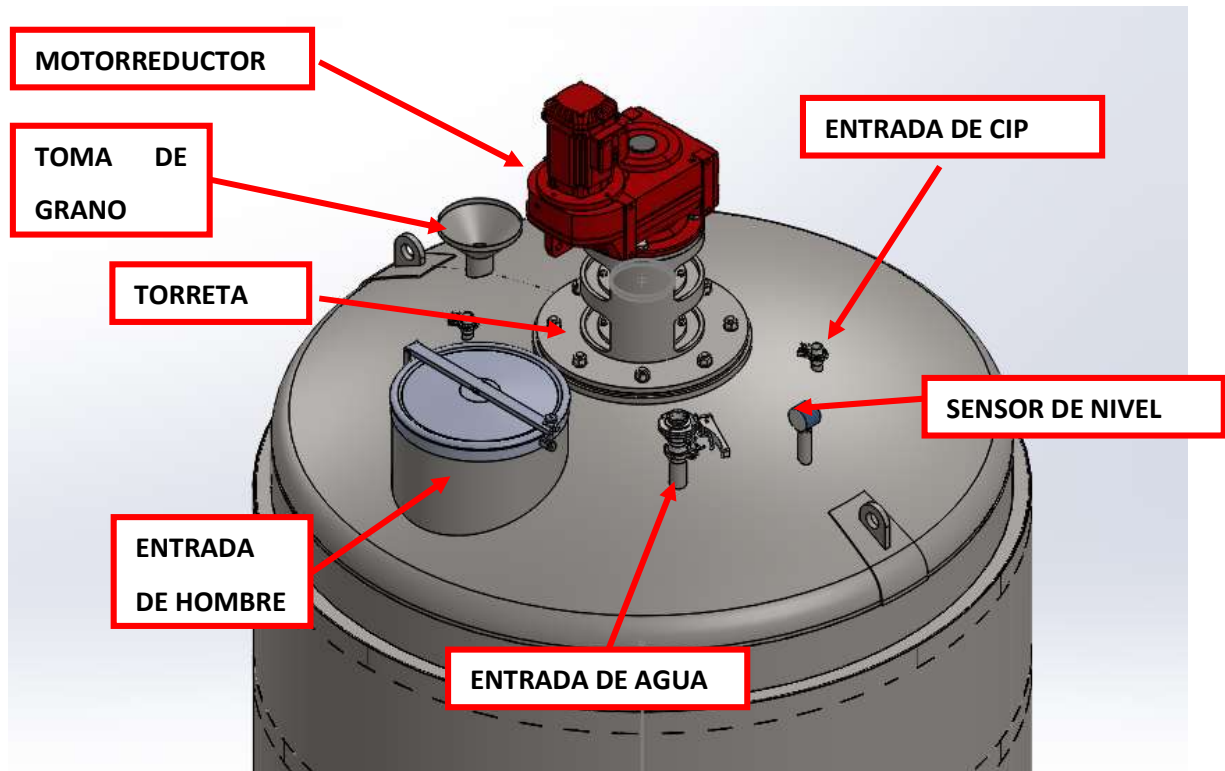
Para éste componente vamos a optar por realizar el mismo de una chapa de acero AISI 304 de espesor de 4mm, en lo que respecta a la forma del mismo, éste será de forma toriesférica ASME 10%, atendiendo que el es muy utilizado dentro de la industria en amplia variedad de equipos. De acuerdo a lo que se verá más adelante, se diseña el mismo del espesor mencionado a fin que el equipo tenga continuidad.



(Figura 9: Casquete toriesférico)

Cabe mencionar que el mismo va a soportar cargas de elementos que se encuentren sobre éste y vinculados a el como ser motorreductor, su debido anclaje con rodamientos, el eje principal, el cuerpo de agitación, toma para grano, una entrada de hombre para mantenimiento, sistema de ingreso de agua de proceso y sistema para lavado CIP del equipo.

La verificación se hará por MEF luego de tener tanto los componentes que son estándar seleccionados como diseñados y verificados los que implican diseño propio.



(Figura 10: Casquete toriesférico del equipo)

7.2 Selección de entrada de hombre

En lo que respecta a éste componente, el mismo es un elemento estándar el cual se procede a seleccionar del catálogo de productos de la empresa FAMIQ nuevamente y allí se opta por una entrada redonda, sello de silicona, de acero AISI 316L. La misma posee un diámetro de 500mm y un peso de 8,4 kg.

La función de la misma es inspección, limpieza, mantenimiento y a su vez se realiza la colocación del mecanismo extractor de bagazo el cual se encuentra sujeto a los brazos giratorios por medio de cadenas como se verá más adelante.



(Figura 11: Entrada de hombre)

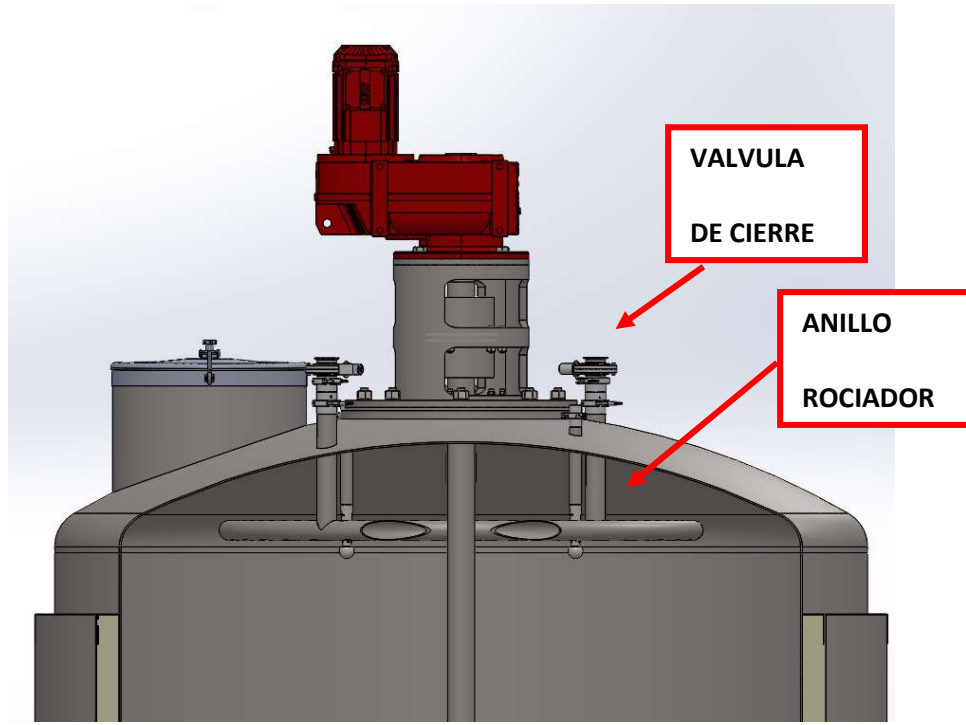
Datos técnicos

MODELO	A	B	C	D	E	BAR 150C			KG
	(mm)					PS	PP	PV	
P33-230	200	215	100	330	2	-	-	-	3,2
P33-330	300	220	100	430	2	-	-	-	4,6
P33-430	400	245	100	535	2	-	-	-	6,5
P33-530	500	245	100	630	2	-	-	-	8,4
P33-630	600	245	100	735	2	-	-	-	11

PS: Presión de servicios
 PP: Presión de prueba
 PV: Presión de vacío
 Peso en kilogramos

(FIGURA 11b: Datos técnicos entrada de hombre)

7.3 Ingreso de Agua de proceso



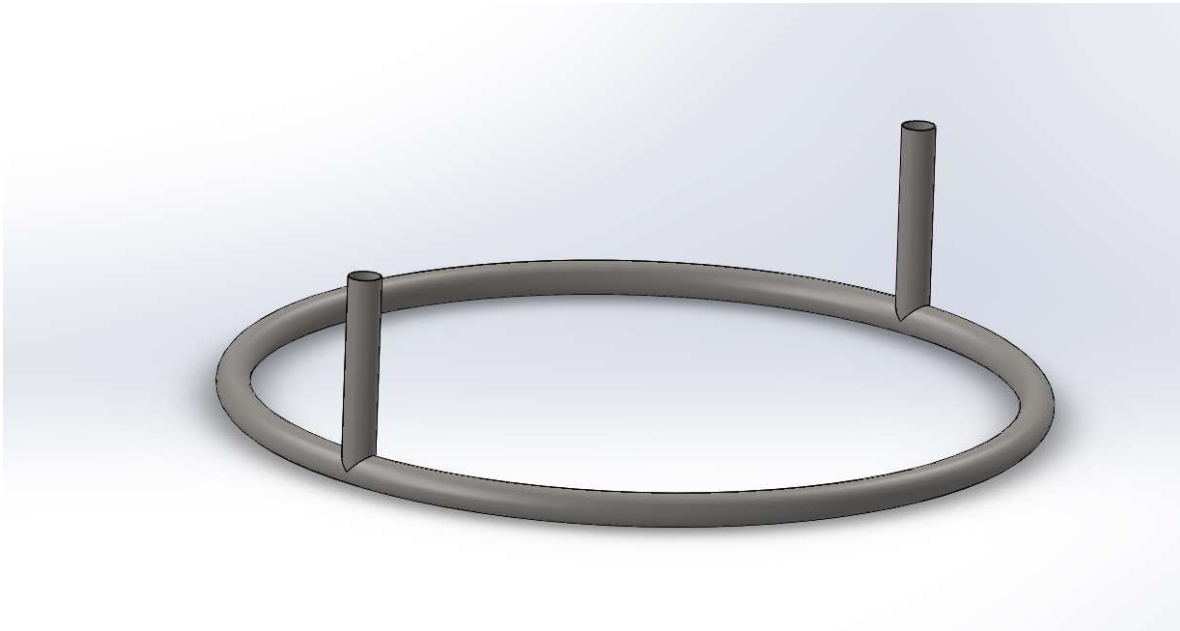
(Figura 12: Anillo rociador)

En lo que respecta al agua de proceso, desarrollaremos un diseño de un anillo rociador el cual será solidario al casquete superior dado que no circula producto por el y no se deberá desmontar para tareas de mantenimiento ya que a su vez el agua que ircula por el posee un tratamiento previo, este mismo brindará una dosificación

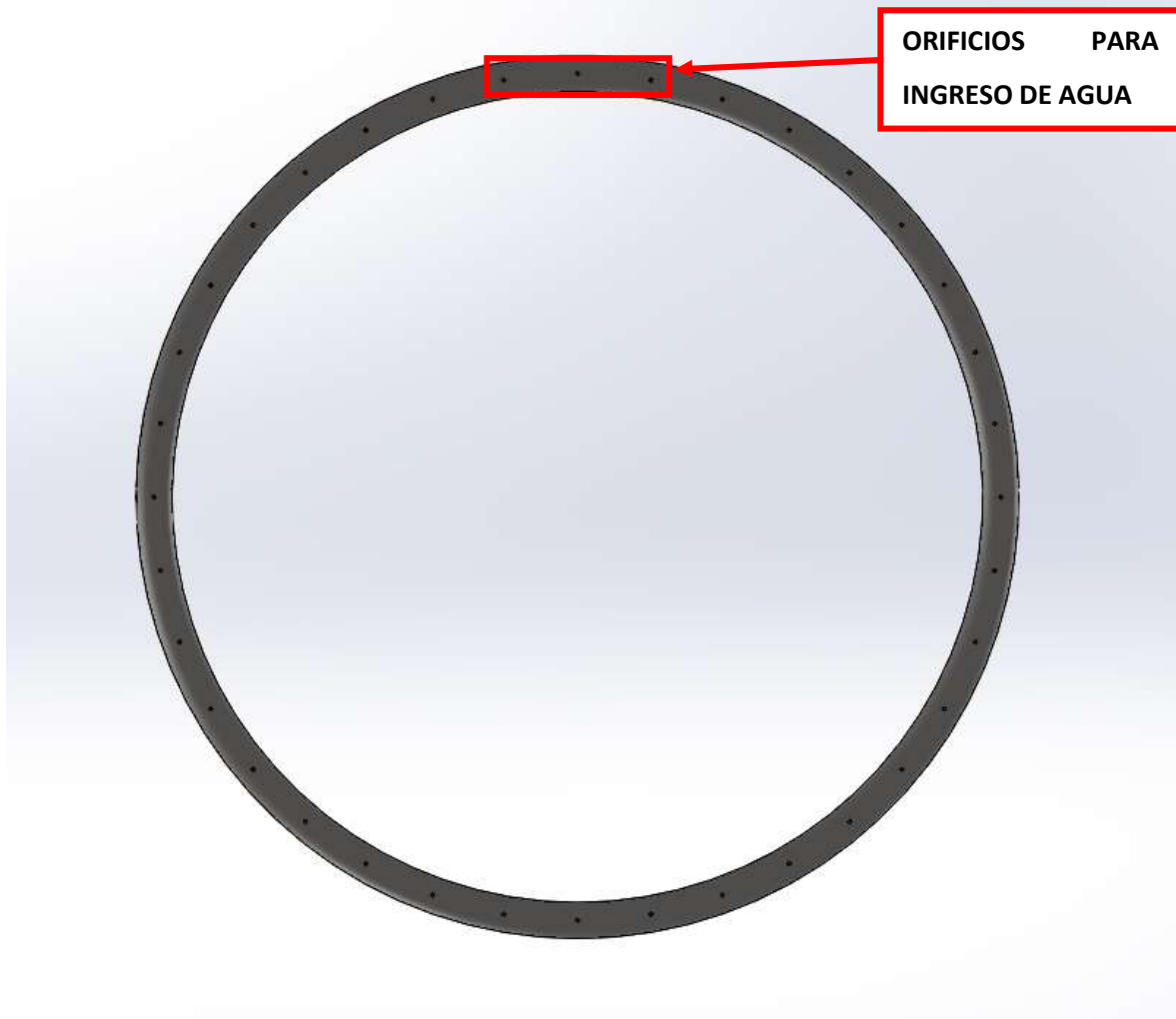
homogénea del agua dentro del equipo, éste estilo se adopta dado que en primera medida se debe lograr que el agua y la molienda de malta se mezclen de manera íntima evitando la formación de grumos que difícilmente se puedan erradicar, y en segunda medida, una vez extraído el primer mosto, queda sobre el falso fondo grano

húmedo al cual se le puede extraer todavía azúcares, es por ello que se busca que el ingreso de agua sea lo más parejo posible.

Para el diseño de esto se utilizaran caños de acero AISI 304 de diámetro 2" y espesor 1,5mm, rolados y las partes verticales serán caños idénticos a los colocados para el anillo los cuales serán despuntados y luego soldados, y para poder llegar a una válvula de cierre del anillo se utilizará uniones doble clamp



(Figura 13: Anillo rociador)



(Figura 13b: Orificios para ingreso de agua al equipo)

Como podemos ver en la imagen anterior, se practican sobre el anillo 36 orificios de $\varnothing 5\text{mm}$ con el fin de poder realizar una distribución homogénea del agua de proceso.

7.4 Selección de sistema de limpieza CIP

La preocupación por la higiene en las industrias agroalimentarias es una constante entre los responsables de producción. El alimento ha de cumplir con las exigencias en cuanto a calidad del cliente y también de las leyes de mercado.

Es imprescindible:

- Que la materia prima sea de buena calidad.
- Adecuada higiene del ambiente y del personal.
- Limpiar adecuadamente los equipos que se encuentren en contacto con el producto.

En los procesos biológicos industriales se producen reacciones biológicas y bioquímicas igual que en la naturaleza. Se persigue el máximo rendimiento, por lo que estos procesos pueden ser manipulados.

La preparación de cerveza es uno de los procesos denominados como “bioprocesos clásicos”, al igual que ocurre con la obtención del vino. Ambos son ejemplos de los procesos de fermentación, donde los microorganismos tienen un papel fundamental. A escala industrial, estos procesos son rentables únicamente en ausencia de gérmenes, razón por la que se aplican estrictas medidas de higiene. La instalación debe estar exenta de toda fuente de reacciones parásitas antes de que tenga lugar la producción. En todo proceso biotecnológico de producción, la limpieza y la desinfección son parte esencial de éste. Es importante diferenciar entre ambos términos.

En términos generales se entiende como la separación más completa entre, como mínimo, dos sustancias que están unidas físicamente. Dicha separación debe ser permanente, y que tras separar una de las sustancias, la otra queda limpia.

De forma estricta, se puede decir que limpiar es la culminación de lavar y enjuagar. Lavar es la eliminación de la suciedad de superficies rugosas mediante tratamiento con soluciones acuosas frías o muy calientes independientemente de la duración. Por otro lado, enjuagar consiste en eliminar la suciedad de superficies lisas mediante sistemas acuosos. A diferencia de limpiar y lavar, en el enjuagado se parte de la premisa de que la suciedad presenta escasa adherencia. En la producción de cerveza, parte de la suciedad yace emulsionada.

La desinfección tiene como objetivo la obtención de una superficie biológicamente limpia. De forma más detallada, se define la desinfección como la adecuada

eliminación de determinados microorganismos nocivos mediante actuación sobre su metabolismo o estructura con objeto de impedir su transmisión.

En la industria alimentaria se utilizan medios limpiadores y desinfectantes combinados de acción rápida y con gran capacidad de reacción, que contienen también principios desinfectantes fácilmente inhibidos en una concentración que como máximo se elimina con moderados grados de ensuciamiento.

Los requisitos para que una limpieza y desinfección combinadas ejecuten un trabajo eficaz son:

- La suciedad y los residuos de alimentos nunca deben resecarse.
- Inmediatamente después de concluir el proceso de producción, deben eliminarse los restos visibles de alimentos. En instalaciones cerradas basta de forma frecuente con absorber los residuos líquidos de los depósitos o insuflar en las vías de transporte cerradas a título de limpieza previa (o enjuagado previo).
- Enjuagar previamente con agua templada a la temperatura adecuada, a ser posible por encima del punto de fusión de las grasas y en todos los casos por debajo de la temperatura de coagulación de las proteínas.
- Practicar la limpieza y desinfección utilizando suficiente cantidad de solución y combinando ambas fases en una proporción de acuerdo con el tipo de trabajo a realizar.
- Controlar la constancia de la concentración, así como de la temperatura tanto al inicio como al final de la actuación.

Como se mencionó con anterioridad se procederá a elegir un sistema de limpieza CIP, a continuación se mostrará tablas con ventajas y desventajas del proceso.

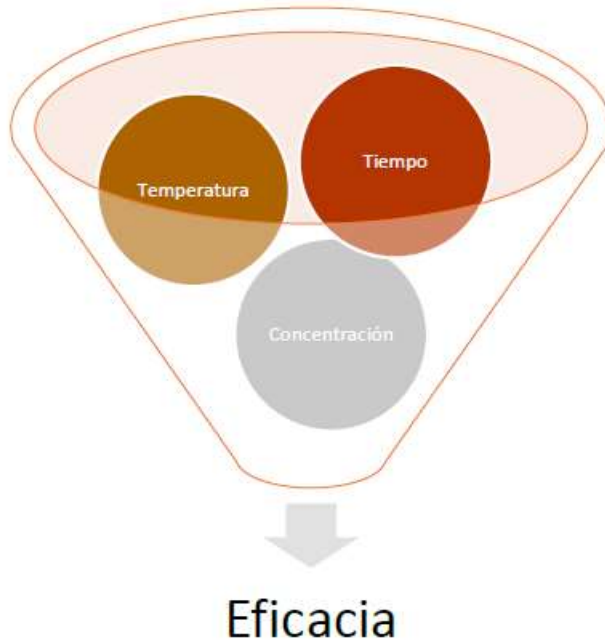
Ventajas	Descripción
Adecuado para limpiar una amplia selección de equipos de proceso	Tanques, tuberías, bombas, cambiadores de calor, depósitos...etc.
Esfuerzo manual mínimo	Posee un alto grado de automatización
Mejora de la higiene	La inacción humana, las altas temperaturas y los fuertes detergentes reducen la posibilidad de re-contaminación
Trazabilidad de las operaciones de limpieza	Puede automáticamente manipular los parámetros de temperatura, flujo...etc.
Reducción del tiempo muerto	Permite que la limpieza sea más rápida que de forma manual
Menor impacto ambiental	La cantidad de vertido contaminante será menor
Menor coste económico	Se ahorra en agua, detergente, desinfectante, energía y tratamiento de residuos

(Figura 14: Ventajas sistema CIP)

Inconvenientes	Descripción
Alta inversión económica inicial	Los sistemas CIP se diseñan a medida. Además, el hardware y el software suponen un aumento del capital
No es adecuado para eliminar suciedades pesadas	Carece de eficacia en la industria cárnica y de vísceras de aves
Inflexibilidad	Los sistemas CIP estacionarios no permiten abarcar más que procesos adyacentes
Mantenimiento	El equipamiento sofisticado requiere de un mantenimiento a mayores

(Figura 14b: Desventajas sistema CIP)

En lo que respecta a la eficacia del sistema CIP podemos decir que la misma se debe de acuerdo a tres parámetros los cuales son la temperatura del proceso, la concentración de agente y el tiempo de lavado como se ve a continuación.



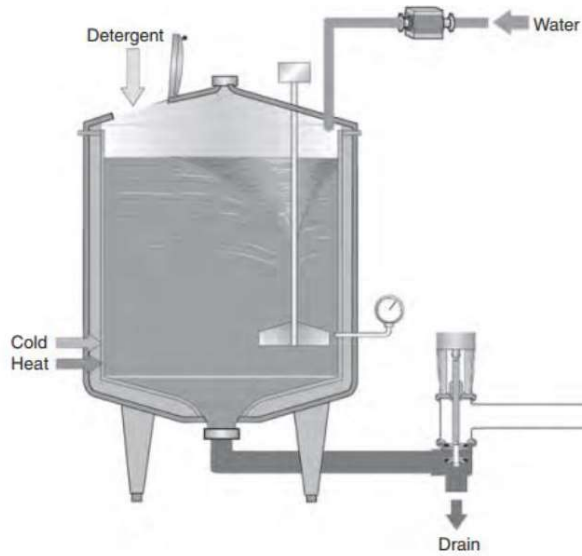
(Figura 14c: eficacia de sistema CIP)

En lo que refiere a éstos normalmente están provistos de uno o más tanques, de un suministro a partir de una bomba, dosificadores, intercambiadores de calor, un complejo sistema de tuberías e instrumentación de control.

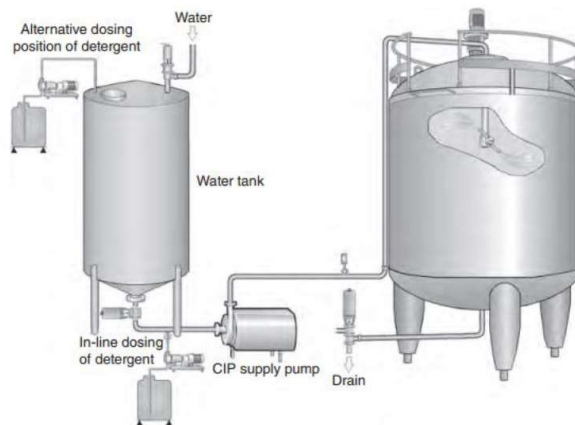
El material más utilizado para fabricar los pertinentes depósitos, tuberías y bombas de un sistema CIP es el acero inoxidable de aleación Cr-Ni. Los tipos de acero inoxidable más comunes son: AISI 304, AISI 316 y AISI 316T.

Existen cuatro tipos básicos de CIP: sistemas CIP de ebullición y descarga, sistemas CIP de recorrido único, sistemas CIP de empleo no recuperable y

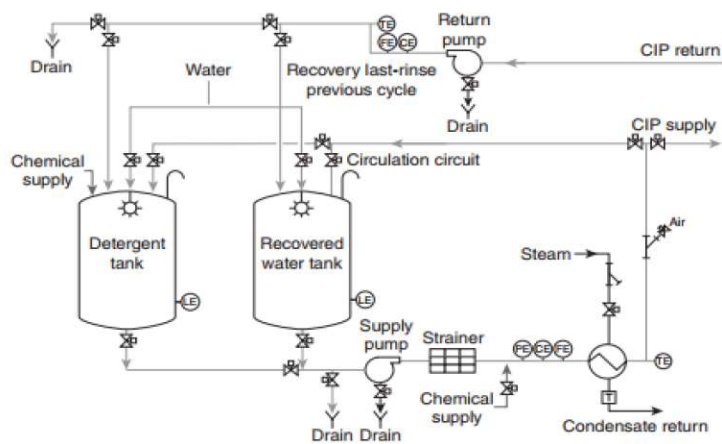
sistemas CIP de empleo repetido. El tipo de sistema CIP más apropiado para un proceso depende del criterio económico, del tamaño de los equipos, de la frecuencia de empleo y del riesgo de contaminación.



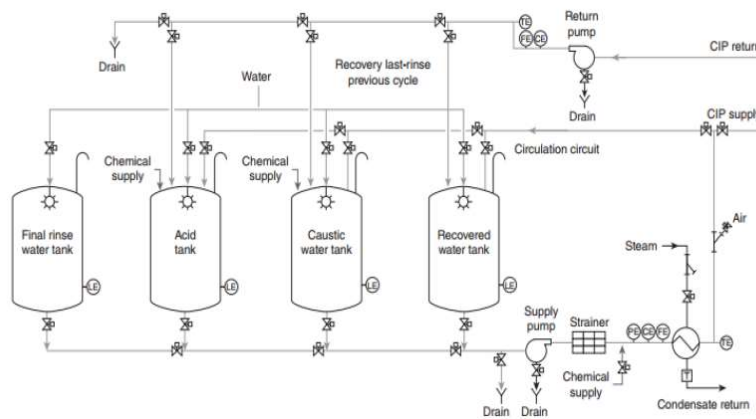
(Figura 15: Sistema CIP de ebullición y descarga)



(Figura 15b: Sistema CIP de camino único)



(Figura 15c: Sistema CIP de empleo no recuperable)



(Figura 15d: Sistema CIP de empleo repetido)

De todas maneras de en el presente nos abocaremos a la selección del sistema dentro del macerador, los demás equipos involucrados quedan a criterio de quien utilice el equipo.

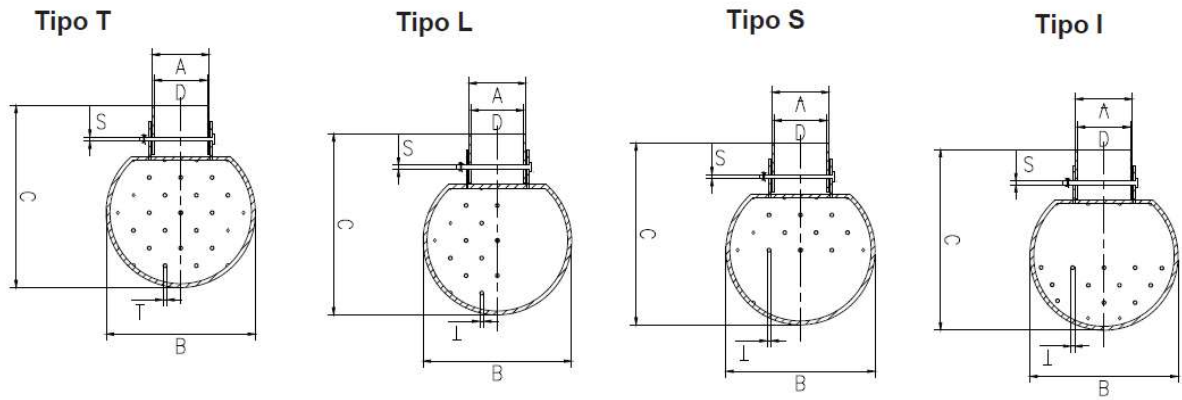
En lo que respecta al diseño se utilizarán rociadores de tipo estacionario que son dispositivos de rociado no giratorios de pared delgada (1mm) o de pared gruesa (hasta 6 mm) disponibles en varios materiales. Son los más utilizados para la limpieza de depósitos. El mojado directo está limitado a la parte superior del depósito, mientras que la zona inferior es mojada por el efecto cascada a través

de las paredes. Pueden instalarse para que el chorro esté orientado 270° (hacia arriba o haciaabajo), 180° (hacia arriba o hacia abajo) y 90° hacia arriba. De esta forma es suficiente para limpiar depósitos con diámetros de entre 4 y 6 metros, que contengan suciedad que sea fácilmente soluble en el detergente. Para aquellos con un diámetro mayor, basta con incrementar el caudal aplicado.

Una desventaja de estos dispositivos es que pueden actuar como coladores y acumular escombros de suciedad. Por ello, debe efectuarse un filtrado previo de solución de limpieza. A menudo debe revisarse que los agujeros no estén bloqueados, y que el agujero destinado al drenaje esté en perfectas condiciones para drenar.



(Figura 16: Rociador estacionario)



(Figura 16b: tipos de rociador estacionario)

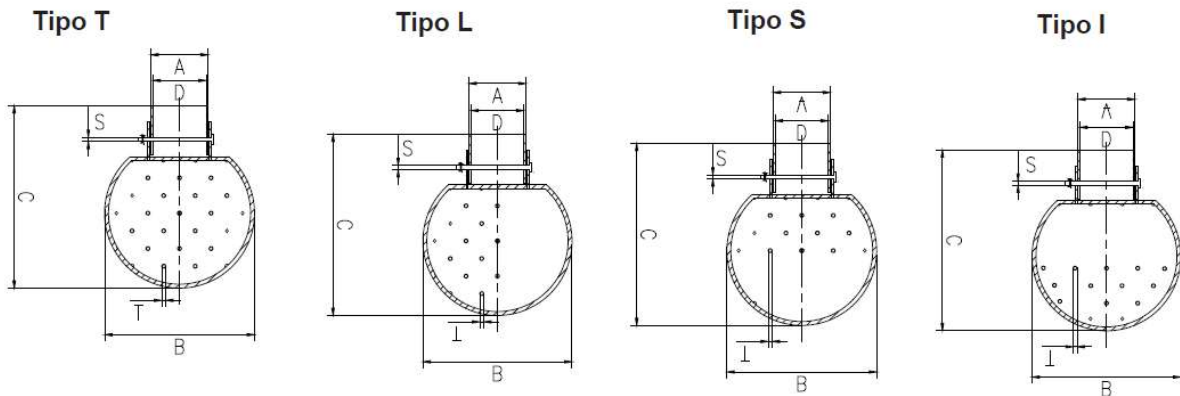
En lo que respecta a nosotros vamos a seleccionar del catálogo de la empresa FAMIQ nuevamente bochas de lavado estacionario tipo T las cuales pueden dirigir el fluido 360°, para nuestro caso por el diámetro del tanque de 2100 mm optaremos por colocar 2 de ellas descentradas dado que poseemos el eje que comanda el cuadro de agitación.

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

(Figura 16c: catálogo FAMIQ de rociador estacionario tipo T)

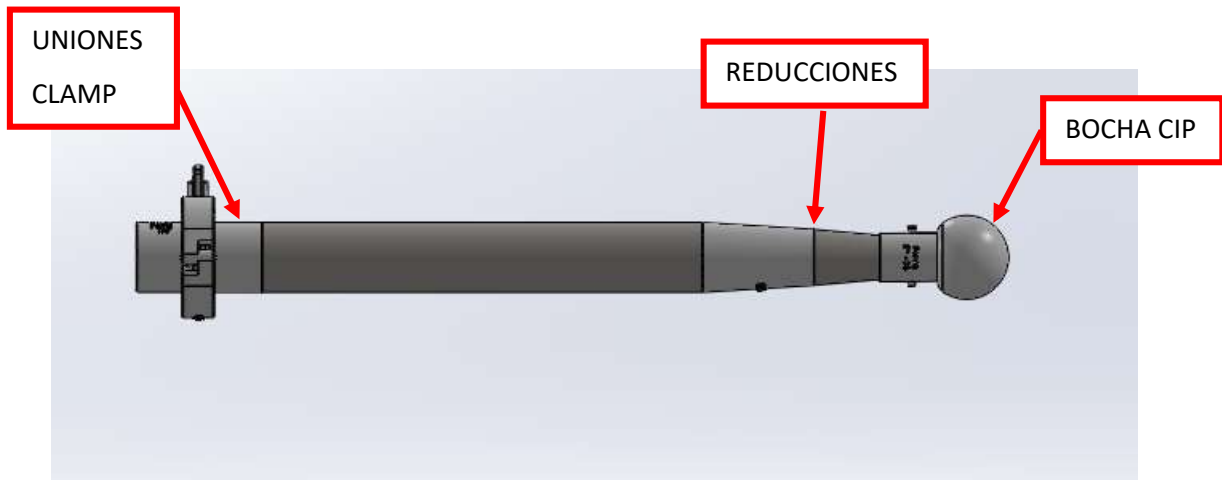
De lo visto en la imagen anterior seleccionamos dos bochas de diámetro 32 las cuales nos dan a una presión de 2,5 bar un radio de limpieza que oscila entre 1,25 y 1,75 m viendo que con ellas podemos limpiar adecuadamente nuestro equipo.

De la imagen que se muestra a continuación podemos ver las dimensiones de los accesorios seleccionados y cabe mencionar que se desarrolla una lanza cip utilizando uniones clamp para conexión externa, caño Ø31,7, espesor 1,5 mm y largo 200 mm, y reducciones concéntrica que lleve al diámetro del caño que trae la bocha cip, esta misma se vinculará al techo por medio soldadura dado que no debe ser removida para mantenimiento.



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

(Figura 16d: catálogo FAMIQ de rociador estacionario tipo T)



(FIGURA 17: Lanza cip)

7.5 Introducción sobre agitación en el macerado

Como ya hemos visto con anterioridad, la cuba de maceración es el centro neurálgico de la transformación del almidón de malta en azúcares fermentables. Este proceso, conocido como sacarificación, depende de unos mecanismos eficaces de calentamiento y agitación dentro de la cuba.

Los agitadores de la cuba de maceración son fundamentales para garantizar la uniformidad y la eficacia durante la elaboración de la cerveza. Su tamaño influye directamente en la transferencia de calor, la consistencia de la temperatura y la suspensión de sólidos en el líquido. Una agitación adecuada evita el sobrecalentamiento localizado y favorece la distribución uniforme de los ingredientes, lo que resulta crucial para mantener la integridad del mosto y de la cerveza resultante.

El mismo consta de los siguientes elementos:

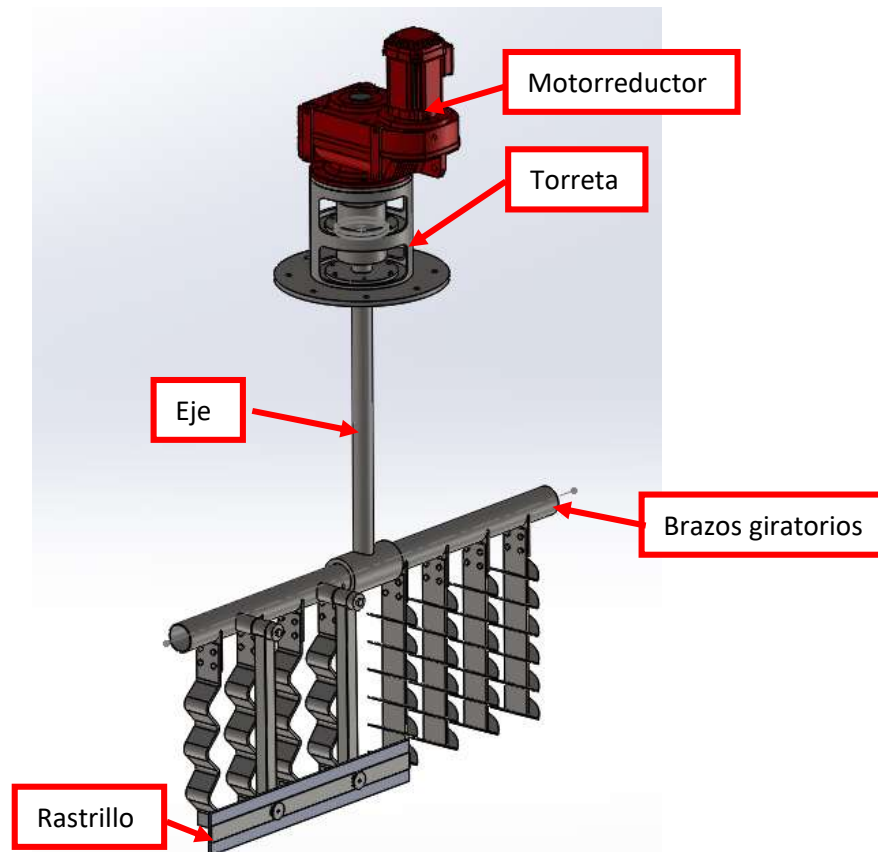
- Motorreductor.
- Torreta con porta rodamientos, rodamientos y porta retén.

Ingeniería Mecánica

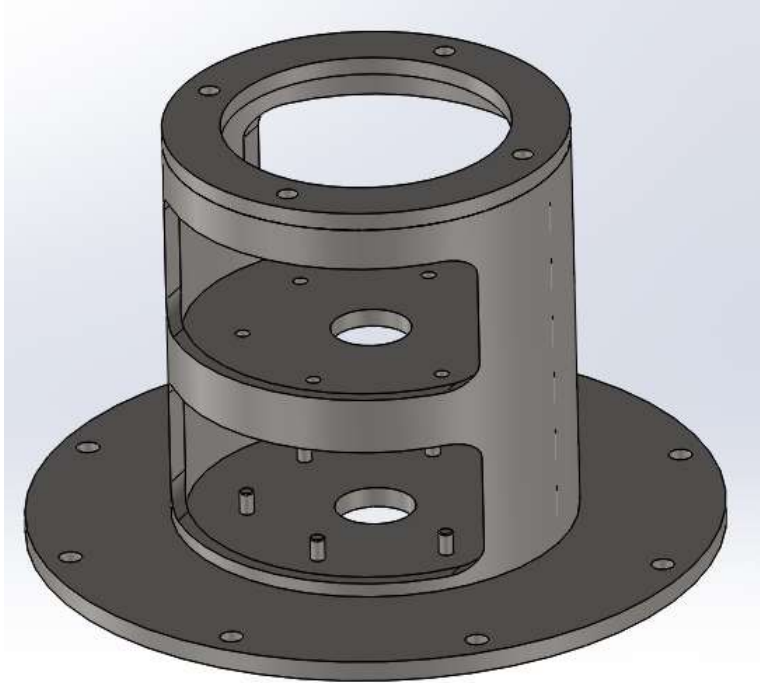
Asignatura: Proyecto Final

Proyecto Final de Carrera

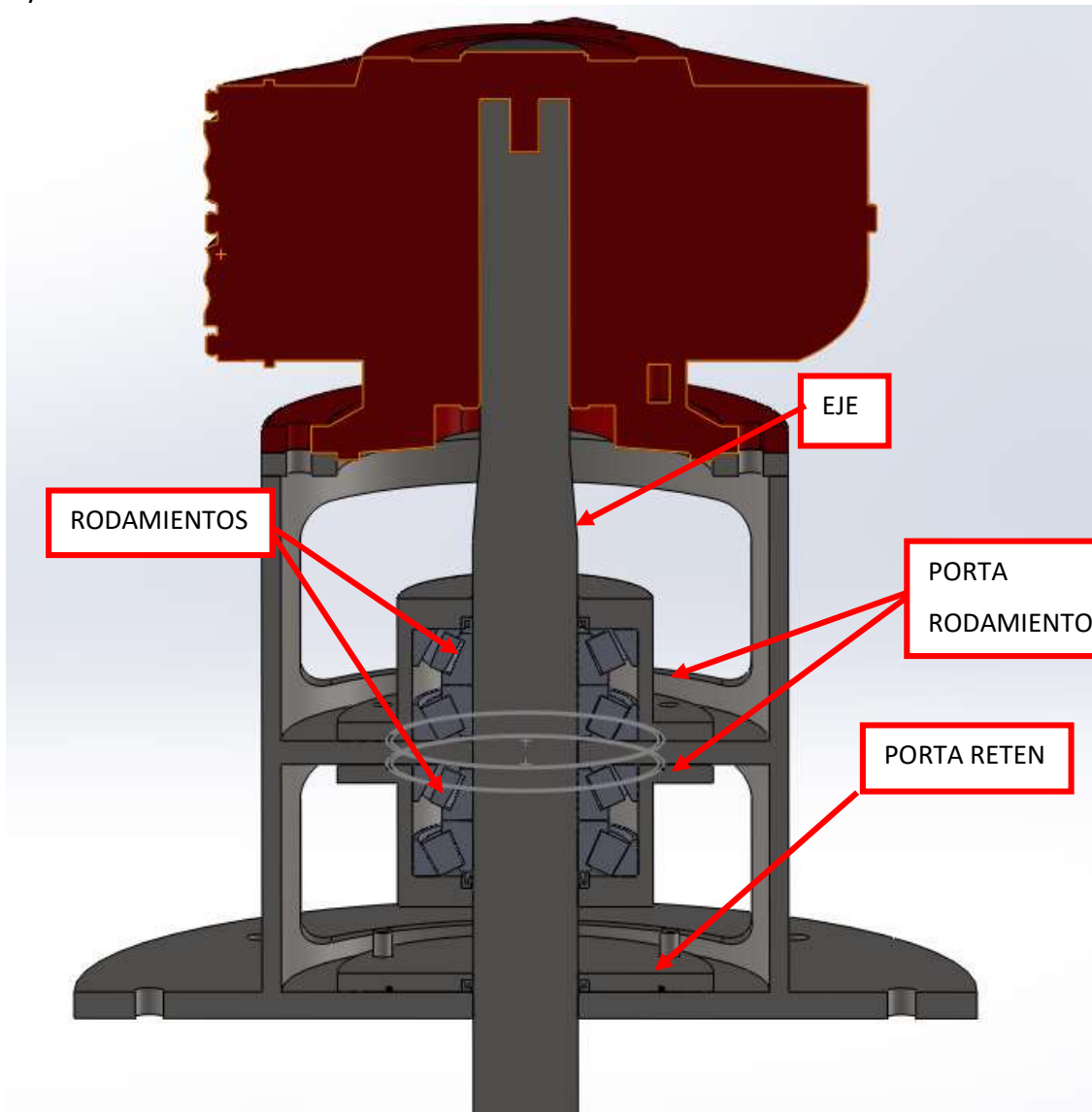
- Eje
- Vinculación de eje con brazos giratorios.
- Brazos giratorios.
- Porta cuchillas y cuchillas.
- Brazos de rastrillo y rastrillo propiamente dicho.



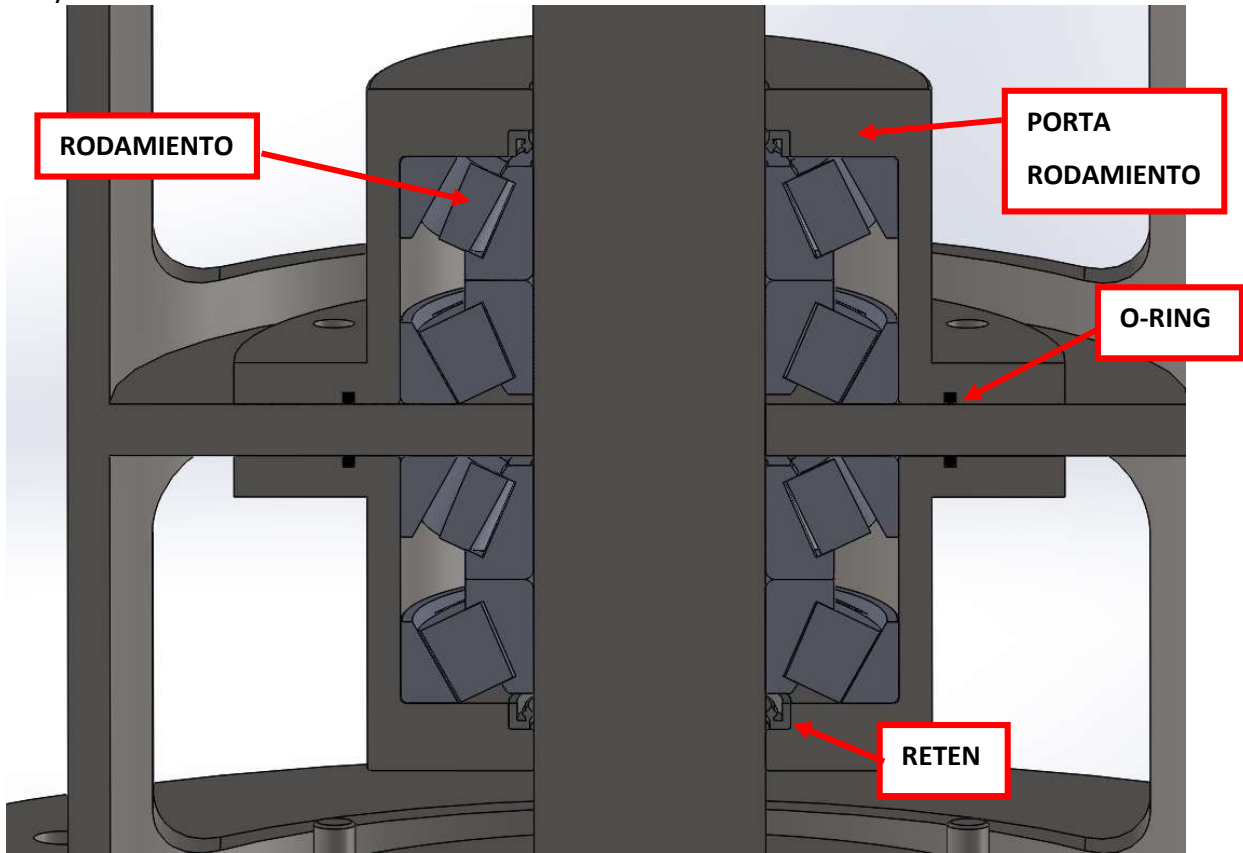
(Figura 18: Sistema de agitación completo)



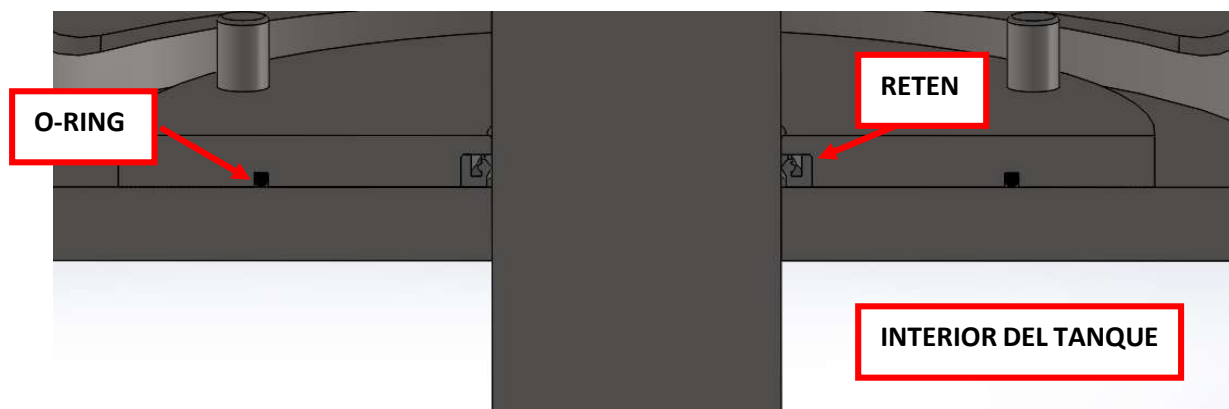
(Figura 19: Torreta)



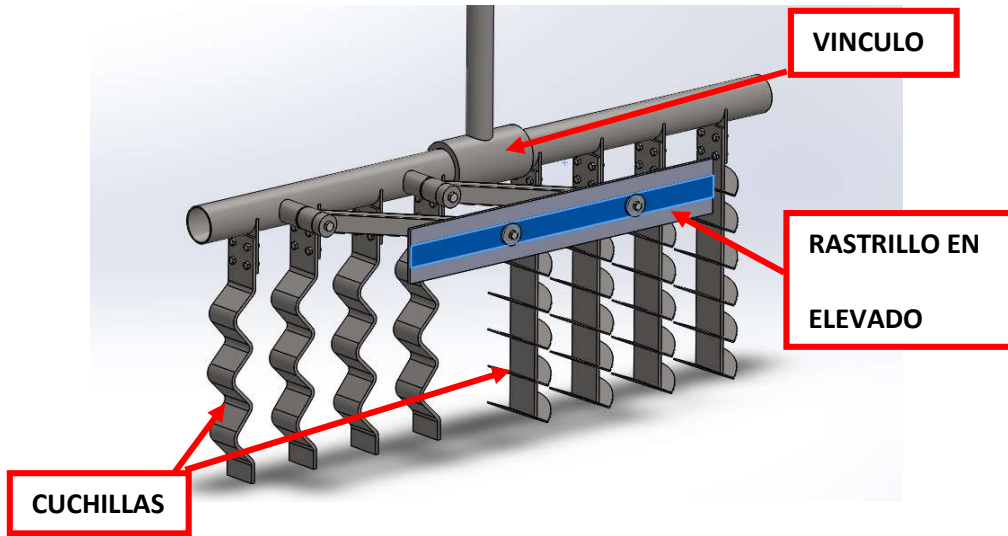
(Figura 20: Posición de rodamientos SKF 31314/CL7ADF)



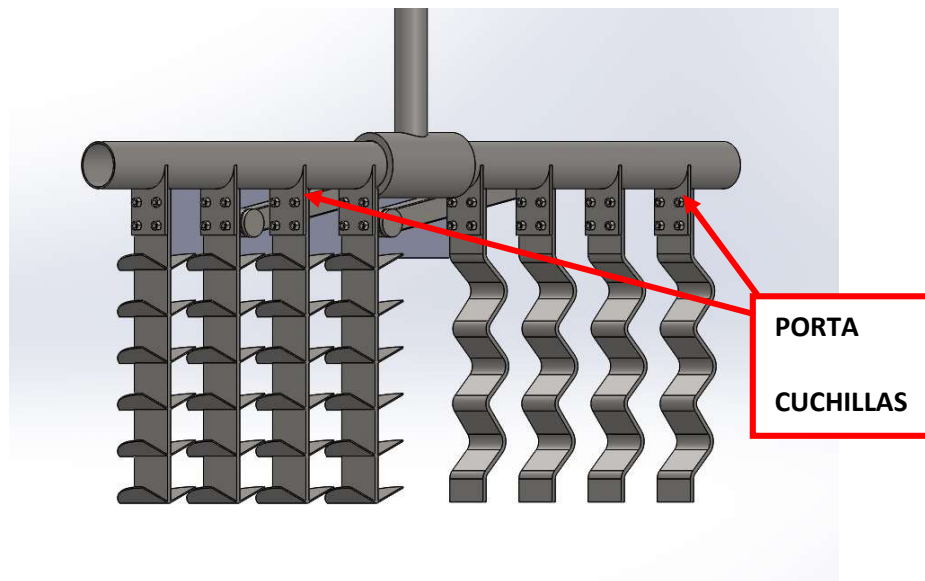
(Figura 20b: Porta rodamientos)



(Figura 20c: Porta reten)



(Figura 20d: Cuerpo de agitación)



(Figura 20e: Cuerpo de agitación)

7.6 Selección del motorreductor

En primer lugar, se efectuará el cálculo de la fuerza ejercida por el bagazo, luego de ello calcularé la potencia y el par requerido para luego proceder con la selección del mencionado equipo.

De acuerdo a lo observado, dentro de la composición del macerador, el mismo posee un rastrillo que es el encargado de realizar la remoción del bagazo para su limpieza luego de la maceración. Es por esto que es clave determinar la fuerza que se ejerce por el rastrillo para realizar la tarea. Dado que allí se presenta el momento más crítico, es decir donde se tiene el mayor esfuerzo dado que al encontrarse realizando el proceso de maceración el rastrillo es elevado (como se ve en figura anterior) y anclado a los brazos giratorios por medio de cadenas para evitar que el mismo caiga.

Primero para ello, es necesario conocer la masa de bagazo que se tiene tras la maceración, la misma la calcularemos a partir de proponer un balance de masas en el equipo.

Se sabe que ingresan 427 kg de malta y 1461 litros de agua (equivalen a 1461 kg) y se sabe que egresan 980 litros de mosto o su equivalente en kg (sabiendo que la densidad es de 1,05 kg/l) se tienen 1030 kg y es por ello que se tienen 858 kg de bagazo.

Bien como se sabe el bagazo se encuentra sobre el falso fondo, lo que hace que el rastrillo deba empujarlo para moverlo y así poder retirarlo tendre que esta 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:

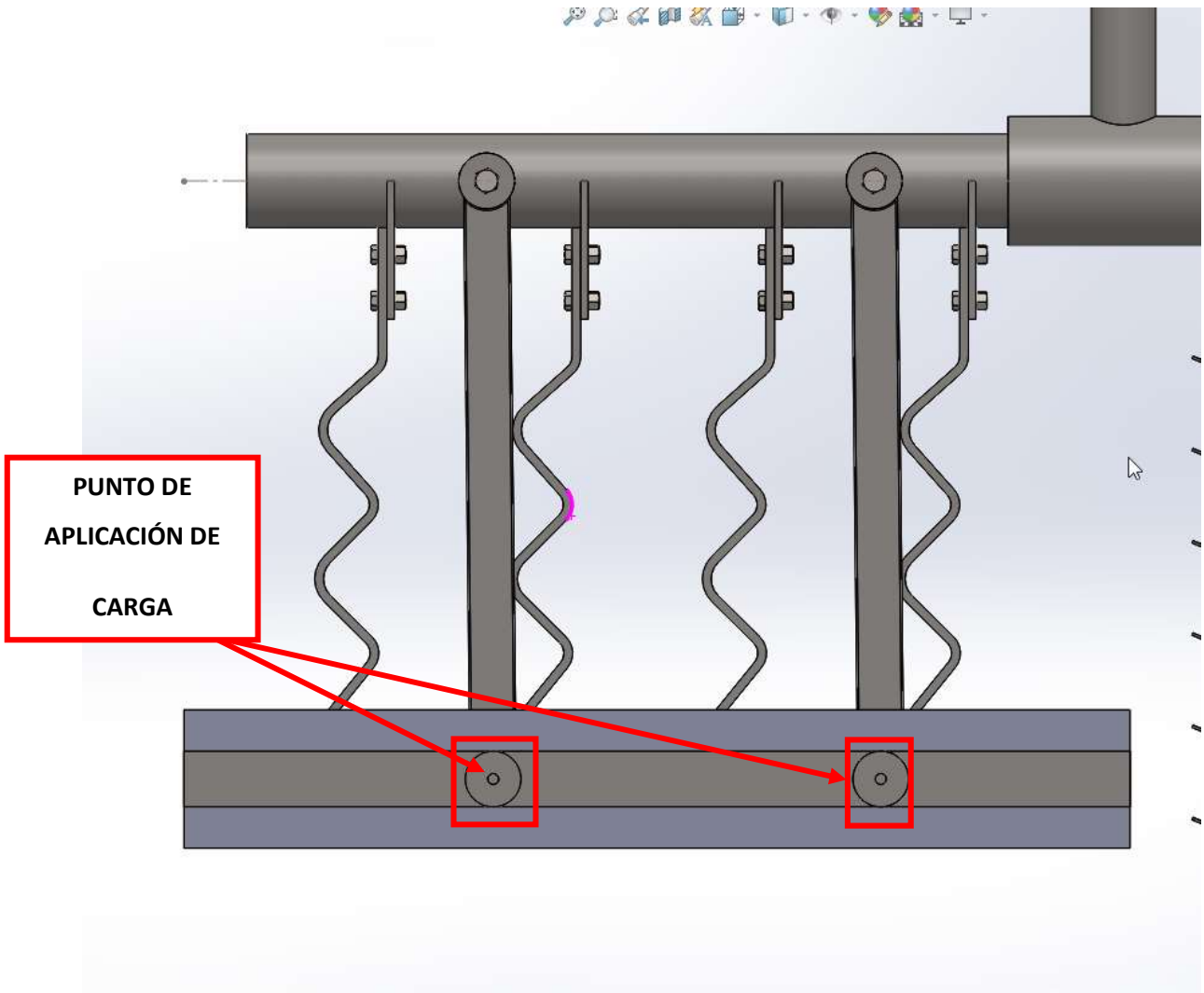
$$F = mxgx\mu = 858kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,3 = 252,2 \text{ kgf}$$

El coeficiente de fricción utilizado es un dato experimental hallado en investigaciones realizadas para bagazo y acero inoxidable. Teniendo en cuenta este valor y un dato empírico proporcionado por un fabricante de cerveza artesanal quien nos comenta que la velocidad ideal para realizar el proceso de maceración es aproximadamente 3 revoluciones por minuto, procedemos a realizar el siguiente cálculo.

$$Potencia = Momento\ torsor \times Velocidad\ de\ giro$$

$$P = Mt \times w$$

Para el cálculo del momento efectuado, vamos a proceder a suponer para simplicidad de cálculo que la fuerza ejercida por el bagazo se encuentra aplicada de forma puntual sobre los anclajes del brazo rastrillo como se muestra a continuación.



(Figura 21: Puntos de aplicación de fuerza ejercida por el bagazo)

Estos puntos se encuentran situados a 270mm y a 690mm del centro del eje de agitación, es por ello que vamos a tener un momento torsor de acuerdo a lo siguiente:

$$Mt = 252,2 \text{ kg} \times 0,27\text{m} + 252,2 \text{ kg} \times 0,69\text{m} = 242,11 \text{ kgm} = 2421,1 \text{ Nm}$$

De acuerdo a éste cálculo realizado tenemos un momento aproximado de 2500 Nm.

Ahora procedemos a realizar el cálculo de la potencia mecánica necesaria

$$P = Mt \times \omega = 2500 \text{ Nm} * 0,314 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 760 \text{ W} = 1,02 \text{ Hp}$$

Considerando un rendimiento del 80% del motor tenemos entonces que la potencia eléctrica demandada es:

$$P_{mec} = P_{elec} \times \eta$$

$$P_{elec} = \frac{1,02 \text{ Hp}}{0,8} = 1,275 \text{ Hp}$$

De acuerdo a esto tomaremos un valor de 1,5 Hp para la selección.

Se opta por utilizar un equipo de la marca SEW Erodrive los cuales son fabricantes de motorreductores a nivel mundial.

Se realiza una consulta con el distribuidor de la marca brindando los datos mencionados anteriormente y se obtiene que se debe utilizar el equipo FAF87DRN90L4 el cual es un motorreductor de ejes paralelos y que consta con el eje de manera tal que proporcione una facilidad de montaje.

Pos	Ctd	Nº Ref	Precio/Unidad USD	Precio total USD
01	1 PZA		5.370,51	5.370,51
		Motorreductor de ejes paralelos FAF87 DRN90L4		



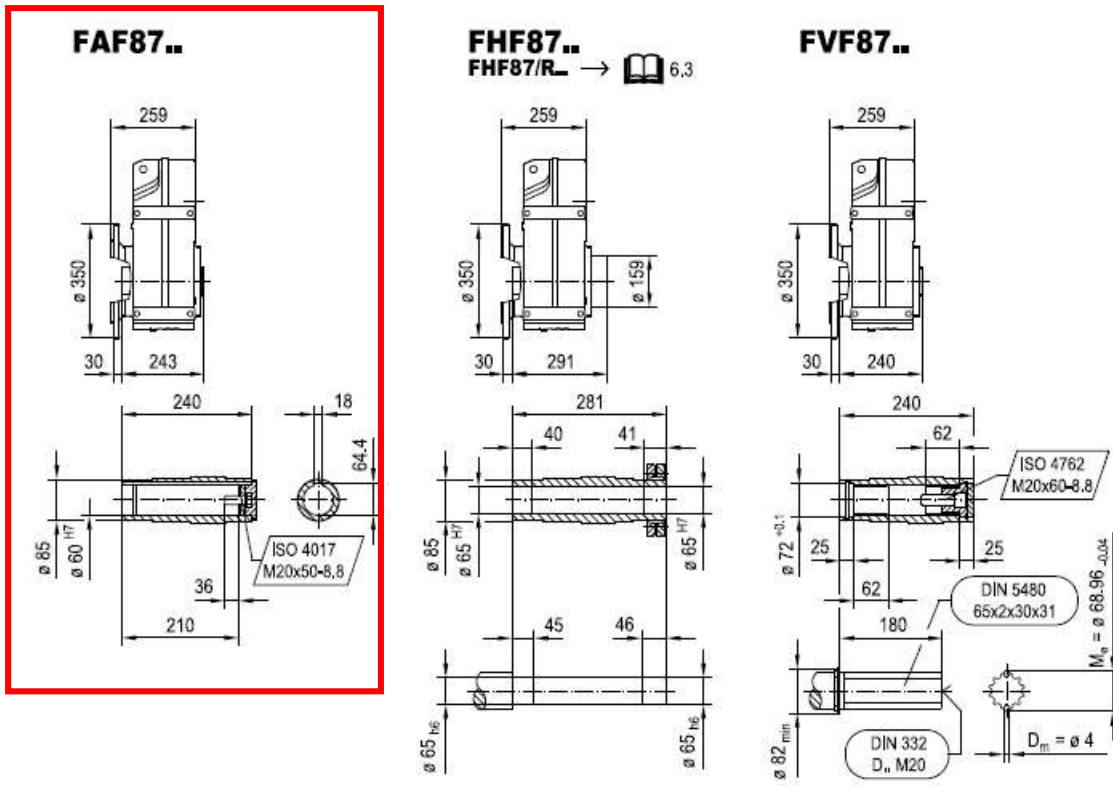
Nota:

El color y la especificación técnica pueden diferir de este dibujo. Para la especificación técnica por favor consulte los datos siguientes.

(Figura 22: Motorreductor SEW)

Motor	: DRN90L4
Potencia Motor (kW)	: 1,5
Frecuencia del motor [Hz]	: 50
Tipo de servicio S1-S10	: S1
Tensión motor [V] / Conexión	: 220/380 Triángulo / Estrella
Corriente nominal [A]	: 6,20 / 3,55
Cos phi	: 0,74
Esquema de conexiones	: R13 / 680010506
Tipo Aislamiento /IP	: 155(F) / 55
Clase Eficiencia internacional	: IE3
Eficiencia	
50/75/100% Pn [%]	: 84,6 / 86,1 / 85,6
Marcado CE	: Sí
Caja de Bornas	: Part inferior de caja de bornas de aluminio con agujeros roscados de 1xM25, 1xM16
Nº de documentación A	: 25957155 26861402 30589541
Placa de características	: Español
Posición placa características	: 270°
Idioma inst. func.A / Cantidad	: Español / 0
Pzas repuesto/Idioma /Cantidad	: Español / 0
Partida estadística	: 85015220
peso neto [KG]	: aprox. 140/PZA 140/Pos.

(Figura 22b: Datos técnicos del motorreductor)



(-) (17.3)	DRN											
	80MK	80M	90S	90L	100LS	100L/LM	112M	132S	132M	132L	160..	180..
AC	156	156	179	179	197	197	221	221	261	261	314	357
AD	128	128	140	140	157	157	170	170	228	228	253	268
ADS	139	139	150	150	158	158	172	172	228	228	253	268
L	592	637	639	671	667	717	748	798	816	842	908	931
LS	673	718	732	764	761	811	860	910	954	979	1097	1120
LB	218	263	265	297	293	343	374	424	442	468	534	557
LBS	299	344	358	390	387	437	486	536	580	605	723	746

(Figura 22c: Datos constructivos del motorreductor)

Con éstos datos, se va a proceder a continuación al diseño de la torreta que soportará dicho equipo.

La documentación brindada por el representante de la marca SEW será adjuntada dentro de la sección de anexos del presente.

7.7 Cálculo y dimensionamiento del eje de agitación

Para el cálculo del mismo vamos a realizar simplificaciones, suponiendo que se tiene una altura de cabeza toriesférico de 415 mm y la aplicación del mismo se

encuentra 850 mm por debajo de la línea del cabezal dado que allí se supuso la aplicación de la carga para el cálculo y dimensionamiento de los brazos giratorios como se verá más adelante.

Procederemos a realizar verificaciones por solicitaciones compuestas, tomando como primer medida momento flector junto a momento torsor dado que se considera la peor condición de solicitación.

- Verificación por solicitación a flexotorsión:

En primer medida se tiene un brazo de palanca para momento flector de 1265 mm y una fuerza que es la ejercida por el bagazo de 252,2 kg

$$Mf = F \times d = 318780 \text{ kgmm}$$

Utilizando el momento torsor calculado anteriormente para la selección del motorreductor tenemos un momento equivalente de acuerdo a la teoría de Von misses

$$Meq = \sqrt{Mf^2 + 0,75 Mt^2} = 381500 \text{ kgmm} = 38150 \text{ kgcm}$$

Sabemos que la tensión que se tiene es la siguiente:

$$\sigma = \frac{Meq}{Wx}$$

Siendo Wx el modulo resistente del eje. Para ello vamos a realizar un análisis basándonos en suposiciones de diámetros de barras macizas comercializadas por la empresa Famiq.

El módulo resistente puede calcularse de la siguiente manera:

$$Wx = \frac{\pi \times d^3}{16}$$

Se calcula el mencionado para valores de diámetro de 76,2mm, 70mm y 60mm.

Para $\varnothing 76,2$ mm $W_x = 87$ cm³ teniendo una tensión igual a 438,5 kg/cm²

Para $\varnothing 70$ mm $W_x = 67,35$ cm³ teniendo una tensión de 570 kg/cm²

Para $\varnothing 60$ mm $W_x = 42,41$ cm³ teniendo una tensión de 900 kg/cm²

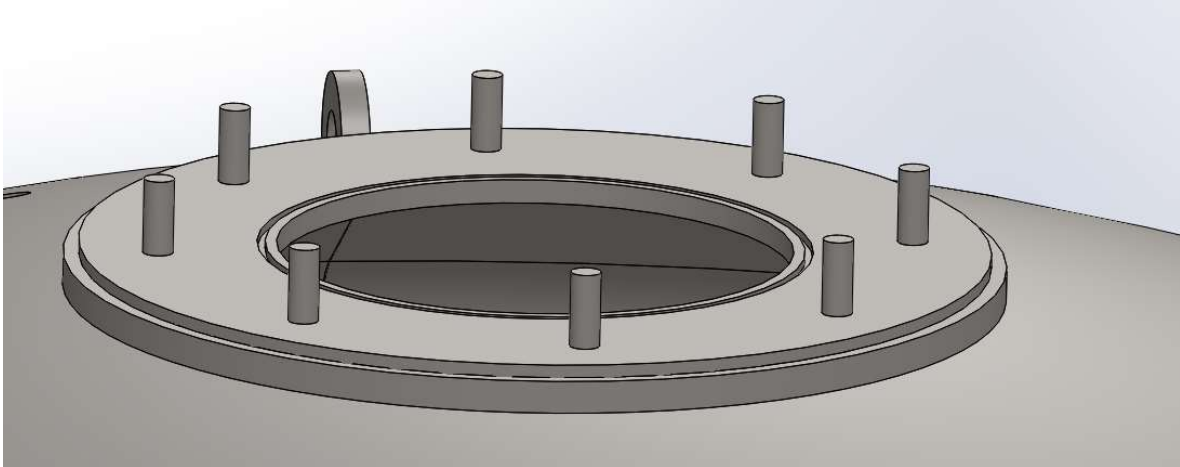
De aquí tomamos que lo más adecuado es realizar el eje de un diámetro de 70mm salvo el tramo de acople al motorreductor el cual es de $\varnothing 60$ mm dado que el equipo presenta una entrada de eje hueco con chaveta de $\varnothing 60$ mm.

7.8 Cálculo y dimensionamiento de torreta

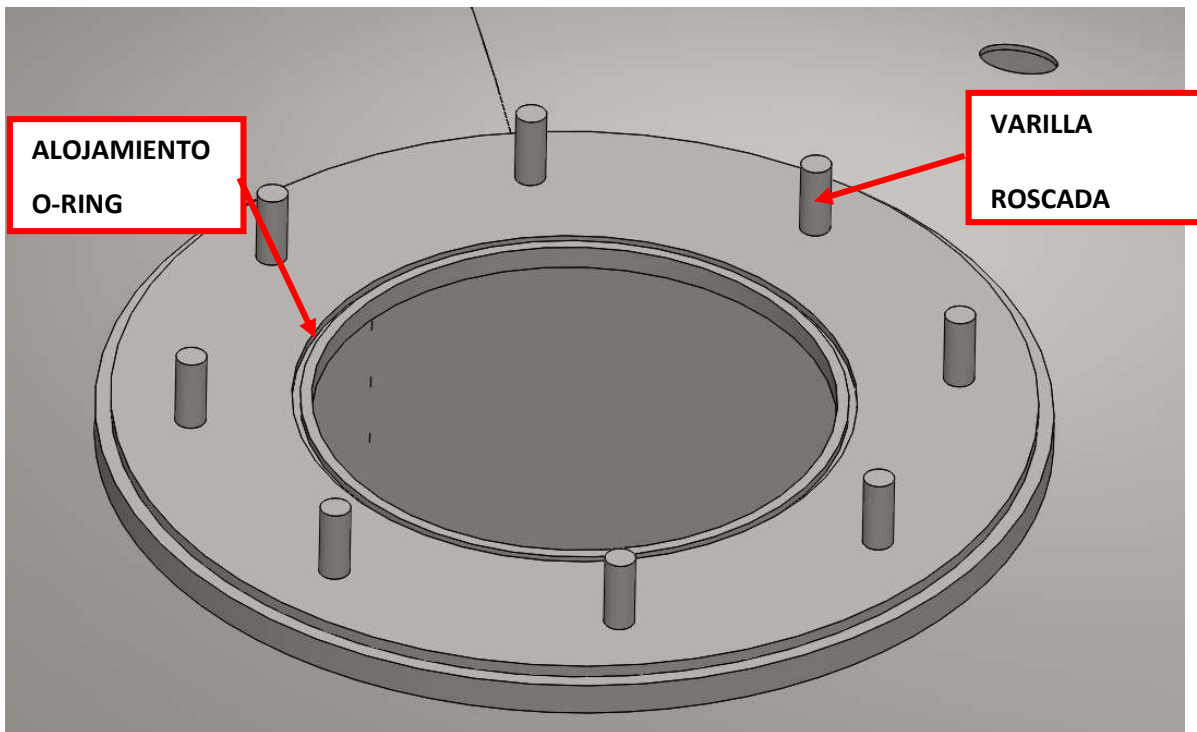
Para el diseño de la torreta se utilizará chapa plana de espesor 12,7mm y chapa plana cortada por medio de corte láser de espesor 15,8mm y se tendrá en cuenta las dimensiones proporcionadas por el distribuidor de motorreductores dónde la brida que presenta el mismo tiene un diámetro de 350 mm.

En lo que respecta a la misma será colocada sobre una brida que va soldada en el techo del equipo y posee varillas roscadas para poder bridar la torreta al cuerpo de acuerdo a lo que se muestra en la imagen a continuación.

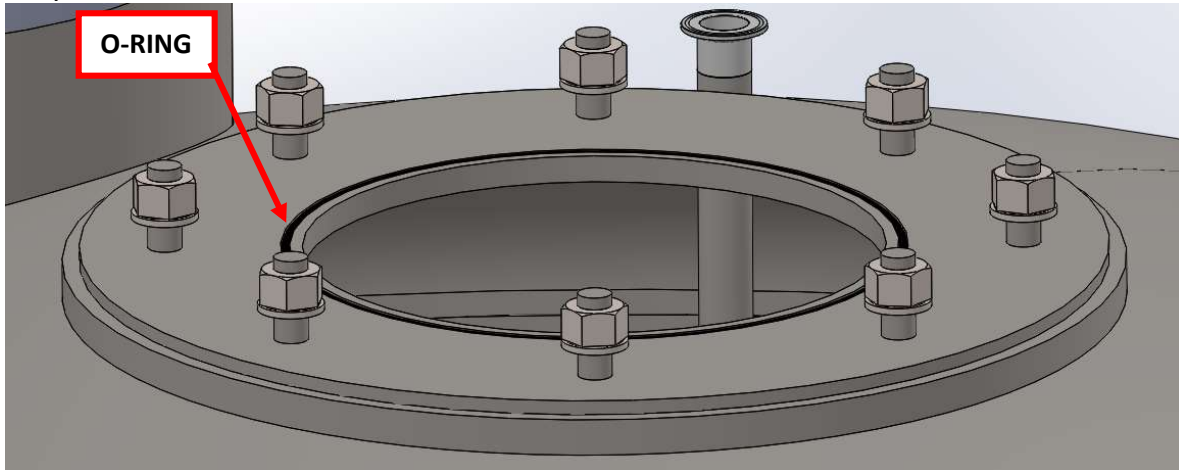
Respecto de la construcción de la brida, la misma se efectúa con una chapa plana de espesor 15,8mm vinculada por medio de soldadura tanto del lado interno como del lado externo (cabe mencionar que se deben pulir y amolar las mismas dado que es un producto para la industria alimenticia). Para centrar ésta se suelda sobre el casquete toriesférico una chapa plana rolada de espesor 12,7mm la cual actúa como centrador de la brida y a su vez proporciona mayor área de soldadura resistente a los esfuerzos.



(Figura 23: Vinculación entre cuerpo y torreta)



(Figura 23b: Vinculación entre cuerpo y torreta)



(Figura 23c: Vinculación entre cuerpo y torreta)

El diseño de la misma se basa en los materiales mencionados con anterioridad y la misma es acoplada a una brida que se encuentra ubicada en la parte superior del casquete toriesférico. Se decide realizar de ésta forma dado que nos permite ciertas ventajas a la hora de poder efectuar tareas de mantenimiento sobre sellos y rodamientos del equipo. A la hora de un posible reemplazo de rodamientos, como se verá más adelante, se puede desvincular el cuerpo de agitación del eje por medio de una rosca, desvincular el motorreductor y luego así poder retirar el eje fácilmente por la zona superior. Lo que nos permite trabajar sobre los portarrodamientos y extraerlos de manera sencilla.

Se procederá por medio de elementos finitos a la verificación de la misma al momento del control del casquete toriesférico.

De acuerdo a lo visto ahora resta poder seleccionar los rodamientos involucrados y los retenes para lograr un correcto apoyo, transmisión de giro y sellado del equipo.

En lo que respecta a rodamientos se va a utilizar rodamientos de la firma SKF y se va a seguir los lineamientos que ofrece la firma que se pueden ver a continuación.

Idoneidad de los rodamientos para aplicaciones industriales

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga			Desalineación		Disposición				
	Carga radial	Carga axial	Carga de momento	Desalineación estática	Desalineación dinámica (unidades decimales de grado)	Con fijación	Sin fijación	Ajustado	Flotante	
Rodamientos rígidos de bolas	A, B	+	+ ↔	A-, B+	-	--	↔	□	X	✓
Rodamientos de inserción	A, B, C	+	+ ↔	--	++	--	↔	↔	X	X
Rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular	A	+1)	++ ↔	--	-	--	X	X	✓	X
apareados de una hilera	A, B, C	A, B ++ C ++1)	A, B ++ ↔ C ++ ↔	A ++, B + C --	A, C --, B -	--	A, B ↔ C ←	A, B □ C X	X	X
de dos hileras	A, B	++	++ ↔	++	--	--	↔ ↔	□	X	X
con cuatro puntos de contacto	A	+1)	++ ↔	--	--	--	↔ 1)	--	--	--
Rodamientos de bolas a rótula	A	+	-	--	+++	+2)	↔	□	X	✓
Rodamientos de rodillos cilíndricos, con jaula	A, B	++	--	--	-	--	X	■	X	X
completamente llenos de rodillos, de una hilera	A, B, C, D	++	A, B + ↔ C, D + ↔	--	-	--	A, B ← C, D ↔	A, B ■ ↔ C, D X	X	A ✓ B, C, D X
completamente llenos de rodillos, de dos hileras	A, B, C, D	+++	+ ↔	--	-	--	←	A, B ←	X	✓
completamente llenos de rodillos, de dos hileras	A, B, C, D	+++	A-, B + ↔ C, D ↔	--	-	--	B ← C, D ↔	A ↔ B ↔	X	X
Rodamientos de agujas, con aros de acero	A, B, C	++	--	--	A, B - C ++	--	X	■ ↔ ↔	X	X
conjuntos/casquillos	A, B, C	++	A, B -- C -	--	-	--	A, B X C ←	A, B ■ C ↔	X	X
rodamientos combinados	A, B, C	++	A-, B + C ++	--	--	--	←	X	✓	X
Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos	A	+++1)	++ ↔	--	-	--	←	X	✓	X
apareados de una hilera	A, B, C	A, B +++ C +++1)	A, B ++ ↔ C ++ ↔	A +, B ++ C --	A - B, C --	--	A, B ↔ C ←	A, B □ C □	A, B X C ✓	X
de dos hileras	A, B	+++	++ ↔	A + B ++	A -, B --	--	↔ ↔	□	X	X

(Figura 24: Idoneidad de rodamientos)

En primer medida se va a utilizar uno rígido de bolas y otro de rodillos cónicos apareados de una hilera a modo que el eje presente un doble apoyo y a su vez se pueda soportar la carga ejercida por el eje y el cuerpo de agitación.

Los rodamientos de rodillos cónicos combinados dispuestos cara a cara (disposición X, las líneas de carga divergen hacia el eje del rodamiento) admiten altas cargas radiales y cargas axiales en ambos sentidos. El aro intermedio fabricado con precisión entre los aros interior y exterior permite lograr un juego interno o una precarga definidos cuando están montados. Los rodamientos de rodillos cónicos

combinados suelen utilizarse en cajas de engranajes, equipos de elevación, laminadores y máquinas en la industria minera.

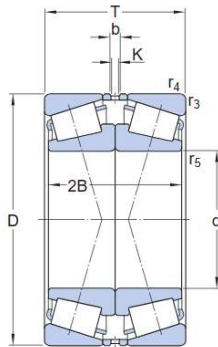
- Alta capacidad de carga radial
- Diseñados para cargas axiales en ambos sentidos
- Rigidez relativamente alta

Acabado superficial en las superficies de contacto de los rodillos y caminos de rodadura, que mejora la confiabilidad operativa.

El modelo seleccionado es el 31314/CL7ADF el cual se colocará de acuerdo a lo indicado en figura 24.



(Figura 25: Rodamiento SKF 31314/CL7ADF)



Dimensiones

d	70 mm	Diámetro del agujero
D	150 mm	Diámetro exterior
T	76 mm	Ancho total
2B	70 mm	Ancho del aro interior
b	10 mm	Ancho de la ranura de lubricación
K	7.5 mm	Diámetro del agujero de lubricación
r _{3,4}	min. 2.5 mm	Dimensión del chaflán
r ₅	min. 1 mm	Dimensión del chaflán

(Figura 25b: Dimensiones rodamiento SKF 31314/CL7ADF)

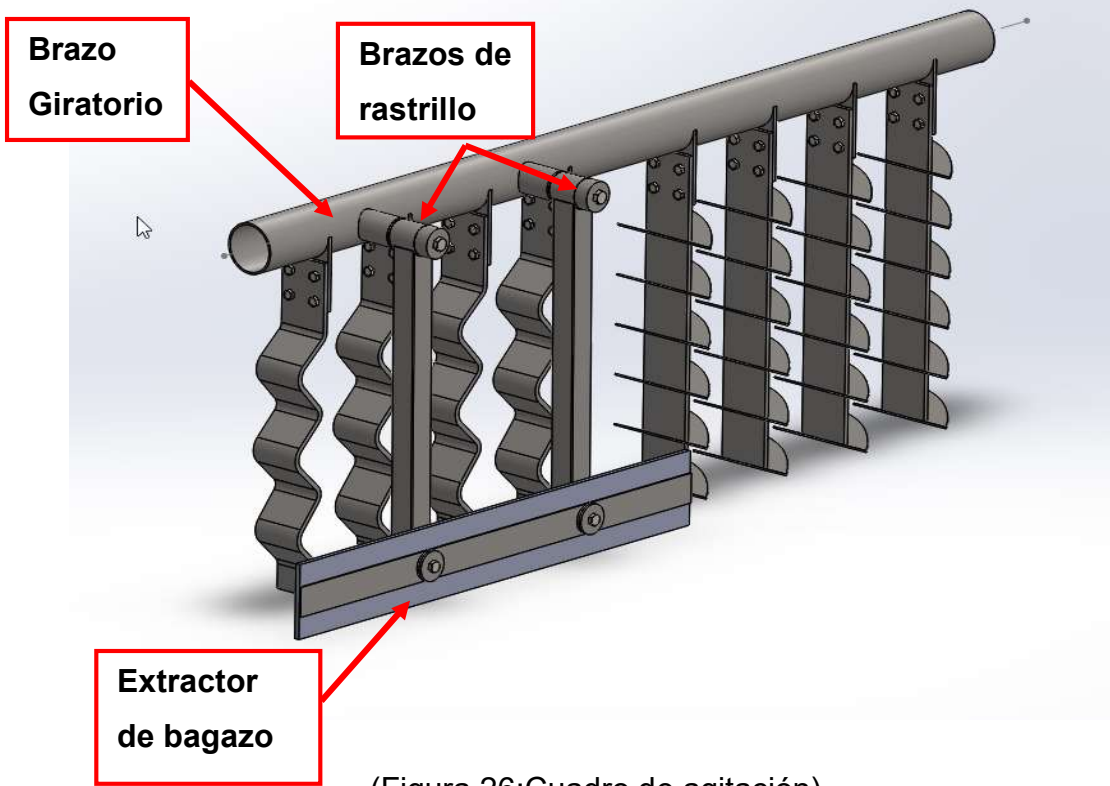
En lo que respecta a los porta rodamientos, los mismos se diseñan de la forma que se puede apreciar en la imagen anterior de forma bridada a modo de que puedan ser retirados de manera individual para realizar reparaciones, dentro de ellos se alojan tanto los rodamientos como un retén para efectuar de sello e impedir ingreso de partículas extrañas que puedan afectar el correcto funcionamiento de los rodamientos.

En lo que respecta a los retenes, se procede a seleccionar de la firma de retenes DBH el modelo KX 5654 Mz.

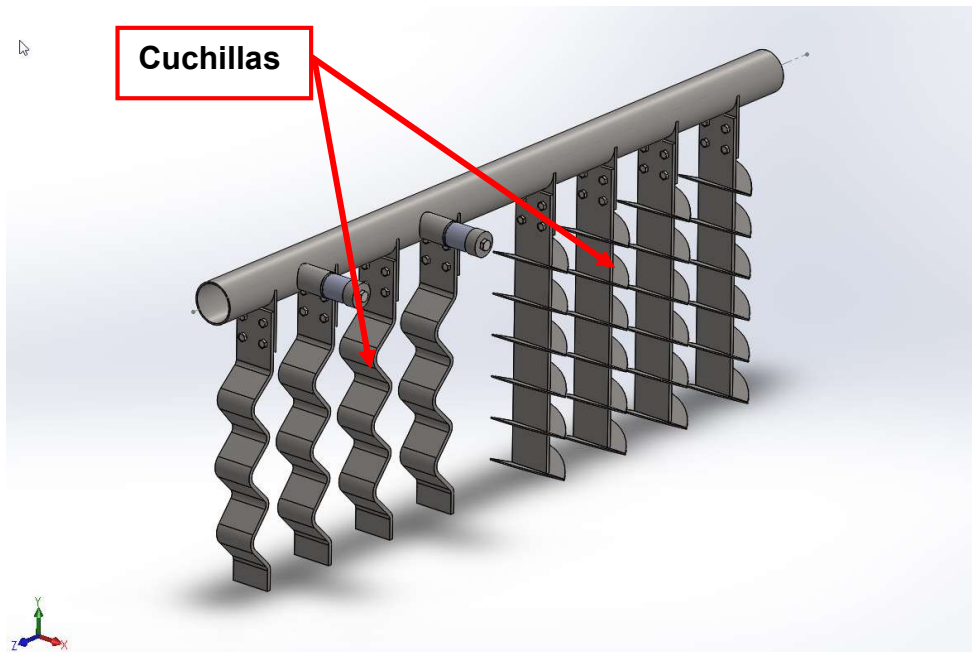
Para el sellado del eje y la entrada al equipo se procede a realizar un diseño de un porta retén bridado, utilizando el sello seleccionado anteriormente más un o-ring para asegurar un correcto sellado.

7.9 Diseño del cuadro de agitación

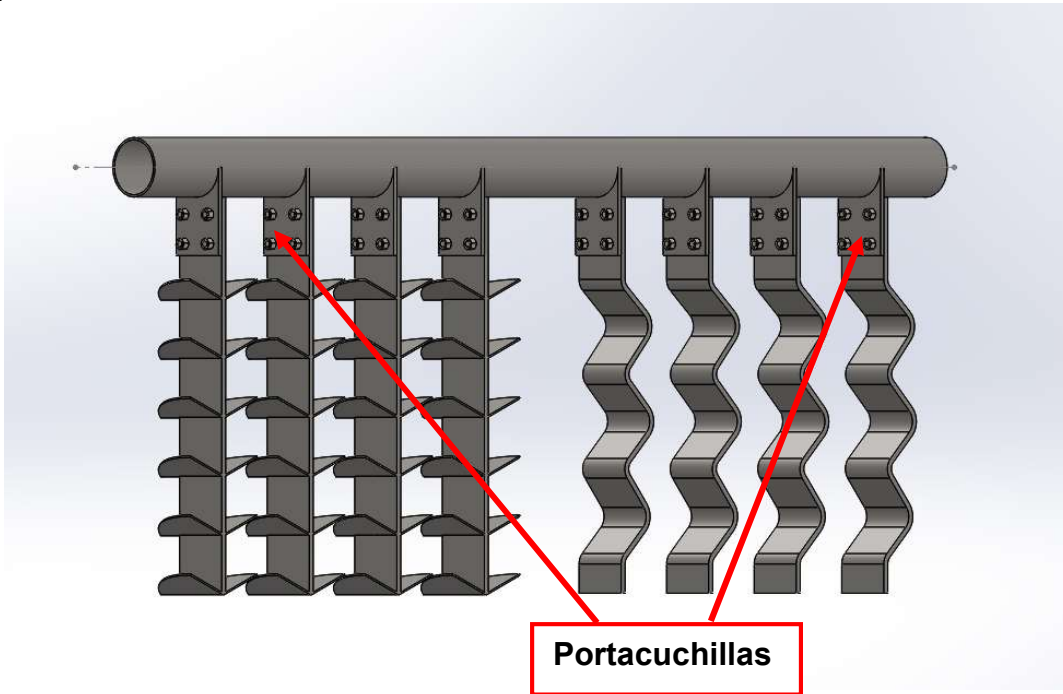
A continuación procedemos a mostrar cómo se compone el cuadro de agitación el cual luego iremos desarrollando su diseño.



(Figura 26:Cuadro de agitación)



(Figura 26b: Cuchillas)



(Figura 26c: Portacuchillas)

7.10 Cálculo y verificación de brazos giratorios

En primer lugar, nos vamos a abocar a realizar el estudio del esfuerzo al que se encuentran sometidos los brazos giratorios, al realizar un análisis nos damos cuenta que la peor condición para ellos es cuando se realiza la extracción del bagazo luego del macerado por medio del rastrillo. Este elemento mencionado es un elemento móvil el cual durante el proceso productivo se encuentra retraído y al finalizar el mismo se coloca para facilitar la remoción del bagazo.

En primer medida vemos que los brazos mencionados van a estar solicitados a una torsión ejercida por la fuerza ejercida por el bagazo, la que fue calculada en el ítem 5.1.6 la que nos da un esfuerzo de 252,2 kgf y el brazo de palanca dado por la altura del cuerpo.

Para ello vamos a necesitar saber la altura de mezcla máxima que vamos a tener dentro del agitador, la cual se determina de la siguiente manera:

$$V_t = V_{1a} + V_{malta} - V_{muerto\ total}$$

Siendo de ésta ecuación V_{1a} el volúmen del agua de empaste y el último término el volumen muerto total que comprende el ubicado bajo el fondo ranurado.

Tenemos que para calcular éste volumen muerto sabemos que el fondo se eleva 100 mm dentro de la virola cilíndrica para favorecer en términos constructivos lo que nos permite soldar sobre caras planas y a su vez nos facilita espacio para colocar la estructura soportante del mismo.

Utilizando la fórmula de volúmen de un cuerpo cilíndrico sumado al cálculo de líquido dentro del cono obtenemos que el mismo es de 0,53 m³, teniendo así lo siguiente:

$$\begin{aligned} V_t = V_{1a} + V_{malta} - V_{muerto\ total} &= 1,461\ m^3 + \frac{427\ kg}{570\ \frac{kg}{m^3}} - 0,53\ m^3 \\ &= 1,68\ m^3 \end{aligned}$$

Despejando la altura de la ecuación de volumen de un cuerpo cilíndrico obtenemos

$$H = \frac{4xV}{\pi x d^2} = 0,48\ m = 48\ cm$$

Para tener un margen respecto de la espuma que pueda surgir dentro del proceso, decidimos optar por una altura de 650 mm o 65 cm.

Teniendo así un momento torsor de

$$M_t = F x h = 252,2\ kgf \times 65\ cm = 16380\ kgfcm$$

Considerando la fórmula de tensión admisible (850 kg/cm²) tenemos:

$$\tau_{adm} = \tau = \frac{Mt}{W}$$

De aquí despejamos el W y obtenemos un módulo resistente de

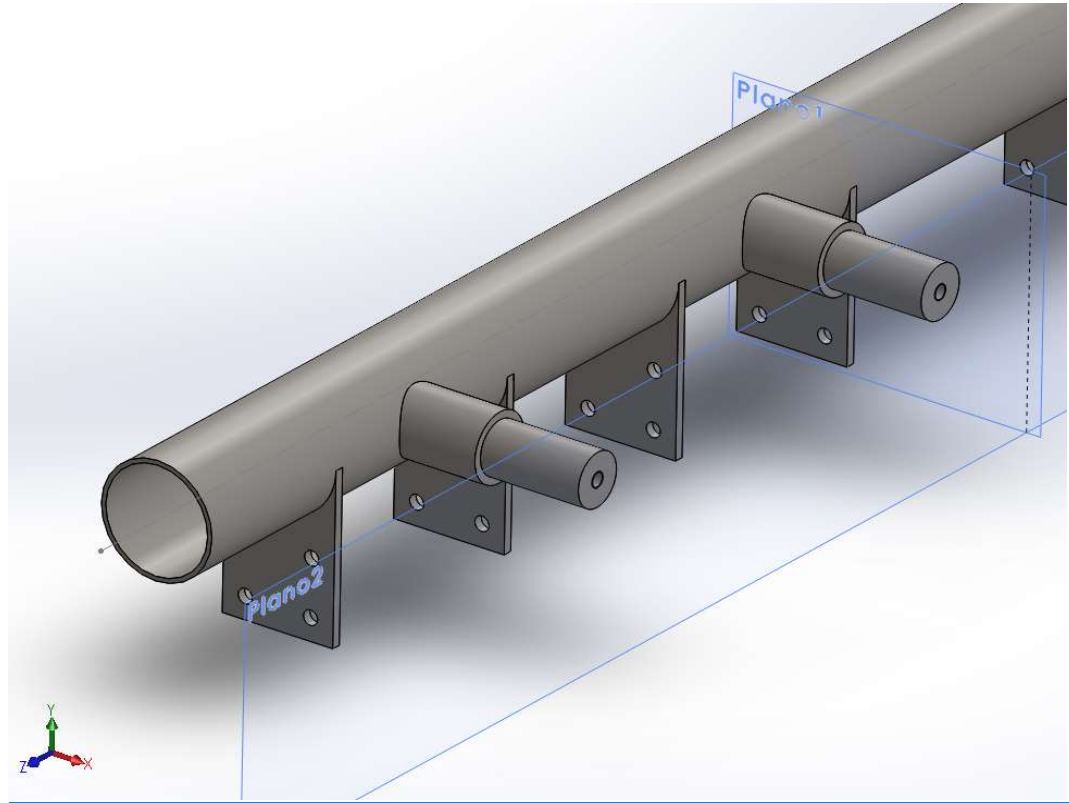
$W=19,27 \text{ cm}^3$.

Se adoptará entonces un caño de 101,6 mm de diámetro y espesor de 4mm verificando que el módulo resistente del mismo cumple con lo calculado.

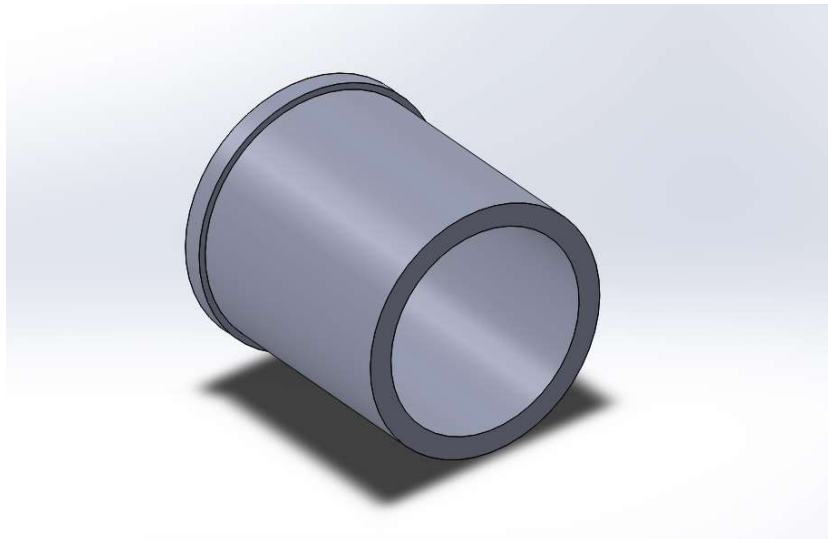
Luego para la vinculación de los brazos del rastrillo extractor de bagazo, se utilizará caño AISI 304 macizo de diámetro 60,3 mm y largo 210 mm mecanizado en su extremo a diámetro 46,8 mm y un largo de 90 mm, allí se aloja un buje de material delrin o resina acetal y espesor 5 mm a fin de poder brindar el movimiento necesario a los brazos del rastrillo.

Se opta por éste material dado que el mismo posee las siguientes características

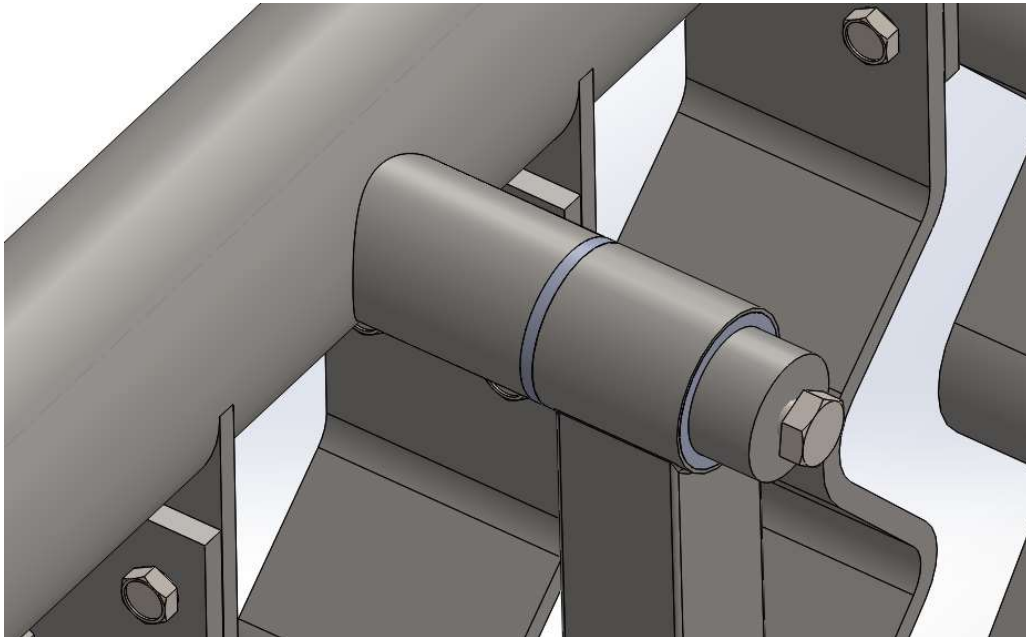
- Alta resistencia, rigidez y dureza
- Alta resistencia al desgaste
- Alto punto de fusión
- Buenas propiedades de fricción
- Baja absorción de humedad
- Resistencia a la fatiga y a la fluencia
- Fácil de mecanizar y fabricar
- Sanitario



(Figura 27: Brazo giratorio)

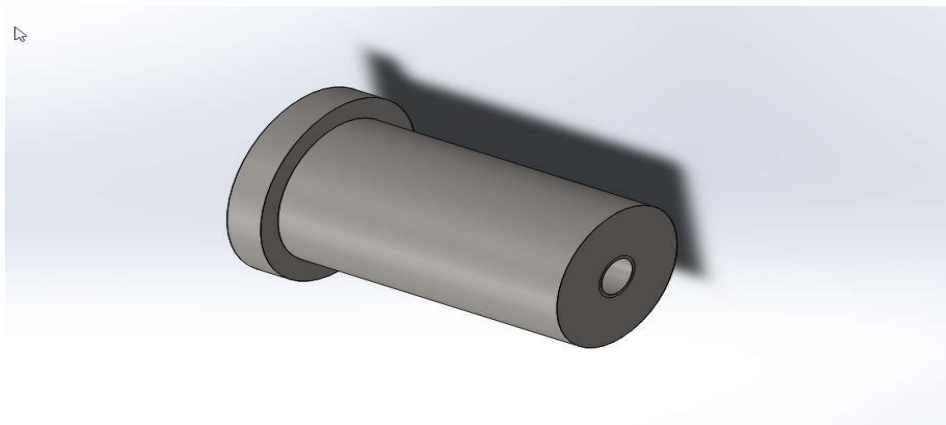


(Figura 28: Buje de Delrin)



(Figura 29: Buje de Delrin emplazado)

En lo que respecta a la vinculación de la zona inferior del brazo rastrillo con el rastrillo ya propiamente, la forma de vinculación es similar a la realizada en la zona superior. La única diferencia que no se posee el caño mecanizado que se observa en figuras anteriores y se realiza una pieza por medio de una barra maciza de acero AISI 304 de diámetro 60,3 mm como puede observarse en figura a continuación.



Sobre ésta pieza se montará un buje de resina acetalica similar al mencionado con anterioridad y luego la placa que conformará el extractor de bagazo.

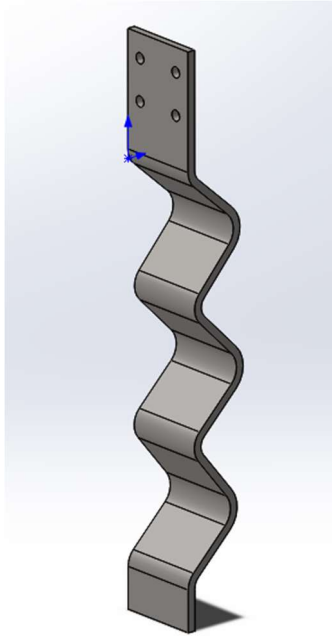
7.11 Diseño de portacuchillas y cuchillas

Para el diseño de las partes mencionadas, se utilizarán materiales comerciales los cuales son obtenidos por medio de catálogo de la empresa FAMIQ, el material es acero AISI 304.

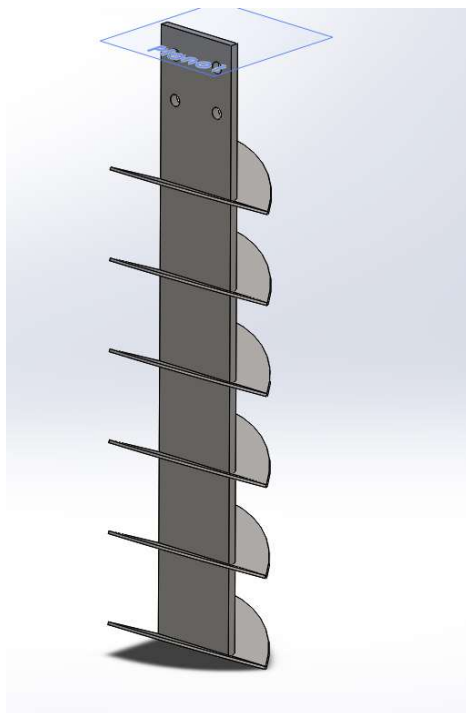
En lo que respecta al diseño de los portacuchillas, los mismos serán confeccionados de placa de 101,6 mm de ancho, 150 mm de alto y espesor de 8 mm, siendo éstas cortadas por medio de corte láser con el fin de obtener una forma que permita acoplar al brazo giratorio por medio de soldadura.

Elas serán conectadas a las cuchillas por medio de uniones abulonadas, constando de cuatro tornillos M12x1,75 y largo 30 mm y tuercas del mismo paso las cuales serán soldadas al portacuchillas evitando que las mismas puedan caer dentro del equipo haciendo que se pierda la característica de sanitario.

Ahora pasando al diseño de las cuchillas, las mismas tienen dos formatos totalmente distintos, unas que se encuentran plegadas de forma de agitar suavemente la mezcla (grano y agua) y otra placa plana con “palas” soldadas a fin de romper con grumos que puedan formarse.



(Figura 31: Cuchilla compuesta de planchuela plegada)



(Figura 32: Cuchilla compuesta de planchuela plana con palas)

En ambos diseños se parte de planchuela AISI 304 de 101 mm y espesor de 9,52 mm de espesor.

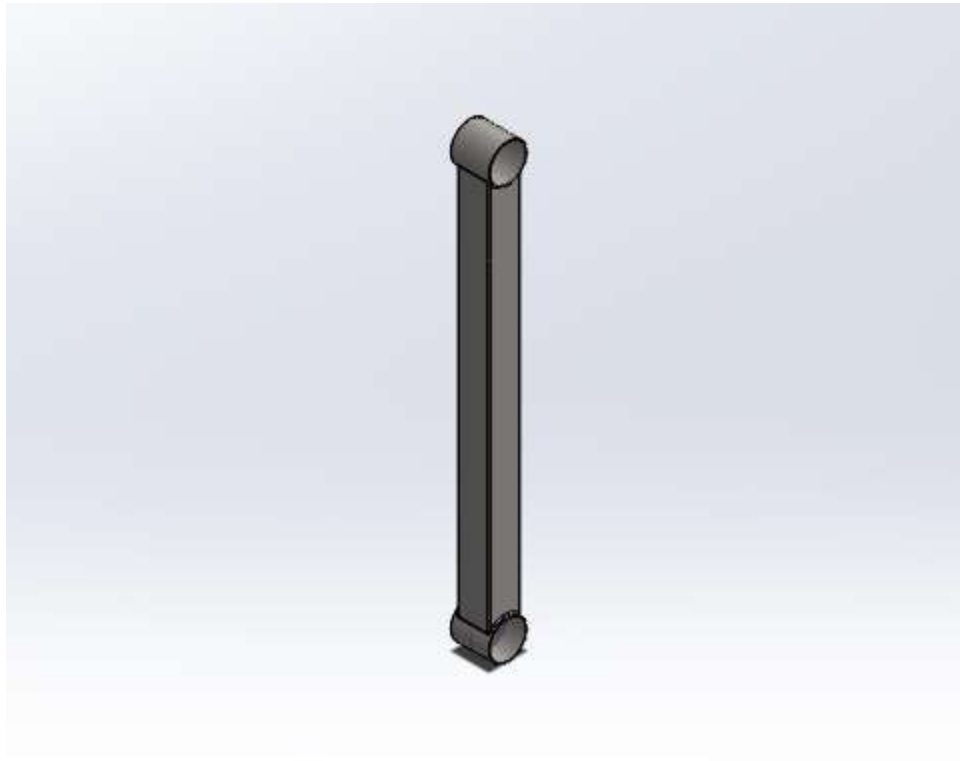
En el primer caso, se utiliza plegado a 90° y con un radio de 25 mm con el fin de que pueda ser realizado con un punzón.

En el caso de la segunda la misma es diseñada a partir de una planchuela plana de las mismas dimensiones que la anterior y se añade por medio de soldadura las mencionadas palas que son confeccionadas a partir de chapa de acero AISI 304 de 3 mm de espesor.

7.12 Diseño de brazos de rastrillo

Para éstos elementos consideraremos que la peor condición es cuando se está realizando la remoción del bagazo, consideraremos para facilidad de cálculo que el mismo se comporta como un disco y es por ello que la fuerza ejercida por el mismo sobre los brazos del rastrillo se calcula de la forma realizada con anterioridad.

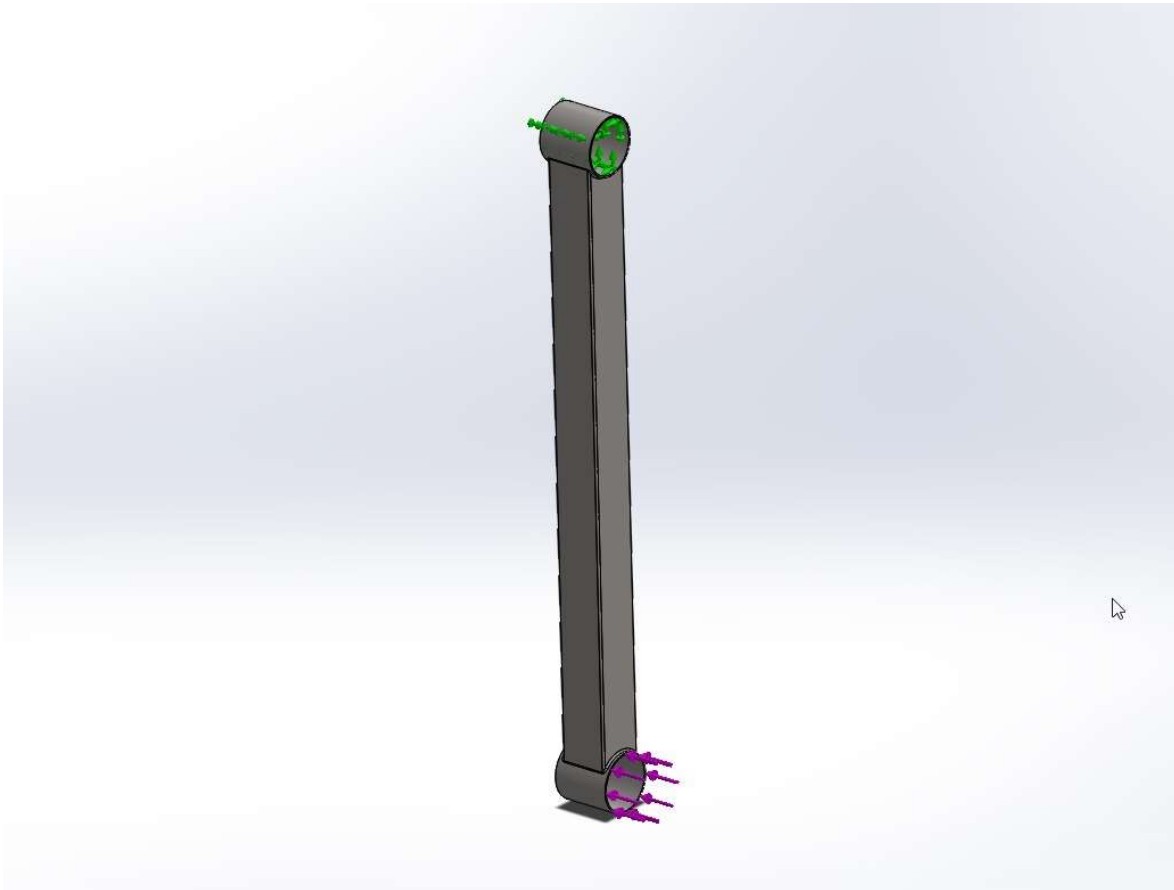
Para éstos elementos utilizaremos barra cuadrada material AISI 304L de 50x50 mm obtenida del proveedor Famiq y en sus extremos caño de diámetro 60,3 mm y espesor de pared de 1,5 mm como puede verse a continuación.



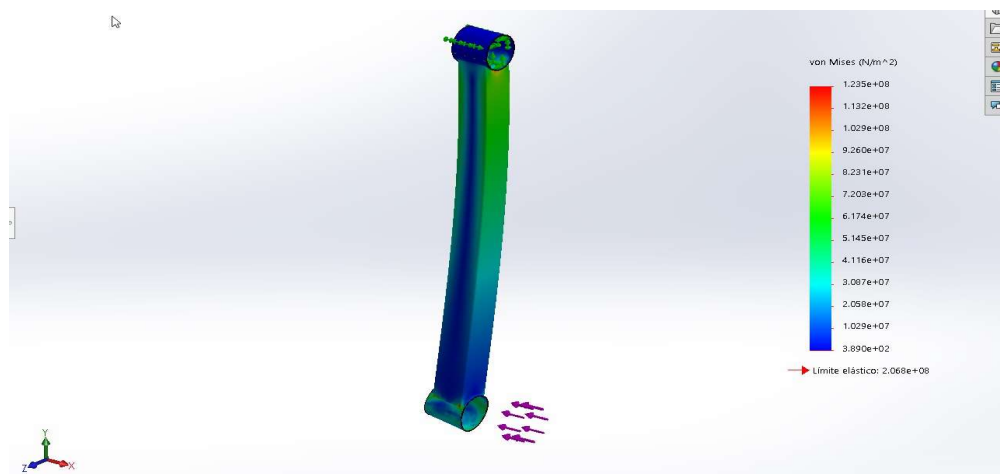
(Figura 33: Brazo rastrillo)

Para realizar un análisis mediante elementos finitos, suponemos que el mismo se encuentra empotrado en su extremo superior y sobre el extremo inferior actúa la carga calculada que ejerce el bagazo de 252 kg. Obteniendo lo siguiente:

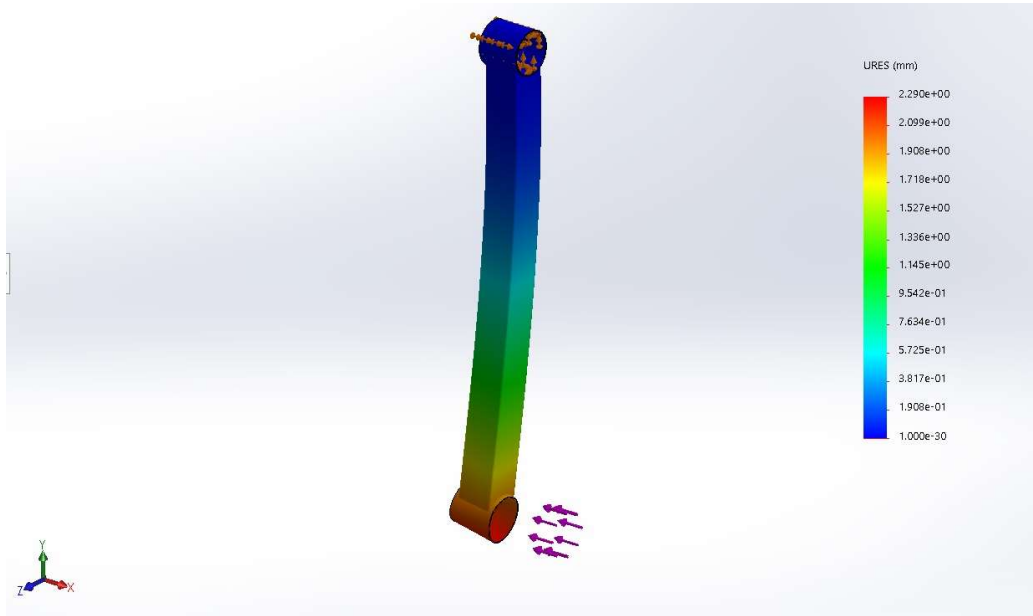
Vemos por medio de dicho estudio que las partes ensayadas no superan la tensión admisible para el material especificado y a su vez se obtiene en su parte inferior una flecha de 2 mm lo que entendemos como aceptable.



(Figura 34: Simulación sujeción y carga de brazo rastrillo)



(Figura 34b: Simulación tensiones en brazo rastrillo)



(Figura 34c: Simulación deformaciones en brazo rastrillo)

Por medio de un cálculo simple manual podemos verificar lo obtenido por medio del estudio de elementos finitos, obteniendo una sección mínima necesaria para que nuestras piezas verifiquen la sollicitación requerida.

Se tiene un Momento flector de aproximadamente $Mf = fb \times d$ siendo d la distancia entre los ejes de nuestro brazo y es equivalente a 64 cm obtenemos un MF= 16128 kgcm

Partiendo que $\tau_{adm} = \frac{Mf}{Wx}$ podemos obtener un Wx necesario para soportar dicho momento.

$$\text{tenemos entonces que } Wx = \frac{Mf}{\tau_{adm}} = \frac{16128 \text{ kgf cm}}{850 \text{ kgf/cm}^2} = 19 \text{ cm}^3$$

Sabiendo que el módulo de inercia es $W_x = \frac{bxh^2}{6}$ tenemos

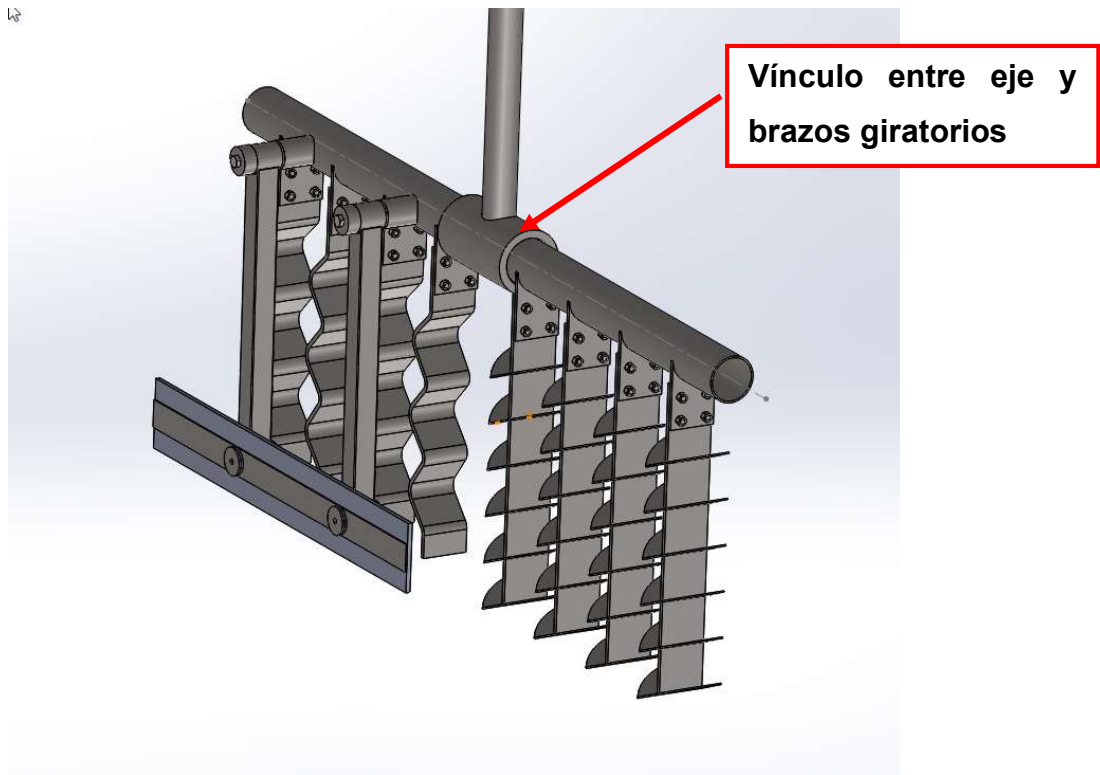
$$W_x = \frac{125}{6} = 20,83 \text{ cm}^3$$

Con éste valor de Inercia obtenido podemos ver que superamos el mínimo necesario por lo que verificamos que nuestra sección planteada soporta el esfuerzo requerido.

7.13 Diseño de vinculación entre brazos giratorios y eje principal

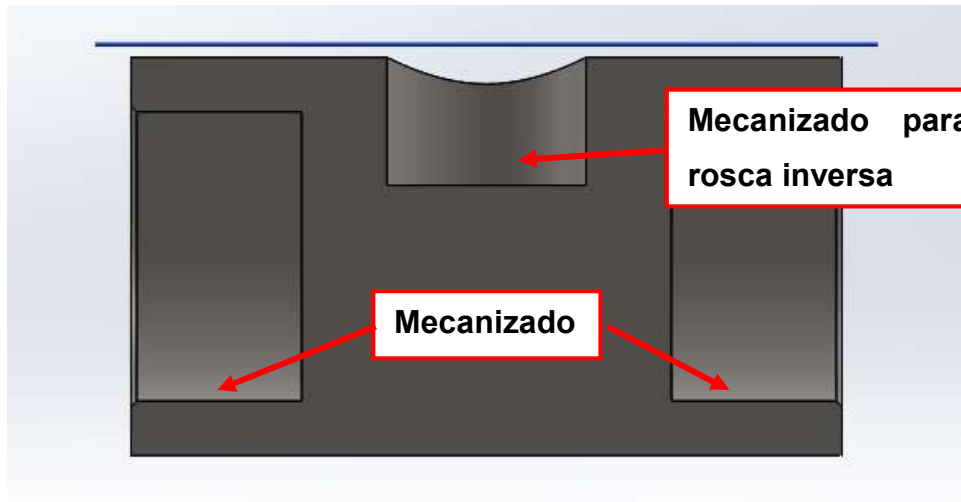
Como se hace mención en el título en esa sección se mostrará como se decide vincular los brazos giratorios con el eje principal.

Lo mencionado se resuelve a través de una barra maciza mecanizada de acero AISI 304, de $\varnothing 140$ mm obtenida del proveedor Famiq. Esta en los extremos presenta un mecanizado al diámetro del cuerpo de los brazos giratorios que como se vio anteriormente se realizan con caño de $\varnothing 101,6$ (también obtenidos del catalogo de Famiq) como se muestra a continuación:



(Figura 35: Vinculación de brazos giratorios con eje de agitación)

En lo que respecta al mecanizado, el mismo se realiza en ambos extremos a una profundidad de 60 mm de acuerdo a figura a continuación.



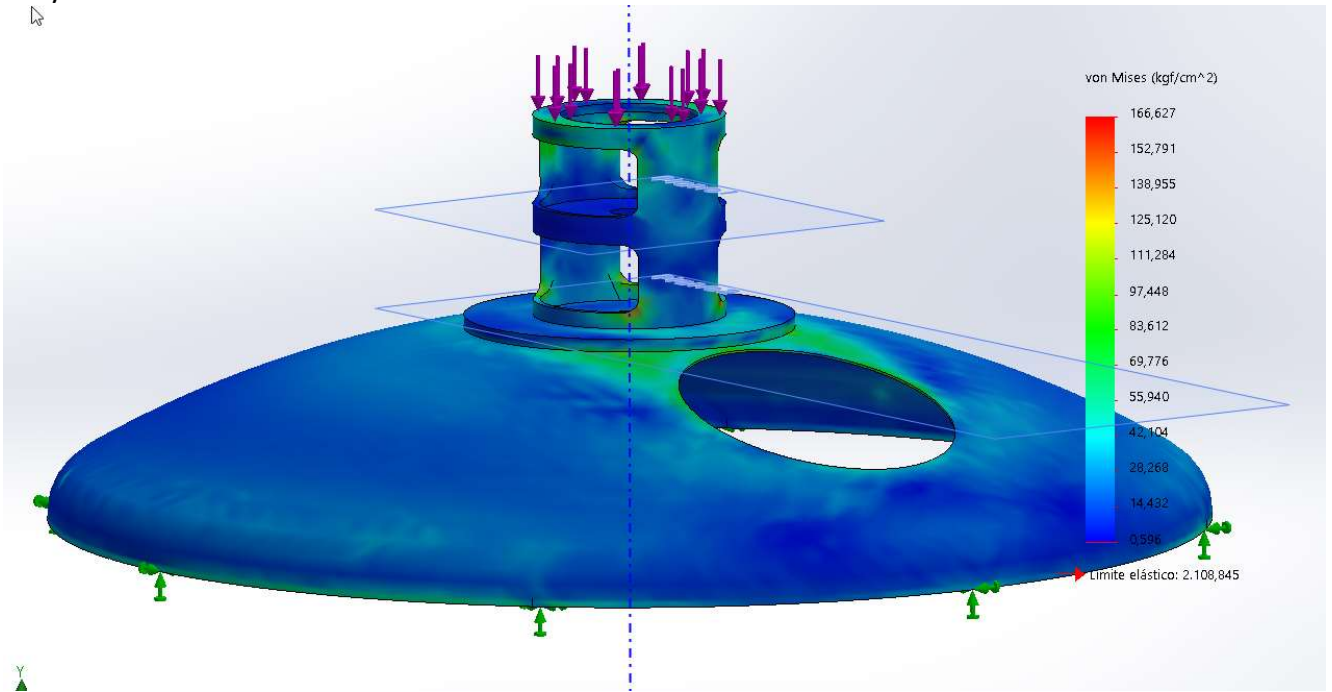
(Figura 35b: Vinculación de brazos giratorios con eje de agitación)

Como puede verse en figura anterior, la vinculación con el eje, se realiza por medio de una rosca de 70 mm de lago en inversa al sentido de giro del eje para evitar que el mismo se suelte al realizar la operación.

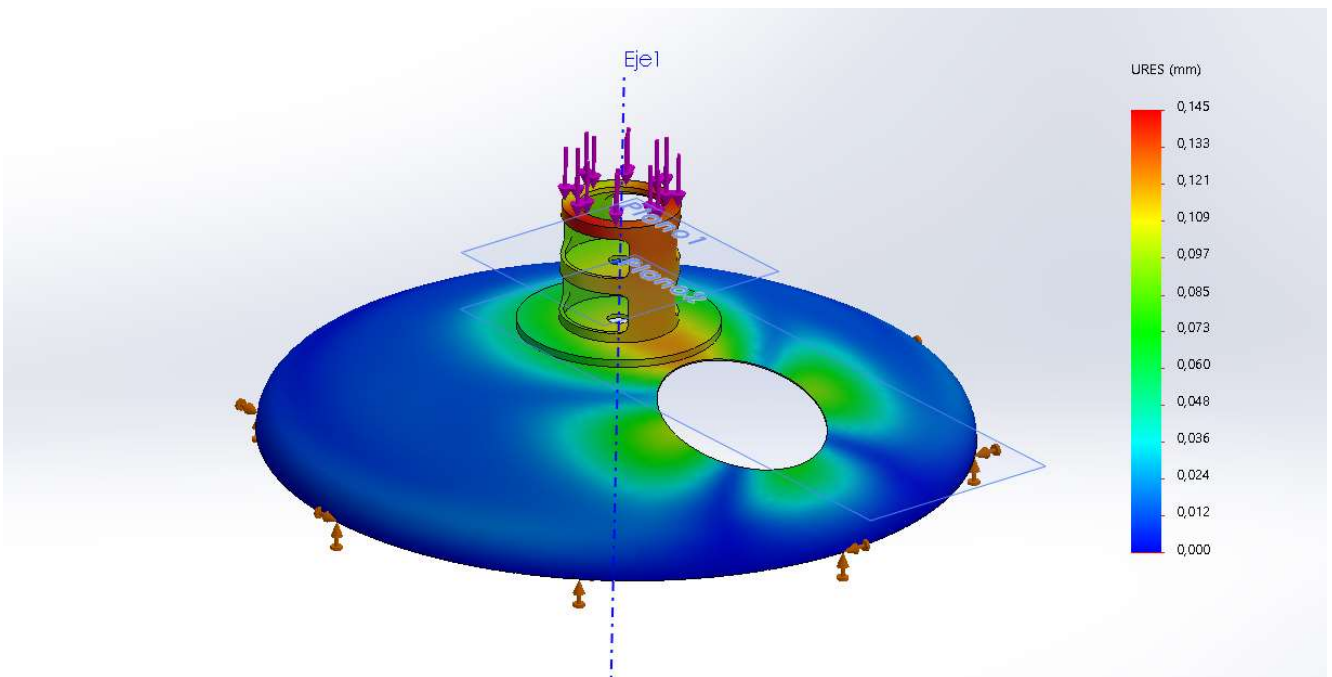
7.14 Verificación de casquete superior

Luego de haber dimensionado los componentes que se encuentran soportados por el casquete superior, se procede a utilizar el método de elementos finitos, suponiendo que la el casquete se encuentra vinculado al cuerpo por medio de soldadura en la cara inferior del mismo y se estima una carga de 500 kg que actúan en sentido vertical sobre la torreta, comprendiendo ésta estimación tanto el cuerpo de agitación, el eje, el motorreductor y demás componentes.

A continuación se mostrará con imágenes lo mencionado:



(Figura 36: Tensiones sobre cabezal)



(Figura 37: Deformaciones sobre cabezal)

De acuerdo a lo mostrado por el estudio realizado podemos concluir que el casquete resiste las tensiones que debe soportar como así las deformaciones que se presentan son valores menores al 5% dentro del espesor por lo que podemos concluir que el dimensionamiento del mismo es correcto.

CAPITULO VIII: CALCULO Y DISEÑO DE FONDO CONICO

8.1 Diseño de fondo inferior

Como se sabe el equipo es un cuerpo cilíndrico y en su parte inferior posee un cono truncado que actúa de colector y en su parte más baja posee un orificio para poder llevar a cabo la descarga de mosto. El volumen que puede adoptar este colector se desea que sea lo más pequeño posible dado que este no se encuentra en contacto con el grano de malta porque se encuentra por debajo del falso fondo, es por ello que se decide siempre utilizar conos de pequeña altura.

Para esta ocasión supondremos que la altura que posee el cono es de 150 mm y en su fondo posee un caño de 2" y 1,5 mm de espesor de pared para el desagote del mosto. Procedemos ahora a realizar el cálculo del volumen que se encontrará alojado en el fondo cónico, la ecuación para ello es la siguiente.

Volumen de un cono truncado

$$V = \frac{1}{3} \pi h [R^2 + r^2 + R \cdot r]$$

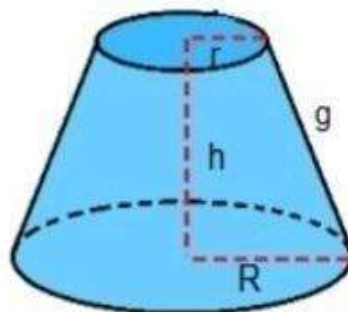
Donde:

R: Radio de la base mayor

r: Radio de la base menor

h: Altura

g: Generatriz



(Figura 38: Cálculo del volumen de un cono truncado)

$$V = \frac{Hx\pi}{3} (R^2 + r^2 + Rxr)$$

$$V = \frac{150 \text{ mm} \times \pi}{3} [(1050,5 \text{ mm})^2 + (26,9 \text{ mm})^2 + (1050,5 \text{ mm} \times 26,9 \text{ mm})]$$

$$V = 177895646,5 \text{ mm}^3 = 0,177 \text{ m}^3 = 177 \text{ l}$$

Adoptare que el volumen del cono es de 180 litros para los cálculos.

Tengo que el volumen que vamos a tener de mosto dentro del cuerpo cilíndrico es igual al volúmen del mosto macerado (2000 l) menos el volúmen que se encuentra alojado en el cono por debajo del falso fondo.

$$V_{\text{mosto cil}} = 2000 \text{ l} - V_{\text{cono}} = 2000 \text{ l} - 180 \text{ l} = 1820 \text{ l}$$

Como se mencionó con anterioridad, el fondo cónico cumple la función de colector y su volúmen se desea lo más pequeño posible. El mismo posee una altura de 150 mm y una capacidad de 180 l. En lo que respecta a la salida del equipo, se utilizará un caño de 2" de diámetro y espesor 1,5 mm.



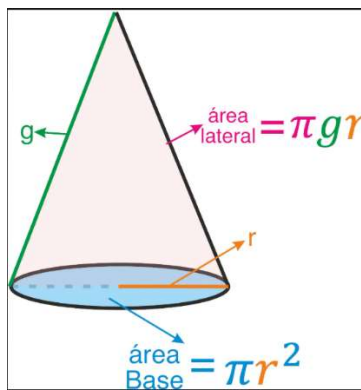
(Figura 39: Fondo cónico)



(Figura 39b: Fondo cónico)

En lo que respecta al fondo cónico, se utilizará chapa de acero AISI 304 de 4 mm de espesor para la confección del mismo, se realiza en la parte superior de éste un cilindro del radio de la virola y altura de 10mm a fin de poder soldar sobre superficie plana y facilitar la construcción y a su vez un radio de volteo de 25mm (el volumen resultante de este acuerdo se desprecia para cálculos y verificación).

Para la verificar éste sabemos que la presión es igual a la fuerza o peso del líquido dividido el área sobre que actúa, pero al tratarse de un cono, procederemos a utilizar el área laterak del cono teniendo en cuenta la generatriz del mismo.



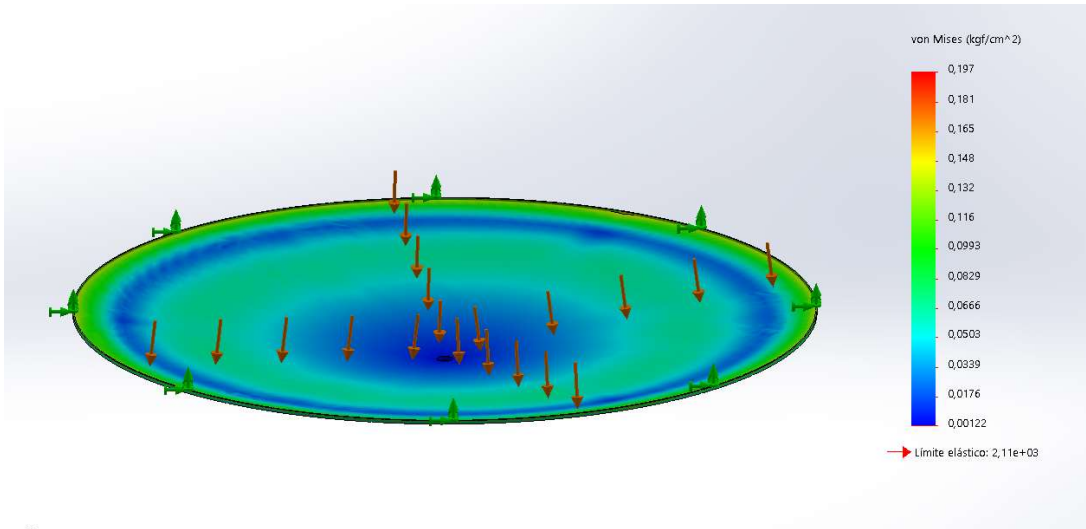
(Figura 40: cálculo de área lateral)

$$P = \frac{F}{A} \leq \sigma_{adm}$$

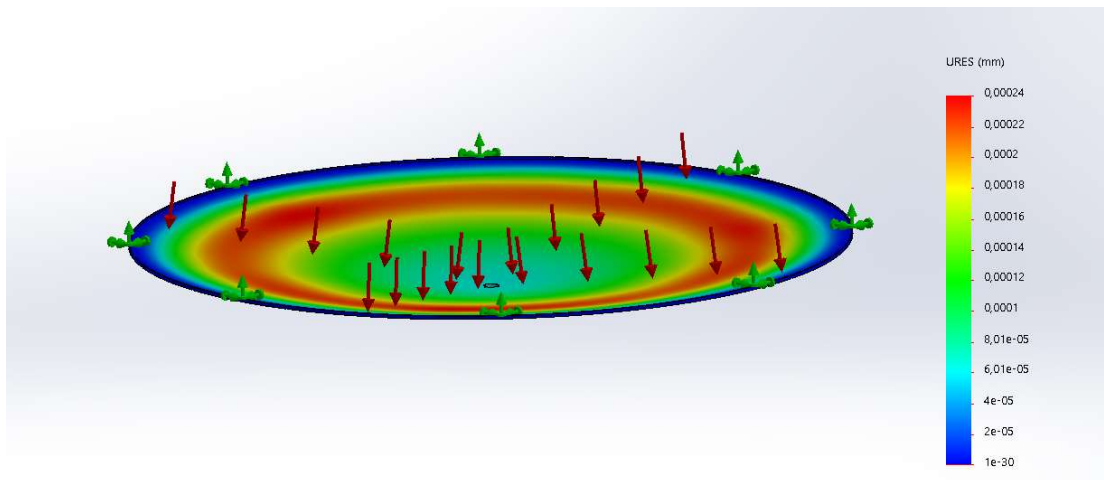
$$A = \pi \times r \times Gen = \pi \times 1,05m \times 1,0316m = 3,40 m^2$$

$$P = \frac{180 \text{ kg}}{3,40 \text{ m}^2} \approx 53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 5,3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Utilizando simulación por MEF en Solidworks podemos ver lo siguiente:



(Figura 41: Tensiones sobre fondo cónico)



(Figura 41b: Deformaciones sobre fondo cónico)

De acuerdo al análisis realizado podemos ver que las tensiones no superan el valor de la tensión admisible para el material y a su vez las deformaciones son pequeñas, por lo que podemos decir que el diseño es adecuado.

CAPITULO IX: CALCULO Y DISEÑO DE FALSO FONDO

9.1 Introducción

El falso fondo es un dispositivo de filtración comúnmente utilizado en recipientes cerveceros como cubas de maceración y cubas de filtración. Se trata de una malla perforada o ranurada que forma una barrera entre el lecho de grano y el líquido, permitiendo el flujo del mosto e impidiendo la transferencia de material del grano.

Durante la etapa de clarificación, el doble fondo desempeña un papel crucial en la separación del mosto líquido de los granos gastados. Al soportar el lecho de granos y proporcionar una distribución uniforme del flujo, permite una extracción eficiente del mosto y minimiza el riesgo de canalización o de que partículas de granos entren en el producto final.

El falso fondo actúa como filtro, atrapando partículas sólidas y cascarilla dentro del lecho de grano, a la vez que permite el paso del mosto limpio. Esta filtración ayuda a obtener un líquido más limpio y claro, lo que contribuye a la apariencia y calidad general de la cerveza final.

Al proporcionar una barrera entre el líquido y el lecho de grano, un fondo doble bien diseñado previene obstrucciones y permite una circulación eficiente del mosto durante la maceración. Esto reduce la probabilidad de que el mosto se atasque, lo cual puede dificultar la correcta extracción de azúcar y afectar negativamente el proceso de elaboración.

9.2 Materiales

Para la elección del material debemos tener en cuenta distintos factores como ser durabilidad, conductividad térmica y la facilidad en la limpieza del mismo para garantizar que sea sanitario.

Se puede realizar el mismo de diversas formas como veremos en el apartado 9.3 pero por facilidad constructiva y de diseño nosotros optamos por que el mismo sea

construido por medio de chapa de acero inoxidable AISI 304L, dado que el mismo es un material de uso en la industria alimenticia y a su vez su bajo contenido de carbono facilita el proceso de soldadura.

9.3 Formas de construcción

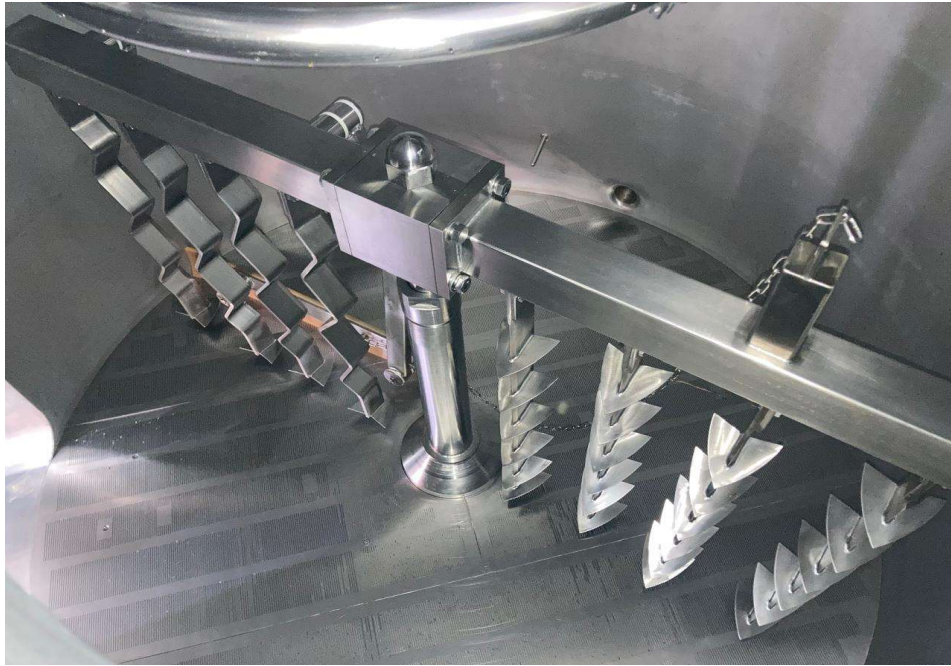
En la actualidad existen dos tipos de construcción para este elemento, el primero es por medio de alambres en cuña o por medio de pantallas entrelazadas.

- 1) Alambres en cuña: El fondo falso está hecho de alambre en forma de cuña de acero inoxidable y presenta ranuras cortadas con precisión que permiten una extracción uniforme del mosto mientras se mantiene el lecho de grano en su lugar. 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.



(Figura 42: fondo construido por alambres trapezoidales)

- 2) Pantallas entrelazadas: El diseño de las ranuras en el fondo falso es importante, deben ser lo suficientemente angostos para evitar que pasen partículas grandes, pero suficientemente anchas para no bloquearse y evitar el flujo por completo. El fondo falso está hecho hoy en día de acero inoxidable y se lo construye como fondo de ranura continua con anchos de ranura de 0,7 a 0,9 mm y área de pasaje de hasta 12%.



(Figura 43: fondo construido por pantallas)

9.4 Diseño del falso fondo

Como se dijo con anterioridad, se opta por realizar el mismo de la forma de pantallas ranuradas, dado que nos da un beneficio a la hora de poder llevarlo a cabo dado que podemos utilizar corte por láser de forma práctica.

Utilizaremos chapa de 3 mm de espesor de acero inoxidable AISI 304L dado que es un material sanitario y a su vez su bajo contenido en carbono permite buena soldabilidad.

En lo que respecta a las dimensiones de las ranuras como primera medida debemos tener en cuenta que el área máxima de paso debe ser del 12% del área de la placa, por lo que tomaremos un margen y utilizaremos un área de paso de 10%.

Las ranuras tendrán un largo de 80 mm y un ancho de 0.8 mm. Al ser el área de la placa de $A_p=3463605,9 \text{ mm}^2$, el 10% de ello es $A_n=346360,6 \text{ mm}^2$ y el área por ranura $A_r=80 \text{ mm}^2$ tenemos que necesitaríamos un número aproximado de 4330 ranuras.

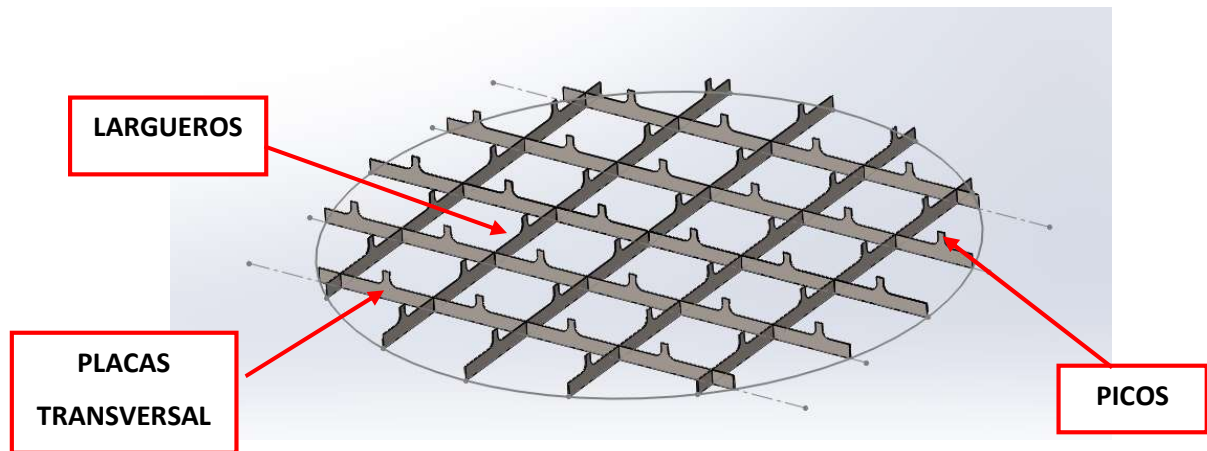
9.5 Diseño del soporte de falso fondo

En lo que respecta al soporte del falso fondo, el mismo se opta por construir con chapa de acero inoxidable AISI 304L de 3mm de espesor, se lleva a cabo una distribución de cinco “largueros” en un sentido y transversalmente a ellos utilizar chapas de la longitud de separación constituyendo los soportes transversales, éste diseño y el material se opta por facilidad en la construcción, dado que la misma puede ser cortada por medio de corte láser y de una sola chapa poder obtener varios soportes, ésta estructura se adhiere a la virola y entre ellos por medio de soldadura TIG.

Se decide realizar unos “picos” que sirvan de apoyo al falso fondo con el fin de soldar sobre ellos y no efectuar un cordón completo, evitando así posibles deformaciones de la placa al realizar la unión soldada. Los picos poseen un ancho de 50 mm, se tiene un total de 60 por lo que conlleva un total de soldadura con la placa de 3000 mm.

La forma en la que se colocan las chapas de forma vertical se debe a que se busca aumentar la inercia favoreciendo así la resistencia a flexión del conjunto.

A continuación se adjunta imagen de lo mencionado.



(Figura 44: soporte de falso fondo)

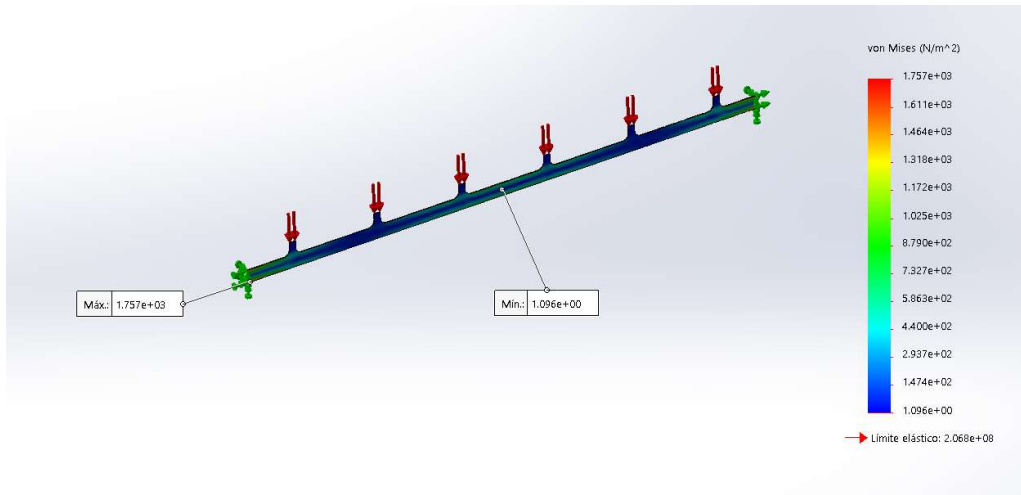
En lo que respecta a las dimensiones las chapas tendrán un alto de 50 mm al igual que los picos y estos últimos se encontrarán ubicados en los puntos medios de cada sección.

En lo que respecta a las verificaciones de esfuerzo, las mismas se realizan por medio de elementos finitos.

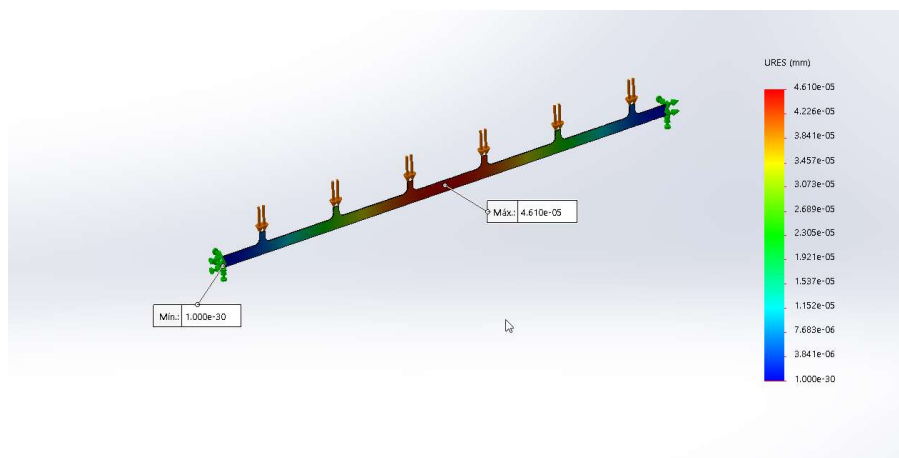
Para efectuar la verificación mencionada, se tiene que al equipo ingresan 1461 litros de agua (que es lo mismo que 1461 kg) y 427 kg de malta, teniendo que el diámetro de la placa es de 2,1m podemos calcular el área de la placa o del falso fondo obteniendo un área de 13,85m².

De aquí podemos calcular la presión ejercida sobre el falso fondo y así distribuirla por la cantidad de "picos" que es donde se va a vincular la estructura de soporte con la placa, obteniendo una Presión por pico de 26,2 N/m².

Se procede a simular un larguero para ver tensiones y deformaciones obteniendo lo siguiente:

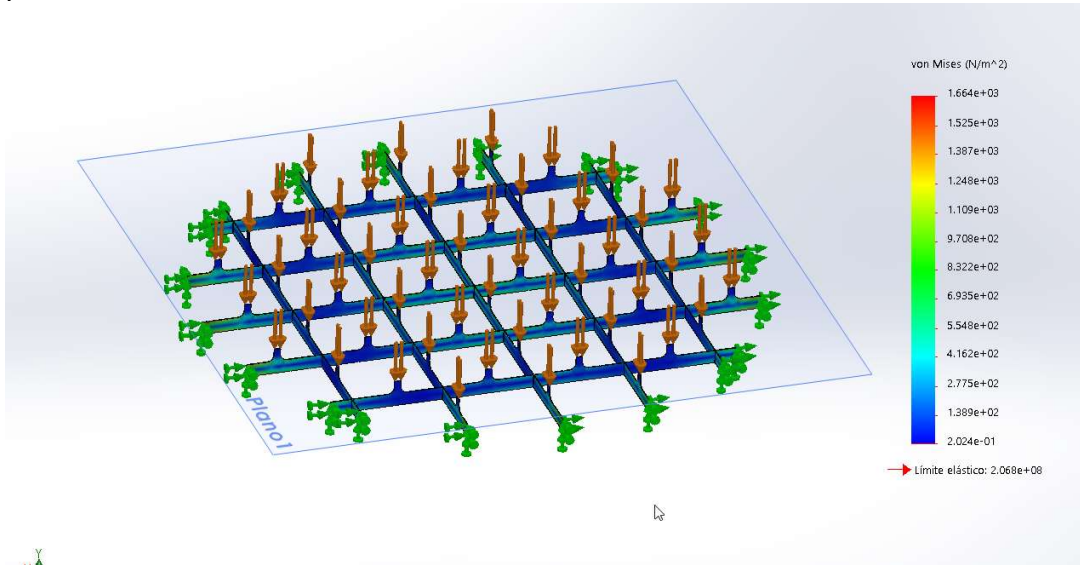


(Figura 45: Tensiones sobre un larguero)

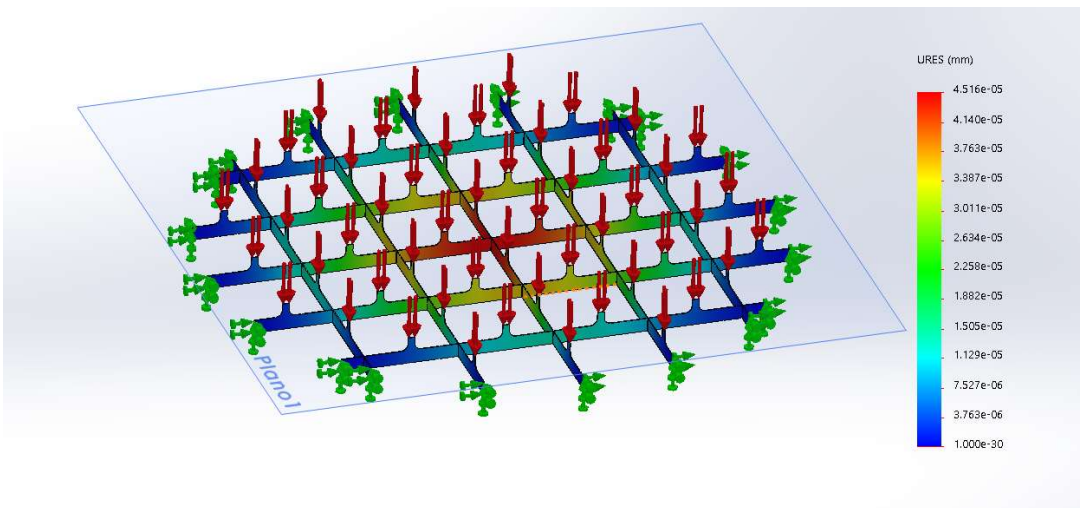


(Figura 45b: Deformaciones sobre un larguero)

Vemos de éste análisis que los valores máximos obtenidos tanto para tensiones como deformaciones no superan valores críticos, es por ello que podemos decir que la estructura confeccionada puede soportar los valores de esfuerzos que se tienen en el proceso, de todas formas se procede a realizar a continuación la verificación de la estructura completa.



(Figura 46: tensiones en estructura)



(Figura 47: deformación en estructura)

Como conclusión de las imágenes anteriores podemos mencionar que vemos que tanto las tensiones como las deformaciones sobre el soporte no presentan valores que excedan los límites

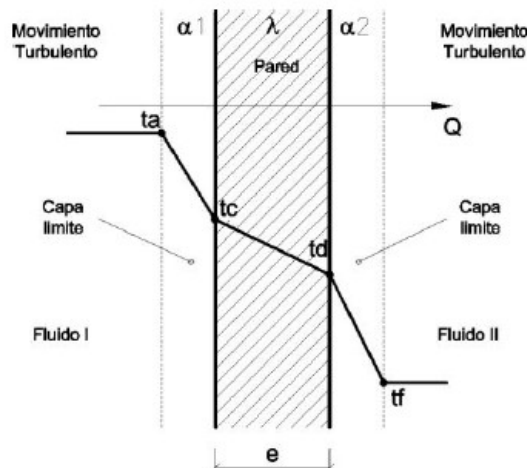
CAPITULO X: CALCULO DEL MATERIAL AISLANTE Y FORRO DE AISLACION

10.1 Introducción

Se sabe que para obtener una calidad deseada, la temperatura que se debe tener dentro del macerador no debe oscilar más allá de un valor admisible, dado que una temperatura baja podría derivar en que no se alcance el grado de extracción de azúcares deseado de la malta y una muy alta puede derivar que se extraigan componentes no deseados, es por ello que mantener la temperatura dentro del equipo lo más constante posible es de vital importancia.

Como se ha visto en capítulos anteriores tenemos que la temperatura de mezcla deseada para llevar a cabo el proceso es de 65°C.

A los fines de cálculo se va a utilizar método de transferencia de calor por convección, dónde en la parte interna del tanque se tiene fluido en movimiento por la agitación y en la parte externa se tiene aire quieto (quien actúa como película controlante como veremos más adelante).



Del gráfico anterior se tiene que el valor e es el espesor de la pared, α_1 y α_2 son valores de los coeficientes peliculares, y los parámetros t son las temperaturas.

10.2 Selección del material aislante

En lo que respecta al material aislante se debe seleccionar uno que no absorba humedad (hidrófugo) a fin de evitar la proliferación de hongos y bacterias dado que se trabaja en industria alimenticia.

Vemos que un material de posible aplicación aquí es la lana mineral la cual posee las siguientes propiedades:

- Resistencia al fuego: no combustible, lo que significa que no contribuye a la propagación del fuego.
- Alta resistencia térmica: tiene una conductividad térmica baja, lo que significa que ofrece una excelente resistencia al flujo de calor.
- Contribución a la sostenibilidad: es un material reciclable y fabricado con materias primas abundantes, lo que la convierte en una opción sostenible para la construcción.
- Bajo mantenimiento
- Buena durabilidad.
- Versatilidad en formatos: se consigue en rollo, en planchas, en mantas, a granel. Esto permite utilizarla en muchas aplicaciones y usar diversas técnicas.

Se destaca que para nuestro caso se plantea realizar aislación sobre la virola sin embargo se realizará aislación del fondo cónico a su vez.

Para éste caso lo que vamos a realizar es una verificación del mismo, sabiendo que le proceso completo dura una hora, vamos a proponer un espesor de aislante (lana de mineral) y vamos a verificar que el mismo cumpla con el gradiente de temperatura deseado que es de $0,5^{\circ}\text{C}$ por hora de trabajo.

De experiencias prácticas podemos suponer un espesor de pared de aislante de 50mm, y luego de allí buscar optimizar el mismo.

En lo que respecta al área de intercambio para facilidad de cálculo se opta por considerar el alto de la virola, la cual posee 1,5m de altura (se sabe que el nivel de mosto dentro de ella es menor) pero para tomar ciertos recaudos se elige considerar el aislante de la altura de la virola y no se considera el fondo cónico.

Sabemos que la cantidad de calor transferida a través de una pared es:

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

Siendo U el coeficiente de transferencia, A el área de intercambio y ΔT el gradiente de temperatura entre temperatura ambiente y temperatura de mezcla.

Primero procederemos a calcular la cantidad de calor que atraviesa la pared sin aislar y luego con el aislante propuesto y allí verificaremos que el espesor cumpla con la condición necesaria impuesta por el proceso.

Tenemos entonces para el equipo sin aislación lo siguiente:

$$\Delta T = (64^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) = 39^{\circ}\text{C} = 312 \text{ K}$$

$$A = \pi \times D \times l = \pi \times 2,1\text{m} \times 1,5\text{m} = 9,9\text{m}^2$$

$$U1 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha 1} + \frac{t}{\lambda ai} + \frac{1}{\alpha 2}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{2330} + \frac{0,004}{16,3} + \frac{1}{23,3}\right)} = 23 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$Q = 23 \frac{W}{m^2K} \times 9,9m^2 \times 312K = 71042,4 W = 61085.47 Kcal/h$$

Ahora se procederá de forma idéntica a calcular el calor con una pared aislante de lana mineral de 50 mm de espesor.

$$U1 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha1} + \frac{t}{\lambda ai} + \frac{1}{\alpha2}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{2330} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{1}{23,3}\right)} = 0,8 \frac{W}{m^2K}$$

$$Q = 0,8 \frac{W}{m^2K} \times 9,9m^2 \times 312K = 2471,04 W = 2124.71 \frac{Kcal}{h}$$

Este cálculo nos da una referencia de cómo se comporta el acero inoxidable y el comportamiento del aislante.

Bien ahora sabemos que se debe tener una variación de temperatura admisible de 0,5°C por hora de proceso, asumiendo que el mosto se comporta como agua podemos tomar el valor del cp de la misma, calculando un calor admisible igual a:

$$q_{adm} = m_{mosto} \times cp_{mosto} \times \Delta T_{adm} = 1461 kg \times 4186 \frac{J}{kg K} \times 0,5 K = 3058 W$$

Se suponen 1461 kg dado que es el volumen de primer agua que se calculó en inciso 5.1.3.

Suponiendo el tiempo de maceración de 1 hora, tenemos que el calor y calculando el calor admisible para la pared aislada tenemos que el espesor de pared aislante verifica de manera correcta.

10.4 Virola externa o forro del equipo

En lo que respecta a la virola externa se presentan diferentes alternativas para su construcción.

Esta puede ser confeccionada de un acero inoxidable distinto al utilizado para la construcción del resto del equipo dado que no reviste de importancia tanto el

material como el espesor de la misma, es por ello que se puede pensar que para que el equipo final tenga un menor costo se puede optar por un acero inoxidable AISI-430 de un espesor de 0,7 pero en nuestro caso vamos a optar por realizar el mismo de chapa de acero inoxidable AISI-304 de espesor 1mm.

Nuestra elección se basa en que el acero inoxidable AISI-430 a la hora de ser soldado tiene mayor tendencia a que pueda dañarse por la soldadura respecto al AISI-304 brindando así una mala terminación al equipo, por ello optamos por AISI-304 de 1,5 mm de espesor para que se pueda soldar con mayor facilidad y se pueda lograr una mejor terminación.

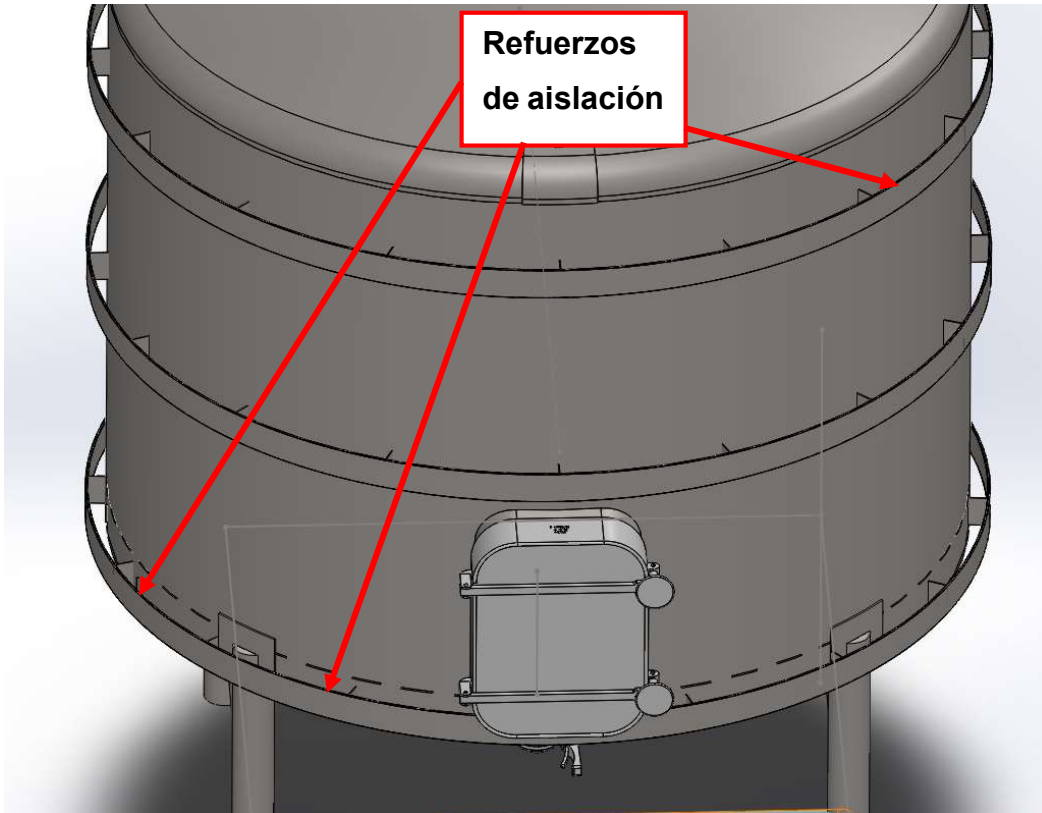
Se decide llevar a cabo una estructura que se encuentre vinculada al forro exterior y que actúe como refuerzo del mismo y del aislante que se coloca en la virola cilíndrica.

Este es construido por medio de planchuelas de acero inoxidable AISI 304 de espesor 4,06 y de ancho 76,2 mm (de acuerdo a catálogo de Famiq) y se decide llevar a cabo de acuerdo a lo que se muestra a continuación, dieciseis vinculaciones con chapas del ancho de la planchuela y espesor 2 mm .

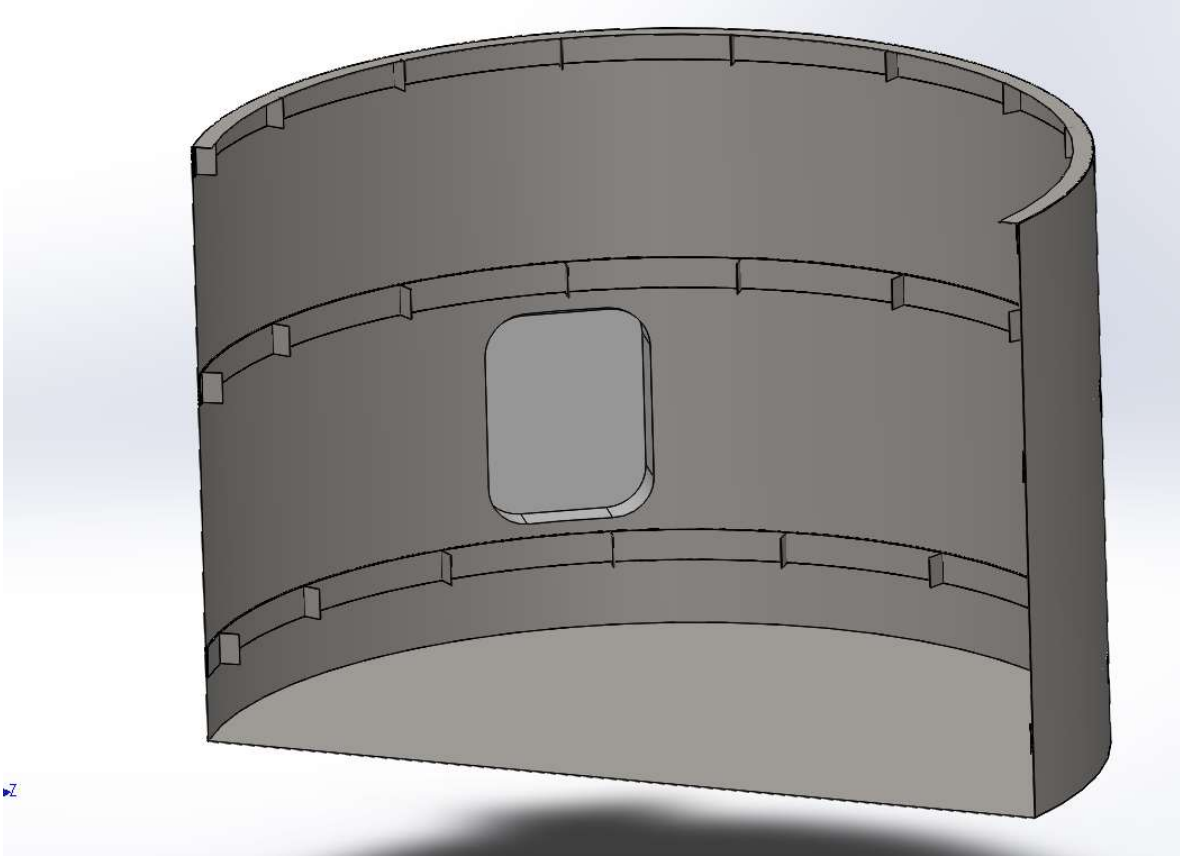
Los mismos será vinculados al forro propiamente dicho por medio de soldadura tig. En figura que se muestra a continuación, el cobertor de aislante que es a donde se

vinculan los refuerzos se encuentra oculto para que se pueda apreciar sobre el equipo a que alturas y distancias entre ellos son soldados respecto del macerador.

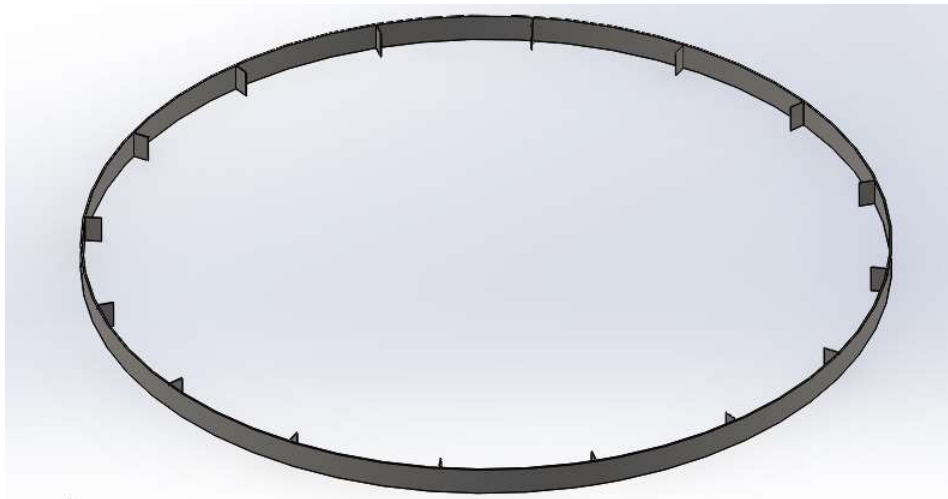
En imagen posterior se presentará de forma debida.



(Figura 49: Ubicación de refuerzos de aislación sobre el macerador en general)

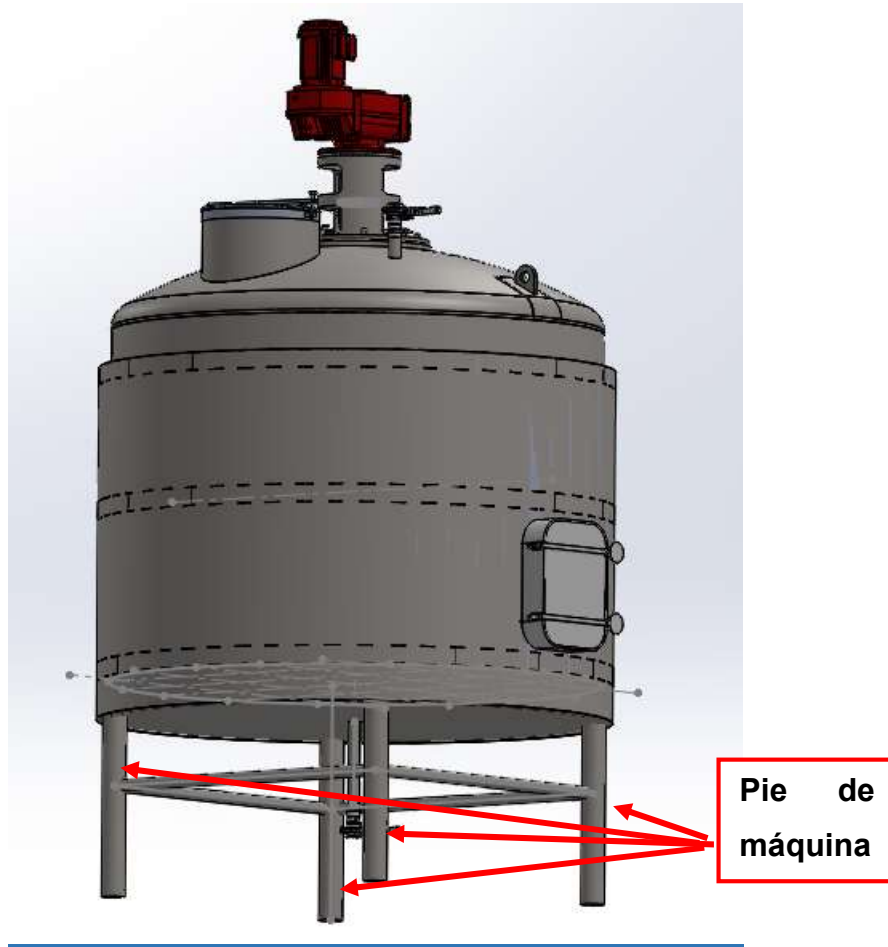


(Figura 49b: Ubicación de refuerzos de aislación en posición real sobre forro)

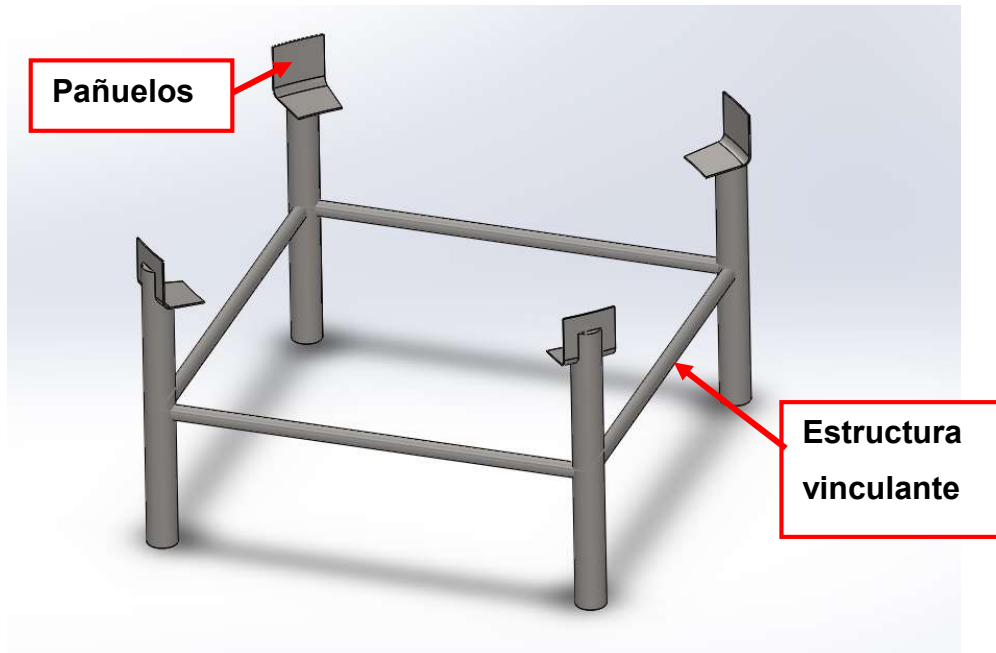


(Figura 49c: Refuerzo de aislación)

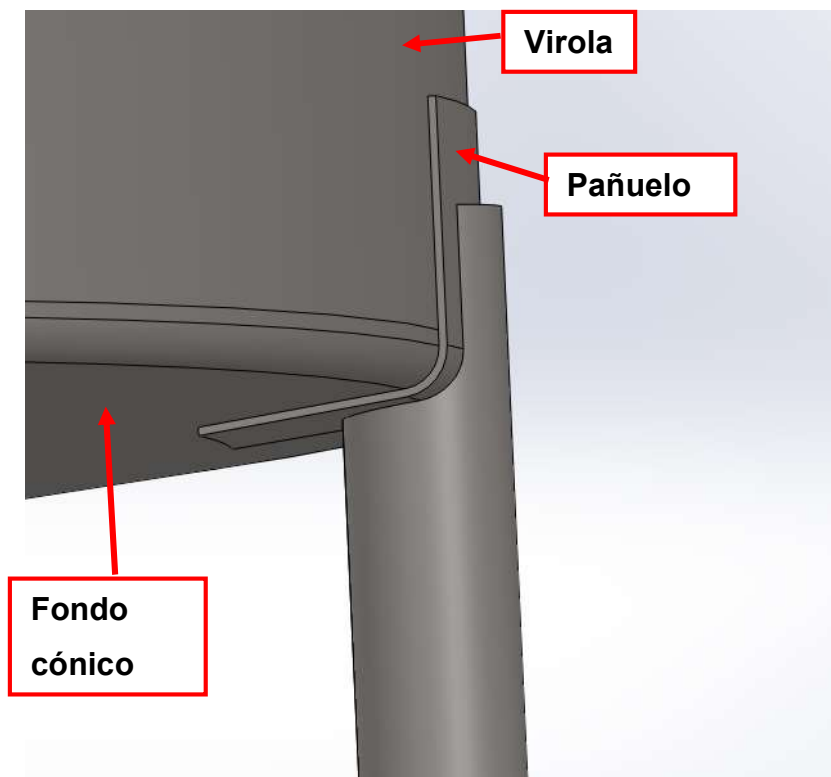
CAPITULO XI: CALCULO Y DISEÑO DE PIE DE MÁQUINA



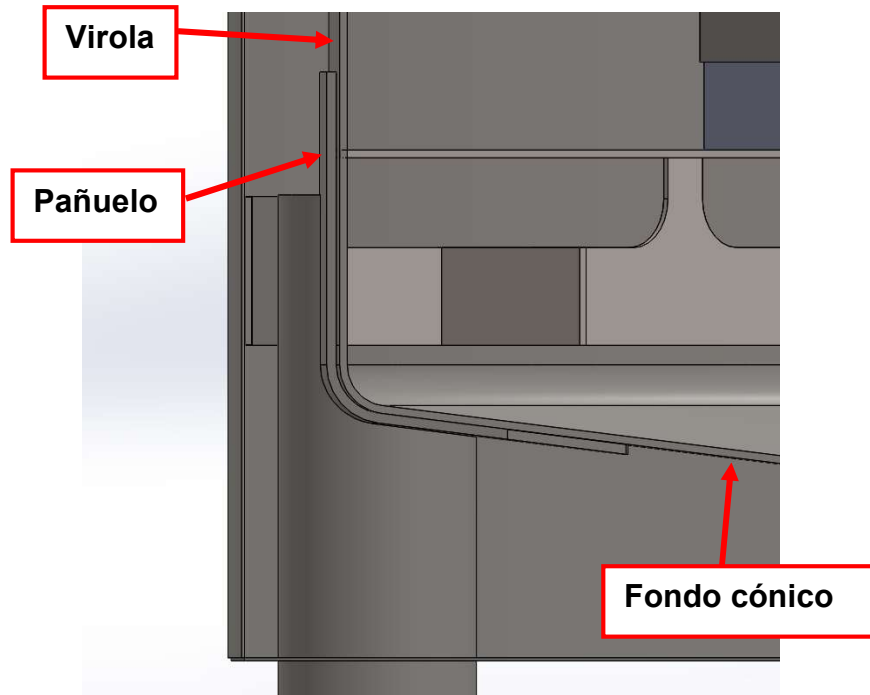
(Figura 50: Pies de máquina)



(Figura 51: Estructura de pie de máquina)



(Figura 52: Vinculación de pañuelos)



(Figura 53: Vista en corte de vinculación de pañuelos)

11.1 Diseño de pie de máquina

Los pies de máquina son los encargados de soportar tanto el peso del equipo completo como a su vez el peso de la carga que requiere el proceso, es por ello que reviste importancia su correcta confección.

En nuestro caso, se diseñaran cuatro apoyos, en los cuales utilizaremos caños de $\varnothing 101,6$ mm y espesor 3,05 mm, y en un plano horizontal una estructura realizada por medio de $\varnothing 50,8$ mm y espesor 2 mm.

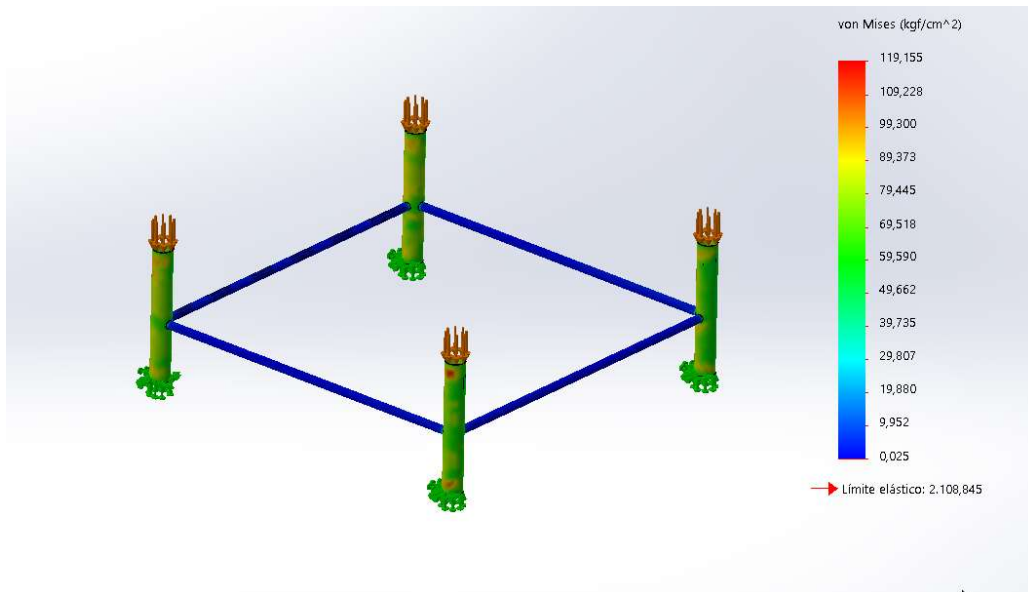
Estos pies serán vinculados por medio de un pañuelo de chapa de 5mm de espesor, que se colocan en un corte realizado al caño copiando la forma de la virola y el fondo cónico previendo que abarque más superficie de contacto sobre la virola que sobre el fondo cónico dado que en la mayoría de las construcciones de este estilo la virola cilíndrica suele ser de mayor espesor que el fondo cónico. Estos pañuelos

propriadamente dichos, serán vinculados a a virola y al fondo cónico por medio de soldadura.

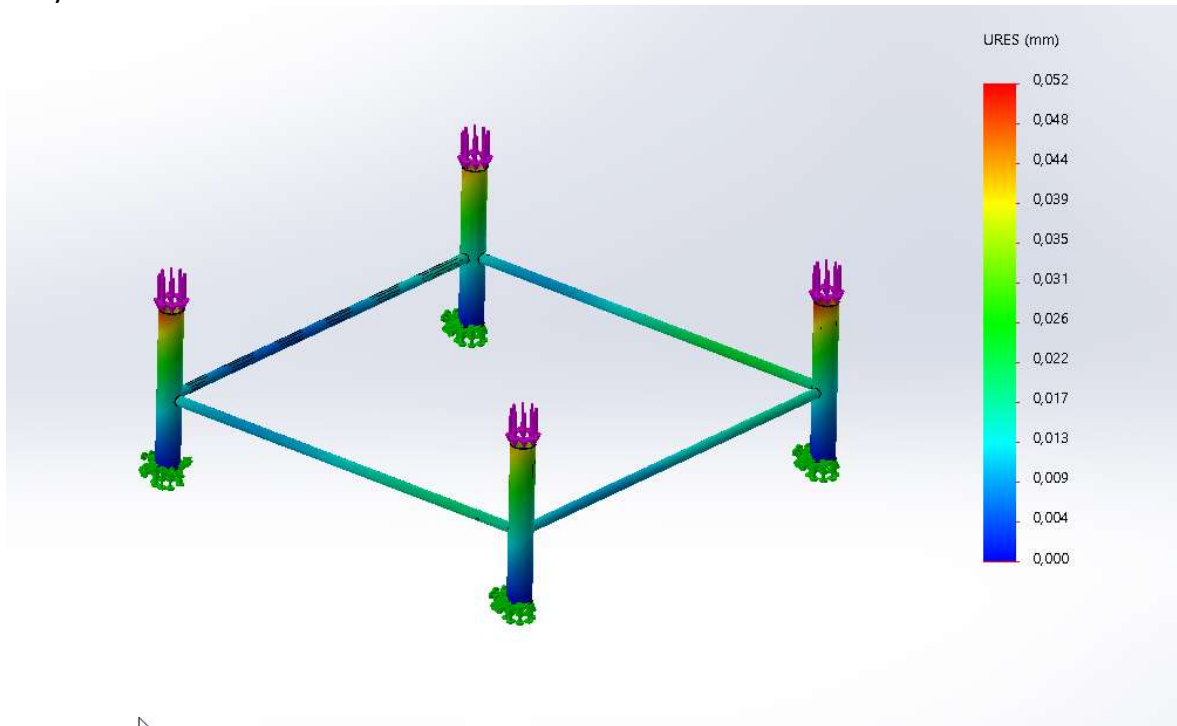
En lo que respecta al forro, el mismo presentara los cortes para que los pie de máquina atraviesen el mismo y luego se vinculará por medio de soldadura a los mencionados.

11.2 Verificación de pie de máquina

A continuación procederemos a realizar un análisis por método de elementos finitos de como se comporta la carga sobre los caños y la vinculación horizontal que los vincula, dónde para el mismo se han realizado simplificaciones a modo de facilitar el cálculo y se ha considerado que sobre la cara del caño dónde apoya el equipo actúa una carga de 1000 kg por cada pie, obteniendo los siguientes resultados:



(Figura 54: Simulación tensiones en pies de máquina)



(Figura 55: Simulación deformaciones en pies de máquina)

De lo observado en las imágenes anteriores, podemos concluir que se tienen tensiones inferiores al admisible para el material y a su vez las mayores deformaciones que se tienen son de inferiores a 0,052mm indicando que la estructura resiste de manera correcta.

CAPITULO XII: EQUIPOS AUXILIARES

12.1 Diseño de estructura y pasarela de acceso a zona superior del equipo

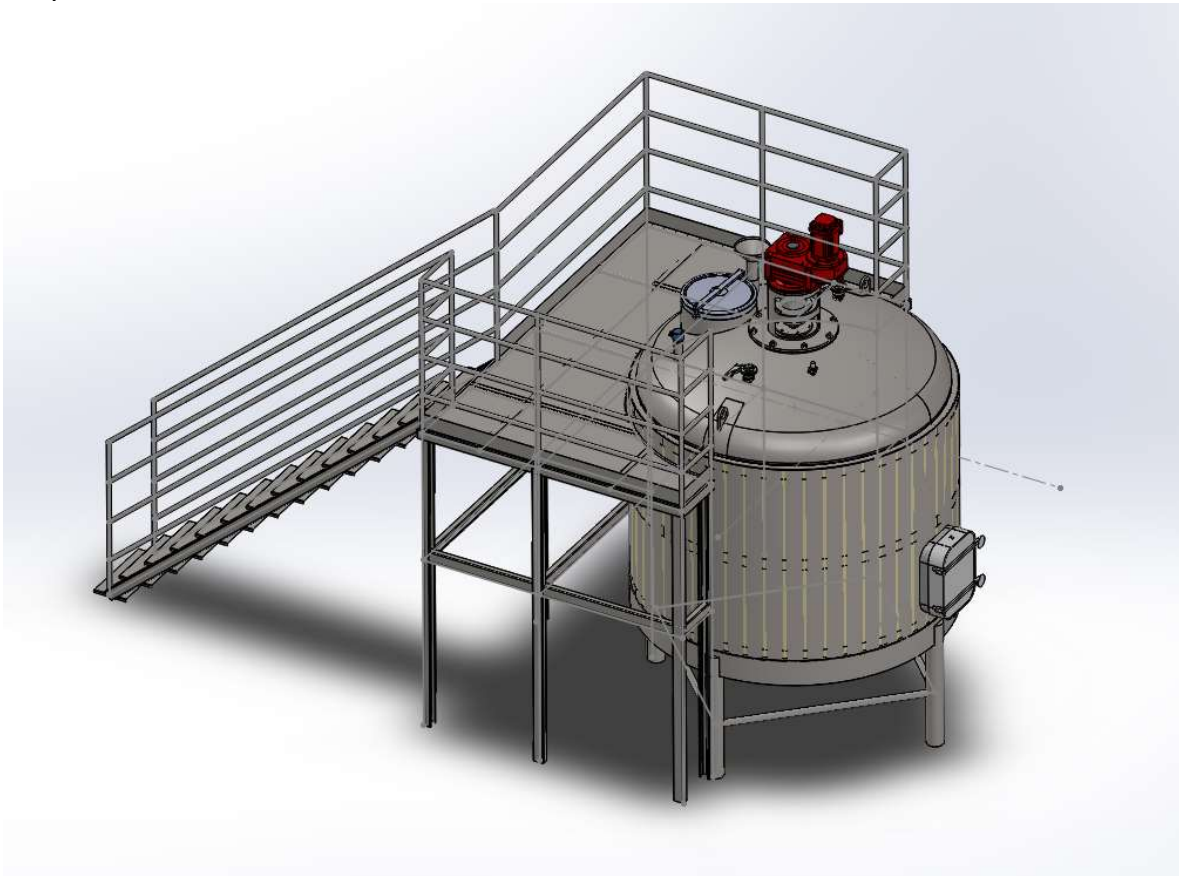
En lo que respecta a equipos auxiliares, vamos a mencionar que se realizó el diseño de una estructura junto con la pasarela pertinente dado que la altura del macerador es considerable, se desarrolla lo mencionada.

El diseño de la misma se lleva a cabo con perfiles confeccionados de chapa plegada de acero inoxidable AISI 304 de espesor 3,2 mm de dimensiones 80 x 50 x 15 mm y chapa plana del mismo material de espesor 3mm para el piso de la plataforma y los guardapie (de 150 mm de altura respecto el lomo del perfil) y de 4 mm para los escalones. En lo que respecta a las barandas, las mismas fueron diseñadas con barra de acero AISI 304 de $\varnothing 31,8$ de acuerdo a lo que provee el distribuidor Famiq.

Cabe mencionar que la pasarela se encuentra a una altura mayor a 2 m con el fin de facilitar el acceso para mantenimiento e inspección.



(Figura 56: Pasarela)



(Figura 57: Pasarela y macerador)

12.2 Cálculo de Wort grant para proceso

Un Wort Grant es un pequeño recipiente de recolección de mosto, abierto al aire, colocado entre el recipiente de filtración y el hervidor de mosto, ¡un recipiente pequeño con una gran función para el sistema de sala de cocción!

Tiene 3 funciones:

- 1) Para evitar un posible vacío en la cuba de filtración o maceración/filtración durante el bombeo del mosto para la recirculación o el llenado de la marmita;
- 2) Permitir que el cervecero evalúe la claridad y el flujo del mosto;

3) En sistemas más grandes con múltiples salidas de cubas filtrantes, para determinar si todas las partes del lecho de granos fluyen suficientemente bien o requieren rastrillado u otras medidas para mejorar el flujo.

Por lo tanto, la subvención sirve como un amortiguador de flujo.



(Figura 58: Wort grant)

El diseño que se va a realizar, consta de un recipiente cilíndrico de $\text{Ø}300$ mm y 700 mm de altura, lo que nos brinda una capacidad de 50 litros lo que equivale a 1/3 de lo que se acumula en el falso fondo, evitando así que pueda ocurrir un posible vacío dentro del macerador.

El mismo se realizará de material AISI 304 y de vidrio la parte cilíndrica, será bridado y a su vez poseerá una bocha para lavado CIP de $\text{Ø}30$ mm.

12.2 Cálculo energético para llevar agua de primer empaste a temperatura

Como primera medida debemos basarnos en la receta de la cerveza que se va a elaborar, la cual es del tipo Pilsen, de ahí vamos a poder tener las cantidades necesarias de materia prima.

- Relacion Agua/Malta: 3:1
- Agua primer empaste: 1282L
- Malta Pilsen: 427kg
- Mosto final: 1816 L (ver capítulo 5.1.4)
- Temperatura de agua de primer empaste: 73°C
- Temperatura malta: Temperatura ambiente $\approx 20^{\circ}\text{C}$
- Mosto final Diluido: 2000L

Aquí como se mencionó anteriormente lo que se va a tener que realizar es la adopción de un recipiente de agua caliente capaz de abastecer al proceso completo de cocción, el mismo es un recipiente calefaccionado por vapor, capaz de mantener el agua a temperatura de 90°C, basándonos en los volúmenes que se mencionan anteriormente podemos suponer que vamos a necesitar un recipiente de 3.000 litros de capacidad.

En lo que respecta al diseño de la misma, será de acero inoxidable AISI 304, con carga superior por flotante, con camisa para circulación de vapor para calentamiento y mantención de la misma a temperatura final, a su vez consta de aislación de poliuretano de 50 mm de espesor.



(Figura 59: Recipiente de agua caliente)

A continuación, realizaremos el balance energético para poder brindarle al fabricante del equipo las especificaciones técnicas requeridas.

Balance energético en recipiente de agua caliente

Volumen total (V_t)	3000 L
Temp inicial del agua (T_i)	20°C
Temp final del agua (T_f)	90°C
Cp agua	1 Kcal/kg °C
Densidad del agua	1 Kg/l
Tiempo de llenado de la olla (t)	2 horas

- Cálculo del caudal requerido por hora de agua de ósmosis.

$$\dot{V}_1 = \frac{V_t}{t} = \frac{3000 \text{ l}}{2 \text{ h}} = 1500 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

- Cálculo del consumo energético en olla

$$Q_1 = V_t \times C_{p_{agua}} \times \rho_{agua} \times (T_f - T_i)$$

$$Q_1 = 3000 \text{ l} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \times 1 \frac{\text{Kg}}{\text{l}} \times (90^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = 210000 \text{ Kcal}$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{Q_1}{t} = \frac{210000 \text{ Kcal}}{2 \text{ h}} = 105000 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Este consumo energético puede ser brindado a quien desee contar con el macerador diseñado, dado que se basa en los valores de potencia calórica requeridos para poder tener en el recipiente auxiliar la temperatura para proceso.

CAPITULO XIII: MEDICION DE NIVEL DE LIQUIDO

Aquí se han presentado varias alternativas a la hora de seleccionar un instrumento que nos permita medir el nivel de líquido dentro del tanque, algo que resulta clave a la hora de las proporciones que contiene la receta de la cerveza (como se vio antes por cada kg de malta se debe utilizar 3 litros de agua).

Se consideró en primer lugar colocar un tubo de nivel, el cual nos brinde de manera rápida y sencilla la información del nivel que se tiene dentro del equipo, el mismo consiste en una solución económica pero a la vez carece de automatismo, es decir que un operario debe controlar viendo cerca del tanque, es por ello que la misma fue descartada.

Se decide optar por una solución que si bien posee un coste elevado, consideramos que a la hora de brindar automatización al proceso es bastante adecuada como ser la colocación de un radar de la marca Vega que se muestra a continuación.



(Figura 60: Sensor TDR para la medición continua de nivel)

Este equipo es un sensor de nivel con sonda de medición en forma de cable o varilla para la medición continua de nivel o de interfase, siendo adecuado para aplicaciones en líquidos.

El radar emite impulsos de microondas de alta frecuencia que son conducidos a lo largo de un cable o varilla de acero, éstos son reflejados al chocar contra la superficie del producto. El tiempo de recorrido es evaluado por el equipo y emitido en forma de nivel.

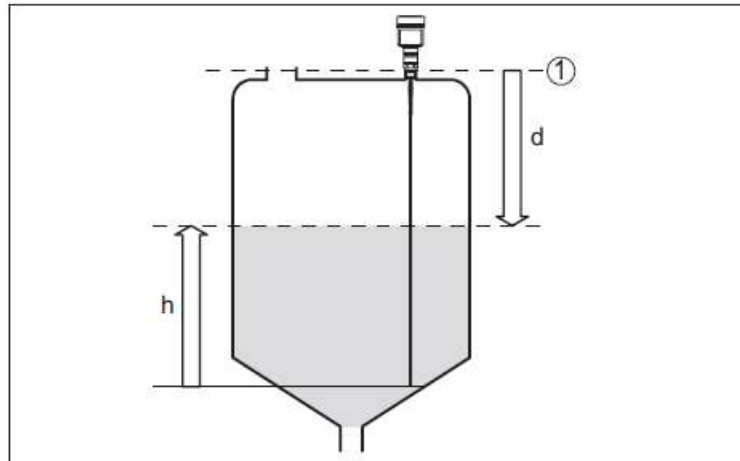


Fig. 1: Medición de nivel

1 Plano de referencia del sensor (superficie de la junta de la conexión a proceso)

d Distancia hasta el nivel de llenado

h Altura - Nivel

(Figura 61: Principio de medición de sensor TDR)

Este equipo permite conectarse de manera remota permitiendo así que el operario encargado del control no deba abocarse solo a controlar el mismo y pueda realizar otra tarea.

Como desventaja hemos mencionado su alto coste, que ronda los € 2069 + IVA (euros).

CAPITULO XIV: CONCLUSION Y AGRADECIMIENTOS

CONCLUSIÓN FINAL

Para dar conclusión al trabajo se emite una opinión personal, la cual puede tener distintas aristas, por un lado lo académico y profesional y por otro lado a nivel personal que nos aporta la realización del presente.

En primera medida voy a realizar una valoración de lo aportado por el presente informe a mi formación académica y luego iré vinculando el mismo con las distintas etapas por las que fue atravesando dentro de mi vida personal para por último concluir con agradecimientos.

Desde lo académico, puedo comenzar mencionando que por medio del presente he ido tomando conocimiento de las distintas etapas que se requiere para poder realizar éste informe, comenzando por la selección de una temática, luego realizando investigaciones acerca de la misma, vinculando no solo conocimiento técnico inherente a la carrera, sino también en otras áreas como ser normativas legales involucradas, para éste caso me ha tocado vincular un poco desde la parte química y ver como se afecta la materia prima para poder obtener un mejor producto. Luego de ello se ha seguido de una investigación tomando contacto con distintos productores de la zona quien me han recibido muy bien y han brindado ayuda en lo necesario aportando datos que han servido como ser más precisamente información sobre proceso abocado a la pequeña y mediana industria para luego así poder desarrollar el contenido técnico específico del presente por medio de una justificación o ante proyecto y luego el cuerpo.

Ya ahora introduciéndolo más a título personal, este informe ha atravesado por muchos estadios hasta su conclusión dado que he comenzado y abandonado numerosas veces hasta poder llegar a éste momento. En el transcurso mencionado estuve trabajando desde un comienzo fuera de la profesión lo que derivó en que el presente se retrasara mucho más de lo esperado y ya para ésta última etapa he

comenzado a relacionarme con la profesión y ello ha hecho que pueda observar y obtener conocimientos específicos como ser en área de diseño, producción (con lo que conlleva) y a su vez poder relacionar de forma más integral conocimientos desarrollados dentro de la carrera con la vida profesional, como ser áreas de estabilidad, diseño mecánico, tecnología de fabricación, termodinámica entre otras.

Por último, voy a dedicar unas palabras a quienes han acompañado este proceso comenzando por docentes y aquí debo recalcar la calidez que han tenido, siempre cada uno con sus formas enseñándonos a su manera, pero de la mejor forma posible y brindándose siempre cuando se los ha necesitado sin mezquinar no solo conocimiento sino también consejos para la vida profesional y personal.

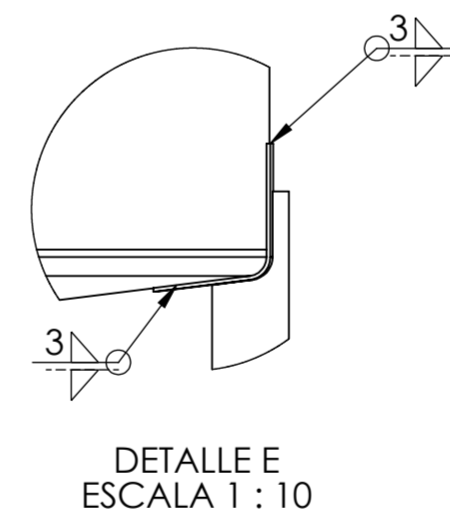
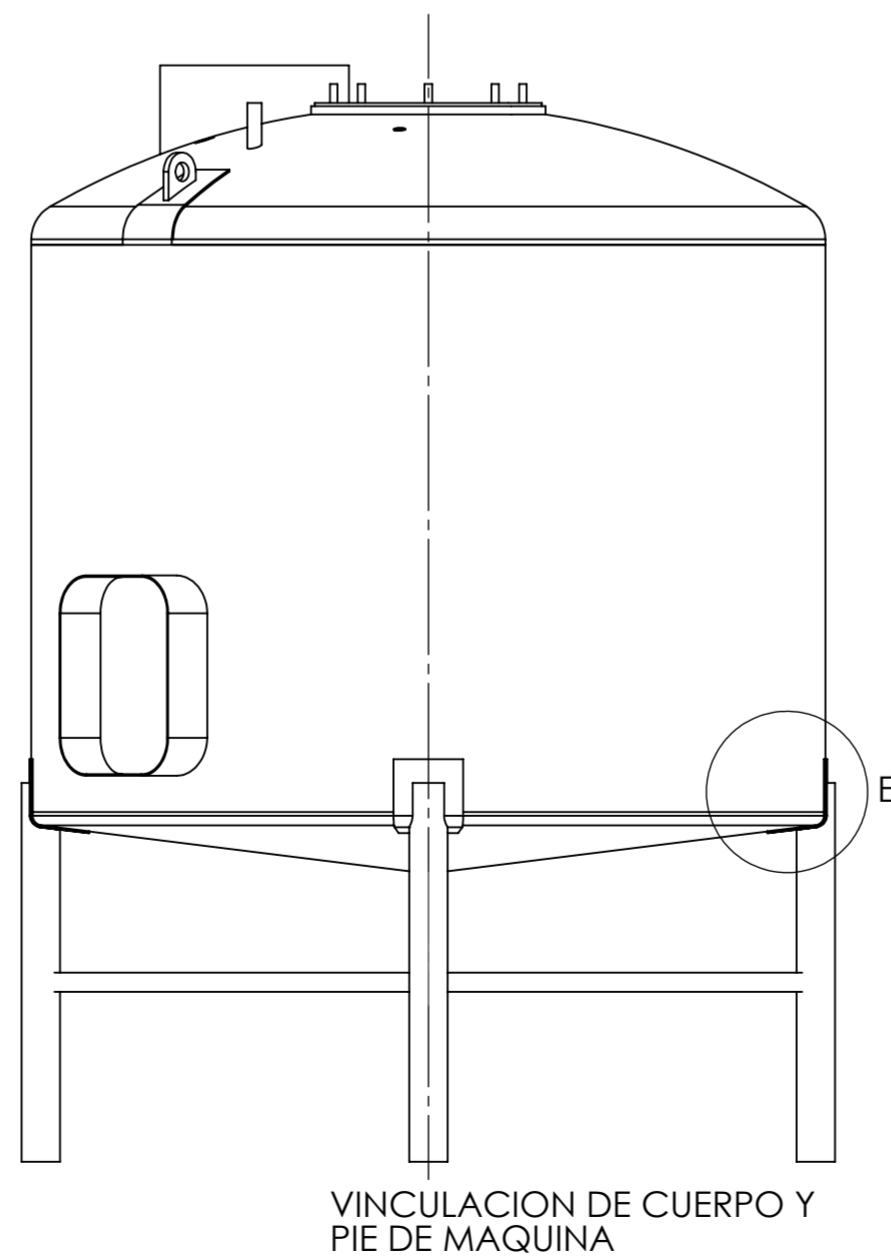
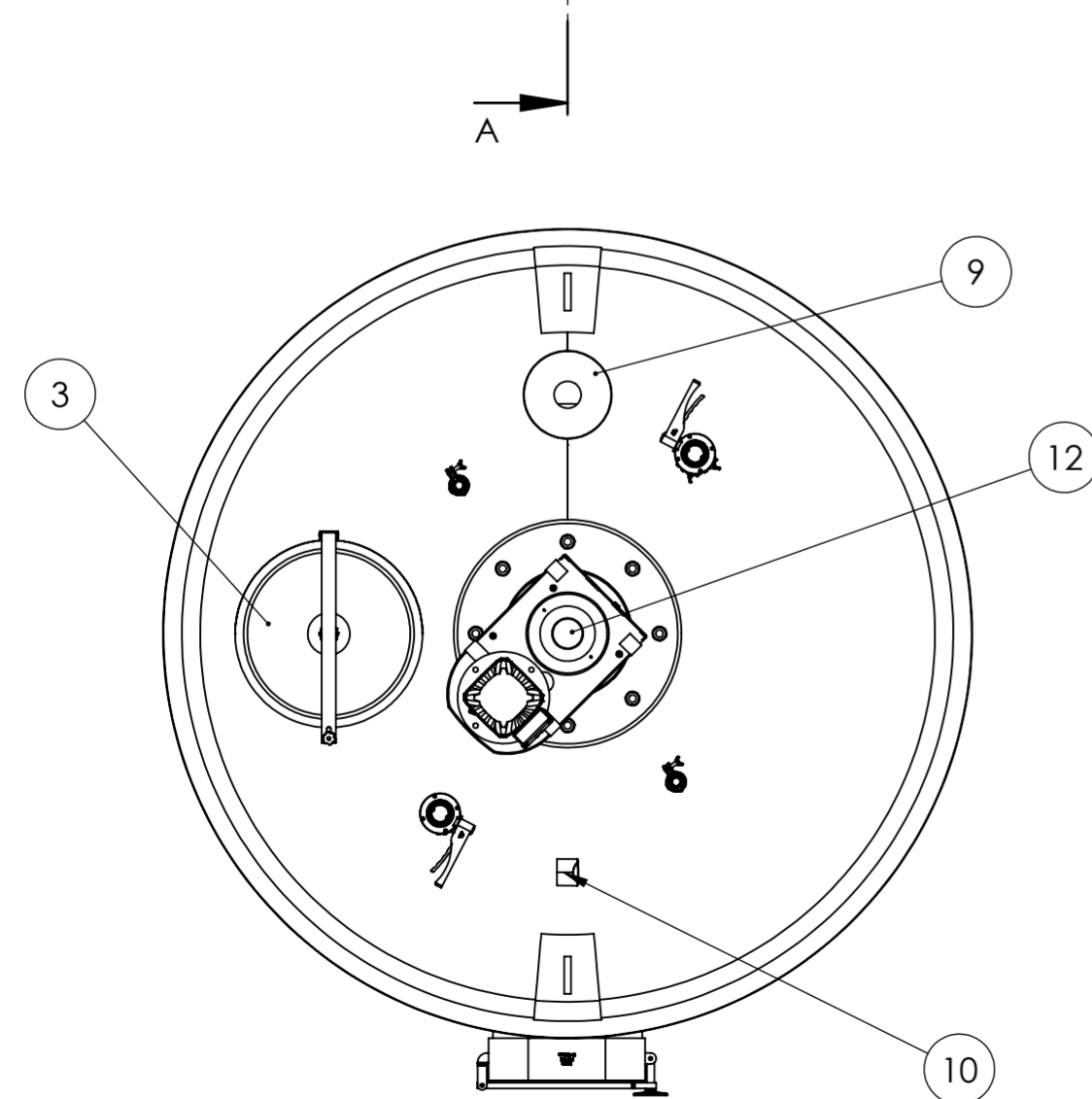
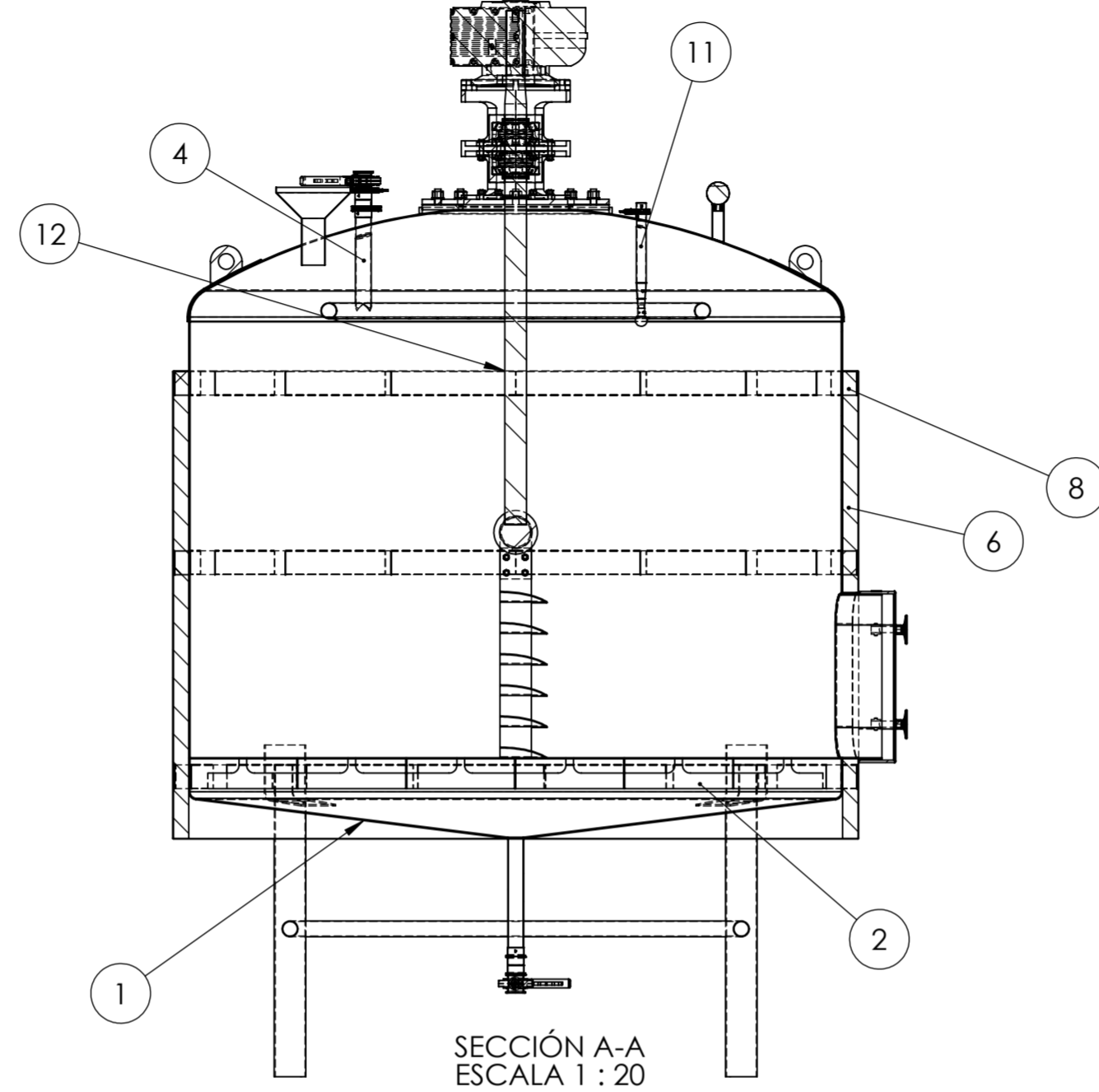
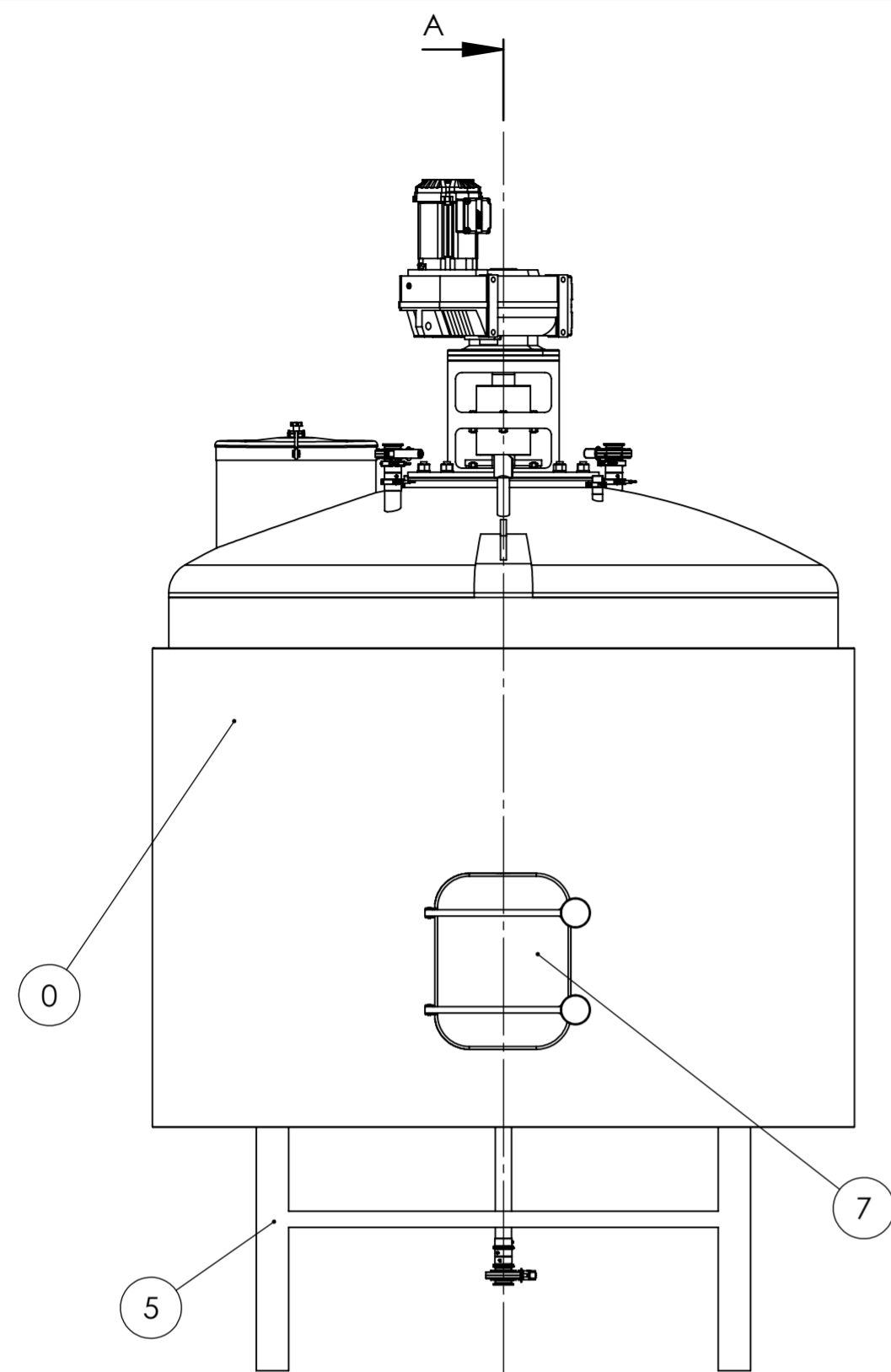
Luego voy a continuar por mis amigos y pareja, quienes han apoyado en cada uno de los estadios del presente, alentando siempre a que retorne y pueda concluirlo, apoyando sin dudar la condición en la que me encontraba y cuan negado pudiera haber estado a finalizar. Por último, a mis padres quienes fueron los que han acompañado, apoyado y alentado, más de una vez dejando de lado sus opiniones personales, (sin olvidar el esfuerzo que les ha conllevado a ellos desde lo material y económico) y permitiendo que uno haga como dice el dicho camino al andar, alegrándonos y llorando juntos más de una vez tanto por los buenos pasos como los pasos en falso.

CAPITULO XV: BIBLIOGRAFIA

- Tecnología para cerveceros y malteros de Wolfgang Kunze – Edición 2006
- Proyecto Final de Carrera – Autor: Zaghis, Santiago
- Proyecto Final de Carrera – Autor: Carbonell Medina, Ian
- Código Alimentario Argentino
- Norma ASME: Manual de Recipientes a Presión
- Manual de Recipientes a Presión Diseño y Cálculo – Megyesi, Eugene
- Apuntes de cátedra Diseño de Instalaciones y Equipos en Termomecánica Tema 5 – Stratta, Jorge
- Tiantai Brewtech – (<https://www.craftbreweryequipment.com/es/brewery-equipment-landingpage/>)
- SEW Eurodrive - <https://www.sew-eurodrive.com.ar/inicio.html>
- Enobeer - <https://www.enobeer.it/en/>
- Famiq - <https://www.famiq.com.ar/>
- SKF - <https://www.skf.com/ar>
- Sistema de limpieza CIP en una industria de fabricación de cerveza – Autor: Viruega Sevilla, David
- Medel inox - <https://medelinox.com/cerveza/>

CAPITULO XVI: PLANIMETRIA

N° de Plano	Título
PFC-TKP-00	Conjunto Completo
PFC-TKP-01	Ensamblaje Cuerpo
PFC-TKP-AGI-00	Conjunto Agitación
PFC-TKP-02	Torreta
PFC-TKP-05	Brazo Rastrillo
PFC-TKP-06	Cuchilla Plegada
PFC-TKP-07	Cuchilla
PFC-TKP-08	Porta-rodamiento
PFC-TKP-09	Eje



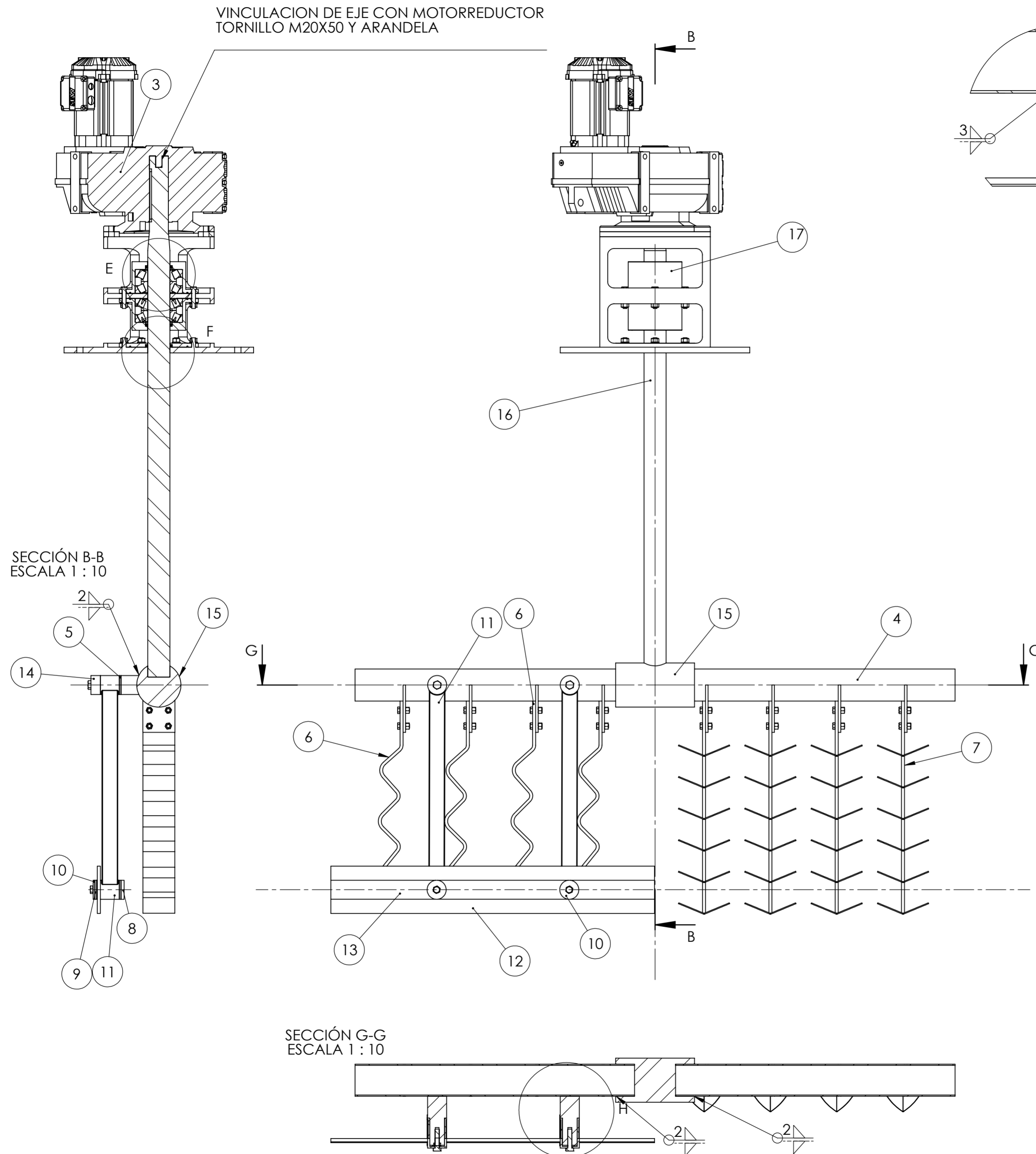
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	PFC - TKP	PFC-TKP-00
2	Soporte falso fondo	PFC-TKP-10
3	Boca de Hombre	Entrada de hombre Famiq P33-530
4	Anillo Rociador	PFC-TKP-11
5	Pie de Máquina	PFC-TKP-12
6	Aislación	Aislación lana de lana mineral
7	Boca de Hombre	Compuerta Famiq P23-111-//304L
8	Refuerzo Aislación	PFC-TKP-13
9	Toma de Grano	PFC-TKP-14
10	Radar	Medidor de nivel de ondas guiadas VEGA FLEX81
11	Lanza Cjp	PFC-TKP-15
12	Ensamblaje Agitación	PFC-AGI-00

Tol grales	Proy	Fecha	Nombre	Cliente	UTN - FRSF
	Dib		Frutos, J		
	Rev				
	Apr				
	Esc				
1:20	Descripción				Nº de Plano PFC - TKP - 00
Conjunto completo					
Formato A2					

VINCULACION DE EJE CON MOTORREDUCTOR
TORNILLO M20X50 Y ARANDELA

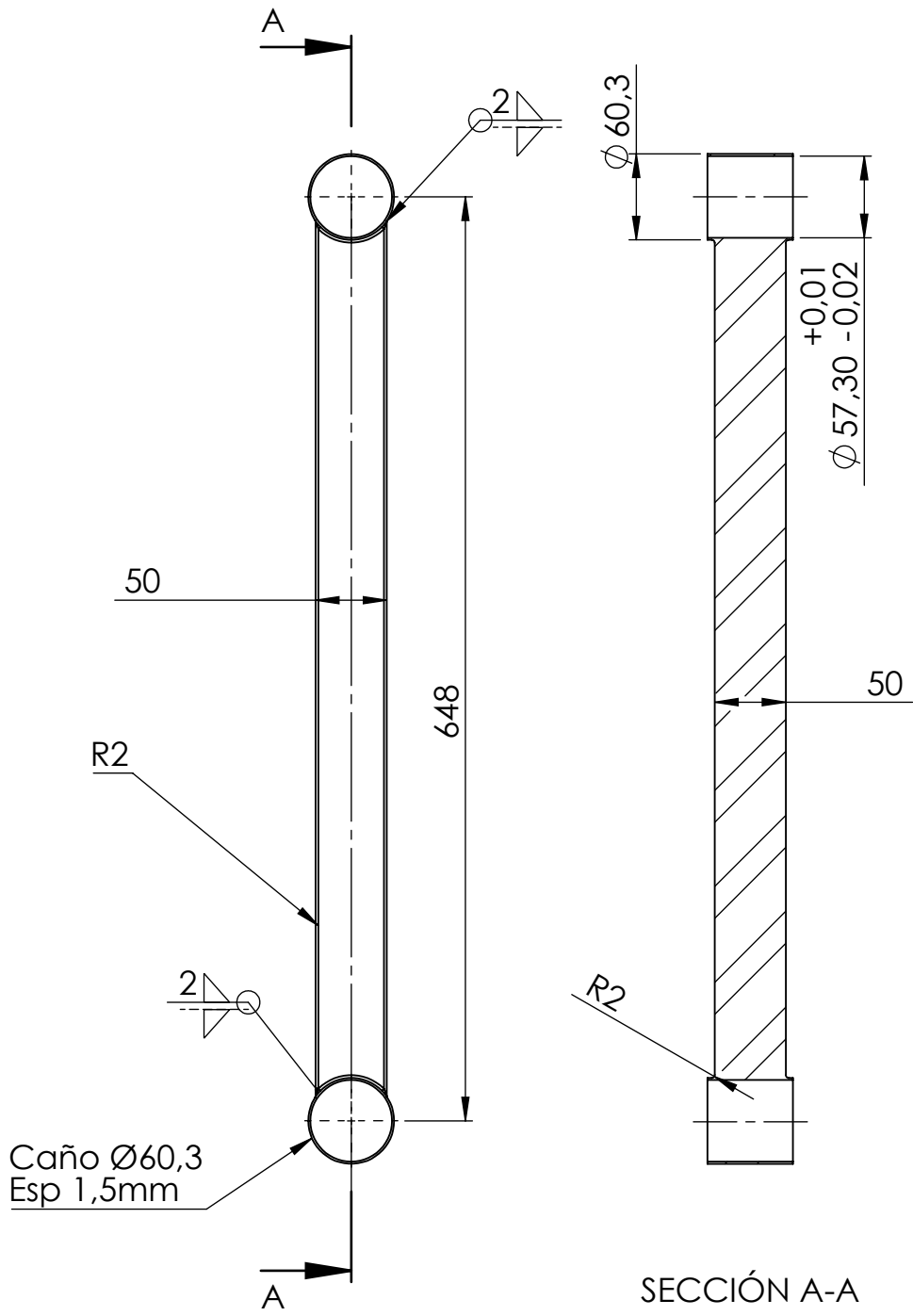
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 10

SECCIÓN G-G
ESCALA 1 : 10

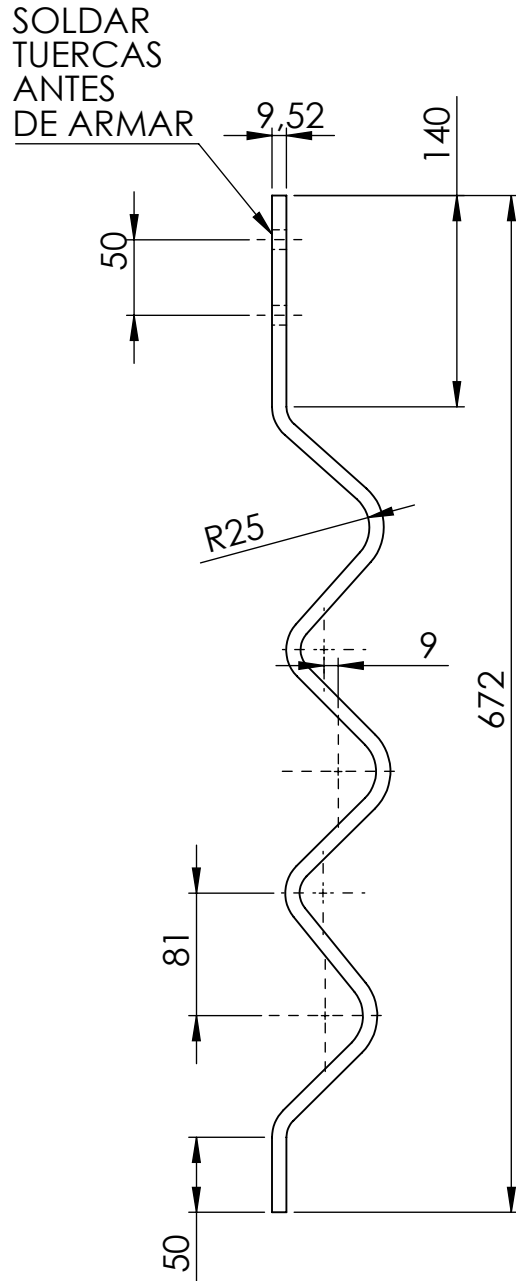
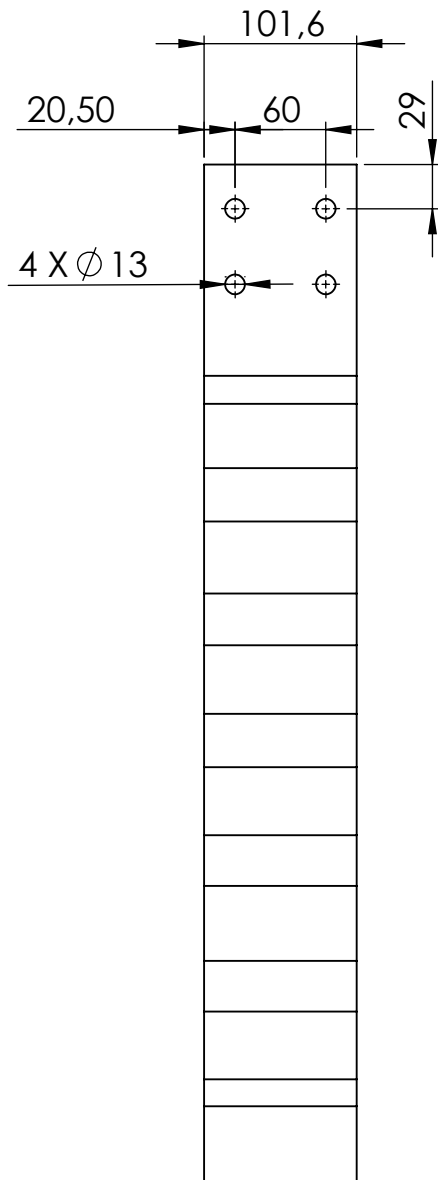


N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Chapa Plana		1
2	Torreta	PFC-TKP-02	-
3	Motorreductor	Motorreductor SEW FAF87DRN90L4	1
4	Brazo Giratorio	PFC-TKP-16	1
5	Buje superior	PFC-TKP-25	2
6	Cuchilla Plegada	PFC-TKP-06 - Cuchilla Plegada	4
7	Cuchilla	PFC-TKP-07 - Cuchilla	4
8	Buje Inferior	PFC-TKP-17	2
9	Arandela Inferior	PFC-TKP-18	2
10	Tapa Inferior	PF-TKP-19	2
11	Brazo Rastrillo	PFC-TKP-05	2
12	Rastrillo	PFC-TKP-20	1
13	Refuerzo Rastrillo	PFC-TKP-21	1
14	Tapa	PFC-TKP-22	2
15	Vinculo Eje	PFC-TKP-23	1
16	EJE	PFC-TKP-09	1
17	Portarodamiento	PFC-TKP-08	2
18	Rodamiento	Rodamiento SKF 31314/CL7ADF	2
19	Retén	Retén DBH KX 5654 Mz	3
20	Oring	Oring Parker 2-263	3
21	Porta Reten	PFC-TKP-24	1

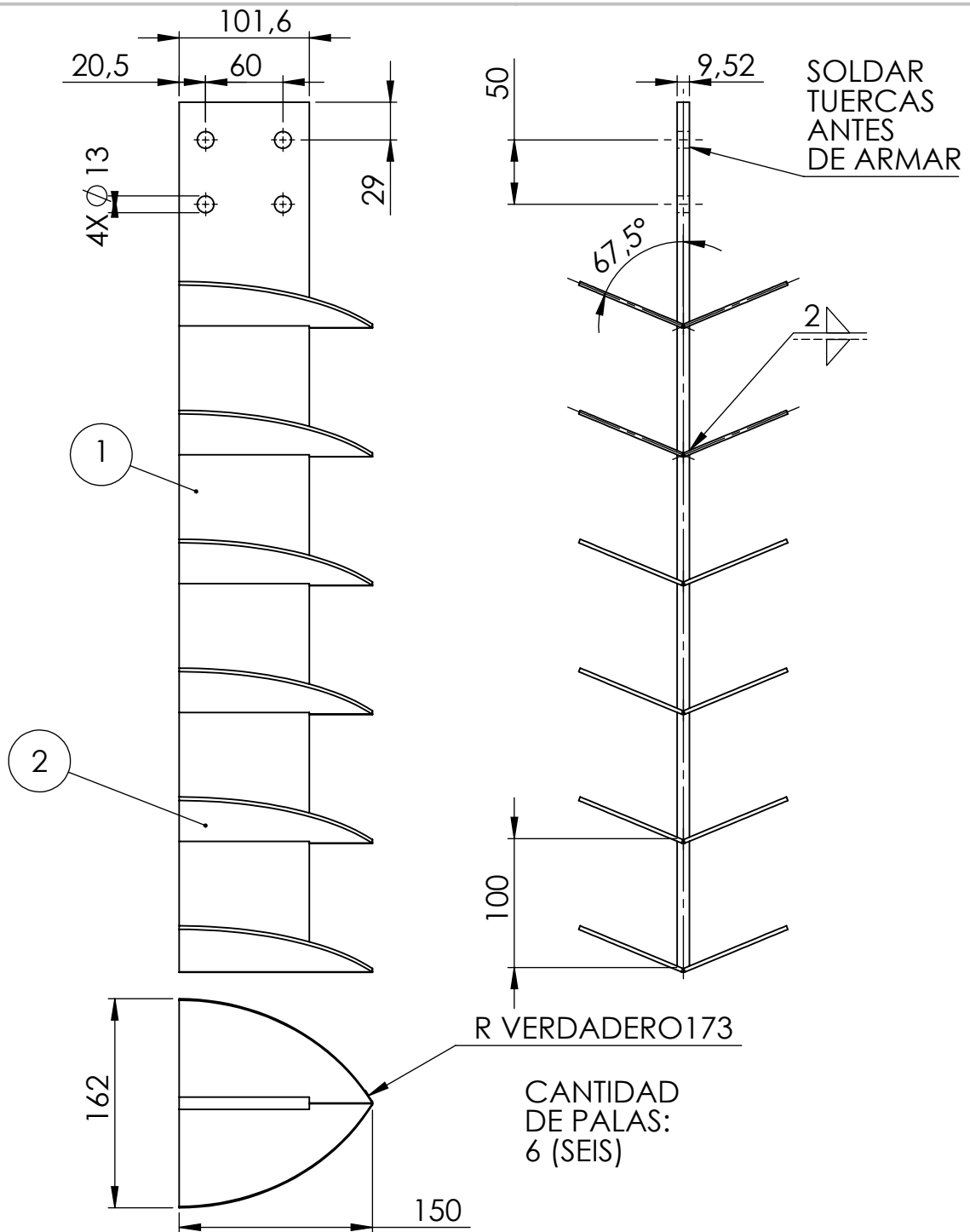
Tol grales	Proy	Fecha	Nombre	Cliente	UTN - FRSF
	Dib		Frutos, J		
	Rev				
	Apr				
	Esc				
1:20	Descripción				
	Conjunto agitación			Nº de Plano	PFC-TKP-AGI-00
Formato				Material	
A2					



Tol grales	Proy	Fecha	Nombre	Cliente UTN - FRSF	
	Dib		Frutos, J		
	Rev				
	Apr				
Esc 1:5	Denominación Brazo Rastrillo				
Form A4				Nº Plano PFC-TKP-05	
				Material AISI 304	



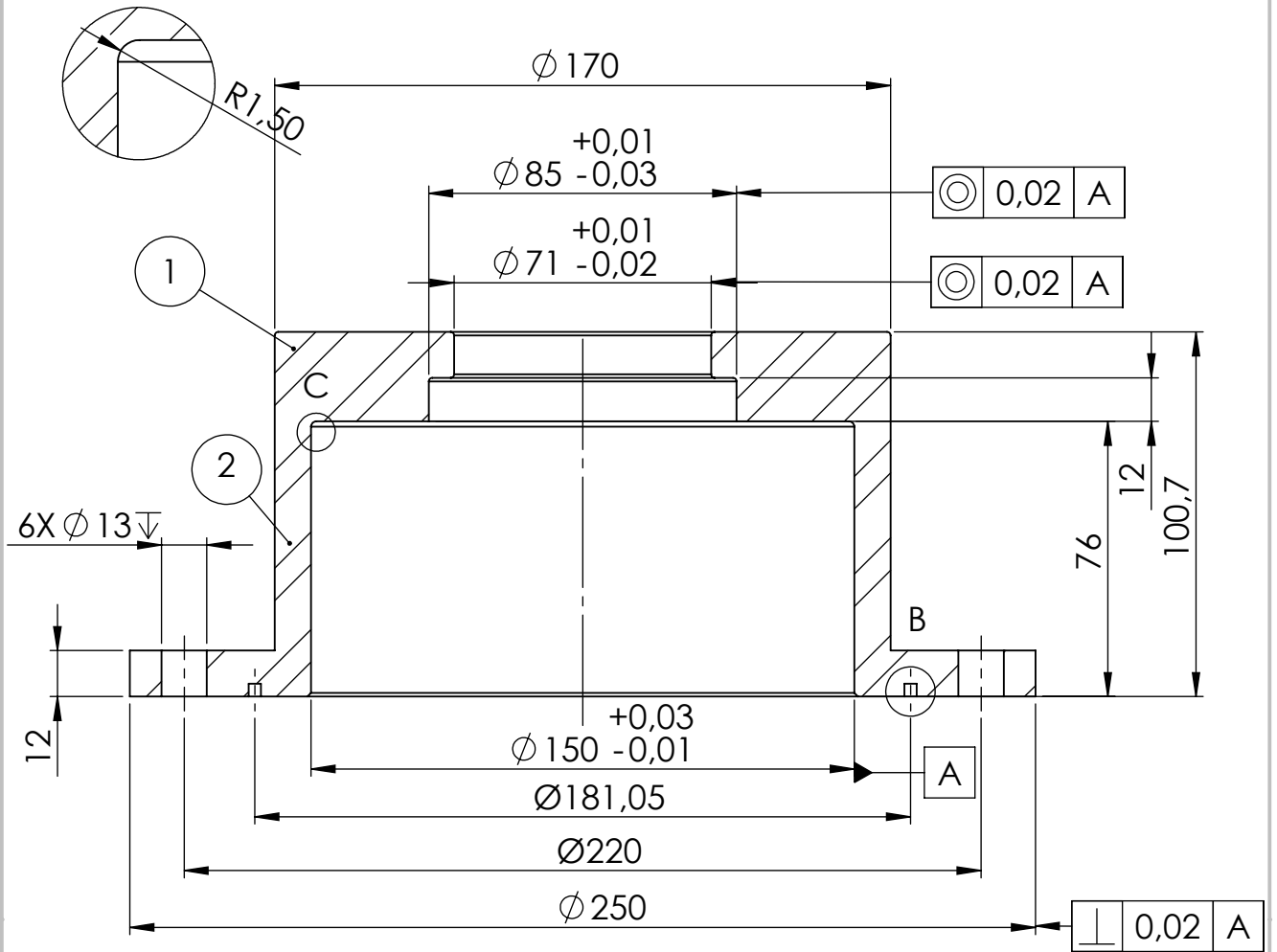
N.º DE ELEMENTO	MATERIAL	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Planchuela	Planchuela 101,6 esp 9,52 mm	1
Tol grales	Proy	Fecha	Nombre
	Dib		Frutos, J
	Rev		
	Apr		
	Esc 1:5	Denominación	
	Cuchilla Plegada		
		Nº Plano	PFC-TKP-06
		Material	AISI 304



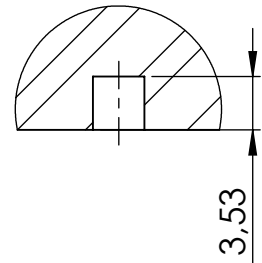
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Planchuela	Planchuela 101,6 esp 9,52	1
2	Chapa plana	Chapa plana esp 3mm	6

Tol grales	Proy	Fecha	Nombre	Cliente	
	Dib		Frutos, J		
	Rev				
	Apr				
	Esc	Denominación		Cuchilla	
	1:5				
				Nº Plano	PFC-TKP-07
	Form	A4		Material	AISI 304

DETALLE C
ESCALA 2 : 1

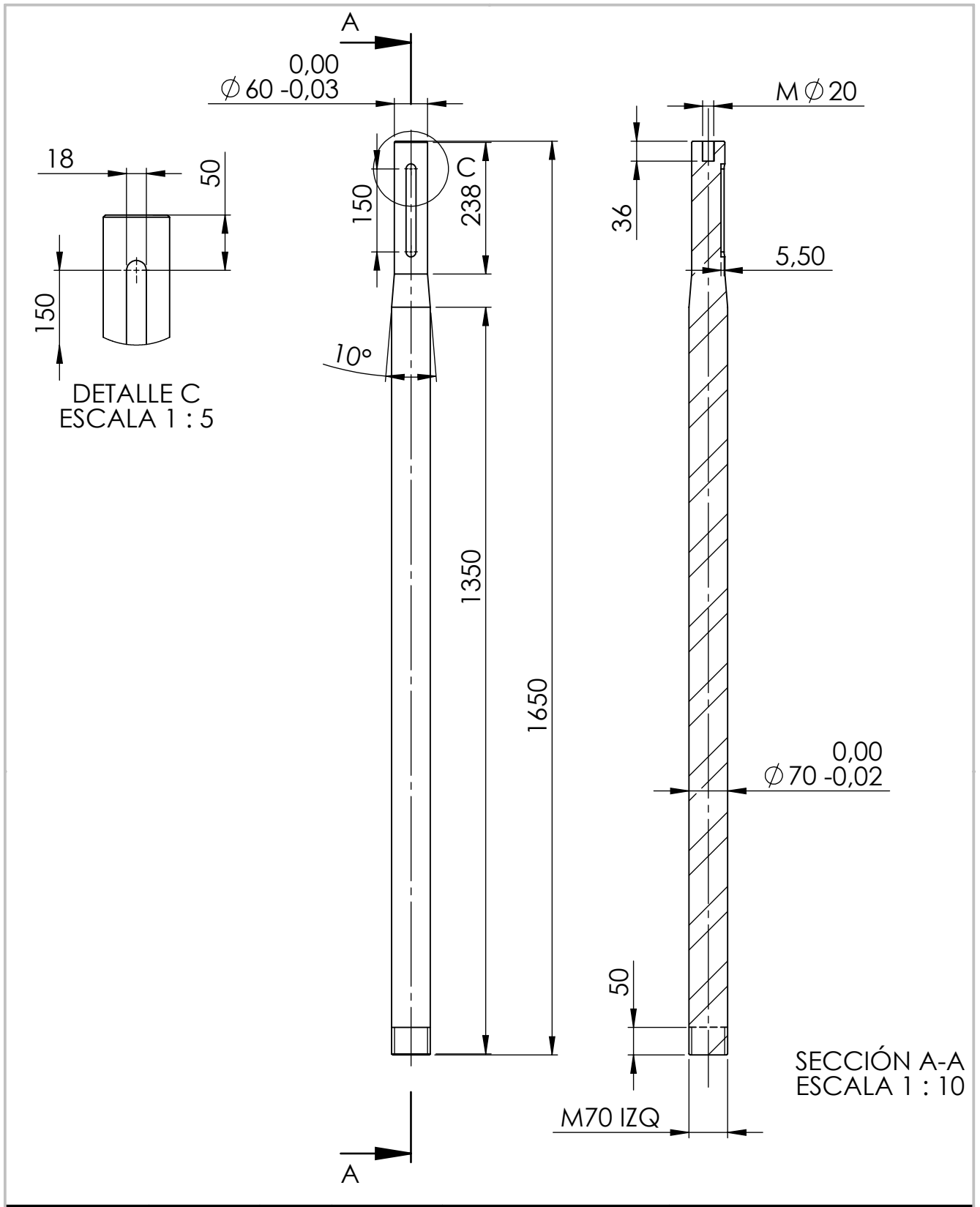


DETALLE B
ESCALA 2 : 1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Chapa Plana	Chapa Plana esp 12,7	1
2	Barra Redonda	Barra Redonda Ø170	1

Tol grales CHAFLANES NO ACOT 1X45°	Proy	Fecha	Nombre	Cliente UTN - FRSF
	Dib		Frutos, J	
	Rev			
	Apr			
RADIOS NO ACOT ADOS 1MM	Esc 1:2	Denominación		
		Porta-rodamiento		Nº Plano PFC - TKP - 08
	Form A4			Material AISI 304



Tol grales	Proy	Fecha	Nombre	Ciente	UTN - FRSF	
	Dib		Frutos, J			
	Rev					
	Apr					
Esc	Denominación				Eje	
1:10						
					Nº Plano	PFC-TKP-09
Form	A4				Material	AISI 304