



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un Molino para Refinar Licor de Cacao en una
Empresa Procesadora de Cacao”

PROYECTO DE GRADUACION

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Andrés Aurelio Arreaga Barzola.

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2014

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por darme la fortaleza cada día para seguir adelante a lo largo de mi carrera.

A mi madre y familia quienes fueron parte esencial en la culminación de esta carrera con su apoyo diario.

Al Ing. Ernesto Martínez, a quien agradezco por su colaboración y confianza depositada para realizar este proyecto

DEDICATORIA

A DIOS

A MI MADRE Y ABUELA

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

A LA ESPOL

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Kleber Barcia V., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Hugo Zabala V.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Andrés Aurelio Arreaga Barzola

RESUMEN

Este proyecto de Graduación fue basado en el diseño de un Molino de bolas vertical, el cual fue empleado para la refinación de licor de cacao, cuyo proceso de producción hasta alcanzar el licor de cacao consistió en varias etapas, inicialmente fue la recepción de la materia prima que en este caso fueron las habas de cacao, el secado, la limpieza de impurezas que dichas habas contenían, la siguiente etapa consistió en tostar las habas de cacao lo que facilitó la extracción de la cascara conocido como proceso de descascarado, luego se inició el proceso de molienda en el cual las habas de cacao fueron conducidas hasta un molino de discos en el que se las trituró hasta que se obtuvo una masa de alta viscosidad y un porcentaje muy bajo de finura, es decir existen sólidos en suspensión que fueron encontrados en la masa obtenida después del paso por el molino de discos.

El principio de funcionamiento de este molino consistió en el impacto de las bolas de acero inoxidable, las cuales giran a una determinada velocidad en el interior de un cuerpo cilíndrico denominado cuba de refinación, dicho giro es logrado por un eje que opera en posición vertical sobre el cual se encuentran dispuestos una serie de ejes de menor diámetro en una posición perpendicular a su eje de rotación. El eje en posición vertical se conecta al eje de un

motoreductor a través de un acople obteniendo de esta manera la velocidad a la cual son agitadas las bolas de acero.

El diseño del molino de refinación fue realizado bajo las condiciones de producción de 2500kg/h y adicional a esto el alto porcentaje de finura que se debió obtener al final del proceso de refinación, que dependió de la selección de bolas de acero inoxidable y de la cantidad de estas.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. ANTECEDENTES.....	2
1.1. Proceso de producción de pasta de cacao.....	5
1.2. Métodos actuales de refinación de cacao.....	12
1.3. Definición del problema.....	14
CAPÍTULO 2.	
2. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	16
2.1. Importar el molino.....	16
2.2. Comprar el molino.....	17
2.3. Diseñar el molino refinador.....	18

2.4. Modificar los molinos actuales de la empresa.....	19
2.5. Matriz de decisión.....	21

CAPÍTULO 3.

3. DISEÑO DEL MOLINO REFINADOR.....	24
3.1. Diseño de forma.....	24
3.2. Diseño de elementos mecánicos.....	29
3.3. Selección de bolas de acero.....	83
3.4. Diseño de sistema de enfriamiento.....	84
3.5. Selección de bomba de agua.....	100
3.6. Selección de Rodamientos.....	101
3.7. Selección de chumacera.....	103
3.8. Selección de acople mecánico.....	103
3.9. Selección del motor.....	113
3.10. Selección de bomba de pasta de cacao.....	119
3.11. Selección de elementos de control.....	121
3.12. Diseño de estructura del molino refinador.....	121

CAPÍTULO 4.

4. PROGRAMACION Y CONSTRUCCION.....	147
4.1. Elaboración de diagrama de Gantt.....	148

CAPÍTULO 5.

5. MATERIALES Y EQUIPOS.....	152
5.1. Materiales empleados en la construcción.....	152
5.2. Equipos utilizados para la manufactura.....	154
5.3. Equipos utilizados para la estructura.....	154
5.4. Costos de construcción del molino refinador.....	155

CAPÍTULO 6.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	158
--	-----

APÉNDICES**BIBLIOGRAFÍA**

ABREVIATURAS

σ_t	Esfuerzo Tangencial.
Kg/h	Kilogramos por hora.
m ²	Metros Cuadrados.
rpm	Revoluciones por minuto.
KW	Kilowatts.
U _e	Energía Cinética.
U _i	Energía Elástica.
Δ	Deformación.
m _b	Masa de la esfera.
r _b	Radio de la esfera.
V _b	Velocidad de la esfera.
D _{eje}	Diámetro del eje.
J _{macizas}	Momento Polar de Inercia.
σ_a	Esfuerzo Alternante.
F _a	Fuerza Alternante.
σ'_a	Esfuerzo Alternante de Von Misses.
S _e	Límite de Resistencia a la fatiga.
S _{ut}	Resistencia ultima a la tensión.
CNa	Cloisite Na
C20A	Cloisite 20 ^a
K _a	Factor de modificación de la condición superficial
K _b	Factor de modificación del tamaño.
K _c	Factor de modificación de carga.
K _d	Factor de modificación de la temperatura.
K _e	Factor de confiabilidad.
K _f	Factor de modificación de efectos varios.

SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
gr	Gramos
ρ	Densidad.
min	Minutos
m	Masa.
V_L	Volumen de Licor de Cacao.
H	Altura.
D	Diámetro.
S_y	Límite de Fluencia.
S_{UT}	Resistencia Última del Material.
σ	Esfuerzo de Flexión.
μ_{medio}	Viscosidad del medio.
τ	Esfuerzo de Cortante.
F	Fuerza.
Pa	Pascales.
η	Factor de Seguridad.
cm^3	Centímetros Cúbicos.
s	Segundos.
M	Momento Flexionante.
N	Newton.
mm	Milímetros.
l	Longitud.
V	Velocidad.
rpm	Revoluciones por minuto.
A	Área.
g	Gravedad.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1	Sistema de Transportación del cacao..... 11
Figura 3.1	Diseño de Forma del Molino..... 26
Figura 3.2	Estructura de la Cuba..... 27
Figura 3.3	Cuba del Molino..... 28
Figura 3.4	Eje Agitador..... 29
Figura 3.5	Vista en Corte de las Aspas del Ventilador..... 38
Figura 3.6	Fuerzas Actuantes sobre las Aspas..... 39
Figura 3.7	Forma del Eje..... 48
Figura 3.8	Determinación de Áreas usando Autocad..... 49
Figura 3.9	Relación del diámetro de la Cuba y el Eje..... 66
Figura 3.10	D.C.L de Aspas de Agitación..... 68
Figura 3.11	Diagrama de Fuerzas Cortantes sobre Aspas de Agitación..... 69
Figura 3.12	Diagrama de Momento Flexionante en Aspas de Agitación..... 69
Figura 3.13	Esfuerzo Efectivo de Von Misses..... 78
Figura 3.14	Análisis de Flujo por Método de Resistencias..... 90
Figura 3.15	Diseño de forma de la cuña y chavetero..... 109
Figura 3.16	Diseño de Forma del Molino Refinador..... 121
Figura 3.17	Distribución de cargas sobre la placa..... 123
Figura 3.18	Modelo Matemático de la placa de soporte..... 123
Figura 3.19	D.C.L de la placa de soporte..... 124
Figura 3.20	Diagrama de Momentos de la placa de soporte..... 125
Figura 3.21	D.C.L de la columna..... 131
Figura 3.22	Transmisibilidad de la Carga..... 132
Figura 3.23	D.C.L en el plano XZ..... 136
Figura 3.24	Fuerza de Corte sobre la Soldadura..... 141
Figura 3.25	Área de la Soldadura..... 142

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Parámetros físicos químicos y sensoriales del grano.....	5
Tabla 2	Característica de la Pasta de Cacao.....	15
Tabla 3	Matriz de Decisión.....	23
Tabla 4	Cálculo de la Fuerza Actuante.....	46
Tabla 5	Cálculo de la Fuerza Actuante (por fatiga).....	53
Tabla 6	Cálculo de Esfuerzos.....	55
Tabla 7	Factores de Concentración Geométricos.....	55
Tabla 8	Esfuerzos Reales.....	56
Tabla 9	Esfuerzos de Von Misses.....	59
Tabla 10	Factores multiplicativos para el cálculo del Límite de Resistencia a la fatiga en función de la resistencia ultima del material.....	63
Tabla 11	Factores de Seguridad en las diferentes Secciones.....	64
Tabla 12	Condiciones para establecer el factor de concentración de Esfuerzos.....	76
Tabla 13	Componentes del licor de Caco.....	89
Tabla 14	Propiedades del fluido.....	100
Tabla 15	Propiedades del Material de Aporte.....	145
Tabla 16	Características.....	146
Tabla 17	Fases del Molino Refinador.....	150
Tabla 18	Lista de Materiales.....	152
Tabla 19	Lista de Equipos para la manufactura.....	154
Tabla 20	Lista de Equipos para la Estructura.....	155
Tabla 21	Tabla de Costos de Materiales.....	156

ÍNDICE DE PLANOS

Ver en Apéndices

INTRODUCCIÓN

En la antigüedad el país se caracterizaba por vender materia prima a bajo costo para luego importar el producto ya manufacturado a un precio elevado, por lo cual se vio en la necesidad de crear fábricas para de esta manera abaratar costos y poder ser competitivo en el mercado extranjero.

Por tal razón en el presente proyecto se diseña un sistema de molino de refinación de licor de cacao, pero a diferencia de los molinos comunes, se plantea el diseño de un molino de bolas cuya eficiencia de molienda es mayor en comparación con otros.

Este tipo de molino por lo general se necesita en aquellas plantas que se dedican a la producción de manteca de cacao y polvo de cacao, como es el caso de la compañía procesadora de licor de cacao, surgiendo la necesidad de tener una mayor producción con una finura muy alta.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES

Según estudios realizados, el cacao, cuyo nombre científico es *Theobroma cacao*, de la familia de Sterculiaceae, es originaria de América del Sur, de la cuenca del río Orinoco y río Amazonas. Se extiende desde Brasil hasta México en el Continente Americano, en zonas tropicales y en el oeste de África [15].

El cacaoero es un árbol que necesita humedad y calor, crece entre los 6 y 10 m de altura. Estos árboles crecen a la sombra de otros más grandes como cocoteros y plataneros, pero no se desarrolla bien en tierras bajas de vapores cálidos. Su altura ideal es, más o menos, a 400 m sobre el nivel del mar. El terreno debe ser rico en nitrógeno y en potasio, clima húmedo, con una temperatura entre los 20°C y los 30°C. [15].

Sus pequeñas flores y frutos crecen de forma inusual, es decir directamente del tronco y de las ramas más antiguas. El fruto es una baya denominada mazorca, que tiene forma de calabacín alargado, se vuelve roja o amarillo púrpura cuyo peso aproximado es 450 gr. cuando madura (de 15 a 30cm de largo por 7 a 12cm de ancho). Un árbol comienza a dar frutos cuando tiene 4 ó 5 años. En un año, cuando madura, puede tener 6.000 flores pero sólo 20 maracas. A pesar de que sus frutos maduran durante todo el año, normalmente se realizan dos cosechas la principal empieza hacia el final de la estación lluviosa y continúa hasta el inicio de la estación seca, la intermedia al principio del siguiente periodo de lluvias y son necesarios de cinco a seis meses entre su fertilización y su recolección. [15].

La mazorca tiene una corteza rugosa de casi 4 cm de espesor. Está rellena de una pulpa rosada viscosa, dulce y comestible, que encierra de 30 a 50 granos largos blancos y carnosos acomodados en filas en el enrejado que forma esa pulpa. Los granos o habas del cacao tienen la forma de las judías: dos partes y un germen rodeados en una envoltura rica en tanino. Su sabor en bruto es muy amargo [15].

Características Físicoquímicas y Sensoriales.

Para las industrias procesadoras, el cacao de calidad es aquel que después de ser debidamente beneficiado, desarrolla plenamente el sabor y aroma característicos del chocolate al ser tostado y procesado. Además de esto, para las fábricas es también de importancia el tamaño del grano, el contenido de grasa y el porcentaje de cascarilla. Aunque estos factores están fuera del control del productor, en los cultivos ya establecidos, pueden ser definidos en el momento de seleccionar el material de propagación. Las industrias demandan almendras con pesos superiores a un gramo, contenidos de grasas del orden del 55% del peso del grano seco sin cascarilla, y ésta no debe superar el 12% del peso total del grano [15].

Las características organolépticas pueden ser mejoradas a través de un correcto proceso de beneficio, pues éste contribuye a generar los procesos físico-químicos encargados de originar los compuestos precursores del aroma y el sabor del chocolate, atributos sobresalientes en relación con la calidad de la materia prima. De aquí la gran importancia del buen beneficio del grano de cacao para que sea un producto más atractivo en el mercado. En la tabla 1, se muestra las características físico-químicas y sensoriales del grano de cacao utilizados por las industrias transformadoras en el país para su clasificación [15].

TABLA 1.
PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y SENSORIALES DEL
GRANO [15].

	Bajo	Normal	Alto
Porcentaje de Cascarilla	< 11	11 a 12	> 12
Tamaño del grano (g)	< 1.05	1.05 a 1.12	> 1.2
Porcentaje de Humedad	6 a 6.5	7 a 8	> 8
Porcentaje de Grasa	< 48	52	> 55
pH	< 5.0	5.0 a 5.5	> 5.5
Sabor	Acido	Propio del cacao	Amargo

1.1 Proceso de Producción de Pasta de Cacao

Para poder describir el proceso para la producción de la pasta de cacao se establecen las condiciones desde el momento en que llega la planta procesadora.

Recepción del Cacao:

El proceso de recepción de la materia prima, la cual en este caso es el cacao con cáscara se realiza o empieza con la compra de este a los proveedores, los cuales son los agricultores que se encargan del cultivo de cacao y también de obtener un producto cuya porcentaje de humedad será relativamente bajo, es decir que el producto para ser comprado deberá tener un contenido de humedad necesario de

acuerdo a los condiciones de la empresa, para su posterior procesamiento.

Una vez que la materia prima ha sido obtenida cumpliendo con las diversas condiciones, se establecen dos tipos de procesos, en los cuales el cacao puede ser almacenado o directamente insertado al proceso de producción.

Secado del Grano de Cacao:

Cuando la semilla de cacao ha sido adquirida, esta es introducida a una tolva la cual es llenada por medio de una elevador de cangilones, luego el cacao al salir de la tolva pasa a través de un transportador sin fin, en el cual se hace una pre-limpieza por medio de un flujo de vapor, el cacao es transportado por el equipo antes mencionado hasta un secador de tipo rotatorio, que se lo emplea para poder disminuir el porcentaje de humedad, a través de un contacto indirecto entre la fuente de calor y el cacao en semilla (fuente de calor es el gas licuado de petróleo combustionado por medio de una flama generada por un quemador).

Limpieza del Grano de Cacao:

Posteriormente al secado, el siguiente proceso es la limpieza de las semillas de cacao, para ello el cacao después de salir del secador de

tipo rotatorio es llevado por medio de un transportador sin fin hasta el equipo que se encarga de extraer cierto tipo de impurezas como lo son las piedras de cierto tamaño y peso.

El equipo con el que se inicia el proceso de la limpieza de las semillas de cacao se llama despiedradora, en la cual se separan principalmente aquellas piedras de cierto tamaño y peso, objetos metálicos, etc. Dicho equipo funciona gracias a la ayuda de dos motores que permiten la vibración de la despiedradora y también con un sistema de extracción de polvo que aspira el aire contenido en el interior de una de las cavidades de la despiedradora y lo conduce hasta un ciclón en el cual el aire es separado de las partículas de polvo.

El cacao o las semillas de cacao parcialmente limpias, son transportadas hasta el equipo cuya función principal es la de realizar la limpieza completa de las semillas de cacao, dicho equipo recibe el nombre de limpiadora provista de dos motores que hacen vibrar una de las partes del equipo llamada cámara de limpieza, la cual se encuentra conformada de una serie de tamices con perforaciones de diferentes formas y dimensiones, por medio de un sistema de aire, se separan las impurezas más pequeñas.

Tostado de Cacao:

El paso siguiente a la limpieza de la semilla de cacao es el tostado proceso en el cual, las semillas de cacao ingresan a un tostador por medio del cual se tosta el caco. En el interior del tostador las semillas son transportadas a través de una banda metálica la cual se desplaza con una velocidad muy lenta, el tiempo que transcurre desde que el cacao ingresa hasta que este sale del tostador es aproximadamente dos horas, tiempo necesario para que la semilla de cacao alcance una temperatura necesaria para la cocción. Para que las semillas de cacao logren alcanzar dicha temperatura de cocción, se hace fluir vapor a través de una cámara dentro del interior del tostador, lo que quiere decir que las semillas de cacao y el vapor se encuentran en un contacto indirecto ya que se encuentran separados por las paredes metálicas de la cámara interna del tostador.

En esta fase del proceso se logra, no solo eliminar la humedad del grano, sino también el desarrollo máximo del aroma con los controles de temperatura y tiempo adecuados. Esta fase permite también, eliminar parte de los ácidos volátiles no deseables, especialmente ácido acético, lo que posibilita ajustar también el sabor del producto final.

El orden de las temperaturas son variables de acuerdo al producto que se desee obtener, sin embargo, se puede generalizar entre 120°C a 145°C para las temperaturas y entre 0.8 a 1.5% para la humedad final del Cacao tostado [15].

Descascarado de Cacao:

Continuando con el proceso de producción de cacao, el proceso posterior al tostado de las semillas de cacao es el descascarado, en el cual se procede a retirar la cáscara de una forma total o parcial, es decir la cantidad de semillas trituradas y peladas pueden contener cierto porcentaje de cascarilla, dicha separación se lo hace de una manera sencilla ya que las semillas de cacao al salir del tostador se encuentran en un estado cuya dureza es alta lo cual se puede decir que son frágiles, por lo que al pasar por la una de las partes de la descascaradora donde se encuentran los trituradores de forma hexagonal estas son quebradas o trituradas fácilmente.

Luego de los trituradores hexagonales, pasa a una pequeña cámara dentro de la cual es esparcida para caer a una serie de escalones, al momento de la caída hacia los escalones caen las semillas trituradas llamadas "nibs" con la cascarilla y con la ayuda de un sistema de extracción de aire se absorbe dicha cascarilla, separando

parcialmente dicha cascarilla del nibs, el cual es conducido por medio de bombeo hasta una tolva de alimentación para posteriormente ser molido.

Los residuos de cascarilla no deben ser superiores al 1.5%, se debe tener en cuenta que la cascarilla separada es conducida hasta un sistema en el que se la coloca en sacos ya que esta representa un subproducto del procesamiento de cacao.

Molienda de Cacao:

Cuando el cacao ha sido triturado y separado de su cáscara se lo denomina nibs, y este se encuentra listo para moler, los nibs llegan hasta una tolva que dosifica la cantidad de los mismos que debe entrar al molino, dicho molino es denominado pre-molino o molino turbo, que está provisto de un eje y un rotor en el cual se alojan un número de cuchillas, también posee un criba con un número de pequeñas cuchillas que se encuentran dispuesta en el sentido contrario a la rotación de la cuchillas colocadas en el rotor.

Los nibs de cacao entran de forma radial al rotor que se encuentra girando a determinadas rpm, dirigiéndose hasta la parte externa del rotor y saliendo en forma tangencial, pero siendo conducidos por las cuchillas que hacen que impacten con las cuchillas dispuestas en el

otro sentido ocurriendo de esta forma la molienda de las semillas de cacao. En este proceso el material obtenido tiene una forma de pasta viscosa esto se debe al contenido de grasa que posee. Luego es descargado hasta un pequeño agitador colocado en forma horizontal, para así de esta forma hacer que dicha pasta se torne menos viscosa y pueda ser extraída del agitador por medio de una bomba de engranes, además de esto es enviada hacia los tanques con agitadores en posición vertical y que poseen motores de mayor capacidad, dichos tanques están cubiertos por una plancha metálica, denominándose a dicha cubierta chaqueta por la cual se hace circular vapor o agua caliente que hace que la temperatura de la pasta o licor de cacao cambie.

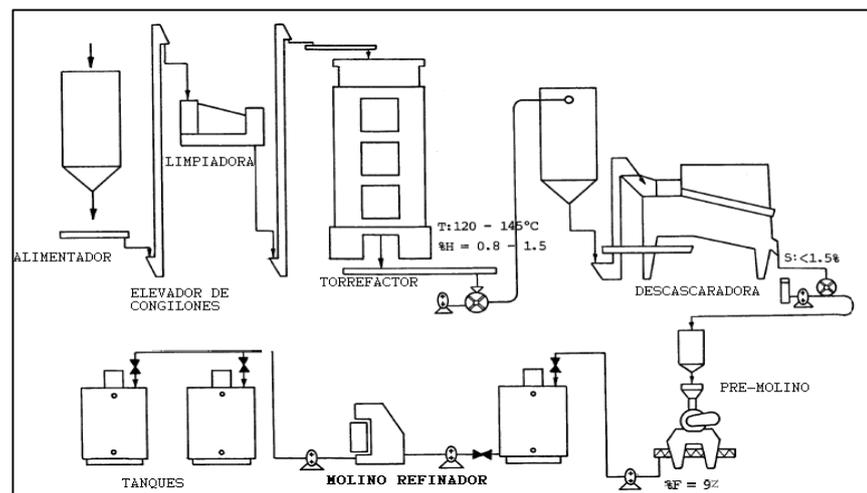


FIGURA 2.1 SISTEMA DE TRANSPORTACIÓN DEL CACAO [15].

Después de que el licor o pasta de cacao obtiene una temperatura determinada en los tanques con agitadores, esta continúa con el proceso de molienda, el cual consiste en pasar dicha pasta por los diferentes molinos de refinación los cuales son denominados molinos de bolas en los cuales la cantidad de sólidos en suspensión del licor de cacao es muy baja, y que además se necesita para obtener los diferentes subproductos del cacao como lo son la manteca y el polvo de cacao.

1.2. Métodos Actuales de Refinación de Cacao.

El proceso de la molienda del licor de cacao es aquel que consiste en la rotura de células duras de los nibs provenientes del proceso inicial de la molienda, esta rotura de células genera una liberación de manteca de cacao, la cual representa del 50 al 52% del mismo. Mediante el proceso de molienda se desea obtener un grado de finura de 10 a 20 μ , para así de esta manera poder liberar la mayor cantidad de grasa que sea posible. Durante esta operación de rotura de células se genera calor debido al impacto producido por las bolas de acero inoxidable de la cual parte de este calor funde la manteca de cacao y por tanto se necesita que el sistema de molienda sea enfriado por agua o aire y no debe de superar una temperatura de 70°C.

La humedad contenida en los granos, la cual no debe superar normalmente un 2%, es de fundamental importancia para la máquina. Existen diversos tipos de máquinas para molienda, pero siempre es necesario una pre-molienda del Cacao, de tal modo que facilite la refinación en la segunda fase.

Refinadora de Tres Rodillos: Un equipo cíclico de molienda es la refinadora de tres cilindros con su pre-molino.

Para alcanzar el mejor rendimiento de una refinadora a tres cilindros, es necesario obtener previamente un tamaño de partícula de alrededor de 300 μ . Los pre-molinos usados son de discos con pines contrapuestos e intercalados o de placas rotativas y son enfriados por aire o por agua. El producto cae luego a los rodillos que giran contrariamente y que en la actualidad, tienen el comando de regulación de la presión entre sí, mediante un sistema hidrostático, hidráulico o hidrodinámico. Con tal equipo, se obtiene una pasta de Cacao, cuyas partículas tienen dimensiones de 20 μ hasta valores máximos de 80 a 85 μ y tiene la ventaja de que puede trabajar con una humedad del producto de hasta un 4%, condición procedente del tostado del producto para no perder el particular aroma. La viscosidad no tiene tanta importancia para este tipo de molino.

1.3 Definición del Problema

De acuerdo con los métodos actuales empleados para la refinación de la pasta o licor de cacao, los cuales generan una producción de licor refinado relativamente baja aparte de que la finura final del licor de cacao no se encuentra dentro de los estándares establecidos, surge la necesidad de diseñar una molino de bolas vertical, con el fin de poder aumentar dicha capacidad de producción y además de poder lograr obtener una finura final del licor de cacao que se encuentre dentro de los estándares establecidos.

Dicha necesidad también se genera debido a que la gran parte del licor de cacao producido, es hecho con el fin de ser enviado hacia países en el exterior, por lo cual se debe cumplir con la demanda generada, tratándose de un producto de exportación este competirá con los diferentes productos del mercado exterior y para ello deberá contener diferentes características que logren cumplir con las exigencias de las normas o condiciones de calidad establecidas.

El Ecuador depende de la exportación de materias primas a los países industrializados. Los países industrializados compran las materias primas, las transforman y después las exportan nuevamente al país.

Pero mientras los precios de las materias primas bajan, los precios de los productos elaborados aumentan y esto genera desigualdades en el intercambio comercial.

Para industrializar el cacao se necesita la compra de maquinaria que tiene un alto costo. El cacao puede procesarse hasta diferentes niveles, para posteriormente comercializarlo como chocolate. Del cacao se puede obtener licor de cacao, que es la materia prima para la elaboración de chocolate, la manteca de cacao y polvo de cacao.

Pasta de Cocola.

TABLA 2.
CARACTERÍSTICA DE LA PASTA DE CACAO [15].

Características	Especificaciones
Color	Reddish Brown
Taste	Normal Cocoa Smell
Aspect	Solid
Moisture	2% MAX
Fat Content	52%-54%
Ash	4% MAX
Shell	2% MAX
Ph Valué	5.0-5.8
Total Plate Count	10000cfu/g MAX
Coliform	10MPN/100g MAX
Yeast Count	100cfu/g MAX
Mould Count	50cfu/g MAX
Salmonella	Negative
Pathogenic Bacteria	Negative

CAPÍTULO 2.

2. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

En esta sección, se planteará varios escenarios tales como: Importación del Molino, Compra del Molino, Diseño del Molino y Modificación de un Molino existente y mediante una matriz de decisión seleccionar cuál de estos escenarios planteados es el más factible a considerar.

2.1 Importar el Molino.

La importación de un molino representa una inversión cuyo valor o monto dependerá de ciertos factores como lo es principalmente el valor del precio del molino refinador, lo cual conlleva a que dicho valor dependa de la marca que se desee adquirir, la cual tiene una cierta procedencia, es decir en qué lugar se fabrica dicho molino y a eso se le suma los impuestos que se deberá pagar por el ingreso del molino hacia el país. También se relaciona el hecho de que el molino se lo entregue después de un periodo de tiempo esto dependiendo de la rapidez con que se realice la manufactura del molino y adicional a eso el tiempo de viaje que debe de transcurrir hasta llegar a su destino.

La importación del molino deberá ser analizada detenidamente ya que al tratarse de un equipo fabricado fuera del país, el mantenimiento y demás reparaciones posteriores se deberán de realizar con repuestos que se encuentren dentro del medio, para de esta manera poder solucionar rápidamente cualquier situación de emergencia que se llegará a presentarse.

2.2 Comprar el Molino.

En este caso a diferencia de la importación, la compra involucra un molino que se adapte a las necesidades requeridas, el cual debe encontrarse dentro del país. Como se mencionó, el factor principal para la toma de decisión de comprar el molino será el valor que tenga, para ello se debe de comparar el valor que involucra comprar versus el valor que involucra diseñarlo y construirlo en el país.

Esta Selección depende de la existencia de dicho equipo en el país.

2.3 Diseñar el Molino Refinador

El diseño de un molino de bolas vertical mejoraría la eficiencia del proceso de producción de pasta o licor de cacao en comparación con los molinos existentes, además de reducir costos en el mantenimiento del mismo, para ello se deberá tener en cuenta el parámetro fundamental que es la finura del licor de cacao lo cual se ve relacionado con el diámetro y la cantidad de bolas de acero que deberán ser colocadas para cumplir con dicho objetivo.

Si se compara el método de molienda de los demás molinos que se emplean para la refinación del licor de cacao y los valores de la finura obtenida al final del proceso de refinación, el molino de bolas vertical es aquel que permite obtener un porcentaje de finura más elevado que los demás.

La producción de cacao en Ecuador está dirigida principalmente a su exportación en grano. Solo una quinta parte de la producción total se dirigió a la industria nacional para la elaboración de procesados de cacao y chocolate, productos que en su mayoría son comercializados en el mercado local.

El escaso nivel de procesamiento en el Ecuador se debe a que históricamente la exportación de cacao en grano ha sido considerada la actividad más atractiva. Para incentivar la industrialización de cacao a nivel interno se debe dar a conocer que los rendimientos son mayores cuando se agrega valor al producto.

Actualmente en el país no existen industrias dedicadas específicamente a la construcción de equipos para la molienda del cacao en grano o para la refinación del licor de cacao. En general la mayor oferta que se tiene de este tipo de equipos es de procedencia extranjera, por lo que la idea de fabricación del molino refinador en el país sería una gran iniciativa para el desarrollo de este tipo de equipos para molienda.

2.4 Modificar los Molinos Actuales de la Empresa.

Si bien es cierto con los sistemas de molienda que poseen los molinos actuales se han conseguido buenos resultados tanto en la capacidad de producción como en la calidad del producto obtenido, se plantea la idea de mejorar dichos molinos con el fin principal de obtener una mayor producción de licor de cacao y un porcentaje de finura elevado, esta modificación depende de los parámetros bajo los cuales fueron diseñados dichos molinos.

El mejorar el sistema de molienda de los molinos actuales en la planta procesadora es una idea que se planteó en primera instancia, pero el inconveniente de esta idea es la capacidad para la cual fueron diseñados dichos molinos y además de eso la complejidad que involucra cambiar dicho sistema de molienda. Esto refiriéndose al cambio en las dimensiones de ciertos elementos que conforman los molinos actuales lo cual conlleva a una toma de tiempo para la manufactura de los nuevos elementos y además de eso el costo que representan los materiales para dicha manufactura.

Los parámetros fundamentales que limitan el desarrollo de esta idea son el tiempo y el costo que representaría la modificación de los molinos actuales, es por esta razón que los molinos actuales se los modificará luego de que esté construido el nuevo molino de bolas verticales, comparándose la capacidad de producción y la finura que se logre obtener luego del proceso de molienda en dicho molino.

2.5 Matriz de Decisión.

Al realizar la selección de la alternativa adecuada, se ha tomado en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de las opciones de solución planteadas anteriormente.

Parámetros Considerados.

Costos: Se debe realizar una evaluación del costo de los materiales, costo de los procesos de fabricación, costo del diseño, costo del número de elementos que conformarán el molino a ser diseñado. Una mayor valoración indica que el equipo tiene menor costo en general.

Adiestramiento de Personal: Es importante saber el manejo del equipo, deberá de tenerse en consideración que el manejo del equipo debe ser lo más sencillo posible, incluyendo dentro de este adiestramiento la inducción para el mantenimiento del mismo.

Facilidad de Montaje: De acuerdo a las dimensiones bajo las cuales fue construido el equipo, este deberá ser capaz de manipularse de una forma apropiada y segura para su montaje de tal manera que se logre posicionar en su sitio de trabajo sin mayor problema.

Facilidad de Repuestos: Se debe de considerar el hecho de que el equipo para la refinación del licor de cacao estará operativo durante

varias horas lo cual implica que cada cierto periodo de tiempo este deberá ser programado para realizar un mantenimiento, lo cual implica el cambio de ciertos elementos mecánicos, por lo que será necesario tener a disposición este tipo de elementos mecánicos necesarios para su correcto funcionamiento.

Tiempo de Fabricación e Instalación: Debido a la gran demanda de producción que se genera en el país, la fabricación e instalación de este equipo se deberá realizar lo más rápido posible y así lograr satisfacer dicha demanda.

Vida Útil: Este parámetro es de gran consideración ya que dependiendo de la valoración que se le dé al equipo este tendrá una mayor vida útil, esto dependiendo de él mantenimiento y cuidado adecuado que se le practique al equipo.

Porcentaje de Finura Obtenida: El producto final obtenido debe cumplir con las especificaciones de óptima calidad, esto debido a que es un producto de exportación deberá de competir con productos similares en el extranjero.

TABLA 3
MATRIZ DE DECISIÓN

MATRIZ DE DECISIÓN				
Parámetros	Ideal	Alternativas		
		Importar o Comprar	Modificación de Molinos Actuales	Diseño de Molino
COSTOS	10/10	8	6	9
ADiestRAMIENTO DE PERSONAL	7/7	4	5	6
FACILIDAD DE MONTAJE	7/7	6	5	7
FACILIDAD DE RESPUESTOS	8/8	5	7	8
TIEMPO DE FABRICACION E INSTALACION	8/8	7	4	8
VIDA UTIL	9/9	7	5	8
PORCENTAJE DE FINURA OBTENIDA	9/9	7	6	9
	58	44	38	55

Elaborado por Andrés Arreaga.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DEL MOLINO REFINADOR

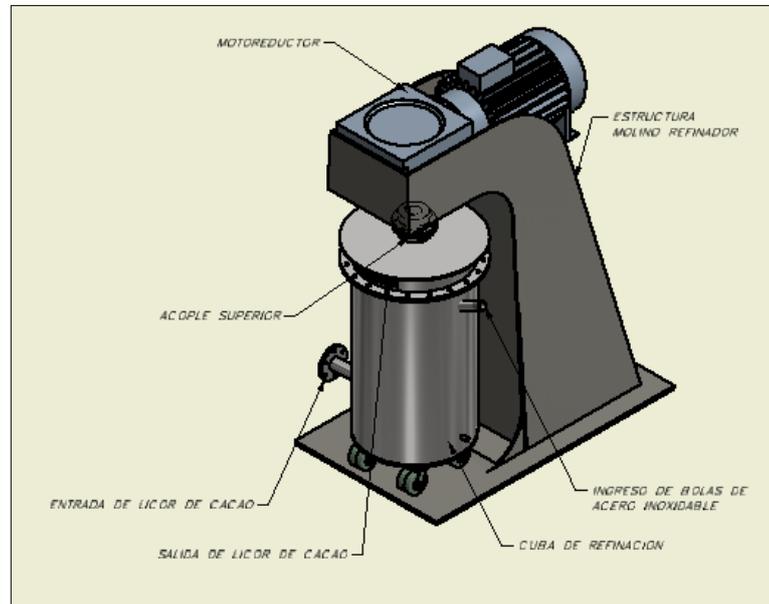
3.1 Diseño De Forma

En este capítulo, se presenta el diseño de forma del molino refinador de manera general, el cual estará compuesto por ciertos componentes mecánicos, eléctricos, los cuales serán descritos posteriormente.

DISEÑO DE FORMA DEL MOLINO

La figura N° 3-1 muestra el diseño de forma del molino el cual estará compuesto de un moto-reductor, el sistema de molienda que se lo denomina cuba de refinación una estructura la cual servirá para soportar al moto-reductor y una base sobre la cual se asentará todo el molino.

La pasta de cacao ingresa a un recipiente de molienda fina denominada cuba de refinación por la parte inferior de esta a través de una bomba. En el interior del recipiente se encuentran los cuerpos molturadores denominados bolas de acero inoxidable, las cuales se las introduce por la parte superior en la cual hay una tubería inclinada y cuya función es la molienda fina de las partículas en suspensión contenidas en la pasta de cacao, dicha molienda se genera a partir de la agitación constante de los cuerpos molturadores por medio de un eje vertical con aspas distribuidas de manera uniforme a lo largo del mismo, las cuales al tener contacto con los cuerpos molturadores se produce la agitación necesaria para la molienda, la pasta de cacao es transportada a lo largo del recipiente de molienda hasta la parte superior del mismo donde es obtenido el licor de cacao. Además el molino refinador de licor de cacao posee un sistema de enfriamiento el cual consistirá en un cilindro, el cual recubrirá por la parte externa a sistema de molienda formando de esta manera un anulo a través del cual circulará agua fría a una determinada temperatura.

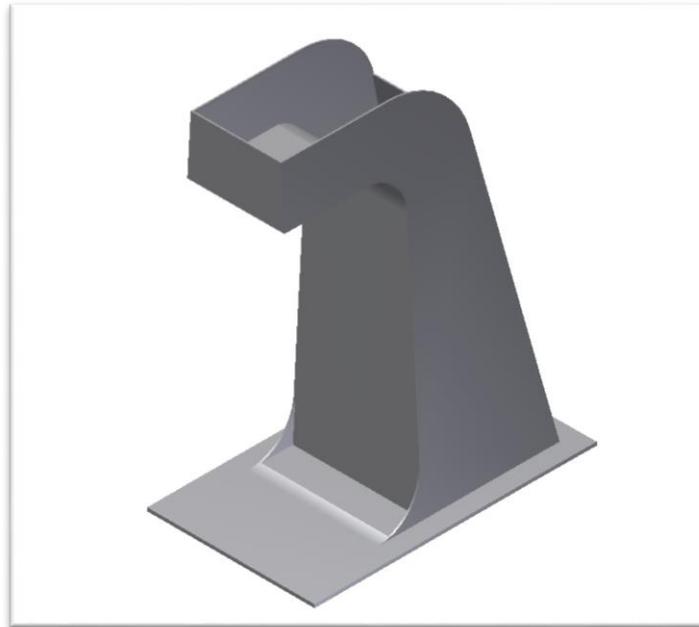


Elaborador por: Andrés Arreaga

FIGURA 3.1 DISEÑO DE FORMA DEL MOLINO.

DISEÑO DE FORMA DE LA ESTRUCTURA DEL MOLINO

La figura 3.2 presenta la forma de la estructura del molino la cual deberá soportar en su parte superior el peso del moto-reductor. Dicha estructura estará formada de un acero estructural A36 y estará dimensionada de acuerdo a la carga que presentará el moto-reductor y además estará relacionada con la dimensión de la cuba de refinación.



Elaborador por: Andrés Arreaga

FIGURA 3.2 ESTRUCTURA DE LA CUBA.

DISEÑO DE FORMA DE SISTEMA DE REFINACIÓN

El sistema de refinación así denominado está conformado por varios componentes principalmente por un tanque cilíndrico (cuba de refinación) el cual contiene cuerpos molturadores (bolas de acero inoxidable) y el eje agitador que es aquel que transmite el movimiento de rotación hacia los cuerpos molturadores, también está constituido por un sistema de retención de bolas el cual tiene la función de evitar que las bolas de acero inoxidable salgan del tanque cilíndrico.

DISEÑO DE FORMA DE LA CUBA DEL MOLINO

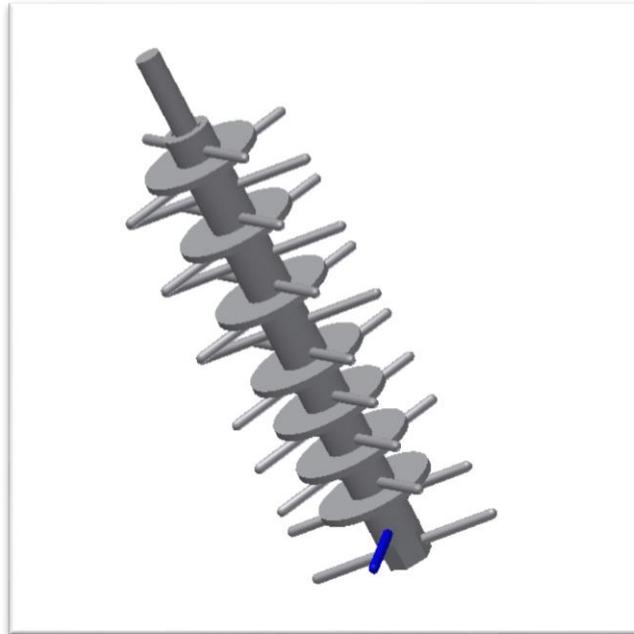


Elaborador por: Andrés Arreaga

FIGURA 3.3 CUBA DEL MOLINO.

DISEÑO DE FORMA EJE AGITADOR

La figura 3.4 se refiere al eje agitador que es aquel recibe y movimiento de rotación del motoreductor y lo transmite hacia los cuerpos molturadores, esto a través de las aspas que se encuentran dispuestas a lo largo de su longitud, además de estas aspas se encuentran colocados los discos que ayudan en la molienda y refinación del licor de cacao.



Elaborador por: Andrés Arreaga

FIGURA 3.4 EJE AGITADOR.

3.2 Diseño de Elementos Mecánicos

DISEÑO DE MOLINO REFINADOR

Con el diseño de forma previamente establecido, se seleccionará el tipo de material del cual va a estar conformado y además de eso, se basará en el tipo de servicio y la capacidad requerida.

Capacidad de Producción

De acuerdo a los requerimientos de la empresa se requiere una capacidad de producción de 2500 Kg/hora.

De acuerdo a información acerca de molinos de tipo industrial para una capacidad de producción de 2000Kg/h se necesita un recipiente de molienda de aproximadamente 350 litros [9]. Para lo cual se empleará una regla de tres para determinar la capacidad del recipiente para una capacidad de 2500Kg/hora.

2000 Kg/hora → 350 Litros

2500 Kg/hora → X Litros

$$X = \frac{2500 \frac{\text{Kg}}{\text{hora}} \times 350 \text{ litros}}{2000 \frac{\text{Kg}}{\text{hora}}} = 437,5 \text{ Litros}$$

Pero para este caso se empleará un recipiente de 500 litros.

Con las propiedades del licor de cacao establecidas en la tabla1 del Capítulo 1, como es la densidad del licor de cacao la cual es 1.08 kg/litros.

$$\rho = \frac{m}{V_L} \quad [1] \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Dónde:

ρ : Densidad del licor del cacao en [Kg/lts].

m : Masa del licor de cacao por cada hora de operación en [Kg/hora].

V_L : Volumen del licor de cacao en [Lts].

Usando la ecuación 3.1, y despejando el volumen, se obtiene:

$$\rho = \frac{m}{V_L}$$

$$\Rightarrow V_L = \frac{m}{\rho} = V_L = \frac{2500\text{kg/hora}}{1.08\text{kg/litros}} = 2314.8148\text{litros / hora}$$

$$2314.814\text{litros / hora} = 2.3148\text{m}^3 / \text{hora}$$

Con este valor de volumen se debe obtener un reservorio que pueda contener dicha cantidad de volumen de licor de cacao, para ello se establece un cilindro con ciertas dimensiones, asumiendo que:

$$H = 2D \quad \textbf{Ecuación 3.2}$$

Dónde:

H: Altura del cilindro en [m].

D: Diámetro del cilindro [m].

$$\text{Volumen} = \frac{\pi * D^2}{4} * H \quad \textbf{[2] Ecuación 3.3}$$

Dónde:

V: Volumen del cilindro en [m^3].

D: Diámetro del cilindro en [m].

H: Altura en [m].

Utilizando la ecuación 3.3 y 3.2, despejando el diámetro se obtiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{2*V}{\pi}}$$

$$\Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{2*2.3148}{\pi}}$$

$$D = 1.1379m$$

Reemplazando el valor obtenido del diámetro en la ecuación 3.2, se obtiene:

$$H = 2D$$

$$H = 2*(1.1379m)$$

$$H = 2.2758m$$

Con los valores obtenidos se debería tener un recipiente con un diámetro de 1 metro y una altura de 2 m, el hacer esto involucra un cilindro de considerable dimensiones. Para ello se establece el diseño de un cilindro de diámetro igual a 700mm y una altura de 1300 mm. ya que por consideraciones de manufactura se empleará una plancha de con las dimensiones necesarias para obtener el recipiente de molienda y el sistema de refrigeración, lo cual facilitará el corte el tipo de unión de dichos componentes.

Al tratarse de un producto para alimentación, el material recomendado es un acero inoxidable AISI 304, el cual presenta

ciertas propiedades mecánicas y además es considerado un acero de grado alimenticio.

DISEÑO DE LA CUBA O RECIPIENTE DE MOLIENDA.

Para realizar el diseño completo del cilindro se establece el modelo matemático como si se tratara de un cilindro de pared delgada.

Propiedades del Acero AISI 304 [1].

$$\left\{ \begin{array}{l} S_y = 276 \text{ Mpa (Limite de Fluencia del material).} \\ S_{UT} = 568 \text{ Mpa (Resistencia Ultima del material).} \end{array} \right.$$

La ecuación que rige para el esfuerzo tangencial de un cilindro de pared delgada es:

$$\sigma_t = \frac{p * D}{2t} \quad [1] \qquad \text{Ecuación 3.4}$$

Dónde:

σ_t : Esfuerzo Tangencial en [Pa].

p: Presión interna en el cilindro en [Pa].

D: Diámetro del cilindro en [m].

t: Espesor de las paredes del cilindro en [m].

Se necesita obtener el valor de la presión a la cual estará sometido el cilindro de acuerdo a la cantidad de licor de cacao que estará a un cierto nivel en el cilindro, que para este diseño será de 1000mm.

$$p = \rho * g * h \quad [1] \qquad \textbf{Ecuación 3.5}$$

Dónde:

p: Presión interna en el cilindro en [Pa].

ρ : Densidad del licor de cacao en [Kg/m³].

g: Gravedad sobre la tierra en [m/s²].

h: Altura del fluido en [m].

Utilizando la ecuación 3.5 se tiene:

$$p = \rho * g * h$$

$$p = 1080 \text{kg/m}^3 * 9.8 \text{m/seg}^2 * 1 \text{m}$$

$$p = 10594.8 \text{N/m}^2$$

Debido a que se producirá un desgaste cuando las bolas de acero entren en contacto con la pared interna del cilindro se selecciona un espesor de pared de 10 mm para poder soportar la presión ejercida por la cantidad de bolas de acero colocadas en su interior.

Utilizando la ecuación 3.4 se tiene [1]:

$$\sigma_t = \frac{p * D}{2t}$$

$$\sigma_t = \frac{10594.8 * 0.700}{2 * (0,010)}$$

$$\sigma_t = 370,8 \text{ KPa}$$

→ $S_y > \sigma_t$ (Diseño Conservador).

Una vez conocida las dimensiones de la cuba (diámetro y altura), se puede tener una aproximación de las dimensiones que tendrá la estructura del molino, estableciendo así el diseño de forma previa.

DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE MOLIENDA.

Los diferentes componentes que comprenden el sistema de molienda son:

DISEÑO DEL EJE DE AGITACION.

Para tener una aproximación de las dimensiones del eje, se debe conocer la potencia que recibirá por parte del moto-reductor y el valor de la velocidad a la cual deberá rotar.

De la guía de molinos de bolas industriales se obtiene la información respecto al proceso de refinación como la velocidad a la cual debe de ser agitado el licor de cacao, siendo dicha velocidad de 171 rpm [16].

La guía de molinos recomienda una potencia de motor de 75 KW para las condiciones requeridas como lo es la capacidad de la cuba, lo que se verifica al realizar los cálculos pertinentes como se puede observar en la sección 3.9 de este proyecto.

Una vez calculada la potencia requerida se procederá con el cálculo del eje refinador, inicialmente a través de la siguiente ecuación.

$$P = T \cdot \omega \quad [1] \quad \textbf{Ecuación 3.6}$$

Dónde:

P: Potencia del motor en [W].

T: Torque en el eje en [N-m].

ω : Velocidad de rotación en el agitador en [rad/s].

Con la ecuación 3.6, se obtiene el valor del torque que deberá ser entregado al eje del molino y que a su vez deberá resistir.

Características del Motor:

Potencia: 75KW.

Velocidad de Rotación: 171 Rpm.

Utilizando la ecuación 3.6 se tiene:

$$P = T * \omega$$

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{75000 \text{ Watts}}{17.90 \text{ rad/s}}$$

$$T = 54189.944 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Puesto que se trata de un eje macizo, se debe calcular el diámetro del eje necesario para poder resistir el esfuerzo de torsión que se generará debido al torque proporcionado por el moto-reductor.

La ecuación que establece la resistencia a la torsión para un eje macizo es [1]:

$$\tau = \frac{16 * T}{\pi * D_E^3} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Dónde:

τ : Esfuerzo de Torsión en [Pa].

T: Torque en el eje en [N/m].

D_E : Diámetro del eje en [m].

El material del cual estará fabricado el eje es un acero AISI 304, cuyo límite de fluencia del material es 276 MPa [1].

Reemplazando valores en la ecuación 3.7 y despejando el diámetro se tiene que:

$$\tau = \frac{16 * T}{\pi * D_E^3}$$

$$D_E = \sqrt[3]{\frac{16 * 54189,94}{\pi * 276E06}}$$

$$D_E = 0.099m$$

Para poder soportar el torque que generará el moto-reductor, se obtuvo un diámetro para el eje de 100mm es decir 4", los cálculos posteriores establecerán si ese valor establecido de diámetro es el correcto.

Por medio de las dimensiones de la cuba y del eje agitador se puede establecer como primera dimensión la longitud del cilindro, para ello se realizará un diagrama en 2D o una vista en corte la cual representa la disposición de las aspas a lo largo de la longitud del eje.

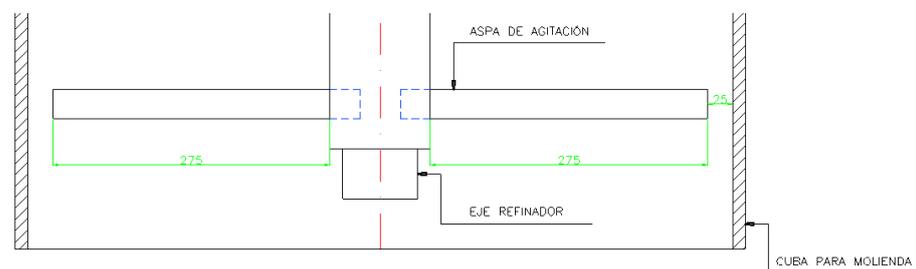


FIGURA 3.5 VISTA EN CORTE DE LAS ASPAS DEL EJE REFINADOR.

En la figura 3.5, se obtiene una longitud de perno igual a 275mm, para poder realizar el diseño del eje se deberá obtener el valor del diámetro.

En la obtención del diámetro del aspa de agitación se propone como modelo matemático aquel como si fuese una viga empotrada en uno de sus extremos con una carga aplicada en el otro.

Para obtener el valor de la carga, primero se analiza la posible forma de contacto entre las bolas y las aspadas de agitación ubicadas en la parte interior de la cuba, llegando a la consideración más crítica para la determinación de la carga de diseño.

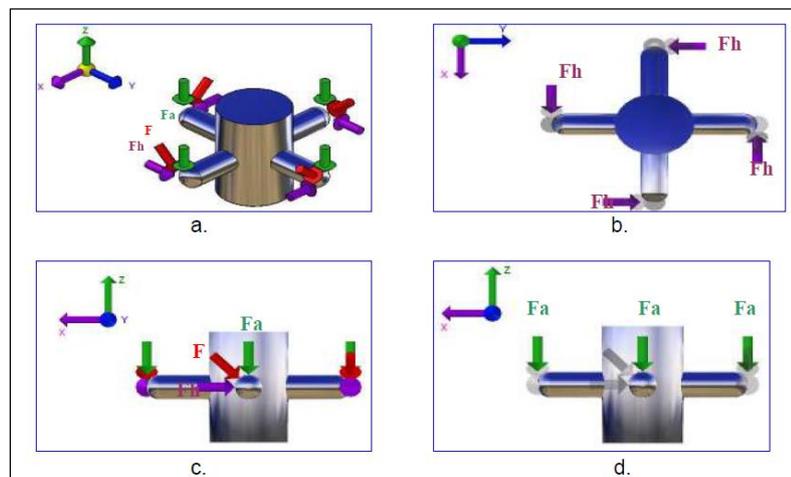


FIGURA 3.6 FUERZAS ACTUANTES SOBRE LAS ASPAS.

Usando el principio de conservación de energía, cuyo análisis es realizado al contacto de un solo cuerpo molturador, donde la energía

cinética de la bola se transforma totalmente en energía de deformación almacenada en el aspa de agitación, se establece la siguiente ecuación [3]:

$$U_e = \frac{1}{2} \frac{W_b}{g} v_b^2 \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Dónde:

U_e : Energía Cinética de la bola en [Joule].

W_b : Peso de la bola en [N].

v_b : Velocidad de la bola en [m/s].

g : Gravedad sobre la tierra en [m/s²].

La energía elástica de deformación de una de las aspas se la puede tratar como si fuese un resorte la cual esta expresada por [3]:

$$U_i = \frac{1}{2} k * \Delta_{\max}^2 \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Dónde:

U_i : Energía Elásticas de deformación de las aspas en [Joule].

k : Constante del resorte de las Aspas [Adimencional].

Δ : Deformación máxima de las aspas en [mm].

Existe una relación entre la deformación sufrida y la carga aplicada, se representa por la siguiente ecuación [3]:

$$F = K * \Delta_{max}$$

Ecuación 3.10

$$K = \frac{F}{\Delta_{max}}$$

Dónde:

F: Fuerza en el extremo de las aspas en [N].

k: Constante del resorte de las Aspas [Adimencional].

Δ : Deformación máxima de las aspas en [m].

Combinando las ecuaciones 3.9 y 3.10, se tiene:

$$U_i = \frac{1}{2} F * \Delta_{max}$$

Al momento de aplicar el principio de conservación de la energía, toda la energía cinética que posee la bola se convertirá en energía de deformación en una de las aspas, entonces se tiene:

$$U_e = U_i$$

Remplazando:

$$\frac{1}{2} F * \Delta_{max} = \frac{1}{2} m_b * v_b^2$$

Como se había planteado inicialmente, el aspa de agitación se modelará como si fuese una barra empotrada en uno de sus extremos y libre en el otro con una carga actuando en el otro

extremo, por medio de este modelado se obtiene una relación entre la deflexión máxima en el extremo sobre el cual se aplica la carga y depende de las propiedades del material [1].

$$\Delta_{max} = \frac{FL^3}{3EI}$$

Ecuación 3.11

$$F = \frac{3EI\Delta_{max}}{L^3}$$

Dónde:

F: Carga en el extremo de las aspas en [N].

E: Modulo de Young en [Pa].

I: Momento de Inercia de las aspas en [m⁴].

L: Longitud de las aspas en [m].

Δ: Deflexión máxima de las aspas en [m].

La fuerza actuante sobre las aspas de agitación depende de la geometría de ellas, entonces se debe establecer un diámetro previo de dicha aspa, se selecciona un diámetro de 25.4mm en base en relación de las dimensiones entre el eje y el diámetro interno de la cuba y de la longitud de la barra.

Igualando ecuaciones, se obtiene el valor de la deflexión máxima para luego remplazarlo en la ecuación 3.11.

$$\frac{1}{2} m_b v_b^2 = \frac{1}{2} \frac{3EI \Delta_{max}^2}{L^3}$$

$$\Delta_{max} = \sqrt{\frac{m_b * v_b^2 * L^3}{3EI}}$$

Dónde:

m_b : Masa de la Bola en [kg].

v_b : Velocidad de la Bola en [m/s].

E: Módulo de Young en [Pa].

I: Momento de Inercia en [m⁴]

Se observa que la ecuación 3.11 depende de la masa de la bola y la velocidad que ésta posea.

Para poder obtener las características o propiedades de la bola de acero se debe seleccionar el tamaño del diámetro que esta poseerá, esta selección se realiza en base a la finura que se desee obtener, para ello se toma referencia de diferentes tablas que permiten relacionar la finura con el tamaño de la bola de acero, además dicha selección se hace en función de la capacidad de producción.

DISEÑO DE EJE DE REFINACION O EJE AGITADOR

Continuando con el cálculo de la magnitud de la fuerza, se realiza en base al diámetro de la esfera que se seleccionó estableciéndose previamente que el aspa de agitación será modelada como una viga empotrada, entonces sus propiedades deben ser establecidas.

r_v : radio de la viga, cuya magnitud es 12.7 E-03mm.

L: Longitud de la viga, cuya magnitud es 275 mm.

E: Módulo de Young del material, cuya magnitud es 200 Gpa.

I: Inercia de la viga, cuya magnitud es 2.043E-08 m⁴

También se debe de obtener las características de la esfera que se va a utilizar.

$$m_b = \rho * V_b$$

$$V_b = \frac{4}{3} \pi * r^3$$

Ecuación 3.12

Dónde:

M_b : Masa de la esfera en [Kg].

R_b : Radio de la esfera en [m].

V_b =Volumen de la esfera en [m³].

Utilizando la ecuación 3.9, se tiene:

$$m_b = \rho * V_b$$

$$m_b = 8000 \text{kg/m}^3 * \frac{4}{3} \pi * (2.25 \text{E}03)$$

$$m_b = 3.81 \text{E}04 \text{ kg}$$

Al tener la velocidad de rotación del eje y conociendo que se mantiene constante, se puede obtener la velocidad del aspa la cual en un instante dado se encuentra en contacto con la esfera y tomando la condición en la cual el contacto se produce en el extremo, se obtiene un valor de longitud respecto al eje de rotación.

$$v_b = \omega_{Rot.} * R_{Rot.} \quad \textbf{Ecuación 3.13}$$

Dónde:

v_b : Velocidad Tangencial de la esfera en [m/s].

$\omega_{Rot.}$: Velocidad de rotación de la esfera en [rad/s].

$R_{Rot.}$: Radio de rotación de la esfera medida desde el eje en [m].

Entonces se tiene:

$\omega_{Rot.}$: Velocidad de Rotación del eje, cuya magnitud es 171rpm.

$R_{Rot.}$: Radio de Rotación para la esfera, cuya magnitud es 305mm

Sustituyendo los valores en la ecuación 3.13, se tiene:

$$v_b = \omega_{Rot.} * R_{Rot.}$$

$$v_b = 17.90 \text{ rad/s} * 0.2992 \text{ m}$$

$$v_b = 5.35 \text{ m/s.}$$

TABLA 4
CÁLCULO DE LA FUERZA ACTUANTE

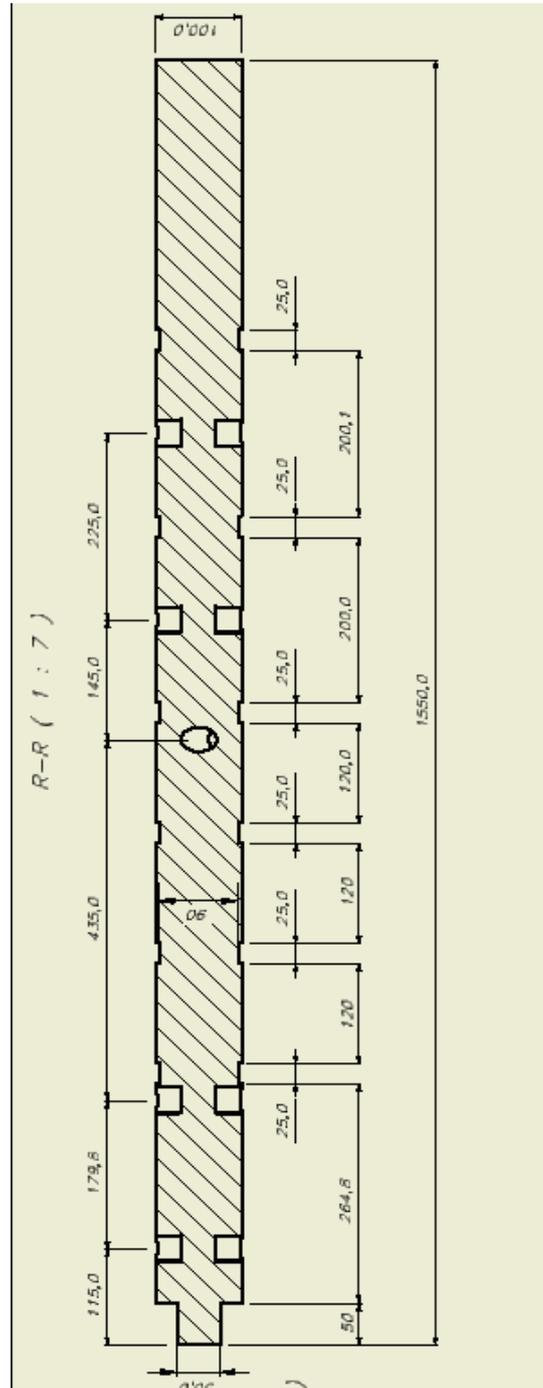
Datos de la Viga		Acero Inoxidable 304	
Rb: Radio de la Viga (m)	0,015	Densidad (Kg/m3)	8000
L: Longitud de la Viga (m)	0,275	Radio de Rotacion	0,2992
E: Módulo de Elasticidad (Pa)	2E+11	Velocidad de Rotación	17,90712
I: Inercia de la Viga (m4)	4E-08		
Datos de la Esfera			
Rv: Radio de la Esfera (m)	0,0055		
Mb: Masa de la Bola (Kg)	0,00558		
Vb: Velocidad de la Bola (m/s)	5,35781		
CALCULO DE MAGNITUD DE LA FUERZA			
Δmax: Deflexion Maxima (m)	0,00037		
F: Fuerza actuante (N)	428,475		

Elaborado por Andrés Arreaga.

Por medio de los cálculos obtenidos con las condiciones establecidas, se determina la magnitud de la fuerza, la cual es de 428,475N.

Debido a que el contacto entre las bolas y el aspa se produce de manera aleatoria, para poder diseñar de una manera segura la carga calculada por el impacto producido se establece como si fuese absorbida por cada una de las aspas de manera totalmente axial y la

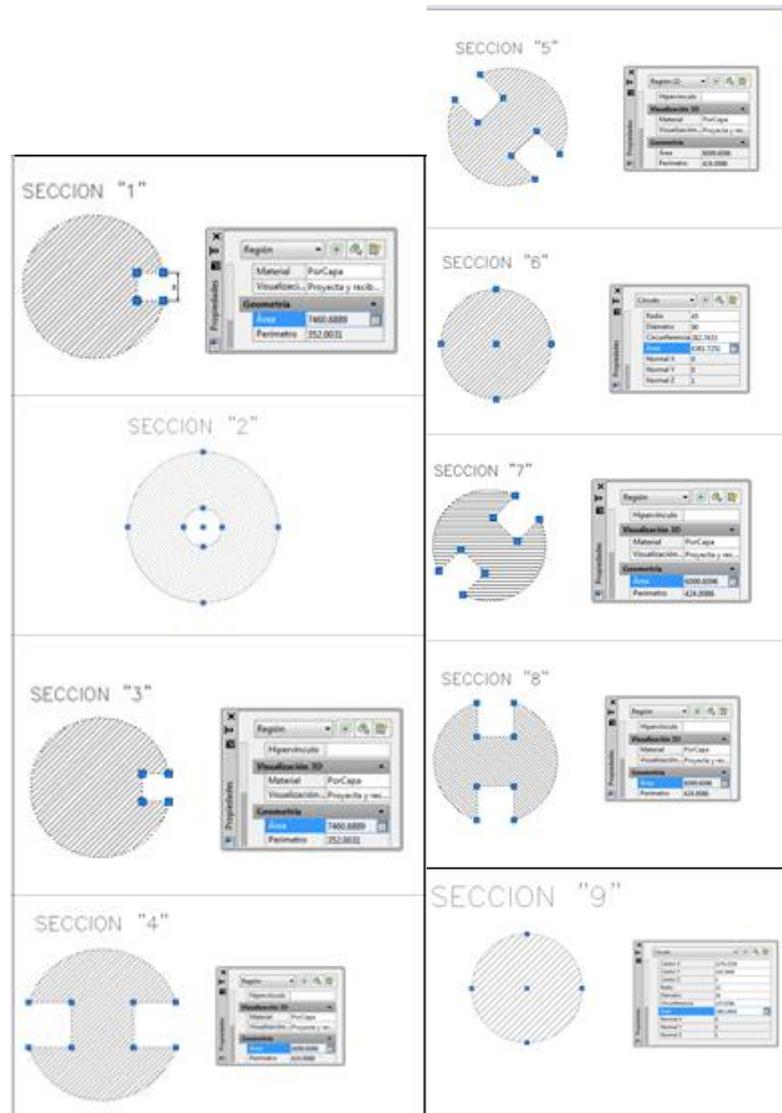
carga resultante sobre el eje corresponde a la suma de las cargas axiales generadas sobre cada una de las aspas, de esta forma se establecen las cargas que están presentes sobre el eje y que servirán posteriormente como carga de diseño.



Elaborado por Andrés Arreaga.

FIGURA 3.7 FORMA DEL EJE.

SECCIONES TRANSVERSALES.



Elaborado por Andrés Arreaga.

FIGURA 3.8 DETERMINACIÓN DE ÁREAS, USANDO AUTOCAD.

Con el cálculo de las secciones transversales se procede a realizar el cálculo de los esfuerzos presentes en cada una de estas

secciones, para ello se establece el tipo de esfuerzo producido en base a la acción de la carga generada.

Obtención de Valores de los Esfuerzos Presentes:

Para el cálculo de los esfuerzos se hace en base a la carga axial generada en tensión y al esfuerzo cortante generado por la torsión producida, inicialmente se hace el cálculo de los esfuerzos nominales y para luego determinar los esfuerzos reales de trabajo debido a los concentradores de esfuerzos, los cuales están representados por los factores geométricos. La obtención de los esfuerzos se realiza en función del área o sección transversal en la cual se aplique la carga. En la figura 3.8 se presenta el valor de las secciones correspondientes, pero también se lo hace en base a las diferentes ecuaciones dada por la geometría presente, para este caso se trata de un cilindro con una longitud determinada.

Sección Transversal:

$$A_T = \frac{\pi * D_{Eje}^2}{4}$$

Ecuación 3.14

Dónde:

A_T : Área Transversal en [m²].

D_{Eje} : Diámetro del eje en [m].

Los esfuerzos de torsión dependen del momento polar de inercia para ello se establece la siguiente ecuación.

Momento polar de inercia.

Secciones Macizas [1]:

$$J_{macizas} = \pi * \frac{r_o^4}{2}$$

Ecuación 3.15

Dónde:

$J_{macizas}$: Momento Polar de Inercia en [m⁴].

r_o : Radio exterior en [m].

Secciones Huecas [1]:

$$J_{huecas} = \frac{\pi}{2} * (r_o^4 - r_i^4)$$

Ecuación 3.16

Dónde:

J_{huecas} : Momento Polar de Inercia en [m⁴].

r_o : Radio exterior en [m].

r_i : Radio interno en [m].

Esfuerzos Nominales de Trabajo presentes

Esfuerzo generado a Cargas Axiales [1]:

$$\sigma = \frac{F}{Area_T}$$

Ecuación 3.17

Dónde:

σ : Esfuerzo debido a la carga axial en [Pa].

F: Fuerza axial en [N].

Área: Área transversal a la Fuerza Actuante en [m²].

Esfuerzo generado por la Torsión [1]:

$$\tau = \frac{T * r}{J_m, J_h}$$

Ecuación 3.18

Dónde:

τ : Esfuerzo Cortante debido a la Torsión en [Pa].

T: Torsión en [N-m].

r: Radio del eje en [m].

J_m : Momento Polar de Inercia, para secciones macizas en [m⁴].

J_h : Momento Polar de Inercia, para secciones huecas en [m⁴].

La comprobación del diseño del eje se lo realizó por fatiga, teniendo en cuenta esfuerzos cíclicos debido a las cargas axiales producidos por el impacto entre las bolas, cuya magnitud fluctúa entre cero y su valor máximo calculado anteriormente, lo que causa cargas alternantes y medias que son iguales, además a esto se combina la componente de esfuerzo cortante medio debido a la torsión, al estimarse estos dos tipos de esfuerzo se establece el estado de esfuerzo nominal en la zona crítica del eje, necesario para el cálculo del factor de seguridad [1].

Con la Fuerza mínima (F_{\min}) igual a cero, las fuerzas medias F_m y alternantes F_a se calcularon mediante las siguientes relaciones:

$$F_m = \frac{F_{Max} + F_{Min}}{2} \quad \text{Ecuación 3.19}$$

Dónde:

F_m : Fuerza Media en [N].

F_{max} : Fuerza Máxima en [N].

F_{min} : Fuerza Mínima en [N].

Sustituyendo los valores en la ecuación 3.19, se tiene los valores tabulados en la Tabla N°2:

TABLA 5

CÁLCULO DE LA FUERZA ACTUANTE (POR FATIGA).

SECCIONES	AREAS m ²	MOMENTO POLAR DE INERCIA DE LA SECCION	FUERZA Max. [N]	Torque Max. [N.M]	FUERZA A Min. [N]	FUERZA MEDIA	FUERZA ALTERNANTE
1	0,0074607	9,3008E-06	4284,75	5027,93	0	2142,375	2142,375
2	0,0074607	9,3008E-06	5141,7	5027,93	0	2570,85	2570,85
3	0,0060996	8,5125E-06	856,95	5027,93	0	428,475	428,475
4	0,0060996	8,5125E-06	856,95	5027,93	0	428,475	428,475
5	0,0063617	6,4412E-06	856,95	5027,93	0	428,475	428,475
6	0,0060996	8,5125E-06	856,95	5027,93	0	428,475	428,475
7	0,0060996	8,5125E-06	856,95	5027,93	0	428,475	428,475
8	0,0060996	8,5125E-06	856,95	5027,93	0	428,475	428,475

Elaborado por Andrés Arreaga

Una vez obtenidos los valores de las fuerzas se puede obtener los valores de los esfuerzos presentes en las diferentes secciones del

eje refinador. Los cálculos se los realiza por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_m = \frac{F_m}{Area_T} \quad \text{Ecuación 3.20}$$

Dónde:

σ_m : Esfuerzo Medio en [Pa].

F_m : Fuerza Media en [N].

Área_T: Área Transversal a la Fuerza en [m²].

$$\sigma_a = \frac{F_a}{Area_T} \quad \text{Ecuación 3.21}$$

Dónde:

σ_a : Esfuerzo Alternante en [Pa].

F_a : Fuerza Alternante en [N].

Área_T: Área Transversal a la Fuerza en [m²].

Reemplazando los valores en las ecuaciones 3.18, 3.20 y 3.21, se tiene los valores tabulados en la Tabla N°6.

TABLA 6
CÁLCULO DE ESFUERZOS

SECCIONES	AREAS [m ²]	ESFUERZO MEDIO [Pa]	ESFUERZO ALTERNANTE [Pa]	ESFUERZO CORTANTE MEDIO [Pa]
1	0,0074607	1263482,671	1263482,67	27029459,7
2	0,0074607	1282983,016	1282983,02	1600852,54
3	0,0060996	1263482,671	1263482,67	27029459,7
4	0,0060996	280985,1962	280985,196	29532628,5
5	0,0063617	421477,7943	421477,794	29532628,5
6	0,0060996	404112,0859	404112,086	35126169,2
7	0,0060996	351231,4952	351231,495	29532628,5
8	0,0060996	70246,29904	70246,299	29532628,5

Elaborado por Andrés Arreaga.

Para el cálculo correcto en lo que respecta al factor de seguridad se deberá tener en consideración los esfuerzos de trabajo reales de acuerdo a los factores de concentración geométricos [5].

TABLA 7
FACTORES DE CONCENTRACIÓN GEOMÉTRICOS

TIPO DE CONCENTRADORES	SECCION N	CONCENTRADORES					
		Kt	Kts	q	qs	Kf	Kfs
	1					1	1
	2					1	1
Cuña	3	2,2	2,65	0,78	0,9	1,94	2,49
Agujero Vertical	4	1,9	2,9	0,8	0,91	1,72	2,73
Agujero Inclinado	5	1,9	2,9	0,8	0,91	1,72	2,73
Cambio de Sección x2	6	3,1	1,52	0,7	0,89	2,47	1,46
Agujero Inclinado	7	1,9	2,9	0,8	0,91	1,72	2,73
Agujero Vertical	8	1,9	2,9	0,8	0,91	1,72	2,73
Cambio de Sección	9	2,3	1,7	0,81	0,92	2,05	1,64

Elaborado por Andrés Arreaga.

Con los valores obtenidos de los factores de concentración geométricos se logra obtener los valores de los esfuerzos reales presentes en cada una de las secciones del eje de refinación. Reemplazando los valores en las ecuaciones 3.17, 3.19 y 3.21, se tiene los valores tabulados en la Tabla 8:

TABLA 8
ESFUERZOS REALES

SECCIONES	ESFUERZO MEDIO REAL [Pa]	ESFUERZO ALTERNANTE REAL [Pa]	ESFUERZO CORTANTE MEDIO REAL [Pa]
1	1263482,671	1263482,671	27029460
2	1282983,016	1282983,016	1600852,5
3	2446102,451	2446102,451	67168207
4	483294,5374	483294,5374	80594543
5	724941,8061	724941,8061	80594543
6	998156,8521	998156,8521	51382560
7	604118,1718	604118,1718	80594543
8	120823,6344	120823,6344	80594543

Elaborado por Andrés Arreaga.

Como se estableció, el factor de seguridad se determinará una vez que se obtengan los valores de los esfuerzos de trabajo reales presentes, estableciendo una teoría de fallas.

Al tratarse de un caso en el cual se encuentran presentes esfuerzos debido a la carga axial y a la torsión, entonces se trata de un caso de esfuerzos combinados, por lo que es necesario establecer un estado de esfuerzos presentes en el eje refinador.

Cuando se establece el estado de esfuerzos, se selecciona una teoría de fallas, para este caso la teoría seleccionada es la teoría de fallas por combinación de cargas de Goodman y de esta manera obtener un factor de seguridad.

Ecuación de Goodman [5].

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ecuación 3.22}$$

Dónde:

σ'_a : Esfuerzo alternante de Von Misess en [Pa].

σ'_m : Esfuerzo medio de Von Misess en [Pa].

S_e : Limite de resistencia a la fatiga en [Pa].

S_{ut} : Resistencia Última a la tensión en [Pa].

n: Factor de Seguridad a Fatiga [Adimensional].

Para realizar el cálculo de los diferentes esfuerzos de Von Misess se lo realiza de acuerdo a las siguientes ecuaciones, las cuales dependerán de los esfuerzos de trabajo reales:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{za}^2 + 3\tau_{xya}^2} \quad \text{Ecuación 3.23}$$

Dónde:

σ'_a : Esfuerzo alternante de Von Misess en [Pa].

σ^2_{za} : Esfuerzo de Flexión en [Pa].

τ^2_{xya} : Esfuerzo de Corte en [Pa].

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma^2_{zm} + 3\tau^2_{xym}}$$

Ecuación 3.24

Dónde:

σ'_m : Esfuerzo medio de Von Misess en [Pa].

σ^2_{zm} : Esfuerzo de Flexión en [Pa].

τ^2_{xym} : Esfuerzo de Corte en [Pa].

Usando los valores de los esfuerzos combinados de la tabla N°8, se obtiene los esfuerzos de Von Misess respectivos tanto alternante como medio.

TABLA 9
ESFUERZOS DE VON MISESS

ESFUERZO DE VON MISESS ALTERNANTE [Pa]	ESFUERZO DE VON MISESS MEDIO [Pa]
1263482,671	46833443,9
1282983,016	3055197,531
2446102,451	116364460,6
483294,5374	139594680,2
724941,8061	139595725,9
998156,8521	89002802,32
604118,1718	139595150,7
120823,6344	139593895,8

Elaborado por Andrés Arreaga.

Una vez calculado los valores de los esfuerzos de Von Misess, se procede a calcular el valor del límite de la resistencia a la fatiga modificado, por medio de la siguiente ecuación, la cual dependerá de diversos factores como se indica en la ecuación 3.25:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad \text{Ecuación 3.25}$$

Dónde:

k_a : Factor de modificación de la condición superficial [Adimensional].

k_b : Factor de modificación del tamaño [Adimensional].

k_c : Factor de modificación de carga [Adimensional].

k_d : Factor de modificación de la temperatura [Adimensional].

k_e : Factor de confiabilidad [Adimensional].

K_f : Factor de modificación de efectos varios [Adimensional].

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga [Pa].

S_e : Límite de resistencia a la fatiga modificado [Pa].

El valor de cada uno de los factores de modificación se los obtiene a través de tablas o de ecuaciones propuestas en la referencia [5].

Para obtener el valor del factor de modificación de la condición superficial se lo obtiene a través de la siguiente ecuación.

$$k_a = aS_{ut}^b \quad \text{Ecuación 3.26}$$

Dónde:

k_a : Factor de modificación de la condición superficial [Adimensional].

a: Factor de corrección [Adimensional].

b: Factor de corrección [Adimensional].

S_{ut} : Resistencia Última a la Tracción [Pa].

Donde los valores de los coeficientes de a y b se los consigue a través de tablas del libro R. Norton [5]:

$$a = 4,51 \quad ; \quad b = -0,265$$

Entonces reemplazando valores en la ecuación 3.26, se tiene:

$$k_a = 0,8399$$

Para el coeficiente de modificación de tamaño, su valor es obtenido a través de la siguiente fórmula:

$$k_b = 1.51d^{0.157} \quad \text{Ecuación 3.27}$$

Dónde:

k_b : Factor de modificación del tamaño [Adimensional].

d : Diámetro Exterior del eje [Adimensional].

El diámetro exterior del eje es igual a 100mm, por lo tanto el valor de k_b se obtiene reemplazando los valores en la ecuación 3.33:

$$k_b = 0,73279$$

El coeficiente de modificación de carga k_c se lo obtiene de tablas del libro de diseño de Maquinarias de R. Norton [5].

$$k_c = 0.85$$

Para obtener el valor de coeficiente de temperatura k_d se emplea la tabla 6-4 del libro de diseño de Shigley [6], cuyo valor dependerá de la temperatura ambiente a la cual se realiza el trabajo, la cual será

de 250°C y con la utilización de la tabla del libro de diseño de maquinarias de R. Norton [5], se obtiene el siguiente valor:

$$k_d = 1$$

El coeficiente de confiabilidad se lo obtiene de tablas mencionadas anteriormente [5], estableciendo un porcentaje de confiabilidad de la resistencia a la fatiga del 99.9% para este caso y de acuerdo a la tabla 6-5 se obtiene el siguiente valor:

$$k_e = 0.753$$

El valor del coeficiente de efectos varios corresponde a los diversos factores que se presenten en la funcionabilidad del eje de refinación, para este caso es el desgaste, por tanto se escoge un valor de:

$$k_f = 0.8$$

Luego se calcula el valor del límite de resistencia a la fatiga el cual se lo expresa mediante la siguiente ecuación [5]:

TABLA 10
FACTORES MULTIPLICATIVOS PARA EL CÁLCULO DEL
LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA EN FUNCIÓN DE LA
RESISTENCIA ÚLTIMA DEL MATERIAL [5].

$$\begin{array}{ll}
 0,5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi} \\
 S'_e = 100 \text{ Kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\
 700 \text{ Mpa} & S_{ut} > 1400 \text{ Mpa}
 \end{array}$$

De acuerdo a la tabla N°10 y sabiendo que el S_{ut} es menor a 200 Kpsi, se establece que:

$$S'_e = 0,5 S_{ut}$$

Remplazando los valores de acuerdo con la tabla N°7, se obtiene:

$$S'_e = 284 \text{ Mpa}$$

Con los valores de los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga se procede a calcular el valor del límite de resistencia a la fatiga modificada a través de la ecuación 3.25, entonces se tiene:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$S_e = 89,5013 \text{ Mpa}$$

A través del uso de la teoría de fallas por combinación de cargas de Goodman se calcula el factor de seguridad, para lo cual se calcula dicho factor en los diferentes puntos antes establecidos con la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ecuación 3.28}$$

Dónde:

σ'_a : Esfuerzo Alternante en [Pa].

σ'_m : Esfuerzo Medio en [Pa].

S_e : Límite de resistencia a la fatiga modificado en [Pa].

S_{ut} : Resistencia Ultima en [Pa].

n : Factor de Seguridad [Adimensional].

Remplazando valores en la ecuación 3.34, se tabula los valores mostrados en la tabla N°8, seleccionando el factor de mayor magnitud, asegurando así que el eje refinador no falle por fatiga.

TABLA 11

FACTORES DE SEGURIDAD EN LAS DIFERENTES SECCIONES

SECCIONES	ESFUERZO DE VON MISESS ALTERNANTE [Pa]	ESFUERZO DE VON MISESS MEDIO [Pa]	Se [Pa]	Sut [Pa]	N F.S.
1	1263482,671	46833443,9	89501300,18	568000000	10,355165
2	1282983,016	3055197,531	89501300,18	568000000	5,726231
3	2446102,451	116364460,6	89501300,18	568000000	4,3066811
4	483294,5374	139594680,2	89501300,18	568000000	3,9814442
5	724941,8061	139595725,9	89501300,18	568000000	3,9390718
6	998156,8521	89002802,32	89501300,18	568000000	5,957789
7	604118,1718	139595150,7	89501300,18	568000000	3,9601461
8	120823,6344	139593895,8	89501300,18	568000000	4,0467175

Elaborado por Andrés Arreaga.

Diseño de Aspas o Pines de Agitación.

Las aspas de agitación son elementos que entregan de manera directa la energía generada por el motor a las bolas de acero, su ensamble se hace al cuerpo del eje agitador por medio de rosca, se diseñaron de manera que pudiesen ser removidas en caso de rotura de alguna de ellas y su terminación es esférica para facilitar el movimiento de los elementos moledores, el material del cual está fabricada las aspas será de acero inoxidable (AISI 304) cuyas propiedades fueron presentadas anteriormente para realizar el diseño del eje refinador.

Como se había establecido anteriormente, la geometría de las aspas de agitación se realizó en base a las dimensiones de la cuba y también de acuerdo al diámetro del eje refinador, estableciendo de esta forma las siguientes dimensiones; relacionando el diámetro de la cuba o cuerpo de molienda con el diámetro del eje la longitud preliminar es de 275 mm con un diámetro de 25,4 mm, como se observa en la siguiente figura 3.9.

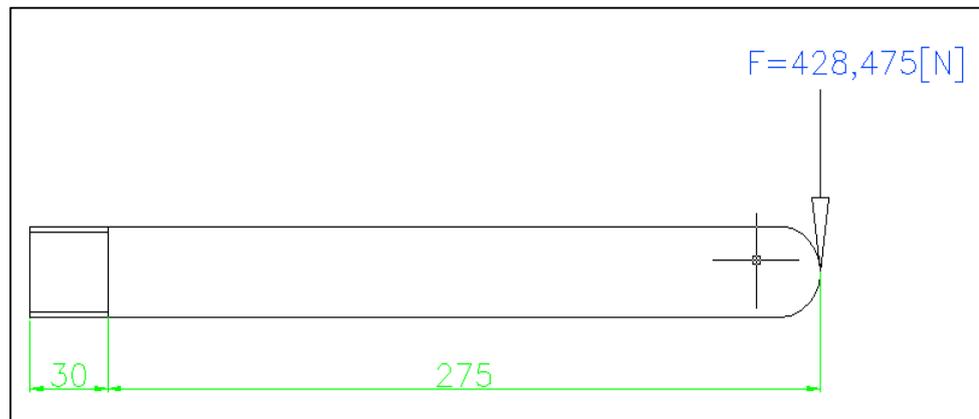


FIGURA 3.9 RELACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA CUBA Y EL EJE.

Cargas en las Aspas.

El cálculo de las cargas, es igual a la obtención de los valores de las cargas de impacto, porque es en las aspas de agitación donde se produce la entrega de energía a los elementos de molienda (bolas de acero) a través del impacto.

La carga al igual que en el eje refinador actúa en la dirección del eje z y su valor fluctúa entre cero y su valor máximo, el chequeo de diseño se realizó suponiendo fatiga generada por el momento fluctuante y la carga cortante transversal presentes en el aspa, inicialmente se estimó la carga media y la alternante [5]:

$$F_a = \frac{F_{Max} + F_{Min}}{2}$$

Ecuación 3.29

Dónde:

F_a : Fuerza Alternante en [N].

F_{Max} : Fuerza Máxima en [N].

F_{Min} : Fuerza Mínima en [N].

$$F_m = \frac{F_{Max} - F_{Min}}{2}$$

Ecuación 3.30

Dónde:

F_m : Fuerza Media en [N].

F_{Max} : Fuerza Máxima en [N].

F_{Min} : Fuerza Mínima en [N].

Obteniéndose los valores antes presentados en la tabla N°2, los cuales son 428,475 N tanto para la carga media como para la alternante y de esta manera se obtienen los valores para las cargas antes mencionadas.

Estas cargas no es necesario incrementarlas por un factor de servicio ya que su cálculo implica consideraciones en las que se estima un valor más elevado del que se podría esperar en realidad.

Luego de que se ha seleccionado el material, las dimensiones y además de eso las cargas que se encuentran presentes sobre dichas aspas, se procederá a obtener el valor del factor de seguridad que necesario para el diseño de este elemento.

Estimación de Diagramas de Carga Cortante Y Momento Flexionante.

Los diagramas de carga actuantes sobre un aspa de agitación se muestran en la figura 3.10; estos se realizan en base a la carga fluctuante, teniendo en cuenta que la carga media y alternante presenta el mismo valor.

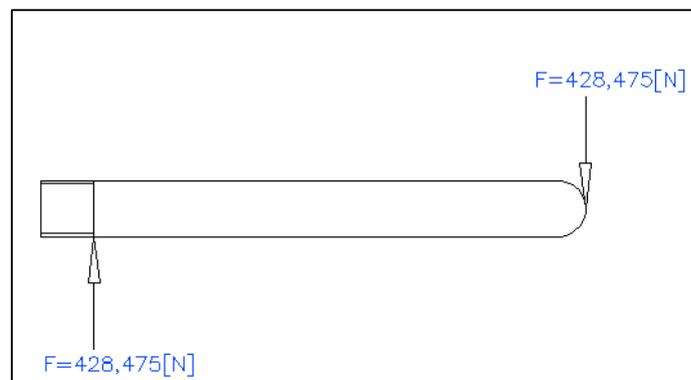


FIGURA 3.10 D.C.L DE ASPAS DE AGITACIÓN.

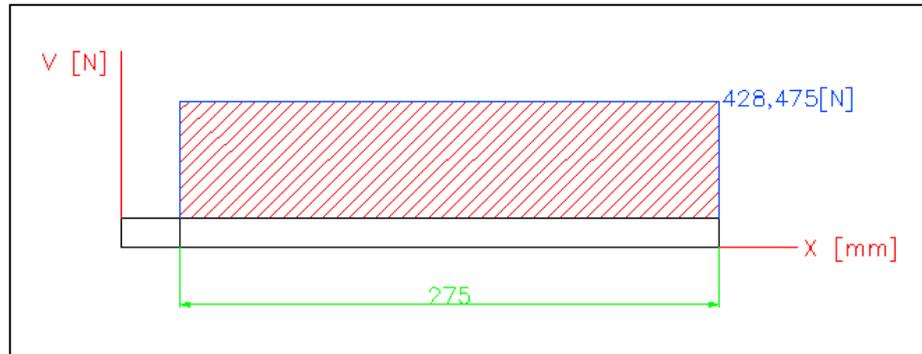


FIGURA 3.11 DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES SOBRE ASPA DE AGITACIÓN.

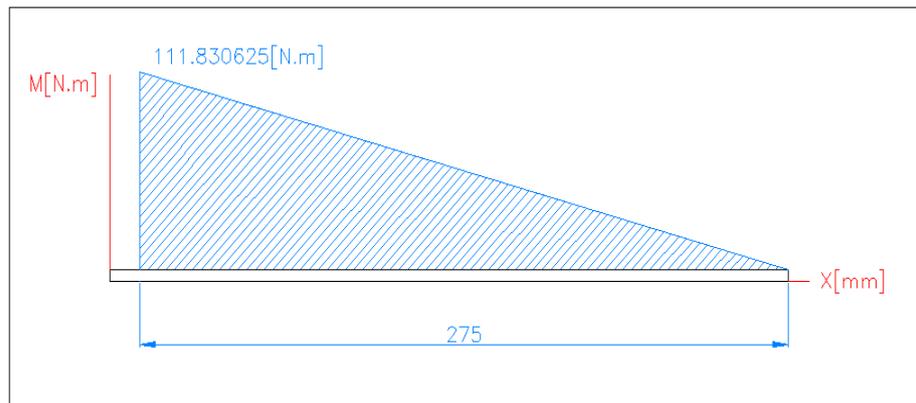


FIGURA 3.12 DIAGRAMA DE MOMENTO FLEXIONANTE EN ASPA DE AGITACIÓN.

Una vez que se han establecidos los diagramas de fuerza cortante y momento flector que están presentes en las aspas de agitación, se deberán de obtener los valores de los diferentes tipos de esfuerzo nominales en las aspas, para ello se obtendrá la ecuación representativa para su posterior cálculo.

Cálculo de Esfuerzos Nominales en el Eje.

Componente del esfuerzo flector medio [6]:

$$\sigma_{mf} = \frac{M_{mf} * r_{to}}{I_y}$$

Ecuación 3.31

Dónde:

σ_{mf} : Esfuerzo Flector Medio en [Pa].

M_{mf} : Momento Flexionante Medio en [N-m].

r_{to} : Radio Externo del Aspa en [m].

I_y : Momento de Inercia en el eje Y en [m⁴].

Componente del esfuerzo flector alternante [6]:

$$\sigma_{af} = \frac{M_{af} * r_{to}}{I_y}$$

Ecuación 3.32

Dónde:

σ_{af} : Esfuerzo Flector Alternante en [Pa].

M_{af} : Momento Flexionante Alternante en [N-m].

r_{to} : Radio Externo del Aspa en [m].

I_y : Momento de Inercia en el eje Y en [m⁴].

Componente del esfuerzo cortante transversal medio [6]:

$$\tau_{mc} = \frac{V_{mc} Q}{I_y b}$$

Ecuación 3.33

Dónde:

 T_{mc} : Esfuerzo Flector Medio en [Pa]. V_{mc} : Fuerza Cortante Medio en [N].Q: Primer Momento de Área en [m³]. I_y : Momento de Inercia en el eje Y en [m⁴].

b: Ancho de la Sección en [m].

Componente del esfuerzo cortante transversal alternante [6]:

$$\tau_{ac} = \frac{V_{ac} Q}{I_y b}$$

Ecuación 3.34

Dónde:

 T_{ac} : Esfuerzo Flector Alternante en [Pa]. V_{ac} : Fuerza Cortante Alternante en [N].Q: Primer Momento de Área en [m³]. I_y : Momento de Inercia en el eje Y en [m⁴].

b: Ancho de la Sección en [m].

$$Q = A_a * y'$$

Ecuación 3.35

Dónde:

 A_a : Área del Aspa en [m²].

y' : Distancia en la dirección vertical del plano neutro hasta el centroide del área A_a en $[m^2]$.

A través de la siguiente ecuación se calculará la componente media del momento que actúa sobre las aspas.

$$M_m = F_m * L_{aspa} \quad \text{Ecuación 3.36}$$

Dónde:

M_m : Momento medio en $[N \cdot m]$.

F_m : Fuerza media sobre las aspas en $[N]$.

L_{aspa} : Longitud del aspa en $[m]$.

$$M_a = F_a * L_{aspa} \quad \text{Ecuación 3.37}$$

Dónde:

M_m : Momento alternante en $[N \cdot m]$.

F_m : Fuerza alternante sobre las aspas en $[N]$.

L_{aspa} : Longitud del aspa en $[m]$.

Conociendo que $F_m = F_a$ tienen la misma magnitud, entonces se reemplaza valores ya sea en la ecuación 3.36 ó 3.37:

$$M_m = F_m * L_{Aspa}$$

$$M = 428,478 [N] * (275/1000) [m]$$

$$M = 117,830625 [N \cdot m]$$

Cálculo Momento de de Inercia de la Sección I_y

Para el cálculo del momento se lo realiza con la ecuación 3.38

$$I_y = \frac{\pi * D_{Aspa}^4}{64} \quad \text{Ecuación 3.38}$$

Dónde:

I_y: Momento de Inercia en el eje Y en [m⁴].

D_{aspa}: Diámetro de las aspas en [N].

Sustituyendo valores en la ecuación 3.38, se tiene:

$$I_y = \frac{\pi * (25.4/1000)^4}{64}$$

$$I_y = 4,98822 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

Cálculo del Esfuerzo a la Flexión

Para determinar el esfuerzo de flexión, se lo realiza de acuerdo con la ecuación 3.39:

$$\sigma_{mf} = \frac{M * C}{I} \quad \text{Ecuación 3.39}$$

Dónde:

σ_{mf}: Esfuerzo de Flexión medio en [Pa].

M: Momento Flector medio en [N-m].

C: Distancia desde el centroide hasta el punto más externo del elemento en [m].

I: Momento de Inercia en [m⁴].

Sustituyendo valores en la ecuación 3.39, se tiene:

$$\sigma_{mf} = \sigma_{af} = \frac{117,830625 * (12.7/1000)}{4,98822 * 10^{-4}}$$

$$\sigma_f = 37499552,27 [Pa]$$

Cálculo del Esfuerzo Cortante Transversal.

Se determina el primer momento de área en las aspas con la ecuación 3.35:

$$Q = A_{Aspa} * Y'$$

$$Q = A_{Aspa} * \frac{4r_{Aspa}}{3\pi}$$

$$Q = 5,33433 * 10^{-6} m^3$$

Luego se determina el momento cortante con ayuda de la ecuación 3.34:

$$\tau_c = \frac{(428,475) * (5,33433 * 10^{-6})}{(4,98822 * 10^{-8}) * (12.7/1000)}$$

$$\tau_c = 2886329,175 Pa$$

Una vez que se han establecidos los diferentes esfuerzo nominales presentes en las aspas, dichos esfuerzos deberán ser incrementados

por los respectivos factores de concentración de esfuerzos, esto es porque las aspas poseen un tramo de longitud que esta roscado, además se estimó que para el esfuerzo cortante transversal no existe concentración de esfuerzo.

El valor del factor de concentración de esfuerzo a fatiga para el esfuerzo alternante para roscas talladas es $K_f=2,8$ [5].

Inicialmente se calcula el esfuerzo debido a la flexión máximo y dicho valor se lo multiplica por el factor de concentración de esfuerzo a la fatiga para roscas talladas.

La obtención del valor del esfuerzo máximo se la obtiene de la ecuación 3.40

$$\sigma_{mf} = \sigma_{af} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ecuación 3.40}$$

Reemplazando valores de la ecuación 3.38 en la ecuación 3.40 y sabiendo que el esfuerzo mínimo es cero, se tiene:

$$\sigma_{max} = \frac{2 * 117,830625 * (12.7 / 1000)}{4,98822 * 10^{-4}} = 146482626.1 [Pa]$$

Determinado el esfuerzo máximo de flexión sobre las aspas, se multiplica dicho valor por el factor de concentración de esfuerzo a la fatiga para roscas talladas:

$$\sigma_{max} * k_f = 2,8 * (146482626.1) = 410151353 [Pa]$$

Para obtener el valor del factor de concentración de esfuerzo a la fatiga para el esfuerzo medio se establece las siguientes condiciones:

TABLA 12
CONDICIONES PARA ESTABLECER EL FACTOR DE
CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS [5].

$$Si \quad K_f \cdot \sigma_{max} < S_y \Rightarrow K_f = K_{fm}$$

$$Si \quad K_f \cdot \sigma_{max} < S_y \Rightarrow K_{fm} = \frac{S_y \cdot K_f \cdot \sigma_a}{\sigma_m}$$

$$Si \quad K_f \cdot (\sigma_{max} - \sigma_{min}) > 2S_y \Rightarrow K_{fm} = 0$$

Si se compara los resultados en las condiciones establecidas en la tabla N°12, la primera condición $410151353 Pa < 276000000 Pa$, se satisface por tanto el valor de $k_f = k_{fm}$.

Al momento de determinar los valores de los concentradores de esfuerzos se procede a calcular los valores de los esfuerzos reales que están presentes en las aspa.

Los esfuerzos reales presentes en el aspa son:

Esfuerzo de Flexión Alternante Real.

Conociendo el valor del esfuerzo de flexión previamente calculado es multiplicado por el factor de concentración de esfuerzo a fatiga para obtener el esfuerzo real de flexión.

$$\sigma_{mfr} = \sigma_{afr} = 2,8 * 37499552,27$$

$$\sigma_{mfr} = \sigma_{afr} = 104998746,4 [Pa]$$

Esfuerzo Cortante Medio Real.

El esfuerzo cortante real es igual al nominal:

$$\tau_{mcr} = \tau_{acr} = 2886329,175 [Pa]$$

Con los esfuerzos de trabajo flector y cortante proyectados se procedió a estimar el factor de seguridad, en este caso no existe una combinación de esfuerzo en las zonas críticas, debido a que en un mismo punto, uno de los esfuerzos es máximo el otro es igual a cero, en el punto B de la figura 3-12, donde se produce la condición más desfavorable en cuanto a la vida del componente por tratarse de un punto donde el elemento está sometido a tensión, el esfuerzo cortante transversal es igual a cero. Por lo tanto se realizó el chequeo de diseño tratando la condición de trabajo del componente en un

estado de esfuerzo uní-axial, fluctuante por fatiga para ambos estados de esfuerzos por separado.

La figura 3.12 muestra la distribución del esfuerzo sobre el elemento debido a la carga aplicada:

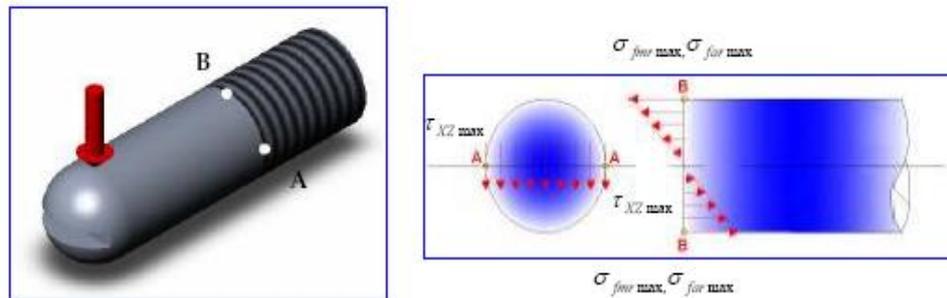


FIGURA 3.13 ESFUERZO EFECTIVO DE VON MISES.[3]

De la teoría de energía de distorsión máxima se deduce el esfuerzo efectivo de Von Misses.

A través del uso de la teoría de fallas por combinación de cargas de Goodman se procede a la obtención del factor de seguridad.

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ecuación 3.41}$$

Dónde:

σ'_a : Esfuerzo alternante de Von Misses en [Pa].

σ'_m : Esfuerzo medio de Von Misses en [Pa].

S_e : Limite de resistencia a la fatiga en [Pa].

S_{ut} : Resistencia Última a la tensión en [Pa].

Se determina los diferentes esfuerzos de Von Misses con las ecuaciones 3.25 y 3.26 las cuales dependerán de los esfuerzos de trabajo reales.

Como se mencionó, en las zonas críticas no existe una combinación de esfuerzos por lo que es necesario analizar ambos casos por separado, para así poder obtener un factor de seguridad y poder determinar el ideal.

El esfuerzo de Von Misses debido al esfuerzo tensor ocasionado por el momento en la superficie del elemento (Zona B) y sabiendo que no existe torsión, es calculado de acuerdo a la ecuación 3.41:

$$\sigma'_{a1} = \sqrt{(104998746,4)^2 + 0^2}$$

$$\sigma'_{a1} = 104998746,4 [Pa]$$

El esfuerzo de Von Misses debido al esfuerzo cortante transversal que se genera en el centro de la sección, es determinado con la

ecuación 3.26 y conociendo además que no existe flexión, entonces se tiene:

$$\sigma'_{a2} = \sqrt{0^2 + 3*(288329,75)^2}$$

$$\sigma'_{a2} = 4999268,778[Pa]$$

Una vez calculado los valores de los esfuerzos de Von Misses, se procede a determinar el valor del límite de la resistencia a la fatiga modificado con la ecuación 3.25.

El valor de cada uno de los factores de modificación se lo obtiene a través de tablas o de las ecuaciones propuestas anteriormente.

Para obtener el valor del factor de modificación de la condición superficial se lo realiza a través de la ecuación 3.26:

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Donde los valores de los coeficientes de a y b son:

$$a = 4,51 ; b = -0,265$$

$$\rightarrow k_a = 0,8399$$

El valor del coeficiente de modificación de tamaño es determinado con la ecuación 3.27:

$$k_b = 1.51d^{0.157}$$

Donde d es el valor del diámetro exterior del eje igual a 25.4mm, entonces el valor de k_b será:

$$k_b = 0,908694$$

El coeficiente de modificación de carga k_c se lo obtiene de tablas del libro de diseño de Norton:

$$k_c = 0.85$$

Para obtener el valor de coeficiente de temperatura k_d se emplea la tabla del libro de diseño de Norton, cuyo valor dependerá de la temperatura de ambiente de trabajo, la cual será de 250°C, entonces se tiene un valor de:

$$k_d = 1$$

El coeficiente de confiabilidad de igual manera, es obtenido de tablas del libro de diseño de Norton, estableciendo un porcentaje de confiabilidad de la resistencia a la fatiga de 99.9% la cual de acuerdo a la tabla 6-5 se tiene un valor de:

$$k_e = 0.753$$

El valor del coeficiente de efectos varios corresponde a los diversos factores que se presenten en la funcionabilidad del eje de refinación, para este caso es el desgaste por lo tanto se selecciona un valor de:

$$k_f = 0.8$$

Luego se determina el valor del límite de resistencia con ayuda de la tabla N°7, dado que el valor S_{ut} es menor a 200 Kpsi se establece:

$$S'_e = 0,5S_{ut}$$

Remplazando los valores con los datos anteriormente establecidos se obtiene:

$$S'_e = 284\text{Mpa}$$

Una vez determinado los valores de los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga, se procede a calcular su magnitud con la ecuación 3.25:

$$S_e = 130571545,6[\text{Pa}]$$

Bajo las condiciones establecidas se determinará el valor del factor de seguridad mínimo, para ello se evalúan los valores calculados en las ecuaciones correspondientes teniendo en cuenta el esfuerzo de Von Misses generado en ambos casos.

Con el esfuerzo de Von Misses debido al esfuerzo tensor ocasionado por el momento en la superficie del elemento (Zona B), se determina el Factor de seguridad con la ecuación 3.41:

$$\sigma'_{a1} = 104998746,4[\text{Pa}]$$

$$n_f = \frac{S_{ut} * S_e}{\sigma'_a S_{ut} + \sigma'_m S_e}$$

$$n_f = \frac{568000000 * 130571545,6}{104998746,4 * 568000000 + 104998746,4 * 130571545,6}$$

$$n_f = 1,011$$

Con el esfuerzo de Von Misses debido al esfuerzo cortante transversal que se genera en el centro de la sección, se determina el Factor de seguridad con la ecuación 3.41:

$$\sigma'_{a2} = 4999268,778 [Pa]$$

$$n_f = \frac{S_{ut} * S_e}{\sigma'_a S_{ut} + \sigma'_m S_e}$$

$$n_f = \frac{568000000 * 130571545,6}{4999268,77 * 568000000 + 4999268,77 * 130571545,6}$$

$$n_f = 21,236$$

Por tanto el factor de seguridad seleccionado es el mayor para asegurar así que el eje no falle ya sea por flexión ni por torsión.

3.3 Selección de Bolas de Acero.

La selección del tamaño de las bolas de acero se realizará por medio de tablas propuestas en un informe técnico de un molino de bolas [11].

Para un molino de bolas con una capacidad de producción de 1000Kg/hr la finura se encuentra en orden del 100% [4], por lo cual se tiene una capacidad de producción de 2000Kg/hr, el porcentaje de finura se encontrará cerca del orden del 98.5% aproximadamente.

Por consideraciones de desgaste producido y de las condiciones de capacidad de producción y finura se propone un diámetro de bolas de 4.5mm.

Por medio de referencia de molinos de refinación de licor de cacao, se establece que para el diseño de este molino, de acuerdo a la capacidad de producción y al porcentaje de finura que deberá de tener el producto final, la masa de bolas de acero inoxidable será de 2000kg, la cual representa la mitad del volumen total de la cuba de refinación.

3.4 Diseño de Sistema de Enfriamiento.

Para el diseño de este sistema de enfriamiento se procederá a través de cálculos de transferencia de calor los cuales involucran análisis de flujo de calor, así como también análisis de balance de energía. Este sistema de enfriamiento está basado en un intercambiador de calor de contraflujo en el cual pasa un fluido caliente que es licor de cacao en el interior del cuerpo cilíndrico (tubo de 700mm de diámetro interior) y en su exterior circula agua fría en sentido contrario al que circula el fluido caliente.

Al tratarse de un alimento, en este caso el licor de cacao se debe de calcular ciertas propiedades de este las cuales no son comunes obtenerlas en tablas por lo que la obtención de dichas propiedades es a través de ecuaciones.

Las propiedades que se necesitan para los cálculos siguientes en esta sección, se establecen a continuación:

La densidad del licor de cacao depende de la temperatura, el licor de cacao posee varios componentes para los cuales se debe de calcular la densidad individual de cada uno de sus componentes [7].

$$\rho_w = 997,18 + 0,031439T^\circ - 0,0037574T^2$$

Ecuación 3.42

Dónde:

ρ_w : Densidad del Agua en [Kg/m³].

T: Temperatura a la que se encuentra el fluido en [°C].

$$\rho_p = 1329,9 - 0,51814T^\circ \quad \text{Ecuación 3.43}$$

Dónde:

ρ_p : Densidad de la Proteína en [Kg/m³].

T: Temperatura a la que se encuentra la proteína en [°C].

$$\rho_G = 925,29 - 0,41757T^\circ \quad \text{Ecuación 3.44}$$

Dónde:

ρ_G : Densidad de la Grasa en [Kg/m³].

T: Temperatura a la que se encuentra la grasa en [°C].

$$\rho_c = 1599,1 - 0,31046T^\circ \quad \text{Ecuación 3.45}$$

Dónde:

ρ_c : Densidad del Carbohidrato en [Kg/m³].

T: Temperatura a la que se encuentra el Carbohidrato en [°C].

$$\rho_F = 1311,5 - 0,36589T^\circ \quad \text{Ecuación 3.46}$$

Dónde:

ρ_F : Densidad de la Fibra en [Kg/m³].

T: Temperatura a la que se encuentra la fibra en [°C].

$$\rho_{ce} = 2423,8 - 0,25063T^\circ \quad \text{Ecuación 3.47}$$

Dónde:

ρ_{Ce} : Densidad de la Ceniza en [Kg/m³].

T: Temperatura a la que se encuentra la Ceniza en [°C].

Conductividad Térmica de los Alimentos.

La conductividad térmica varía con la composición de los alimentos, Chois & Oikos en 1987 estimaron la conductividad de los alimentos de acuerdo a su composición, mediante la siguiente expresión [7]:

$$K = \sum (k_i * \chi_{vi})$$

Dónde: K_i = Conductividad Térmica total del componente puro (licor de cacao);

χ_{vi} = Fracción de Volumen de cada componente.

A continuación se presentan las ecuaciones de la conductividad térmica para cada componente mencionado (K_i) [7]:

$$K_w = 0.57109 + 0.0017625 T - 6.7306 E0-6 T^2 \quad \text{Ecuación 3.48}$$

Dónde:

K_w : Conductividad Térmica del Agua en [Kcal/mh°C].

T: Temperatura a la que se encuentra el Agua en [°C].

$$K_p = 0.1788 + 0.0011958 T - 2.7178 \times 10^{-6} T^2 \quad \text{Ecuación 3.49}$$

Dónde:

K_p : Conductividad Térmica de la Proteína en [Kcal/mh°C].

T: Temperatura a la que se encuentra la Proteína en [°C].

$$K_g = 0.18071 + 0.0027604 T - 1.7749 \times 10^{-7} T^2 \quad \text{Ecuación 3.50}$$

Dónde:

K_g : Conductividad Térmica de la Grasa en [Kcal/mh°C].

T: Temperatura a la que se encuentra la Grasa en [°C].

$$K_c = 0.2014 + 0.0013874 T - 4.3312 \times 10^{-6} T^2 \quad \text{Ecuación 3.51}$$

Dónde:

K_c : Conductividad Térmica del Carbohidrato en [Kcal/mh°C].

T: Temperatura a la que se encuentra el Carbohidrato en [°C].

$$K_{ce} = 0.3296 + 0.001401 T - 2.9069 \times 10^{-6} T^2 \quad \text{Ecuación 3.52}$$

Dónde:

K_{ce} : Conductividad Térmica de la Ceniza en [Kcal/mh°C].

T: Temperatura a la que se encuentra la Ceniza en [°C].

$$K_f = 0.18331 + 0.0012497 T - 3.1683 \times 10^{-6} T^2 \quad \text{Ecuación 3.53}$$

Dónde:

K_f : Conductividad Térmica de la Fibra en [Kcal/mh°C].

T: Temperatura a la que se encuentra la Fibra en [°C].

La ecuación 3.53, será utilizada para el cálculo de la fracción de volumen [7]:

$$\chi_{vi} = \frac{\chi_i \rho_T}{\rho_i} \quad \text{Ecuación 3.54}$$

Dónde:

χ_i = Fracción de masa en [Adimensional].

ρ_i = Densidad individual en [Kg/m³].

ρ_T = Densidad del Producto en [Kg/m³].

Composición Química del Licor de Cacao

TABLA 13
COMPONENTES DEL LICOR DE CACAO [7].

CONSTITUYENTES	CONTENIDO
AGUA	1.9
PROTEINA	12.1
GRASAS	56.5
CENIZAS	3.5
FIBRAS	2.5
CARBOHIDRATOS	23.5

Análisis De Flujo De Calor "Resistencias Térmicas"

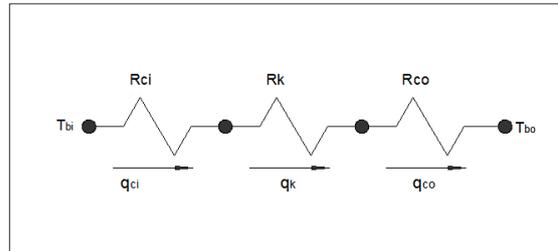


FIGURA 3.14 ANÁLISIS DE FLUJO POR MÉTODO DE RESISTENCIAS.

Dónde:

T_{bi} : Temperatura promedio del licor de cacao [°C].

T_{si} : Temperatura de superficie en el interior “licor de cacao” [°C].

T_{so} : Temperatura de superficie exterior “agua” [°C].

T_{bo} : temperatura promedio del agua [°C].

T_f : Temperatura de película de uno de los fluidos [°C].

R_{ci} : Resistencia a la convección interna “licor de cacao” [W/m hr °C].

R_k : Resistencia a la conducción “acero inoxidable 304” [W/m hr °C].

R_{co} : Resistencia a la convección externa “agua” [W/m hr °C].

R_i : Radio interior ($R_i = 0,350$ m) [m].

R_o : Radio exterior ($R_o = 0,365$ m) [m].

$K_{\text{acero } 304}$: Conductividad térmica del acero inox.304 [Joule/s m °C].

Flujo de Calor de Convección es igual al Flujo de Calor de Conducción, debido a que el sistema se encuentra en serie (Ver Gráfico N°3-14) [8].

$$\frac{\Delta T_1}{R_{conveccion}} = \frac{\Delta T_2}{R_{conduccion}}$$

Ecuación 3.55

$$\frac{\frac{T_{bi}-T_{si}}{1}}{h_{ci} * A_i} = \frac{\frac{T_{si}-T_{so}}{\ln(r_0/r_i)}}{2\pi KL} \Rightarrow T_{so} = T_{si} - \frac{h_{ci} * A_i (T_{bi}-T_{si})}{2\pi KL \ln(r_0/r_i)}$$

Dónde:

h_{ci} : Coeficiente Convectivo Interno [Adimensional].

A_i : Área Transversal [m²].

L : Longitud del Tubo [m].

Análisis Flujo De Calor "Balance De Energía"

Calor Licor de Cacao = Calor Agua, debido a la transferencia de energía entre ambas [8].

$$\dot{m}_{licor} c_{p_{licor}} (T_{h_{licor}} - T_{c_{licor}}) = \dot{m}_w c_{p_w} (T_{h_w} - T_{c_w}) \quad \text{Ecuación 3.56}$$

Dónde:

\dot{m}_{licor} : Flujo másico del licor de cacao ($\dot{m}_{licor} = 200$ Kg/hr) en [Kg/hr].

$c_{p_{licor}}$: Calor específico del licor de cacao ($c_{p_{licor}} = 0.38 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$)

en $[\text{Kcal/Kg}^\circ\text{C}]$.

$T_{h_{licor}}$: Temperatura de entrada del licor de cacao ($T_{h_{licor}} = 94^\circ\text{C}$) en

$[\text{C}]$.

$T_{c_{licor}}$: Temperatura de salida del licor de cacao ($T_{c_{licor}} = 70^\circ\text{C}$) en

$[\text{C}]$.

\dot{m}_w : Flujo másico de agua en $[\text{Kg/hr}]$.

c_{p_w} : Calor específico de agua ($c_{p_w} = 4,17 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$) en $[\text{Kcal/Kg}^\circ\text{C}]$.

T_{h_w} : Temperatura de salida del agua ($T_{c_{licor}} = 16^\circ\text{C}$) en $[\text{C}]$.

T_{c_w} : Temperatura de entrada del agua ($T_{c_{licor}} = 10^\circ\text{C}$) en $[\text{C}]$.

Reemplazando valores en la ecuación 3.56, se tiene:

$$\dot{m}_w = \frac{\dot{m}_{licor} c_{p_{licor}} (T_{h_{licor}} - T_{c_{licor}})}{c_{p_w} (T_{h_w} - T_{c_w})}$$

$$\dot{m}_w = \frac{\left(2000 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}}\right) * \left(0,328 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}\right) * (94-70)^\circ\text{C}}{\left(4,17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * \frac{0,239 \frac{\text{kcal}}{^\circ\text{K}}}{1 \text{ kJ}}\right)}$$

$$\dot{m}_w = 2,193 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

Cálculo de la Velocidad del Agua [8].

$$\dot{m}_w = \rho_w * V_w * A_{TF} \quad \text{Ecuación 3.57}$$

Dónde:

V_w : Velocidad del Agua en [m/s].

A_{TF} : Área de Flujo Transversal ($A_{TF} = 0,0297 \text{ m}^2$) en [m^2].

ρ_w : Densidad del Agua ($\rho_w = 996,27 \text{ Kg/m}^3$) en [Kg/m^3].

Reemplazando valores en la ecuación 3.57, se tiene:

$$\dot{m}_w = \rho_w * V_w * A_{TF}$$

$$V_w = \frac{\dot{m}_w}{\rho_w * A_{TF}} = \frac{2,193 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}}{996,2731 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,02970 \text{m}^2}$$

$$V_w = 0,0741 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Cálculo del Coeficiente Convectivo Interno “Licor De Cacao”

Cálculo de la velocidad del licor de cacao.

Utilizando la ecuación 3.56 pero para el caso del licor, se tiene:

$$\dot{m}_{licor} = \rho_{licor} * V_{licor} * A_{TF}$$

$$V_{licor} = \frac{\dot{m}_{licor}}{\rho_{licor} * A_{TF}} = \frac{2000 \frac{kg}{hr} * \frac{1hr}{3600seg}}{1051,85 \frac{kg}{m^3} * 0,384846m^2}$$

$$V_w = 0,00135 \frac{m}{seg}$$

Cálculo del Número de Reynolds del licor de cacao.

Utilizando la ecuación 3.68 pero para el caso del licor, se tiene:

$$Re_{licor} = \frac{\rho_{licor} * V_{licor} * D_{Hlico}}{\mu_{licor}}$$

$$Re_{licor} = \frac{1051,85 \frac{kg}{m^3} * 0,00135 \frac{m}{seg} * 0,7m}{61,2 \frac{kg}{m \cdot hr \cdot ^\circ c} * \frac{1hr}{3600seg}}$$

$$Re_{licor} = 59,026$$

$$Re_{licor} < 2000 \Rightarrow \text{Flujo Laminar}$$

Al tratarse de un flujo laminar por parte de licor de cacao a través del interior del tubo de 700 mm de diámetro, se deberá calcular el coeficiente convectivo en el interior de dicho tubo.

Cálculo del Coeficiente Convectivo laminar del Licor de Cacao.

Para el cálculo del coeficiente convectivo laminar se hará uso de las ecuaciones establecidas en el libro principios de transferencia de calor por Kreith [8].

$$h_c = 0,023 \frac{K_{f_{licor}}}{D_{Hi}} Re_{licor}^{0,8} Pr^{0,32} \quad \text{Ecuación 3.58}$$

Dónde:

h_c : Coeficiente convectivo turbulento en el interior del ducto por donde pasa el licor [Adimensional].

$K_{f_{licor}}$: Conductividad del Licor a la temperatura dada en [Kcal/mh°C].

Pr : Número de Prandtl en [Adimensional].

Re : Número de Reynolds en [Adimensional].

D_{Hi} : Diámetro del ducto por donde pasa el licor en [m].

Para el cálculo del coeficiente convectivo turbulento las propiedades deben de ser evaluadas a la temperatura de película del fluido, en este caso a la temperatura de película del licor de cacao T_f .

Posteriormente se hará el cálculo del valor del coeficiente convectivo laminar ' h_{cl} ' de acuerdo a la siguiente expresión.

$$h_{cl}=h_c+h_c\left(\frac{D_H}{L}\right)^{0,7} \quad \text{Ecuación 3.59}$$

Dónde:

L: Longitud del ducto en [m].

h_{cl} : Coeficiente convectivo laminar [Adimensional].

Por tratarse de una expresión que depende del valor de propiedades de un fluido en este caso el licor de cacao, las cuales deben de evaluarse de acuerdo al valor de la temperatura de película del fluido, este cálculo se lo realiza de una forma iterativa, hasta que los valores hallados presenten una tendencia hacia un valor bastante aproximado.

Como se explicó anteriormente el cálculo del valor del coeficiente convectivo se lo realizará de forma iterativa, el valor se lo obtenido se deberá comparar con el resultado que se genera de una ecuación de balance de energía a través del intercambiador.

Por tratarse de un sistema de enfriamiento en el que se diseña un intercambiador de calor de contraflujo se debe de realizar un análisis de flujo de calor a través del intercambiador.

Análisis de Flujo De Calor a Través del Intercambiador.

Se establece condiciones ideales:

$$Q_{\text{Conveccion Interna}} = Q_{\text{Intercambiador}}$$

$$h_{ci} A_i (T_{si} - T_{bw}) = U_T A_o \Delta T_{ml} \quad [8] \quad \text{Ecuación 3.60}$$

Dónde:

h_{ci} : Coeficiente convectivo interno [Adimensional].

A_i : Área interna de transferencia de calor en [m²].

$T_{si} - T_{bw}$: Diferencia promedio efectiva de temperatura en [°C].

U_T : Coeficiente total de transferencia de Calor [Adimensional].

ΔT_{ml} : Temperatura media logarítmica en [°C].

A_o : Área externa de transferencia de calor en [m²].

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{h \text{ licor}} - T_{c w}) - (T_{h w} - T_{c \text{ licor}})}{\ln \left| \frac{(T_{h \text{ licor}} - T_{c w})}{(T_{h w} - T_{c \text{ licor}})} \right|} \quad [8] \quad \text{Ecuación 3.61}$$

Dónde:

$T_{h \text{ licor}}$: Temperatura de ingreso del licor a la cuba en [°C].

$T_{c \text{ licor}}$: Temperatura de salida del licor de la cuba en [°C].

$T_{h w}$: Temperatura de ingreso del agua antes de la transferencia en [°C].

$T_{c w}$: Temperatura de salida del agua después de la transferencia en [°C].

$$U_T = \frac{1}{\frac{A_o}{h_{ci} * A_i} + \frac{A_o \ln(r_2/r_1)}{2 * 3,1416 * KL} + \frac{1}{h_{co}}} \quad \text{Ecuación 3.62}$$

Dónde:

h_{co} : Coeficiente convectivo turbulento exterior del agua

[Adimensional].

K: Conductividad a la temperatura dada en [Kcal/mh°C].

L: Longitud de la sección analizada en [m].

Como se observa en la ecuación anterior, U_T depende del valor del coeficiente convectivo turbulento h_{co} , el cual se lo calculará posteriormente.

Cálculo del Coeficiente Convectivo Externo “Agua”

Se determina el valor de la velocidad del fluido frío (agua), el cual es de 0,07411 m/s.

Luego se calcula el valor del número de Reynolds, a través de la ecuación 3.68 pero en este caso el fluido será agua, en la cual todas las propiedades del fluido agua deben de ser evaluadas a la temperatura de película T_f correspondiente a dicho fluido.

$$Re_{licor} = \frac{\rho_{licor} * V_{licor} * D_{Hagua}}{\mu_{licor}}$$

$$Re_{licor} = \frac{996,534 \frac{kg}{m^3} * 0,07411 \frac{m}{seg} * 0,0254m}{0,0008688}$$

$$Re_{licor} = 2159,28$$

Por tratarse de una expresión que depende del valor de propiedades de un fluido en este caso el agua, las cuales deben de evaluarse de acuerdo al valor de la temperatura de película del fluido, este cálculo se lo procede a realizar de una forma iterativa. Para así de esta manera poder relacionarlo con las ecuaciones correspondientes.

Como se estableció anteriormente, el cálculo de los diferentes términos de ecuaciones empleadas en el diseño de este intercambiador se lo realiza de forma iterativa, ya que dichos términos depende de la asunción de un valor como lo es la temperatura de superficie, la cual permite saber el valor de la temperatura de película de un fluido. Por esta razón es que se presenta la tabla N°14 con los resultados obtenidos de las iteraciones.

TABLA 14
PROPIEDADES DEL FLUIDO.

ITERACIONES						
Tsi(°C)	Tf(°K)	hi	Tso(°C)	hco	UT	hci
85	321.99677	2.2599	84.99354	588.098	2.1586	1.911287
90	321.99677	2.2599	89.98277	599.6943	2.158784	1.9114231
83	321.99677	2.2599	92.998	583.5464	2.1585698	1.91123
92.5	321.99677	2.2599	92.477	605.75327	2.1588	1.91149

Elaborado por Andrés Arreaga.

Los resultados del proceso iterativo demuestran que las asunciones antes propuestas son acorde a las condiciones establecidas para el diseño del sistema de enfriamiento. Por lo tanto el valor de caudal obtenido es aquel que deberá de proporcionar la bomba de agua para hacer circular el fluido de enfriamiento.

3.5 Selección de Bomba de Agua.

Se debe de tener en consideración que la bomba es la que permitirá la circulación del agua para el sistema de enfriamiento, la cual es de tipo centrifuga debido a que es la más apropiada para el propósito requerido.

La correcta selección de dicha bomba dependerá de los resultados determinados en el diseño del sistema de enfriamiento, esto es en base a las condiciones iniciales, las cuales son disminuir la

temperatura del licor de cacao para que el calor generado en el proceso de molienda no solo se concentre en el licor de cacao o en las paredes de la cuba de refinación ya que si la temperatura que posee el licor de cacao es muy elevada, esta causará la pérdida de ciertas propiedades del licor que son necesarias para conservar su sabor y aroma.

La principal condición para la correcta selección de la bomba es que deberá proporcionar un caudal de 8 m³/h.

En base a la condición establecida en el caudal y sabiendo que ésta no debe vencer ningún cabezal ya que la entrada al sistema está al mismo nivel de la bomba, entonces se selecciona un modelo de bomba TCPm-190 (Ver Apéndice III) (CATÁLOGO DE BOMBA TCP).

3.6 Selección de Rodamiento

El rodamiento seleccionado deberá tener la función principal de guiar el eje de refinación, la posición para la guía del eje de refinación estará en la parte inferior de la cuba en un dispositivo denominado cajera, es decir el rodamiento estará alojado en una cavidad que posee la cajera de acuerdo a las dimensiones del rodamiento seleccionado.

La condición principal para la correcta selección del rodamiento es la fuerza a resistir, en este caso será una fuerza de tipo radial.

El valor de la fuerza radial que deberá de soportar el rodamiento está dada por la siguiente ecuación:

$$F_{Radial} = \frac{\text{Torque Real}}{\text{Dis tancia de aplicación}} \quad \text{Ecuación 3.63}$$

Dónde:

F_R : Fuerza radial sobre el rodamiento en [N].

T_R : Torque real de rotación sobre el eje en [N-m].

D_i : Distancia donde se ubica la fuerza radial en [m].

Reemplazando valores en la ecuación 3.63, se tiene:

$$F_{Radial} = \frac{12568.98N * m}{0.05m}$$

$$F_{Radial} = 251379.6 [N] = 251.3796 [KN]$$

La selección del rodamiento dependerá de la carga que este deberá de soportar en este caso 251.3796 [KN] y además de eso del diámetro de exterior del eje sobre el cual trabajará, el cual es de 75mm.

Bajo estas condiciones de selección, se selecciona un rodamiento de rodillos cilíndricos NU2315. El cual presenta su geometría de acuerdo al catálogo del fabricante (Ver Apéndice III).

3.7 Selección de Chumacera

El tipo de chumacera a seleccionar es una chumacera de tipo pared que estará ubicada en la parte superior de la estructura del molino refinador debajo de la placa de soporte del motoreductor y servirá de guía para el eje del motoreductor.

La selección de dicha chumacera se realizará en base al diámetro exterior del eje del motoreductor, el cual tiene un diámetro de 100mm, por lo tanto de acuerdo con el catálogo del fabricante de chumacera el modelo de chumacera a seleccionar para un eje de diámetro de 100m es UCFS320D1 (Ver Apéndice III).

3.8 Selección de Acople Mecánico.

El acople que conecta el eje agitador del molino con el eje de salida del motoreductor tiene como función transmitir la potencia entregada por éste y permitir el fácil desensamble del subsistema de molienda o simplemente cuando se requiera hacer mantenimiento a la máquina.

El acople indicado para la transmisión de movimiento entre el eje del motoreductor y el eje refinador se lo obtiene a través de una selección de acuerdo a un tabla de acoples que para este caso se hará uso de una de las tablas del catálogo de Falk.

Para hacer uso de dicho catalogo es importante conocer las características de operación del acople como lo son el torque que deberá soportar y a su vez transmitir al eje refinador, para ello también se debe de conocer la potencia del motoreductor y además de eso la velocidad a la cual rotará.

Cálculo de Cargas en el Acople.

El acople se encontrará sometido a una esfuerzo de torsión el cual se generará debido al torque producido por el motoreductor, por lo cual se producirá un fuerza de tipo cortante, que tendrá su campo de acción sobre los pernos que forman parte del acople.

La potencia del motoreductor es de 100 hp y tiene una velocidad de salida de 171 rpm, estos datos son necesarios ya que por medio de estos se podrá calcular el valor del torque generado a través de la ecuación 3.6:

$$Torque = \frac{Potencia * 63000}{Velocidad \ de \ Rotación}$$

$$Torque = \frac{100 * 63000}{171} = 36842,10526 lb * in$$

Para poder obtener el valor del torque total que se transmite es necesario conocer el valor del factor de servicio para un acople de acuerdo a la funcionabilidad de este.

De acuerdo a la tabla de factores de servicio (ANEXO III) y además de eso conociendo la aplicación del acople se proporciona un factor de servicio de 1,5 pero para este caso se estima un valor que sea el doble de lo que se ha proporcionado, es decir, el valor del factor de servicio será de 3.

Entonces el torque total que se transmite estará dado por la siguiente ecuación [5]:

$$T_R = T_{Nominal} * F_{servicio}. \quad \text{Ecuación 3.64}$$

Dónde:

T_R : Torque Real en [N-m].

$T_{Nominal}$: Torque nominal en [N-m].

$F_{servicio}$: Factor de Servicio [Adimensional].

Reemplazando valores en la ecuación 3.69, se tiene:

$$T_R = 46052,63158 * 3$$

$$T_R = 110526,3158 \text{ lb} * \text{in}$$

Con este valor se selecciona el tipo de acople por medio del uso del catálogo de Falk y además de eso se relaciona las dimensiones del eje con las del agujero del acople previamente seleccionado que dicho catálogo proporcione, para este caso el acople seleccionado

es 1035G que es de tipo G82 y posee las dimensiones que se presenta en la tabla ubicada en el apéndice (VER ANEXO III).

Con estos datos se calcula el número de pernos y el diámetro, de tal manera que el acople resista el torque que se quiere transmitir.

Se selecciona pernos de acero SAE de grado 5 con $S_y = 92000$ psi en la tabla de pernos y se procede a calcular el diámetro:

Dimensiones del Acople.

Como primer paso para el cálculo del diámetro de los pernos es establece una distribución de pernos, es decir la posición en la cual se harán los agujeros para los pernos calculados, posteriormente se asume un número de pernos sobre los cuales estará distribuida la fuerza que se produce debido al torque entregado por el motoreductor.

El diámetro en el cual se posicionarán los agujeros está expresado en el catálogo del fabricante de acoples, en el cual también se indica el diámetro del perno pero para este caso se realiza el cálculo de dicha dimensión y se relacionará dichas dimensiones de la cual se escogerá una finalmente, para el acople seleccionado la posición de los agujeros equivale a una diámetro de 182mm.

Como inicialmente se indicó, se debe asumir un número de pernos los cuales estarán distribuidos de manera que indique el catalogo del fabricante de acoples, para este diseño el número de pernos es 8, además de eso también se debe asumir el tipo de perno, que para el caso se selecciona pernos clase 4,6 con un SY=420 Mpa.

Como ya se tiene los valores del diámetro en el que se posicionarán los pernos y además el número con el cual constará el acople entonces se procede a calcular el valor de la fuerza que actúa sobre cada uno de los pernos, dicho valor se lo obtiene con la siguiente ecuación [5]:

$$T_R = F_T * R_p \quad \text{Ecuación 3.64}$$

Dónde:

T_R =Torque Real en [N - m].

F_T =Fuerza Total en [N].

R_p =Radio de Posición en [m].

F_D =Fuerza Distribuida en [N].

$$F_T = \frac{T_R}{R_p} = \frac{12568,98}{\frac{0,182372}{2}} = 137825,768N$$

$$F_D = \frac{137825,768}{8} = 17228,2203N / \text{perno}$$

Posteriormente al cálculo de la fuerza que soportará cada perno se debe de obtener un expresión que permita obtener el valor del diámetro de cada uno, para ello se calcula el esfuerzo que soportará y se lo relacionará con el valor del esfuerzo permisible de acuerdo al tipo de perno que se seleccionó para este caso, el valor del esfuerzo permisibles será $SSY=0,5*SY = 120 \text{ Mpa}$.

$$\tau = \frac{F_D}{A_p} = \frac{4F_D}{\pi*d_p^2} \quad \text{Ecuación 3.65}$$

Dónde:

d_p : Diámetro del perno en [m].

τ : Esfuerzo de Corte sobre los pernos en [Pa].

Entonces sustituyendo valores en la ecuación 3.65, se tiene:

$$\tau = \frac{F_D}{A_p} = \frac{4F_D}{\pi*d_p^2} = S_{SY}$$

$$d_p = \sqrt{\frac{4F_D}{\pi*S_{SY}}}$$

$$d_p = \sqrt{\frac{4*17228,2203}{\pi*120000000}}*1000 = 13,52mm$$

De acuerdo a los cálculos antes realizados se establece 8 pernos M14mm.

Diseño de Cuña y Chavetero.

La cuña y chavetero son los elementos encargados de transmitir el torque de salida del motoreductor hacia el cuerpo de molienda, por

medio del eje agitador, en este caso se trata de una cuña paralela cuadrada, que encaja en el chavetero.

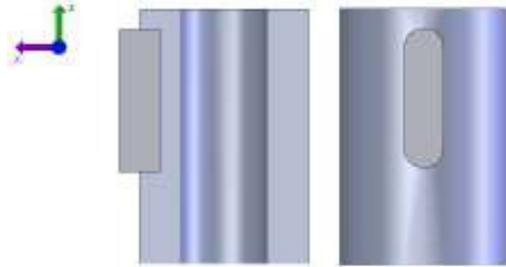


FIGURA 3.15 DISEÑO DE FORMA DE LA CUÑA Y CHAVETERO.

El material de la cuña es acero AISI 1045, se selecciona este material de baja resistencia en comparación con el material del eje y el acople, para que sirva como elemento fusible y se rompa en caso de existir alguna sobrecarga en el torque de trabajo proyectado y de esta manera proteger los elementos más importantes del sistema de molienda. El chequeo de diseño que se realizó consistió en:

- Determinación de la carga sobre la cuña.
- Cálculo de los esfuerzos presentes en el conjunto cuña.
- Comparación de los esfuerzos de trabajo con la resistencia del material.

Para el diseño de la cuña se seguirán los pasos anteriormente propuestos, siendo el primero de ellos el de determinar el valor de la carga del tipo cortante que se encuentra actuando sobre la cuña, esto

se hace a partir de la relación entre el torque que se debe de transmitir y la posición de la cuña, dicha relación se la obtiene a partir de la siguiente expresión [5]:

$$T_R = F_{Chaveta} * R_{CH} \quad \text{Ecuación 3.66}$$

Dónde:

F_{Chavt} : Fuerza actuante sobre la chaveta en [N].

R_{ch} : Posición de la cuña sobre el eje refinador en [m].

Sobre la chaveta actúa una carga de tipo cortante cuyo valor se obtiene despejando $F_{Chaveta}$ de la expresión anterior, pero para eso se debe de conocer el valor de R_{CH} que es la posición de la chaveta sobre el eje refinador la cual corresponde al radio del eje que en este caso es 50 mm, por lo tanto el valor de la fuerza que actúa sobre la chaveta es:

$$T_R = F_{Chaveta} * R_{CH}$$

$$F_{Chaveta} = \frac{T_R}{R_{CH}} = \frac{12568,9897}{0,050}$$

$$F_{Chaveta} = 251379,794 \text{ N}$$

Si sobre una determinada área de la chaveta se encuentra actuando una fuerza de tipo cortante, entonces se generará un esfuerzo también de tipo cortante que para este caso dependerá de las

dimensiones que presente la chaveta, lo cual es necesario para así poder obtener la dimensión de la chaveta, para ello se relacionará el esfuerzo generado por la fuerza cortante con la resistencia al corte que presenta al material.

El esfuerzo que soporta la chaveta está dado por la siguiente expresión [5].

$$\tau_{Chaveta} = \frac{F_{Chaveta}}{A_{Chaveta}} \quad \text{Ecuación 3.67}$$

Dónde:

F_{Chavt} : Fuerza actuante sobre la chaveta en [N].

A_{ch} : Area de la chaveta en [m].

$$\tau_{Chaveta} = \frac{F_{Chaveta}}{A_{ncho} * L_{ongt.}}$$

Como se explicó anteriormente se debe de obtener el valor del área de la chaveta, la cual es una área paralela a la línea de acción de la fuerza cortante y además dicha área se encuentra establecida por uno de los lados de la chaveta que es el ancho y también por la longitud de la chaveta, para este caso se seleccionará la longitud de la chaveta y se calculará el ancho de la chaveta.

La longitud de la chaveta que se seleccionará será de 160mm y se conoce además la resistencia al esfuerzo cortante de material que

para el caso es acero AISI 1045 cuya resistencia a la tensión es de 310 Mpa, por lo tanto su resistencia al esfuerzo cortante será $S_{SY}=0,5*SY=155$ Mpa.

A través del uso de la teoría de la energía de la distorsión, la cual establece que [1]:

$$n_F = \frac{S_{SY}}{\tau_{Chaveta}}$$

$$n_F = \frac{S_{SY}}{\frac{F_{Chaveta}}{Ancho * Longitud}}$$

Ecuación 3.68

Dónde:

n_f : Factor de seguridad de la chaveta [Adimensional].

S_{Sy} : Resistencia del material al corte en [Pa].

τ_{chav} : Esfuerzo cortante sobre la chaveta en [m].

Se observa que la ecuación 3.68 depende del valor de n_f , por lo cual se considera un factor de seguridad de 2,5 (criterio conservador del diseño) para la chaveta, entonces de la ecuación 3.68 se despeja el ancho de la chaveta y reemplazando valores se tiene:

$$\begin{aligned}
 \text{Ancho} &= \frac{F_{\text{Chaveta}}}{\text{Longitud} * \frac{S_{SY}}{n_F}} \\
 &= \frac{251379,794}{0,16 * \frac{155000000}{2,5}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Ancho} = 0,025m = 25mm$$

El valor del ancho de la chaveta es de 25mm, pero no es una medida estándar por lo cual se selecciona una chaveta con un ancho de 28 mm con una tolerancia de 0.035 (Ver Apéndice III), su longitud será la antes seleccionada de 160mm.

3.9 Selección Del Motor.

Se verifica si la potencia calculada coincide con la potencia establecida inicialmente.

CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR.

La potencia requerida para la refinación del licor de cacao está dividida en la potencia para la mezcla y la potencia necesaria para la agitación de las bolas de acero inoxidable.

CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA MEZCLA.

Para obtener el valor de la potencia necesaria para la mezcla del licor de cacao inicialmente se establece que el eje de refinación se tratará como si fuese un agitador en posición vertical, por lo que se necesitan conocer ciertas características de los agitadores comerciales, las cuales se muestra en el anexo (VER ANEXO III).

Inicialmente es necesario calcular el valor del número de Reynolds del licor de cacao para determinar si el flujo es laminar o turbulento.

$$Re_{licor} = \frac{\rho_{licor} * V_{licor} * D_{Hlico}}{\mu_{licor}} \quad [2] \quad \text{Ecuación. 3.69}$$

Dónde:

ρ_{licor} : Densidad licor de cacao en $[Kg/m^3]$

V_{licor} : Velocidad licor de cacao en $[m/s]$

μ_{licor} : Viscosidad licor de cacao en $[Kg/m s]$

Re_{licor} : Número de Reynolds $[Adimensional]$

Utilizando la ecuación 3.69, se tiene:

$$Re_{licor} = \frac{\rho_{licor} * V_{licor} * D_{Hlico}}{\mu_{licor}}$$

$$Re_{licor} = \frac{1051,85 \frac{kg}{m^3} * 0,00135 \frac{m}{seg} * 0,7m}{61,2 \frac{kg}{m \cdot hr \cdot ^\circ c} * \frac{1hr}{3600seg}}$$

$$Re_{licor} = 59,026$$

$$Re_{licor} < 2000 \Rightarrow \text{Flujo Laminar}$$

La potencia de la mezcla está dada por la siguiente ecuación [9]:

$$P_{mezcla Licor} = \frac{K_L * N^2 * D_a^3 * \mu_{licor}}{g} \quad \text{Ecuación 3.70}$$

Donde:

K_L : Constante de Agitación

N^2 : Velocidad de rotación del eje del agitador en [rad/s].

D_a : Diámetro del Agitador en [m].

g : Gravedad en [m/s²].

La constante de agitación se multiplicará por el número de aspas que posea el eje de refinación, reemplazando valores en la ecuación 3.70, se tiene:

$$P_{mezcla Licor} = \frac{K_L * N^2 * D_a^3 * \mu}{g}$$

$$P_{mezcla Licor} = \frac{(65 \times 30) * (2.85)^2 * (0.65)^3 * 61.2}{9.81}$$

$$P_{mezcla Licor} = 27136.06158 \text{ Watts}$$

La potencia necesaria para la agitación de los cuerpos molturadores (bolas de acero inoxidable) se la determinará a partir de un PAPER [10], cuya información estaba basada en el consumo de energía por una masa determinada de bolas de acero inoxidable. La información presentada en dicho documento es esencial para el desarrollo de la tesis debido a que se establece una correlación entre la velocidad que del agitador ya la potencia consumida por los cuerpos molturadores (bolas de acero inoxidable), dicha correlación presenta un valor de $r = 0,997$ por lo que la relación de los datos obtenidos en dicho ensayo es una relación lineal, lo cual permite obtener el consumo de energía de los cuerpos molturadores de acuerdo a las condiciones del diseño como lo es la velocidad de rotación y la cantidad en masa de bolas de acero inoxidable.

Para el molino el cual rota a una máxima velocidad de 50 rpm, la energía consumida por las bolas de acero inoxidable

es de 2495.6 Joule/kg [10]. Entonces para este caso dicha energía será de 8534.952 Joule/Kg.

Para el cálculo de la potencia necesaria para la agitación de los cuerpos molturadores (bolas de acero inoxidable) se lo realiza a través de la ecuación 3.71.

$$P_{Bolas} = \frac{E_{Bolas} * m_{bolas}}{t_{agitacion}} \quad \text{Ecuación 3.71}$$

Donde:

P_{Bolas} : Potencia requerida por bolas de acero en [W].

$t_{agitación}$: Tiempo de agitación en [s].

m_{Bolas} : Masa de bolas de acero en [Kg].

A través de la investigación realizada del proceso de refinación del licor de cacao, este deberá permanecer por un tiempo aproximado de 10 minutos. Además de eso la cantidad de bolas de acero inoxidable para este diseño de acuerdo a la capacidad de producción es aproximadamente de 2000 kg.

Reemplazando los valores en la ecuación 3.71, se tiene:

$$P_{Bolas} = \frac{E_{Bolas} * m_{bolas}}{t_{agitacion}}$$

$$P_{Bolas} = \frac{8534.952[J/kg] * 2000[kg]}{600[s]}$$

$$P_{Bolas} = 28449.84 \text{ Watts}$$

Después de calcular la potencia necesaria para el licor de cacao y la potencia requerida por los cuerpos molturadores, se obtiene finalmente la potencia de la mezcla, a través de la ecuación 3.72:

$$P_{total\ mezcla} = P_{Mezcla} + P_{Bolas} \quad \textbf{Ecuación 3.72}$$

Reemplazando valores en la ecuación 3.72, se tiene:

$$P_{total\ mezcla} = P_{Mezcla} + P_{Bolas}$$

$$P_{total\ mezcla} = 27136.061 [Watts] + 28449.84 [Watts]$$

$$P_{total\ mezcla} = 55585.901 [Watts]$$

Se asume una eficiencia del motoreductor del 77% [2], entonces se obtiene la potencia requerida por todo el sistema y esto se logra a través de la siguiente ecuación.

$$\eta = P_{total\ mezcla} / P_{requerida} \quad \textbf{Ecuación 3.73}$$

Donde:

η : Eficiencia mecánica

$P_{\text{total mezcla}}$: Potencia Total de la Mezcla en [W].

$P_{\text{requerida}}$: Potencia requerida en [W].

A través de la ecuación 3.73 se obtiene el valor de la Potencia requerida.

$$P_{\text{Requerida}} = \frac{P_{\text{Total Mezcla}}}{\eta}$$

$$P_{\text{Requerida}} = \frac{55585.901}{0,77}$$

$$P_{\text{Requerida}} = 72189.48 [\text{Watts}]$$

Del valor calculado anteriormente, se establece que el motoreductor que deberá ser seleccionado deberá tener una potencia de 75 KW, lo que corresponde a la asunción establecida.

3.10 Selección de Bomba de Pasta de Cacao.

Las bombas de desplazamiento positivo en especial las de engranajes exteriores son adecuadas para el proceso de producción de licor de cacao, es decir son las indicadas para el bombeo de licor de cacao y además aun cuando el licor de cacao inicialmente se encuentra en un estado cuya valor de viscosidad es alto, la bomba de engranajes tiene la capacidad de desplazar el volumen contenido

en su interior, esto dependiendo del caudal que esta pueda proporcionar, el cual debe de ser igual o superior al caudal necesario de acuerdo a la capacidad de producción.

Para la correcta selección de la bomba para pasta de cacao, esta deberá ser en base al caudal de entrada a la cámara de refinación, el cual es determinado haciendo un análisis a un determinado volumen de control, que para este caso será la cámara de refinación, estableciendo inicialmente condiciones ideales es decir, lo que entra a la cámara de refinación deberá ser igual a lo que sale. Es por esta razón que al conocer que la salida del licor de cacao deberá ser de 2500 kg/h. se conoce el caudal que debe proporcionar la bomba.

Del catálogo THOUET KG-MASCHINENBAU se selecciona el modelo de bomba ZP63/1F, el cual proporción un caudal de 2700l/h (Ver Apéndice III).

3.11 Selección de Elementos de Control

El elemento control principal es el termómetro que es aquel que indica el valor de temperatura del licor de cacao refinado a la salida

del molino refinador. Este elemento deberá tener un rango de medición superior al valor de temperatura que se estima a la cual el licor de cacao refinado tenga a la salida.

3.12 Diseño de Estructura del Molino Refinador.

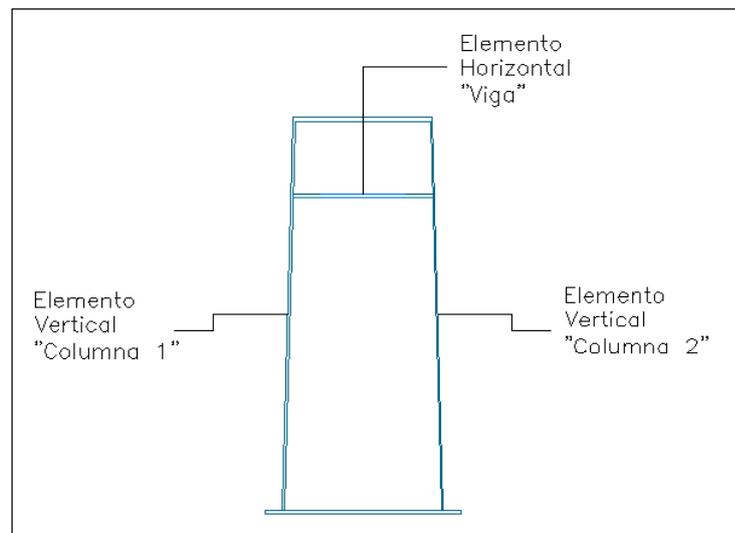


FIGURA 3.16 DISEÑO DE FORMA DEL MOLINO REFINADOR.

La estructura del molino refinador está compuesta por dos placas verticales que conforman el cuerpo del molino y una placa horizontal sobre la cual estará apoyado el motoreductor de velocidad, como se muestra en la figura 3.16.

El diseño de dicha estructura estará basado en diseño del esfuerzo cortante máximo, en el cual se calculará el área de los elementos que

conforman la estructura, estableciendo un modelo matemático el cual permita encontrar la mejor solución para el diseño.

Inicialmente se procederá diseñando la placa sobre al cual estará apoyado el motoreductor, esto será estableciendo un modelo matemático de una viga doblemente empotrada y luego serán diseñadas las placas verticales a través de un modelo matemático de una columna y finalmente el diseño de la soldadura que permitirá dar continuidad a los elementos que conforman la estructura.

Diseño De Elemento Horizontal “Viga”.

Para el diseño del elemento horizontal el cual es un placa de un espesor determinado y que soporta el peso del motor más el peso del conjunto refinador el cual incluye el peso del eje más los pines de refinación y de los discos colocados en el eje, se establecerá el modelo matemático de un viga la cual se encuentra doblemente empotrada y que también está soportando un carga distribuida del peso del motor más una carga puntual que corresponde al conjunto refinador así llamado, esto se observa en la figura 3.17.

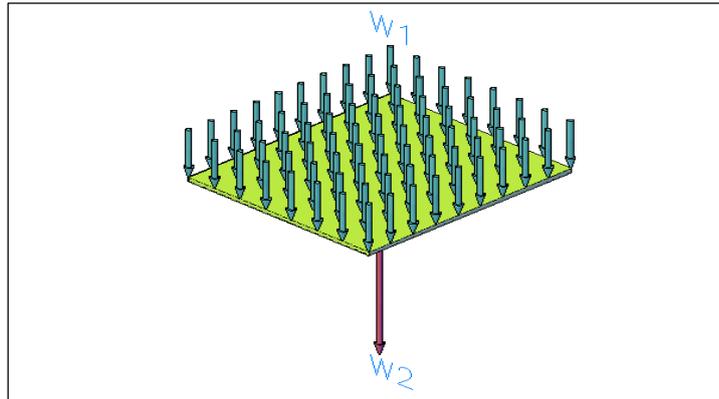


FIGURA 3.17 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS SOBRE LA PLACA.

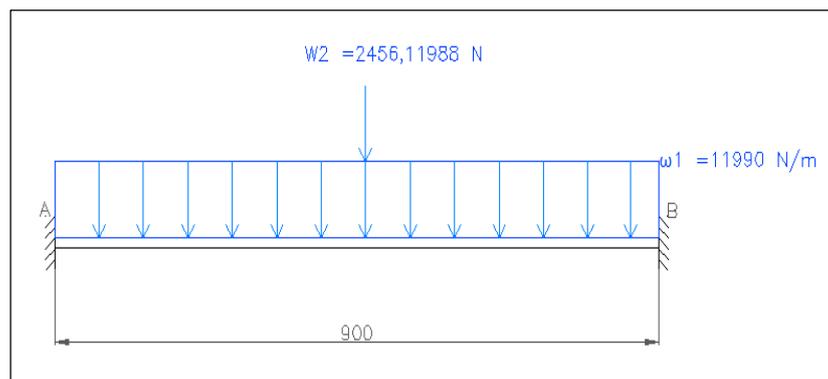


FIGURA 3.18 MODELO MATEMÁTICO DE LA PLACA DE SOPORTE.

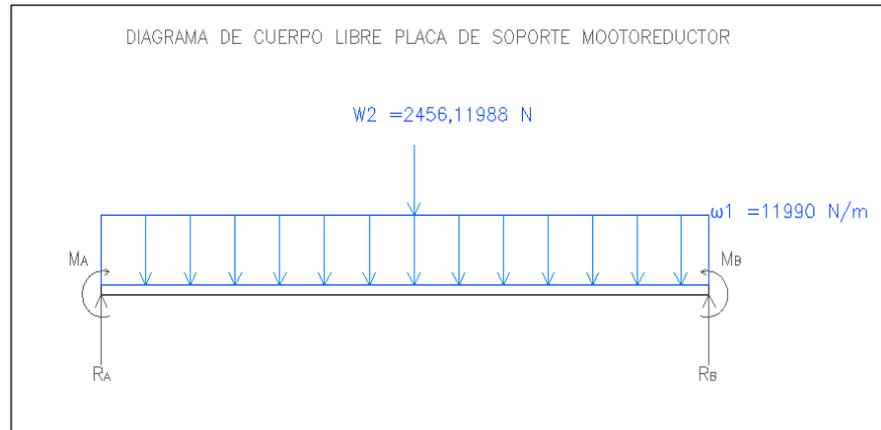


FIGURA 3.19 D.C.L DE LA PLACA DE SOPORTE.

Como se puede observar en las figuras anteriores en las cuales están representados el modelo matemático y el diagrama de cuerpo libre de la placa de soporte del motorreductor y siendo este último el necesario para realizar el diseño de dicha placa, ya que el paso siguiente a realizar es el cálculo de las reacciones allí establecidas. Para la obtención de los valores de las reacciones existen 3 métodos, pero para este caso se hará uso del método de área de momentos.

El método de área de momentos establece tres ecuaciones que permiten la resolución para una viga doblemente empotrada, la cual es un sistema estáticamente indeterminado en la cual, las ecuaciones de equilibrio no son suficientes para poder resolver dicho sistema, por lo que inicialmente se hace uso de dos de ellas, además

del uso de la tabla 7-2 del libro de resistencia de materiales de Singer y de la elaboración de un diagrama que es denominado diagrama de momentos, el cual se muestra en figura 3.20. Y es en base a esta figura, se calcula los términos de las ecuaciones como lo son el área y el centroide dependiendo del punto de análisis.

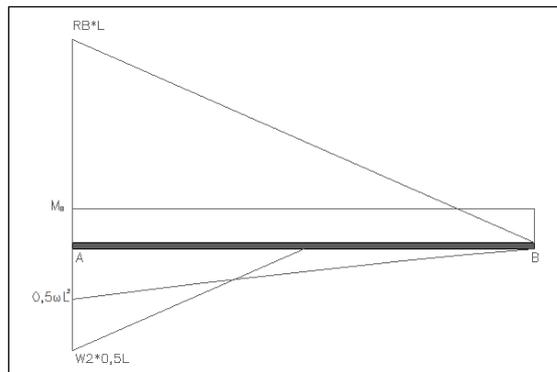


FIGURA 3.20 DIAGRAMA DE MOMENTOS DE LA PLACA DE SOPORTE.

$$EI\theta_{AB} = \text{Área}_{AB} = 0$$

$$EI t_{B/A} = (\text{Área}_{AB}) * \bar{x}_B = 0$$

$$EI t_{A/B} = (\text{Área}_{AB}) * \bar{x}_A = 0$$

$$EI\theta_{AB} = \text{Área}_{AB} = 0$$

$$EI\theta_{AB} = \frac{1}{2}(0,9R_B) + 0,9M_B - \left[\frac{1}{2}(2456*0,45*0,45) \right] - \left[\frac{1}{3}0,9 \left(0,9\omega \frac{L^2}{2} \right) \right]$$

Dónde:

R_B : Reacción en el punto B en [N].

M_B : Momento debido al empotramiento en el punto B en [N-m].

L: Longitud de la zona analizada en [m].

W: Carga distribuida sobre la placa en [N/m].

Estableciendo la sumatoria de momento en el punto B, se determina la reacción en dicho punto [1]:

$$\sum M_{RB} = 0$$

$$0,405R_B + 0,9M_B - 1705,465 = 0$$

$$EI t_{A/B} = (\text{Área}_{AB}) * \bar{x}_A = 0$$

$$EI t_{A/B} = 0,405R_B \left(\frac{0,9}{3}\right) + 0,405M_B - 248,68 \left(\frac{0,45}{3}\right) - 1456,785 \left(\frac{0,9}{4}\right)$$

$$0,1215R_B + 0,405M_B - 365,0786 = 0$$

Empleando el método de área de momentos resulta un sistema de dos ecuaciones y de dos incógnitas las cuales mediante su

resolución darán como resultado el valor de la reacción R_B y del momento del empotramiento M_B .

Entonces el sistema de ecuaciones es:

$$0,1215R_B + 0,405M_B - 365,0786 = 0$$

$$0,405R_B + 0,9M_B - 1705,4655 = 0$$

Con la obtención de los valores antes mencionados se hará uso de las ecuaciones de equilibrio estático, las cuales a través de su resolución permiten hallar el valor de las demás incógnitas que son R_A y M_A , para ello luego de realizar la resolución de todos los sistemas de ecuaciones, se obtiene los valores de las reacciones y de los momentos en los empotramientos.

Una vez resuelto las ecuaciones establecidas, los resultados son:

$$R_B = 6623,54 \text{ N}$$

$$R_A = 6623,57 \text{ N}$$

$$M_B = -1085,6362 \text{ N.m}$$

$$M_A = -1085,6271 \text{ N.m}$$

Inicialmente se supondrá que la placa de soporte del motoreductor está sometida solo a flexión. Por lo que la siguiente ecuación será empleada para poder calcular el espesor de la placa de soporte.

$$\sigma_{Flexion} = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación 3.74}$$

Donde:

M: Momento debido a la flexión en [N-m].

c: Distancia desde el centroide hasta la superficie en [m].

I: Momento de Inercia en [m⁴].

Entonces:

$$\sigma_{Flexion} = \frac{M_{max} * h / 2}{\frac{1}{12}bh^3}$$

$$\Rightarrow h = \sqrt{\frac{6M_{max}}{b * \sigma_{Flexion}}} = \sqrt{\frac{6 * 1085,634}{0,8 * 248,04 \times 10^6}}$$

$$\Rightarrow h = 5,72 \times 10^{-3} m$$

Dentro del diseño de la placa de soporte se debe de considerar el peso propio de la placa esto es el M_{max} y añadirle el M_{pp} (momento debido a su propio peso), debido a esto la ecuación para el cálculo del espesor queda establecida de la siguiente manera.

$$h = \sqrt{\frac{6(M_{max} + M_{pp})}{b * \sigma_{Flexion}}} \quad \text{Ecuación 3.75}$$

Dónde:

$\sigma_{\text{Flex.}}$: Esfuerzo debido a la flexión en [Pa].

El momento debido a su propio peso M_{pp} es 97 N-m. Por lo cual se deberá obtener un nuevo valor de espesor con la ecuación 3.75.

$$h = \sqrt{\frac{6(1085,634 + 97,154)}{0,8 * 248,08 \times 10^6}}$$

$$h = 5,98 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Como se observa el valor calculado es un valor pequeño, por lo que se deberá comprobar si dicho resultado es confiable y esto se lo realizará a través de la deflexión que la placa soporta debido a la acción de las cargas.

El cálculo de la deflexión máxima se lo hará a través del método de superposición para vigas doblemente empotradas el cual dependiendo de los empotramientos y del tipo de cargas aplicadas presenta diversos casos en la tabla 7-2 del libro Singer. De acuerdo al tipo de cargas aplicadas se establece la siguiente ecuación para obtener el valor de la deflexión máxima [1].

$$EIy = \frac{PL^3}{192} + \frac{\omega L^4}{384}$$

Ecuación 3.76

Dónde:

E.: Modulo de Young del material en [Pa].

I: Inercia del elemento en [m⁴].

P: Carga puntual en [N].

W: Carga distribuida en [N].

y: Deformación en el centro de la viga en [m].

L: Longitud analizada en [m].

Reemplazando los valores en la ecuación 3.76 se obtiene el valor de la deflexión máxima de la placa de soporte el cual es de 0,01035 m = 10,35 mm.

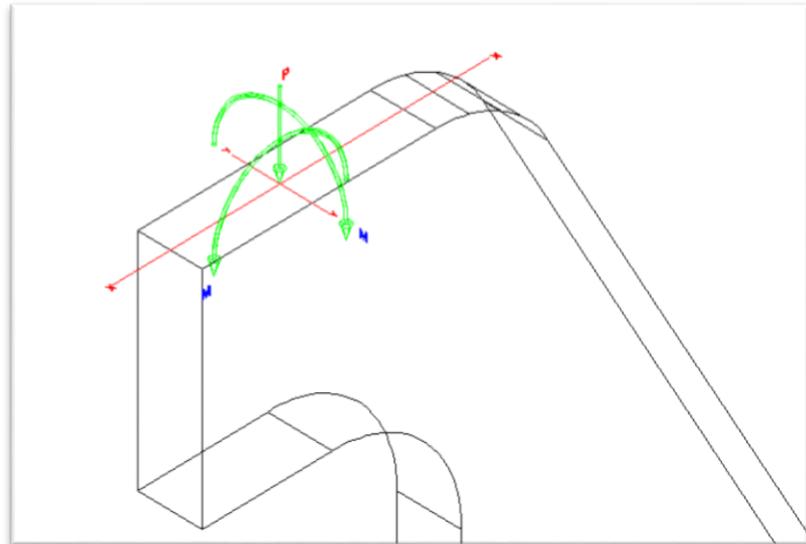
Es por esta razón que se selecciona un valor de espesor mayor que para este caso será de 20mm.

Diseño De Elemento Vertical "Columna".

La forma de la estructura del molino refinador consiste en la unión de un elemento horizontal y dos verticales, el diseño del elemento horizontal se lo realizo anteriormente esto a través de las cargas principales a las cuales está sometido, pero como se mencionó, la estructura está conformada por 3 elementos de los cuales dos de ellos por lo menos deben de estar en contacto o unidos para que

exista una distribución de las cargas a las cuales está sometida la estructura. El contacto o la unión de los elementos se hará de manera permanente a través de cordones de soldadura, por lo que los cálculos de las reacciones en la viga servirán como las cargas a las cuales estará sometida la columna.

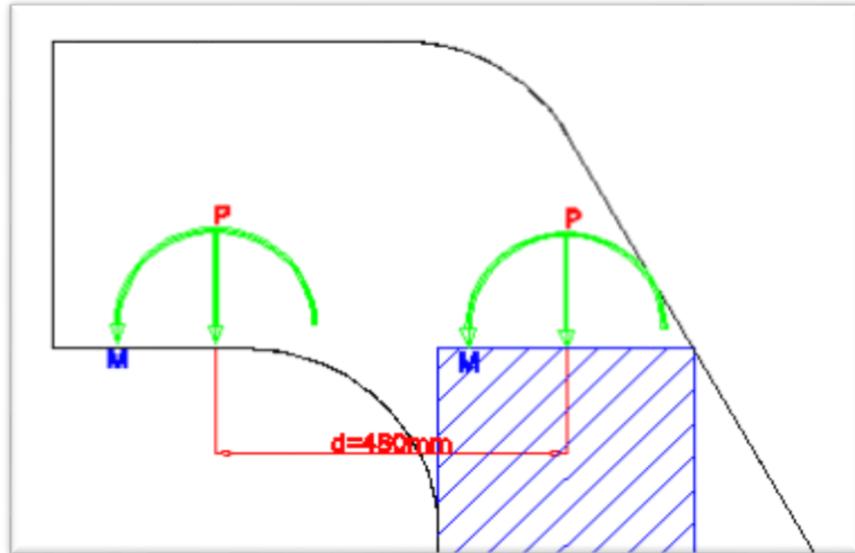
El diseño del elemento vertical se lo realizará estableciendo el modelo matemático de una columna la cual se encuentra soportando las cargas como se muestra en la figura.



Elaborado por Andrés Arreaga.

FIGURA 3.21 D.C.L DE LA COLUMNA.

De acuerdo a lo mostrado en la figura 3-21, las cargas principales son aquellas cargas que son calculadas como reacciones en la viga esto es la carga P y el momento M , estas cargas están representadas en un plano cartesiano de coordenadas denominado plano YZ , dentro del análisis se observa que la misma carga P es capaz de producir un momento en otra dirección, es decir en otro plano de coordenadas XZ . Esto es debido a que la sección transversal de la columna no es uniforme a lo largo de su longitud, por lo tanto para el diseño de dicho elemento vertical se tomará como sección transversal la menor sección de acuerdo al diseño de forma preliminar. Tomándose la menor sección transversal la carga P debe de ser trasladada a un punto de dicha sección, por medio del principio de transmisibilidad se logra el desplazamiento de una carga más la generación de un momento como se muestra en la figura 3.22.



Elaborado por Andrés Arreaga.

FIGURA 3.22 TRANSMISIBILIDAD DE LA CARGA

Para el diseño se necesitan los valores de las cargas a las cuales estará sometida la columna como las dimensiones iniciales las cuales deberán ser comprobadas y también el tipo de material que se empleará para el diseño final.

P: Carga Vertical: 6623,54 N ; b: Espesor de la columna :16mm ; h:

Ancho de la columna :480mm ; L: Altura de la columna: 2050mm

El material a emplearse será acero estructural A36 cuyo valor de esfuerzo será de 250 Mpa.

A partir de los valores antes descritos se calculan las propiedades de la sección como I_{xx} : Inercia respecto al eje x, I_{yy} : Inercia respecto al eje y, el radio de giro respecto a los s ejes X y Y.

Propiedades de la sección

$$P = 6623,54N$$

$$b = 16mm$$

$$h = 480mm$$

$$L = 2050mm$$

Área de la sección:

$$A = b * h$$

$$A = 7,635875 \times 10^{-2} m^2$$

Inercias respecto a los ejes X y Y:

$$I_{xx} = \frac{1}{12}bh^3 = 1,4722 \times 10^{-4} m^4$$

$$I_{yy} = \frac{1}{12}b^3h = 1,6036 \times 10^{-7} m^4$$

Radio de giro respecto a los ejes X y Y:

$$r_{xx} = \sqrt{\frac{I_{xx}}{A}} = 0,1388m$$

$$r_{yy} = \sqrt{\frac{I_{yy}}{A}} = 4,5826 \times 10^{-3} m$$

El diseño de la columna involucra la comparación entre el esfuerzo admisible y el esfuerzo bajo el cual trabajará dicho elemento vertical,

para ello se debe calcular los esfuerzos de acuerdo a las ecuaciones respectivas.

Cálculo del esfuerzo de trabajo

$$\sigma_{admisible} \geq \frac{\sum P}{A} + \frac{Mc}{I_{xx}}$$

$$\sigma_{admisible} \geq \frac{6623,54}{7,635 \times 10^{-3}} + \frac{(6623,54 * 0,836)(0,480/2)}{1,4722 \times 10^4}$$

$$\sigma_{admisible} \geq 9,9215 \text{ Mpa}$$

Cálculo del esfuerzo de trabajo

Para el cálculo del esfuerzo admisible se debe establecer el tipo de columna que se está diseñando, esto se logra comparado la relación de esbeltez crítica vs la relación (L_e/r) longitud efectiva sobre el radio de giro [1].

Relacion de esbeltez crítica :

$$Cr = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{\sigma_{fluencia}}} = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 200 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 125,66$$

Relacion L_e/r :

$$\frac{L_e}{r} = \frac{0,5L}{r_{yy}} = \frac{0,5 * 2050}{4,5826} = 223,672$$

$$\frac{L_e}{r} > Cr \Rightarrow \text{Columna Larga}$$

Para una columna larga el esfuerzo admisible está dado de la siguiente manera [1].

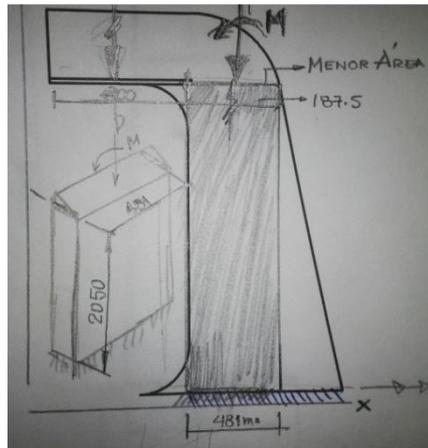
$$\sigma_{admisible} = \frac{12 * \pi^2 * E}{23 \left(\frac{L_e}{r}\right)^2}$$

$$\sigma_{admisible} = \frac{12 * \pi^2 * (200 \times 10^9)}{23 (223,67)^2}$$

$$\sigma_{admisible} = 20,5854 \text{ Mpa}$$

Mediante los cálculos antes realizados se observa que las dimensiones seleccionadas siendo el espesor la dimensión más crítica están satisfaciendo las condiciones de diseño, pero para saber si esto es verdad las mismas dimensiones deberán satisfacer las condiciones en el plano xz.

En el plano XZ la columna está sometida a la acción de un momento como se muestra en la figura.



Elaborado por Andrés Arreaga.

FIGURA 3.23 D.C.L EN EL PLANO XZ.

Cálculo del esfuerzo de trabajo

$$\sigma_{admissible} \geq \frac{\sum P}{A} + \frac{Mc}{I_{yy}}$$

$$\sigma_{admissible} \geq \frac{(1085,6362)(0,016/2)}{1,6036 \times 10^{-7}}$$

$$\sigma_{admissible} \geq 53,735 \text{ Mpa}$$

Para este análisis el esfuerzo admisible no satisface las condiciones de diseño, es decir el esfuerzo de trabajo es mayor que el esfuerzo admisible, para ello se debe de cambiar una de las dimensiones en este caso será el espesor el cual será de 20mm, para lo cual nos da los siguientes valores de esfuerzos admisible y esfuerzos de trabajo.

$$\sigma_{Trabajo\ YZ}=7,875182MPa$$

$$\sigma_{Trabajo\ XZ}=26,204547MPa$$

$$\sigma_{admisible}=32,675045MPa$$

DISEÑO DE CUBIERTA SUPERIOR

Para el diseño de este componente se deberá de obtener el valor de la presión interna en el cilindro, esta presión será debida a la presión hidrostática del fluido sumada a la presión ejercida por la cantidad de bolas de acero y la presión que se genera por en el ambiente de trabajo de acuerdo a la temperatura del fluido.

$$Presion\ de\ diseño = \rho_{licor} * g * h$$

$$Presion\ de\ diseño = 1080 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 1$$

$$Presion\ de\ diseño = 10594,8 \frac{N}{m^2}$$

De la tabla del manual “MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION” para grupos de acero inoxidable el valor S de la resistencia del material en este caso es acero AISI 304, será obtenido en base a la temperatura de entrada del licor de cacao que es el caso extremo, es decir la máxima temperatura a la cual estará sometido el material, cuyo valor es de 94°C, la cual equivale a 201,2°F.

De acuerdo a lo explicado anteriormente en la tabla 2, a una temperatura de 200°F el valor de la resistencia del material es de 15,7 Kpsi., el cual equivale a 108,173 Mpa.

Por medio del manual se establece que la presión interna de un recipiente cilíndrico está regida por la siguiente ecuación:

$$\text{Presion de diseño} = \frac{S * E * t}{R + 0,6t} \quad \text{Ecuación 3.77}$$

Dónde:

S = Resistencia del Material

E = Eficiencia de la junta de soldadura

R = Radio interior

t = Espesor del material

Asumiendo una eficiencia de junta de soldadura de 0,7 y reemplazando los valores:

$$Presion\ de\ diseño = \frac{108173000 * 0,7 * 0,15875}{0,35 + (0,6 * 0,15875)}$$

$$Presion\ de\ diseño = 2731982,869 \frac{N}{m^2}$$

Para un recipiente de pared delgada el esfuerzo a la cual se encuentran sometidas las tapas se lo calcula a través de la ecuación del esfuerzo circunferencial.

$$\sigma_c = \frac{p * D}{4t} \quad \textbf{Ecuación 3.78}$$

Dónde:

p: Presión interna en [Pa].

D: Diámetro del recipiente en [m].

t: Espesor de las planchas en [m].

Se empleará un valor de $\frac{1}{2}$ "=12,7mm para el espesor de la tapa superior para ello se deberá calcular el factor de seguridad.

$$\sigma_c = \sigma_{admisible} = \frac{2731982,869 \frac{N}{m^2} * 0,7m}{4 * 0,0127m}$$

$$\sigma_{admisible} = 37645433,24Pa$$

$$\sigma_{admisible} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$$

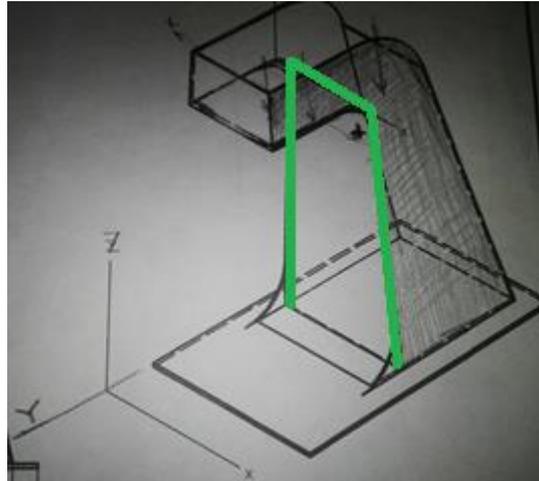
$$F.S. = \frac{\sigma_y}{\sigma_{admisible}} = \frac{276 \times 10^6}{37645433,24} = 7,33$$

Se determina un factor de seguridad muy conservador para el diseño.

ANALISIS DE SOLDADURA

El análisis de la soldadura que permitirá la unión de los elementos verticales con los horizontales involucra el diseño de la garganta del cordón de soldadura. El valor de la garganta deberá ser comprobado a través de la obtención de un factor de seguridad para la soldadura, que estará en función del espesor de los elementos que se unan, es decir del espesor de la plancha.

La determinación de los esfuerzos sobre el cordón de soldadura se lo realizara bajo el modelo de que el cordón está sujeto a una carga W a una determinada distancia la cual genera una fuerza cortante sobre el cordón y además de eso un momento flexionante sobre el mismo como se observa en la figura.



Elaborado por Andrés Arreaga.

FIGURA 3.24 FUERZA DE CORTE SOBRE LA SOLDADURA.

Como se ve en la figura esta será el área de soldadura que se diseñará, la cual tiene una forma que se asemeja a las geometrías propuestas en las tablas para cálculos de soldadura para un determinado caso [6].

Esfuerzo Cortante Primario.

$$\tau = \frac{V'}{A}$$

Ecuación 3.79

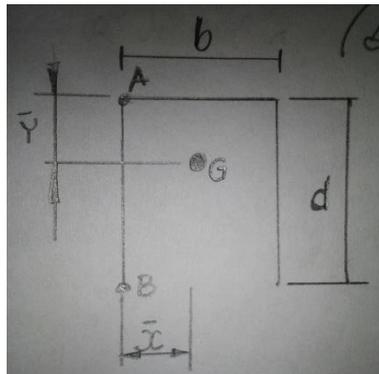
Dónde:

V': Fuerza Cortante en [N].

A: Área de Soldadura en [m²].

El área total de la soldadura se la logra obtener a través de las ecuaciones establecidas en la tabla 9-2 del libro de Shigley, esto a través de la semejanza con la forma a ser soldada o con la posición de los cordones de soldadura necesarios para la unión de los elementos de la estructura.

De acuerdo a la tabla 9-2 el área de la soldadura para este caso está dada de acuerdo a la forma de la soldadura por la siguiente expresión:



Elaborado por Andrés Arreaga.

FIGURA 3.25 ÁREA DE LA SOLDADURA.

h : tamaño de la garganta de la soldadura

t : Espesor de la plancha : 16mm

b : Longitud del cordón : 750mm

d : Longitud del cordón : 2050mm

\bar{y} : Ubicación del punto G

\bar{x} : Ubicación punto G

$$h = (t - 2)0,707$$

$$h = (16 - 2)0,707$$

$$h = 9,8096 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 0,707h(b + 2d)$$

$$A = 0,03343 \text{ m}^2$$

Esfuerzo Cortante Primario

$$\tau' = \frac{V'}{A} = \frac{6623,54}{0,03343}$$

$$\tau' = 198131,6183 \text{ Pa}$$

Ubicación del G.

$$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d} = \frac{(2050)^2}{750+2(2050)} = 870,98mm$$

$$\bar{y} = 0,87098m$$

Segundo Momento unitario de Área.

$$I_U = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b+2d)\bar{y}^2$$

$$I_U = 2,6253m^3$$

$$I = 0,707hI_U$$

$$I = 0,707 * (9,8096 \times 10^{-3})(2,6253)$$

$$I = 0,0182075m^4$$

Análisis Cordón de Soldadura Superior.

Esfuerzo cortante secundario.

$$\tau'' = \frac{M * \bar{d}_{GA}}{I} = \frac{1085,6362 * (0,87098)}{0,0182075}$$

$$\tau'' = 51932,852 \text{ 8IPa}$$

La magnitud del esfuerzo cortante estará dada por la ecuación de Pitágoras.

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2}$$

$$\tau = 204821,86\text{Pa}$$

Para saber si la soldadura resistirá, se deberá de comparar el esfuerzo permisible contra el esfuerzo bajo el cual va a trabajar, en este caso será el esfuerzo cortante total antes calculado.

La obtención del esfuerzo permisible dependerá del tipo de electrodo que se vaya a emplear, es decir de la resistencia que posee el electrodo, en este caso el material de aporte y dicha resistencia y esfuerzos admisibles se los obtiene a través de tablas.

TABLA 15

PROPIEDADES DEL MATERIAL DE APORTE [5].

Numero de Electrodo de AWS	Resistencia a la Tensión, Kpsi (Mpa)	Resistencia a la Fluencia, Kpsi (Mpa)	Elongación Porcentual
E60xx	62 (427)	50(345)	17-25
E70xx	70(482)	57(393)	22
E80xx	80(551)	67(462)	19
E90xx	90(620)	77(531)	14-17
E100xx	100(689)	87(600)	13-16
E120xx	120(827)	107(737)	14

TABLA 16
CARACTERÍSTICAS [5].

Tipo de Carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo Permissible	n: Factor de Seguridad
Tension	A tope	0.60Sy	1.67
Aplastamiento	A tope	0.90Sy	1.11
Flexión	A tope	0.60-0.66Sy	1.52-1.67
Compresión Simple	A tope	0.60Sy	1.67
Cortante	A tope o de filete	0.30Sut	

El electrodo seleccionado es E6013 cuya resistencia última es de 427 Mpa por lo que el esfuerzo admisible de acuerdo a la tabla 9-4 debe ser:

$$\tau_{admisible} = 0,3S_{ut}$$

$$\tau_{admisible} = 0,3(427MPa)$$

$$\tau_{admisible} = 128,1MPa$$

Entonces se cumple con la condición de diseño, por lo que la soldadura resulta ser satisfactoria.

$$\tau \leq \tau_{admisible}$$

CAPÍTULO 4

4. PROGRAMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN.

Para la construcción del molino para refinar licor de cacao se realiza un plan de trabajo, en el que se establecen diferentes fases de trabajo, las cuales contiene las actividades que se deberán realizar hasta la puesta en marcha del molino, además de eso, dicho plan incluirá los tiempos necesarios para la ejecución de las actividades y así a través de esto poder obtener el tiempo total para la construcción del equipo.

Para elaborar este plan de trabajo primero se especificará, las fases de trabajo:

- 1.- Compra de materiales y accesorios.
- 2.- Fabricación de los componentes del sistema de molienda.
- 3.- Pruebas y ajuste de del sistema de molienda.
- 4.- Transporte de equipo hasta el sitio de operación.
- 5.- Montaje del molino refinador.
- 6.- Pruebas y ajustes durante la funcionabilidad del molino.

4.1 Elaboración de Diagrama de Gantt.

La construcción del molino para refinar licor de cacao se hará de acuerdo a los materiales y accesorios disponibles en el mercado local, apegándose en lo posible a las normas establecidas en los catálogos de los distintos fabricantes.

Este diagrama de Gantt está basado en un conjunto de actividades que se deben de llevar a cabo para la construcción y funcionamiento del molino refinador, finalmente el propósito de dicho diagrama es establecer el tiempo que se empleará para la fabricación del molino.

El diagrama es realizado tomando en cuenta los días laborables, que tienen 8 horas de trabajo, que es de 8:00 a 12:00am y de 13:00 a 17:00 pm y no considerando los días sábados como laborables, es decir que los trabajos que se realicen en 8 horas equivalen a decir que se los realizarán en 1 día, quedando distribuidas las actividades de acuerdo a las fases de trabajo:

Compra de Materiales y Accesorios.

Para la compra de los materiales y accesorios es necesario tener una lista y esto se hará en base a los planos de fabricación, para ello se establece un periodo de tiempo de 3 días, en el primer día se deberá de adquirir la mayor cantidad de materiales por lo que la construcción del molino se podrá iniciar en el segundo día.

Fabricación de los Componentes del Sistema de Molienda.

La construcción del molino se iniciará con los siguientes procesos:

- 1.- Corte de plancha de acero para la estructura.
- 2.- Ensamblaje y unión de los componentes de la estructura.
- 3.- Perforado de plancha para base de motoreductor.
- 4.- Torneado de eje de refinación.
- 5.- Perforado y roscado de agujeros en eje de refinación.
- 6.- Maquinado de aspas de agitación para la refinación.
- 7.- Corte de plancha para sistema de refinación y enfriamiento.
- 8.- Rolado de plancha para sistema de refinación y enfriamiento.
- 9.- Soldado de componentes para sistema de refinación y enfriamiento.
- 10.- Pintado de estructura.

Transporte de Equipo hasta el sitio de Operación.

- 1.- Movilización de la estructura.
- 2.- Movilización de la cuba de refinación.
- 3.- Movilización del Eje de Refinación.
- 4.- Movilización del motoreductor.

Montaje del Molino De Refinación.

- 1.- Ensamblaje entre La cuba y eje de refinación.
- 2.- Alineación de Sistema de molienda con acople del motoreductor.
- 3.- Conexiones de tuberías para ingreso del licor de cacao.
- 4.- Conexiones de red de tuberías para sistema de enfriamiento.
- 5.- Conexiones eléctricas para energización del motoreductor.

Pruebas y Ajustes para Funcionamiento.

- 1.- Puesta en marcha del Equipo.

TABLA 17

FASES DEL MOLINO REFINADOR.

Actividades	Fecha Inicio	Fecha Fin
Establecer Lista de Materiales para Estructura	02/01/2014	02/01/2014
Establecer Lista de Materiales para Sistema de Molienda	02/01/2014	02/01/2014
Recepción y Almacenamiento de materiales	03/01/2014	03/01/2014
Corte de plancha de acero para estructura	06/01/2014	07/01/2014
Perforado de Plancha para base de motoreductor	08/01/2014	09/01/2014
Ensamblaje y Unión de componentes de estructura	10/01/2014	13/01/2014

Pintado de Estructura	14/01/2014	14/01/2014
Torneado de Eje Refinador	15/01/2014	17/01/2014
Perforado y Roscado de agujeros en Eje Refinador	20/01/2014	23/01/2014
Maquinado de Pines de Refinación	24/01/2014	27/01/2014
Corte de plancha para cuba de refinación y sistema de enfriamiento	28/01/2014	28/01/2014
Rolado de plancha para cuba de refinación y sistema de enfriamiento	29/01/2014	29/01/2014
Soldado de componentes para cuba de refinación y sistema de enfriamiento	30/01/2014	31/01/2014
Movilización de Estructura	03/02/2014	03/02/2014
Montaje Motoreductor sobre estructura	04/02/2014	04/02/2014
Movilización de Cuba de Refinación	05/02/2014	05/02/2014
Movilización de Eje de Refinación	06/02/2014	06/02/2014
Ensamblaje entre la cuba y eje de refinación para formar sistema de molienda	07/02/2014	07/02/2014
Alineación de Sistema de Molienda con Acople de motoreductor	10/02/2014	11/02/2014
Conexiones de Tuberías para ingreso de licor de cacao	12/02/2014	14/02/2014
Conexiones de red de tuberías para sistema de enfriamiento	17/02/2014	18/02/2014
Conexiones eléctricas para energización de motoreductor	19/02/2014	20/02/2014

Elaborado por Andrés Arreaga.

CAPÍTULO 5

5. MATERIALES Y EQUIPOS

5.1 Materiales Empleados En La Construcción

En esta tabla se presenta una lista de los materiales que serán necesarios para la construcción del molino, además de eso la cantidad necesaria correspondiente a cada material y en que componente del molino refinador se lo empleará.

TABLA 18
LISTA DE MATERIALES

Lista de Materiales Molino Refinador		
Descripción	Materiales	Cantidad
Estructura del Molino	Plancha A-36 2000x6000x20mm	1,5
Placa base de Molino y Placa Base del Motoreductor	Plancha A-36 1800x 3000x25mm	1
Cuerpo Sistema de Refrigeración y Cuerpo Sistema de Molienda	Plancha AISI 304 3000x3000x16mm	1
Cubierta Inferior y Bridas de Separación	Plancha AISI 304 1220x2440x 25 mm	1
Bridas de Cubierta Superior	Plancha AISI 304 1220x2440x 12 mm	1

Sistema de Retención de Bolas	Plancha AISI 304 1000x1000x3mm	1
Cajera para rodamiento	Eje Macizo AISI 304 L ϕ 8" mm x 100mm	1
Eje de refinación	Eje Macizo AISI 304L ϕ 4" x 1700mm	1
Ejes de Agitación (Pines).	Eje Macizo AISI 304L ϕ 1" x 6000mm	1.5
Soldadura para cuerpos de refinación	Rollo de alambre Tubular AISI 304	2
Soldadura para estructura	Electrodo revestido 7018 de 1/8"	3
Tubería de entrada de Licor de cacao	Tubo de 3" SCH. 40 x 0.5 m	1
Tubería para entrada y salida de agua de enfriamiento	Tubo de 1" SCH 40. x 0.4 m	1
Tubería para entrada de Bolas de acero inoxidable.	Tubo de 2" SCH 40. x 0.25 m	1
Pernos para acople Superior	Perno Hex. Grado 8 M16x80mm	8
Anillos para acople superior	Anillo Plano 16mm	16
Tuerca para acople superior	Tuerca Grado 8 M16	8
Perno de Cubierta Superior	Perno Hex. AISI 304 M12x40mm	20
Tuerca de Cubierta Superior	Tuerca AISI 304 M12	20
Perno para cajera para rodamiento	Perno Allen AISI 304 M16x70mm	6
Perno para sistema de retención de bolas	Perno Hex. M6x16mm AISI 304	8
Pernos para Garruchas	Perno Hex. M10x16mm AISI 304	16
Tapón para cajera rodamiento	Tapón Macho 1/4" NPT.	1
Bomba para circulación de agua	Bomba Centrifuga TCPm-190	1
Motoreductor	Motoreductor 75KW.	1
Sistema de Transmisión de Movimiento	Acople Falk GC82 2135	1
Bomba de llenado de licor de cacao	Bomba para Pasta de Cacao	1
Instrumento de medición de Temperatura	Termómetro 0-200 C	1
Ruedas para cuba de refinación	Garruchas	1

Elaborado por ANDRÉS ARREAGA

5.2 Equipos Utilizados en la Manufactura

Los equipos empleados para la manufactura son aquellos que se emplearán para conseguir en lo posible las dimensiones establecidas en los planos de construcción los cuales se los detalla en la sección de anexos.

TABLA 19
LISTA DE EQUIPOS PARA LA MANUFACTURA

EQUIPOS EMPLEADOS EN LA MANUFACTURA		
Identificador	Descripción	Cantidad
1	Torno Horizontal	1
2	Fresadora Universal	1
3	Taladro Radial	1
4	Cizalla	1
5	Roladora	1
6	Tornillo de banco	1
7	Roscadora Universal	1

Elaborado por Andrés Arreaga

5.3 Equipos Utilizados en la Estructura

La estructura es aquel componente que se encuentra en la parte externa del molino por lo que para su construcción se hará uso de los equipos establecidos en la lista a continuación, al tratarse de una

estructura el equipo que mayor demanda tendrá es la maquinaria de soldar.

TABLA 20
LISTA DE EQUIPOS PARA LA ESTRUCTURA

EQUIPOS EMPLEADOS EN LA ESTRUCTURA		
Identificador	Descripción	Cantidad
1	Maquinada de Soldar Eléctrica	1
2	Cortadora de Oxicorte Automática	1
3	Tecla de 5 Toneladas	1
4	Andamio	1

Elaborado por Andrés Arreaga

5.4 Costos De Construcción del Molino Refinador

El costo del Molino para la refinación del licor de cacao dependerá del diseño de cada uno de los componentes que conforman dicho molino. Pues el diseño final establecerá la cantidad de material necesario para la fabricación de cada componente y también la selección de los componentes estándares que haya en el mercado local como lo son el motoreductor, el acople superior, la bomba para la circulación de agua, las ruedas o garruchas, los pernos y las soldadura necesaria para la unión de los componentes.

A continuación se detalla de manera general los componentes que demandan mayor análisis en la determinación del costo total del molino. El valor correspondiente al precio de cada componente del molino ha sido establecido de acuerdo a los fabricantes y distribuidores.

TABLA 21
TABLA DE COSTOS DE MATERIALES

Lista de Materiales Molino Refinador					
Descripción	Materiales	Masa	Precio/kg	Cantidad	Precio Final
Estructura del Molino	Plancha A-36 2000x6000x20mm	1884	1,15	1,5	2166,6
Placa base de Molino y Placa Base del Motoreductor	Plancha A-36 1800x3000x25mm	1271,7	1,2	1	1526,04
Cuerpo Sistema de Refrigeración y Cuerpo Sistema de Molienda	Plancha AISI 304 3000x3000x16mm	1137,6	2,05	1	2332,08
Cubierta Inferior y Bridas de Separación	Plancha AISI 304 1220x2440x 25 mm	587,918	2,1	1	1234,6278
Bridas de Cubierta Superior	Plancha AISI 304 1220x2440x 12 mm	282,20064	1,95	1	550,291248
Sistema de Retención de Bolas	Plancha AISI 304 1000x1000x3mm	23,7	1,98	1	46,926
Cajera para rodamiento	Eje Macizo AISI 304 L ϕ 8" mm x 100mm			1	164,22
Eje de refinación	Eje Macizo AISI 304L ϕ 4" x 1700mm			1	603,75
Ejes de Agitación (Pines).	Eje Macizo AISI 304L ϕ 1" x 6000mm			1.5	224,63
Soldadura para cuerpos de refinación	Rollo de alambre Tubular AISI 304			2	28,15
Soldadura para estructura	Electrodo revestido 7018 de 1/8"	75		3	225
Tubería de entrada de Licor de cacao	Tubo de 3" SCH. 40 x 0,5 m			1	35,541
Tubería para entrada y salida de	Tubo de 1" SCH 40 x 0,4 m			1	4,602

agua de enfriamiento					
Tubería para entrada de Bolas de acero inoxidable.	Tubo de 2" SCH 40 x 0,25 m			1	7,25
Pernos para acople Superior	Perno Hex. Grado 8 M16x80mm			8	7,2
Anillos para acople superior	Anillo Plano 16mm			16	1,6
Tuerca para acople superior	Tuerca M16			8	2
Perno de Cubierta Superior	Perno Hex. AISI 304 M12x40mm			20	8,3
Tuerca de Cubierta Superior	Tuerca AISI 304 M12			20	3,3
Perno para caja para rodamiento	Perno Allen AISI 304 M16x70mm			6	7,5
Perno para sistema de retención de bolas	Perno Hex. M6x16mm			8	0,58
Pernos para Garruchas	Perno Hex. M10x16mm			16	2,632
Tapón para caja rodamiento	Tapón Macho 1/4" NPT.			1	0,25
Bomba recirculación de agua de enfriamiento	Bomba Centrifuga TCPm-190 2 hp.			1	35
	Motoreductor 75KW. Trifásico			1	4500
Sistema de Transmisión de Movimiento	Acople FALK G82 G1035			1	350
Bomba de Suministro de Licor de Cacao	Bomba para Pasta de Cacao			1	300
Sistema de Control de Temperatura	Termómetro 0-200 C			1	125
	Rodamiento NU2135			1	140
	Chumacera UCFS320D1			1	150
	Bolas de Acero Inoxidable	2000		1	300
Ruedas para cuba de refinación	Garruchas			4	200,1
					14983,165

Elaborado por Andrés Arreaga

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Con los conocimientos adquiridos se pudo lograr el objetivo de diseñar un molino, el cual es basado en las condiciones de procesamiento de licor de cacao.
2. El sistema de Refinación de licor de Cacao fue diseñado en base a las necesidades de refinar 2500 Kg/hora, por lo cual cada elemento diseñado en el sistema tiene un factor de seguridad confiable, cuyo menor valor es de 2,5 para rodamientos, lo que garantiza el correcto funcionamiento del mismo.
3. Algunos criterios de diseño fueron seleccionados en base a observaciones de otros diseños, manuales y experiencia.
4. Las dimensiones dadas de los diferentes componentes del sistema, se dieron a partir de los cálculos realizados y en algunos casos en base al criterio del diseñador.

5. La selección del material de cada uno de los componentes del sistema, fueron escogidos de acuerdo a la comercialización en el país y a su costo.
6. Se utilizó el Software Inventor para la esquematización en 2D y 3D de los planos.

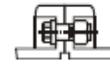
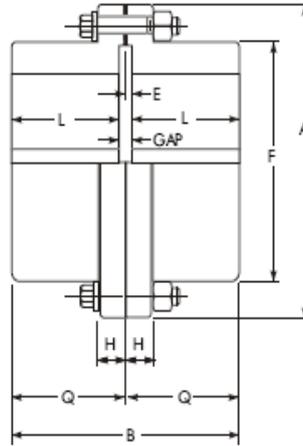
RECOMENDACIONES

1. Se debe seleccionar materiales existentes en el mercado nacional, para abaratar costos de fabricación.
2. Cuando se determina las dimensiones de algún componente del sistema de refinación en base a los cálculos adecuados, verificar que las dimensiones calculadas sean comerciales en el país de acuerdo a los catálogos disponibles.
3. Realizar inspecciones periódicas del sistema, principalmente a las piezas sometidas a desgaste
4. Tener control respecto a los diámetros de los cuerpos molturadores (bolas de acero inoxidable), y las aspas de agitación ya que al estar en contacto para la molienda del producto inicial se produce un desgaste en su superficie y con el paso del tiempo el porcentaje de finura obtenido al final no es el que se espera.

APÉNDICES

Type G82 Standard Flanged Sleeve

Rigid/Dimensions — Inches



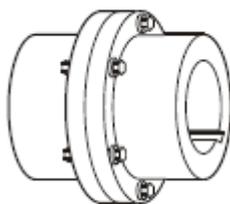
Type G81 Shrouded Bolts furnished only when specified on order. Sizes 1060G and 1070G available only as Type G82.

SIZE ★	Torque Rating (lb-in) †	Allow Speed rpm ‡	Max Bore •	Min Bore ■	Cplg Wt With No Bore-lb		A	B	E	F	H	L	Q	Gap	SIZE ★
					G81	G82									
1010G	10,080	8,000	2.375	.50	9	10	4.56	3.32	.10	3.30	.55	1.56	1.66	.200	1010G
1015G	20,790	6,500	2.938	.75	19	20	6.00	3.84	.10	4.14	.75	1.82	1.92	.200	1015G
1020G	37,800	5,600	3.625	1.00	30	35	7.00	4.80	.10	4.98	.75	2.30	2.40	.200	1020G
1025G	66,150	5,000	4.375	1.25	55	60	8.38	6.00	.10	6.10	.86	2.90	3.00	.200	1025G
1030G	107,100	4,400	5.125	1.50	90	95	9.44	7.12	.10	7.10	.86	3.46	3.56	.200	1030G
1035G	163,800	3,900	5.875	2.00	135	155	11.00	8.24	.10	8.32	1.12	4.02	4.12	.200	1035G
1040G	270,900	3,600	7.250	2.50	210	225	12.50	9.40	.16	9.66	1.12	4.54	4.70	.320	1040G
1045G	371,700	3,200	8.125	3.00	290	310	13.62	10.60	.16	10.79	1.12	5.14	5.30	.320	1045G
1050G	500,900	2,900	9.000	3.50	415	450	15.31	12.00	.20	12.04	1.50	5.80	6.00	.400	1050G
1055G	655,200	2,650	10.000	4.00	590	620	16.75	14.00	.20	13.16	1.50	6.80	7.00	.400	1055G
1060G	800,100	2,450	11.000	4.50	...	740	18.00	15.20	.26	14.41	1.00	7.34	7.60	.520	1060G
1070G	1,197,000	2,150	13.000	5.00	...	1180	20.75	18.00	.33	16.73	1.12	8.67	9.00	.660	1070G

★ See page 15 for General Information and other Reference Notes.

© The Falk Corporation, 1992, 2004.

(451-110) 33



Type G82 & GV82

Rigid couplings are used when there is no need to accommodate misalignment, and where thrust loads are generated such as vertical mixer applications. (See Pages 33, 34, and 49.)

SELECCIÓN DE ACOPLE MECÁNICO [13].

Service Factors

— Gear Coupling Service Factors for Motor * and Tur

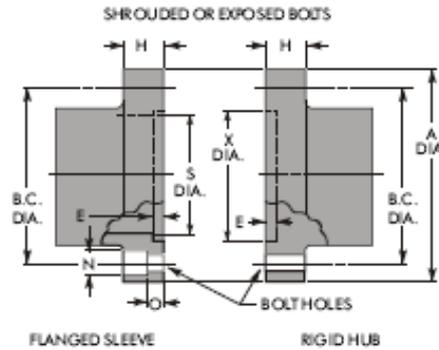
Service factors listed are typical values based on normal operation of the drive system

Alphabetical listing of applications

	Service Factor		Service Factor
AERATOR	2.0	Hoist or Railway Service	1.5
AGITATORS		Welder Load	2.0
Vertical and Horizontal		HAMMERMILL	1.75
Screw, Propeller, Paddle	1.0	LAUNDRY WASHER OR	
BARGE HAUL PULLER	1.5	TUMBLER	2.0
BLOWERS		LINE SHAFTS	
Centrifugal	1.0	Any Processing Machinery	1.5
Lobe or Vane	1.25	MACHINE TOOLS	
CAR DUMPERS	2.5	Auxiliary and Traverse Drive	1.0
CAR PULLERS	1.5	Bending Roll, Notching Press,	
CLARIFIER OR CLASSIFIER	1.0	Punch Press, Planer, Plate	
COMPRESSORS		Reversing	1.75
Centrifugal	1.0	Main Drive	1.5
Rotary, Lobe or Vane	1.25	MAN LIFTS <i>Not Approved</i>	
Rotary, Screw	1.0	METAL FORMING MACHINES	
Reciprocating		Continuous Casters	1.75
Direct Connected	Refer to Falk	Draw Bench Carriage and	
Without Flywheel	Refer to Falk	Main Drive	2.0
*With Flywheel and Gear		Extruder	2.0
and Prime Mover		Forming Machine and	
1 cylinder, single acting	3.0	Forming Mills	2.0
1 cylinder, double acting	3.0	Slimes	1.0
2 cylinders, single acting	3.0	Wire Drawing or Flattening	1.75
2 cylinders, double acting	3.0	Wire Winder	1.5
3 cylinders, single acting	3.0	Coilers and Uncoilers	1.5
3 cylinders, double acting	2.0	MIXERS (see Agitators)	
4 or more cyl., single act.	1.75	Concrete	1.75
4 or more cyl., double act.	1.75	Muller	1.5
▲ CONVEYORS		PRESS, PRINTING	1.5
Apron, Assembly, Belt, Chain,		PUG MILL	1.75
Flight, Screw	1.0	PULVERIZERS	
Bucket	1.25	Hammermill and Hog	1.75
Live Roll, Shaker and		Roller	1.5
Reciprocating	3.0	PUMPS	
▲◆ CRANES AND HOIST		Boiler Feed	1.5
Main Hoist	1.75 ▲	Centrifugal —	
Skip Hoist	1.75 ▲	Constant Speed	1.0
Slope	1.5	Frequent Speed Changes	
Bidge, Travel or Trolley	1.75	under Load	1.25
DYNAMOMETER	1.0	Descaling, with accumulators	1.25
ELEVATORS		Gear, Rotary, or Vane	1.25
Bucket, Centrifugal Discharge	1.25	Reciprocating, Plunger Piston	
Freight or Passenger	Not Approved	1 cyl., single or double act.	3.0
Gravity Discharge	1.25	2 cyl., single acting	2.0
ESCALATORS	Not Approved	2 cyl., double acting	1.75
EXCITER, GENERATOR	1.0	3 or more cylinders	1.5
EXTRUDER, PLASTIC	1.5	Screw Pump, Progressing Cavity	1.25
FANS		Vacuum Pump	1.25
Centrifugal	1.0	SCREENS	
Cooling Tower	2.0	Air Washing	1.0
Forced Draft — Across the		Grizzly	2.0
Line shaft	1.5	Rotary Coal or Sand	1.5
Forced Draft Motor		Vibrating	2.5
Driven thru fluid or		Water	1.0
electric slip clutch	1.0	SKI TOWS & LIFTS	Not Approved
Gas Recirculating	1.5	STEERING GEAR	1.0
Induced Draft with damper		STOKER	1.0
control or blade cleaner	1.25	TIRE SHREDDER	1.50
Induced Draft without controls	2.0	TUMBLING BARREL	1.75
FEEDERS		WINCH, MANEUVERING	
Apron, Belt, Disc, Screw	1.0	Dredge, Marine	1.5
Reciprocating	2.5	WINDLASS	1.5
GENERATORS		WOODWORKING	
Even Load	1.0	MACHINERY	1.0
		WORK LIFT PLATFORMS	Not Approved

FACTORES DE SERVICIOS [13].

Engineering Data — Standard Flanged Sleeve & Continuous Sleeve

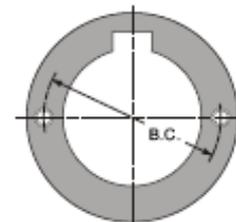


— Flanged Sleeve and Rigid Hub Details

SIZE ★	Shrouded or Exposed Bolts					Shrouded				Exposed	
	A + .000 - .004	E ± .010	H	S ± .010	X ± .010	B.C.	Bolt No.-Dia	N	O	B.C.	Bolt No.-Dia
1010G	4.562	.100	.55	3.060	3.180	3.750	6-.250	.46	.250	3.750	6-.250
1015G	6.000	.100	.75	3.810	3.920	4.812	8-.375	.58	.250	4.812	8-.375
1020G	7.000	.100	.75	4.640	4.800	5.812	10-.375	.58	.250	5.875	6-.500
1025G	8.375	.100	.86	5.700	5.840	7.000	10-.500	.78	.320	7.125	6-.625
1030G	9.438	.100	.86	6.660	6.820	8.000	12-.500	.78	.320	8.125	8-.625
1035G	11.000	.100	1.12	7.690	7.840	9.281	12-.625	.97	.400	9.500	8-.750
1040G	12.500	.160	1.12	9.060	9.250	10.625	14-.625	.97	.400	11.000	8-.750
1045G	13.625	.160	1.12	10.060	10.250	11.750	14-.625	.97	.400	12.000	10-.750
1050G	15.313	.200	1.50	11.060	11.420	13.188	14-.750	1.14	.560	13.500	8-.875
1055G	16.750	.200	1.50	12.090	12.420	14.438	16-.750	1.14	.560	14.500	14-.875
1060G	18.000	.260	1.00	13.280	13.920	---	---	---	---	15.750	14-.875
1070G	20.750	.330	1.12	15.300	15.940	---	---	---	---	18.250	16-1.000

— Puller Bolt Holes (Conforms to API 610 Specs.)

SIZE ★	B.C.		Top Size UNC
	Flex Hub/Pilot Hub	Rigid Hub	
1010G/GC †	2.060	2.625	.375-1.6 x .50
1015G/GC †	2.750	3.375	.375-1.6 x .50
1020G/GC	3.500	4.250	.375-1.6 x .50
1025G/GC	4.440	5.240	.375-1.6 x .50
1030G/GC	5.060	6.160	.375-1.6 x .50
1035G/GC	6.000	7.180	.500-1.3 x .62
1040G	7.125	8.260	.625-1.1 x .75
1045G	7.875	9.180	.625-1.1 x .75
1050G	8.500	10.200	.750-1.0 x .88
1055G	9.375	11.200	.750-1.0 x .88
1060G	10.375	12.460	.750-1.0 x .88
1070G	12.250	14.900	1.000-8 x 1.18



Puller bolt holes are available for an extra charge.

★ See page 15 for General Information and other Reference Notes.

† See Tables 13 and 14 for maximum bore limitations.

Rotary slide vane pumps

for pumping
of all types of pumpable material such as:

Gear pumps

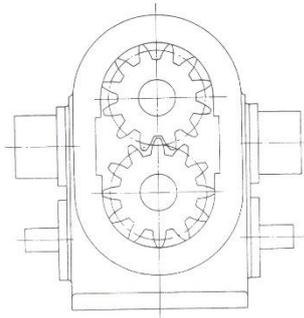
liquid chocolate
and chocolate liquor
cocoa butter
compound
fats, oils, colours, etc.

THOUËT pumps

were developed to meet the most demanding requirements of the food industry. Efficient operation and reduced maintenance ensures economical conveyance of almost all pumpable material.

Robust construction and use of high grade material guarantee a long and trouble-free operation. The Thouët pumps have been in operation for many years under the most demanding conditions, and our vast experience has enabled us to design pumps which guarantee optimum operating efficiency and reliability.

THOUËT pumps reduce maintenance costs!



Gear pumps type ZP 63

Model F

Suitable for pumping of low viscosity liquids, without any addition of sugar; especially suitable for pumping of colours. Efficiency of operation is achieved by reducing tolerances to a minimum.

Long operating life is guaranteed through the use of special heavy duty, wear resistant shafts and bearings. Special gear design also helps extend the operating life of our pumps.

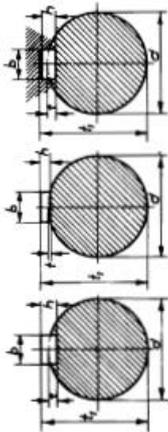
description of the ZP 63 model S pumps, or the rotary slide vane pumps.

Gear pumps model F are available with drive motor, and safety clutch, all mounted on a common base plate.

Type	Throughput Ltr/hr	Operating Pressure Kg/cm ² max.	Motor KW	Net Weight Kg
ZP 63/ 1 F	2 700	5,0	1,5	105
ZP 63/ 5 F	11 500	6,0	3,0	190
ZP 63/10 F	22 000	6,0	4,0	300

SELECCIÓN DE BOMBA PARA PASTA DE CACAO [13].

Ranuras, chavetas y chaveteros



Diámetro del eje	CHAVETA ENCASTADA				CHAVETA PLANA				CHAVETA					
	Profundidad de la ranura del eje	Profundidad de la ranura del cubo	Alto	Ancho	Alto	Ancho	Alto	Ancho	Alto	Ancho	Profundidad de la ranura del eje	Profundidad de la ranura del cubo	Alto	Ancho
10-12	4	2,5	d + 1,5	—	—	—	—	4	4	2,5	d + 1,7	—	—	—
12-17	5	3	d + 2	—	—	—	—	5	5	3	d + 2,2	—	—	—
17-22	6	3,5	d + 2,5	—	—	—	—	6	6	3,5	d + 2,7	—	—	—
22-30	7	4	d + 3	—	—	—	—	7	7	4	d + 3,2	—	—	—
30-38	8	4,5	d + 3,5	1,5	1,5	1,5	1,5	8	8	4,5	d + 3,7	—	—	—
38-44	8	4,5	d + 3,5	1,5	1,5	1,5	1,5	8	8	4,5	d + 3,7	—	—	—
44-50	9	5	d + 4	1,5	1,5	1,5	1,5	9	9	5	d + 4,2	—	—	—
50-58	10	5	d + 5	1,5	1,5	1,5	1,5	10	10	5	d + 4,7	—	—	—
58-68	11	6	d + 5	1,5	1,5	1,5	1,5	11	11	6	d + 5,2	—	—	—
68-70	12	6	d + 6	2	2	2	2	12	12	6	d + 5,7	—	—	—
78-92	14	7	d + 7	2	2	2	2	14	14	7	d + 6,2	—	—	—
92-110	16	8	d + 8	2	2	2	2	16	16	8	d + 6,7	—	—	—
110-130	18	9	d + 9	2	2	2	2	18	18	9	d + 7,2	—	—	—
130-150	20	10	d + 10	3	3	3	3	20	20	10	d + 7,7	—	—	—
150-170	22	11	d + 11	3	3	3	3	22	22	11	d + 8,2	—	—	—
170-200	25	13	d + 12	4	4	4	4	25	25	13	d + 8,7	—	—	—

Las chavetas tienen una inclinación de 1 : 100. La medida referente a la altura de la chaveta se refiere a la parte más alta de la cuña.

Valor en milésimas de milímetro de la Tolerancia **T** fundamental «ISA» para la calidad de trabajo de 1 a 16 para diversos grupos de dimensiones **IT = TOLERANCIA DEL «ISA» (Abreviado)**

GRUPO DE DIMENSIONES mm.	CALIDAD															
	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
De 1 a 3	0,0015	0,002	0,003	0,004	0,005	0,007	0,009	0,014	0,025	0,040	0,060	0,090	0,140	0,250	0,400	0,600
De más a 6	0,0015	0,002	0,003	0,004	0,005	0,008	0,012	0,018	0,030	0,048	0,075	0,120	0,180	0,300	0,480	0,750
De más a 10	0,0015	0,002	0,003	0,004	0,006	0,009	0,015	0,022	0,036	0,058	0,090	0,150	0,220	0,360	0,540	0,900
De más a 18	0,0015	0,002	0,003	0,005	0,008	0,013	0,021	0,033	0,052	0,070	0,110	0,180	0,270	0,400	0,700	1,100
De más a 30	0,002	0,003	0,004	0,007	0,011	0,016	0,025	0,038	0,062	0,090	0,140	0,210	0,330	0,520	0,840	1,300
De más a 50	0,002	0,003	0,004	0,008	0,013	0,019	0,030	0,046	0,074	0,120	0,190	0,300	0,460	0,700	1,100	1,600
De más a 80	0,002	0,004	0,006	0,010	0,015	0,022	0,033	0,054	0,087	0,140	0,220	0,350	0,540	0,870	1,400	2,200
De más a 120	0,004	0,005	0,008	0,012	0,018	0,025	0,040	0,063	0,100	0,160	0,250	0,400	0,630	1,000	1,600	2,500
De más a 180	0,005	0,007	0,010	0,014	0,020	0,029	0,046	0,072	0,115	0,185	0,290	0,460	0,720	1,150	1,850	2,900
De más a 250	0,006	0,008	0,012	0,016	0,023	0,032	0,052	0,081	0,130	0,210	0,320	0,520	0,810	1,300	2,100	3,200
De más a 315	0,007	0,009	0,013	0,018	0,025	0,036	0,057	0,089	0,140	0,230	0,360	0,570	0,890	1,400	2,300	3,600
De más a 400	0,008	0,010	0,015	0,020	0,027	0,040	0,063	0,097	0,155	0,250	0,400	0,630	0,970	1,550	2,500	4,000

En este tabla se estiman las tolerancias fundamentales cuyo ejemplo es el siguiente: Tolerancia en un agujero calidad IT 7 sobre la línea ideal cero, o sea, H 7 y diámetro 200 mm. es $+0,046$ y 0,000. En iguales condiciones el EJE h 6 de 200 mm. diámetro es $-0,029$ y $+0,000$.

SELECCIÓN DE CHAVETA [12].

Tabla 2.2 (2) Arreglo de los rodamientos (en la gráfica no se distingue entre el lado fijo y el lado flotante)

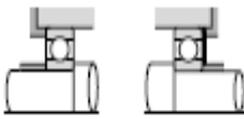
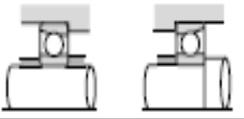
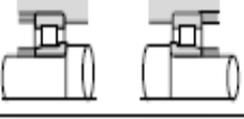
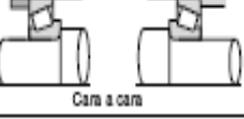
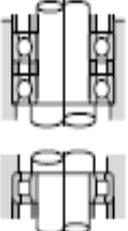
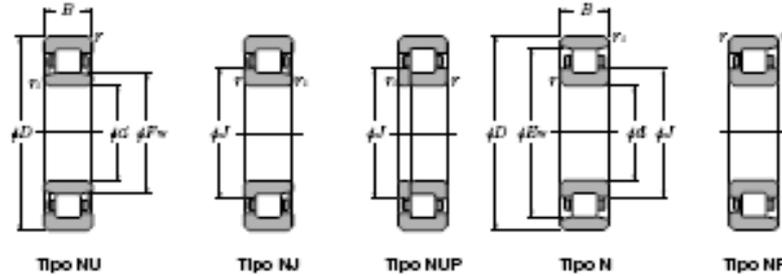
Arreglo	Comentario	Aplicación (referencia)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es un arreglo general utilizado en maquinas pequeñas. 2. Se precarga con calzas y resortes en la cara del anillo exterior (Puede ser en el lado flotante) 	Motores eléctricos, reductores de engranajes pequeños, etc.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Un arreglo espalda con espalda se prefiere a un arreglo cara contra cara, cuando se aplica carga de momento. 2. Es capaz de soportar cargas axiales y radiales; son adecuados cuando haya altas velocidades. 3. La rigidez del eje puede ser aumentada por el efecto de la precarga. 	Máquinas herramientas de alta velocidad, etc.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es capaz de soportar cargas de impacto y extra pesadas. 2. Es adecuado si los anillos internos y externos requieren de un ajuste apretado. 3. Se debe cuidar que el juego axial no llegue a ser muy pequeño durante la operación. 	Equipo de construcción, equipo de minería, roldanas, agitadores, etc.
 <p>Espalda a espalda</p>  <p>Cara a cara</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Soportan cargas pesadas y carga de impacto. Tienen amplio rango de aplicaciones. 2. La rigidez del eje se mejora al precargarlo, pero esta precarga no debe ser excesiva. 3. El arreglo espalda con espalda es para carga de momento, y el arreglo cara contra cara es para aliviar errores de ajuste. 4. Con el arreglo cara contra cara, se facilita el ajuste apretado en el anillo exterior. 	Reductores, ruedas delanteras y traseras de autos etc.

Tabla 2.2 (3) Arreglo de los rodamientos (Ejes verticales)

Arreglo	Comentario	Aplicación (referencia)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuando se utilice rodamientos apareados de contacto angular en el lado fijo, en el lado flotante se debe utilizar un rodamiento de rodillos cilíndricos. 	Montaje vertical en motores eléctricos, etc.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Este arreglo es adecuado cuando haya gran cantidad de carga axial. 2. Para absorber la deflexion del eje y errores de montaje, se alinea el rodamiento axial con respecto a la superficie de la pista exterior de un rodamiento de doble hilera de rodillos esféricos. 	Ejes de grúas, etc.

SELECCIÓN DE RODAMIENTO [14].

● Rodamientos de Rodillos Cilíndricos



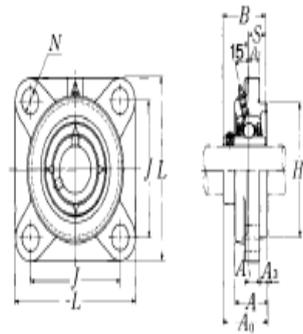
d) 60 ~ 75mm

Dimensiones principales				Capacidad básica de carga				Velocidades límite ¹⁾		Número de rodamientos ²⁾				
mm				dinámica	estática	dinámica	estática	r.p.m.		tipo	tipo	tipo	tipo	
d	D	B	r _{max} ³⁾	C	C ₀	C	C ₀	grasa	aceite	NU	NJ	NUP	N	
60	110	28	1.5	1.5	131	157	13 400	16 000	5 200	6 100	NU2212E	NJ	NUP	—
	130	31	2.1	2.1	124	126	12 600	12 900	5 500	6 500	NU312	NJ	NUP	N
	130	31	2.1	2.1	150	157	15 200	16 000	4 900	5 800	NU312E	NJ	NUP	—
	130	46	2.1	2.1	169	188	17 200	19 200	4 800	5 700	NU2312	NJ	NUP	N
	130	46	2.1	2.1	222	262	22 700	26 700	4 400	5 200	NU2312E	NJ	NUP	—
	150	35	2.1	2.1	167	168	17 100	17 200	3 900	4 600	NU412	NJ	NUP	N
65	100	18	1.1	1	41.0	51.0	4 200	5 200	7 000	8 200	NU1013	NJ	NUP	N
	120	23	1.5	1.5	84.0	94.5	8 550	9 650	5 900	7 000	NU213	NJ	NUP	N
	120	23	1.5	1.5	108	119	11 000	12 100	5 400	6 300	NU213E	NJ	NUP	—
	120	31	1.5	1.5	120	149	12 200	15 200	5 400	6 300	NU2213	NJ	NUP	N
	120	31	1.5	1.5	149	181	15 200	18 400	4 800	5 600	NU2213E	NJ	NUP	—
	140	33	2.1	2.1	135	139	13 800	14 200	5 100	6 000	NU313	NJ	NUP	N
	140	33	2.1	2.1	181	191	18 400	19 500	4 600	5 400	NU313E	NJ	NUP	—
	140	48	2.1	2.1	188	212	19 100	21 700	4 400	5 200	NU2313	NJ	NUP	N
140	48	2.1	2.1	248	287	25 200	29 300	4 100	4 800	NU2313E	NJ	NUP	—	
160	37	2.1	2.1	182	186	18 600	19 000	3 600	4 300	NU413	NJ	NUP	N	
70	110	20	1.1	1	58.5	70.5	5 950	7 200	6 500	7 600	NU1014	NJ	NUP	N
	125	24	1.5	1.5	83.5	95.0	8 500	9 700	5 500	6 500	NU214	NJ	NUP	N
	125	24	1.5	1.5	119	137	12 100	14 000	5 000	5 900	NU214E	NJ	NUP	—
	125	31	1.5	1.5	110	151	12 200	15 400	5 000	5 900	NU2214	NJ	NUP	N
	125	31	1.5	1.5	156	194	15 900	19 800	4 500	5 200	NU2214E	NJ	NUP	—
	150	35	2.1	2.1	158	168	16 100	17 200	4 700	5 500	NU314	NJ	NUP	N
	150	35	2.1	2.1	205	222	20 900	22 600	4 200	5 000	NU314E	NJ	NUP	—
	150	51	2.1	2.1	223	262	22 700	26 700	4 100	4 800	NU2314	NJ	NUP	N
	150	51	2.1	2.1	274	325	27 900	33 000	3 800	4 400	NU2314E	NJ	NUP	—
180	42	3	3	228	236	23 200	24 000	3 400	4 000	NU414	NJ	NUP	N	
75	115	20	1.1	1	60.0	74.5	6 100	7 600	6 100	7 100	NU1015	NJ	NUP	N
	130	25	1.5	1.5	96.5	111	9 850	11 300	5 100	6 000	NU215	NJ	NUP	N
	130	25	1.5	1.5	130	156	13 300	16 000	4 700	5 500	NU215E	NJ	NUP	—
	130	31	1.5	1.5	130	162	13 200	16 500	4 700	5 500	NU2215	NJ	NUP	N
	130	31	1.5	1.5	182	207	16 500	21 100	4 200	4 900	NU2215E	NJ	NUP	—
	160	37	2.1	2.1	190	205	19 400	20 900	4 400	5 200	NU315	NJ	NUP	N
	160	37	2.1	2.1	240	263	24 500	26 800	4 000	4 700	NU315E	NJ	NUP	—
	160	55	2.1	2.1	258	300	26 300	31 000	3 500	4 500	NU2315	NJ	NUP	N

1) Este valor se logra con jaulas maquinadas, al usar jaulas prensadas, sólo el 80% del mismo es aceptable.
 2) La producción se cambió al tipo E solamente para aquellas referencias para las cuales no hay una forma estándar.
 3) Dimensión mínima permitida para el chaflán r/D₁.

RODAMIENTOS CILÍNDRICOS [14].

Flanged cartridge units cast housing
Set screw type



Shaft dia. mm inch	Unit number ¹⁾	Nominal dimensions											Bolt size mm inch
		mm											
		inch											
		L	J	A ₂	N	A ₂	A ₁	A	H _s	A ₀	B	S	
95	UCFS319D1	290	228	39	35	20	30	94	250	121	103	41	M30
3 ⁵ / ₈	UCFS319-310D1												
3 ¹¹ / ₁₆	UCFS319-311D1	11 ¹³ / ₃₂	8 ³¹ / ₃₂	1 ¹⁷ / ₃₂	1 ³ / ₈	2 ⁵ / ₃₂	1 ³ / ₁₆	3 ⁴⁵ / ₆₄	9.8425	4 ⁴⁵ / ₆₄	4.0551	1.614	1 ¹ / ₈
3 ³ / ₄	UCFS319-312D1												
100	UCFS320D1	310	242	39	38	20	32	94	260	125	108	42	M33
3 ¹³ / ₁₆	UCFS320-313D1												
3 ³ / ₈	UCFS320-314D1	12 ⁷ / ₃₂	9 ¹⁷ / ₃₂	1 ¹⁷ / ₃₂	1 ¹ / ₂	2 ⁵ / ₃₂	1 ¹ / ₄	3 ⁴⁵ / ₆₄	10.2362	4 ⁴⁵ / ₆₄	4.2520	1.654	1 ¹ / ₄
3 ¹⁵ / ₁₆	UCFS320-315D1												
4	UCFS320-400D1												
105	UCFS321D1	310	242	39	38	20	32	94	260	127	112	44	M33
110	UCFS322D1	340	266	35	41	25	35	96	300	131	117	46	M36
120	UCFS324D1	370	290	35	41	30	40	110	330	140	126	51	M36
130	UCFS326D1	410	320	35	41	30	45	115	360	146	135	54	M36
140	UCFS328D1	450	350	45	41	30	55	125	400	161	145	59	M36

Remarks: 1) These numbers indicate relubricatable type. If maintenance free type is needed, please order without suffix "D1".

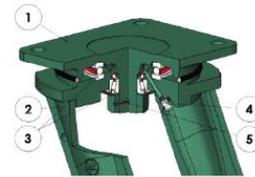
Note: Please refer to page 25 for size of grease filling.

SELECCIÓN DE CHUMACERA [14].

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Impulsor hélice, tres palas		
Paso 1.0	41	0.32
Paso 1.5	48	0.87
Turbina		
Disco de seis palas	65	5.75
Seis palas inclinadas	---	1.63
Cuatro palas inclinadas	44.5	1.27
Paleta plana, dos palas	36.5	1.70
Impulsor HE-3	43	0.28
Ancla	300	0.35

CONSTANTES DE AGITACIÓN [14].

Soportes electrosoldados pareados EEG HD - capacidad máxima 1400 daN

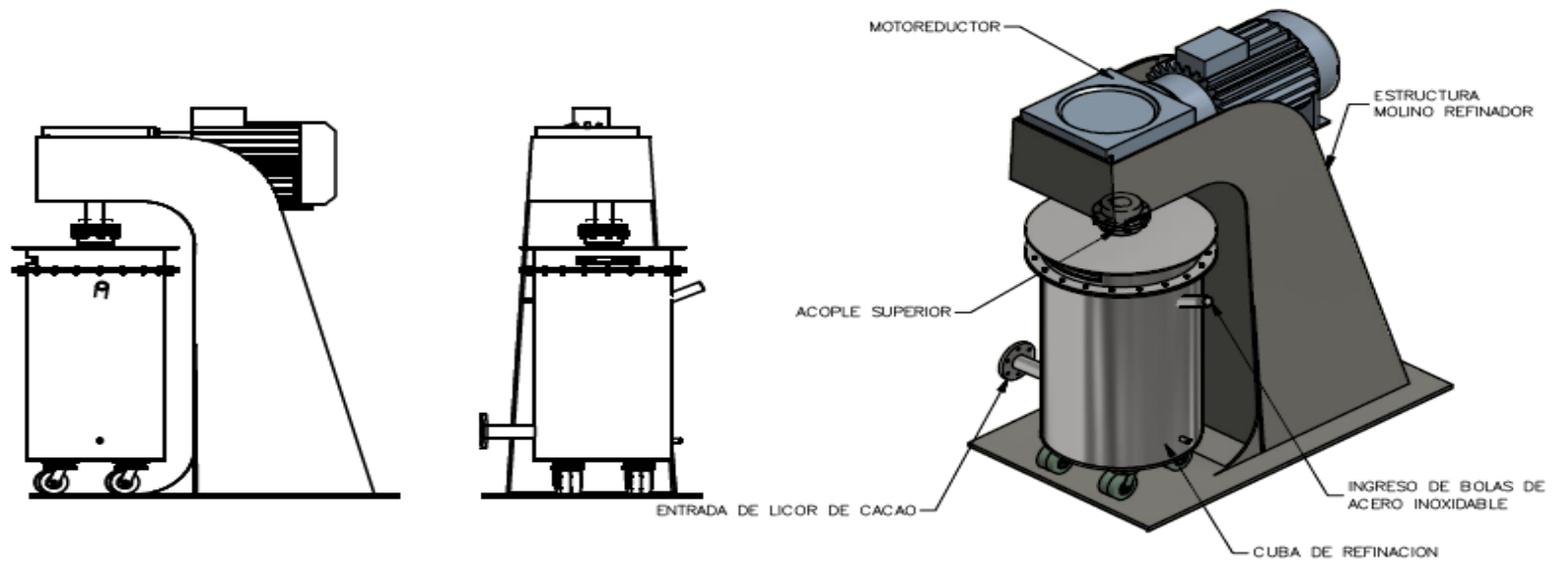


- 1) Pletina: acero forjado con perno integrado
- 2) Horquillas: embutidas electrosoldadas en el axial
- 3) Organos de rotación: cojinete axial de bolas y cojinete de rodillos cónicos
- 4) Engrasador
- 5) Sistema de bloqueo de la tuerca

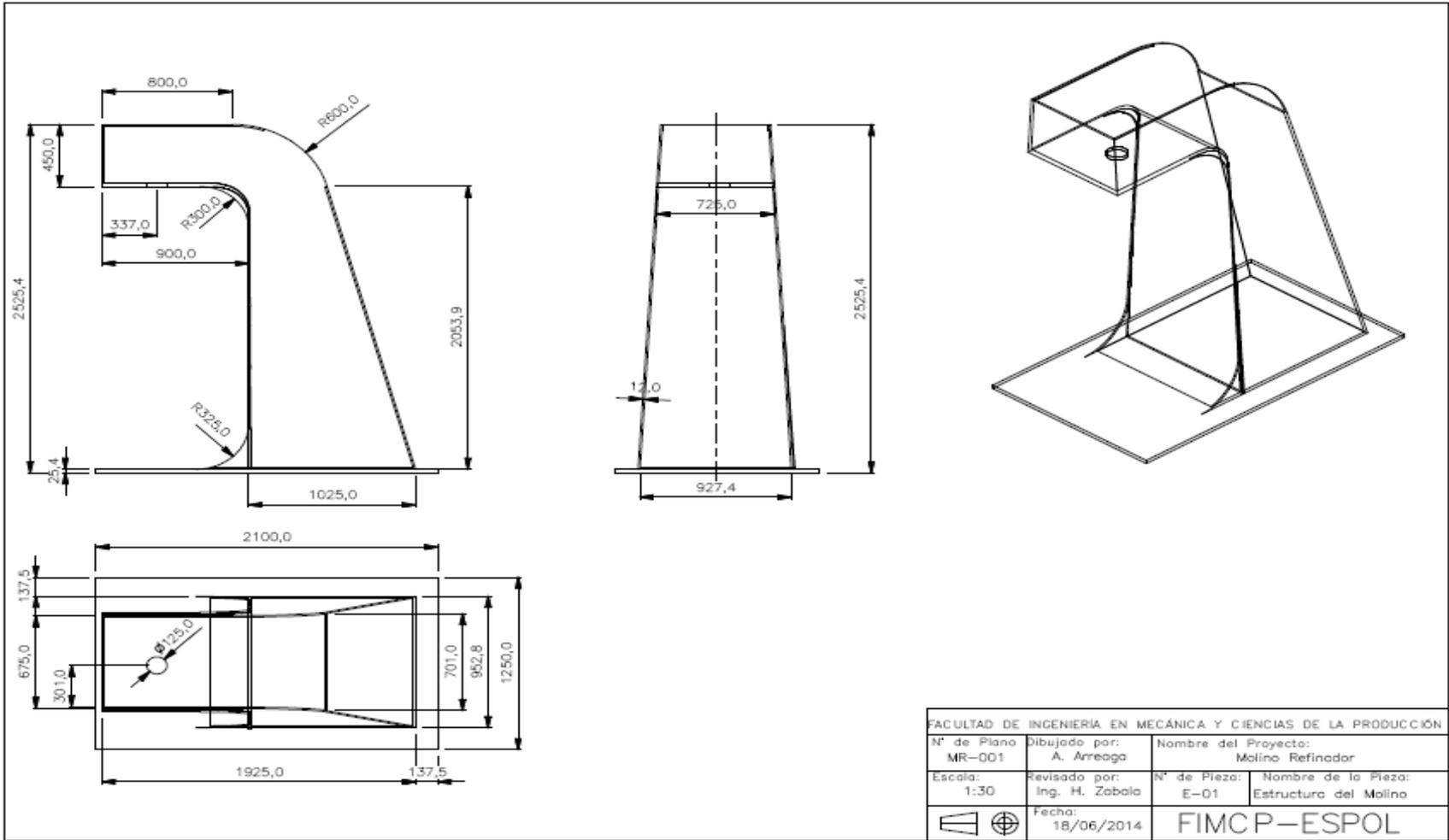
mm	mm	kg	CÓD.	kg	CÓD.	mm	mm	mm	mm	mm	daN	daN
160	50+50	10,60	628084	6,20	628184	228	175x140	140x105	14	50	1100	1100
200	50+50	12,30	628066	7,70	628166	280	175x140	140x105	14	65	1400	1400

SELECCIÓN DE GARRUCHAS PARA SOPORTE

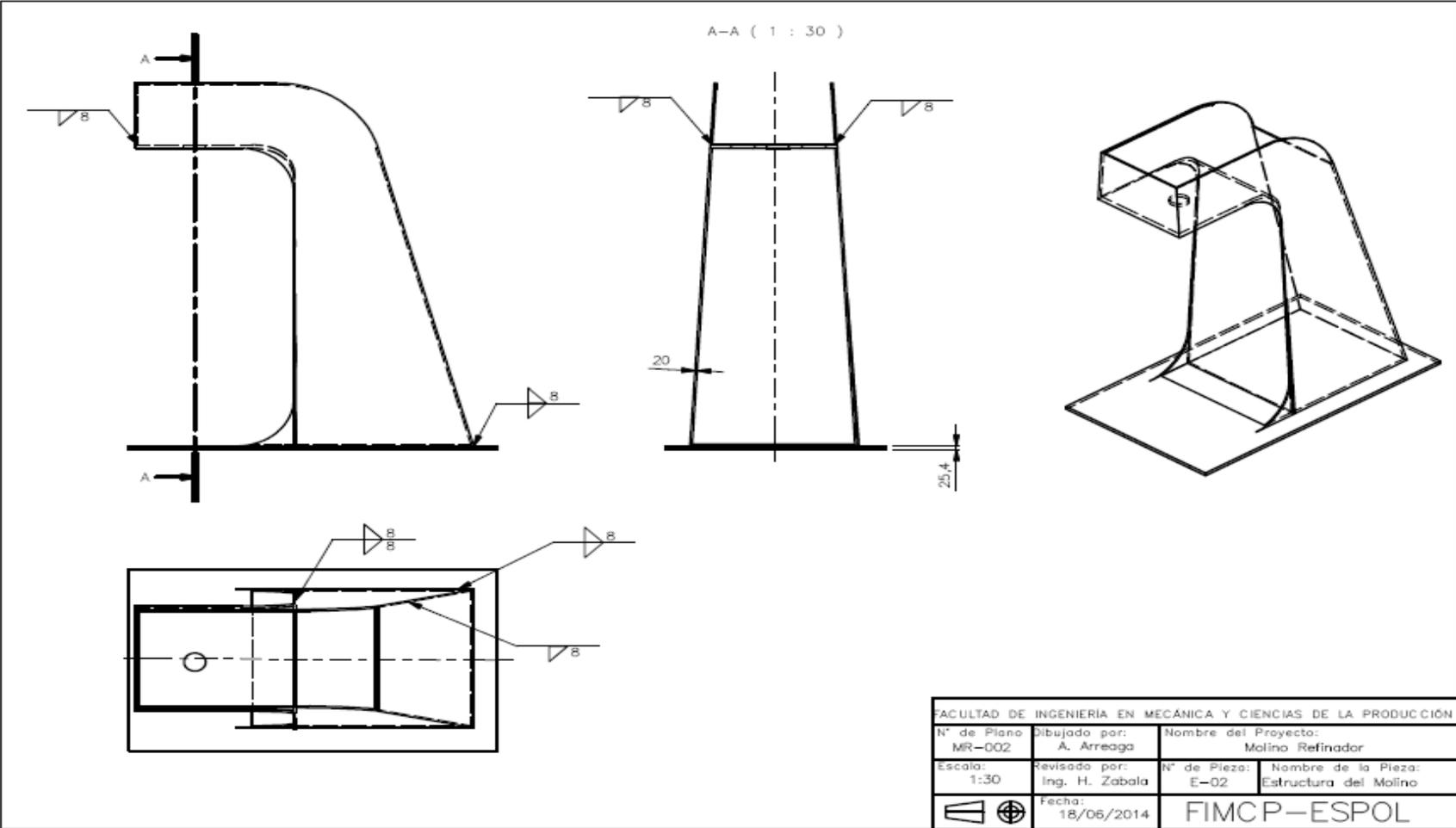
DIBUJOS



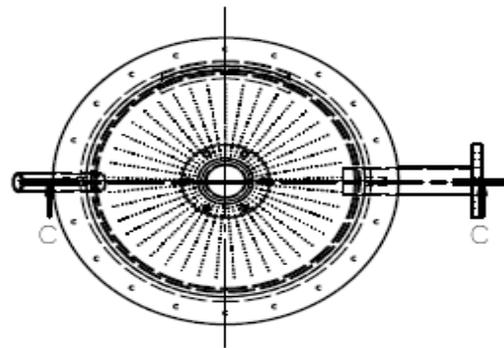
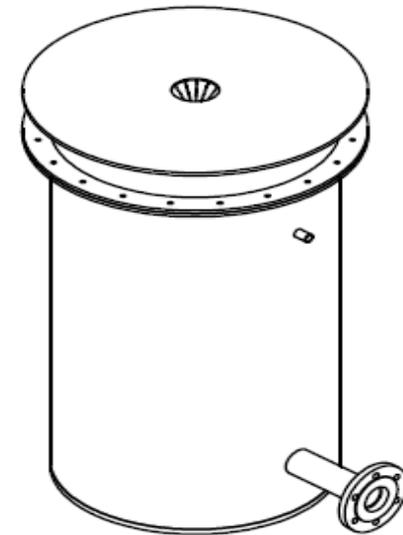
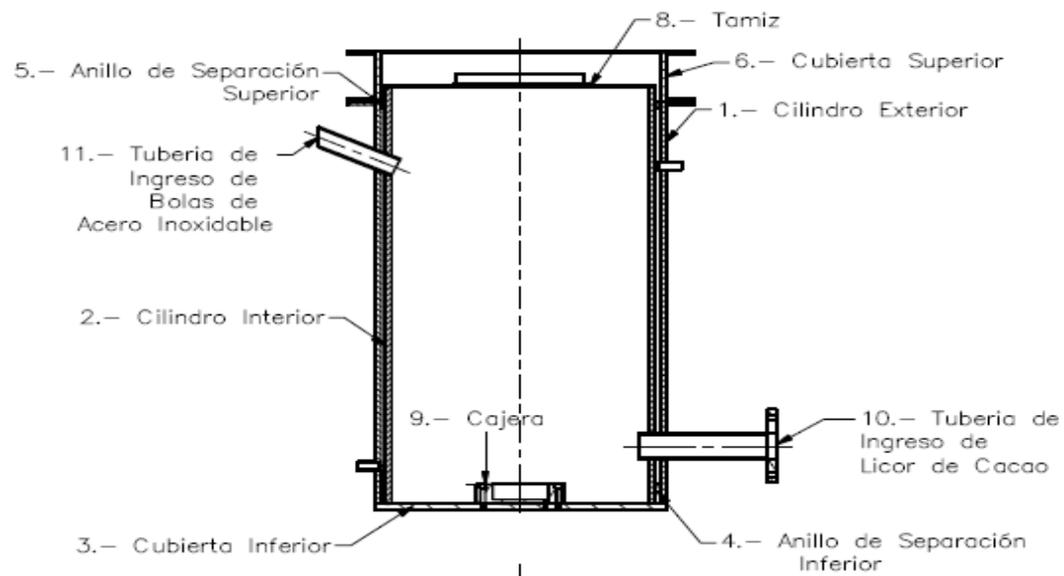
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano: MR-000	Dibujado por: A. ARREAGA	Nombre del Proyecto: MOLINO REFINADOR	
Escala:	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza:	Nombre de la Pieza: ENSAMBLE GENERAL
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL



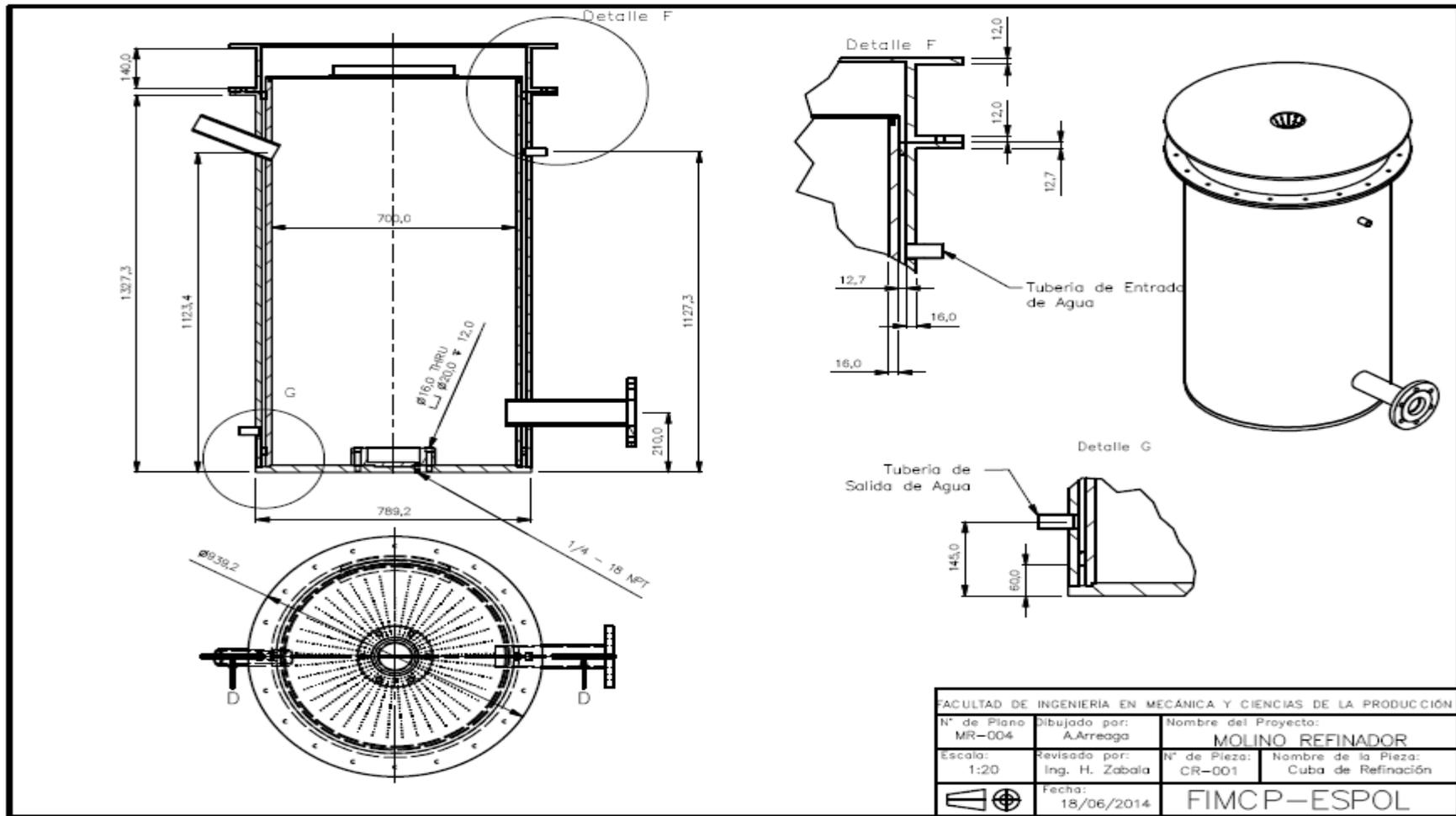
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-001	Dibujado por: A. Arreaga	Nombre del Proyecto: Molino Refinador	
Escala: 1:30	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: E-01	Nombre de la Pieza: Estructura del Molino
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL

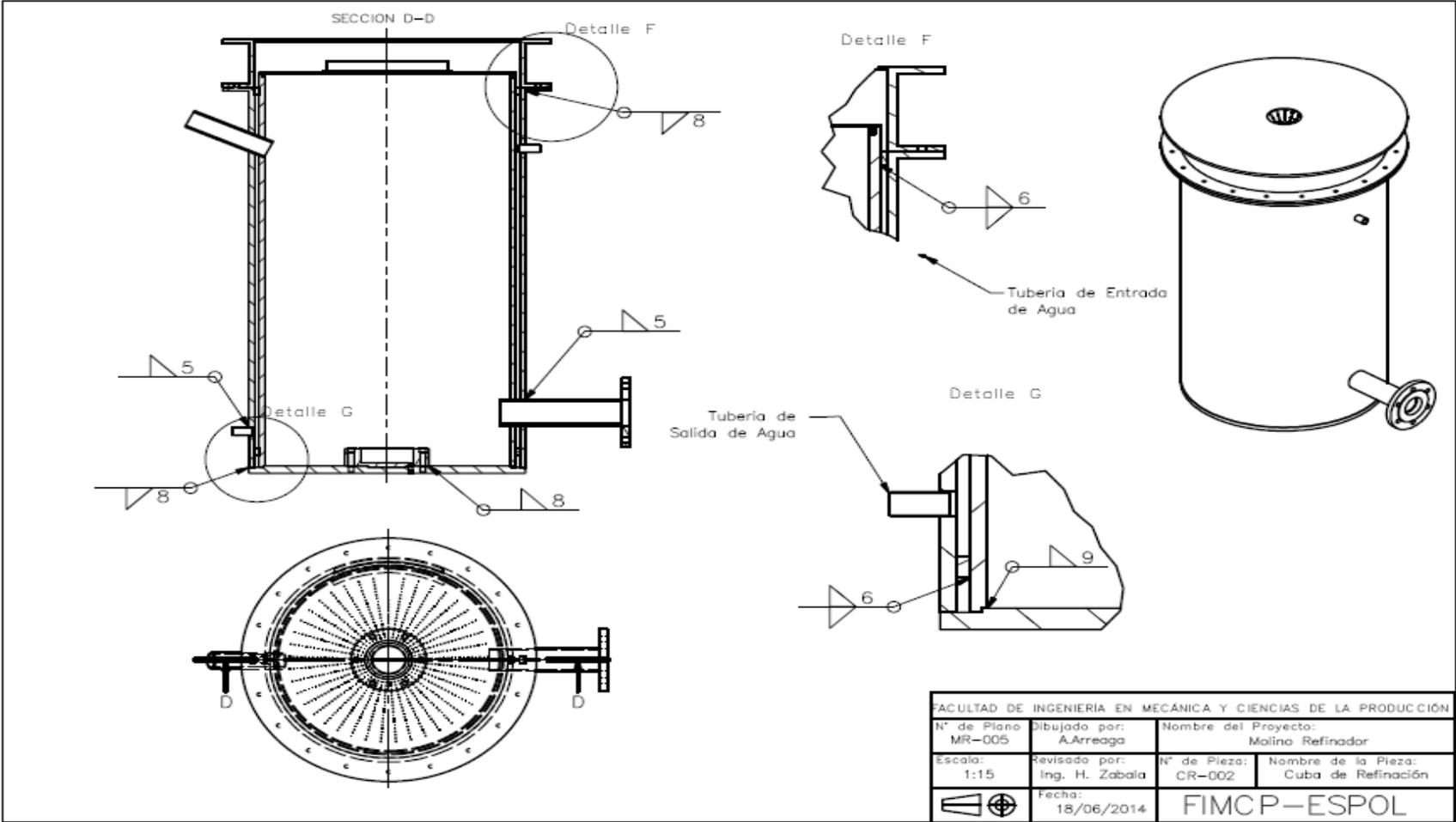


FACULTAD DE INGENIERIA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-002	Dibujado por: A. Arreaga	Nombre del Proyecto: Molino Refinador	
Escala: 1:30	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: E-02	Nombre de la Pieza: Estructura del Molino
	Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL	

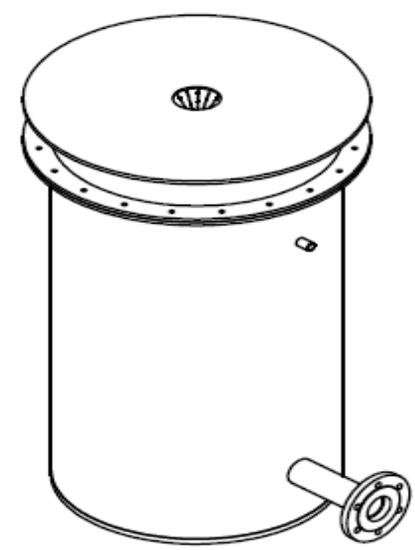
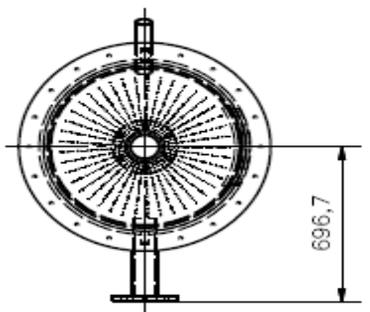
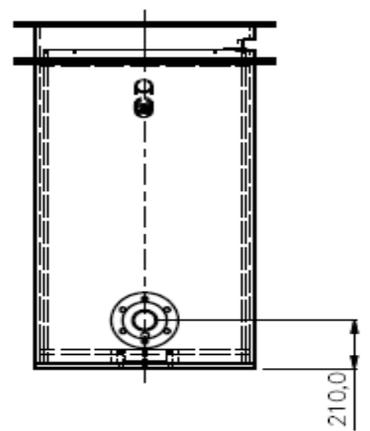
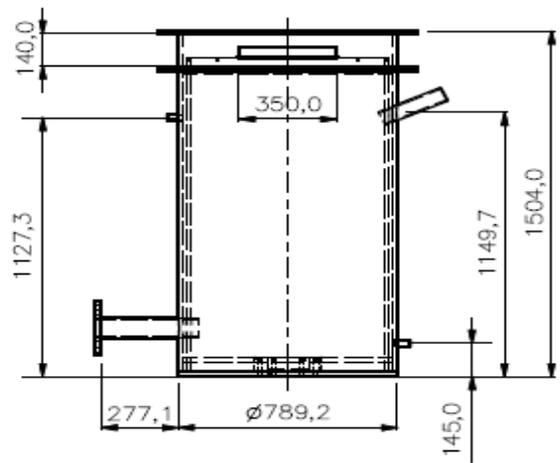


FACULTAD DE INGENIERIA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-003	Dibujado por: A. Arreaga	Nombre del Proyecto: Molino Refinador	
Escala: 1:20	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: CR-00	Nombre de la Pieza: Cuba de Refinación
	Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL	

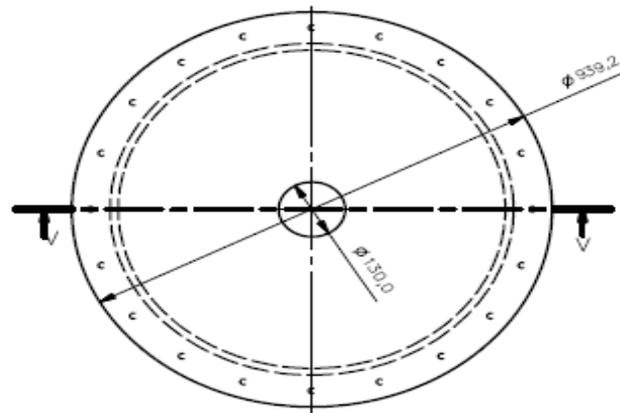
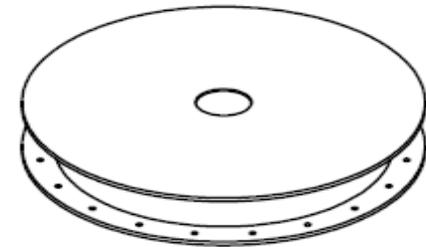
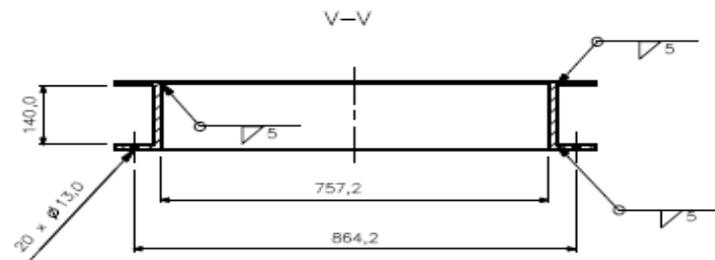




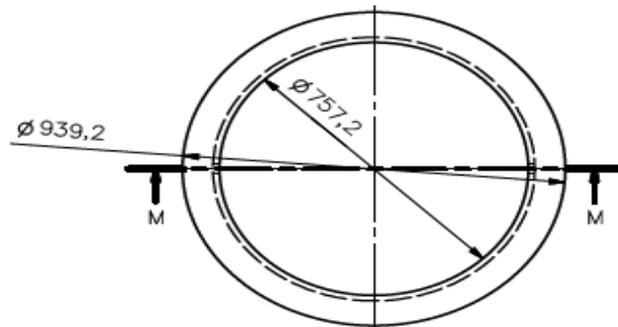
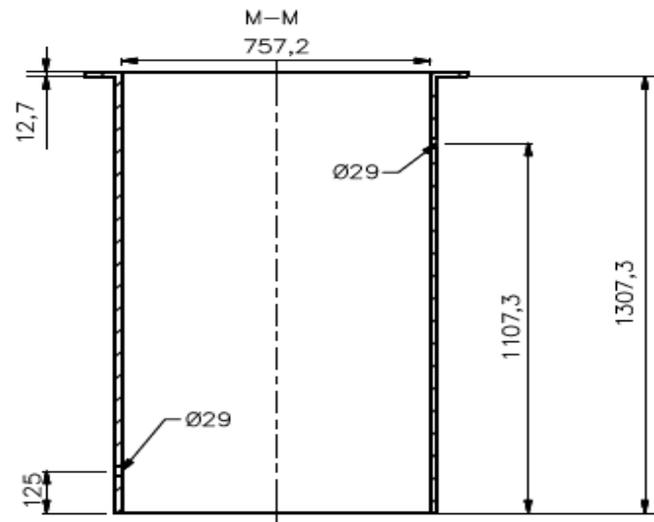
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-005	Dibujado por: A.Arreaga	Nombre del Proyecto: Molino Refinador	
Escala: 1:15	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: CR-002	Nombre de la Pieza: Cuba de Refinación
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL



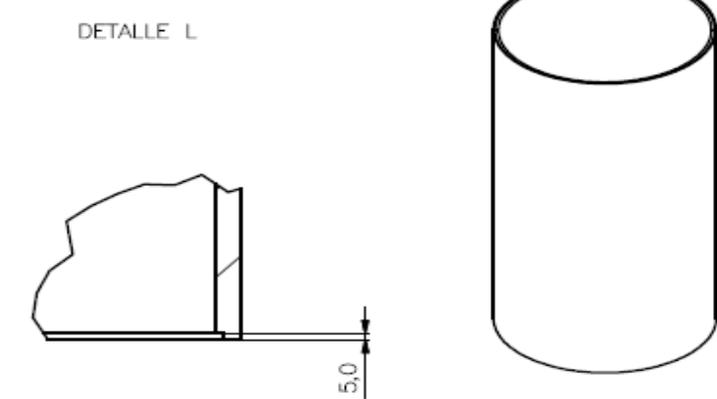
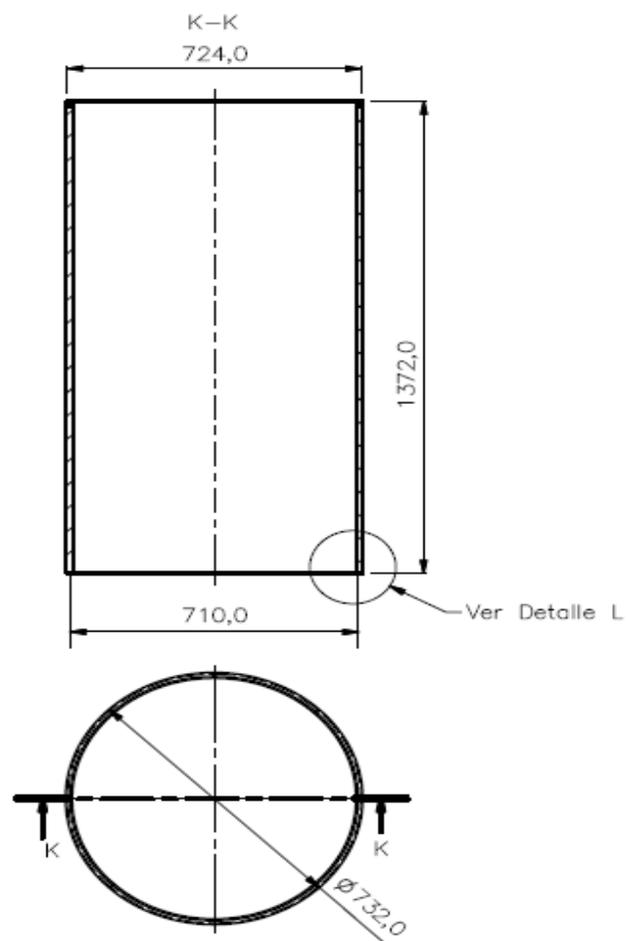
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION			
N° de Plano MR-006	Dibujado por: A. Arreaga	Nombre del Proyecto: MOLINO REFINADOR	
Escala: 1:23	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: CR-003	Nombre de la Pieza: Cuba de Refinación
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL



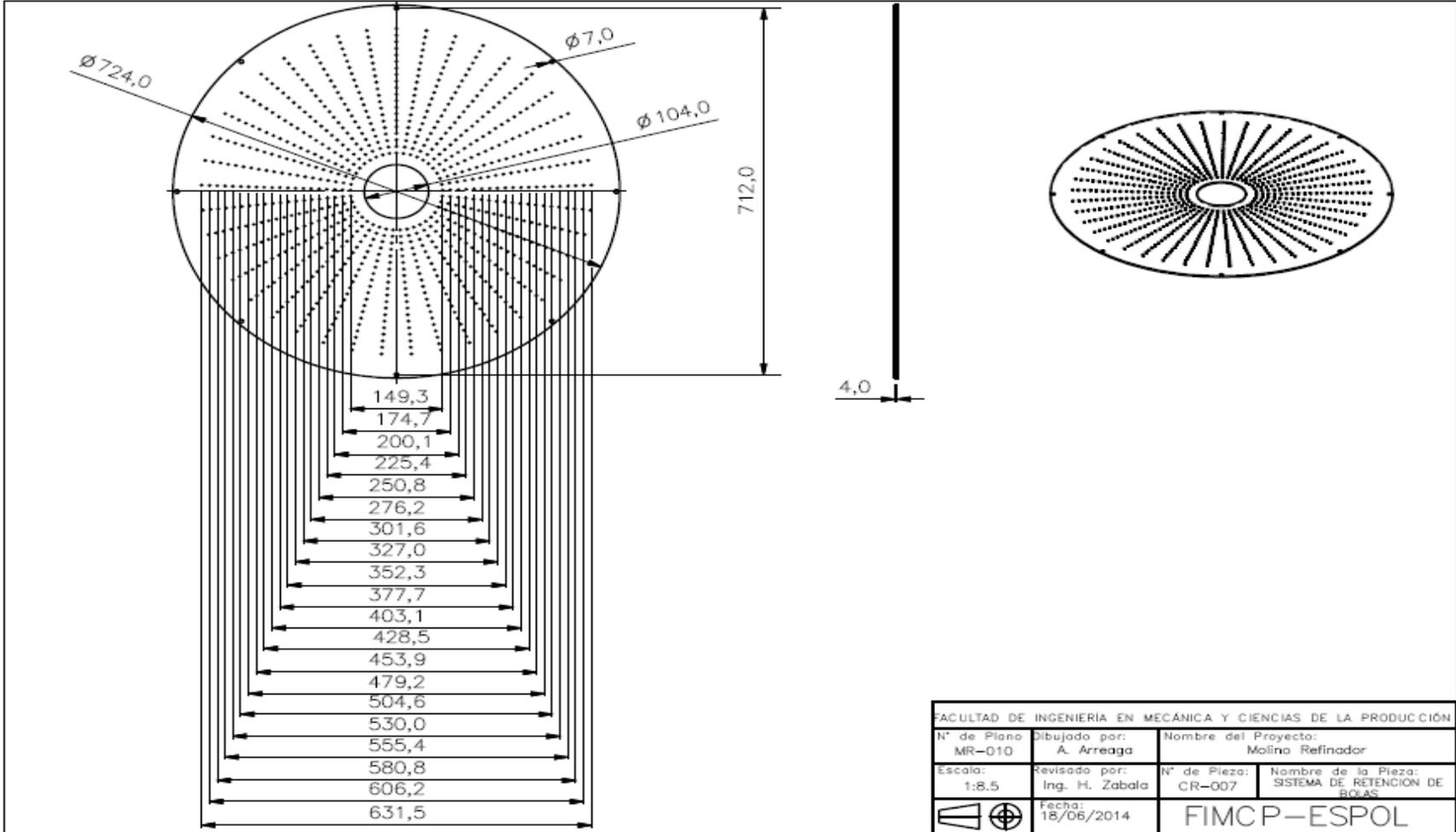
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano: MR-007	Dibujado por: A. ARREAGA	Nombre del Proyecto: Molino Refinador	
Escala: 1:12	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: CR-004	Nombre de la Pieza: Cubierta Superior
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL

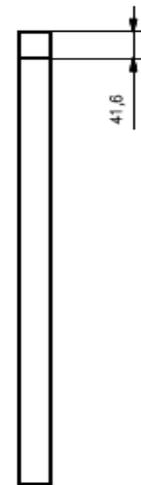
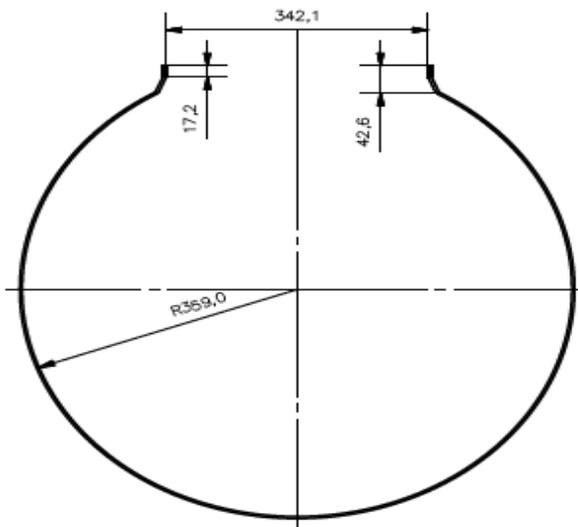


FACULTAD DE INGENIERIA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano: MR-008	Dibujado por: A. Arreaga	Nombre del Proyecto: Molino Refinador	
Escala: 1:15	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: CR-005	Nombre de la Pieza: CUERPO SISTEMA DE REFRIGERACION
Fecha: 18/06/2014		FIMCP-ESPOL	

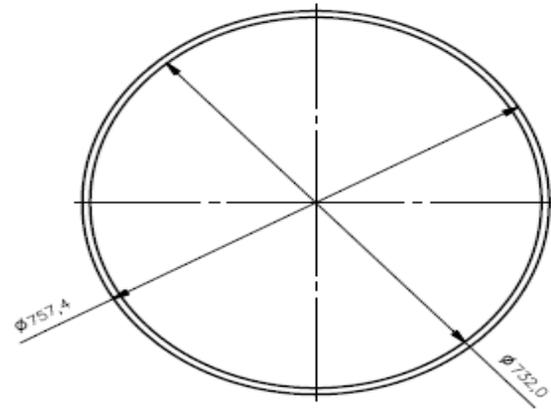
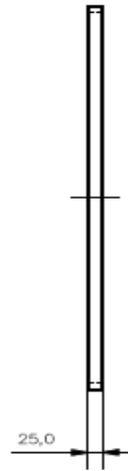


FACULTAD DE INGENIERIA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-009	Dibujado por: A. ARREAGA	Nombre del Proyecto: MOLINO REFINADOR	
Escala: 1:15	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: CR-006	Nombre de la Pieza: CUERPO SISTEMA DE MOLIENDA
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL



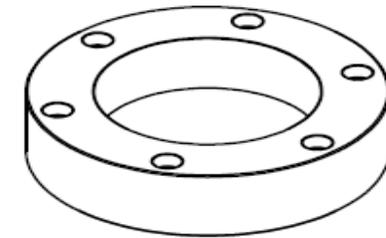
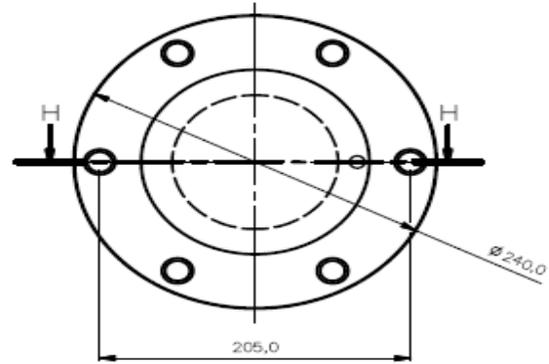


FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-011	Dibujado por: A. ARREAGA	Nombre del Proyecto: Molino Refinador	
Escala: 1:8	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: CR-008	Nombre de la Pieza: ANILLO DE SALIDA DE UCOR DE CACAO
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL

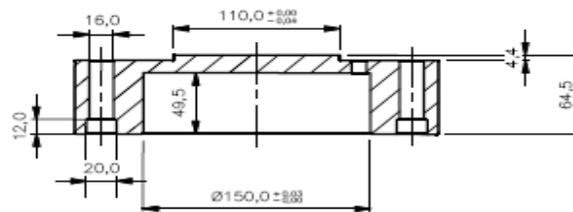


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	BRIDAS SISTEMA DE REFRIGERACION	

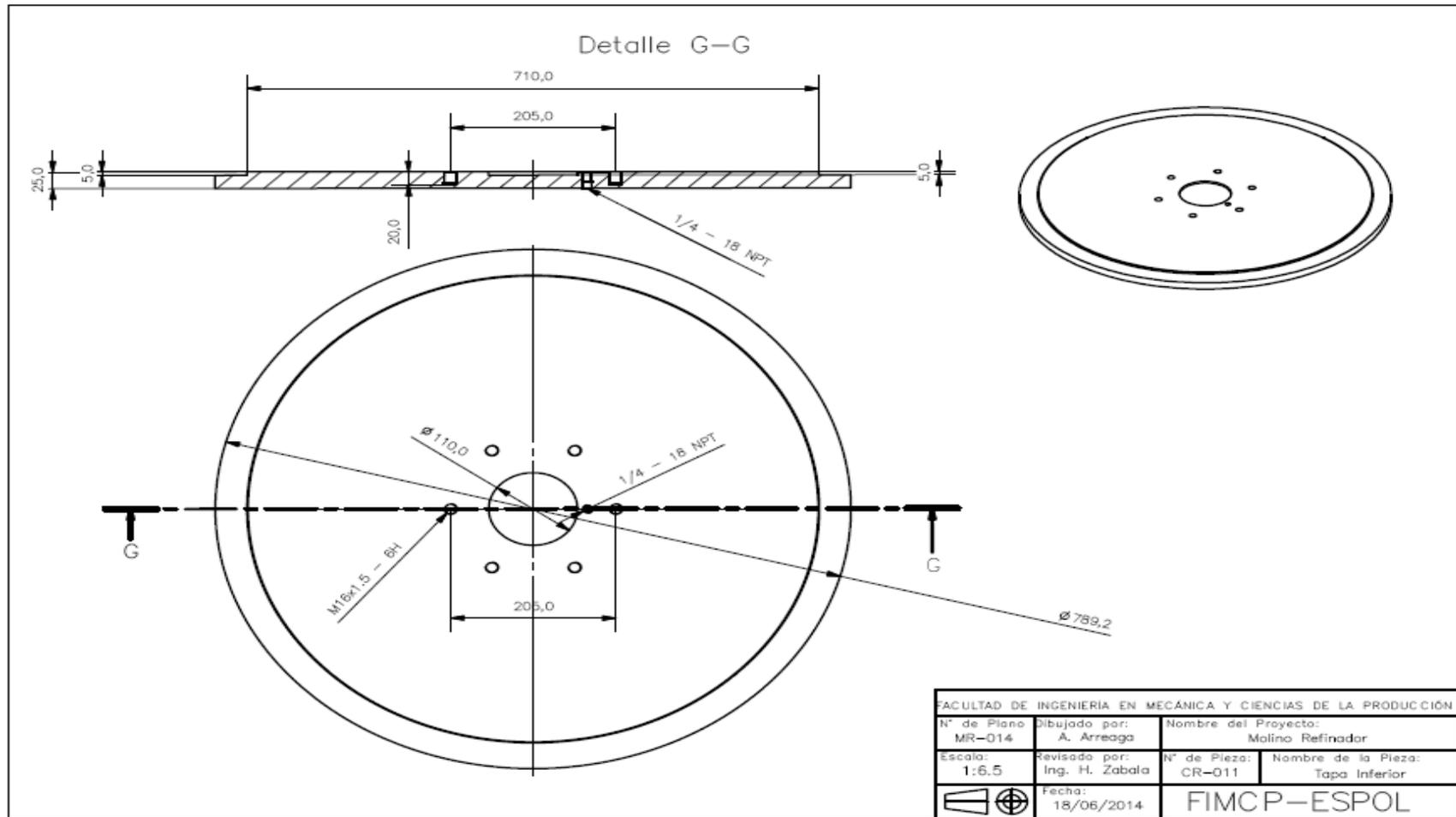
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-012	Dibujado por: A. ARREAGA	Nombre del Proyecto: MOLINO REFINADOR	
Escala: 1:12	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: CR-009	Nombre de la Pieza: BRIDA SISTEMA DE REFRIGERACION
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL

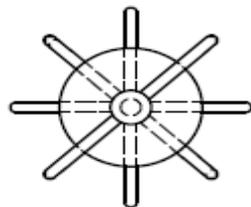
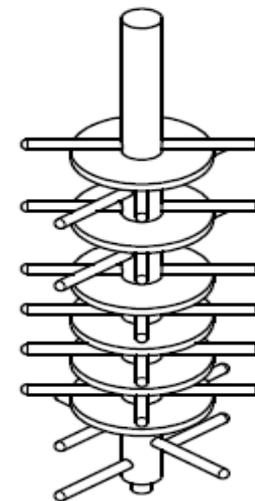
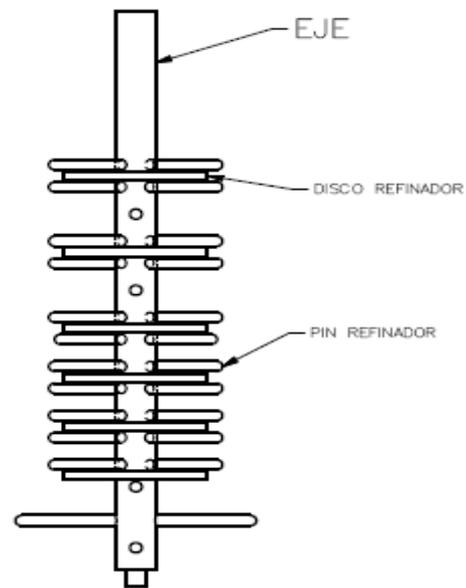


Detalle H-H

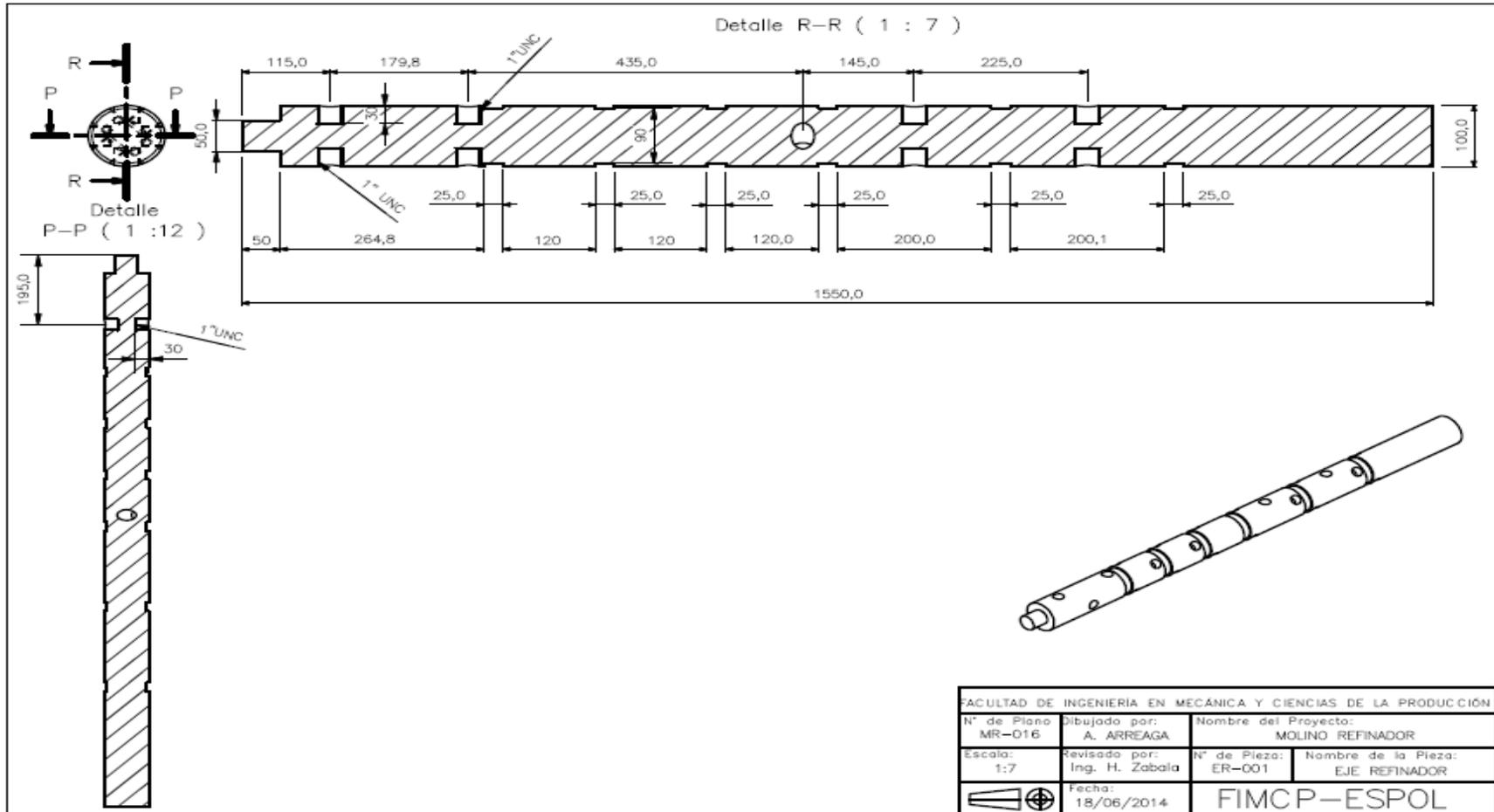


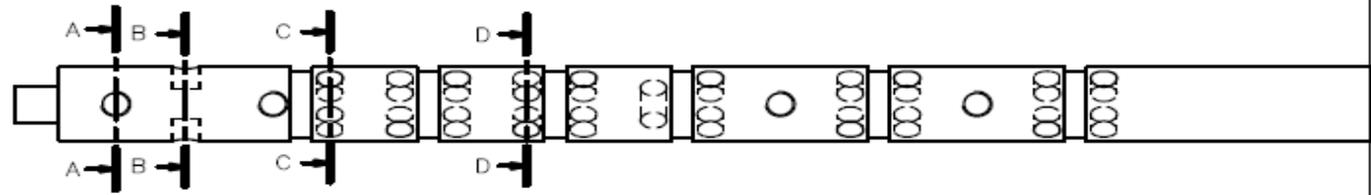
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-013	Dibujado por: A. Arreaga	Nombre del Proyecto: Molino Refinador	
Escala: 1:4	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: CR-010	Nombre de la Pieza: CAJERA
	Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL	



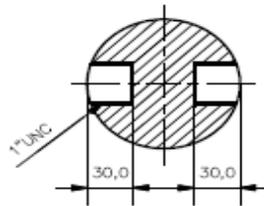


FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano: MR-015	Dibujado por: A. ARREAGA	Nombre del Proyecto: MOLINO REFINADOR	
Escala: 1:15	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: ER-000	Nombre de la Pieza: EJE REFINADOR
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL

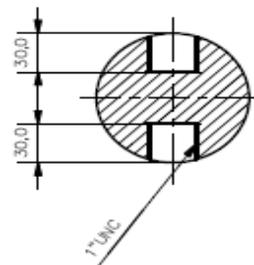




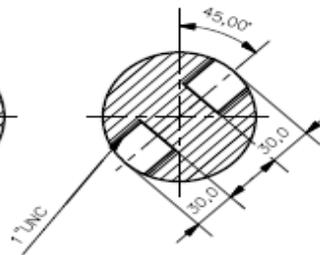
Detalle
A-A (1:4)



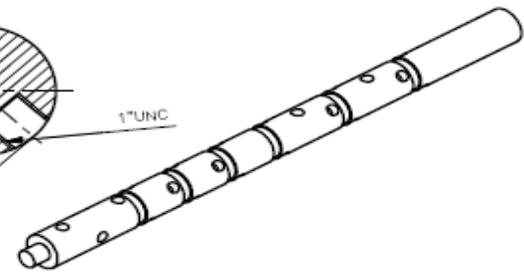
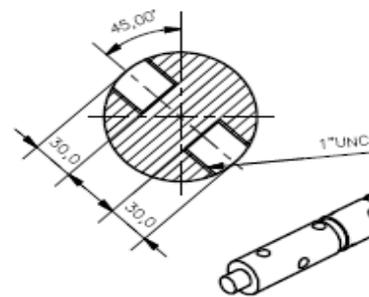
Detalle
B-B (1:4)



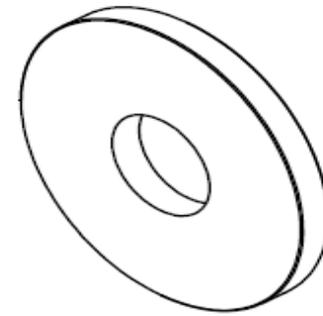
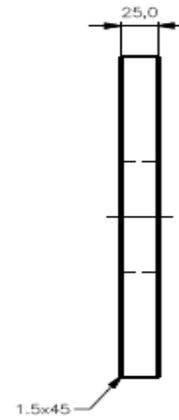
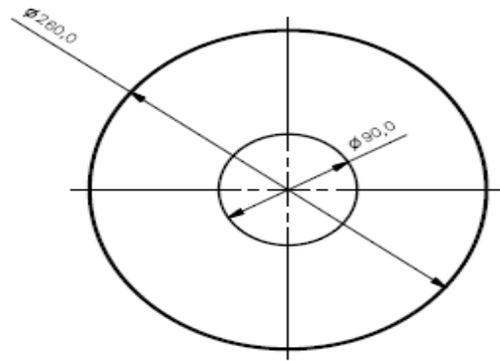
Detalle
C-C (1:4)



Detalle
D-D (1:4)

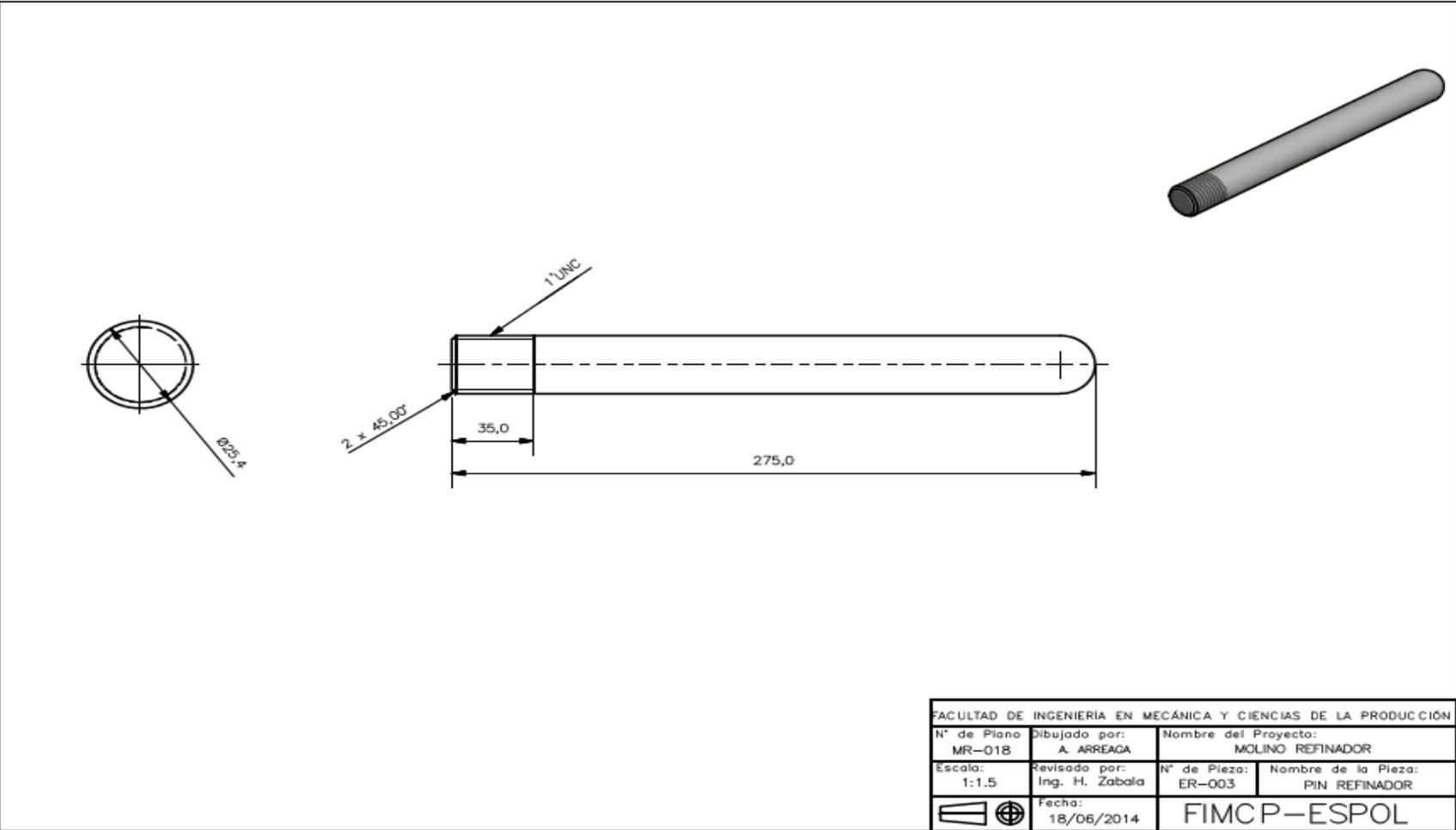


FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano: MR-017	Dibujado por: A. ARREAGA	Nombre del Proyecto: MOLINO REFINADOR	
Escala: 1:7	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: ER-001A	Nombre de la Pieza: EJE REFINADOR POSICIÓN DE AGUIJOS
	Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL	

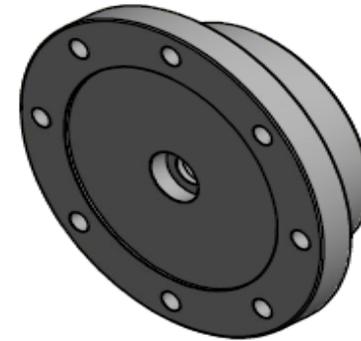
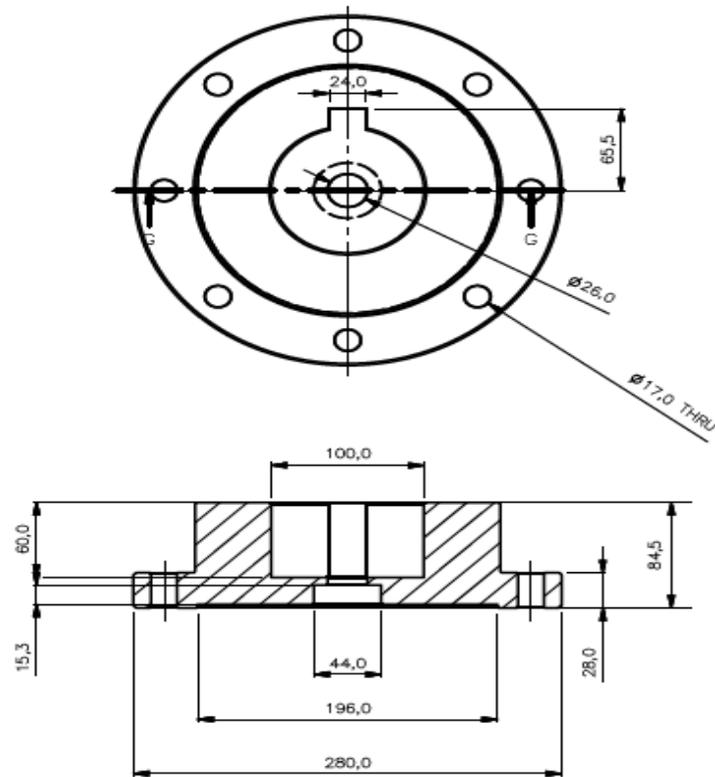


NOTA:
Cortar por la mitad

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano: MR-018	Dibujado por: A. Arreaga	Nombre del Proyecto: MOLINO REFINADOR	
Escala: 1:4	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: ER-002	Nombre de la Pieza: DISCO REFINADOR
		Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL



FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-018	Dibujado por: A. ARREAGA	Nombre del Proyecto: MOLINO REFINADOR	
Escala: 1:1.5	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: ER-003	Nombre de la Pieza: PIN REFINADOR
	Fecha: 18/06/2014	FIMCP-ESPOL	



FACULTAD DE INGENIERIA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
N° de Plano MR-020	Dibujado por: A. ARREAGA	Nombre del Proyecto: MOLINO REFINADOR	
Escala: 1:4	Revisado por: Ing. H. Zabala	N° de Pieza: ACSH	Nombre de la Pieza: ACOPLE SUPERIOR HEMBRA
Fecha: 18/06/2014		FIMCP-ESPOL	

BIBLIOGRAFÍA.

- [1].- Resistencia de Materiales de Singer, Cuarta Edición.
- [2].- Mecánica de Fluidos, Sexta Edición-Frank M. White.
- [3].- Rediseño y Construcción de un molino tipo Atritor por Jeisson Julián Rentería Díaz, 2008.
- [4].- Informe Técnico del Ingeniero Mecánico.
- [5].- Diseño de Maquinarias de R. Norton, Quinta Edición.
- [6].- Libro de Diseño de Shigley, Séptima Edición.
- [7].- Diseño del Sistema de Esterilización Experimental en la Obtención de Licor de Cacao por Banner Iván Guerrero Albán.
- [8].- Fundamentos de Transferencia de Calor de Kreith, Quinta Edición.
- [9].- Estudio del proceso de mezclado en la elaboración del chocolate en tabletas en la fábrica Carolina de la Ciudad de Ambato y su Beneficio en la optimización de la producción por Juan Manuel Guerrero.
- [10].- The effect of processing parameters on energy consumption of ball mill refiner for chocolate-Alexandra Fistes, Dusan Rakic, Ljubica Dokic, Ivana NiKolic, University of Novi Sad-Serbia.
- [11].- Criterios de Selección y Optimización del Tamaño de esferas de Aceros para Moliendas de Pasto de Cacao-Jose Vicente Betancourth Santos.

- [12].- Casillas A.L Maquinas, Cálculos de Taller; Edición Hispanoamericana-
España 1958
- [13].- Catálogo de FALK.
- [14].- Catálogos de Rodamientos de NTN.
- [15].- Diseño de una línea Procesadora de Pasta de Cacao Artesanal-Juan
Carlos Plua Cuesta.
- [16].- Guía del Molino de bolas Industriales.