

T
621.815.
VAL d.



**Escuela Superior Politécnica
del Litoral**

Facultad de Ingeniería en Mecánica



Tesis de Grado

Previa a la obtención del Título de

INGENIERO MECANICO

T E M A :

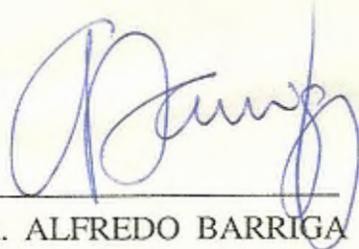
“Diseño de una Mezcladora de Productos
Sólidos en Polvo”.

Presentada por:

Willmer Orlando Vallejo Tumbaco



GUAYAQUIL . ECUADOR



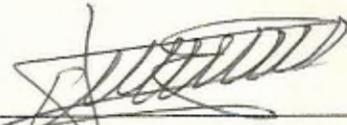
DR. ALFREDO BARRIGA
DECANO FIM



ING. MANUEL HELGUERO
DIRECTOR DE TESIS



ING. FREDDY CEVALLOS
MIEMBRO TRIBUNAL
PRINCIPAL

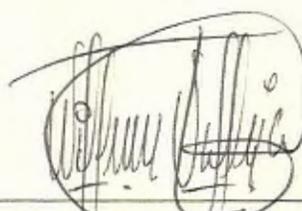


ING. EDMUNDO VILLACIS
MIEMBRO TRIBUNAL
PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la Espol).

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Willmer O. Vallejo T.', enclosed within a circular scribble.

WILLMER O. VALLEJO T.

DEDICATORIA

A DIOS.

A mis PADRES, ABUELA Y HERMANAS.

A mis Tíos y demás familiares.

A mis Profesores.

A mis amigos y compañeros.

A todas las persona que me conocen y han creído en mí

AGRADECIMIENTO

A DIOS por haberme iluminado y guiado a lo largo de mi vida.

A mis Padres y demás familiares, y muy especialmente a SARA, ROSA, CAROL Y MARUXI, que son mi MADRE, ABUELA y HERMANAS respectivamente, y que en todo momento me brindaron su cariño, ayuda y apoyo.

A la ESPOL, y sus profesores, principalmente a los de la Facultad de Ingeniería en Mecánica, por los conocimientos y enseñanzas que me suministraron durante mis años de estudio, al igual que por su amistad brindada.

A SCHLUMBERGER SURENCO, y en especial al Ing. Jaime Barriga, por la ayuda prestada para la culminación de mi TESIS.

A los Ingenieros Manuel Helguero y Henry Aguirre, por su dirección, ayuda y amistad brindadas desinteresadamente.

A mis amigos, que de una u otra forma me han ayudado en varios momentos de mi vida.

RESUMEN

La presente Tesis está orientada al diseño y cálculo de una máquina capaz de mezclar materiales en polvo o partículas que se adquieren en el mercado separadamente como materia prima, pero para su utilización, se requiere una mezcla homogénea.

Primeramente trato generalidades del tema exponiendo las principales definiciones que se necesitan para entender el proceso de mezclado. Describo el proceso de mezcla y la forma en que se realiza la evaluación del mismo por medio del muestreo. Igualmente, detallo de manera general algunos tipos de mezcladoras y sus aplicaciones.

Seguidamente enfoco la utilización de estas máquinas en el país y sus posibles usuarios, para luego plantear y limitar el problema particular, motivo del presente diseño, y entonces seleccionar la mejor solución para el mismo.

De esta manera, una vez escogido el sistema a emplear, se realiza el análisis correspondiente de la máquina para encontrar la forma y dimensiones que tendrán los elementos constitutivos de la misma, de forma que puedan resistir los estados de esfuerzo y las cargas a que van a estar sometidos cuando se hallen en operación. Se incluye los planos necesarios para su visualización, comprensión y posterior construcción.

INDICE GENERAL

	pág.
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XII
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INDICE DE PLANOS.....	XIV
NOMENCLATURA.....	XV
SIMBOLOGIA.....	XVIII

CAPITULO I

GENERALIDADES.....	19
1.1. INTRODUCCION.- ANTECEDENTES.....	19
1.2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE MEZCLA Y FORMA DE MUESTREO.....	23
1.3. APLICACIONES GENERALES DE LAS MEZCLADORAS .- TIPOS DE LAS MISMAS.....	26.
 CAPITULO II	
PLANTEAMIENTO Y ANALISIS DEL PROBLEMA.....	31
2.1. IDENTIFICACION DE NECESIDADES.- DEFINICION Y LIMITACIONES.....	31
2.2. ASPECTOS Y PARAMETROS DE ESTUDIO PARA SATIS- FACER REQUERIMIENTOS.....	33
2.2.1. FACTORES DE DISEÑO.....	33
2.2.2. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DEL MEZCLADOR.....	34
2.3. DIFERENTES FORMAS DE SOLUCION.....	36
2.4. SELECCION DEL MEJOR SISTEMA.....	38
 CAPITULO III	
DISEÑO DE LA MAQUINA.....	41

3.1. DISEÑO DE FORMA.....	41
3.2. CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS PARTES CONSTITUTIVAS DE LA MAQUINA.....	46
3.2.1. MATERIALES DE CONSTRUCCION.- EXIGENCIAS DE DISEÑO.....	46
3.2.2. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR.....	48
3.2.3. ANALISIS DE LOS ELEMENTOS DE MAQUINA: RESISTENCIA.-FALLA ESTATICA Y POR FATIGA	
3.2.3.1. CALCULO DEL EJE.....	62
3.2.3.2 CALCULO DEL RECIPIENTE.....	84
3.2.3.3 CALCULO DEL SIN FIN DE CINTAS.....	89
3.2.3.4 CALCULO DE LA BARRA SOPORTE DE LAS HELICES.....	90
3.2.4. SISTEMA DINAMICO DE LA MAQUINA .- CALCULO DE LA POTENCIA.....	96
3.2.5. CALCULO DE LOS COMPONENTES MECANICOS PARA LA MAQUINA.....	98

CAPITULO IV

ANALISIS DE COSTOS.....	102
-------------------------	-----

CONCLUSIONES.....	110
-------------------	-----

RECOMENDACIONES..... 112

PLANOS DEL DISEÑO

BIBLIOGRAFIA..... 113

INDICE DE FIGURAS.

Nº		Pág.
1	Diagrama del recipiente de la mezcladora.....	43
2	Diagrama del eje central de la mezcladora.....	44
3	Mecanismo de mezclado.....	45
4	Ubicación de la cinta en el interior de la cámara de mezcla.....	51
5	Volúmenes de producto transportado por cada cinta, durante la operación de mezclado.....	56
6	Diagrama de fuerzas del eje.- Peso propio.....	63
7	Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje debido al peso propio del mismo.....	65
8	Diagrama de fuerzas del eje.- Peso de las cintas.....	70
9	Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje debido al peso de las cintas.....	72
10	Círculo de Mohr.....	79
11	Estado de esfuerzos para un cilindro de pared delgada.....	85
12	Diagrama de fuerzas para la barra soporte de las cintas.....	91
13	Diagrama de fuerza cortante y momento flector para la barra soporte de las cintas.....	93

INDICE DE TABLAS.

- A. UNIDADES DE VELOCIDAD DE CORROSION
- B. VELOCIDADES DE CORROSION
- C. RELACION ENTRE LAS DIFERENTES VELOCIDADES DE CORROSION
- D. DIMENSIONES DE CINTAS STANDARD
- E. TABLA PARA DETERMINAR EL PASO DEL SISTEMA PIÑON-CADENA A PARTIR DE LA POTENCIA Y EL NUMERO DE REVOLUCIONES. E 164, MARTIN, SPROCKET AND GEAR
- F. TABLA DE DIMENSIONES DE CATALINAS
- G. FACTOR DE SERVICIO VS. VIDA DE OPERACION PARA LOS COJINETES (LIFE - SERVICE FACTOR CHART)
- H. CATALOGO SKF DE CHUMACERAS

INDICE DE PLANOS

Lámina No.

1. ARBOL DE TRANSMISIÓN DE LA MEZCLADORA
2. DETALLE A.- AGARRADERA SUPERIOR
3. DETALLE B.- GUARDAPOLVO
4. DETALLE C.-SOPORTE VERTICAL DE LA MEZCLADORA
5. HÉLICES DE LA MEZCLADORA
6. RECIPIENTE DE LA MEZCLADORA
7. DETALLE D.- UNIÓN DE LA ESTRUCTURA SOPORTE
8. ESTRUCTURA SOPORTE DE LAS CHUMACERAS
9. CORTE A-A'
10. PLANO DE ENSAMBLE DE LA MEZCLADORA

NOMENCLATURA

$C. V.$	Coefficiente de variación de la mezcla.
s	Desviación raíz cuadrada media.
s^2	Varianza de composiciones fraccionales.
L_1	Distancia entre apoyos.
L_2	Longitud de la cámara de mezclado.
D	Diámetro de parte inferior del recipiente.
d	Diámetro del eje central.
L	Longitud total del eje central.
b_1	Distancia extra para ubicar transmisión.
b_2	Distancia libre entre apoyos y pared del recipiente.
m	Masa del producto a mezclar.
V	Volumen de trabajo.
n	Número de espiras.
D_2	Diámetro de hélice exterior.
D_1	Diámetro de hélice interior.
$V_{prod.}$	Volumen del producto.
$V_{s.c.}$	Volumen del semicilindro.
$V_{reci.}$	Volumen del recipiente total.
$V_{p.s.}$	Volumen de la parte superior.
b	Base parte superior del recipiente.
h	Altura de recipiente sobre semicilindro.

V_1	Volumen movido por hélice externa.
V_2	Volumen movido por hélice interna.
v	Velocidad lineal de los puntos alrededor del eje.
\bar{v}	Velocidad lineal promedio.
A_1	Area transversal del producto movido por la hélice uno.
A_2	Area transversal del producto movido por la hélice dos.
R_A	Reacción en apoyo A, debida al peso de eje.
R_B	Reacción en apoyo B, debida al peso del eje.
x	Punto a partir del apoyo A, donde el momento es máximo.
M_1	Momento debido al voladizo.
M_2	Momento sin considerar voladizo.
$M_{m\acute{a}x}$	Momento máximo.
L_f	Longitud de hélices.
R_A'	Reacción en apoyo A, debida al peso de la hélice.
R_B'	Reacción en apoyo B, debida al peso de la hélice.
$M_{m\acute{a}x;cin}$	Momento máximo debido al peso de las cintas.
$M_{m\acute{a}x!eje}$	Momento máximo debido al peso propio del eje.
$M_{m\acute{a}x!T}$	Momento máximo Total.
P_i	Peso del i-ésimo volumen, desplazado por la i-ésima espira.
m_i	Masa del i-ésimo volumen, desplazado por la i-ésima espira.
g	Gravedad.
T_i	Torque en la i-ésima espira
I	Inercia.
J	Momento polar de inercia.

I/c	Módulo de sección.
S_y	Resistencia a la fluencia del material de construcción.

SIMBOLOGIA

ρ	Densidad del producto.
ω	Velocidad angular de rotación.
\bar{w}	Peso distribuido del eje.
$\sum M$	Sumatorio de momentos.
$\sum F$	Sumatorio de fuerzas.
$\bar{w}_{espi.}$	Peso distribuido del material de fabricación de la hélice.
\bar{w}_i	Peso distribuido de cada lámina.
\bar{w}_T	Peso total de ambas hélices.
σ	Esfuerzo normal.
τ	Esfuerzo cortante.
σ_1, σ_2	Esfuerzos principales.
η_y	Factor de diseño (seguridad)

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION.- ANTECEDENTES

Existe un sinnúmero de aplicaciones y operaciones industriales en donde se requiere combinar, o mezclar, diferentes componentes individuales a determinados porcentajes, para obtener un producto final homogéneo ya terminado, o bien que sirva de materia prima para una fase posterior.

Así lo ratifica Mr. Frank T. Jones de la Universidad de Carolina del Norte, quien expresa que "Mezclar es probablemente el paso más crítico en la fabricación de alimentos."

Es por esto que con el transcurso de los años se ha investigado con especial interés el proceso de mezcla y los diversos tipos de mecanismos que la realizan, tratándose de obtener un buen efecto en el producto terminado. Cada uno de dichos mecanismos de mezclado tiene diferentes características de operación, las cuales lo hacen más o menos capaz de alcanzar un rendimiento exitoso en una aplicación particular. La calidad estandar de cada fórmula de alimentos necesita ser considerada.

TERMINOLOGIA EMPLEADA EN EL PROCESO DE MEZCLA.- Definiciones.

De acuerdo al Dr. John Williams, de la Universidad de Bradford, cualquier estudio referente a mezclas o mezcladores debe comenzar con un estudio de los términos y definiciones comunmente usados. Así se tiene que:

Mezclado Perfecta, es el estado en el que cualquier muestra tomada de la mezcla tendrá la misma composición. En la práctica industrial, el mezclado perfecto normalmente no puede ser logrado o al menos aproximado.

Mezclado Aleatorio, es el estado logrado cuando la probabilidad de encontrar una partícula de un componente dado es la misma en todos los puntos en la mezcla, y es igual a la proporción de aquel componente en la mezcla total.

Las muestras probadas no tendrán exáctamente la misma composición, y las variaciones de una mezcla aleatoia podrán ser evaluadas usando las leyes de probabilidad y estadística.

Coefficiente de Variación (CV), es la medida de la variación que ocurre en cualquier grupo de datos iguales. Un

coeficiente de variación de un grupo de datos puede ser comparado con aquellos de cualquier otros grupos de datos usando cualquier otra forma de análisis o medición. Los coeficientes de variación llegan a ser más pequeños cuando los datos de los cuales ellos son calculados son más uniformes.

El Dr. Harry Pfof de la Universidad de Kansas, escribió que coeficientes CV de 5% a 10% pueden ser tentativamente considerados como indicadores de mezclado satisfactorio, dependiendo de la clase de producto que esté siendo mezclado.

Coeficientes de variación sobre el 10 % indican que mejoras de mezclado pueden ser deseables.

Segregación: Este fenomeno ocurre cuando las partículas de un componente tienen una preferencia para estar en uno o más lugares en un contenedor mejor que en otros lugares. Casi siempre existen algunas diferencias en las propiedades físicas de los componentes a ser mezclados, y esto puede conducir a una tendencia para ellos a desmezclarse o segregar.

El estado final alcanzado en el mezclador es el equilibrio entre mezclado y segregación. Después, el equilibrio puede ser alterado en la bolsa,

recipiente o camión, a menos que la mezcla sea “congelada” por pelletización o por la adición de líquidos como melasas o grasa.

Las propiedades que causan segregación son diferencias de tamaños de partícula, densidad, forma y resistencia y elasticidad. De estos factores, las diferencias de tamaño de partícula son el más importante, y casi siempre son la más seria causa de segregación.

Las pruebas desafortunadamente han mostrado que para algunas mezclas fluyendo libre, tamices adyacentes segregarán en forma bastante apreciable.

Las diferencias de densidades son mucho menos significativas que el factor anterior, y los otros son básicamente despreciables.

1.2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE MEZCLA Y FORMA DE MUESTREO

DEFINICION DE MEZCLA

La mezcla consiste en dispersar los componentes unos en otros. Es una de las operaciones industriales peor conocidas.

En un proceso de mezcla ideal se empieza con los componentes reunidos en un recipiente, pero todavía separados como tales, siendo componentes puros.

La mezcla completa se puede por ello definir como aquella situación en la que todas las muestras contienen los componentes en las mismas proporciones que la de la mezcla global; sin embargo, esto constituye un resultado muy improbable de cualquier proceso real de mezcla.

De esta manera, se puede definir la mezcla perfecta como aquella en la que los componentes de las muestras están en proporciones cuya probabilidad estadística de ocurrencia es la misma que la de una dispersión estadísticamente al azar de los componentes originales.

ANALISIS DE MUESTRAS

La muestra se ha de caracterizar de alguna forma a partir de la medida de las composiciones de las muestras.

Sin embargo, se plantea implícitamente la cuestión del tamaño de las mismas. Si se toman muestras de tamaños extremos que cubran, ya sea

la totalidad de las muestras o solamente las moléculas del producto a mezclar, se tendría bien una sola muestra directa o bien una muestra que solo contenga uno u otro componente. Entonces queda claro que la muestra estará comprendida entre esos dos extremos, teniendo en mente que los resultados a que se lleguen dependerán directamente del tamaño que se haya seleccionado la muestra.

Generalmente, en gran cantidad de aplicaciones prácticas, las condiciones del proceso prescriben los tamaños adecuados para las muestras.

Las desviaciones de las composiciones de la muestra de la composición media de la mezcla global constituye una medida del proceso de mezcla. La manera más directa y satisfactoria de medir esta desviación es utilizar el término estadístico conocido como valor de la raíz cuadrada media (r.c.m.).

La desviación r.c.m. de la composición media viene dada por:

$$s = \sqrt{\frac{[(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2]}{n}} \quad (1)$$

donde:

- s → es la desviación r.c.m.
- n → número de muestras tomadas
- x_i → componentes fraccionales del componente X en la mezcla

\bar{x} → composición fraccional media del componente X en la mezcla global.

Por medio de la ecuación anterior se pueden calcular valores de “s” a partir de las composiciones de las muestras medidas, tomando las “n” muestras en cualquier momento dado del proceso de mezcla.

En determinadas circunstancias es más conveniente utilizar s^2 en lugar de s, y a s^2 se le denomina la varianza de las composiciones fraccionales de las muestras respecto de la composición media.

La fórmula (1) puede resultar tediosa, por lo que se puede obtener los valores de la desviación más rápidamente por las siguientes ecuaciones, demostrables estadísticamente:

$$s^2 = \frac{\sum(x_i^2) - \sum(\bar{x}^2)}{n}$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i^2) - n\bar{x}^2}{n}$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i^2)}{n} - \bar{x}^2$$

1.3. APLICACIONES GENERALES DE LAS MEZCLADORAS.- TIPOS DE LAS MISMAS.

Existen muchos tipos de mezcladores, pero a medida que se ha avanzado en la investigación de este proceso, se ha conseguido una normalización de los aparatos de mezcla en las distintas ramas de aplicación. Posiblemente, la forma más fácil de clasificar las mezcladoras es dividir las según el tipo de productos que mezclen, sean líquidos, pastas espesas o polvos secos.

MEZCLADORES DE LIQUIDOS Y PASTAS

Para la mezcla adecuada de líquidos, probablemente la mezcladora de hélice sea la más común y la más satisfactoria.

En este tipo de aplicación es importante evitar la formación de flujos regulares, como un vórtice regular alrededor de un depósito cilíndrico, ya que con ello no se conseguirá prácticamente nada de acción de mezcla. Para romper estas formas de líneas de corriente se añaden contrapalas o se monta la hélice asimétricamente. Se pueden emplear varias contrapalas, pudiendo su localización causar diferencias considerables en la conducta de mezcla.

MEZCLADORAS PARA PRODUCTOS SÓLIDOS SECOS

El grado de mezcla necesario en muchas operaciones de mezcla dependerá de para que se vaya a utilizar la mezcla y los métodos de control que se utilicen.

Con frecuencia se aplican métodos de prueba prácticos a la mezcla para saber si es o no adecuada para la aplicación a dársele.

Los métodos de control de la operación de mezcla consisten en muestrear la carga, analizar las muestras y tratar estadísticamente los resultados.

Cualquier forma de control de las mezclas requiere muestreo de las mismas. Además, ellas deben ser representativas de las mezclas, y su manipulación, posterior al muestreo, no debe alterarlas.

La conducta dinámica de las partículas sólidas durante el proceso de mezcla es compleja. En los primeros trabajos de investigación sobre el tema se realizaban analogías con los sistemas de mezclas líquidas, pero de acuerdo a las nuevas investigaciones se ha mostrado que tales analogías pueden conducir a malentendidos.

MECANISMOS BASICOS DE MEZCLA

La mezcla de sólidos se considera, en general, como producida por uno o más de tres mecanismos básicos para tal fin:

CONVECCIÓN.- es decir transporte de producto o grupos de partículas de un punto a otro.

DIFUSIÓN.- o sea, transmisión de partículas individuales de un punto a otro, producida por la distribución de las partículas sobre una

superficie acabada de crear.

CIZALLA.- es decir la creación de planos de resbalamiento dentro de la masa como resultado de la mezcla de grupos de partículas.

Como consecuencia del movimiento de las partículas también puede resultar una segregación de las partículas, debido a diferencias en sus propiedades. Debido a esto, en cualquier operación de mezclado, se debe tener presente que la mezcla y desmezcla tienen lugar a la vez.

Las propiedades de los ingredientes que más influyen en su mezcla son el tamaño, forma y densidad de la partícula. Además son importantes características superficiales y de flujo, fragilidad, contenido de humedad y tendencia a formar aglomerados.

Cuanto más próximas son la forma, el tamaño y densidad de los ingredientes, más fácil es la operación de mezcla y más íntima la mezcla resultante.

Una vez que los mecanismos de mezclado y desmezclado alcanzan un estado de equilibrio, queda definido el estado de la mezcla final y continuar con la operación de mezclado no proporcionará mejores resultados.

SEGREGACION

La importancia de los efectos de la segregación sobre el grado de homogeneidad alcanzado en la mezcla de sólidos no debe sobrestimarse

A la hora de seleccionar el equipo mezclador de sólidos es preciso reconocer cualquier tendencia a la segregación.

En la mezcla de sólidos secos, la segregación se detecta usando el **test de la pila**, para cuya ejecución se vierte la mezcla de sólidos a través de un embudo para formar una pila cónica; se toma una muestra del núcleo central y otra del borde del cono; ambas deben tener composiciones esencialmente idénticas para asegurar que no existirán problemas de segregación. Si las muestras presentan composiciones significativamente distintas habrá segregación, a menos que se logre un diseño óptimo de la mezcladora.

De acuerdo al grado de segregación se clasificó, según el Dr. Williams, a las mezcladoras de sólidos en dos grupos:

1. Mezcladoras segregantes
2. Mezcladoras menos segregantes

Las primeras tienen un mecanismo de carácter fundamentalmente difusivo, mientras que las segundas operan por mecanismos fundamentalmente convectivos.

Hoy es aceptado que la eficiencia de un proceso de mezcla debe relacionarse tanto con las propiedades reológicas de los componentes como con el diseño de la máquina mezcladora.

MEZCLA DE PARTICULAS

Se considera el caso de mezclar partículas partiendo de grupos separados y terminando con los componentes distribuidos al azar; entonces se pueden calcular las varianzas (s^2) de las composiciones de las mezclas a partir de la composición media de la muestra.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO Y ANALISIS DEL PROBLEMA

2.1. IDENTIFICACION DE NECESIDADES.- DEFINICION Y LIMITACIONES

En el país muchas de las empresas existentes realizan una operación de mezcla de materiales, como por ejemplo las fábricas de balanceado, industria del cemento, industria de plásticos, industria farmacéutica, etc. En todas ellas, el proceso de mezclado diferirá uno de otros de acuerdo a la aplicación, pese a que se requiera el mismo fin, esto es, mezclar. De esta manera los materiales que se mezclarán podrán ser líquidos, sólidos o pastas, los cuales variarán dependiendo de sus características propias, como densidad o tamaño de partícula.

Para el presente estudio, he elegido los materiales sólidos en partículas y polvos, debido a que tienen una gran aplicación en el país y las industrias que los emplean se ven en la necesidad de importar la maquinaria al exterior.

La necesidad surge de las empresas de fabricación de balanceados, que han experimentado un aumento de la demanda de sus productos, por lo

que se ven obligados a incrementar su producción, para lo que se requiere nuevas líneas de producción y por lo tanto nueva maquinaria.

Básicamente, y de acuerdo a las especificaciones de las empresas interesadas, se requiere una máquina mezcladora por tandas, con capacidad de 600 kg. de producto.

El producto es primordialmente seco, y los componentes tienen densidades muy parecidas del orden de 0.65 de densidad relativa.

2.2. ASPECTOS Y PARAMETROS DE ESTUDIO PARA SATISFACER REQUERIMIENTOS.

2.2.1. FACTORES DE DISEÑO.

Básicamente, al momento de realizar el diseño, es necesario tomar en cuenta ciertas características o datos propios del problema que se está intentando resolver.

En el caso particular del diseño de la mezcladora, se debe comenzar por indicar el **tipo de productos** para los cuales la máquina podrá realizar su labor eficientemente, indicando las características necesarias de los mismos, como por ejemplo densidad, humedad, grado de segregación, etc.

Obviamente, al particularizarse el uso de la máquina para un cierto tipo de producto, se obtendrá un rendimiento alto.

De la misma manera, es necesario conocer las **limitaciones físicas** que existirán para la construcción; es decir, el espacio físico del que se dispone para colocar la mezcladora, el nivel en que se la ubicará y el medio en que operará.

Las **condiciones en las que la máquina deberá operar** también son de interés; esto es, si el proceso será continuo o por batches, el lugar que le corresponderá dentro del proceso productivo, la temperatura del lugar, la acción del producto a los elementos de la máquina; es decir, corrosión, abrasión, etc.

Finalmente, es necesario conocer la **disponibilidad económica** que se le dará al proyecto, para de acuerdo a ello elegir la mejor alternativa de solución que cumpla eficientemente la tarea de mezcla.

2.2.2. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DEL MEZCLADOR

Para poder determinar cuáles son los factores que están relacionados directamente con la eficiencia de los mezcladores, la empresa DEGUSSA CORPORATION introdujo, en el año 1.991, un programa de prueba el mismo que fué diseñado para medir los factores de rendimiento de mezcladores aislados, los cuales serían modificados para causar mejoras.

De acuerdo a dicha prueba, al año siguiente se habían probado cerca de 100 aparatos, encontrándose que aproximadamente la mitad estaba produciendo coeficientes de variación mayores que 10 %. En efecto, más del 15 % de aquellos aparatos probados tenían serios problemas con coeficientes CV sobre el 20 %.

Valores semejantes se encontraron en otra investigación realizada por separado, donde el Dr. Keith Benkhe establecía que más del 40 % de los mezcladores que él probó tenían coeficiente CV más grande que 10 %.

Las pruebas mostraron que las dos mayores causas de bajo o pobre rendimiento de los mezcladores eran inadecuado tiempo de mezcla y/o sobre-llenado, estableciéndose que ambos problemas son el resultado de una demanda de los sistemas de mezclado para grandes producciones o tonelajes.

Otro significativo contribuidor del pobre rendimiento de los mezcladores es considerado las fallas de inspección y un inapropiado mantenimiento a los interiores del aparato. También figuran como fuentes de problemas el calentamiento, alteración o fractura del equipo de mezclado.

Igualmente se establece que el mecanismo de la compuerta de descarga del mezclador y los sistemas líquidos pueden contribuir significativamente a elevar los CVs.

2.3. DIFERENTES FORMAS DE SOLUCION.

MEZCLADORES DE POLVOS Y PARTICULAS.

La función principal de estas mezcladoras es que desplazan parte de la mezcla respecto de las otras partes.

Las mezcladoras de cintas, básicamente están compuestas por un canal en donde gira un eje, al que van unidos dos tornillos helicoidales abiertos, uno que gira a la derecha y otro a la izquierda. A medida que gira el eje se mueven en dirección contraria porciones de polvo con las partículas, que son desplazadas vigorosamente unas respecto a otras.

Las mezcladoras de doble cono consisten en dos conos montados uno sobre otro con sus extremos abiertos unidos, los mismos que son girados alrededor de su eje por medio de su base común.

La mezcla de partículas cuyo tamaño o densidad varía, presentan problemas especiales, debido a que actúan fuerzas gravitatorias que tenderán a separar las partículas en grupos según su tamaño y densidad; de esta manera, el estado inicial de mezcla es una variable muy crítica.

La tarea de mezcla es más sencilla cuando las cantidades que se han de mezclar están en aproximadamente las mismas proporciones.

También puede darse el caso de mezclar uniformemente cantidades muy pequeñas de un componente con cantidades mucho mayores de otros

componentes donde, para realizar una tarea eficiente, es conveniente dividir la mezcla en etapas, manteniendo las proporciones en cada etapa no muy diferentes. Así, al planearse los procesos de mezcla, será necesario realizar un análisis en cada etapa de mezcla, pero una vez que se han establecido los tiempos de mezcla solo será necesario hacer el análisis de comprobación en el producto final.

Como variantes de las mezcladoras de cono existen las de cono oblicuo, cono en V y cono en Y, las cuales igualmente operan volteando la masa de los sólidos en el tambor giratorio de la forma al que deben su nombre. Para mejorar la efectividad de estos sistemas se puede igualmente colocar contrapalas o placas de retención y, en algunos casos, mecanismos giratorios internos accionados independientemente para facilitar la ruptura de los aglomerados. La envoltura gira a velocidades de hasta 100 r.p.m., y su capacidad de carga es de 50 % a 60 % del volumen total.

También existen las mezcladoras de tornillo vertical giratorio, situado en un recipiente cilíndrico o cónico. El tornillo puede estar fijo en el centro del depósito o puede girar o hacer órbitas alrededor del eje central, pasando cerca de las paredes del tanque, lo que es más efectivo y evita las capas estacionarias cerca de las paredes.

2.4. SELECCION DEL MEJOR SISTEMA

El sistema de mezclado que se seleccione debe ser tal que satisfaga las necesidades y los requerimientos de producción, usando la tecnología existente en nuestro medio, bajo costo de construcción y bajos costos de operación y mantenimiento; por lo tanto, es necesario analizar la funcionabilidad de las alternativas planteadas anteriormente.

A continuación presentaré las alternativas de solución con sus respectivas ventajas y desventajas. Analizaré la mezcladora de cintas, de cono doble y de tornillo vertical para determinar la más factible.

De acuerdo a la mezcla finalmente obtenida, la mezcladora de cintas y la de tornillo vertical dan el mejor resultado debido a que los tornillos están en contacto con la mayor cantidad de producto. Sin embargo, en el tipo de conos doble se puede aumentar la calidad del estado final de la mezcla adicionando elementos mecánicos para tal fin.

La velocidad con que se realice la operación de mezclado es muy similar para los tres tipos de sistemas; sin embargo en el tipo de tornillo vertical predomina el mecanismo convectivo de manera que puede usarse con productos proclives a la segregación. Similarmente, el mecanismo de cintas es útil en operaciones de mezcla exigentes debido a que al estar formada por dos cintas actuando en sentidos opuestos y montadas en el mismo eje, una mueve el producto lentamente en una dirección mientras que la otra lo hace rápidamente en dirección opuesta, provocando un alto grado de mezcla.

Para accionar todas estas máquinas se consume energía eléctrica, donde las cantidades que se necesitan para accionar los elementos son muy similares, debido a que se requieren torques y potencias elevados.

De lo expuesto anteriormente, se aprecia que la mezcladora de cintas presenta las mayores ventajas; quedando por escoger, en base a un criterio técnico, la solución más conveniente en función de los requerimientos del problema. Para ello analizaré el costo inicial de fabricación, disponibilidad de los materiales de construcción, rapidez de operación y gastos de operación y mantenimiento, calificando cada parámetro con un puntaje sobre 20 y eligiendo la de mayor la de mayor operatividad. Dicha calificación la presento en la siguiente tabla de selección.

Factores de selección:

- a. costo inicial de fabricación
- b. disponibilidad de materiales de construcción
- c. rapidez de mezcla
- d. espacio físico a ocupar
- e. gastos de operación y mantenimiento

<i>SISTEMA</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>total</i>
De cintas	15	17	16	16	16	80
Cono doble	17	16	14	13	14	74
Tornillo vertical	14	15	16	15	15	75

De acuerdo al estudio y los resultados técnicos mostrados en la tabla anterior, determino que la mezcladora de cintas es la más adecuada para la aplicación que estoy tratando.

CAPITULO III

DISEÑO DE LA MAQUINA

3.1. DISEÑO DE FORMA.

Básicamente, la máquina que realizará el mezclado tendrá forma semicircular en la parte inferior, mientras que en la parte superior se mantendrá la forma rectangular. La forma semicircular principalmente se debe a que con ella se evita al máximo la acumulación del producto en el recipiente; en la parte superior no se tiene este problema, pues la gravedad lo evita, y más bien se requiere un espacio abierto para permitir que el producto a mezclarse pueda circular con cierto grado de libertad. Además es más conveniente que en la parte superior se disponga de espacio para poder realizar las operaciones de mantenimiento. El recipiente se muestra de forma esquemática en la figura 1.

En el interior del cilindro-recipiente se colocará el mecanismo que proporcionará el movimiento del producto para proceder a realizar el mezclado del mismo. Primeramente se colocará un eje (árbol) maciso circular (figura 2) que será el elemento que soporte las hélices del mezclador, y a la vez transmita la potencia necesaria para producir la rotación de las aspas.

Montado al eje estará el mecanismo de mezclado, que para el caso de estudio será de cintas de acero, en forma de hélice y concéntrico,

(figura 3). Las cintas estarán soldadas a unas barras cortas que servirán de soporte para las mismas, las cuales igualmente irán soldadas al árbol principal, y soportarán el corte producido al realizar el mezclado.

La potencia requerida para accionar el mecanismo la suministrará un motor eléctrico de 25 HP de potencia, trifásico de 1700 rpm. Dicha potencia será transmitida al árbol por medio de un sistema piñón cadena. Además, como la velocidad de rotación del eje es baja, comparándose con la velocidad de operación del motor, se requiere usar un sistema de reducción de velocidades o motor reductor.

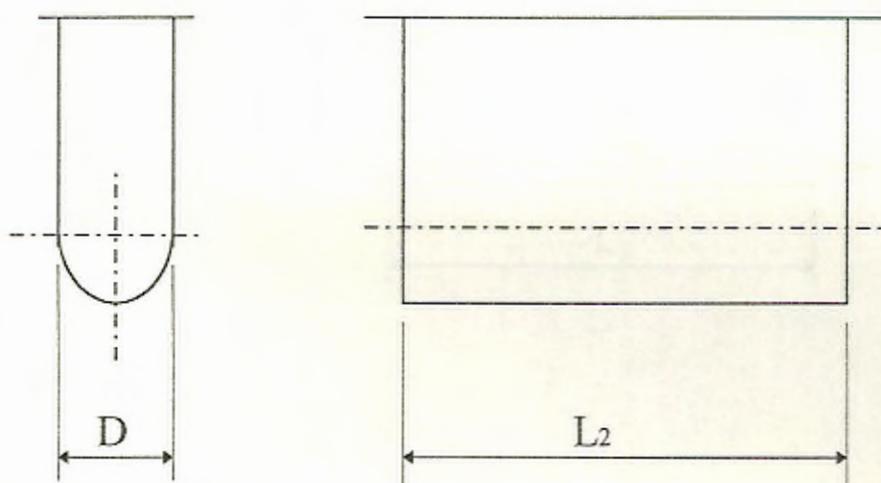


figura 1: Diagrama del recipiente de la mezcladora.

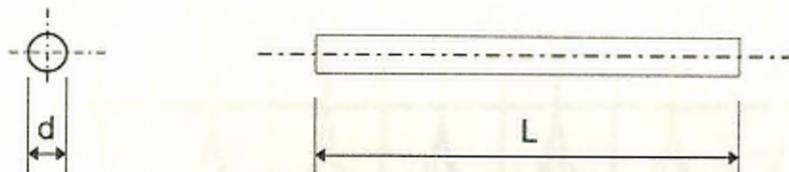


figura 2 : Diagrama del eje central de la mezcladora.

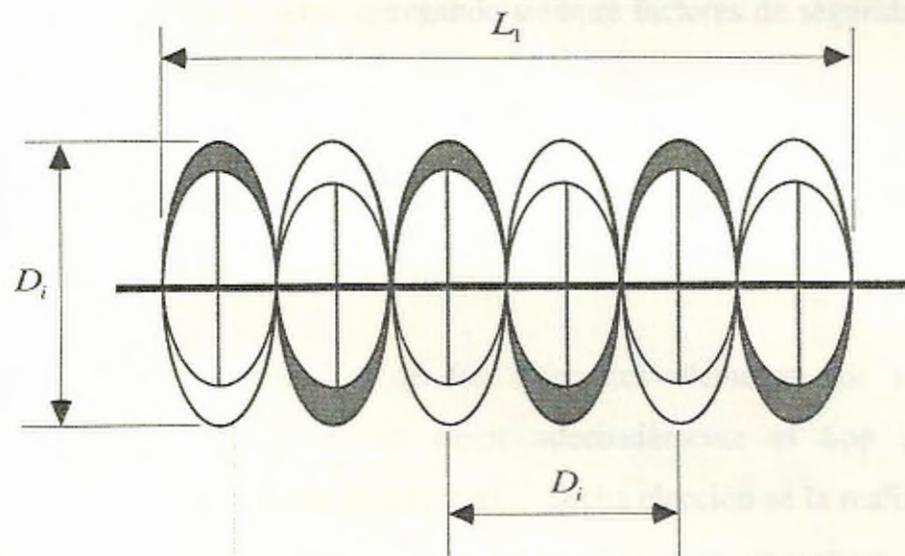


figura 3: Diagrama de la cinta mezcladora .

3.2. CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS PARTES CONSTITUTIVAS DE LA MAQUINA.

Para realizar el dimensionamiento de las partes constitutivas de la máquina, utilizo las teorías de falla de diseño, al igual que criterios tales como fluencia y fatiga, agregando siempre factores de seguridad al diseño de los mismos.

3.2.1. MATERIALES DE CONSTRUCCION.- EXIGENCIAS DE DISEÑO

Para la construcción de los diferentes elementos de las máquinas, es necesario elegir adecuadamente el tipo de material que en ella se empleará. Dicha elección se la realiza en base a varios factores como las características de resistencia del material, propiedades de ductilidad, elementos aleantes, etc.

Estos factores generalmente están presentados por los fabricantes en forma de catálogos que se encuentran a disposición de los diseñadores o constructores, y denominados de acuerdo a códigos internacionales.

Para el árbol principal, el recipiente y las barras soporte se utilizará acero inoxidable del tipo AISI 304, mientras que para las cintas que forman las hélices, acero inoxidable AISI C

1045. Las propiedades mecánicas, al igual que los porcentajes de los elementos aleantes, se muestran a continuación.

ACERO AISI 304

Composición:

C $\leq 0.08 \%$	Si $\leq 1.00 \%$
Mn $\leq 2.00 \%$	P $\leq 0.045 \%$
S $\leq 0.03\%$	Ni 8.00 - 10.50 %
Cr 18.00 - 20.00 %	

Propiedades mecánicas:

Resistencia a la tensión : 85 000 psi (585.65 Mpa.)

Resistencia a la fluencia: 35 000 psi (241.15 Mpa.)

ACERO AISI C 1045

Composición:

C 0.43 - 0.50 %	P $\leq 0.040 \%$
Mn 0.60 - 0.90 %	S $\leq 0.050 \%$

Propiedades mecánicas:

Resistencia a la tensión : 640 N/mm² (637.43 Mpa.)

Resistencia a la fluencia: 340 N/mm² (343.23 Mpa.)

3.2.2. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR.

Cálculo del volumen.

Basado en las especificaciones del producto a mezclar se tienen los siguientes valores

Datos:

$$m = 600 \text{ kg}$$

$$\rho = 0.65$$

$$\rho = 650 \text{ Kg/mts}^3$$

Con los valores anteriores puedo calcular el volumen que ocupará el producto dentro de la máquina, a partir de la definición de densidad; así:

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

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

$$V = \frac{600 \text{ Kg}}{650 \text{ Kg / mts}^3}$$

$$V = 0.923076923 \text{ mts}^3$$

$$V = 0.923 \text{ mts}^3$$

Considerando un recipiente cilíndrico, procedo a calcular las dimensiones externas del mismo, en base al volumen requerido para albergar el producto; así, para dicha figura geométrica se tiene:

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * L_2$$

$$L_2 = \frac{4 * V}{\pi} * \frac{1}{D^2}$$

Por tanteo busco el valor de la longitud L_2 en función del diámetro D , esto es:

D (mts.)	L_2 (mts.)
1.0	1.175298041
0.9	1.450985236
0.8	1.836403189
0.7	2.398567431

Ahora pruebo valores para seleccionar las dimensiones del recipiente, relacionándolas con las correspondientes a las hélices del mezclador.

Como el mecanismo de mezclado tendrá dos series de espiras, también hay que dimensionar el diámetro de cada una de ellas.

Para el diámetro de la hélice externa se debe tomar en cuenta que ella debe estar en contacto con la totalidad del producto, para poder realizar una buena operación de mezcla; entonces, deberá cubrir casi la totalidad del volumen de la parte inferior del recipiente (figura 4).

En el caso de las mezcladoras de cintas se realiza un movimiento convectivo del producto, produciéndose un corte del mismo. Las capas de producto adyacentes a la cortada se mueven consecutivamente, mientras que las adyacentes a la pared tienden a permanecer en reposo; esto produce abrasión debido a la fricción existente entre el material del recipiente y el producto, por lo que los fabricantes de máquinas similares recomiendan un espaciamiento entre la pared y la hélice (externa) de un centésimo (1 / 100) del diámetro (interno) del recipiente. Entonces:

$$\text{claro} = \frac{D}{100}$$

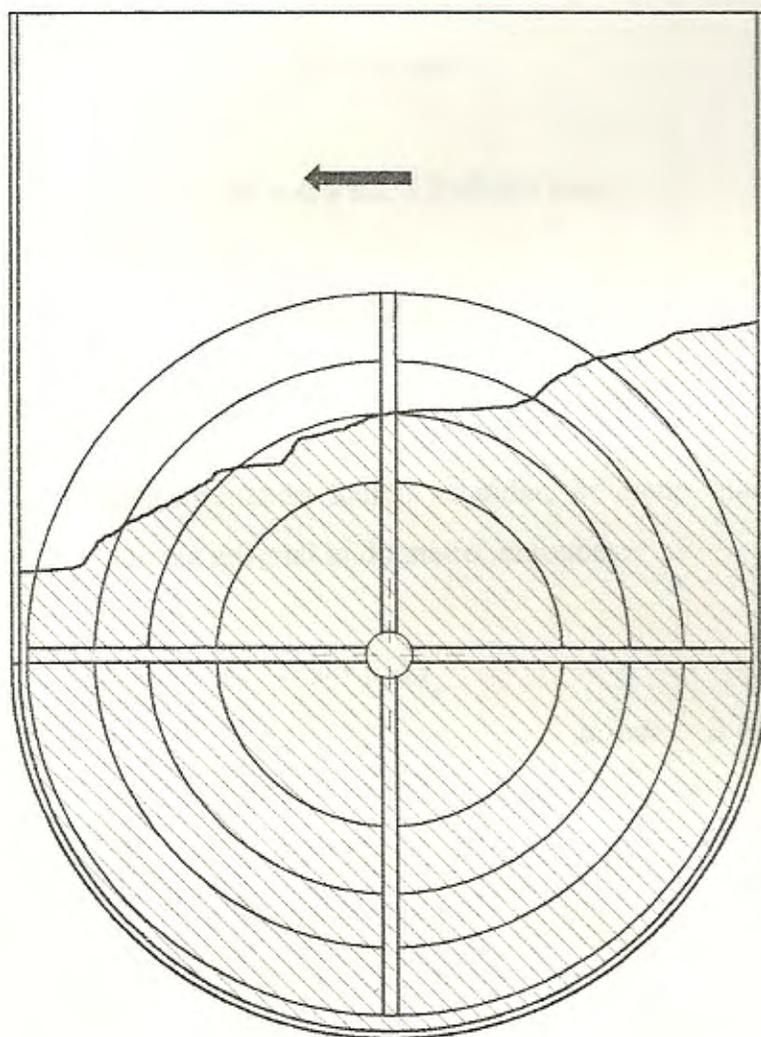


figura 4: Ubicacion de las cintas de mezclado y el producto dentro del recipiente.

• Si $D = 0.9 \text{ mts}$

$$\text{claro} = 0.009 \text{ mts.}$$

$$D_2 = D - 2 * \text{claro}$$

$$D_2 = 0.9 \text{ mts} - 2 (0.009 \text{ mts})$$

$$D_2 = 0.882 \text{ mts.}$$

Seleccionando hélice estandar, se tiene que el paso de la misma es igual al diámetro, entonces:

$$L_2 = n * \text{paso}$$

donde $n = \text{número de espiras}$

o bién

$$L_2 = n_i * D_i$$

donde $n_i = \text{número de la } i\text{-ésima espira}$

$D_i = \text{diámetro de la } i\text{-ésima espira}$

entonces:

$$n_i = \frac{L_2}{D_i}$$

$$n_i = \frac{1.451 \text{ mts}}{0.882 \text{ mts}} = 1.645124717$$

$$n_i = 1.645$$

Con los valores restantes de diámetro D y longitud L_2 , mostrados en la tabla anterior, realizo un proceso de tanteo similar a lo anterior, encontrando que las mejores dimensiones son:

$$n_2 = 1.50$$

$$L_2 = 1.470 \text{ mts}$$

$$D = 1.000 \text{ mts}$$

$$D_2 = 0.980 \text{ mts.}$$

$$\text{claro} = 0.010 \text{ mts}$$

El recipiente será semicilíndrico en su parte inferior, pero en la superior será rectangular para facilidad de mantenimiento.

Además, de acuerdo a recomendaciones de fabricantes, el volumen total de la máquina deberá estar comprendido entre 1.5 y 3 veces el volumen del producto; entonces:

$$V_{prod.} = 0.923 \text{ mts}^3$$

$$V_{s.c.} = \frac{\pi * D^2 * L_2}{8} = 0.57726765$$

$$V_{s.c.} = 0.577 \text{ mts}^3$$

$$V_{reci.} = 2 V_{prod.}$$

$$V_{reci.} = 2 (0.923 \text{ mts}^3) = 1.846153846 \text{ mts}^3$$

$$V_{reci.} = 1.846 \text{ mts}^3$$

$$V_{p.s.} = V_{reci.} - V_{s.c.} = 1.269153846$$

$$V_{p.s.} = 1.269 \text{ mts}^3$$

$$V_{p.s.} = b * h * L_2$$

donde: $b = \text{base} = D$

$h = \text{altura sobre semicilindro.}$

entonces:

$$h = \frac{V_{p.s.}}{D * L_2}$$

$$h = \frac{1.269 \text{ mts}^3}{(1\text{mt}) (1.470 \text{ mts})}$$

$$h = 0.863369963 \text{ mts}$$

Para encontrar el diámetro D_1 de la espira interior, realizo un balance de masa (conservación de masa); entonces, de acuerdo a la figura 5, se tiene:

$$V_1 = \frac{\pi \times D_1^2}{4} \times L_2$$

$$V_2 = \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2)}{4} \times L_2$$

Para que el producto fluya uniformemente se debe cumplir que el flujo de volumen V_1 sea igual a aquel del volumen V_2 , es decir:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

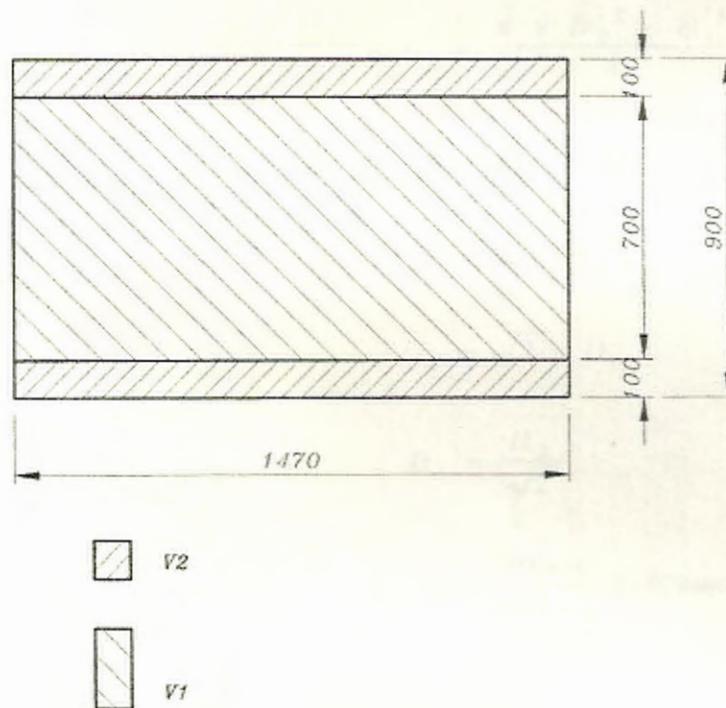


figura 5: Producto desplazado por las espiras

como las densidades son las mismas, y el lapso de tiempo igual, se tiene:

$$V_1 = V_2$$

$$\frac{\pi \times D_1^2}{4} \times L_2 = \frac{\pi \times D_2^2 - D_1^2}{4} \times L_2$$

$$D_1^2 = D_2^2 - D_1^2$$

$$D_2^2 = 2 \times D_1^2$$

$$D_2 = \sqrt{2} \times D_1$$

$$D_1 = \frac{D_2}{\sqrt{2}}$$

$$D_1 = \frac{0.980\text{mts}}{\sqrt{2}} = 0.692964646\text{mts.}$$

$$D_1 = 0.693\text{mts.}$$

Para hélice estandar:

$$n_1 = \frac{L_2}{D_1}$$

$$n_1 = \frac{1.470\text{mts}}{0.693\text{mts}} = 2.121320343$$

$$n_1 = 2.12$$

Analizando velocidades lineales promedio, comparo el flujo de área, entonces:

$$v_{ij} = \omega \times \frac{D_j}{2}$$

donde: $i \rightarrow$ volumen a considerarse
 $j \rightarrow$ punto a considerarse

$$v_{11} = 0.025 \omega$$

$$v_{12} = 0.3465 \omega$$

$$v_{21} = 0.3465 \omega$$

$$v_{22} = 0.49 \omega$$

Entonces puedo calcular las velocidades promedio para cada volumen, teniendo en cuenta que la velocidad lineal varía en relación directa a la distancia a partir del eje neutro. Así:

$$\bar{v}_i = \frac{\sum v_i}{2}$$

$$\bar{v}_1 = 0.18575 \omega$$

$$\bar{v}_2 = 0.41825\omega$$

Ahora

$$m_1^o = m_2^o$$

$$V_1^o = V_2^o$$

$$A_1 \times \bar{v}_1 = A_2 \times \bar{v}_2$$

$$0.186\omega \times \frac{\pi \times D_1^2}{4} = 0.418\omega \times \frac{\pi \times (D_2^2 - D_1^2)}{4}$$

$$D_2^2 = 1.445 \times D_1^2$$

$$D_1 = \frac{D_2}{1.202}$$

$$D_1 = 0.815\text{mts.}$$

Debido a que las recomendaciones técnicas establecen que el producto ocupará el 90 % del espiral y dada la forma del recipiente, se toma el valor anterior pero redondeado a 0.700 mts. para obtener un número exacto de espiras.

Ahora es necesario determinar el espacio libre que habrá entre el final del recipiente y los cojinetes que soportarán el eje. Este espacio debe ser el suficiente para facilitar el servicio de ensamble, y la limpieza de los retenedores de polvo que se fijarán al eje y el mantenimiento en general.

De acuerdo a esto, y en compatibilidad con las demás dimensiones de la máquina, selecciono un espacio de 300 mm. Además, de un extremo del eje, debo adicionar un lugar para ubicar el mecanismo de transmisión de potencia, que en este caso será un sistema piñon - cadena; por ende, agrego 50 mm. más de longitud al eje. Entonces:

$$b_1 = 50 \text{ mm.}$$

$$b_2 = 300 \text{ mm.}$$

De esta manera, la longitud total del árbol de transmisión será:

$$L = L_2 + 2b_2 + b$$

Mientras que la distancia entre apoyos L_1 será:

$$L_1 = L_2 + 2b_1$$

Entonces, las dimensiones quedaran de la siguiente manera:

$$D = 1.000 \text{ mts.}$$

$$D_1 = 0.700 \text{ mts.}$$

$$D_2 = 0.980 \text{ mts.}$$

$$b_1 = 0.050 \text{ mts.}$$

$$b_2 = 0.300 \text{ mts.}$$

$$L_2 = 1.470 \text{ mts.}$$

$$L_1 = 2.070 \text{ mts.}$$

$$L = 2.120 \text{ mts.}$$

CÁLCULO DEL CIE

Para calcular la flexión del eje central que soportará el eje de transmisión, primeramente se debe la

longitud de los ejes de transmisión.

CÁLCULO DE FLEXIÓN DEBIDA AL PESO PROPIO DEL EJE

Para calcular la flexión debida al peso del eje, primeramente se debe la longitud de los ejes de transmisión.

3.2.3. ANALISIS DE LOS ELEMENTOS DE MAQUINA: RESISTENCIA.- FALLA ESTATICA Y POR FATIGA

3.2.3.1 CALCULO DEL EJE

Para calcular la flexion del eje central que soportará el mecanismo de mezclado, primeramente calculo la flexión debida al peso propio del eje, luego la debida al peso de las espiras, y luego combino los efectos aplicando el principio de superposición.

CALCULO DE FLEXION DEBIDA AL PESO PROPIO DEL EJE

Para calcular la flexión debida al peso del eje realizo un diagrama de fuerza cortante y momento flector (figura 7), basado en el estado de cargas que presento en la figura 6; de esta manera podré obtener el (los) valor (es) de momento máximo requeridos en los cálculos de resistencia que seguirán.

Primeramente determino, por medio de la estática, las resistencias en los apoyos del eje, para luego graficar los diagramas respectivos, entonces:

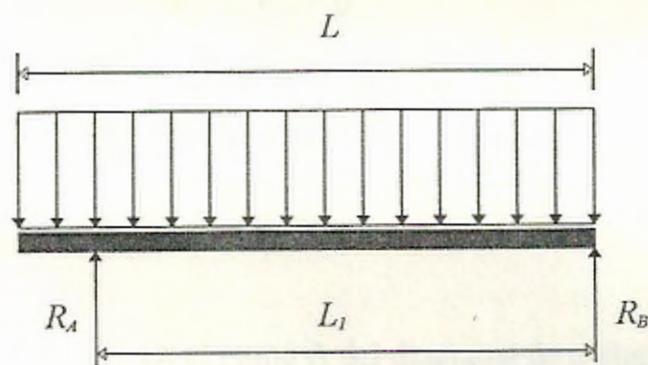


figura 6 : Diagrama de fuerzas del eje.- peso propio

$$+\curvearrowright \Sigma M_A = 0$$

$$\frac{\varpi \times L_1^2}{2} - \frac{\varpi \times b^2}{2} - R_B \times L_1 = 0$$

$$R_B = \frac{\varpi \times (L_1^2 - b^2)}{2 \times L_1}$$

$$+\uparrow \Sigma F_Y = 0$$

$$R_A - \varpi L + R_B = 0$$

$$R_A = \frac{\varpi \times L^2}{2 \times L_1}$$

En el punto A del diagrama de cortante, tendré:

$$\text{Cortante}_A = R_A - \varpi \times b$$

$$\frac{\varpi \times (2LL_1 - L_1^2 + b^2)}{2L_1} - \varpi \times (L - L_1)$$

$$\text{Cortante}_A = \frac{\varpi \times (L_1^2 + b^2)}{2L_1}$$

Para el punto x donde el momento es máximo:

$$\frac{\varpi \times (L_1^2 + b^2)}{2L_1} = \varpi \times x$$

$$x = \frac{L_1^2 + b^2}{2L_1}$$

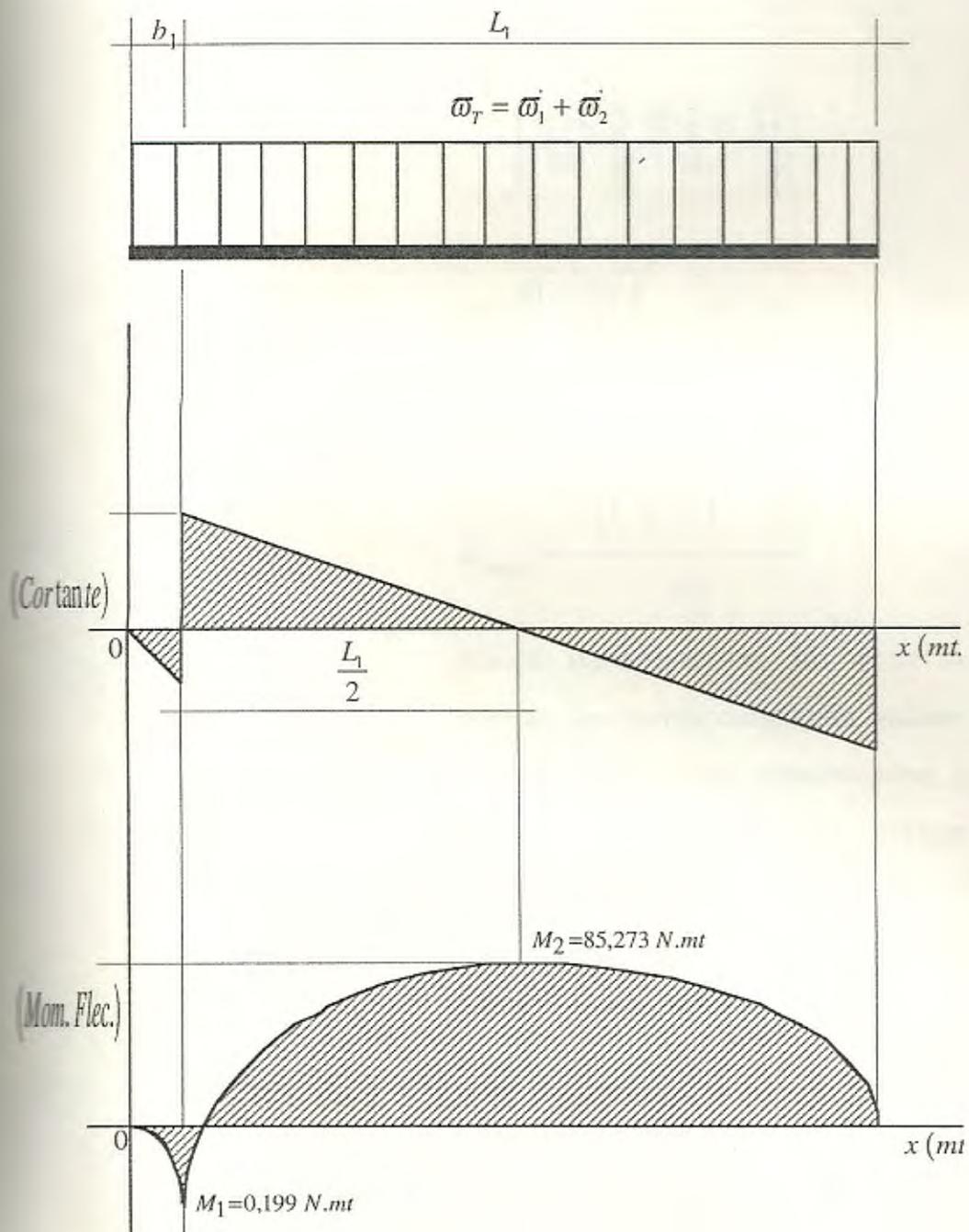


figura 7: Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje, debido al peso propio del mismo.

$$M_1 = \frac{(\bar{\omega} b_1)(b_1)}{2}$$

$$M_1 = \frac{\bar{\omega} b_1^2}{2}$$

$$M_2 = \frac{\left[\frac{L_1^2 + b_1^2}{2L_1} \right] \left[\frac{\bar{\omega}(L_1^2 + b_1^2)}{2L_1} \right]}{2}$$

$$M_2 = \frac{\bar{\omega}(L_1^2 + b_1^2)^2}{8L_1^2}$$

$$M_{\text{máx}} = M_2 - M_1$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{\bar{\omega} \left[(L_1^2 + b_1^2)^2 - 4L_1^2 \right]}{8L_1^2}$$

Ahora reemplazo en las ecuaciones previas, los correspondientes valores de los datos que tengo seleccionados, para encontrar los momentos máximos, considerando que voy a utilizar un acero que tiene una masa distribuida uniformemente; así:

$$\bar{\omega}_{\text{acero}} = 16,21 \frac{\text{Kg.}}{\text{mt.}}$$

$$\bar{\omega}'_{\text{acero}} = 159,0201 \frac{\text{N}}{\text{mt.}}$$

$$R_A = 172,63 \text{ N}$$

$$R_B = 164,49 \text{ N}$$

$$M_1 = 0,199 \text{ N.mt}$$

$$M_2 = 85,273 \text{ N.mt}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 85,174 \text{ N.mt}$$

$$x \Big|_{M_{m\acute{a}x}} = 1,036 \text{ mts}$$

FLEXION DEBIDA AL PESO DE LAS ESPIRAS.

Además del peso propio del eje, el peso de las espiras que formarán la hélice del mezclador también ejerce flexión sobre el eje, por lo que es necesario calcularlo. Para ello procedo matemáticamente y en base a la figura 3 (espiras estandar), puedo calcular la longitud de las espiras; así:

$$L_f = \sqrt{D^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

$$\dot{L}_f = \frac{\sqrt{5}D}{2}$$

$$\ddot{L}_f = \frac{\dot{L}_f}{2}\theta$$

$$\ddot{L}_f = 1,76D$$

$$L_f = 2L_f''$$

$$L_f = 3,52D_i$$

$$L_f = 3,52D_i\eta_i$$

Como:

$$D_1 = 0,700\text{mts}$$

$$D_2 = 0,980\text{mts}$$

Se tiene:

$$L_{f1} = 5,1597\text{mts}$$

$$L_{f2} = 5,1597\text{mts}$$

Para espiras utilizo láminas de acero de 10 x 75 mm. de sección con un peso distribuído de:

$$\bar{w}_{\text{espi.}} = 7,1 \frac{\text{Kg}}{\text{mt}}$$

Entonces, procedo a calcular el peso total de las cintas, con la siguiente fórmula:

$$\bar{w}_i = \frac{\bar{w}_{\text{espi.}} \times L_{fi}}{L_i}$$

Obteniendo:

$$\bar{\omega}_1 = 244,475 \frac{N}{mt}$$

$$\bar{\omega}_2 = 244,475 \frac{N}{mt}$$

$$\bar{\omega}_T = \bar{\omega}_1 + \bar{\omega}_2$$

$$\bar{\omega}_T = 488,950 \frac{N}{mt}$$

Ahora, calculo las reacciones que son producidas por el peso de la espiral de cintas,; y, de acuerdo al diagrama de la fig. 8, realizo primero un sumatorio de momentos respecto al punto B y obtengo:

$$\oplus \sum M_B = 0$$

$$-\frac{\bar{\omega}_T L_2 L_1}{2} + R_A' L_1 = 0$$

$$R_A' = \frac{\bar{\omega}_T L_2}{2}$$

$$R_A' = 359,378 N$$

Similarmente, para la reacción en el punto A, realizo un sumatorio de fuerzas, encontrando:

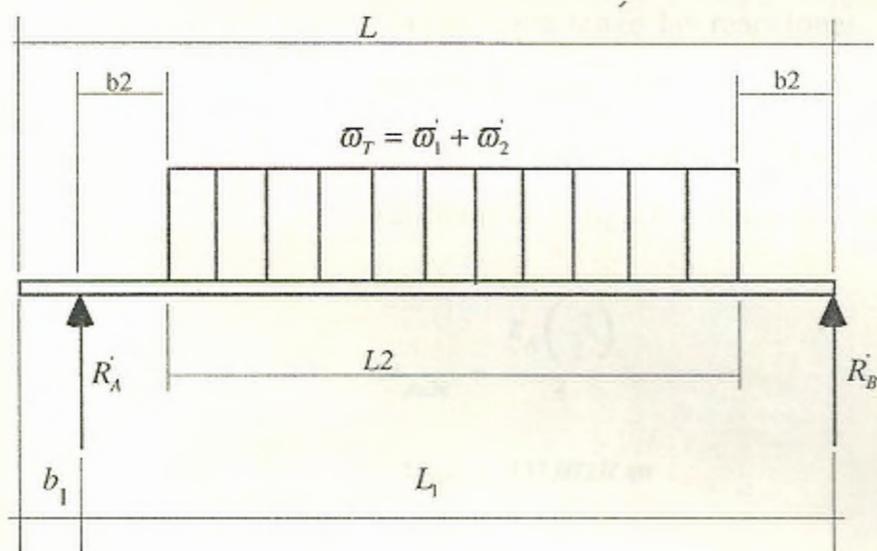


figura 8: Diagrama de fuerzas del eje.- peso de las cintas.

$$\oplus \sum F_y = 0$$

$$-\omega_T L_2 + R'_A + R'_B = 0$$

$$R'_B = R'_A$$

$$R'_B = 359,378 N$$

Una vez que tengo las reacciones, realizo los diagramas de fuerza cortante y momento flector para la carga del peso de las cintas de la figura 9, obteniéndose así:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{R'_A \left(\frac{L_2}{2} \right)}{2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 132,072 N.mt$$

$$x = \frac{L_2}{2}$$

$$x = 0,735 mts$$

El punto "x" en el que tiene lugar el máximo momento flector debido al peso de las cintas es aproximadamente el mismo que para el caso del peso propio del eje.

Entonces, para trabajar del lado de la seguridad, sumo los momentos máximos

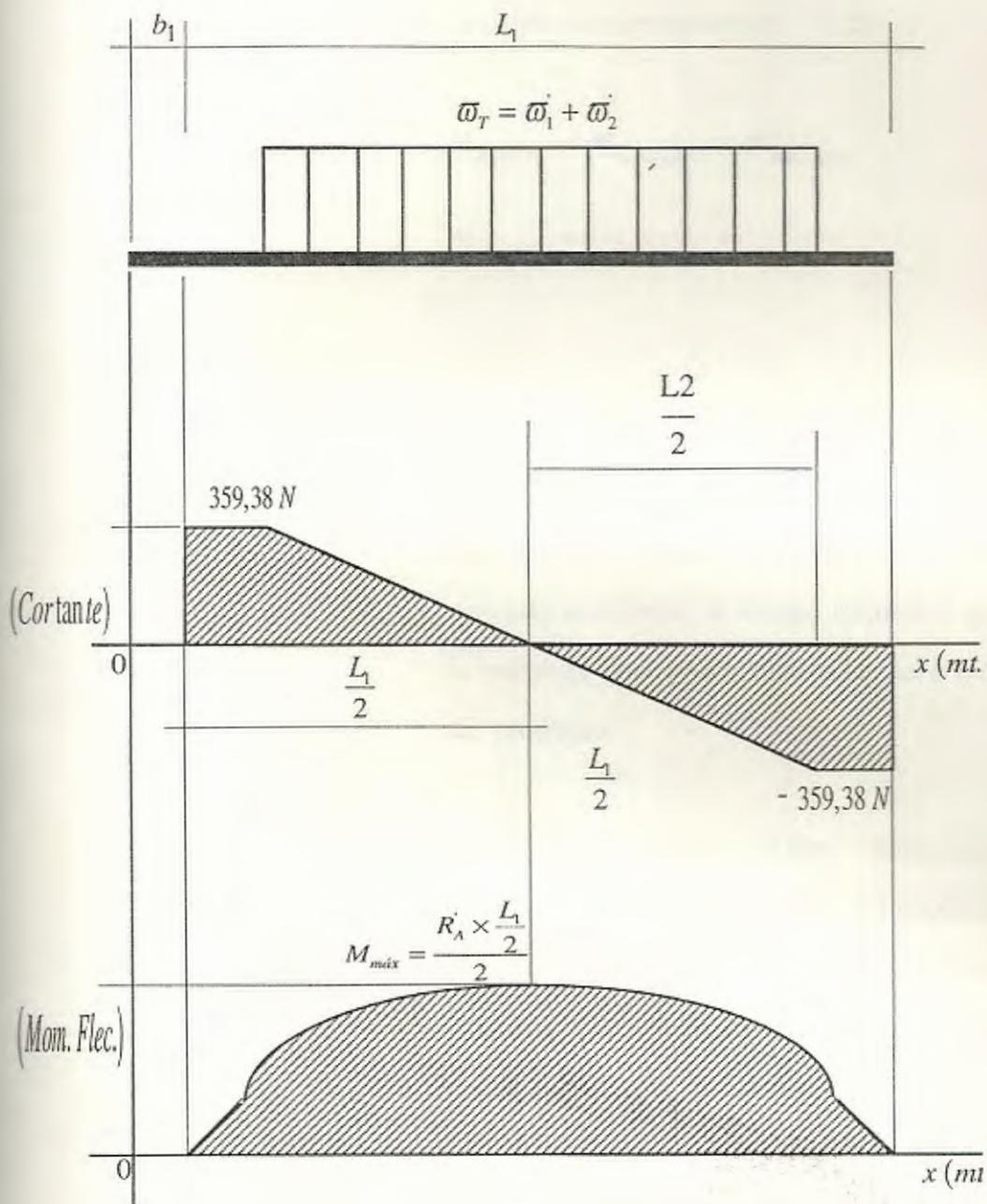


figura 9: Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje, debido al peso de las cintas.

individuales, por simple aplicación del principio de superposición. Así:

$$M_{m\acute{a}x|T} = M_{m\acute{a}x|cin.} + M_{m\acute{a}x|eje}$$

$$M_{m\acute{a}x|T} = 174,925 N \cdot m$$

CALCULO DE TORQUE.

Una vez determinado el momento máximo, procedo a calcular el torque requerido por la máquina para poder mover la masa total de producto.

Debido a que, como mencioné anteriormente, el movimiento del producto durante el proceso de mezcla debe tener un carácter turbulento (al azar), es muy complicado dar un modelo matemático simple que describa tal variación. Sin embargo, se puede proceder de la siguiente manera:

Con la cinta externa, se desplazará un volumen V_2 :

$$V_2 = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4} \times L_2$$

$$V_2 = 0,5431 \text{ mts}^3$$

Mientras tanto, con la cinta interna se desplazará un volumen V_1 :

$$V_1 = \frac{\pi D_1^2 L_2}{4}$$

$$V_1 = 0,5657 \text{ mts}^3$$

De acuerdo a las recomendaciones sobre el volumen de trabajo de las mezcladoras, multiplico el volumen V_2 por un factor 0,9 debido a que se especifica que el volumen de producto a mezclar debe cubrir el 90 % del volumen de las cintas mezcladoras, aproximadamente; entonces:

$$V_2 = 0,5431 \text{ mts}^3 \times 0,9$$

$$V_2 = 0,489 \text{ mts}^3$$

Una vez conocido el volumen a mover, se puede calcular el torque necesario para poder accionar el mecanismo, así:

Espira exterior:

$$V_2 = 0,489 \text{ mts}^3$$

$$P_2 = m_2 g$$

$$P_2 = \rho V_2 g$$

$$P_2 = 3105,356 \text{ N}$$

Entonces, el torque será:

$$T_2 = P_2 \times \frac{D_2}{2}$$

$$T_2 = 1521,624 \text{ N.mt}$$

En forma similar, para la espira interior se tendrá:

$$V_1 = 0,566 \text{ mts}^3$$

$$P_1 = m_1 g$$

$$P_1 = \rho V_1 g$$

$$P_1 = 3609,099 \text{ N}$$

Y el torque será:

$$T_1 = P_1 \times \frac{D_1}{2}$$

$$T_1 = 1263,185 \text{ N.mt}$$

Ahora, para calcular el torque total se debe sumar los torques requeridos para desplazar cada volumen por separado; entonces:

Torque total:

$$T_T = T_1 + T_2$$

$$T_T = 2784,809 \text{ N.mt}$$

DIAMETRO DEL EJE

Una vez que conozco los valores de momento flector máximo y torque requerido para accionar el mecanismo, procedo a realizar un análisis del elemento que soportará la flexión y torsión, árbol de transmisión, determinando los valores de los respectivos esfuerzos normal y cortante para el estado de esfuerzo en cuestión.

De esta manera, hago un análisis en base al criterio de fluencia y considerando los dos

efectos, de flexión y torsión. Así mismo, considero:

- cargas estáticas.
- eje maciso de sección circular.

El esfuerzo debido al efecto de flexión está dado por la fórmula:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

donde c es la distancia del eje neutro a la fibra de estudio, e I es la inercia del elemento. Para la parte exterior del eje, que es donde el esfuerzo es máximo, se tiene:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3}$$

Donde M es el momento flector total calculado anteriormente.

Basicamente, considero la acción de las cargas sobre el eje, como que actúan en una sola dirección (dirección x), por lo que la fórmula anterior indica el esfuerzo de

flexión en la dirección "x", considerandolo nulo en la dirección "y".

Para torsión, se tiene una fórmula muy parecida, que es:

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

Donde reemplazando el momento polar de inercia por el apropiado para el caso de un eje maciso, se tiene:

$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$
$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$$

En dicha fórmula, T es el torque aplicado en el eje, cuyo valor se calculó en la parte anterior correspondiente.

Una vez que he determinado los esfuerzos normal y cortante para el estado de esfuerzo dado, utilizo el círculo de Mohr para hallar los valores de esfuerzos principales y cortante máximo. (figura 10).

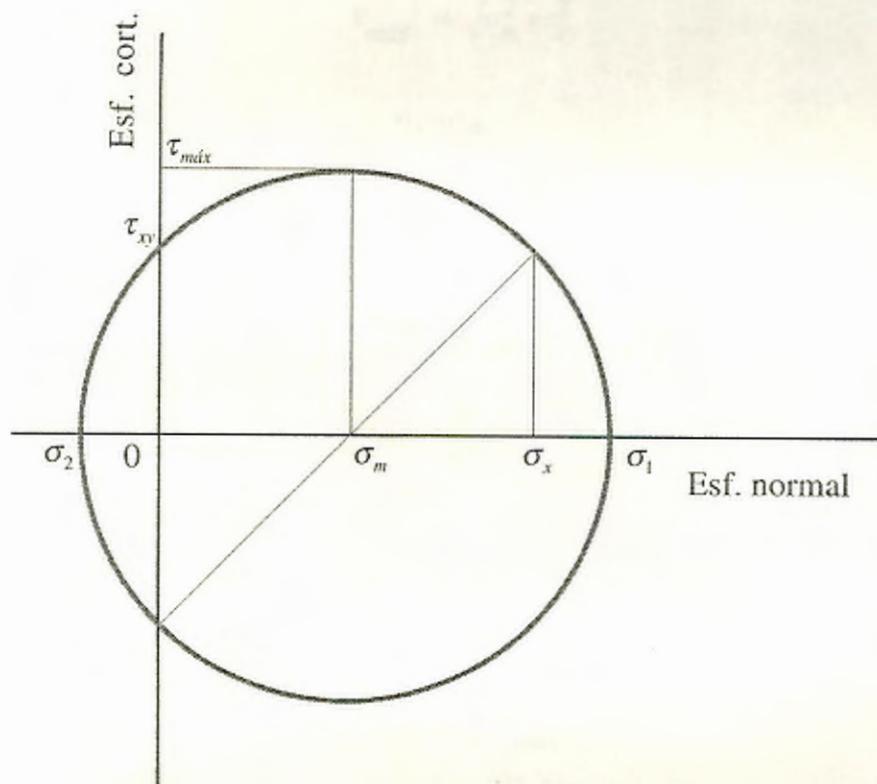


figura 10: Círculo de Mohr.

Analizando la geometría del círculo de Mohr, obtengo fácilmente las expresiones de esfuerzos principales y de corte máximo. Así:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\sigma_m^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_x = \sigma_m$$

\Rightarrow

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{16M}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2}$$

Ahora:

$$\sigma_1 = \sigma_m + \tau_{m\acute{a}x}$$

$$\sigma_2 = \sigma_m - \tau_{m\acute{a}x}$$

\Rightarrow

$$\sigma_1 = \frac{16}{\pi d^3} \left(M + \sqrt{M^2 + T^2} \right)$$

$$\sigma_2 = \frac{16}{\pi d^3} \left(M - \sqrt{M^2 + T^2} \right)$$

Para estos valores literales, se puede dar el correspondiente numérico cuando se

determine las dimensiones que faltan.

Luego de haber encontrado la magnitud de los esfuerzos principales y de corte máximo, analizo el elemento para prevenir las fallas. Para ello voy a utilizar el criterio de fluencia y la teoría del esfuerzo cortante máximo. Dicha teoría establece que el esfuerzo cortante máximo no debe ser igual a la mitad del límite de fluencia, es decir:

$$\frac{S_y}{2} = \tau_{m\acute{a}x}$$

$$\frac{S_y}{2} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2}$$

A este criterio hay que combinar el de factor de seguridad, que disminuye aún más el máximo esfuerzo al corte que resistirá el elemento en cuestión. Así:

$$\frac{S_y}{2\eta_y} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2}$$

donde

$$\eta_y \rightarrow \text{factor de diseño.}$$

Para el eje tomo un factor de seguridad de 2, y con el límite de fluencia del material de construcción, acero tipo SAE 304, se tendrá:

$$S_y = 35000 \text{ psi}$$

$$S_y = 241,15 \text{ MPa}$$

$$\eta = 2$$

Como

$$\frac{S_y}{2\eta_y} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2}$$

\Rightarrow

$$d = \sqrt[3]{\frac{32\eta \sqrt{M^2 + T^2}}{\pi S_y}}$$

Ahora reemplazo los valores correspondientes en la ecuación anterior, para determinar el diámetro necesario del eje, para que el mismo no falle al estar sometido a las cargas de estudio; es decir

cuando esté en operación. Entonces:

$$d = 0,06177 \text{ mts}$$

Con este valor del diámetro puedo ya determinar los esfuerzos a que está sometido el eje, al igual que los torques y momentos que actúan sobre él. De esta manera:

$$\sigma_x = 7,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = 60,18 \text{ MPa}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 60,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 64,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -56,52 \text{ MPa}$$

3.2.3.2. CALCULO DEL RECIPIENTE.

Como mencioné anteriormente, el recipiente será un cuerpo compuesto por un semicilindro de pared delgada en la parte inferior, y un prisma hueco en la superior. Las dimensiones externas ya fueron calculadas en la sección 3.2.2, quedando en esta parte el cálculo del espesor de pared.

Para calcular el espesor de pared, debo considerar el valor mínimo dado por la teoría de pared delgada, más un valor adicional considerando la corrosión. Generalmente, este último factor es el que domina el diseño.

CILINDRO DE PARED DELGADA.

Para el cálculo de la parte semicircular de la base del recipiente de la mezcladora, utilizo la teoría de los cilindros de pared delgada. Sin embargo, dicho cilindro soportará una presión muy pequeña, por lo que obtendré un valor de espesor de pared muy pequeño.

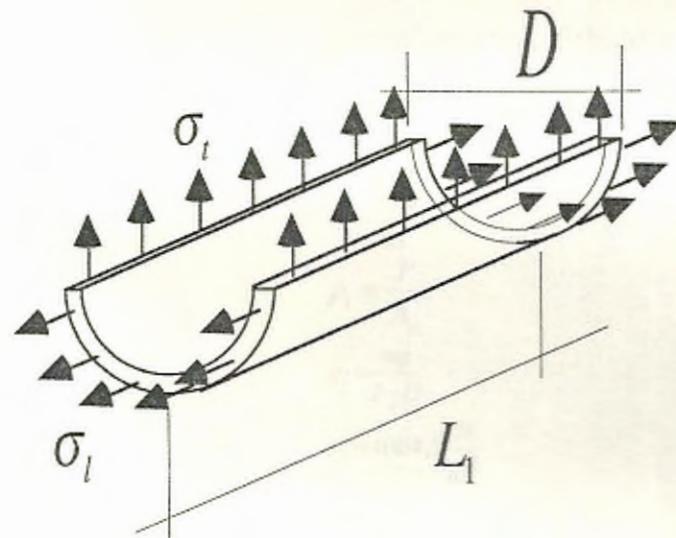


figura 11: Estado de esfuerzos para un cilindro de pared delgada.

En la figura anterior (fig. 11), muestro un diagrama donde se aprecian los esfuerzos que actúan en el cascarón cilíndrico, donde considero que la presión exterior es nula. Entonces, para calcular el espesor de pared, y de acuerdo a la teoría de cilindro de pared delgada, empleo el esfuerzo circunferencial, debido a que representa el doble del esfuerzo longitudinal. Así:

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{p_i D}{2t} \\ p_i &= \frac{P}{A_p} \\ p_i &= \frac{mg}{L_2 D} \\ p_i &= 4004,1 \frac{N}{m^2}\end{aligned}$$

Empleando un factor de seguridad de 2.

$$\begin{aligned}t &= \frac{p_i D}{2\sigma_t} \\ t &= \frac{p_i D}{S_y}\end{aligned}$$

utilizaré acero AISI 304 con S_y 35Kpsi. Entonces, el espesor de las planchas obtenido será:

$$t = 0,0000166 \text{ mts}$$

FACTOR DE CORROSION

Para determinar este valor se emplea la fórmula:

$$F. C. = V_c V_u$$

donde:

$F.C.$ → factor de corrosión

V_c → veloc. de corrosión

V_u → vida útil

El valor de velocidad de corrosión lo obtengo de la tabla para dicho fin, tomando como tipo de atmósfera la industrial, debido a que este será el medio en que operará la máquina.

La vida útil es un parámetro que básicamente lo define el cliente y/o diseñador. Sin embargo, un tiempo razonable de operación de la máquina es 25 años, que será lo que usaré. Así:

$$F. C. = \left(5 \times 10^{-3} \frac{\text{pul}}{\text{año}} \right) (25 \text{ años})$$

$$F. C. = 0,125 \text{ pul}$$

$$F. C. = 3,175 \text{ mm}$$

ESPESOR TOTAL.

Como ya mencioné, el espesor total será la suma de los valores antes calculados, entonces:

$$t_T = t + F. C.$$

$$t_T = 3,1750166 \text{ mm}$$

Este espesor es el mínimo necesario para satisfacer los requerimientos de diseño; sin embargo, comercialmente no es factible por lo que se tomará un espesor de 4 mm., tomando en consideración que el recipiente deberá ser lo suficientemente rígido.

De la misma manera, y puesto que la parte inferior es la crítica y la que soportará el volumen del producto, utilizaré un espesor de 4 mm. para el resto del recipiente, dándole así rigidez y homogeneidad al mecanismo.

3.2.3.3. CALCULO DEL SIN FIN DE CINTAS.

Las hélices del mezclador constituyen elementos ya estandarizados, y las dimensiones de su sección transversal se encuentran enlistadas (tabla 4), de acuerdo al valor del diámetro y/o paso de las mismas.

Entonces, para la sección transversal rectangular de las cintas, tendré:

$$b = 3/8 pul = 9,53mm.$$

$$h = 3 pul = 76,2mm.$$

Una vez determinadas estas dimensiones, investigo comercialmente los materiales y selecciono una platina de 10x75mm.

3.2.3.4. CALCULO DE LAS BARRAS SOPORTE DE LAS HELICES.

Las hélices estarán soportadas y unidas al eje por medio de barras de sección circular soldadas a las mismas.

Para calcular el diametro necesario de las barras para que operen libres de falla, las idealizo como empotradas y sometidas a flexión pura. Así, realizo el análisis de cortante y flector para calcular el momento máximo que actuará sobre ellas, de acuerdo a las cargas mostradas en la figura 12.

$$\oplus \sum M_A = 0$$

$$-P_2 \frac{D_2}{2} - P_1 \frac{D_1}{2} + M_A = 0$$

$$M_A = \frac{P_1 D_1 + P_2 D_2}{2}$$

$$M_A = 2784,831 \text{ N.mt}$$

$$\oplus \sum F_y = 0$$

$$R_w = P_1 + P_2$$

$$R_w = 6714,5 \text{ N}$$

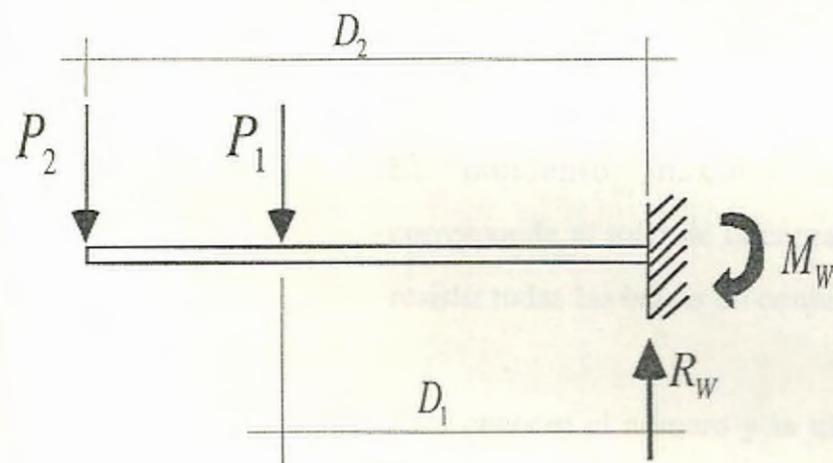


figura 12: Diagrama de fuerzas para la barra soporte de las cintas.

Ahora, con las reacciones calculadas, trazo el diagrama de cortante y flector para la barra, que se muestra en la fig. 13, y determino el momento flector máximo.

Del diagrama de momento flector de la figura correspondiente, se observa que el momento máximo corresponde al de empotramiento.

El momento máximo encontrado corresponde al total de la carga que deben resistir todas las barras en conjunto.

Para conocer el número y la ubicación de las barras, me baso en las recomendaciones que establecen que las barras deben ir colocadas cada 90 grados alternadamente, una vertical y otra horizontal.

Como anteriormente calculé que las hélices tendrían 1.5 espiras, puedo establecer el número de barras que se necesitarán.

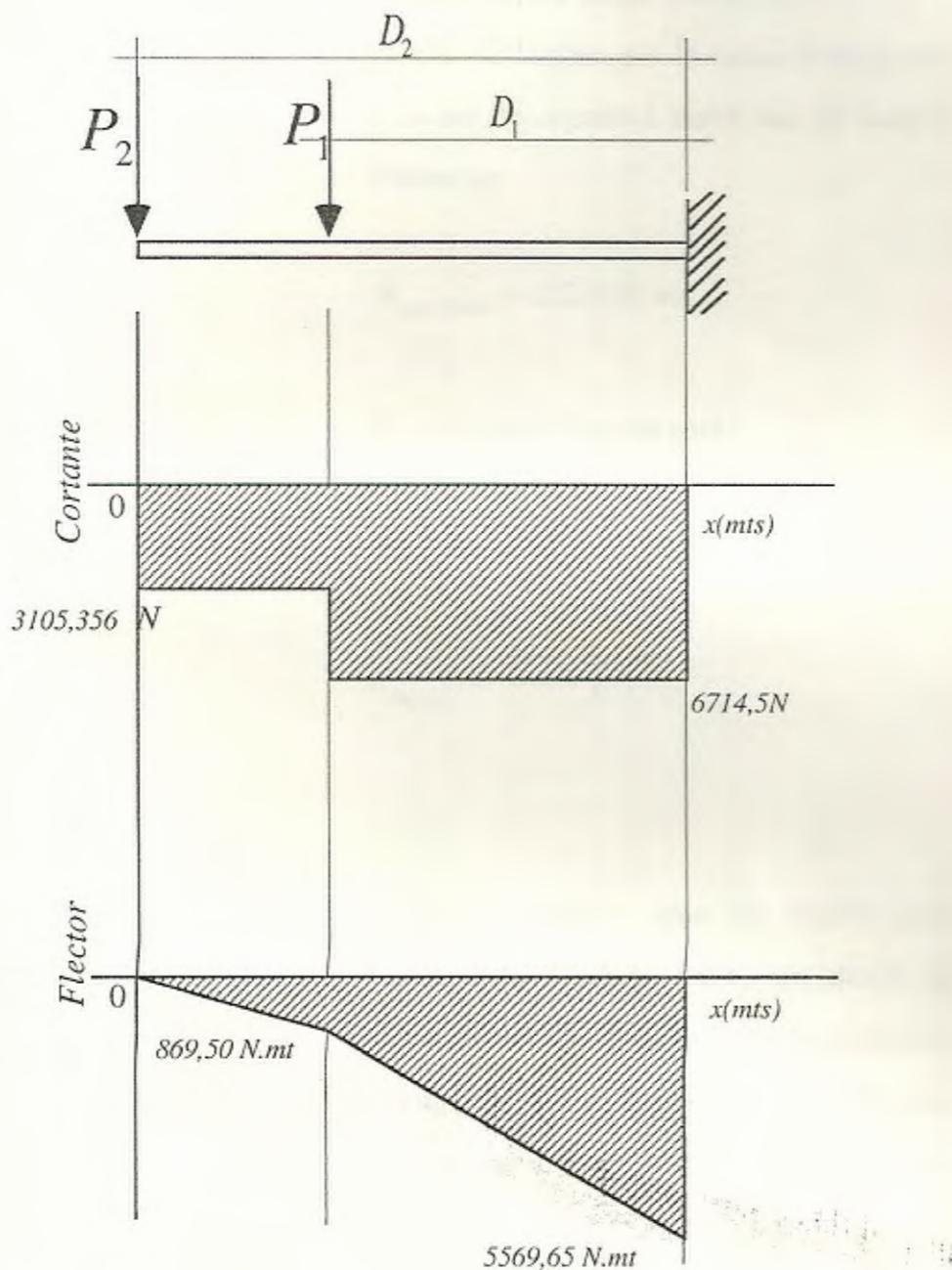


figura 13: Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector para la barra soporte de las cintas.

Si cada espira tiene 360 grados entonces habrán 12 barras; por lo tanto el momento máximo se repartirá entre las 12 barras. Entonces:

$$M_{\text{máx|c|barra}} = 232,07 \text{ N.mt}$$

El esfuerzo de flexión será:

$$\sigma_{\text{barra}} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{\text{barra}} = \frac{2363,838 \text{ N.mt}}{d^3}$$

Ahora considero que la barra está soportando flexión pura, es decir el esfuerzo cortante es cero. Por lo tanto, del círculo de Mohr, tengo que el esfuerzo cortante máximo del elemento será la mitad del esfuerzo de flexión, es decir:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_{\text{barra}}}{2}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{1181,919 \text{ N.mt}}{d^3}$$

Una vez determinado el esfuerzo cortante máximo del elemento, aplico el criterio de fluencia y la teoría del esfuerzo cortante máximo para determinar la dimensión que necesito.

$$\frac{S_y}{2} = n\tau_{\text{máx}}$$

$$d^3 = \frac{4727,67594}{S_y} \text{mts}^3$$

$$d = 0,0269 \text{mts}$$

Entonces, selecciono un diametro que exista comercialmente; así elijo para este elemento un diámetro de 30 mm.

3.2.4. SISTEMA DINAMICO DE LA MAQUINA.- CALCULO DE LA POTENCIA

Para determinar el valor de la potencia que el sistema requiere, primero se calcula la potencia teórica necesaria (nominal), agregando luego una cantidad adicional debido a las pérdidas que podrán existir.

La potencia requerida para el accionamiento de la máquina se calcula conociendo el torque que se necesita transmitir y la velocidad a la que rotará el árbol central de la mezcladora. El primero ya determiné al momento de realizar el cálculo del eje, mientras que para determinar la velocidad de operación me remito a pruebas y datos estadísticos, los que han demostrado que dicha velocidad debe estar entre las 35 y 50 r.p.m. De esta manera, selecciono como velocidad de rotación del árbol, 50 rpm, siendo entonces la potencia requerida la siguiente:

$$N=50 \text{ rpm}$$

$$T=2784.81 \text{ N.mt}$$

$$POT.=T * N$$

$$POT.=14581.22538 \text{ W}$$

$$POT.=14.6 \text{ KW}$$

Este valor de potencia es básicamente el valor nominal, pues para poder dar el valor total es necesario considerar las pérdidas

que tendrá el motor. Para obtener dicho valor, me remito al valor de la eficiencia de la máquina, que para el presente caso es del 80 %. Entonces, la potencia total requerida será:

$$Pot.TOTAL = Pot.NOMINAL * 100 / Eficiencia$$

$$Pot.TOTAL = 24.44 HP$$

De acuerdo al valor calculado anteriormente, investigo la existencia del motor en el mercado y los encuentro a disposición en 25 HP, que es el valor idóneo para la aplicación de estudio.

3.2.5. CALCULO DE LOS COMPONENTES MECANICOS PARA LA MAQUINA.

MOTO-REDUCTOR

Para el accionamiento de la mezcladora se utilizará un motor cuya potencia calculé anteriormente. En el mercado existen a disposición paquetes de moto-reductores, el cual selecciono debido a que el mecanismo de mezclado debe rotar a bajas velocidades; por lo tanto selecciono un moto-reductor de 25 HP y 70 rpm.

SISTEMA PIÑON-CADENA

Para la transmisión de la potencia utilizaré un sistema de piñon - cadena, pues éste es el sistema idoneo para trabajar a bajas revoluciones. Para ello, utilizo el catálogo MARTIN, SPROCKET AND GEAR, en el que selecciono los elementos de acuerdo a la potencia y revoluciones requeridas para el trabajo.

De esta manera utilizo la tabla E 164 del referido catálogo y encuentro que debo emplear una cadena No. 140 con 25 dientes, con el consiguiente tipo de piñon. Las dimensiones de interés las encuentro en el mismo catálogo.

Para calcular el número de dientes del piñon restante debo considerar la velocidad a que operará la mezcladora, utilizando para ello la relación de velocidades siguiente:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Z_2 es el número de dientes del piñón mayor, cuyo valor se desea determinar, N es el número de revoluciones de cada piñón y Z_1 es el número de dientes del piñón menor. Los valores conocidos son:

$$N_1 = 70 \text{ rpm}$$

$$N_2 = 50 \text{ rpm}$$

$$Z_1 = 25 \text{ dientes}$$

Entonces, Z_2 será de 35 dientes. Con este valor recalculo la velocidad que tendré en el eje y encuentro que será la que necesito, es decir, 50 rpm.

De esta manera, el sistema piñón-cadena estará formado por:

Cadena : No. 140

Piñón menor : No. 140; 25 dientes

Piñón mayor : No. 140; 35 dientes.

CHUMACERAS

Para seleccionar estos elementos debo determinar la carga radial que soportará al estar en operación, y con ello remitirme a los catálogos correspondientes.

Al analizar el árbol de transmisión, encontré las reacciones que se deben soportar debidas al peso propio del eje y al peso de las cintas mezcladoras, siendo ambas en dirección vertical dirigidas hacia abajo; por lo tanto, aplicando el principio de superposición, encuentro la carga que debe soportar el cojinete.

Así:

$$R_A = 532.01 N$$

$$R_B = 523.87 N$$

Con la tabla LIFE-SERVICE FACTOR CHART determino el factor de servicio para el presente caso, utilizando una vida mínima (L-10) requerida de 5 000 horas y la recta de carga moderada; así obtengo un factor de 3.2 y la carga máxima del cojinete será este factor multiplicado por la reacción del apoyo, es decir:

Carga máxima = factor de servicio * Reacción de apoyo

Carga máxima = 1702.43 N

En el catálogo SKF para rodamientos, determino la chumacera en función del diámetro del árbol de transmisión, seleccionando una chumacera de 65 mm. de diámetro cuya designación es 630313 BA, presentando una capacidad de carga muy superior a la que se requiere, por lo que su elección es correcta.

Cabe indicarse que el efecto de carga accial en las cintas de mezclado se contrarresta, debido a que existe un movimiento

relativo de producto en direcciones contrarias, por lo que puede ser despreciado.

CILINDRO NEUMATICO

La descarga del producto, una vez que se ha cumplido con la operación de mezcla, se realiza a un extremo del recipiente aprovechando el movimiento de las partículas. Para tal efecto se diseña una compuerta en la parte inferior del recipiente, la misma que será accionada por un cilindro neumático.

La compuerta de descarga consistirá en un cuadrado de 30 cms. de lado, y será del mismo material del recipiente, es decir, Acero AISI 304; por lo tanto se puede fácilmente calcular el peso de la misma, siendo de 4.0 Kgs. Con este valor se puede seleccionar el cilindro, de acuerdo a la capacidad de carga y a la carrera del émbolo que se requiera.

Para el caso de estudio se requiere un cilindro neumático de doble efecto, con capacidad de anclamiento, y que pueda desplazarse una carrera de 30 cms.; la capacidad de carga mínima deberá ser de 15 Kg.

CAPITULO IV

ANALISIS DE COSTOS

Para realizar el análisis de costos de la obra en cuestión, esto es de la mezcladora, realizo primeramente un cálculo estimado de los valores a desembolsarse por concepto de materiales, mano de obra, montaje, para luego tomar el total y comparar este último con el coste de importación de una máquina similar.

Para obtener el rubro de materiales, habrá que obtener los precios de los elegidos en el capítulo anterior para la construcción de las diferentes partes del mezclador. En el comercio, ellos están disponibles por unidad de peso, por lo que será necesario primero determinar el peso de los componentes, y por ende de la máquina, para luego calcular los valores que se deberán desembolsar por este concepto. Se puede realizar una división de estos materiales en directos e indirectos, siendo los primeros los que seleccioné en la parte de cálculo de la máquina; mientras que los segundos se refieren a los materiales que se usarán para la manufactura de la máquina como remaches, soldadura, abrasivos, pinturas, etc.

CALCULO DEL PESO DE LA MAQUINA.

Para obtener el peso total de la máquina en cuestión primero calculo los pesos de los componentes individuales de ella, para luego sumarlos.

ARBOL CENTRAL.

Para la construcción del árbol central seleccioné acero AISI 304, en barra redonda, de 65 mm., el mismo que tiene un peso aproximado de 25,32 Kg/ mt.

La longitud de dicho elemento es 2,12 mts., por lo que el peso será:

$$W_{\text{eje}} = W_{\text{aprox.}} * \text{Longitud}$$

$$W_{\text{eje}} = 25,32 \text{ Kg/mt} * 2,12 \text{ mts.}$$

$$W_{\text{eje}} = 53,6784 \text{ Kg.}$$

BARRA SOPORTE

Para la fabricación de la barra soporte de las cintas también utilizo acero inoxidable redondo del tipo AISI 304, pero de diámetro 30 mm., requiriendo 6 mts. del mismo. El peso aproximado de este material es 5,13 Kg/mt. Entonces:

$$W_{\text{barra}} = W_{\text{aprox.}} * \text{Longitud}$$

$$W_{\text{barra}} = 5,13 \text{ Kg/mt} * 6 \text{ mts}$$

$$W_{\text{barra}} = 30,78 \text{ Kg.}$$

RECIPIENTE

El recipiente estará formado por varias planchas de acero. Para calcular el peso de esta parte de la máquina primero calcularé el área que cubrirá las paredes del mismo, para de acuerdo a ello saber que cantidad de planchas necesitaré.

Para la parte superior tendré 4 rectángulos, dos de 1,47 mts. por 0,863 mts, y dos de 1 mt. por 0,863 mts. Los primeros ocuparán un área de 1,2642 metros cuadrados, mientras que los segundos 0,863 metros cuadrados.

Para la parte inferior necesitaré un semicilindro de 1 metro de diámetro por 1,47 metros de largo. La parte lateral tendrá un área de 2,3091 metros cuadrados, mientras que las caras superior e inferior cubrirán un área de 0,3927 metros cuadrados cada una.

Finalmente considero la cubierta para el recipiente, que será de 1,05 metros por 1,52 metros y representa una área de 1,596 metros cuadrados.

Ahora sumo las áreas individuales y obtengo el total que será de 8,9449 metros cuadrados.

Utilizaré igualmente acero inoxidable en planchas, tipo AISI 304 de 4 mm. de espesor.

De acuerdo al catálogo de aceros IBCA, cada plancha tiene 4 pies de ancho por 8 pies de largo, lo que representa un área de 2,9729 metros cuadrados por lo que se necesitarán 3,5 planchas de estas dimensiones como mínimo, aprovechándolas al máximo al momento del corte.

El peso de cada plancha de acero es de 119,07 Kg.; entonces multiplico este valor por las 3,5 planchas que requiero y obtengo el peso del recipiente, esto es:

$$W_{\text{reci.}} = W_{\text{c/plancha}} * \# \text{ de planchas.}$$

$$W_{\text{reci.}} = 119,07 \text{ Kg./plancha} * 3,5 \text{ planchas.}$$

$$W_{\text{reci.}} = 416,745 \text{ Kg.}$$

CINTAS MEZCLADORAS.

Para las cintas utilizaré como material acero inoxidable del tipo AISI C 1045, debido únicamente a que en el mercado se encuentra disponible en forma de platinas, utilizando las de sección de 10 mm. por 75 mm. que tienen un peso de 4,7 Kg/mt. La longitud de la platina la calculé previamente para dimensionar el árbol central, y es de 5,1597 mts. Entonces el peso de la cinta será:

$$W_{\text{cinta}} = W_{\text{aprox.}} * \text{Longitud}$$

$$W_{\text{cinta}} = 4,7 \text{ Kg/mt} * 5,1597 \text{ mt}$$

$$W_{\text{cinta}} = 24,25059 \text{ Kg.}$$

Pero como utilizaré dos cintas de mezcla, el peso de ambas será:

$W_{\text{cinta/total}} = 48,50118 \text{ Kg.}$

Una vez que he obtenido los pesos individuales, los sumo y obtengo el correspondiente a la máquina, siendo 549,70458 Kg.

COSTOS DE MATERIAL

El valor de los materiales seleccionados para la realización de la mezcladora los obtengo del mercado local, siendo los siguientes:

ARBOL CENTRAL

Costo por kilo:	S/. 14 800,00
Cantidad:	54 kg.
Valor:	S/. 799 200,00

BARRAS SOPORTE

Costo por kilo:	S/. 14 800,00
Cantidad:	31 kg.
Valor:	S/. 453 800,00

CINTAS DE MEZCLA

Costo por kilo:	S/. 4 700,00
Cantidad:	49 kg.
Valor:	S/. 230 300,00

RECIPIENTE

Costo por plancha:	S/. 820 000,00
Cantidad:	3,5 planchas
Valor:	S/. 2 870 000,00

ELECTRODOS DE SOLDADURA

Las planchas del recipiente serán soldadas, empleándose para ello el tipo AWS E 308 L-16, que es el recomendado para soldar acero inoxidable. Para el espesor de plancha que empleo, se recomienda electrodos de 1/8" de diámetro.

La cantidad de soldadura a emplear, de acuerdo a las especificaciones de los manuales para tal fin, se establecerá en base a la cantidad de material que se vaya a unir, y estará comprendida entre el 3% y 5% de la misma; entonces:

$$W_{\text{total/máquina}} = 550 \text{ Kg.}$$

$$\text{Cantidad soldadura} = W_{\text{total/máquina}} * 5\%$$

$$\text{Cantidad soldadura} = 27,5 \text{ kg.}$$

Las barras de soldadura también se expenden por kilogramos, siendo el valor del kilogramo, para mi caso en cuestión, de S/. 51 623,00

De tal manera, el valor de los electrodos será:

$$\text{Costo electrodos} = \# \text{ de kg.} * \text{ valor de cada kg.}$$

$$\text{Costo electrodos} = 28 \text{ kg.} * \text{ S/. } 51\ 623,00/\text{kg.}$$

$$\text{Costo electrodos} = \text{ S/. } 1\ 445\ 444,00.$$

Entonces, el rubro por materiales será:

Arbol de transmisión	:	S/. 799 200,00
Barras soporte	:	S/. 453 800,00
Cintas de mezclado	:	S/. 230 300,00
Recipiente	:	S/. 2 870 000,00
Electrodos de soldadura	:	S/. 1 445 444,00
		<hr/>
		S/. 5 798 744,00

COSTO DE FABRICACION

Para dar un valor de este rubro, hago un estimativo del número de operarios que trabajarán en la construcción de la máquina y el tiempo que se empleará para ello, en condiciones ideales.

MAQUINADO

En la construcción de la mezcladora, primeramente será necesario maquinar ciertos elementos como el eje o las planchas, incluyéndose los trabajos de corte, fresado, taladrado o torneado.

El costo del trabajo de las máquinas por hora, con sus respectivos operarios, es de S/. 25 000,00.

Se estima que el maquinado de las partes que lo requieren durará un tiempo aproximado de 30 horas, por lo tanto el maquinado tendrá un costo de:

Costo maquinado = # horas trabajo * valor hombre-máquina/hora

Costo maquinado = 30 horas * S/. 25 000,00

Costo maquinado = S/. 750 000,00

SOLDADURA

Como ya mencioné, las partes del recipiente serán soldadas, empleándose para ello el tipo AWS E 308 L-16, ideal para soldar acero inoxidable.

El costo máquina-hombre/hora de realizar la soldadura es de S/. 20 000,00.

Para realizar la soldadura de las partes necesarias se empleará un promedio de 25 horas, por lo que el costo de la tarea será de:

Costo soldadura = # horas trabajo * valor hombre-máquina/hora

Costo soldadura = 25 horas * S/. 20 000,00

Costo soldadura = S/. 500 000,00

MONTAJE

En el montaje de la máquina se empleará un tiempo aproximado de 16 horas de trabajo, con dos operarios realizando esta tarea.

El costo de la hora de trabajo de cada operario es de S/. 10 000,00; por lo tanto, el costo de montaje será:

Costo montaje = # horas trabajo * valor hombre/hora * # de operarios

Costo montaje = 16 horas * S/. 10 000,00 / operario * 2 operarios

Costo montaje = S/. 320 000,00

PUESTA A PUNTO

Una vez montada la máquina, es necesario chequear que opere en la forma que ha sido planeada. Para poner a punto la máquina ya instalada se requerirá un trabajo adicional de 8 horas de los operarios.

El costo del trabajo del operador de puesta a punto es algo mayor que aquel de montaje, siendo su valor S/. 15 000,00. Entonces, por este rubro se tendrá:

Costo puesta a punto = # horas trabajo * valor hombre/hora * # de operarios

Costo puesta a punto = 8 horas * S/. 15 000,00 / hombre-hora * 2 operarios

Costo puesta a punto = S/. 240 000,00

Por lo tanto, el valor total será:

Maquinado	S/. 750 000,00
Soldadura	S/. 500 000,00
Montaje	S/. 320 000,00
Puesta a punto	S/. 240 000,00

S/. 1 810 000,00

También es necesario adicionar un valor por el diseño del sistema que será:

DISEÑO S/. 452 500,00

COSTO DE COMPONENTES

Para la operación de la mezcladora es necesario utilizar componentes que fácilmente se encuentran en el mercado, y que su diseño o construcción no se justifican. Estos elementos mecánicos tienen los siguientes costos:

Moto-reductor	S/. 14 185 710,00
Sistema piñón cadena	S/. 723 570,00
Chumaceras	S/. 327 970,00
Paquete neumático	S/. 630 000,00

Total S/. 15 867 250,00

Entonces puedo obtener un costo parcial de la mezcladora, sumando la totalidad de los valores anteriores, obteniendo un valor de S/. 23 928 494,00

Para el costo total, será necesario que se adicionen ciertos valores, obteniéndose:

Valor parcial	S/. 23 928 494,00
Utilidad	S/. 7 178 549,00
Varios	S/. 1 196 425,00

Total S/. 32 303 468,00

El valor total de la mezcladora fabricada localmente es muy inferior al correspondiente a una máquina importada, pues para el mismo sistema se tienen valores comprendidos entre los US.\$ 25 000,00 a US.\$35 000,00, por lo que el diseño y la construcción local de esta máquina está plenamente justificado.

CONCLUSIONES

El proceso de mezcla es un mecanismo de transporte de masa (producto), que tiene tres formas básicas: convección, difusión y cizalla. Sin embargo, describir y realizar un modelo de lo que realmente sucede con las partículas en este proceso es sumamente difícil, por lo que para determinar los factores y parámetros que se requieren para su diseño, y eventual construcción, se han realizado pruebas y se los ha obtenido experimentalmente.

Para el análisis, y debido al carácter aleatorio de la operación de mezclado, se requiere la utilización de herramientas estadísticas y de muestreo, definiéndose algunos términos apropiados que indican la calidad de la mezcla, como la raíz cuadrada media y la desviación estandar o coeficiente de variación. Para que exista una buena mezcla, esta variación debe ser menor del 10 %; valores mayores indicarán problemas y que mejoras al proceso son deseables.

En el proceso de mezcla es necesario establecer que existen ciertas propiedades de los productos componentes que deben ser consideradas previo al diseño de la máquina, como forma y tamaño de las partículas, densidad, humedad, características superficiales y de flujo, tendencia a formar aglomerados, fragilidad, siendo la densidad y tamaño de partículas las que más influyen la operación. Estas propiedades pueden dar lugar a que se presente segregación de la mezcla, por lo que se deberá en lo posible emplearse componentes de similares características o en todo caso, si no es posible lo anterior, realizar un extenso análisis para la selección del tipo de máquina a emplearse para obtener el mejor grado de mezcla posible.

La máquina de mezclado estará compuesta básicamente de un mecanismo que realice la operación, un sistema de transmisión de potencia, la cámara de

mezclado y la estructura que la soporte. Todos estos elementos son diseñados de tal forma que se trabaje siempre del lado de la seguridad.

Al aplicar los criterios de diseño se obtienen las dimensiones de las diferentes partes, que son mínimamente requeridas para evitar fallas durante la operación. Sin embargo, estas medidas no siempre pueden encontrarse comercialmente, por lo que se elegirá siempre las más cercanas posibles al valor teórico, para estar del lado de la seguridad y no sobredimensionar la máquina y por ende encarecerla.

Del análisis de los componentes de máquina se encuentra que el mayor efecto que se necesita para realizar la operación de mezcla es el de torque, pues al mover porciones de producto concéntricas se requiere una rotación de los elementos, y la aplicación de una fuerza a una distancia del eje.

Cabe indicarse que debido al constante movimiento entre producto y mecanismo, existirá abrasión de los elementos, por lo que se seleccionó materiales que resistan dicho efecto y la máquina tenga una vida útil aceptable.

Los datos que se recaban de quien esta interesado en la máquina, generalmente modificarán el diseño, debido a que pueden existir restricciones de espacio, de presupuesto, etc.; sin embargo, los criterios expuestos en esta tesis seguirán siendo aplicables.

RECOMENDACIONES

Para el momento de la construcción de la máquina se recomienda que primero se realice un modelo a escala de la misma, realizando una simulación lo más cercana posible al proceso real, para que luego de realizar el correspondiente muestreo y análisis, se proceda a realizar los correspondientes ajustes que pudieran presentarse.

La forma en que se ha planteado la descarga del producto una vez que se haya mezclado, es una forma fácil y económica de realizarlo. Sin embargo, existe la posibilidad de realizar un vaciado rápido del producto, si se implementa una descarga que cubra la mayor cantidad de espacio inferior, lo que reduciría el tiempo necesario para realizar el mezclado de cada batch, aumentando por ende la cantidad de mezcla diaria.

También sugiero que se analice la posibilidad de realizar una descarga variable, utilizando para ello un sistema de cremallera de rápida operación.

BIBLIOGRAFIA

1. LAS OPERACIONES DE LA INGENIERIA DE ALIMENTOS, J.G. Brennan, segunda edición; Saragoza: Editorial ACRIBIA, 1.980.
2. INGENIERIA DE LOS ALIMENTOS, R. L. Earle; Saragoza: Editorial ACRIBIA, 1.979.
3. DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA, Joseph Shigley, quinta edición; México: Editorial Mc Graw-Hill INTERAMERICANA DE MEXICO, S.A., 1.990
4. RESISTENCIA DE MATERIALES, Ferdinand L. Singer, tercera edición; México: Editorial HARLA HARPER Y ROW LATINOAMERICANA, 1.985
5. MARTIN, SPROCKET AND GEAR, CATALOG GO; CHARLOTTE-MARTIN, 1.988.
6. CATALOGO GENERAL DE RODAMIENTOS S.K.F., Carl Gerber; Alemania, 1.982
7. ACEROS ESPECIALES, Iván Bohman.

8. MONTAJE DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO UTILIZANDO EL METODO DE ELEVACION UNIFORME, Iván L. Panchana Eguez; TESIS-ESPOL, 1.988.
9. TSUBAKI RS STANDARD SPROCKETS, Cadenas Tsubaki.
10. MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO, Perry.

Peso perdido	g o mg
m.d.d.	mg/dm ² . día
g.d.d.	g/dm ² . día
g.c.h.	g/cm ² . hora
g.i.h.	g/pul ² . hora
l.p.y.	pul / año
l.p.m.	pul / mes
m.p.y.	milésimas pul / año

TABLA A. Unidades de velocidad de corrosión

MEDIO	VELOCIDAD DE CORROSION (mcd)		
	ACERO	ZINC	COBRE
Atmósfera rural	-	0.17	0.14
Atmósfera marítima	2.9	0.31	0.32
Atmósfera industrial	1.5	1.0	0.29
Agua de mar	25	10	8
Solo	5	3	0.7

TABLA B. Velocidades de corrosión

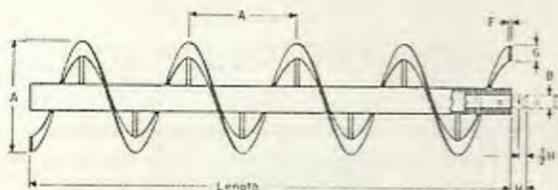
mpy	ipy	ipin	mdd	Densidad
400.0	0.10	0.009	1.000	12.00
300.0	0.03	0.003	800	50
200.0	0.01	0.001	600	10.00
150.0	0.04	0.004	500	50
100.0	0.05	0.005	400	1.00
75.0	0.01	0.001	300	50
50.0	0.01	0.001	200	0.00
30.0	0.03	0.003	100	50
20.0	0.03	0.0025	80	1.00
15.0	0.02	0.002	60	50
10.0	0.015	0.0015	50	1.00
8.0	0.01	0.001	40	50
7.0	0.01	0.001	30	0.00
6.0	0.01	0.001	20	50
5.0	0.01	0.001	10	1.00
4.0	0.01	0.001	8	50
3.0	0.01	0.001	6	1.00
2.0	0.002	0.0002	5	50
1.0	0.001	0.0001	4	1.00
0.8	0.0008	0.00008	3	50
0.7	0.0007	0.00007	2	1.00
0.6	0.0006	0.00006	1.0	0.00
0.5	0.0005	0.00005	0.8	0.00
0.4	0.0004	0.00004	0.6	0.00
0.3	0.0003	0.00003	0.5	0.00
0.2	0.0002	0.00002	0.4	0.00
0.1	0.0001	0.00001	0.3	0.00
	0.0001	0.00001	0.2	0.00

TABLA C. Relación entre las diferentes velocidades de corrosión

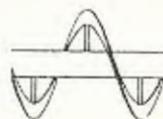
Conveyor
Screws
(Ribbon)

Martin

Ribbon flight conveyor screws consist of sectional flights, buttwelded together to form a continuous helix. Flights are secured to the pipe by supporting legs. Both ends of the pipe are prepared with internal collars and drilling to accept couplings, drive shafts and end shafts. They are used to convey sticky, gummy, or viscous substances, or where the material tends to adhere to flighting and pipe.

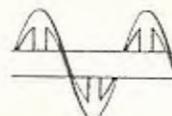


Ribbon Conveyor Screw



Post

Integral (Int)
Leg



A SCREW DIAM.	B CPLNG. DIAM.	SIZE PART NO. MOUNTED CONVEYOR	PIPE SIZE		FLIGHT SIZE		H CPLNG. BEARING LENGTH	STD. LENGTH FT.-IN.	WEIGHT	
			INSIDE	OUTSIDE	F THICKNESS	G WIDTH			COMPLETE SCREW	
									STD. LENGTH	PER FOOT
6	1 1/2	6R312--	2	2 1/4	3/16	1	2	9-10	55	6.5
9	1 1/2	9R316--	2	2 3/4	1/4	1 1/2	2	9-10	100	10
10	1 1/2	10R316--	2	2 3/4	1/4	1 1/2	2	9-10	110	11
12	2	12R416--	2 1/2	2 3/4	1/4	2	2	11-10	180	15
	2	12R424--	2 1/2	2 3/4	3/8	2 1/2	2	11-10	216	19
	2 3/4	12R524--	3	3 1/2	3/8	2 3/4	3	11-9	240	21
14	2 3/4	14R516--	3	3 1/2	1/4	2	3	11-9	228	19
	2 3/4	14R524--	3	3 1/2	3/8	2 1/2	3	11-9	264	22
	3	14R624--	3 1/2	4	3/8	2 3/4	3	11-9	288	25
16	3	16R616--	3 1/2	4	1/4	2 1/2	3	11-9	276	24
	3	16R624--	3 1/2	4	3/8	2 3/4	3	11-9	324	28
18	3	18R624--	3 1/2	4	3/8	3	3	11-9	384	31
20	3 1/4	20R724--	4	4 1/2	3/8	3	4	11-8	408	35
	3 1/4	24R724--	4	4 1/2	3/8	3	4	11-8	424	36

-- R FOR RIGHT HAND

-- L FOR LEFT HAND

TABLA D. Dimensiones de Cintas Standard

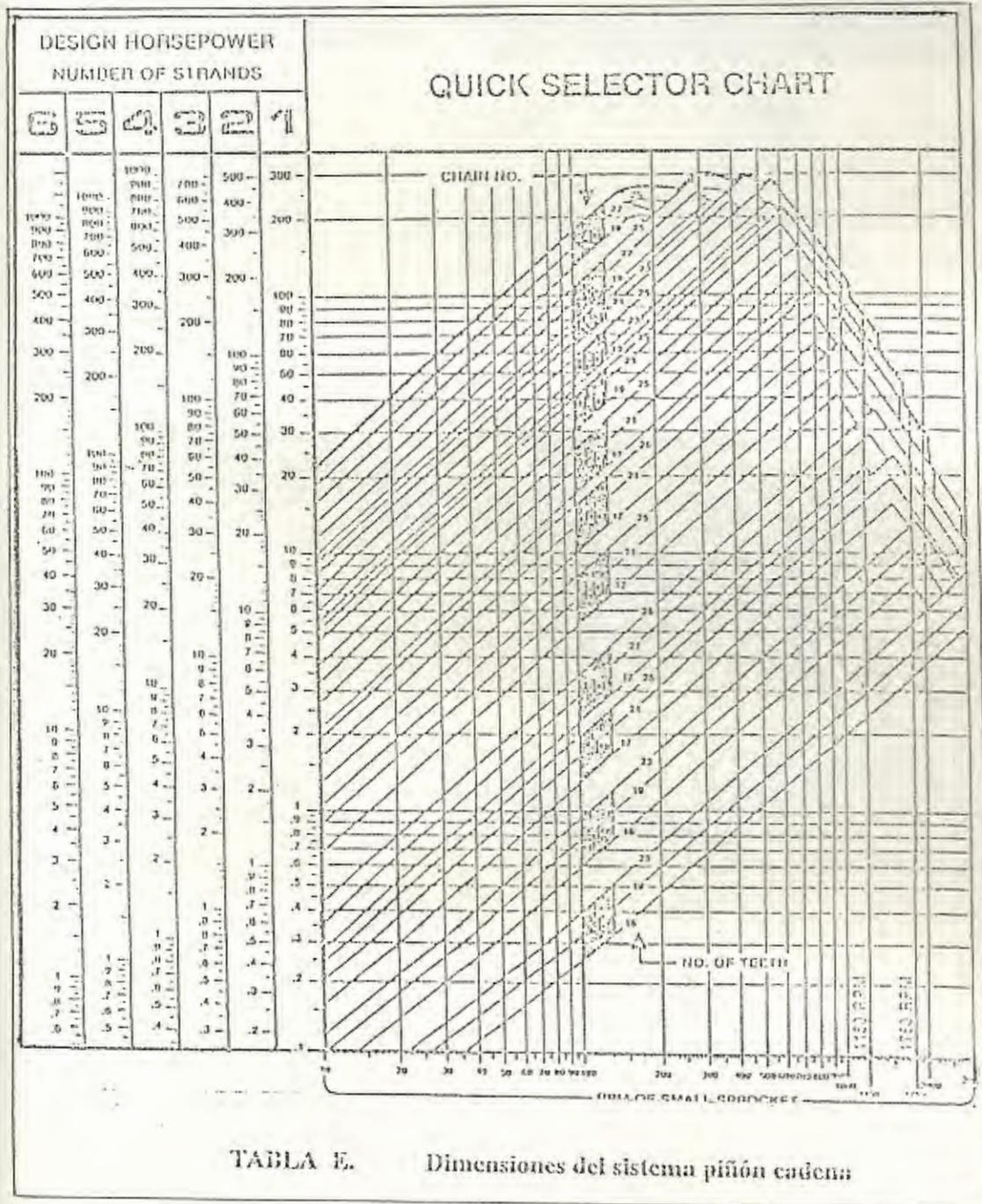
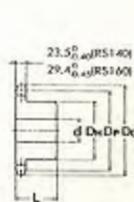
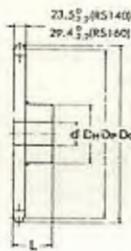


TABLA E. Dimensiones del sistema piñón cadena

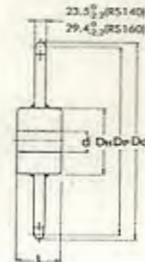
ANSI Standard Sprockets RS140, RS160



B-type single



BW-type single



CW-type single

RS140 Pitch 44.45 (1-3/4")

RS160 Pitch 50.80 (2")

No. of Teeth	Pitch Dia. Dp	Outside Dia. Do	B/BW/CW-type, single					Approx. Weight kg
			Type	Bore Dia. d		Hub		
				Stock #110	Max	Dia. Dd	Length L	
10	143.94	163	B	28	60	91	55	4.4
11	152.76	178		33	73	106	66	5.5
12	171.24	193		33	80	117	66	6.6
13	185.74	207		33	90	117	83	7.9
14	199.36	221		33	89	127	83	9.2
15	213.79	236		33	91	127	61	10.1
16	227.84	250		33	89	127	63	11.0
17	241.51	264		33	89	127	83	12.0
18	255.38	279		33	88	127	63	13.0
19	270.06	293		33	95	137	71	15.6
20	284.15	307	33	95	137	71	16.7	
21	298.24	322	33	95	137	71	17.9	
22	312.34	336	33	95	137	71	18.4	
24	340.64	364	33	95	137	71	20.9	
25	354.65	379	38	103	147	80	24.1	
26	368.77	393	BW	38	103	147	80	25.5
30	429.24	450		38	103	147	80	31.9
35	485.88	521		38	110	157	90	43.9
40	538.54	591		38	110	157	90	51.1
45	587.22	662	CW	38	118	167	100	67.8
48	629.63	705		38	118	167	100	84.3
50	669.22	775		38	118	167	112	85.6

Remarks:
1) Sprockets other than the above can be made upon request.

No. of Teeth	Pitch Dia. Dp	Outside Dia. Do	B/BW/CW-type, single					Approx. Weight kg		
			Type	Bore Dia. d		Hub				
				Stock #110	Max	Dia. Dd	Length L			
10	164.39	187	B	33	70	106	63	6.8		
11	180.21	204		33	80	117	63	8.3		
12	196.28	220		33	89	127	63	9.9		
13	212.27	237		33	95	137	71	12.5		
14	228.30	253		33	95	137	71	13.8		
15	244.33	269		33	95	137	71	15.2		
16	260.39	286		33	103	147	71	17.4		
17	276.46	302		33	103	147	71	18.9		
18	292.55	318		33	103	147	71	20.6		
19	308.64	335		33	103	147	71	22.3		
20	324.77	351	BW	33	103	147	71	24.2		
21	340.84	368		33	103	147	71	26.1		
22	356.96	384		38	118	167	80	30.2		
24	389.19	416		38	118	167	80	34.4		
25	405.32	433		38	118	167	80	36.6		
26	421.45	449		CW	38	118	167	80	38.9	
30	485.99	514			38	118	167	100	52.3	
32	518.28	545			CW	38	118	167	112	55.9
35	565.71	593				38	118	167	125	62.4
40	647.47	676		CW	38	132	187	125	82.4	
45	728.25	767	38		132	187	125	100.9		
50	820.85	880	38		132	187	125	135.4		

Remarks:
1) Sprockets other than the above can be made upon request.

TABLA F. Tabla de Dimensiones de Catuinas

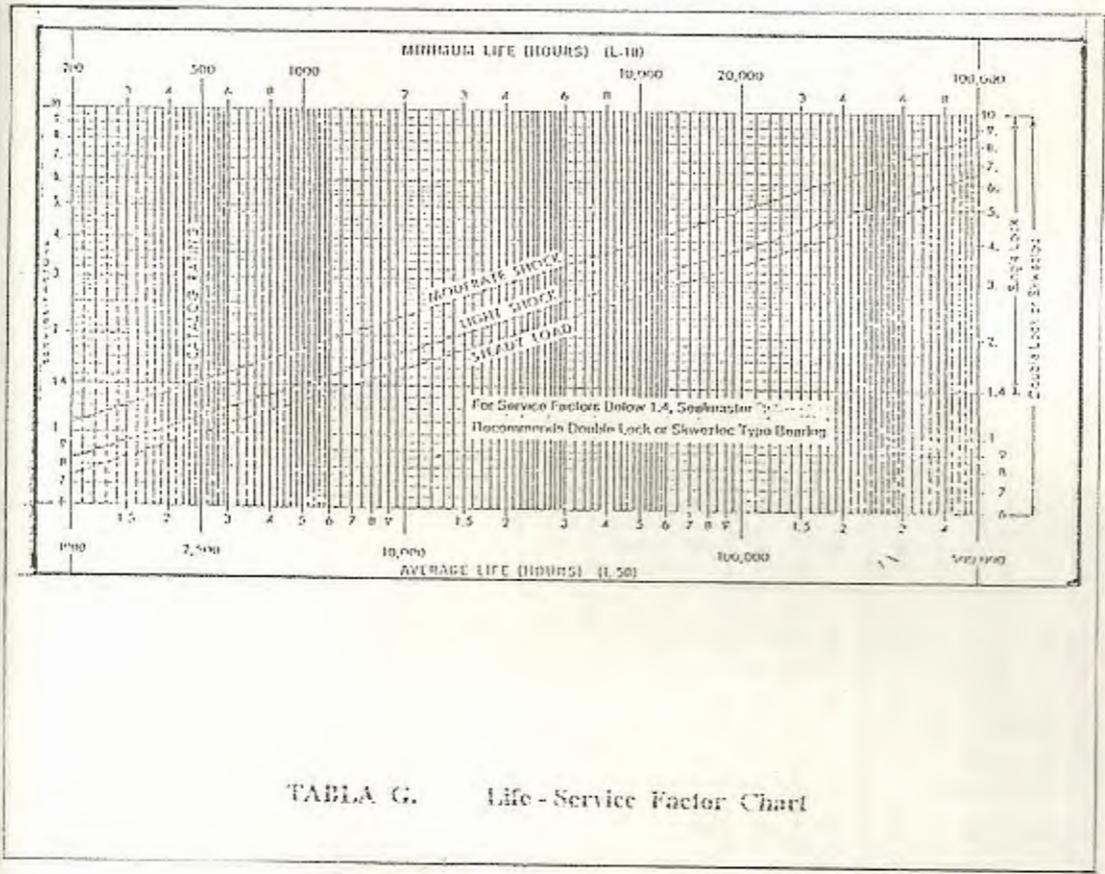
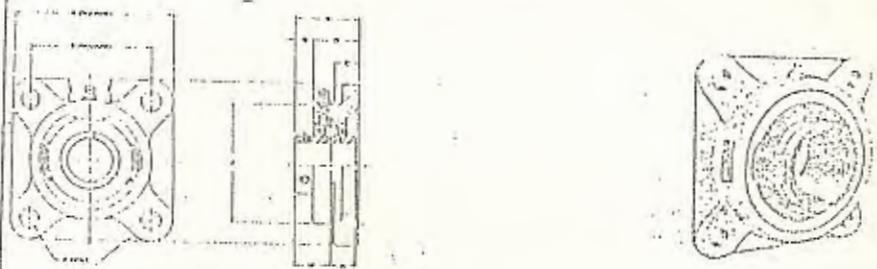


TABLE G. Life - Service Factor Chart

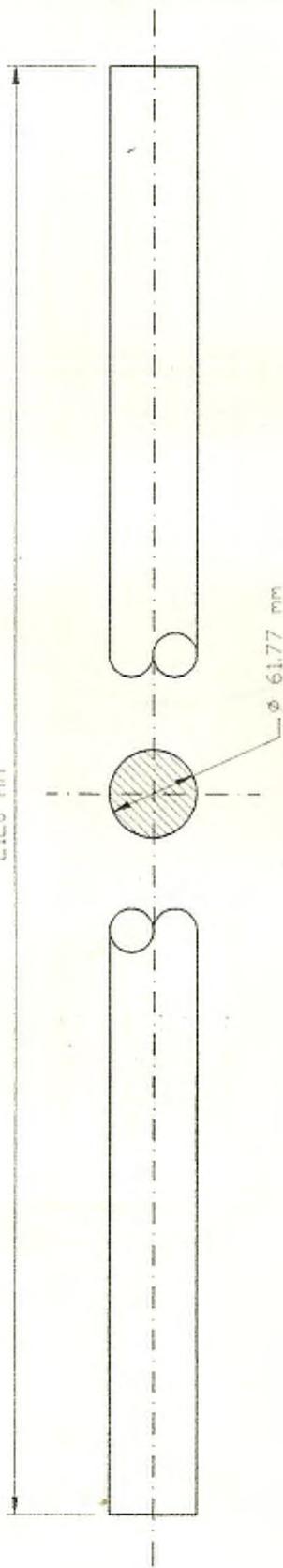


SETSCHEW LOCKING

Shaft Diam. In. MM	Dial No.	Inset No. A	Dimensions in Inches										Dial No.				
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J					
1/2	SF-8	2-08															
3/8	SF-9	2-09	3	2 1/2	3/8	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1.4
1/2	SF-10	2-10															
3/8	SF-11	2-11															
1/2	SF-12	2-12															
3/8	SF-204	2-04	3 1/2	2 1/2	3/8	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1.5
1/2	SF-13	2-13															
3/8	SF-14	2-14															
1/2	SF-15	2-15	3 1/4	2 3/4	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	2.1
3/8	SF-16	2-1															
1/2	SF-205	2-05															
1/2	SF-17	2-17															
3/8	SF-18	2-18															
1/2	SF-19	2-19	4 1/2	3 1/4	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	3.0
3/8	SF-201	1-11															
1/2	SF-206	2-06															
1/2	SF-20	2-14															
3/8	SF-21	2-15															
1/2	SF-22	2-16	4 1/2	3 1/4	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	4.1
3/8	SF-23	2-17															
1/2	SF-207	2-07															
1/2	SF-24	2-18															
3/8	SF-25	2-19	5 1/2	4	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	5.5
1/2	SF-208	2-08															
1/2	SF-26	2-110															
3/8	SF-27	2-111															
1/2	SF-28	2-112	5 1/2	4 1/4	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	5.7
3/8	SF-209	2-09															
1/2	SF-29	2-113															
3/8	SF-30	2-114															
1/2	SF-31	2-115	5 1/2	4 1/4	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	6.4
3/8	SF-210	2-10															
1/2	SF-32	2-2															
3/8	SF-33	2-22															
1/2	SF-35	2-23	6 1/2	5 1/4	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	10.1
3/8	SF-211	2-11															
1/2	SF-36	2-24															
3/8	SF-38	2-25															
1/2	SF-39	2-27	6 1/2	5 1/4	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	11
3/8	SF-212	2-12															
1/2	SF-40	2-28															
3/8	SF-43	2-211															
1/2	SF-214	2-14	7 1/4	6 1/4	1 1/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	16
3/8	SF-45	2-214															
1/2	SF-47	2-215	7 1/4	6	1	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	19
3/8	SF-215	2-15															

TABLA II. Catálogo de Clavaceros

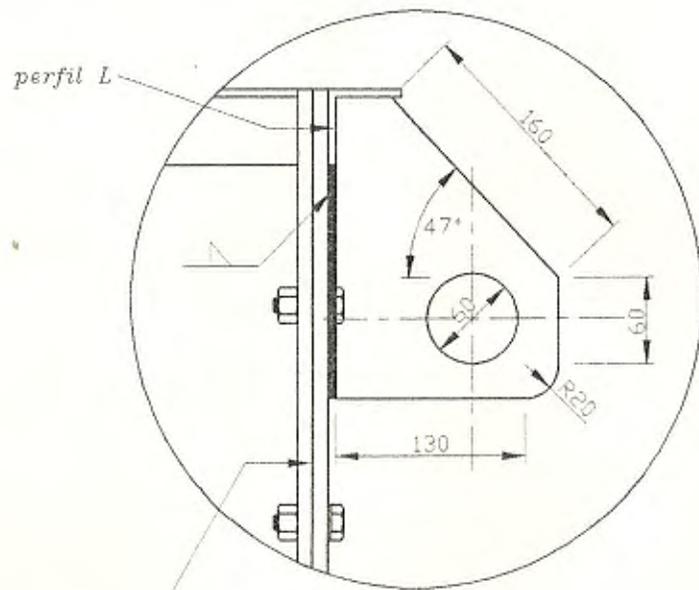
2120 mm



NOMBRE	FECHA
DIBUJO	R VALLEJO 11/94
REVISO	DE MORALES 22/11/94
COMPROBADO	DE MORALES 22/11/94

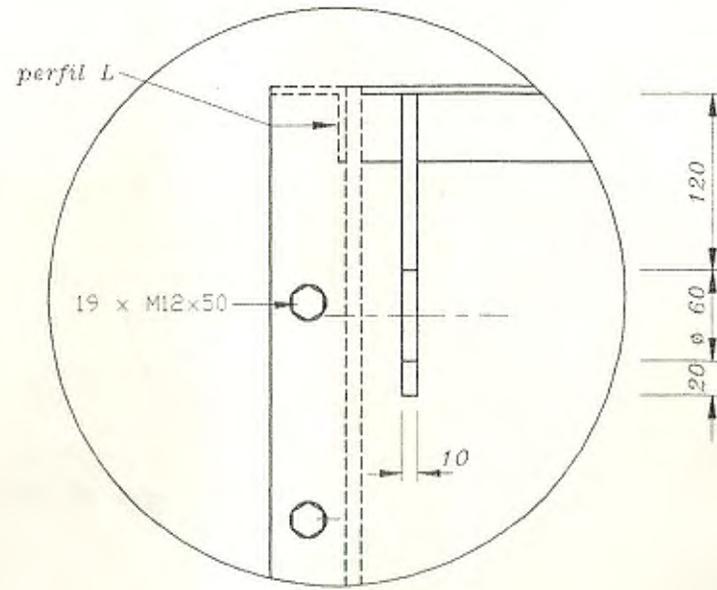
--

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		ESPOL
ARBOL DE TRANSMISION DE LA MEZCLADORA		ESCALA: 1 : 5
		MATERIAL AISI 304
		LAMINA 001



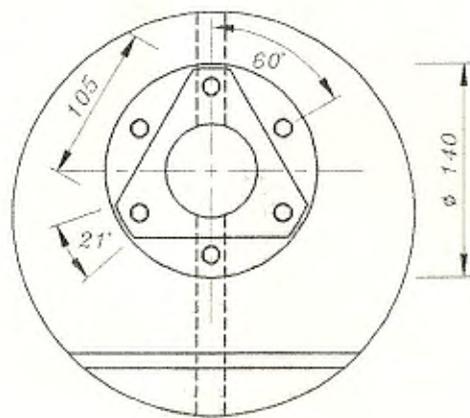
Junta de 2 planchas

FRONTAL

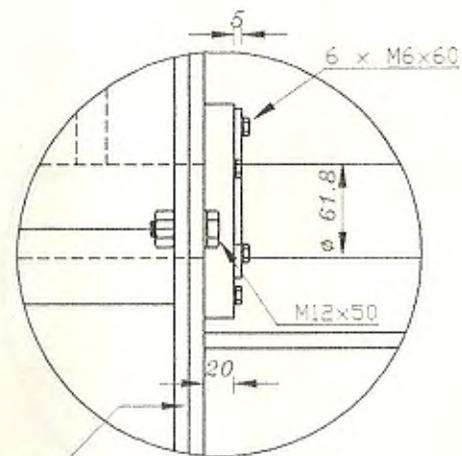


LATERAL

NOMBRE		FECHA	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL		
DIBUJO	W VALLER	20/11/94			DETALLE A AGARRADERA SUPERIOR	ESCALA: 1 : 5
REVISO	ING. WILSON	22/11/94				MATERIAL AISI 304
COMPROBADO	ING. WILSON	22/11/94				LAMINA 002



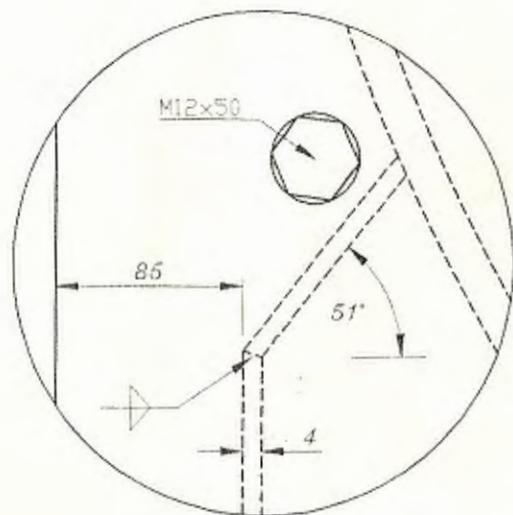
FRONTAL



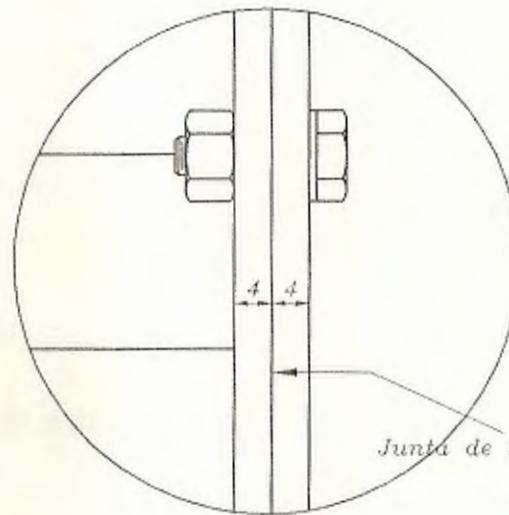
Junta de 2 planchas

LATERAL

	NOMBRE	FECHA	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL		
DIBUJO	H. VALLE	10/20/11/94			DETALLE B GUARDAPOLVO	ESCALA: 1 : 5
REVISO	DR. HELGADO	22/11/94				MATERIAL AISI 304
COMPROB	DR. HELGADO	22/11/94				LAMINA 003

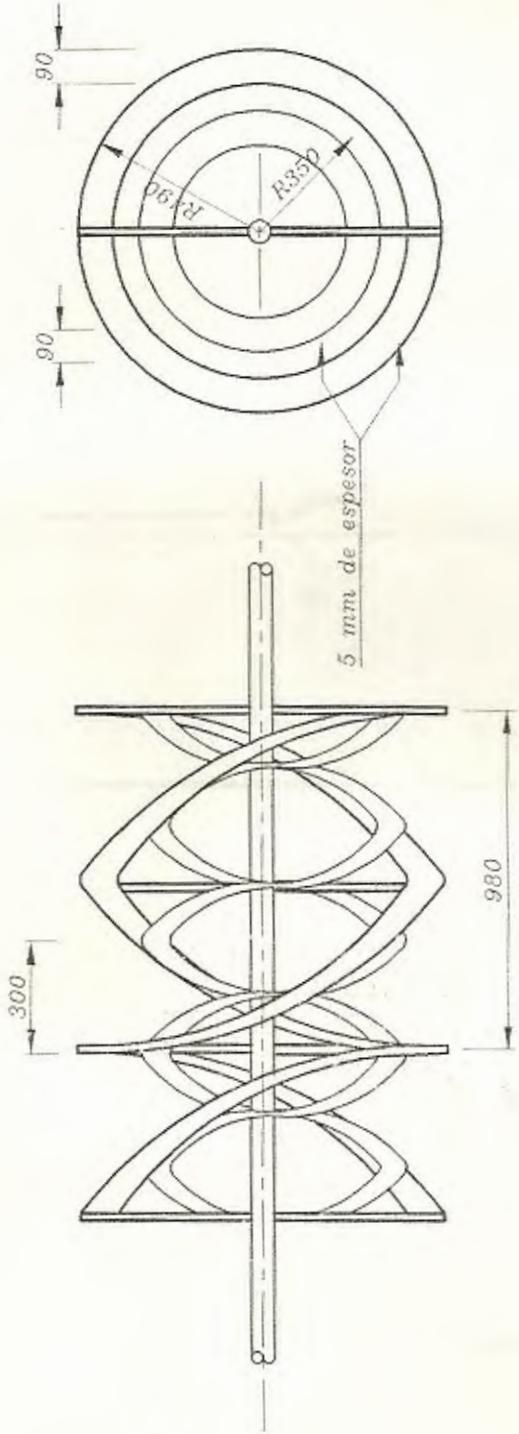


FRONTAL



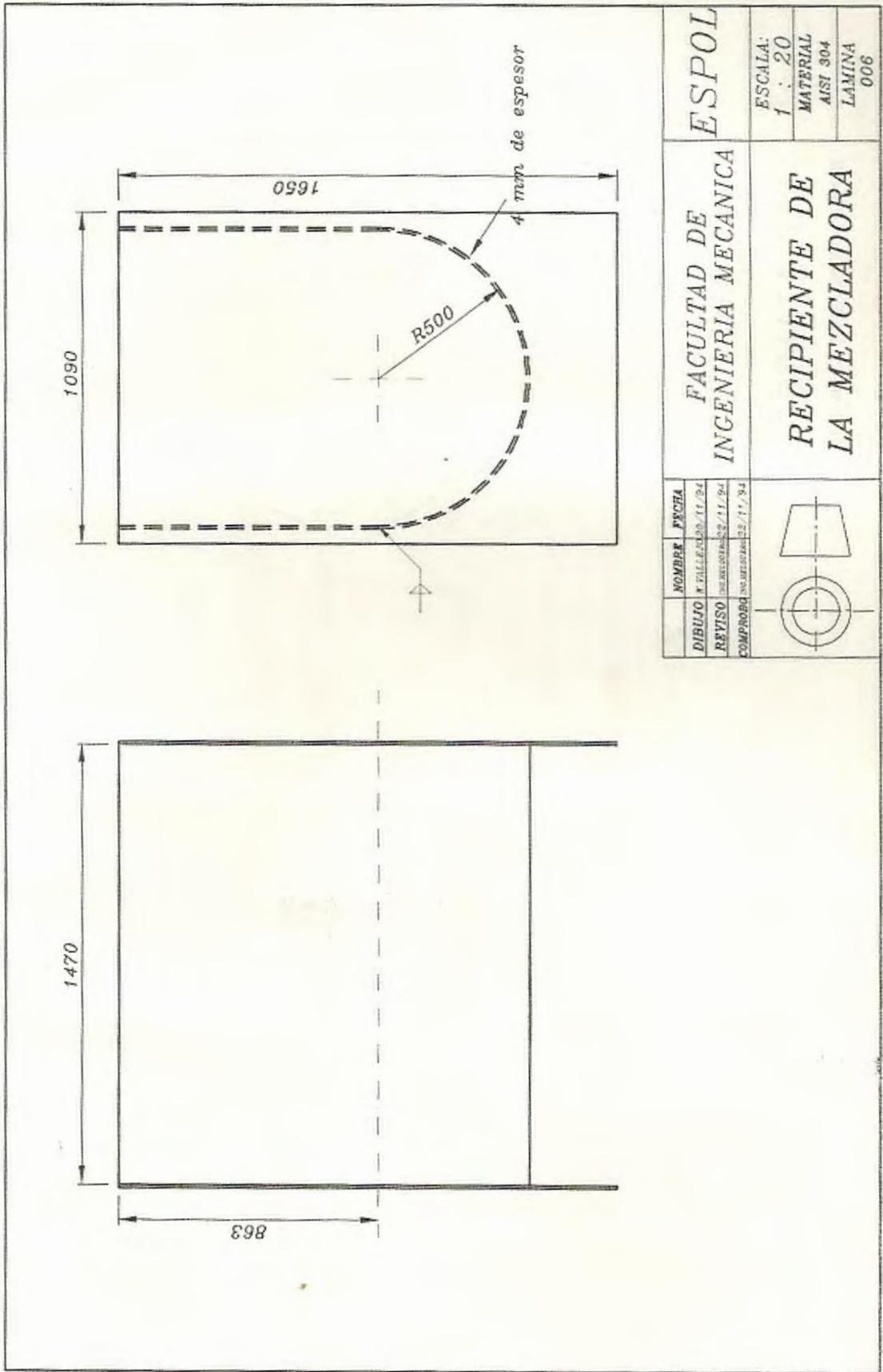
LATERAL

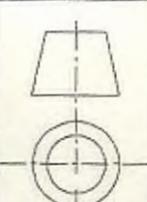
	NOMBRE	FECHA	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL		
DIBUJO	H. VALLEJO	20/11/94			DETALLE C	ESCALA: 1 : 2
REVISO	NO REVISADO	22/11/94				MATERIAL AISI 304
COMPROB	NO REVISADO	22/11/94				LAMINA 004



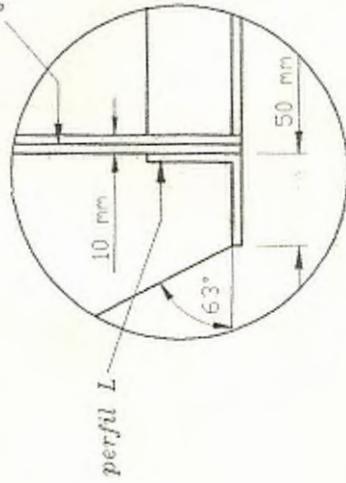
NOMBRE	FECHA
DIBUJO	E. VALLES 09/11/94
REVISO	ING. MARTINEZ 02/11/94
COMPROBÓ	ING. MARTINEZ 22/11/94

ESPOL	
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
HELICES DE LA MEZCLADORA	
ESCALA:	1 : 20
MATERIAL:	AISI C1046
LAMINA:	005

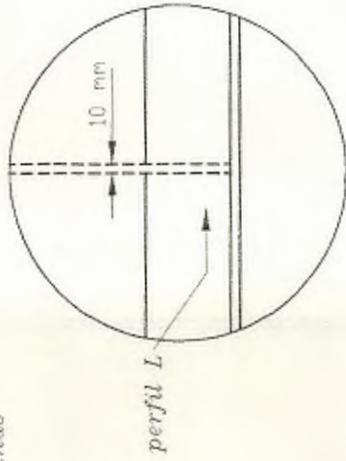


DIBUJO		F. VILLERDAN/11/94	
REVISO		DEBERGON/02/11/94	
COMPROBÓ		NO. 02/02/02/11/94	
NOMBRE		FECHA	
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA			
RECIPIENTE DE LA MEZCLADORA			
ESPOL		ESCALA:	
		1 : 20	
		MATERIAL	
		AISI 304	
		LAMINA	
		006	

Junta de 2 planchas



FRONTAL



LATERAL

NOMBRE	FECHA
DIBUJO	F. VALLEJO/11/94
REVISO	ING. MONTENEGRO/11/94
COMPROBADO	ING. MONTENEGRO/11/94

FACULTAD DE
INGENIERIA MECANICA

DETALLE D

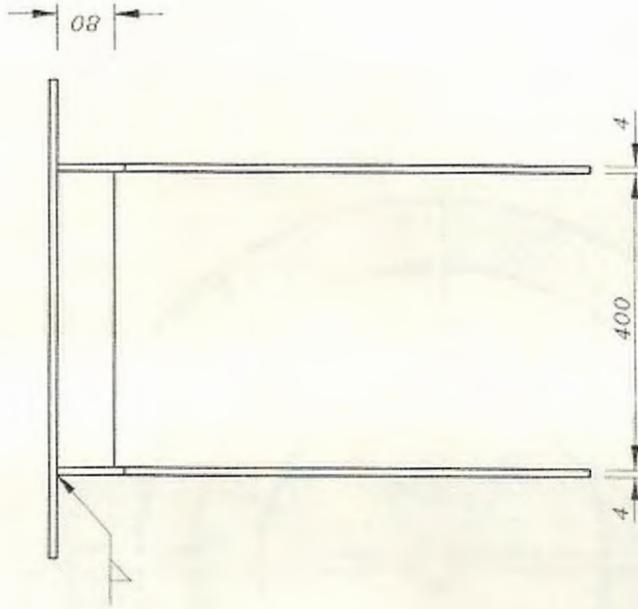
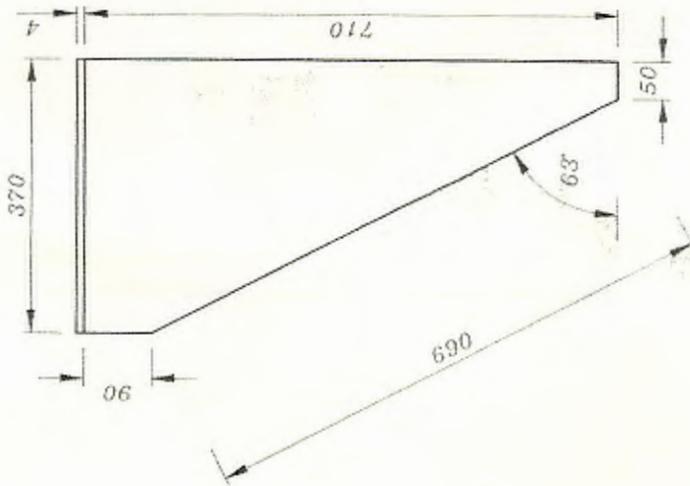
UNION DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

ESPOL

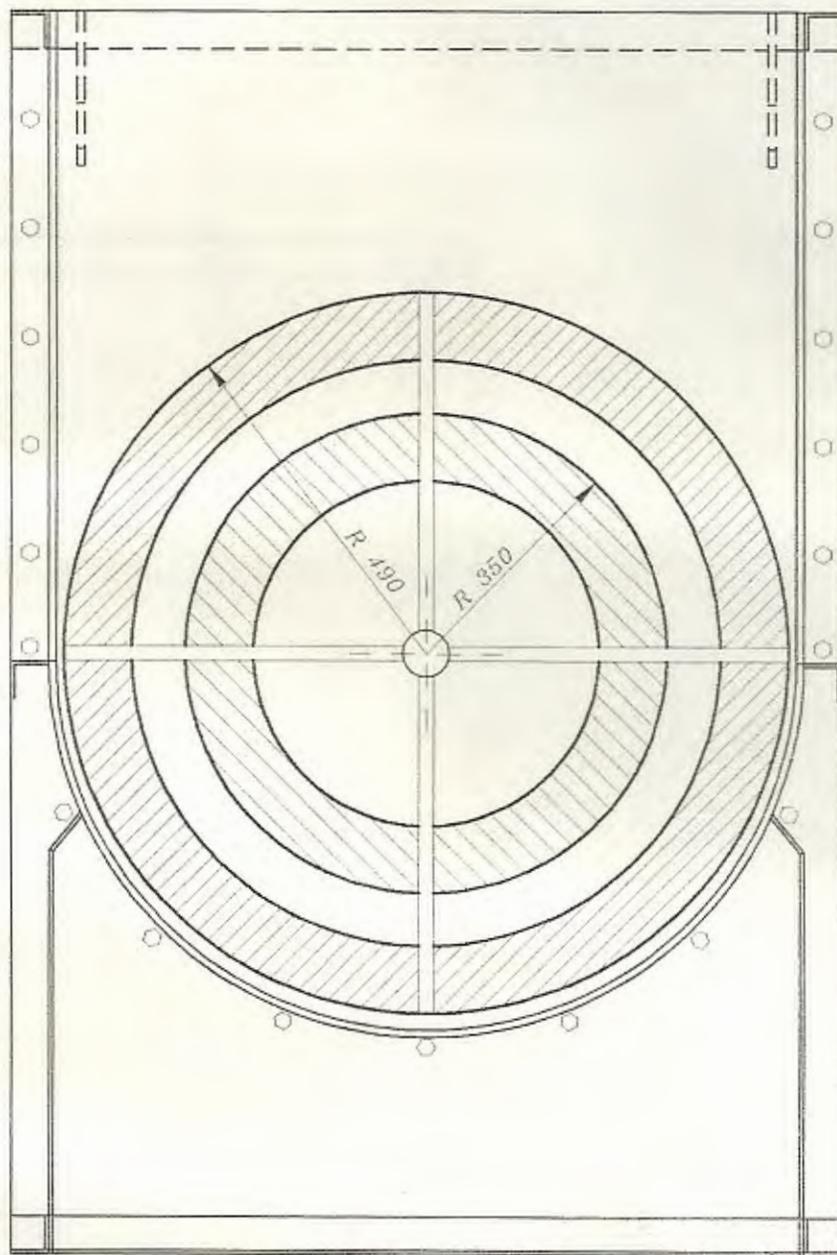
ESCALA:
1 : 4

MATERIAL
AISI 304

LAMINA
007



DIBUJO		NOMBRE		FECHA					
V. VALLEJO		V. VALLEJO		11/94					
REVISO		REVISO		11/94					
COMPROBÓ		COMPROBÓ		11/94					
		<p style="text-align: center;">ESPOL</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA</p> <p style="text-align: center;">ESTRUCTURA SOPORTE DE LAS CHUMACERAS</p>							
						ESCALA:		1 : 10	
						MATERIAL		AISI 804	
		LAMINA		008					



NOMBRE		FECHA		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL		
DIBUJO	N. VALLEJO	20/11/84					
REVISO	ING. MELGOSIN	22/11/84					
COMPROBO	ING. MELGOSIN	22/11/84					
				CORTE A-A'			
				ESCALA: 1 : 10			
				MATERIAL AISI 304			
				LAMINA 009			