

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOLINO
MEZCLADOR PARA LA PREPARACION DE ARENAS
DE MOLDEO PARA LA EMPRESA INDUSTRIAL DE
ACCESORIOS LTDA.**

**LAURA ENID SEPULVEDA SIERRA
ORLANDO ENRIQUE TOLEDO PINZÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2004

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOLINO
MEZCLADOR PARA LA PREPARACION DE ARENAS
DE MOLDEO PARA LA EMPRESA INDUSTRIAL DE
ACCESORIOS LTDA.**

**LAURA ENID SEPULVEDA SIERRA
ORLANDO ENRIQUE TOLEDO PINZÓN**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
LEONIDAS VASQUEZ CHAPARRO
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2004

DEDICATORIA

A Dios, porque siempre ha estado conmigo, mi mejor compañero,
A mis padres Sofía y Gustavo, por su amor y su apoyo incondicional,
A mis hermanas Leydy Mercedes, Sandra Sofía y Angélica M^a, por quererme
tanto.

Laura Enid Sepúlveda Sierra

A Dios, por ser la guía de nuestro destino.
A mi madre Carmen Helena, por tanto amor.
A mi padre Orlando Enrique, por sus consejos.
A mi hermano Luis Guillermo, por su amistad incondicional.

Orlando Enrique Toledo Pinzón.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Leonidas Vásquez Chaparro, ingeniero mecánico, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración acertada.

Al Señor Jairo Pinzón, gerente de la empresa *Industrial de Accesorios Ltda.* por la confianza ofrecida, apoyo, interés y gestión durante la elaboración del proyecto.

Al Señor Rubén Niño, profesor del área de fundición SENA, y asesor de la empresa Industrial de Accesorios, por su aporte técnico de gran valor para la elaboración del proyecto.

A los empleados de la empresa *Industrial de Accesorios Ltda.* por la colaboración prestada en la construcción de la maquina.

A todos nuestros profesores, compañeros y amigos, que nos han acompañado durante este caminar.

Laura Enid Sepúlveda Sierra.
Orlando Enrique Toledo Pinzón.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	i
1. EVOLUCION DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO	1
1.1. NECESSIDADES QUE GENERARON EL PROYECTO	1
1.1.1. Evitar retrasos en moldeo	1
1.1.2. Preparación de la arena	1
1.1.3. Máquinas para la preparación de la arena	1
1.1.4. Competencia	2
1.2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	3
1.3. GENERACION Y ANALISIS DE IDEAS	3
1.3.1. Propuesta 1	3
1.3.2. Propuesta 2	4
1.3.3. Propuesta 3	6
2. DESCRIPCION DEL MOLINO MEZCLADOR PARA LA PREPARACION DE ARENA	8
2.1. Descripción general del sistema	8
2.1.1. Componentes principales del molino mezclador	9
2.1.2. Etapas de operación del molino mezclador	15
3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MOLINO MEZCLADOR	19
3.1. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD	19
3.2. VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO	19
3.3. DISEÑO DE LA CUBA	20
3.3.1. Dimensionamiento de la cuba	20

3.4. DISEÑO DE LOS RODILLOS	21
3.4.1. Dimensionamiento de los rodillos	21
3.5. DETERMINACION DEL TORQUE REQUERIDO	22
3.5.1. Torque de Inercia	22
3.5.2. Torque de carga	23
3.6. DISEÑO DEL EJE DE LOS RODILLOS	27
3.6.1. Análisis de cargas	27
3.6.2. Análisis de esfuerzos	28
3.6.3 Análisis de deformaciones	28
3.7. SELECCIÓN RODAMIENTO DE LOS RODILLOS	29
3.7.1. Selección rodamiento interno	29
3.7.2. Selección rodamiento externo	33
3.8. DISEÑO DEL EJE PRINCIPAL	34
3.8.1. Situación 1	35
3.8.2. Situación 2	37
3.9. DISEÑO DE LAS COLUMNAS	42
3.9.1. Calculo de las columnas	43
3.10. SELECCIÓN DEL RODAMIENTO DE LA BASE	44
3.11. SELECCIÓN DEL MOTOR Y EL REDUCTOR	46
3.11.1. Potencia consumida por la transmisión	48
3.12. SELECCIÓN DEL ACOPLER	49
3.13. SELECCIÓN DE TRANSMISION POR CORREAS	52
4. PROCESO DE FABRICACIÓN, ENSAMBLE Y MONTAJE DEL MOLINO MEZCLADOR DE ARENA	57
4.1. CUBA	58
4.2. RODILLOS	59
4.3. BRAZO DE LOS RODILLOS	60
4.4. LAMINA LIMPIADORA DEL RODILLO	61
4.5. SOPORTE CENTRAL	61
4.6. SOPORTE BASE	62

4.7. SOPORTE DE LAS CUCHILLAS DEFLECTORAS	63
4.8. CUCHILLAS DEFLECTORAS	63
4.9. TRANSMISION DE POTENCIA	64
5. PRUEBAS REALIZADA PARA VERIFICAR BUEN FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA	66
6. ANALISIS DE COSTOS	68
7. CONCLUSIONES	71

8. RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Máquina mezcladora de aspas	2
Figura 2. Mezclador de rodillos horizontales	4
Figura 3. Mezclador de artesa o cuba giratoria	5
Figura 4. Molino mezclador de cuba o artesa fija rodillos verticales	6
Figura 5. Molino Mezclador	9
Figura 6. Cuba	10
Figura 7. Rodillos	10
Figura 8. Tapas de los rodillos	11
Figura 9. Eje de los rodillos	11
Figura 10. Brazo del rodillo	12
Figura 11. Cuchilla deflectora	12
Figura 12. Eje principal	13
Figura 13. Soporte central	13
Figura 14. Soporte base	14
Figura 15. Escotilla	14
Figura 16. Etapa de carga de la máquina	16
Figura 17. Etapa de mezclado y amasado	17
Figura 18. Etapa de descarga	17
Figura 19. Etapa de transmisión	18
Figura 20. Dimensiones de la cuba	20
Figura 21. Dimensiones de los rodillos	21
Figura 22. Diagrama del mecanismo central	23
Figura 23. Angulo de contacto de los rodillos de la arena	25
Figura 24. Distribución de fuerzas en los rodillos	25

Figura 25. Proyección área de las cuchillas limpiadoras	26
Figura 26. Diagramas de carga, cortante y momento flector	27
Figura 27. Dimensiones del eje de las masas	29
Figura 28. Dimensiones del rodamiento 6208	31
Figura 29. Dimensiones del rodamiento 6007	34
Figura 30. DCL del mecanismo central	35
Figura 31. DCL del eje principal en el estado 1	35
Figura 32. Diagrama de torsión	36
Figura 33. Diagrama de fuerzas axiales	36
Figura 34. Diagrama de fuerzas y momentos	37
Figura 35. DCL del eje principal en el estado 2	38
Figura 36. Diagrama de torsión	38
Figura 37. Diagrama de fuerzas axiales	39
Figura 38. Diagrama de fuerzas y momentos	39
Figura 39. Dimensiones del rodamiento 32010	45
Figura 40. Area efectiva de corte de la chaveta	50
Figura 41. Area de aplastamiento de la chaveta	51
Figura 42. Ensamble de la máquina	57
Figura 43. Cuba	58
Figura 44. Ensamble de los rodillos	59
Figura 45. Ensamble del brazo del rodillo	60
Figura 46. Lámina limpiadora del rodillo	61
Figura 47. Montaje del soporte central	62
Figura 48. Montaje del soporte base	62
Figura 49. Soporte de las cuchillas deflectoras	63
Figura 50. Montaje de las cuchillas limpiadoras	64
Figura 51. Montaje transmisión de potencia	65
Figura 52. Molino mezclador de la empresa Industrial de Accesorios Ltda.	65

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características del rodamiento 6208	30
Tabla 2. Características del rodamiento 6007	33
Tabla 3. Características del rodamiento 32010	46
Tabla 4. Costos del molino mezclador de arena	69

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Aspectos generales de la fundición

Anexo B. Arenas de moldeo

Anexo C. Reductor

Anexo D. Acople

Anexo E. Tabla de Chavetas

Anexo F. Tabla de correas

Anexo G. Planos

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOLINO MEZCLADOR PARA LA PREPARACION DE ARENAS DE MOLDEO PARA LA EMPRESA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS LTDA.*

AUTORES:

Laura Enid Sepúlveda Sierra.
Orlando Enrique Toledo Pinzón. **

PALABRAS CLAVES:

Fundición, Arenas de moldeo, Molino mezclador.

DESCRIPCION:

El objetivo de este proyecto es mejorar el proceso de preparación de las arenas en la empresa *Industrial de Accesorios LTDA*, realizando el diseño y la construcción de un molino mezclador de rodillos.

El molino diseñado cuenta con un sistema de mezclado que consiste en dos rodillos giratorios y basculantes, que revuelven y amasan la arena en el fondo de la cuba durante el tiempo estipulado; la descarga de la arena preparada se realiza a través de una escotilla dispuesta diametralmente en el fondo de la cuba, la cual abre y cierra de forma manual.

El molino tiene una capacidad de carga nominal de 100 Kg. Y se requiere un tiempo de 5 min. para realizar la mezcla de arena sílicea con aditivos como bentonita, carbón mineral, destrina y agua. Las arenas de moldeo que son utilizadas en la mezcla tienen un tamaño de grano determinado por la Sociedad Americana de Fundición (AFS) de 40 – 80 AFS para fundir hierro y 80 – 140 AFS para fundir bronce y aluminio.

Con el empleo de este molino mezclador, la empresa *Industrial de Accesorios LTDA*, asegurará la calidad de la arena de moldeo ya que se obtendrán las propiedades de humedad, permeabilidad, resistencia y cohesión estipuladas por la AFS, y logrará mejor calidad en sus productos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Leonidas Vásquez Chaparro.

SUMMARY

TITLE:

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MIXING MILL FOR PREPARING MOULDING SAND IN THE COMPANY INDUSTRIAL DE ACCESORIOS. *

AUTHORS:

Laura Enid Sepulveda Sierra.
Orlando Enrique Toledo Pinzón. **

KEY WORDS:

Foundry, moulding sand, mixing mill

DESCRIPTION:

The purpose of this work is to improve the sand preparation process in the company "*Industrial de accesorios Ltda.*", by making the design and construction of a roller mixing mill.

The designed mill has a mixing system that contains 2 rotating and oscillating rollers that mix and mould the sand on the bottom of the pan for a short time; the sand discharge is made through a hatchway. This hatchway has to be opened and closed by hand.

The mill has a loading capacity of 100 kg. It takes 5 minutes to obtain the required mixture of clay sand with some additives, such as: bentonite, mineral coal, dextrine and water. The grain size of the sand is determined by the American Foundrymen's Society. For cast iron the grain size goes from 40 to 80 (AFS number) and for cast copper and aluminum goes from 80 to 140 (AFS number).

With the construction of this mill, IdeA, will improve the quality of the moulding sand by obtaining the requested property values for humidity, permeability, strength, and cohesion, and will obtain better products.

* Degree Work.

** Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Leonidas Vásquez Chaparro.

INTRODUCCION

La industria de la fundición en Bucaramanga, al igual que en el resto del país, se ha iniciado a través de pequeños talleres, los cuales a medida que van penetrando al mercado, crecen y de acuerdo a su capacidad organizativa, algunos se han convertido en empresas estables y desarrolladas.

Industrial de Accesorios LTDA., empresa promotora de este proyecto, está actualmente dedicada a la fabricación y comercialización de accesorios de tubería para redes de acueductos. Dentro de las diferentes etapas de fabricación que se llevan a cabo en esta empresa, se cuenta con el proceso de fundición; y dentro de éste la etapa de preparación de arenas, realizado en un equipo inadecuado.

Para la preparación de arenas de moldeo es imprescindible contar con máquinas apropiadas, pues, además de la economía que se consigue en la mano de obra, las arenas resultan mejor mezcladas y más homogéneas que si se realizara manualmente. La preparación adecuada de la arena de moldeo es tan importante como la calidad de los materiales usados. Algunos defectos de fundición se deben a fallas durante la preparación de las arenas, como son: sopladuras, erosiones, darts dilatadas, desmoronamientos, hinchazones, penetración de metal, fusión, superficies quemadas, ondulaciones, grietas, etc.

Por esta razón y buscando una excelencia en sus productos y procesos, el presente proyecto busca contribuir a la tecnificación de la empresa local por medio de la construcción del equipo adecuado, en donde se prepare arenas de alta calidad y con las propiedades que exige el proceso.

1. EVOLUCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO

La realización del diseño se desarrolló implementando el método sistemático de diseño dado por el MANUAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO de la escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS.

1.1. NECESIDADES QUE GENERARON EL PROYECTO

La empresa **INDUSTRIAL DE ACCESORIOS Ltda.** desea mejorar la mezcla de arena que se utiliza durante la elaboración de moldes en el proceso de fundición.

1.1.1. Evitar retrasos en moldeo. Dado que las arenas de fundición son reutilizables, se debe esperar hasta que se haga el desmoldeo de las piezas fundidas, para luego realizar nuevamente la preparación de la arena, y como la empresa ha ido subiendo la producción, con al maquina que se cuenta en la actualidad el trabajo se hace mas tedioso y demorado.

1.1.2. Preparación de la arena. La preparación adecuada de la arena de moldeo es tan importante como la calidad de los materiales usados. Algunos defectos de fundición se deben a fallas durante la preparación de las arenas. Dentro de los posibles defectos en las piezas, a causa de esto, se encuentran: sopladuras, erosiones, darts dilatadas, desmoronamientos, hinchazones, penetración de metal, fusión, superficies quemadas, ondulaciones, grietas, etc.

1.1.3. Maquinas para la preparación de la arena. Para la preparación de arenas de moldeo es imprescindible contar con máquinas adecuadas, pues,

además de la economía que se consigue en la mano de obra, las arenas resultan mejor mezcladas y más homogéneas que si la preparación se hace a mano o en un equipo inadecuado.

En la Empresa Industrial de Accesorios Ltda. el proceso de preparación de la arena se lleva a cabo en una máquina mezcladora de aspas la cual no esta dando las propiedades requeridas a la arena.

Figura 1. Máquina mezcladora de aspas.



1.1.4. Competencia. Además de lo anterior existe una razón que a futuro será de gran relevancia en la vida productiva de la empresa, y es que con el tiempo deben mejorar sus productos, obteniendo certificados de calidad, para poder entrar en mejores mercados. Y esto será posible si la empresa cuenta con la tecnología necesaria.

1.2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Después de mirar las necesidades del proyecto, se debe establecer entonces los requerimientos del diseño, los cuales son:

Diseñar y construir un molino mezclador que tenga una capacidad máxima de carga de 100 Kg. en un tiempo de mezclado de 5 min. Para la preparación de arenas de moldeo con tamaño de grano de 40 – 80 AFS para fundir hierro y 80 – 140 AFS para fundir bronce y aluminio.

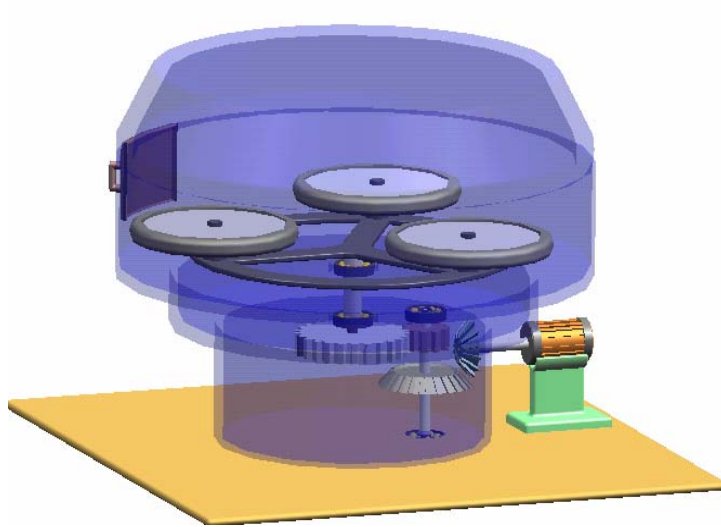
1.3. GENERACIÓN Y ANALISIS DE IDEAS

Después de establecer las condiciones y los parámetros de diseño se describen las diferentes propuestas hasta llegar al diseño de mayor viabilidad, teniendo en cuenta los requerimientos. El concepto general de la máquina es el mismo en cada una de las propuestas descritas, la variante en ellas es la forma de transmisión y el diseño de los rodillos.

1.3.1. Propuesta 1

Realiza el mezclado y amasado de la arena por medio de rodillos de gran diámetro, forrados en goma y girando rápidamente describiendo un movimiento planetario con respecto a su propio eje y a un eje vertical en común. La arena se carga manualmente en una cuba fija de paredes, igualmente, forradas en goma, y luego dentro de ella, debido a la fuerza centrífuga, se acumula en la periferia. Los rodillos giran a lo largo de ésta, presionando la arena durante el proceso de amasado. La descarga se hace manualmente.

Figura 2. Mezclador de rodillos horizontales.



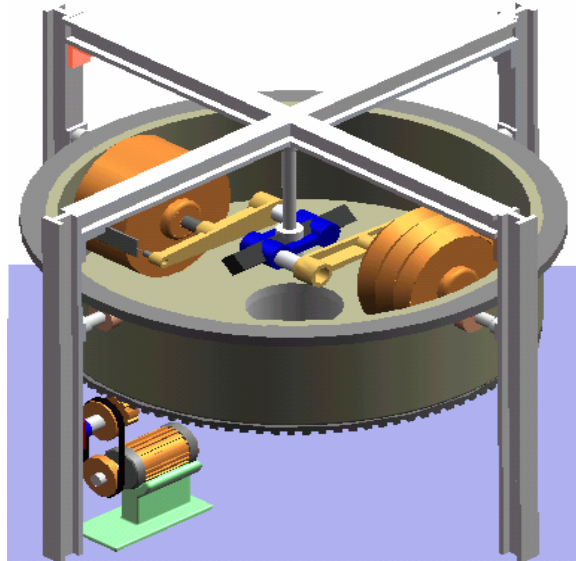
- Este sistema es de gran rendimiento ya que permite preparar la arena en corto tiempo (aprox. 2 minutos).
- Por su alta velocidad de trabajo, requiere de un sistema de enfriamiento, para evitar una elevación de temperatura de la mezcla. Este sistema adicional eleva el costo de la máquina.
- Debido a las propiedades abrasivas de la arena, el recubrimiento de goma de los rodillos y las paredes internas de la cuba sufren un desgaste rápido, lo que obligaría a realizar un cambio periódico.

1.3.2. Propuesta 2

La arena se mezcla y amasa entre el fondo de la cuba y la parte inferior de los rodillos. La cuba es giratoria, manteniendo en continuo movimiento la arena, mientras el sistema de rodillos se mantiene fijo a una estructura metálica, permitiendo solamente el movimiento de los rodillos sobre su eje horizontal debido al rozamiento con la arena.

La arena se carga desde la periferia, acercándose lentamente hacia el centro, empujada por el rodillo helicoidal, hasta descargarse por el tubo central.

Figura 3. Mezclador de artesa o cuba giratoria.



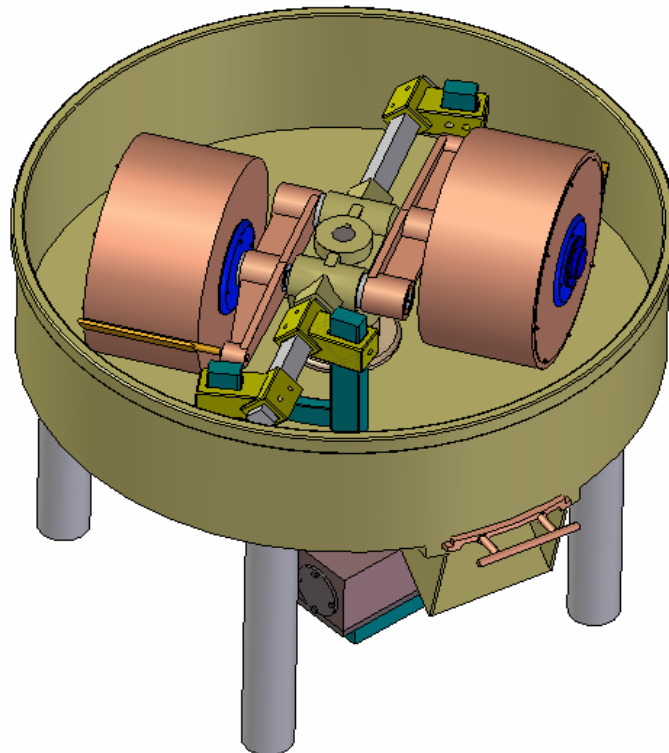
- Este sistema por ser de servicio continuo, permite procesar más cantidad de arena aumentando la productividad, ya que no se necesita parar mientras se carga y descarga.
- Debido a que la velocidad de trabajo debe ser lenta para poder dar las propiedades a la arena, requiere un sistema de transmisión de un engranaje helicoidal y una corona de gran tamaño, que elevaría los costos de fabricación.
- Como los rodillos están fijados sobre el eje vertical, se necesita de una estructura metálica adicional para sujetarlos, haciendo la máquina más

grande y mas robusta por lo que se requeriría de más espacio en la planta, además, de hacerla más costosa.

1.3.3. Propuesta 3

A diferencia de la propuesta 2, en este sistema la cuba es fija, mientras los rodillos amasadores describen un movimiento rotacional con respecto a su eje horizontal, y un movimiento traslacional circular con respecto al eje de la máquina. La arena se mezcla y amasa entre el fondo de la cuba y la parte inferior de los rodillos.

Figura 4. Molino Mezclador de cuba o artesa fija y rodillos verticales.



- Este sistema es más sencillo que los dos anteriores por lo tanto será más fácil y menos costosa su construcción.
- Según las fuentes consultadas, es el sistema más recomendado por su eficiencia y su fácil manejo.
- Esta máquina es de servicio intermitente. Esto permite que se acople mejor a las necesidades de la empresa.
- Su configuración sencilla facilita el mantenimiento de las partes.

Después de haber analizado las propuestas anteriores se determinó que la mejor opción es la propuesta número 3 por su sencillez, economía y porque se ajusta a las necesidades y al presupuesto de la empresa.

La descripción de la propuesta seleccionada se describe a lo largo del desarrollo del proyecto.

2. DESCRIPCION DEL MOLINO MEZCLADOR PARA LA PREPARACION DE ARENA

El objetivo de un molino mezclador consiste en recubrir con arcilla los granos de cuarzo, uniformizar la mezcla, aumentar su cohesión y eliminar grumos para obtener una arena refinada. Para este fin, los molinos que ofrecen una mejor alternativa para la preparación de arena y que cuentan con una mayor acogida en la industria, son aquellos que utilizan rodillos, ya que gracias a su efecto amasador se logra obtener arenas con las propiedades necesarias.

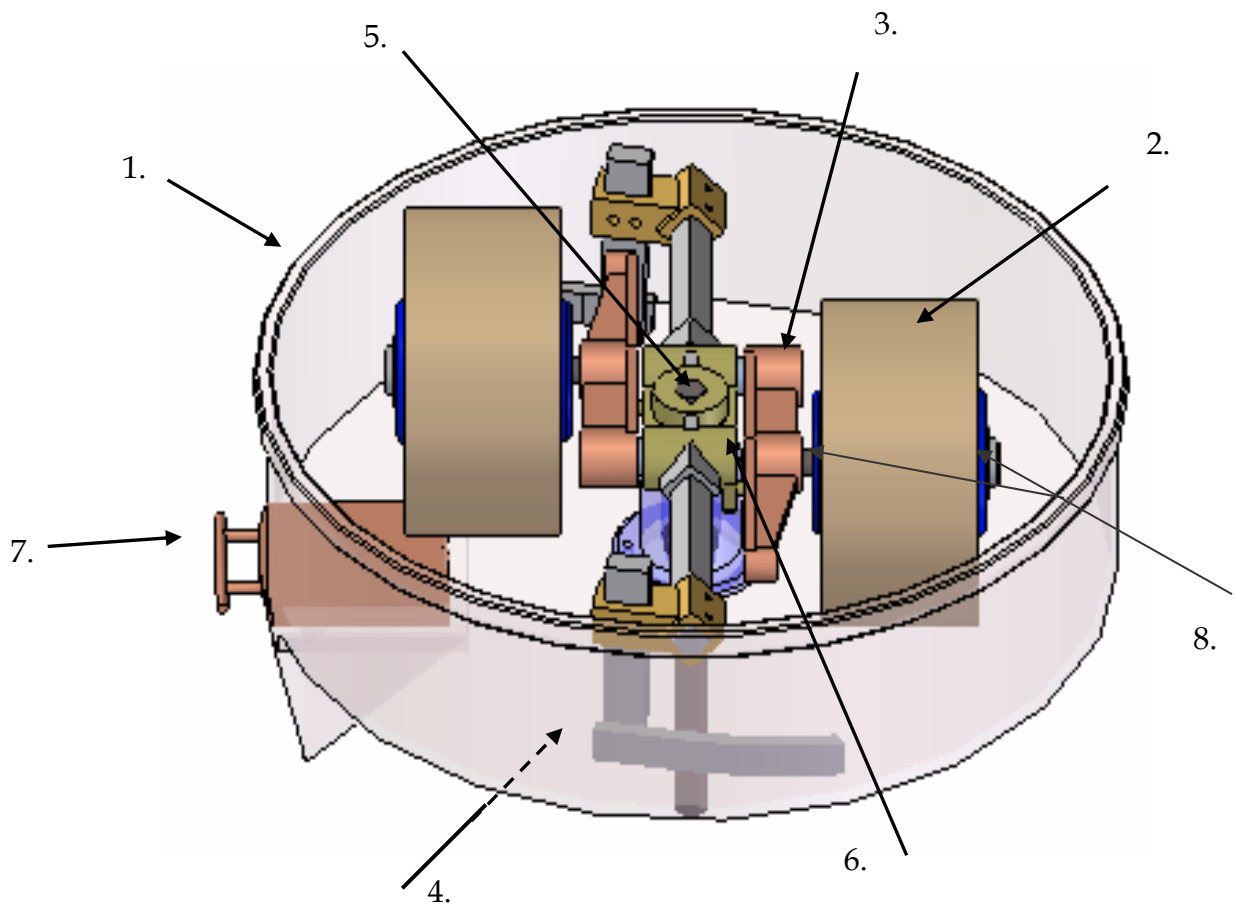
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El molino mezclador diseñado consiste en un recipiente fijo o cuba con dos rodillos lisos que ruedan alrededor del eje vertical y simultáneamente giran sobre sus ejes horizontales debido al roce con la arena que se suministra en la cuba. Se garantiza, gracias a las cuchillas deflectoras, que el material proporcionado al molino se encuentre constantemente debajo de los rodillos consiguiendo de esta forma una mezcla adecuada para la fundición.

La mezcla preparada se expulsa del molino a través de una escotilla dispuesta diametralmente en el fondo de la cuba con ayuda de las cuchillas deflectoras. Esta escotilla se cierra y se abre manualmente retirando la bandeja de descarga.

Asimismo, el molino cuenta con un sistema motor-reductor para transmitir el movimiento a los rodillos y la potencia necesaria para su funcionamiento. Además posee una estructura de soporte que consiste en cuatro columnas fijadas al piso.

Figura 5. Molino Mezclador.



1. Recipiente o cuba

2. Rodillo

3. Brazo del rodillo

4. Cuchillas Deflectoras

5. Eje principal

6. Centro de apoyo

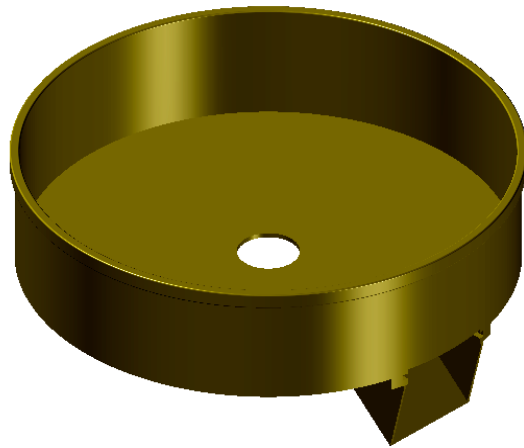
7. Escotilla

8. Tapas

2.1.1. Componentes principales del molino mezclador.

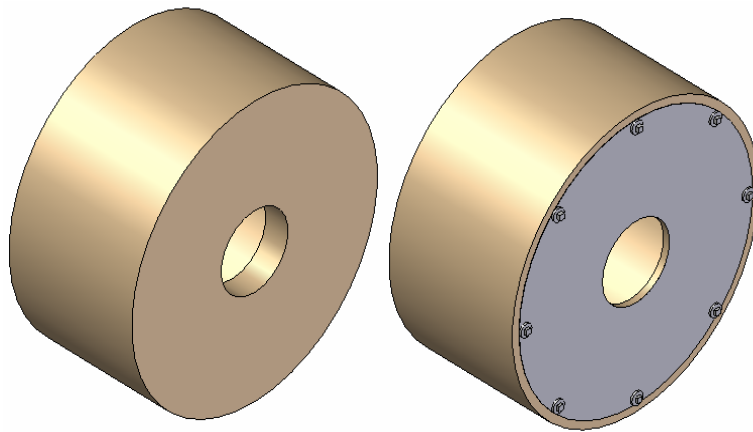
❖ **Cuba o recipiente.** Es el elemento que contiene los rodillos y donde se prepara la mezcla de arena. Esta fabricada con lámina de acero cold rolled; constituida por una base circular y una lámina doblada cilíndricamente.

Figura 6. Cuba.



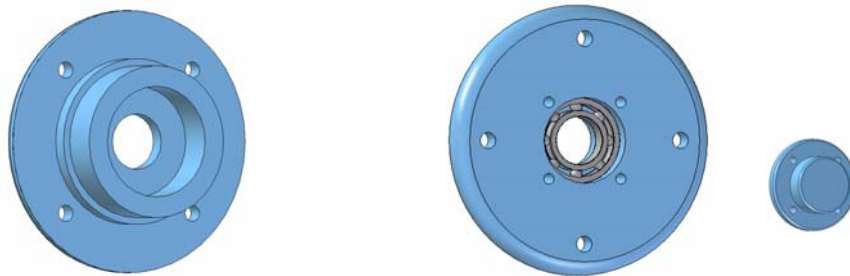
- ❖ **Rodillo.** El molino mezclador está compuesto por dos rodillos dispuestos paralelamente uno del otro. Son de gran diámetro con el fin de conseguir el mayor contacto posible con la arena por cada vuelta de giro. Mantienen una distancia mínima con la base para evitar triturar o pulverizar el grano de arena. Estos elementos cuentan con un movimiento rotacional y traslacional para garantizar una mayor cohesión de la mezcla.

Figura 7. Rodillos.



❖ **Tapas de los rodillos.** Cada rodillo cuenta con dos tapas diseñadas de tal forma que permitan el alojamiento de los rodamientos, y eviten la entrada de partículas extrañas a estos. Van unidas a los rodillos mediante tornillos.

Figura 8. a) Tapa interna del rodillo, b) Tapas externas del rodillo.



a) Tapa interna

b) Tapas externas

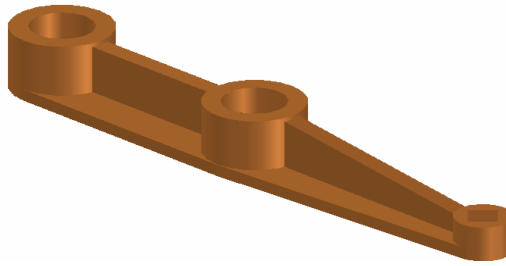
❖ **Eje de los rodillos.** Es el eje que soporta los rodillos, y donde van montados los rodamientos de bolas que transmiten las cargas al eje.

Figura 9. Eje de los rodillos.



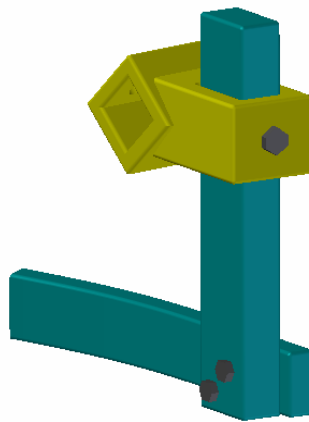
❖ **Brazo del rodillo.** Es el elemento que permite a los rodillos un movimiento basculante, va unido a ellos por medio de un eje horizontal y al centro de apoyo a través de un eje con buje para permitir su rotación.

Figura 10. Brazo del rodillo.



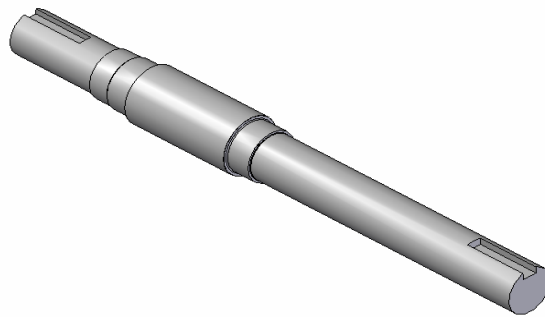
- ❖ **Cuchilla deflectora.** El sistema consta de tres cuchillas; dos en su parte externa para direccionar la arena que está alrededor de las paredes y dirigirla debajo de los rodillos; y otra ubicada en la parte central con el fin de correr la arena que se acumula en el centro. Además ayudan a la descarga de la mezcla en el momento final.

Figura 11. Cuchilla deflectora.



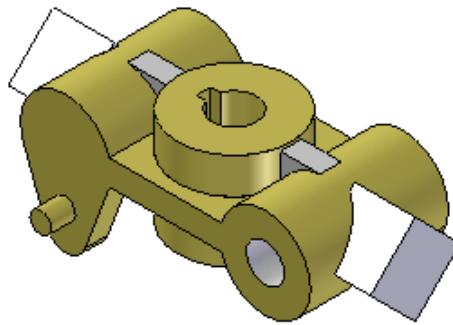
- ❖ **Eje Principal.** Por medio de éste se transmite la velocidad y la potencia de salida del reductor al sistema central generándose así la rotación de todo el mecanismo. Sobre este eje encontramos en la parte superior un rodamiento de bolas, para absorber la carga radial y en la parte inferior un rodamiento cónico para absorber la carga axial.

Figura 12. Eje principal.



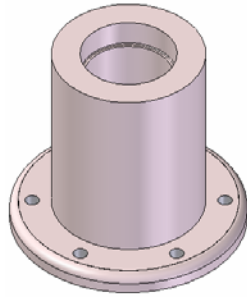
- ❖ **Soporte central.** Esta pieza transmite el movimiento del eje a los brazos del rodillo, además soporta y da movimiento a las vigas de las cuchillas. También transfiere la carga axial del peso de los rodillos al eje central por medio de los topes que se encuentran en las caras laterales.

Figura 13. Soporte central.



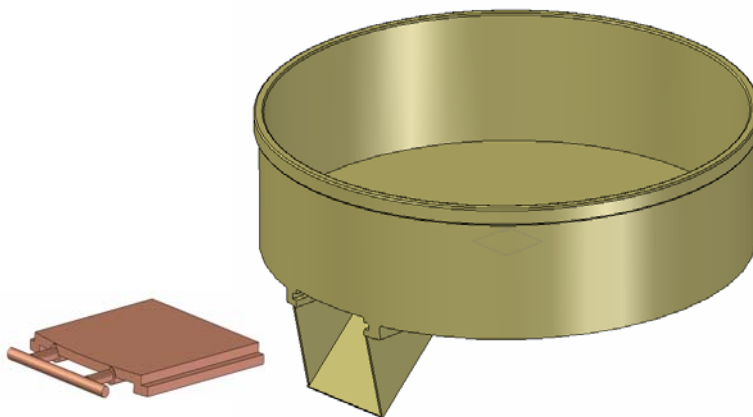
- ❖ **Soporte Base.** Su función es unir la cuba con el resto del sistema, por medio de dos rodamientos uno cónico y uno axial que absorben las cargas del eje principal. Y en la parte externa se une a la cuba mediante pernos, permitiendo sacarlo fácilmente cuando se requiera hacer cambio de dichos rodamientos.

Figura 14. Soporte base.



- ❖ **Escotilla.** A través de este elemento se consigue la descarga de la mezcla obtenida. Su accionamiento es de forma manual, mediante el retiro de la tapa.

Figura 15. Escotilla.



- ❖ **Rodamientos.** Cada rodillo cuenta con dos rodamientos rígidos de bolas para permitir la rotación sobre el eje horizontal. Así mismo, soportan la carga radial de éstos. Además, el molino requiere de dos rodamientos en su eje vertical con el fin de soportar la carga radial y axial.
- ❖ **Sellos.** Para garantizar la vida útil de los rodamientos se emplean sellos en los rodillos y en la pieza central; con el propósito de evitar la

entrada de arena y partículas extrañas a estos, además, asegurar el buen funcionamiento de la máquina.

❖ **Motor.** La potencia del molino mezclador es suministrada por un motor eléctrico de 4 Hp y 1750 rpm en la salida. Es el encargado de suministrar la energía para realizar la mezcla. Se selecciono de acuerdo a la potencia necesaria para mantener el movimiento.

❖ **Poleas.** Se requiere de un sistema de poleas para realizar una primera reducción de la velocidad del motor al resto del sistema. Además, para transmitir la velocidad y la potencia de salida del motor al reductor.

❖ **Reductor.** Se requiere de un reductor ya que la velocidad de rotación máxima permitida en la máquina es de 35 rpm; porque si sobrepasa, aumentará la temperatura de la arena que se esté preparando, lo que puede destruir algunas de las propiedades logradas por el proceso de mezclado o amasado¹. Utilizaremos un reductor con una relación de 41/2.

❖ **Acople eje reductor eje de entrada.** Es un dispositivo que permite transmitir la potencia y la velocidad a la máquina, ya que permite la unión entre el eje de salida del reductor y el eje principal del molino mezclador. El acople va unido al eje por medio de chavetas.

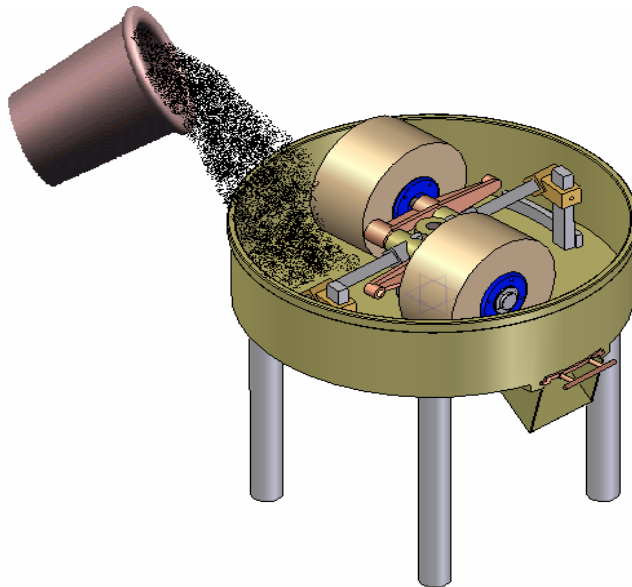
2.1.2. Etapas de operación del molino mezclador.

❖ **Etapas de carga.** Se hará manualmente; inicialmente se deposita la arena silíceas (80% de la mezcla total) en la cuba, después de 1 minuto de

¹ AFS. American Foundry Society. Citado por LITTLE, Richard. La Tecnología en el Trabajo de los Metales. p.194.

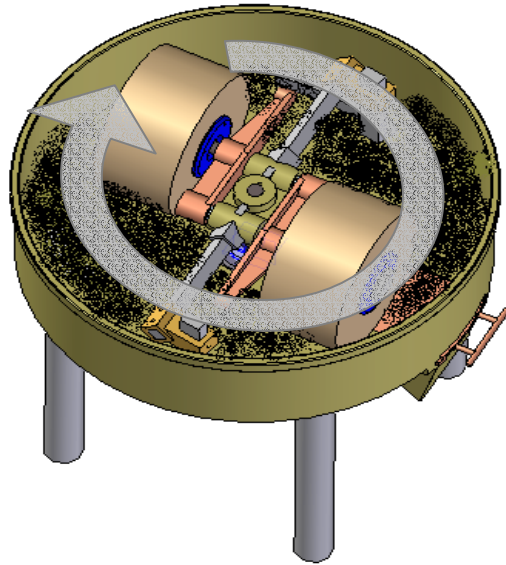
mezclado se adiciona la bentonita (10%), el carbón pulverizado (3%), la destrina (1%) y por último se agrega el agua (6%).

Figura 16. Etapa de carga de la máquina.



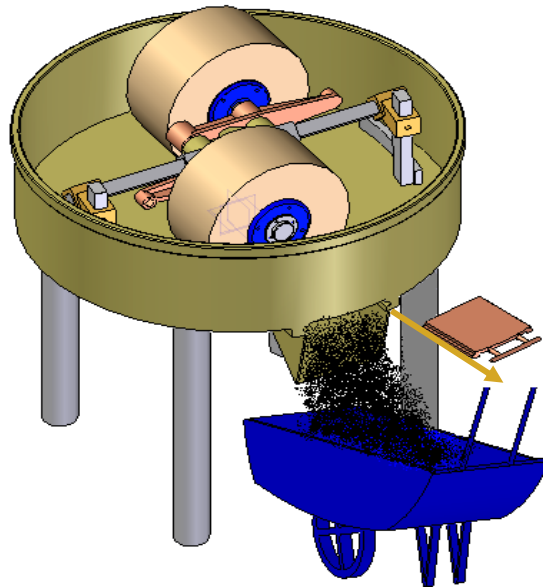
❖ ***Etapa de mezclado y amasado.*** El proceso de amasado y mezclado dura entre 4 y 6 minutos, dependiendo de la cantidad de arena a preparar. La arena se mezcla y amasa entre el fondo de la cuba y la parte inferior de los rodillos, la cuba permanece fija mientras los rodillos describen un movimiento rotacional con respecto a su eje horizontal, y un movimiento traslacional circular con respecto al eje de la máquina. Cada rodillo está sujeto a un brazo para pivotar en un extremo, lo que hace que los rodillos además de rotar mantengan un movimiento basculante vertical apisonando levemente la arena contra el fondo de la cuba.

Figura 17. Etapa de mezclado y amasado.



- ❖ **Etapa de descarga.** La mezcla preparada es arrastrada hasta la periferia de la cuba por medio de las vertederas directrices y es descargada a través de una escotilla dispuesta diametralmente en el fondo de la cuba. La escotilla de descarga se abre y cierra manualmente jalando la bandeja.

Figura 18. Etapa de descarga.



3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MOLINO MEZCLADOR

3.1. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD

La capacidad se tomo en base a la producción de la fábrica. En Industrial de Accesorios se funde entre 2 y 3 toneladas semanales de hierro. Para esto se necesita un molino capaz de suplir el abastecimiento de la arena en el tiempo necesario.

En este caso se diseñó un molino con una capacidad para preparar 150 Kg. (entre arena y aditivos). Comenzándose el ciclo de mezclado con la carga de la máquina, en el que el operador requerirá de 5 minutos para este paso. Luego el material durara 5 minutos en el proceso de mezclado y amasado, y por ultimo la etapa de descarga, que se realiza automáticamente, y dura 3 minutos. Con estos valores podemos estimar la rata de producción de la máquina,

Cantidad de arena: 150 Kg.

Tiempo por ciclo: 13 min. = 0.22 horas

Rata de producción: $150/0.22= 692$ Kg. /hr.

3.2. VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO

Para determinar la velocidad de la máquina se tomaron recomendaciones de varios fabricantes. En molinos con igual capacidad se encontró una velocidad máxima recomendada de 40 rpm, por encima de la cual la mezcla

comienza a calentarse y afecta negativamente las propiedades de la arena; y velocidades de 30 rpm en los molinos observados en el medio.

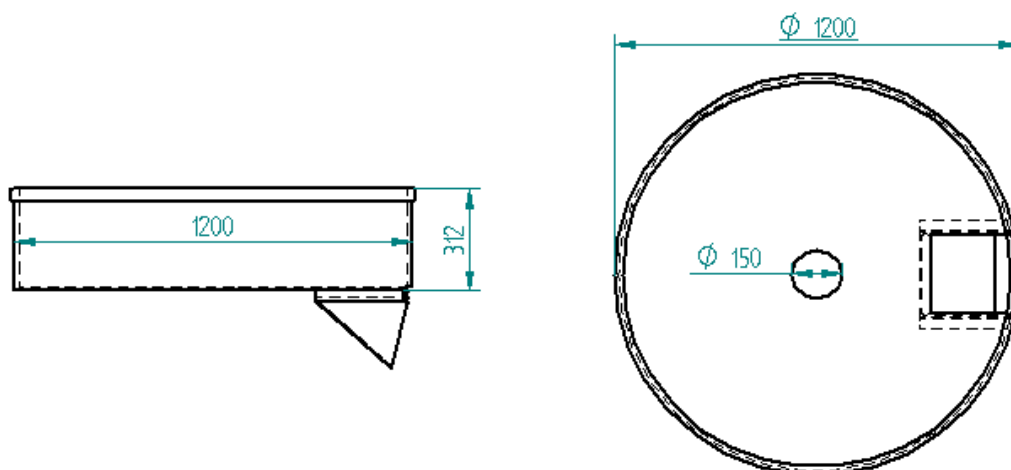
Finalmente se diseño para un velocidad de 35 rpm, para acelerar un poco el proceso de preparación, pero brindando control en el tiempo para evitar efectos negativos en las propiedades por recalentamientos.

3.3. DISEÑO DE LA CUBA

La cuba es el elemento que mantendrá confinada la arena y albergara el mecanismo central (rodillos, brazos y cuchillas). Se construye en lámina de acero CR. La base de la cuba será hecha en lámina de espesor de $\frac{1}{2}$ " y el anillo lateral en lámina de espesor de $\frac{1}{4}$ ".

3.3.1. Dimensionamiento de la cuba. Teniendo en cuenta la cantidad de arena, la base de la cuba es un círculo de 120 cms de diámetro y el anillo lateral (paredes) que bordea la base, es de $(120 \times \pi)$ 378 cms, para el largo, y 30 cms para la altura. Esta altura del anillo es para evitar que la arena se salga de la cuba, ya que en el proceso de mezclado ésta se expande, y además, para proteger al operario.

Figura 20. Dimensiones de la cuba.



3.4. DISEÑO DE LOS RODILLOS

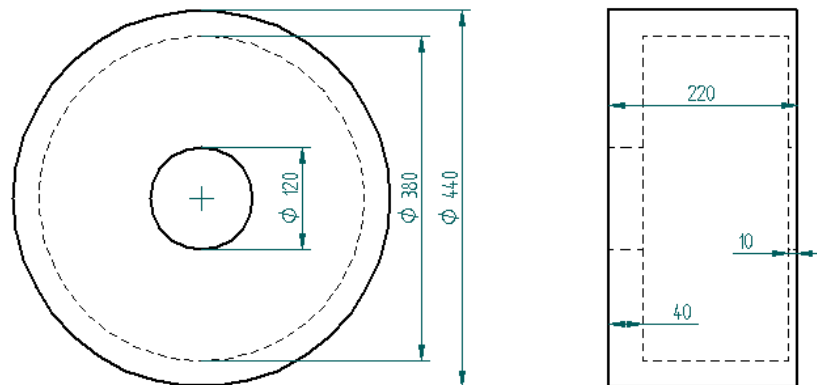
Para el diseño de los rodillos se tomaron las siguientes consideraciones:

- ❖ El diámetro debe ser tal que asegure al menos dos pasadas por revolución o vuelta.
- ❖ El ancho debe ser adecuado para poder apisonar la mayor cantidad de arena en cada vuelta.
- ❖ El peso debe ser suficiente para presionar la arena y mantener el flujo de arena desde la parte inferior de ellos hasta la periferia. También es importante no exceder en el para evitar altos consumos de potencia y bajas eficiencias.

3.4.1. Dimensionamiento de los rodillos. Cada rodillo debe tener una cavidad que permita el encaje de las tapas, para el alojamiento de los rodamientos. La tolerancia de este mecanizado es la adecuada para permitir un ajuste deslizante entre la tapa y el orificio del rodillo, facilitando así su montaje.

Los rodillos son en fundición gris para garantizar dureza y resistencia a la abrasión. A continuación se dan las dimensiones de los rodillos.

Figura 21. Dimensiones de los rodillos.



Densidad de la fundición gris: 7300 Kg. /m³

Volumen: 0.0147 m³

Masa: 107 Kg.

3.5. DETERMINACIÓN DEL TORQUE REQUERIDO

La potencia consumida por el molino se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = T * \omega \quad (1)$$

El torque consumido por el molino es la suma del torque de carga y el torque necesario para romper la inercia.

$$T_{\text{total}} = T_{\text{inercial}} + T_{\text{carga}} \quad (2)$$

3.5.1. Torque de Inercia. El torque inercial es el producto del momento de inercia y la aceleración angular (α).

$$T_{\text{inercial}} = I * \alpha \quad (3)$$

El momento de inercia total se obtiene de la suma de los momentos de inercia centroidales de los rodillos y de las varillas que soportan las cuchillas trasladados al centro del mecanismo.

I_1 : momento centroidal de la masa = 2.2 kg*m²

I_{11} : momento de inercia con respecto al centro

$$I_{11} = 2.2 + 107\text{kg} (0.26)^2 = 9.43 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \quad (4)$$

I_2 : momento de inercia de las varillas = 0.35 kg*m²

I_{22} : momento de inercia con respecto al centro

$$I_{22} = 0.35 + 3.7\text{kg} (0.28)^2 = 0.64 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \quad (5)$$

$$I_{\text{TOTAL}} = 2*(I_{11} + I_{22}) = 20.1 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \quad (6)$$

Para determinar la aceleración angular debemos suponer que el motor alcanza la velocidad de operación, 35 rpm (3.66 rad/seg), en 0.6 seg.

Luego si, $\omega_f = 3.66 \text{ rad/s}$ y $t = 0.6 \text{ seg}$,

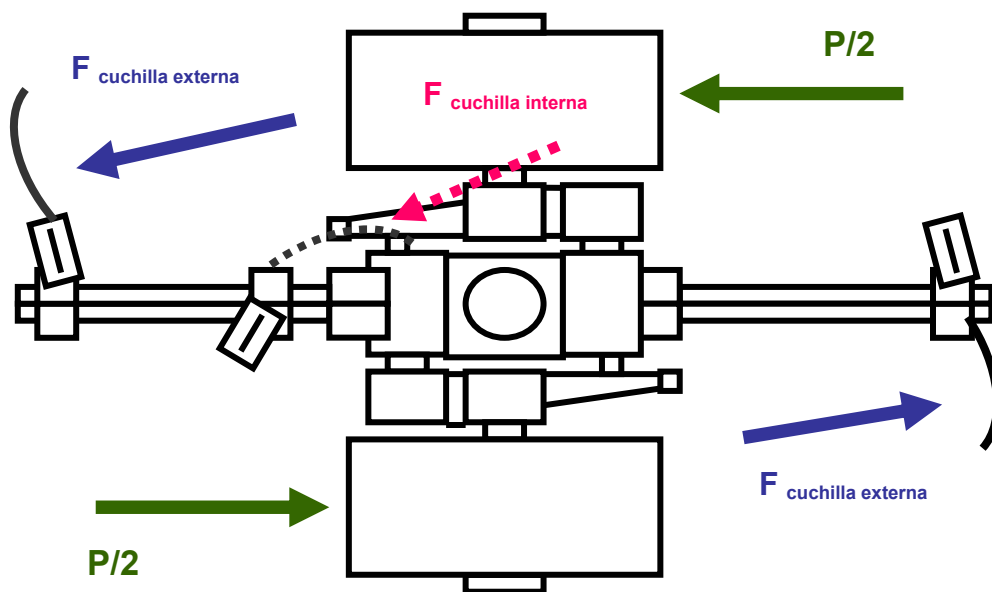
$$\alpha = \frac{3.66 \text{ rad / seg}}{0.6 \text{ seg}} = 6.1 \text{ rad/seg}^2 \quad (7)$$

Finalmente por la fórmula (3),

$$T_{\text{inercial}} = 6.1 \times 20.1 = 122.6 \text{ N*m.}$$

3.5.2. Torque de Carga. El torque de carga se obtiene haciendo sumatoria de momentos alrededor del centro del mecanismo. La resistencia que le hace la arena a los rodillos y a las cuchillas deflectoras genera un torque que se opone al movimiento del mecanismo.

Figura 22. Diagrama del mecanismo central.



$$\sum M_o = 0$$

$$T_{\text{orque de carga}} = P \cdot 0.26 + 2F_{\text{cuchillas externas}} \cdot 0.45 + F_{\text{cuchilla central}} \cdot 0.15 \quad (8)$$

❖ **Resistencia a los rodillos.** Primero se debe calcular el volumen y la altura que ocupa la arena dentro de la cuba y el ángulo de contacto de la arena con los rodillos.

$$V_{\text{arena}} = M_{\text{arena}} / \rho_{\text{arena}} \quad (9)$$

$$V_{\text{arena}} = \frac{150 \text{ kg}}{1371 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{\text{arena}} = 0.109 \text{ m}^3$$

Pero la arena tiene ciertos aditivos que le dan carácter higroscópico, lo que permite que la mezcla aumente aprox. 1.5 veces su volumen.

$$V_{\text{Real de arena}} = 1.5 (V_{\text{arena}})$$

$$V_{\text{Real de arena}} = 0.164 \text{ m}^3$$

Si el área de la cuba es,

$$A = 3.14159 (1.2)^2 / 4 = 1.131 \text{ m}^2 \quad (10)$$

La altura, H, es,

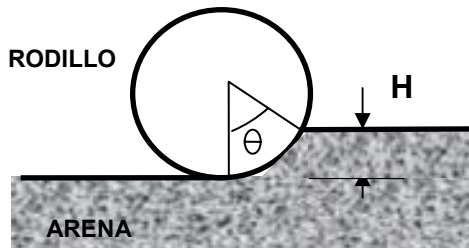
$$H = 0.164 / 1.131 \quad (11)$$

$$H = 0.14 \text{ m} = 14 \text{ cms.}$$

Este valor es la altura máxima alcanzada por la arena.

Para calcular el ángulo total θ , tenemos:

Figura 23. Angulo de contacto de los rodillos con la arena.



$$\cos \theta = \frac{0.22 - 0.14}{0.22}$$

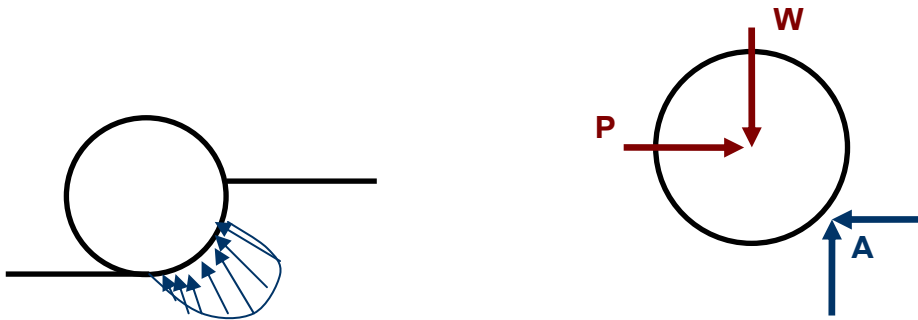
(12)

$$\cos \theta = 0.36$$

$$\theta = 69^\circ$$

Como se observa la arena hace resistencia en cierta área del rodillo. Pero esta fuerza distribuida no es constante. Para calcular el valor de esta fuerza se supone que esta se concentra en la mitad.

Figura 24. Distribución de fuerzas en los rodillos.



$$\theta' = \theta/2$$

$$\theta' = 35^\circ \quad \text{y} \quad h' = 0.04 \text{ m} = 4 \text{ cms}$$

Ahí se concentra la fuerza a una altura de 4 cms del fondo de la cuba. Luego se hace sumatoria de fuerzas en este punto A, donde P es la fuerza

horizontal que tiene que hacer el motor para mover cada rodillo y W es el peso de cada rodillo.

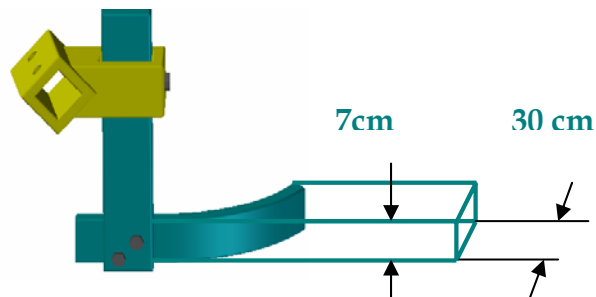
$$\sum M_a = 0 \quad W*(0.22x\text{sen}35) - P*(0.22\text{cos}35) = 0 \quad (13)$$

Si $W = 107 \text{ Kg.} = 1050 \text{ N}$ entonces, $P = 735 \text{ N}$

❖ **Resistencia a las cuchillas.** Esta fuerza se determino de manera experimental. El resultado final muestra, que la arena ejerce en promedio una resistencia de 0.042 N/cm^2 . Teniendo en cuenta que se disponen de 3 cuchillas: 2 en los extremos para dirigir la arena de afuera hacia debajo de las masas, y una tercera desde el centro. Las cuchillas se construyeron de lamina de acero cold rolled y tienen unas dimensiones de $50*7 \text{ cm}$.

Para calcular esta fuerza se utiliza el área proyectada de cada cuchilla pues la fuerza que ejerce la arena no es perpendicular a estas ya que forman un ángulo aproximado de 60° respecto al eje horizontal mostrado en la figura 25.

Figura 25. Proyección área de las cuchillas limpiadoras.



$$\text{Área proyectada} = 7 \times 30 = 210 \text{ cm}^2$$

$$\text{Fuerza en cada cuchilla} = 210 \times 0.042 = 8.82 \text{ Kg.}$$

Reemplazando en (8) y en (2) se obtiene,

$$\text{Torque de carga} = 391 \text{ N*m}$$

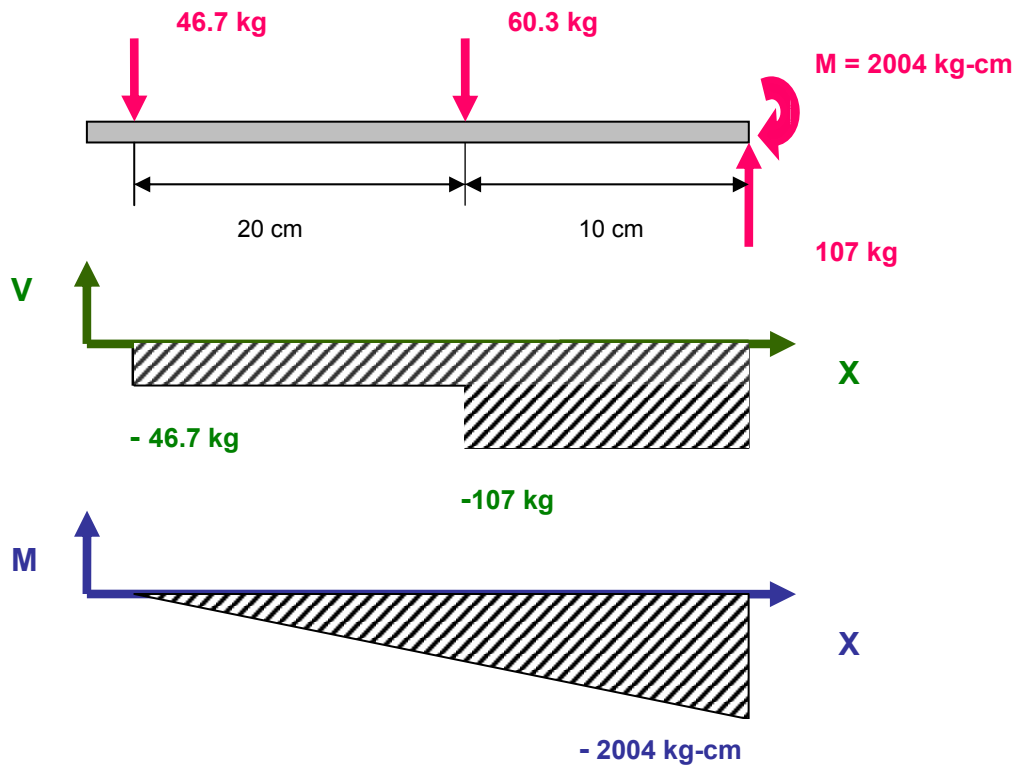
$$\text{Torque Total} = T_{\text{inercial}} + T_{\text{carga}} = 122.6 + 391 = 514 \text{ N*m}$$

3.6. DISEÑO DEL EJE DE LOS RODILLOS

El eje de los rodillos es la barra circular maquinada sobre la cual van montados 2 rodamientos, y sobre estos los rodillos. Este eje soportará básicamente 2 condiciones de carga: en reposo y rotando bajo carga de arena. En ambas situaciones el montaje del eje se hará con un voladizo, pero después de un análisis se considera más crítico cuando está en reposo.

3.6.1. Análisis de Cargas. Cuando la máquina no gira, este eje soportará todo el peso de los rodillos. La carga sobre los rodamientos no es igual, ya que se diseñó el rodillo con el centro de gravedad corrido hacia el eje central. De esta manera, el rodamiento interno (más cercano al eje principal) soporta más carga.

Figura 26. Diagramas de carga, cortante y momento flector.



3.6.2. Análisis de Esfuerzos. Se observa que el área crítica es en el empotramiento.

$$M = 2004 \text{ kg cm} = 196,6 \text{ N.m}$$

$$\text{Se sabe que, } Z_{\text{max}} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2} \quad (14)$$

donde $T = 0$

De acuerdo a recomendaciones se escoge el acero 1045 por su alta resistencia y por su disponibilidad en el mercado, de las tablas del fabricante $\sigma_{\text{elástico}} = 38 \text{ Kg/mm}^2 = 373 \text{ Mpa}$, pero para calcular utilizamos el $\sigma_{\text{elástico}} = 0,5 T = 186 \text{ Mpa}$.

$$\text{Luego, } T_{\text{permisible}} = \sigma_{\text{elástico}}/N, \quad (15)$$

donde N : factor de seguridad = 2

$$T_{\text{permisible}} = 93 \text{ Mpa} = \frac{16 M}{\pi d^3}$$

d : diámetro mínimo del eje, despejando $d = 2,2 \text{ cm}$

3.6.3. Análisis de Deformaciones. Se calcula la deflexión máxima del eje y se escoge un diámetro para minimizarlo. Entonces por superposición,

$$Y_b = Y_1 + Y_2 \quad (16)$$

$$Y_1 = \frac{F_1 a}{3EI} = \frac{458(0,3)}{3EI}, \quad (17)$$

$$Y_2 = \frac{F_2 (a^2) (3(L)-a)}{6EI} \quad (18)$$

$$\text{Reemplazando } Y_2 = \frac{592(0,1) (3(0,3)-0,1)}{6EI}$$

$$Y_b = \frac{45,8}{EI} + \frac{7,89}{EI}, \quad \text{donde } E: \text{Modulo de elasticidad: } 207 \text{ GPa}$$

I : momento de inercia

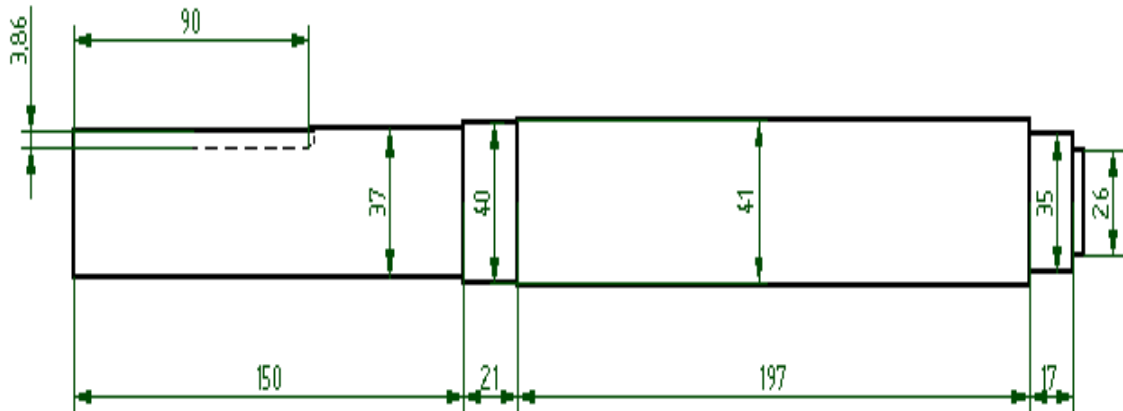
Para un eje circular $I = \frac{\pi d^4}{64}$ (19)

se reemplaza $Y_b = \frac{933}{Ed^4} + \frac{160}{Ed^4}$,

Se iteran diferentes valores de Y_b , y se decide por un diámetro de 3,7cm en la sección crítica. La deflexión máxima es $Y_b = 2,8 \times 10^{-3}$ m.

Con este valor, se dimensiona totalmente el eje.

Figura 27. Dimensiones del eje de las masas.



3.7. SELECCIÓN RODAMIENTOS DE LOS RODILLOS

3.7.1. Selección Rodamiento Interno. El diseño de los rodillos es tal que el rodamiento externo soporta solo carga radial y el interno soporta carga radial y carga axial. La carga axial es debido a la fuerza centrífuga producida por este elemento y esta dada por la siguiente expresión.

$$F_C = m * \omega^2 * r \quad (20)$$

Donde:

F_C = Fuerza centrífuga.

m = masa del Rodillo.

w = Velocidad de rotación del molino dada en $\frac{rad}{seg}$.

r = Distancia del centro del molino al centroide del rodillo.

Sabiendo la velocidad de rotación del molino la cual es equivalente a la velocidad de salida del reductor (35 rpm), la masa del rodillo (107 kg) y la distancia del centro del molino al centroide del rodillo la cual es de 26 cm, se obtiene la fuerza centrífuga mediante la ecuación (20).

$$F_C = 372 \text{ N.}$$

La fuerza radial es el peso de la masa que recae sobre este punto:

$$F_R = 592 \text{ N}$$

Con el valor del diámetro del eje (40 cm) se busca en el manual del fabricante un rodamiento que soporte ambos tipo de carga.

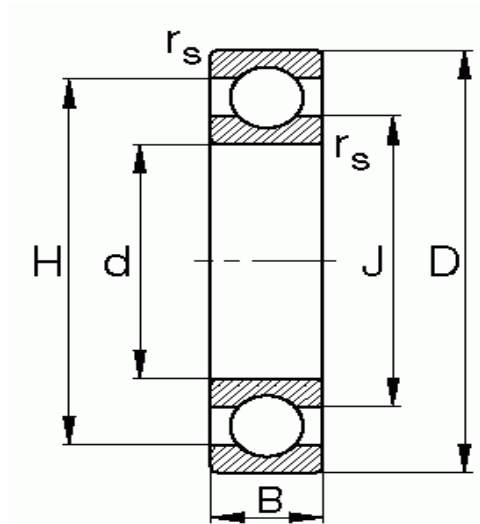
Se selecciona el rodamiento rígido de bolas 6208 mostrado en la **Figura 18** el cual presenta las siguientes características.

Tabla 1. Características del rodamiento 6208.

Código	Serie	Eje	Dimensión			Capacidad carga		Velocidad límite
						dyn. C	stat. C ₀	
potencia								
FAG	FAG	mm	d	D	B	kN		min ⁻¹
6208	62	40	40	80	18	29	18	20000

Fuente: Catálogo FAG

Figura 28. Dimensiones del rodamiento 6208.



Para comprobar la influencia de la carga axial se realiza el siguiente procedimiento de cálculo propuesto por el fabricante FAG,

$$\frac{f_0 \times F_a}{C_0} = \frac{12.4 \times 0.372}{18} = 0.256$$

Tabla 2. Características del rodamiento 6208.

$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0,3	0,22	1	0	0,56	2
0,5	0,24	1	0	0,56	1,8
0,9	0,28	1	0	0,56	1,58
1,6	0,32	1	0	0,56	1,4
3	0,36	1	0	0,56	1,2
6	0,43	1	0	0,56	1

Fuente: Catálogo FAG

De acuerdo con la tabla del fabricante el factor “e” para el valor de este cociente es 0.19

luego se hace la siguiente comparación,

si $F_C / F_R > e$ entonces $X=1$ y $Y=0$

si $F_C / F_R < e$ entonces $X=0.56$ y $Y=2.02$

como $F_C / F_R = 0.628$, se cumple la segunda condición

C_o = Capacidad de carga estática = Kg.

C = Capacidad de carga dinámica = Kg.

Ahora se procede a calcular la carga equivalente mediante la siguiente expresión:

$$P = X * F_R + Y * F_a \quad (21)$$

Donde:

P = Es la carga equivalente.

X = Es el coeficiente axial del rodamiento obtenido

F_R = Es la carga radial constante real.

Y = Es el coeficiente axial del rodamiento obtenido

F_a = Es la carga axial

Ahora se reemplaza los valores de X , Y y las cargas, y se calcula P por medio de la ecuación (21).

$$P = 1083 \text{ N}$$

Se encuentra la vida neta del rodamiento mediante la siguiente expresión:

$$Lh = \frac{1.000.000}{60 * N_1} \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (22)$$

Donde:

Lh = Duración nominal en horas de servicio.

C = Capacidad de carga dinámica.

P = Carga equivalente.

p = Exponente de la formula de duración (3 para rodamientos de bolas).

La velocidad de rotación N_1 se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$N_1 = \frac{N * r}{R} \quad (23)$$

Siendo:

N = Velocidad de rotación del molino

r = Distancia del centro del molino al centroide del rodillo.

R = Radio del rodillo.

$$N_1 = \frac{35 * 26}{22} = 41.36 \text{ RPM.}$$

$$Lh = 773.000 \text{ horas de servicio.}$$

Lo cual equivale a una vida infinita útil básica aproximadamente trabajando las 24 horas del día.

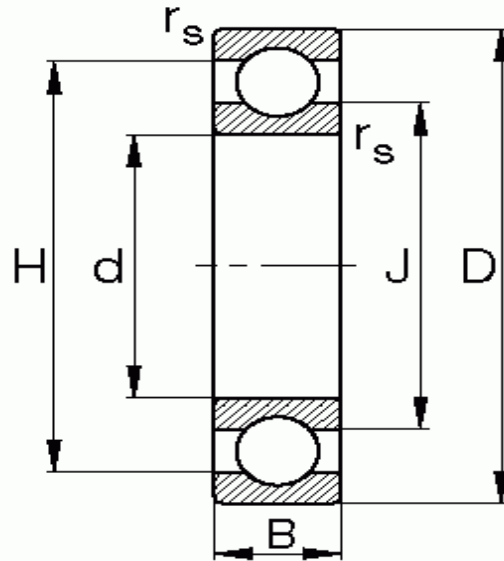
3.7.2. Selección Rodamiento Externo. El procedimiento se repite pero con la consideración que solo soporta carga radial igual a 460 N. el rodamiento seleccionado es el 6007 que muestra las siguientes características,

Tabla 3. Características del rodamiento 6007.

Código	Serie	Eje	Dimensión			Capacidad carga		Velocidad límite
						dyn. C	stat. C ₀	
potencia								
FAG	FAG	mm	d	D	B	kN		min ⁻¹
6007	60	35	35	62	14	16	10.2	26000

Fuente: Catálogo FAG

Figura 29. Dimensiones del rodamiento 6007.



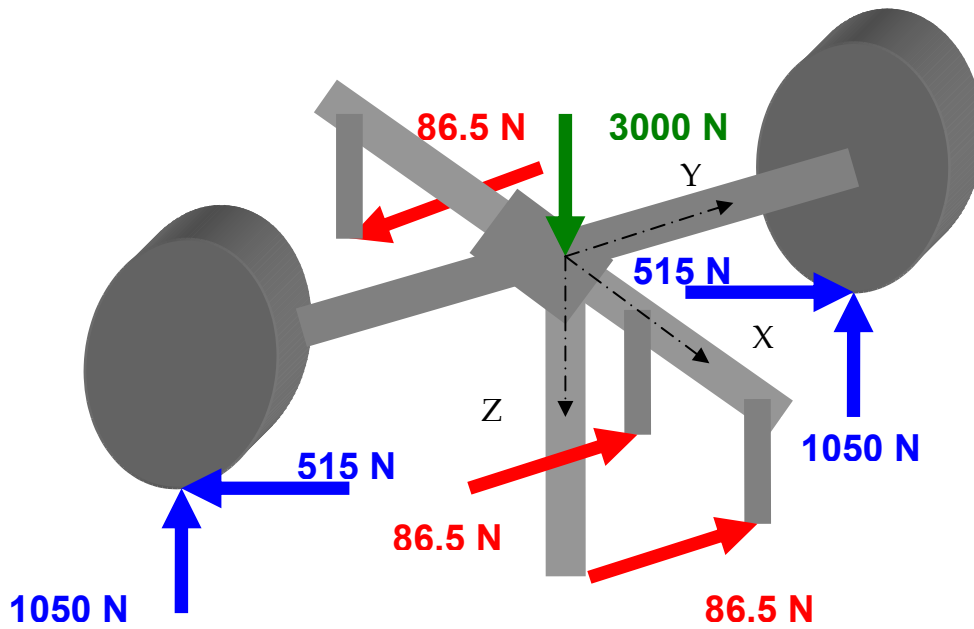
3.8. DISEÑO DEL EJE PRINCIPAL

Para el diseño del eje se analizaron las posibles situaciones a las que va a estar sometido, ya que la máquina no presenta continuidad en su operación, porque se está prendiendo y apagando en un intervalo de 10 minutos aproximadamente. Por esto el diseño se hizo por fatiga.

Primero se muestra un diagrama de cuerpo libre del mecanismo central. Y luego se establecen las cargas máximas y mínimas de acuerdo a las situaciones.

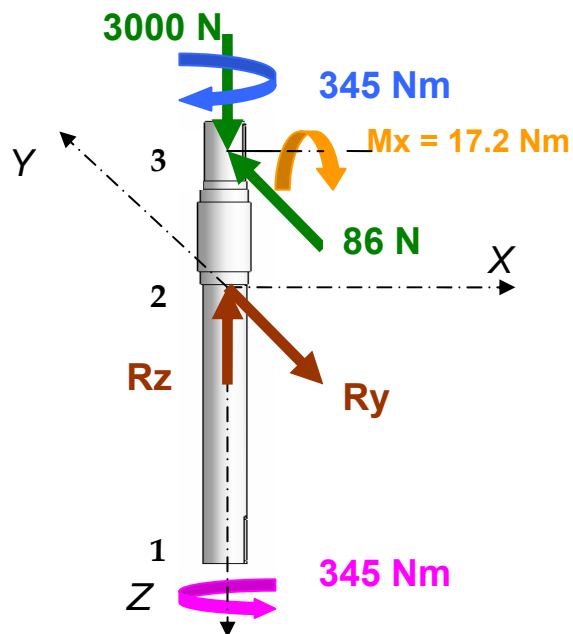
Para los cálculos suponemos un diámetro de 4.2 cm y tomamos un acero 4340 calibrado con $S_{ut} = 122 \text{ Ksi} = 841160 \text{ KPa}$.

Figura 30. DCL del mecanismo central.



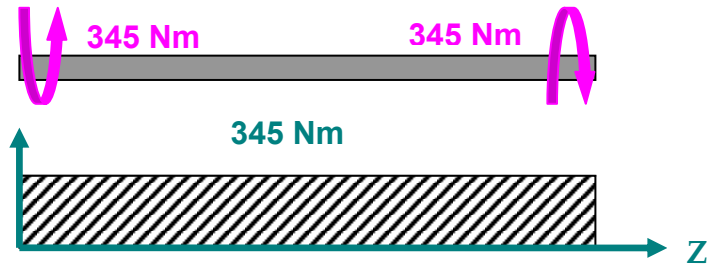
3.8.1. **Situación 1.** Considerando esta situación cuando la maquina esta trabajando. En este estado, la inercia se ha vencido y hay simetría de carga en los rodillos y en las cuchillas externas.

Figura 31. DCL del eje principal en el estado 1.



❖ **CONDICION MINIMA**

Figura 32. Diagrama de Torsión.



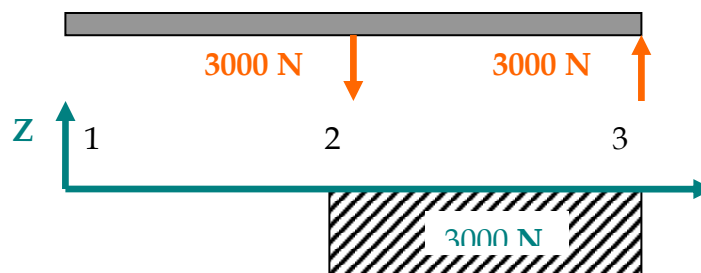
$$\tau_{\text{torsion}} = \frac{T \cdot r}{J} \quad (24)$$

Donde $J = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$ (25)

$$J = \frac{\pi \cdot 0.042^4}{32} = 3.055 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

reemplazando en (24) $\tau_{\text{torsion}} = \frac{345 \cdot 0.021}{3.055 \cdot 10^{-7}} = 23715 \text{ KPa.}$

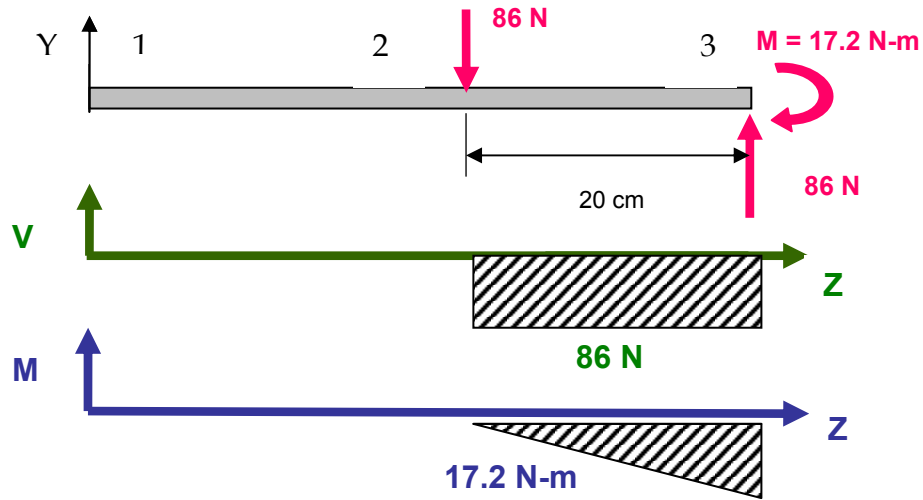
Figura 33. Diagrama de Fuerzas Axiales.



$$\sigma_{\text{axial}} = \frac{F_{\text{axial}}}{\text{Area}} \quad (26)$$

$$\sigma_{\text{axial}} = \frac{3000}{\frac{\pi (0.042)^2}{4}} = 2164 \text{ KPa}$$

Figura 34. Diagramas de Fuerzas y Momentos.



$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{MC}{I} \quad (27)$$

Donned $I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ (28)

$$I = \frac{\pi \cdot 0.042^4}{64} = 1.52 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

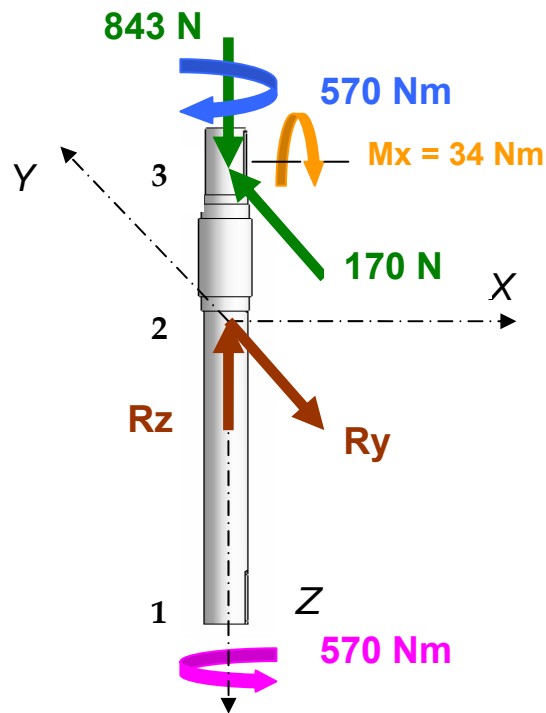
reemplazando en (27) $\sigma_{\text{flexion}} = \frac{17.2 \cdot 0.021}{1.52 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4} = 2376 \text{ KPa}$

3.8.2. Situación 2. Como se observa en el DCL, las cargas externas que actúan son la resistencia de la arena en los rodillos y en las cuchillas deflectoras y el peso total del mecanismo.

En esta situación se contempla un estado de carga donde actúa el torque máximo, $T_{\text{total}} = 570 \text{ N.m}$, y además no se considera simetría en las cuchillas. Esta situación podría presentarse físicamente, en el arranque y con la arena solo del lado de 2 cuchillas.

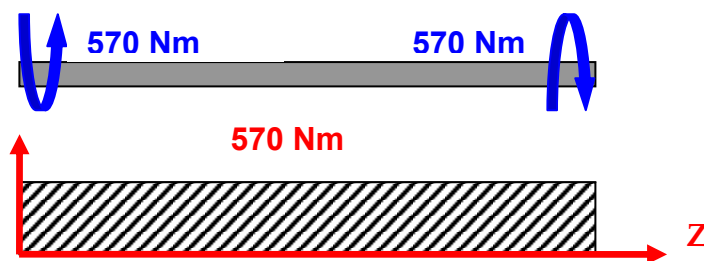
En este estado de carga, la inercia se ha vencido y hay simetría de carga en los rodillos y en las cuchillas externas.

Figura 35. DCL del eje principal en el estado 2.



❖ **CONDICION MAXIMA**

Figura 36. Diagrama de Torsión.

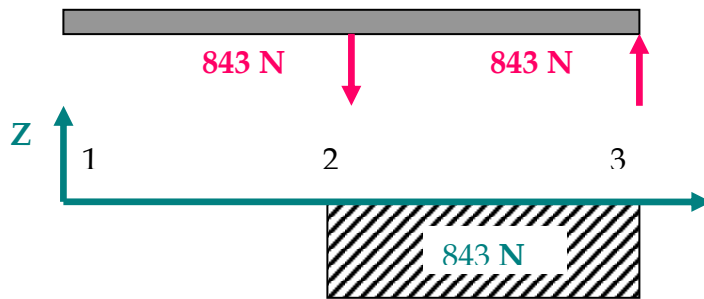


reemplazando en (24)

$$\tau_{\text{torsion}} = \frac{570 * 0.021}{3.055 * 10^{-7}}$$

$$\tau_{\text{torsion}} = 391.82 \text{ KPa}$$

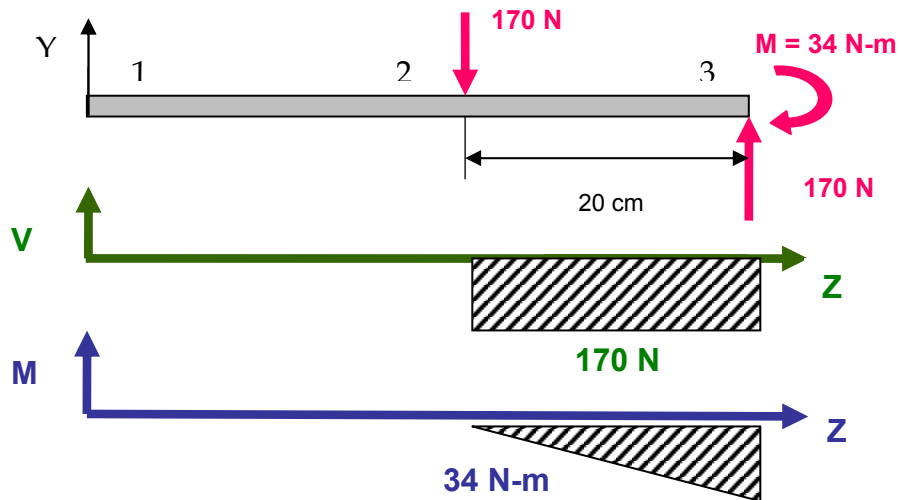
Figura 37. Diagrama de Fuerzas Axiales.



Reemplazando en (26) $\sigma_{axial} = \frac{843}{\frac{\pi (0.042)^2}{4}} = 611 \text{ KPa}$

$\sigma_{axial} = 611 \text{ KPa}$

Figura 38. Diagramas de Fuerzas y Momentos.



Reemplazando en (27) $\sigma_{flexion} = \frac{34 * 0.021}{1.52 * 10^{-7} \text{ m}^4} = 4697 \text{ KPa}$

$\sigma_{flexión} = 4697 \text{ KPa}$

3.8.3. Esfuerzos Máximos y Mínimos.

$$\tau_{\text{máximo}} = 39182 \text{ KPa.}$$

$$\sigma_{\text{máximo}} = \sigma_{\text{axial}} + \sigma_{\text{flexion}} \quad (29)$$

$$\sigma_{\text{máximo}} = 611 + 4697 = 5308 \text{ KPa.}$$

$$\tau_{\text{mínimo}} = 23715 \text{ KPa.}$$

$$\sigma_{\text{mínimo}} = \sigma_{\text{axial}} + \sigma_{\text{flexion}} \quad (30)$$

$$\sigma_{\text{mínimo}} = 2164 + 2376 = 4540 \text{ KPa.}$$

2.8.4 Esfuerzos Medio y Alternativo

$$\sigma_{\text{medio}} = \frac{\sigma_{\text{máximo}} + \sigma_{\text{mínimo}}}{2} \quad (31)$$

$$\sigma_{\text{medio}} = \frac{5308 + 4540}{2} = 4924 \text{ KPa}$$

$$\sigma_{\text{alternativo}} = \frac{\sigma_{\text{máximo}} - \sigma_{\text{mínimo}}}{2} \quad (32)$$

$$\sigma_{\text{alternativo}} = \frac{5308 - 4540}{2} = 384 \text{ KPa}$$

$$\tau_{\text{medio}} = \frac{\tau_{\text{máximo}} + \tau_{\text{mínimo}}}{2} \quad (33)$$

$$\tau_{\text{medio}} = \frac{39182 + 23715}{2} = 31448.5 \text{ KPa.}$$

$$\tau_{\text{alternativo}} = \frac{\tau_{\text{máximo}} - \tau_{\text{mínimo}}}{2} \quad (34)$$

$$\tau_{\text{alternativo}} = \frac{39182 - 23715}{2} = 7733.5 \text{ KPa.}$$

3.8.4 Cálculo de Se y Se'

$$Se = 0.5 Sut \quad (35)$$

$$Se = 0.5 * 122 = 61$$

$$Se' = Se * K_L * K_s * K_d * K_c * K_T * K_M \quad (36)$$

$K_L = 0.78$ Factor de carga, axial – torsional.

$K_s = 0.82$ Factor de acabado superficial.

$K_d = 0.9$; $0.4'' < d < 2.0''$ Factor de tamaño.

$K_c = 0.897$ 90%, Factor de confiabilidad.

$K_T = 1$, $T < 50^\circ \text{F} \approx 61^\circ \text{C}$ Factor de temperatura.

$K_M = 1$

$$K_f = 1 + g (K_t - 1) K_s \quad (37)$$

$$g = 0.8$$

$$K_s = 0.82$$

$$K_t = 2.2$$

Reemplazando en (37) $K_f = 1.78$

$$K_{fs} = 1 + g_s (K_{ts} - 1) K_s \quad (38)$$

$$g_s = 0.9$$

$$K_s = 0.82$$

$$K_{ts} = 3.3$$

Reemplazando en (38) $K_{fs} = 2.7$

Reemplazando en (36) **Se' = 31.5 Ksi**

$$\mathbf{Se'' = Se' * K_{f \text{ máximo}}} \quad (39)$$

$$\mathbf{Se'' = 586170 \text{ KPa}}$$

3.8.5 Verificación del diámetro por Moisés – Goodman

$$\frac{1}{N} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\text{medio}}}{S_{ut}} + K_f \frac{\sigma_{\text{alternativo}}}{S_e''}\right)^2} + 3 \left(\frac{\tau_{\text{medio}}}{S_{ut}} + \frac{K_{fs} * \tau_{\text{alternativo}}}{S_e''}\right)^2 \quad (40)$$

Reemplazando en (40) tenemos:

$$\frac{1}{N} = \sqrt{\left(\frac{4924.5}{841160} + 1.72 \frac{383.5}{586170}\right)^2} + 3 \left(\frac{31448.5}{841160} + \frac{2.7 * 7733.5}{586170}\right)^2$$

$$\frac{1}{N} = \mathbf{0.1266} \quad \mathbf{N = 7.89}$$

Como N es mayor de 3 entonces el diámetro y el material escogido cumplen con las condiciones garantizándonos que no va a fallar.

3.9. DISEÑO DE LAS COLUMNAS

Para soportar el peso de la cuba, mecanismo y arena, se decidió diseñar 4 columnas de tubos de acero. Esta estructura ofrece facilidad de montaje, economía y fácil acceso al motor para su mantenimiento.

3.9.1. CALCULO DE LAS COLUMNAS

P: Carga que soporta cada columna

ω : Peso total

$$P = \frac{\omega}{4}$$

$$\omega = \omega_{\text{cuba}} + \omega_{\text{arena}} + \omega_{\text{mecanismo}} \quad (41)$$

$$\omega = 160 \text{ Kg} + 150 + 300\text{Kg} = 611\text{Kg} = 6000\text{N}$$

$$P = 1500\text{N}$$

Se escogió un tubo de acero 1020 ($S_y = 50\text{Kg}$) de dirección,

diámetro interno = 2" $E = 30 \times 10^6 \text{ psi}$

diámetro externo = 2,5

$$\text{Área} = 1,76 \text{ in}^2$$

$$I = \frac{\pi}{64} (d_e^2 - d_i^2) = 1,13 \text{ in}^4 \quad (42)$$

se calcula el radio de giro, K, y la razón de esbeltez, S,

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1,13}{1,76}} = 0,8 \quad (43)$$

$$S = \frac{L}{K} \quad \text{donde } L = L_{\text{efectiva}} = 85\text{cm} = 33,46 \text{ in}$$

$$S = \frac{33,46}{0,8} = 41,83$$

$$S \leq (S_r)_D$$

$$(S_r)_D = \pi \sqrt{\frac{2E}{s_i}} = \pi \sqrt{\frac{2(30 \times 10^6)}{50000}} = 109 \quad (44)$$

Entonces se calcula la columna con la siguiente ecuación.

$$\frac{Per}{A} = Sy - \frac{1}{E} \left(\frac{sy Sr}{2 \pi} \right)^2 \quad (45)$$

Donde: Per: Carga crítica
 Sy :Limite de fluencia

Reemplazando en (45):

$$\frac{Per}{1,76} = 50 \times 10^3 - \frac{1}{30 \times 10^6} \frac{(50 \times 10^3 (41,8))^2}{2 \pi}$$

$$Per = 81500 \text{ lb}$$

Si se utiliza un factor de seguridad igual a 4.

$$P_{\text{permisible}} = \frac{81500}{4} = 20375 \text{ lb.} = 90631 \text{ N}$$

Finalmente, $P \ll P_{\text{permisible}}$

3.10. SELECCIÓN DEL RODAMIENTO DE LA BASE

Para soportar la carga axial compresiva que ejerce el peso del mecanismo (aprox. 300 Kg.) se utiliza un rodamiento que va colocado en la base del molino.

Como teóricamente no existen cargas radiales que actúen sobre el rodamiento se utiliza un rodamiento de rodillos cónicos. La carga axial que actúa en el rodamiento se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$F_a = Wm + Wc + Wb + Wv \quad (46)$$

Donde:

W_m : peso de las masas = $2 \times 107 \text{ kg} = 214 \text{ Kg}$.

W_c : peso de la pieza central o soporte central = 8 Kg .

W_b : peso de los brazos que soportan las masas = $2 \times 5 \text{ kg} = 10 \text{ Kg}$.

W_v : peso de las varillas cuadradas que soportan las cuchillas = $2 \times (8 \text{ Kg.})$

W_v : = 16 Kg .

$$F_a = 248 \text{ Kg.} = 2432 \text{ N.}$$

Con el valor de la carga axial se busca en el catalogo FAG un rodamiento que tenga la suficiente capacidad de carga estática y dinámica. Se selecciona el rodamiento de rodillos cónicos 32010 la cual presenta las siguientes características.

Figura 39. Dimensiones del rodamiento 32010.

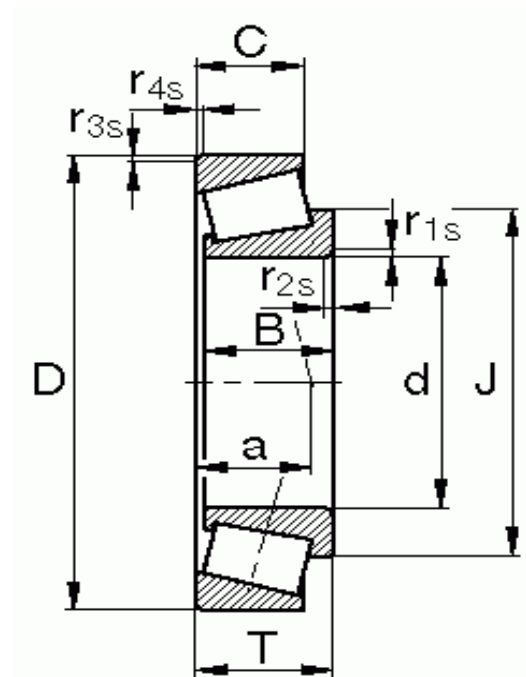


Tabla 3. Características del rodamiento 32010.

Código	Eje	Dimensión			Capacidad carga		Velocidad límite
					dyn. C	stat. C ₀	
potencia							
FAG	mm	d	D	B	kN		min ⁻¹
32010	50	50	80	20	64	95	8000

Fuente: Catálogo FAG

Ahora se procede a calcular la carga equivalente mediante la siguiente expresión:

$$P = v * X * F + Y * F_a \quad (47)$$

Pero

$F = 0$ (no existe carga radial sobre el rodamiento).

$P = 23900$ N

Se encuentra la vida neta del rodamiento mediante la siguiente expresión:

$$L_h = \frac{1.000.000}{60 * N} \left(\frac{C}{P} \right)^{3.33} \quad (48)$$

$$L_h = 12656 \text{ horas.}$$

Lo cual equivale a una vida útil básica de 52 meses aproximadamente trabajando 8 horas del día.

3.11. Selección del Motor y el Reductor

En el sistema de transmisión de velocidad del molino se va a realizar doble reducción de velocidad y la reducción total de velocidad se expresa de la siguiente forma:

$$m_t = m_1 * m_2 \quad (49)$$

$m_1 = 41:2 = 20.5$. [Reducción de velocidad del reductor (**ver Anexo C**).

$m_2 = 1:2.5 = 2.5$ [Reducción de velocidad por poleas].

$mt = 51.25$

Como se explicó anteriormente la velocidad angular del molino será de 35 rpm. Para facilitar los montajes se hizo la compra de un reductor de sinfín-corona con eje de salida vertical y eje de entrada a 90 grados. La relación de velocidad es de 41:2.

Con estas 2 variables se realiza un proceso iterativo para hallar el diámetro de las poleas y las rpm de entrada.

Del catálogo de selección de motores eléctricos se selecciona un motor de baja velocidad la cual gira a 1750 RPM.

La velocidad de rotación real del molino se expresa de la siguiente forma:

$$N_2 = \frac{N}{mt} \quad (50)$$

Donde:

N = Velocidad de rotación del motor eléctrico

$N_2 = 34.15$ rpm.

La velocidad angular del molino se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$w = N_2 * \frac{\pi}{30} \quad (51)$$

$$w = 3.58 \frac{rad}{seg}$$

De la ecuación (1) se tiene:

$$P = 514 \text{ N}\cdot\text{m} * 3.66 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 4500 \text{ Watts} = 2.5 \text{ HP}$$

3.11.1. Potencia Consumida por la Transmisión. La potencia consumida por la transmisión se obtiene de la siguiente expresión,

$$P_{ent} = \frac{P}{\eta} = \text{HP}. \quad (52)$$

Donde:

P_{ent} = Es la potencia de entrada.

P = Es la potencia neta consumida.

η = Es la eficiencia total de la transmisión.

La eficiencia total se obtiene del producto de la eficiencia del motor, la eficiencia del reductor y de la transmisión por polea. Estos datos son extraídos de datos de fabricantes.

La eficiencia en los motores eléctricos es del 80%, la eficiencia del reductor tornillo sin fin-corona que oscila entre el 85 y el 90% y la eficiencia en la transmisión es del 90 %.

$$\eta = 0.8 \times 0.87 \times 0.9 = 0.63$$

reemplazando en (52) $P_{ent} = \mathbf{3.99 \text{ HP}}$

Se selecciona un motor eléctrico de 4 HP.

El reductor tiene una capacidad de 7 HP

3.12. SELECCIÓN DEL ACOUPLE

El acople será utilizado para la transmisión de la potencia de la salida del eje del reductor al eje principal del molino, y se selecciona por las cartas del fabricante mostradas en el Anexo D. El principal elemento crítico en los acoples es el cuñero. Las cuñas soportan cargas que ocasionan fallas por cortante o por aplastamiento. El esfuerzo al corte está definido por:

$$\tau = \frac{F}{A_s} \quad (53)$$

El área de corte se obtiene de la **Figura 40**.

$$\tau = \frac{T}{(D/2)(W * L)} \quad (54)$$

$$\tau = \frac{2 * T}{D * W * L} \quad (55)$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante.

A_s = Área de corte.

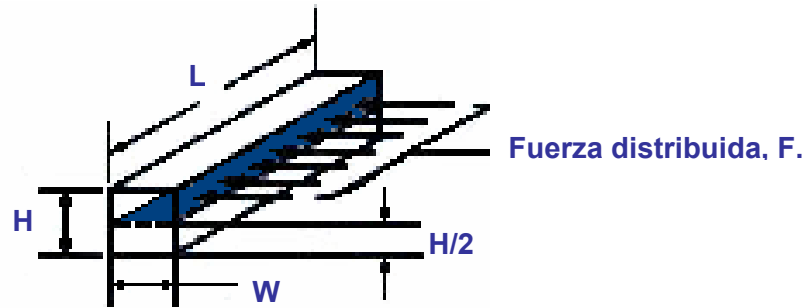
D = Diámetro del eje.

W = Ancho de la chaveta.

L = Longitud de la chaveta.

T = Torque a transmitir.

Figura 40. Área efectiva de corte de la chaveta.



Para seleccionar las dimensiones de la cuña, con el diámetro del eje miramos el valor del lado de la chaveta que se da en la tabla del Anexo E.

Para un diámetro de 1³/₄" se recomienda una cuña de lado 0.5". Para determinar la longitud se calcula el valor admisible con respecto al valor de resistencia a la tracción del material.

El material de construcción de las chavetas es el AISI 1020 HR la cual tiene una resistencia a la tracción de 61 Ksi (420 MPa).

$$L = \frac{2 * T}{\tau_{perm} * W * D} \quad (56)$$

El esfuerzo al corte es el 50% del esfuerzo del límite elástico.

$$S_{y_s} = 0.5 * S_y \quad (57)$$

$$S_{y_s} = 1796,5 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\tau_{perm} = S_{y_s} / N \quad (58)$$

Donde:

N = Factor de seguridad.

Se utiliza un factor de seguridad N = 2, recomendado por la fuente.

$$\tau_{perm} = 898,25 \frac{Kg}{cm^2}$$

Con lo anterior se tiene que la longitud del chavetero para que no falle por cortante es de 3.8 cm.

El máximo esfuerzo al aplastamiento está definido por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{F}{A_b} = \frac{2 * T}{L * h * D} \quad (59)$$

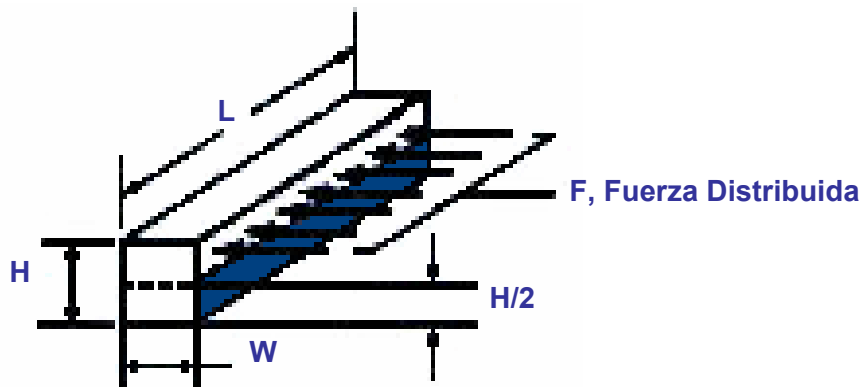
Donde:

A_b = Área de aplastamiento.

h= Altura mínima de la chaveta.

El área de aplastamiento de la chaveta se observa en la **Figura 41**.

Figura 41. Área de aplastamiento de la chaveta.



$$L = \frac{2 * T}{\sigma_{perm} * h * D} \quad (60)$$

La longitud de la chaveta para que no falle por aplastamiento es de 3.8 cm. De lo anterior se concluye que la longitud de la chaveta debe ser de 3.8 cm.

3.13. SELECCIÓN DE TRANSMISIÓN POR CORREAS.

Para transmitir la potencia desde el motor eléctrico al reductor se utilizará un sistema de transmisión por correa, ya que ofrece varias ventajas sobre otras opciones:

- ❖ Es un sistema de transmisión de alta flexibilidad.
- ❖ Es un sistema de transmisión económico de gran disponibilidad en el mercado.
- ❖ Los otros sistemas como banda sincrónica o cadena no se hacen necesarios en esta configuración ya que no se requiere de sincronización entre motor y reductor. Esto quiere decir que es permitido un poco de deslizamiento.

Para el proceso de selección de las correas en V se llevo el siguiente procedimiento de cálculo, todas las tablas se encuentran en el anexo F:

- ❖ Cálculo de la potencia nominal de servicio, para un motor eléctrico de torque normal que funciona 8 horas al día, el factor de servicio es 1.2; así la potencia nominal de servicio es:

PNS = Potencia nominal de servicio

$$PNS = P * N \quad (61)$$

$$PNS = 4 * 1.2 = 4.8 \text{ HP.}$$

❖ Selección del perfil de la banda, para una velocidad de entrada de 1750 RPM y una potencia de servicio de 4.8 HP, se sugiere utilizar una banda tipo B que es muy comercial y cumple con la especificación.

❖ En la tabla 2 se busca el valor mínimo de la polea de menor diámetro en este caso 43/8" Pulgadas (aproximadamente 11.11 cm).

$$D_1 = 11.11 \text{ cm.}$$

$$D_2 = m_2 * D_1 \tag{62}$$

Donde:

D_2 = Diámetro de la polea mayor.

m_2 = Reducción por corres (Ver ecuación 77).

D_1 = Diámetro de la polea menor.

$$D_2 = 27 \text{ cm.}$$

❖ Cálculo de la potencia específica.

$$ratedHp = \left[a \left(\frac{10^3}{Vm} \right)^{0.09} - \frac{c}{K_d * D_1} - \frac{e * Vm^2}{10^6} \right] * \frac{Vm}{10^3} \tag{63}$$

Siendo:

$a = 4.737$ (Ver tabla 3)

$c = 13.962$ (Ver tabla 3)

$e = 0.0234$ (Ver tabla 3)

La velocidad periférica de la correa V_m se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$V_m = 1750 \frac{rev}{min} * 0.182 ft = 318.5 fpm. \quad (64)$$

$$ratedHp = 0.623HP$$

❖ Para seleccionar la distancia entre centros de las poleas se debe cumplir:

$$D_2 \angle C \angle 2 (D_1 + D_2) \quad (65)$$

$$10.63" \angle C \angle 30"$$

Se toma como distancia de separación del motor y el reductor de 14.17".

$$C = 14.17".$$

❖ Cálculo de la potencia corregida.

De la tabla 4 se halla el valor de la constante K_d .

Se entra con el valor de la relación (D_2 / D_1) y se obtienen un $K_d = 1.13$.

La potencia corregida se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Potencia corregida} = \text{Rated HP} * K_\theta * K_L \quad (66)$$

De la tabla 5 se encuentra el valor de K_θ entramos con el valor de la relación de:

$$\frac{D_2 - D_1}{C} = 0.444 \quad (67)$$

$$K_\theta = 0.935.$$

En la tabla 6 se busca el valor de K_L con la longitud de la correa.

La longitud de la correa se calcula con la siguiente expresión:

$$L = 2 * C + 1.57 * (D_2 + D_1) + (D_2 - D_1)^2 / 4C \quad (68)$$

L = 52.53 pulgadas.

Se estandariza con las que hay en el mercado en este caso L = 52.8"

Como la longitud ha sido variada se vuelve a calcular C con:

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16} \quad (69)$$

donde $B = 4L - 6.28(D_2 + D_1)$ (70)

$$B = 117.25''$$

Reemplazando en (69) tenemos: **C = 14.3''**

De la tabla 6 del anexo F sacamos el factor de corrección de longitud

$$K_L = 0.895$$

Según la ecuación (66)

$$\text{Potencia corregida} = 0.623 * 0.895 * 0.935 = 2.554 \text{ HP.}$$

❖ Cálculo de número de ramales.

$$\text{Numero de ramales} = \frac{\text{potenciadiseño}}{\text{potenciacorregida}} \quad (71)$$

$$\text{Numero de ramales} = \frac{4.8}{2.554} = 1.88$$

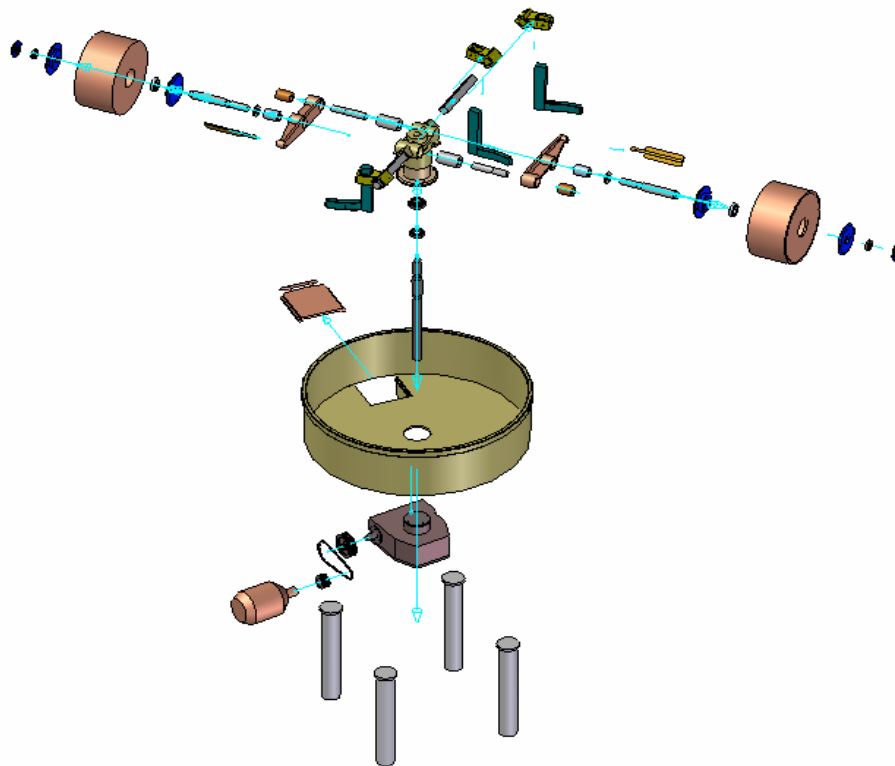
Número de ramales = 2.

En este sistema de transmisión de potencia se va a utilizar 2 correas trapezoidales tipo B de longitud 52.8 pulgadas. Correas tipo B51.

4. PROCESO DE FABRICACION, ENSAMBLE Y MONTAJE DEL MOLINO MEZCLADOR DE ARENA

Para la construcción del molino mezclador se tuvo presente la facilidad de adquisición en el mercado de cada uno de sus componentes, y de los equipos existentes en el medio para la elaboración de algunas piezas. A continuación se hace una descripción del molino teniendo como base el proceso de fabricación, de cada una de las partes que constituyen este diseño.

FIGURA 42. Ensamble de la máquina.



4.1. CUBA

Se hizo en lamina de acero cold rolled ya que es la mas comercial y económica del mercado, además, de cumplir con las propiedades requeridas. Para la fabricación se necesito de dos láminas, una lámina rectangular la cual fue mandada a “rolar” para obtener la forma cilíndrica, y otra lámina la cual se mando a cortar en forma de disco para formar la base.

Además a esta base se le hizo un agujero en la parte central para montar el soporte base, y en la parte externa del disco se hizo un corte cuadrado, que serviría de puerta para la descarga de la arena, el cual se mantendría cerrado con una tapa mientras se esta operando.

Luego de tener todas las láminas listas, estas se soldaron, además en el disco donde va el corte cuadrado se monto una especie de canal para direccionar la arena, y en el hueco central se taladraron seis agujeros. Finalmente se le soldaron cuatro columnas que servirían de base a la máquina. Como se observa en la figura 43.

Figura 43. Cuba.



4. 2. RODILLOS

Los rodillos se fundieron en la empresa, se hicieron en fundición gris, para facilidad en el moldeo y en la maquinada principalmente, la cara lateral se hizo en lámina de acero. Después de haber sido maquinados y alineados los rodillos, se les coloco la cara lateral con pernos ya que fue el sistema de unión que nos brindo mayor seguridad y facilidad. Las tapas que van a formar parte de los rodillos también se fundieron y maquinaron en la empresa, dándoles un ajuste deslizante para que encajaran en los rodillos sin dejar juego.

Para el ensamble se necesito de una prensa hidráulica para colocar los rodamientos en las tapas, ya que estos requerían de un ajuste forzado para su buen funcionamiento, Luego se monto el eje en una de las tapas, se introdujo en el rodillo y se coloco la otra tapa y los empaques, esto se hizo manualmente, ya que el ajuste de los rodamientos con el eje es deslizante pero sin juego. Finalmente se apretaron todos los tornillos quedando listos para continuar con el montaje de la máquina.

Figura 44. Ensamble de los rodillos.



4.3. BRAZO DE LOS RODILLOS

Los brazos se hicieron en lámina de acero, por la facilidad y resistencia que nos da, ya que esta es una de las piezas críticas del molino, porque esta soportando el peso del rodillo. Para la elaboración de los brazos se necesitaron láminas de acero de $\frac{3}{4}$ " de espesor y tres tubos de acero, dos de 8 cm de longitud y el otro de 3 cm los cuales se soldaron a las láminas.

En el tubo del brazo que esta pivotando se colocó un buje de bronce donde va el eje que conecta el brazo con la pieza central; y en el tubo central se colocó un buje de acero donde va el eje del rodillo. Como en esta unión no debe haber ningún movimiento, se colocó una chaveta y un tornillo de sujeción.

Figura 45. Ensamble del brazo del rodillo.



4.4. LÁMINA LIMPIADORA DEL RODILLO

Cada rodillo lleva una lámina de acero que abarca todo el ancho de este, con el fin de evitar que los grumos de arena se adhieran a la superficie de la arena y la mezcla no quede homogénea.

Para su elaboración se necesitó una varilla 30 cms. de longitud, un tramo de ángulo de 16 cms. y una lámina de acero. En el montaje, primero se taladraron los agujeros; de doble hueco en la lámina y de uno en el ángulo, luego se soldó la varilla al ángulo, y se sujetó la lámina limpiadora con tornillos, formando un sistema de corredera con tornillos, para que a medida que se vayan desgastando las láminas, se puedan ir acercando a los rodillos.

Figura 46. Lámina limpiadora del rodillo



4.5. SOPORTE CENTRAL

Para su construcción se utilizaron tres ejes, los cuales se maquinaron para darles sus dimensiones; un eje hueco con diámetro externo de 10 cms y diámetro interno 4.4 cms y dos de diámetro externo de 8.5 cm y diámetro interno de 7 cms. Después de tenerlos listos, se soldaron, con láminas de acero de 1" para reforzarlas. Luego se les soldó a los tubos extremos dos láminas de forma semi-ovalada, donde luego se colocó el apoyo que serviría

de soporte al brazo de cada rodillo, en la parte lateral se soldó el apoyo donde irán las vigas que soportan las cuchillas.

Figura 47. Montaje del soporte central.



4.6. SOPORTE BASE

Este soporte se construyo en la empresa, fue fundido en hierro gris, luego se le refrendaron las cara en especial la parte interna, ya que hay se monto el rodamiento de rodillos cónico y el rodamiento de bolas; Se le taladraron seis agujeros para los tornillos que la unirían a la base o cuba. Después de estar lista la pieza se colocó los rodamientos y se ensamblo el eje principal; finalmente se monto en la base.

Figura 48. Montaje del soporte central



4.7. SOPORTES DE LAS CUCHILLAS DEFLECTORAS

La maquina cuenta con tres soportes para las respectivas cuchillas; estos soportes se elaboraron en lámina de acero de 5/8". Se cortó cada lámina con su respectiva forma dependiendo del diseño ya establecido. Luego se soldaron las láminas para conformar así cada soporte, después se le taladraron los huecos a cada soporte para los tornillos que aseguran las piezas, evitando que se nos vayan a mover.

Figura 49. Soporte de las cuchillas deflectoras.



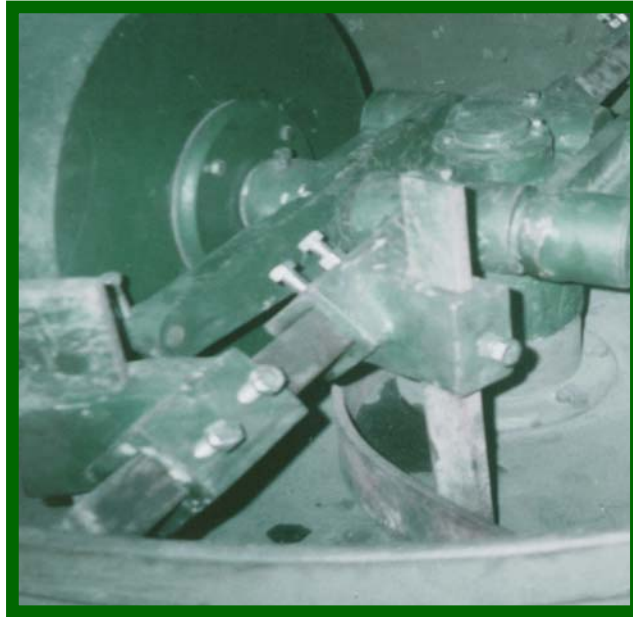
4.8. CUCHILLAS DEFLECTORAS

Para la construcción de las cuchillas deflectoras se utilizaron tres ballestas, que luego se sometieron al calor en un horno para ser dobladas y taladradas y después darles el ángulo que se requiere para direccionar la arena hacia el centro de los rodillos.

La maquina cuenta con tres cuchillas deflectoras, que van montadas sobre la viga cuadrada; por medio de los soportes que se aseguran a esta con

tornillos a presión. Luego se introducen las platinas de acero de $\frac{3}{4} \times 2$ ", en la ranura del soporte y nuevamente se sujetan con tornillos. Finalmente se montan las cuchillas en la parte inferior de la platina.

Figura 50. Montaje de las cuchillas limpiadoras.



4.9. TRANSMISION DE POTENCIA

Para el montaje de la transmisión, se instaló una base en ángulo que fue anclada al piso. El motor va sobre una corredera, para tensionar las correas. Mientras que el reductor va atornillado a una platina que está soldada a los ángulos. Y la potencia se transmite del reductor al eje, por medio de un acople que va unido a este por una chaveta garantizándose así el funcionamiento de la máquina.

Figura 51. Montaje transmisión de potencia.



Después de tener cada una de las partes que componen la máquina, se hizo el montaje final quedando la máquina lista par su funcionamiento. En la figura 51 se observa una vista frontal de la máquina.

Figura 52. Molino mezclador de la empresa Industrial de Accesorios Ltda.



5. PRUEBAS REALIZADAS PARA VERIFICAR BUEN FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA

Teniendo el molino mezclador de arena completamente armado, se comprobó su funcionamiento, y la capacidad de operación.

Primero se verifico el funcionamiento de la máquina sin la arena, la maquina opero correctamente, a una velocidad de 34 rpm, sin un recalentamiento.

Funcionamiento del molino mezclador en la preparación de las arenas, la prueba de la preparación de la arena, fue realizada por el Profesor de Fundición del SENA, asesor de la empresa Industrial de Accesorios, quien gracias a su experiencia en el manejo de Molinos Mezcladores y en general equipos para el proceso de fundición, fue el encargado de dar un juicio valorativo de la máquina, así como otros operario que ya habían tenido contacto con esta clase de molinos.

Primero se prendió la máquina en sin arena, para evitar el alto consumo de corriente en el arranque y no forzar el motor. Después de encendida la maquina se procedió a cargarla con la arena; se dejo que la arena se mezclara por un periodo de un minuto, para destruir así los terrones que se forman por estar expuesta a la intemperie.

Pasado este tiempo, se pudo apreciar una arena refinada y uniforme; y se procedió a adicionar los demás componentes de la mezcla como son la bentonita (10%), el carbón pulverizado (3%), la destrina (1%) y por último se agrego el agua (6%). A partir de ese momento fue ganando volumen y se empezó a apreciar uniformidad en la mezcla.

Durante el funcionamiento de la maquina, se pudo apreciar como pivotaba el brazo del rodillo, y la rotación del rodillo.

La velocidad de operación, fue la adecuada, y la vibración que se presento fue muy poca.

En conclusión, el profesor y los observadores, de acuerdo a su experiencia opinaron que el funcionamiento y el rendimiento del equipo era bueno.

6. ANALISIS DE COSTOS

En este capítulo, se presentan los costos en que se incurrió para el diseño y construcción del molino mezclador de arenas. El precio de los diversos elementos y partes que lo constituyen se da a la medida del tiempo con que se fue comprando cada uno de ellos.

El costo de la maquina fue de \$ 4'695.000 = , el cual esta conformado por la cuba, los rodillos, los brazos, los ejes, los bujes, los soportes, las vigas, las cuchillas, los rodamientos, el reductor, la transmisión por correas, el motor y otros elementos mecánicos que hicieron parte del diseño final. Dentro de este valor se encuentra la mano de obra, los costos de materiales, sin incluir valor intelectual, asesoría ingenieril, ni costos de las memorias.

A continuación se muestra una tabla donde están consignados todos los costos de fabricación del Molino Mezclador de Arenas.

Tabla 4. Costos del molino mezclador de arena

SISTEMA ESTRUCTURAL				
DESCRIPCION		MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO
Base o Cuba	Lámina	Acero Estr. HR	1	800.000
Eje principal	21/4"* 54 cm	Acero 4340	1	61.000
Ejes	12 cm * 1 5/8	Acero 1045	2	20.000
	36 cm.* 2"		2	70.000
Rodillos	Diam. 44 cm. Ancho 22 cm.	Hierro Gris	2 x 107 Kg.	700.000
Brazos		Lámina de Acero	2 x 8 Kg.	96.000
Rodamientos	6007	Bolas	2	28.000
	6208	Bolas	2	33.000
	6210	Bolas	1	21.000
	32010	Cónico	1	34.000
Tapa escotilla	20cm*30cm	Acero	1	15.000
Soporte Base		Fundición Gris	1	20.000
Soporte cuchilla	Lamina 5/8"	Acero	3	60.000
Cuchillas		Acero	3	21.000
Viga Cuchillas		Acero	2	130.000
Soporte Central		Acero	1	63.000
Bujes	12 cm * 2 ½"	Acero 1045	2	23.000
	8 cm * 2 ½"		2	17.000
	8 cm * 2 ½"	Bronce	2	47.000
Arandelas		Acero	4	12.000
Tapas rodillos		fundición	6	25.000
Columnas	Tubería de 2"	acero	4	40.000
Tornillos y tuercas		Acero inoxidable	100	50.000
Maquinado				300.000
Mano de obra				300.000
TOTAL				2'986.000

SISTEMA DE TRANSMISION Y POTENCIA

DESCRIPCION		MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO
Polea	2.45	Aluminio	2	50.000
Correa	B51	Caucho	2	32.000
Acople	Mordaza		1	65.000
Reductor	41:2		1	350.000
Motor eléctrico	4 HP		1	350.000
	1750 rpm			
TOTAL				847.000
Acabado y montaje				250.000
Imprevistos (15%)				612.000
SUBTOTAL				4'695.000
Papelería				300.000
Producción intelectual				2'000.000
Asesoría Ing. Leonidas Vásquez				1'500.000
TOTAL				8'495.000

7. CONCLUSIONES

❖ Se diseño y construyó una máquina “*MOLINO MEZCLADOR DE ARENA*” para la empresa Industrial de Accesorios Ltda. el cual va a garantizar la buena mezcla de las arenas para moldeo, contribuyendo esto al mejoramiento del acabado de las piezas que se funden. De esta forma la Escuela de Ingeniería Mecánica en particular y la UIS en general cumplen su misión de servicio a la comunidad, aportando su tecnología para dar un alto rendimiento en la etapa de preparación de arenas.

❖ Se diseñó y construyó un molino mezclador de arena de fácil mantenimiento ya que todo su sistema esta unido por tornillos, lo cual hace que todo el sistema sea fácilmente desarmable y ante un posible daño de las partes sea fácil de cambiar.

❖ Las pruebas realizadas al molino mezclador permitieron verificar que su funcionamiento es similar a otros molinos mezcladores de arena, lo que permite concluir que su funcionamiento es satisfactorio. El juicio valorativo de estas pruebas fue dado por el profesor de Fundición del SENA, y operarios de la empresa que cuentan con la experiencia y el conocimiento de este tipo de maquinaria.

❖ Para el diseño mecánico del molino mezclador se utilizó la herramienta de diseño CAD, a través del uso del Solid Edge Academic. Que nos da una visión real de las dimensiones de cada una de las piezas que componen dicha maquina.

❖ Características Principales del molino mezclador. Los ejes de las masas han sido montados sobre rodamientos de bolas, el eje principal sobre un rodamiento de bolas y uno cónico. Lo que hace que esta máquina sea de gran rendimiento y duración, y completamente suave y silenciosa.

Diámetro de la cuba	1200 mm
Diámetro de los rodillos	440 mm
Ancho de los rodillos	220 mm
Numero de rodillos	2
Peso de cada rodillo	107 Kg.
Capacidad máxima de la cuba	150 Kg.
Ciclo de mezcla y descarga	5 min.
Producción horaria	0.5 m³ a 1 m³
Peso neto aproximado	650 Kg.
RPM de la maquina	35 rpm
Potencia del motor	4 HP

8. RECOMENDACIONES

- ❖ Usar en forma independiente motor y reductor acoplados por el sistema de bandas lo cual garantizan seguridad en caso de un frenado inesperado.
- ❖ Realizar el montaje sobre una base de concreto dispuesta de tornillos de nivelación que proporcionen un ángulo recto entre el eje y la base de la cuba.
- ❖ Observar bien el sentido de giro del molino la cual debe rotar en sentido horario ya que las cuchillas deflectoras de la mezcla funcionan en una sola dirección.
- ❖ Revisar constantemente el anclaje de la base del molino ya que una soltura produciría sobre esfuerzos en el reductor y por lo tanto una posible falla.
- ❖ No sobrecargar la maquina ya que esta capacitada para 150Kg, una sobrecarga podría dañar el motor.
- ❖ Limpiar periódicamente la maquina, ya que constantemente esta expuesta a partículas de polvo; Antes de efectuar cualquier trabajo sobre la maquina, verificar que este desconectada y que no es posible su conexión.

BIBLIOGRAFIA

SISGUELLA A., Juan. Defectos de Fundición. Ediciones Aguilar Madrid 1959.

AVELLANEDA, Alberto. Curso de Metalurgia II: Arenas de Moldeo, Procesos de Moldeo, Elementos para Colada. SENA Regional Bogotá Unidad Metalmeccánica - Centro Nacional de Fundición.

SHIGLEY, Joseph. Y MISCHKE, Charles. Diseño en Ingeniería Mecánica. McGraw Hill, 1996

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, Programa de Asistencia técnica a la Industria. Arenas de Moldeo. Bogota, 1964.

NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. Prentice Hall, 1999.

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. México: Prentice hall. 1992.787 p.

ROJAS, García Hernán. Diseño de máquinas II. Bucaramanga: UIS.1992. 562 p.

WOLLMAN, Ghiringhelli. Catálogos de reductores de velocidad. Disponible en: www.ghiringhelli-srl.com.

FAG. Catálogos de rodamientos. Disponible en: www.FAG.com.

ANEXO A. ASPECTOS GENERALES DE LA FUNDICION

ASPECTOS GENERALES DE LA FUNDICIÓN

La fabricación de piezas por el método de fundición consiste en calentar el metal elegido a una temperatura suficientemente elevada para llevarlo al estado líquido, colar este líquido en un molde apropiado y dejarlo solidificar; a continuación se limpian las piezas coladas, quitándoles rebabas, troncos de colada, etc., para dejarlas en condiciones para maquinar, o bien utilizarlas directamente.

En el proceso de fundición pueden distinguirse tres áreas productivas principales: moldeo y machería, fusión y colada, y acabados.

Moldeo y Machería. En el área de moldeo se elaboran los moldes, fundamentalmente de arena, con las huellas de las piezas que se van a fabricar. Cuando estas piezas tienen orificios internos se utilizan machos, que también suelen ser de arena, para obtener el orificio sin necesidad de un mecanizado posterior.

Dentro del moldeo en arena se pueden distinguir dos grandes grupos:

- **Moldeo de arena en verde.** Utiliza instalaciones mecanizadas de baja, media o alta presión, para efectuar el compactado del molde. Hay diferentes sistemas para aplicar la presión, como por ejemplo sacudidas, vibraciones, pistones hidráulicos o mediante impacto. El material de moldeo consiste en una mezcla de arena de sílice, bentonita (arcilla) y agua, además de otros aditivos, como puede ser el negro mineral (huella). Esta mezcla se realiza en mezcladores que pueden ser de rulos, de discos, etc.

- **Moldeo de arena químico.** Utiliza instalaciones de mezclado continuo o discontinuo, en donde se realiza la adición de resinas y catalizadores químicos a la arena, que posteriormente se compacta de forma manual. Los aglomerantes químicos pueden ser de tipo inorgánico que utilizan como base el silicato sódico y como catalizador un éster orgánico; o bien de tipo orgánico, en el que el aglomerante más utilizado es la resina furánica, que tiene al alcohol furfurílico como materia base, junto con catalizadores ácidos (ácido fosfórico o paratoluensulfónico). Esta resina puede modificarse con urea, formaldehído, fenol y otros aditivos. Otros sistemas químicos orgánicos utilizan resinas fenólicas-alcalinas con catalizadores a base de ésteres, o resinas fenólicas-uretano con catalizadores a base de amina líquida.

Fusión y Colada. El proceso de fusión consiste en fundir la carga, la cual se prepara en forma conveniente para obtener la composición química prevista en el metal que sale del cubilote. Los cubilotes son hornos revestidos interiormente de refractario, de tipo vertical, de forma cilíndrica, y recubiertos exteriormente por una envolvente de chapa de hierro, en cuyo interior se cargan los combustibles, lingotes, chatarras, y fundentes en capas alternadas. Durante el funcionamiento normal, el calor desprendido del lecho de coque situado en el fondo, sube a través de las capas alternadas de coque y de meta, y funde éste. El metal líquido desciende a través del lecho de coque y se acumula en la solera del cubilote, del cual se saca periódicamente vaciándolo en cucharas, por medio de las cuales se traslada a los moldes. El llenado de un molde único puede efectuarse con una o varias cucharas, lo importante es completamente el molde, coladas y mazarotas. El colado debe realizarse en forma continua y uniforme hasta que el molde este lleno.



Fusión y Colada

En la fundición de hierro los hornos de fusión utilizados son de tres tipos:

- **Hornos eléctricos de inducción de crisol**, que funden el metal por efecto de una corriente eléctrica que atraviesa una bobina de inducción.
- **Cubilotes**, de aire frío o caliente, en los que se introduce la carga metálica acompañada de coque y de caliza por la parte superior. El coque se quema con el aire que se insufla por unas toberas situadas en la parte inferior, y proporciona la energía necesaria para la fusión del metal. La caliza se emplea para formar una escoria en donde se recogen las impurezas que se producen durante el proceso.
- **Hornos rotativos de oxidación**, que utilizan quemadores de gas-oxígeno para calentar la carga y fundirla.

Acabados. Tras el desmoldeo, siempre queda una capa de arena calcinada recubriendo la pieza, así como restos de machos en el interior de las cavidades. De esta manera, se procede a la eliminación de la arena con el granallado, que consiste en la proyección de un chorro de abrasivo que se hace chocar a gran velocidad contra la superficie de la pieza.

Tras el granallado, se procede al rebabado de las piezas, que consiste en el cincelado y amolado de las zonas de los ataques de colada y de las mazarotas, las rebabas y los defectos superficiales. Con ello se persigue eliminar todos los excesos de material presentes en la superficie de las piezas, para conseguir que el contorno de las mismas se acomode a la forma y a las dimensiones exigidas.

Entre las operaciones de acabados pueden considerarse también el mecanizado de las piezas, la recuperación por soldadura de los defectos superficiales, el tratamiento térmico y el pintado. Aunque, estas operaciones no suelen ser de uso general en el proceso, depende su realización del acuerdo con el cliente en casos concretos.

ANEXO B. ARENAS DE MOLDEO

ARENAS DE MOLDEO

La fabricación de piezas por colada en moldes consiste en vaciar el metal líquido en una cavidad, cualesquiera que sean su forma y tamaño, para que allí solidifique. El método de fusión y colada es el más sencillo para dar forma a los metales, y en algunos casos permite fabricar piezas que son imposibles de elaborar por forja, conformación en frío o soldadura.

La cavidad del molde se obtiene presionando un material apropiado contra una superficie indeformable que tiene la forma de la pieza que se quiere producir, llamada modelo. Este puede ser de yeso, de metal, de arena compacta, de plástico o de madera.

NATURALEZA Y CLASIFICACIÓN DE LAS ARENAS

Las arenas de fundición están constituidas en general por granos de cuarzo, forma cristalina de la sílice (SiO_2 , óxido de silicio). Se encuentran asociadas a alguna clase de arcilla y minerales en pequeñas cantidades.

Las arenas que contienen suficiente arcilla aglutinante son las arenas de moldeo naturales, mientras que las arenas silíceas (de bajo contenido de arcilla) son la base para preparar las arenas sintéticas.

Su color varía entre el blanco puro y el rojo oscuro o pardo, según las impurezas que contengan, especialmente de los minerales que contienen hierro.

CLASES DE ARENAS PARA MOLDEO

Damos a continuación algunas definiciones de los tipos de arenas comúnmente utilizadas:

- **Arena Verde.**

Es una arena que no se ha sometido a secado alguno. La colada se hace en los moldes directamente, sin eliminar el agua absorbida.

- **Arena Seca.**

Es una arena a la que se le ha eliminado la humedad o sea toda el agua no combinada. Esta operación de secado se realiza a bajas temperaturas (aprox. 100 a 200°C) durante un tiempo mas o menos largo, que depende del tamaño del molde.

- **Arena de Contacto**

La arena que se aprisiona contra la cara del modelo y que forma la cara del molde, la que recibe esta denominación. Suele ser arena nueva o una mezcla de arena vieja y arena nueva con otros materiales aglutinantes, con la correcta cantidad de agua.

- **Arena sintética**

Esta denominación se emplea para las arenas preparadas artificialmente a partir de arena sílice particularmente pura y a la que se le adiciona aglutinantes especiales o arcilla aglutinante adecuada. Puede contener en algunos casos arena aglutinada natural, cementos o materiales orgánicos como las harinas de los cereales y aceites que normalmente se consideran como aglutinantes para machos. Entre los elementos que se adicionan como aglutinantes pueden mencionarse arcillas refractarias, bentonitas, caolines y algunos otros como resinas, aceites, harinas, silicatos, etc.

PROPIEDADES FISICAS DE LAS ARENAS

Las propiedades físicas importantes pueden resumirse bajo los conceptos:

- **Refractariedad:** Se determina por la temperatura a la que puede someterse sin presentar signos de fusión, esto significa que deben resistir sin fundir ni reblandecerse las temperaturas a las que el metal líquido se cuela en el molde.
- **Cohesión:** es consecuencia directa de la acción del aglutinante y depende de la naturaleza y contenido de este último y del porcentaje de humedad. El molde debe conservar su forma aun estando sometido a la acción dinámica y estática del metal líquido
- **Permeabilidad:** Es la propiedad que permite a la arena ser atravesada por los gases y que permite la evacuación de estos del molde en el momento de la colada. La permeabilidad tiene una enorme importancia: si es escasa, la evacuación del gas resulta muy difícil o casi imposible, provocando la ebullición del metal líquido y la consiguiente formación de sopladuras en la pieza.
- **Plasticidad:** La arena debe ser suficientemente plástica para adaptarse bien a los menores detalles del modelo. Bajo la acción de pisones las sacudidas o compresión de las máquinas de moldeo la arena debe fluir y empaquetarse alrededor del modelo, producir exactamente su forma y retenerla después del desmodelado.

ANEXO C. REDUCTOR

ANEXO D. ACOPLA



Insertos

(a) Cople ensamblado



Neopreno
(para uso en
trabajo normal)

Bronce, impregnado
de aceite (aplicaciones
de baja velocidad y
torque alto)

Poliuretano (capacidad
extra a velocidades
entre medias y altas)

(b) Tipos de insertos

ANEXO E. TABLA DE CHAVETAS

Tabla -1 Tamaño de cuña contra tamaño de flecha

Diámetro nominal de la flecha		Tamaño nominal de la cuña		
Más de	Hasta (incluso)	Espesor, <i>W</i>	Altura, <i>H</i>	
			Cuadrada	Rectangular
1/16	1/16	1/32	1/32	1/32
1/16	1/16	1/8	1/8	1/8
1/16	1/8	1/16	1/16	1/16
1/8	1/4	1/4	1/4	1/16
1/4	1/2	1/8	1/8	1/8
1/2	1	1/2	1/2	3/8
3/4	1 1/4	3/4	3/4	7/8
1	1 1/2	1	1	1 1/8
1 1/4	2	1 1/4	1 1/4	1 1/2
1 1/2	2 1/2	1 1/2	1 1/2	1 3/4
1 3/4	3	1 3/4	1 3/4	2
2	3 1/2	2	2	2 1/4
2 1/2	4	2 1/2	2 1/2	2 1/2
3	4 1/2	3	3	2 3/4
3 1/2	5	3 1/2	3 1/2	3
4	5 1/2	4	4	3 1/4
4 1/2	6	4 1/2	4 1/2	3 1/2
5	6 1/2	5	5	3 3/4
5 1/2	7	5 1/2	5 1/2	4
6	7 1/2	6	6	4 1/4
6 1/2	8	6 1/2	6 1/2	4 1/2
7	9	7	7	4 3/4
7 1/2	10	7 1/2	7 1/2	5
8	11	8	8	5 1/4
9	12	9	9	5 1/2
10	13	10	10	5 3/4
11	14	11	11	6
12	15	12	12	6 1/4
13	16	13	13	6 1/2
14	17	14	14	6 3/4
15	18	15	15	7
16	19	16	16	7 1/4
17	20	17	17	7 1/2
18	21	18	18	7 3/4
19	22	19	19	8
20	23	20	20	8 1/4
21	24	21	21	8 1/2
22	25	22	22	8 3/4
23	26	23	23	9
24	27	24	24	9 1/4
25	28	25	25	9 1/2
26	29	26	26	9 3/4
27	30	27	27	10

Nota: Se recomiendan los valores que no aparecen en las áreas sombreadas. Las dimensiones están en pulgadas.
Fuente: ANSI Standard B17.1-1967, *Keys and Keyseats* (American Society of Mechanical Engineers, Nueva York).

Tabla -2 Radios y chaflanes para cuñas que se sugieren

Profundidad del cuñero <i>H/2</i>			
Más de	Hasta (incluso)	Radio del chaflán	Chaflán a 45°
1/8	1/4	1/32	1/64
1/4	1/2	1/16	1/64
1/2	3/8	1/8	1/32
3/8	1 1/4	1/16	1/32
1 1/4	1 3/4	1/4	1/32
1 3/4	2 1/2	3/8	13/32

Nota: Todas las dimensiones se dan en pulgadas.
Fuente: ANSI Standard B17.1-1967, *Keys and Keyseats* (American Society of Mechanical Engineers, Nueva York).

ANEXO F: TABLA DE CORREAS

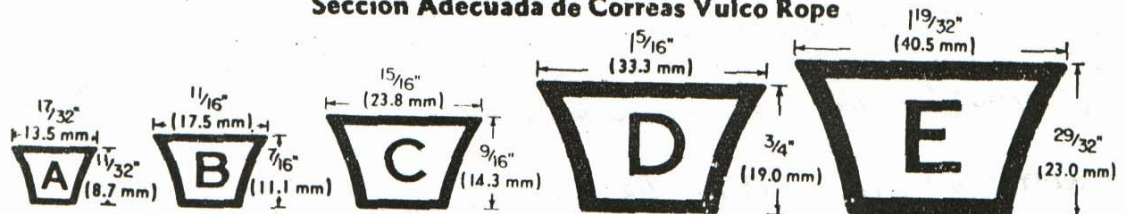
TABLA 1 Máquinas Accionadas	Máquinas Accionadoras	
	Motores Eléctricos CA Fase Dividida CA Esfuerzo Normal—Jaula de Ardilla y Síncronico CD Devanado en Derivación Ruedas Hidráulicas Turbinas de Vapor de Agua Motores de Combustión Interna	Motores Eléctricos CA Monofásico Devanado en serie CA Alto Esfuerzo de Arranque CA Motor de Anillos CA Repulsión—Inducción CD Arrollamiento Compuesto Motores de Vapor Arboles de transmisión Embrague en el Arbol Accionado o Accionador
Ventiladores Pequeños hasta 10 H.P. Bombas Centrifugas Agitadores de Líquidos Compresores Centrifugos Transportadores de Fardos Sopladores	1.1*	1.2*
Transportadores de Cinta Arboles de Transmisión Generadores Punzones, Cizallas y Prensas Cribas Rotatorias Ventiladores Máquinas Herramientas Móquinaría de Imprenta	1.2*	1.4*
Trituradora de Martillos Pulverizadores Compresores Sopladores Positivos Bombas de Embolo Transportadores de Tornillo Transportadores de Arrastre Maquinaria de Aserraderos Maquinaria para Tejidos Elevadores de Cangilones Morteros de Barro y Maquinaria para hacer ladrillos Batidoras en Fábricas de Papel	1.4*	1.6*
Trituradoras Giratorias Trituradoras de Mandíbulas Trituradoras de Cono Molinos de Bolas Molinos de Tubos Molinos de Barras Montacargas	1.6*	1.8*

*Adicione 0.2 al factor de servicio dado arriba, si su transmisión:

- Tiene que funcionar 24 horas todos los días, o
- Tiene que funcionar bajo condiciones húmedas, o
- para una transmisión de aceleración rápida

Desminuya 0.2 del factor de servicio dado arriba si su transmisión funciona intermitente o periódicamente.

Sección Adecuada de Correas Vulco Rope



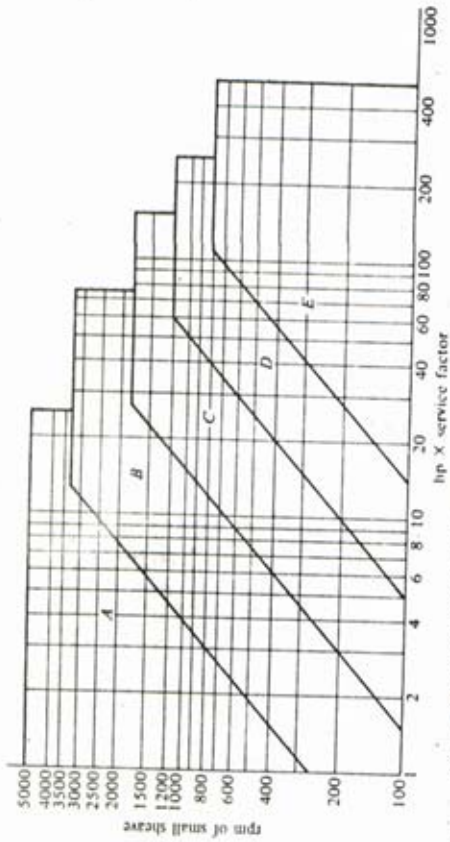


Fig. V-belt size for required horsepower rating. (Courtesy of Thermoid Division, H. K. Porter Co., Inc.)

TABLA FACTORES DE CORRECCIÓN DE LONGITUD K_L (1911)

DESIGNACIÓN DE LA LONGITUD NORMALIZADA cm	pw/g	SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CORREA				
		A	B	C	D	E
66,0	26	0,81	..	..	..	..
78,7	31	0,84	..	..	..	..
88,9	35	0,87	0,81	..	..	..
96,5	38	0,88	0,83	..	..	..
106,6	42	0,90	0,85	..	..	..
116,8	46	0,92	0,87	..	..	..
129,5	51	0,94	0,89	0,80	..	..
139,7	55	0,96	0,90	..	..	..
152,4	60	0,98	0,92	0,82	..	..
172,7	68	1,00	0,95	0,85	..	..
190,5	75	1,02	0,97	0,87	..	..
203,2	80	1,04	..	..	..	..
205,7	81	..	0,98	0,89	..	..
215,9	85	1,05	0,99	0,90	..	..
228,6	90	1,06	1,00	0,91	..	..
243,8	96	1,08	..	0,92	..	..
246,3	97	..	1,02	..	..	..
266,7	105	1,10	1,04	0,94	..	..
284,5	112	1,11	1,05	0,95	..	..
304,8	120	1,13	1,07	0,97	0,86	..
325,1	128	1,14	1,08	0,98	0,87	..
365,8	144	..	1,11	1,00	0,90	..
401,3	158	..	1,13	1,02	0,92	..
439,4	173	..	1,15	1,04	..	..
457,2	180	..	1,16	1,05	0,94	0,91
495,3	195	..	1,18	1,07	0,96	0,92
533,4	210	..	1,19	1,08	0,96	0,94
609,6	240	..	1,22	1,11	1,00	0,96
685,8	270	..	1,25	1,14	1,03	0,99
762,0	300	..	1,27	1,16	1,05	1,01
838,2	330	..	..	1,19	1,07	1,03
914,4	360	..	..	1,21	1,09	1,05
990,6	390	..	..	1,23	1,11	1,07
1066,8	420	..	..	1,24	1,12	1,09
1219,2	480	..	..	..	1,16	1,12
1371,6	540	..	..	..	1,18	1,14
1524,0	600	..	..	..	1,20	1,17
1676,4	660	..	..	..	1,23	1,19

TABLA COEFICIENTES DE DIAMETRO PEQUEÑO K_D (1911)

D_2, D_1	K_D
1,000-1,019	1,00
1,020-1,032	1,01
1,033-1,055	1,02
1,056-1,081	1,03
1,082-1,109	1,04
1,110-1,142	1,05
1,143-1,178	1,06
1,179-1,222	1,07
1,223-1,274	1,08
1,275-1,340	1,09
1,341-1,429	1,10
1,430-1,562	1,11
1,563-1,814	1,12
1,815-2,948	1,13
2,949 y más	1,14

TABLA COEFICIENTES DE ARCO DE CONTACTO, K_a (1911)

$\frac{D_2 - D_1}{C}$	K_a	
	VV	V-plana
0,00	1,00	0,75
0,10	0,99	0,76
0,20	0,97	0,78
0,30	0,96	0,79
0,40	0,94	0,80
0,50	0,93	0,81
0,60	0,91	0,83
0,70	0,89	0,84
0,80	0,87	0,85
0,90	0,85	0,85
1,00	0,82	0,82
1,10	0,80	0,80
1,20	0,77	0,77
1,30	0,73	0,73
1,40	0,70	0,70
1,50	0,65	0,65

TABLA 7

LONGITUDES NORMALIZADAS DE CORREAS TRAPEZOIDALES NORTEAMERICANAS CONSTANTES DE POTENCIA ^(17,13)

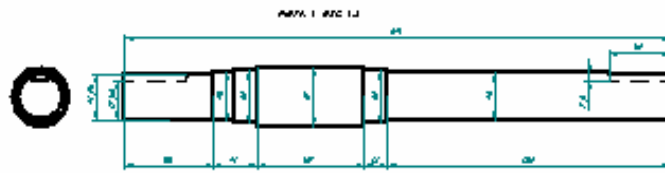
El valor D_0 mín es el diámetro primitivo de la polea menor que debe utilizarse con esta sección. Si se emplea una polea más pequeña, lo probable es que la correa tenga poca duración. L está expresada en pulgadas (y en centímetros).

SECCIÓN A		SECCIÓN B		SECCIÓN C		SECCIÓN D	
D_0 mín = 3 pulg (7,62 cm)		D_0 mín = 5,4 pulg (13,71 cm)		D_0 mín = 9 pulg (22,86 cm)		D_0 mín = 13 pulg (33 cm)	
Co- rrea núm.	Longitud primitiva pulg (cm)	Co- rrea núm.	Longitud primitiva pulg (cm)	Co- rrea núm.	Longitud primitiva pulg (cm)	Co- rrea núm.	Longitud primitiva pulg (cm)
A26	27,3 (69,3)	B35	36,8 (93,4)	C51	53,9 (136,9)	D120	123,3 (313,1)
A31	32,3 (82,0)	B38	39,8 (101,1)	C60	62,9 (159,7)	D128	131,3 (333,5)
A35	36,3 (92,2)	B42	43,8 (111,2)	C68	70,9 (180,0)	D144	147,3 (374,1)
A38	39,3 (99,8)	B46	47,8 (121,4)	C75	77,9 (197,8)	D158	161,3 (409,7)
A42	43,3 (109,9)	B51	52,8 (134,1)	C81	83,9 (213,1)	D173	176,3 (447,8)
A46	47,3 (120,1)	B55	56,8 (144,2)	C85	87,9 (223,2)	D180	183,3 (465,5)
A51	52,3 (132,8)	B60	61,8 (156,9)	C90	92,9 (235,9)	D195	198,3 (503,6)
A55	56,3 (143,0)	B68	69,8 (177,2)	C96	98,9 (251,2)	D210	213,3 (541,7)
A60	61,3 (155,7)	B75	76,8 (195,0)	C105	107,9 (274,0)	D240	240,8 (611,6)
A68	69,3 (176,0)	B81	82,8 (210,3)	C112	114,9 (291,8)	D270	270,8 (687,8)
A75	76,3 (193,0)	B85	86,8 (220,4)	C120	122,9 (312,1)	D300	300,8 (764,0)
A80	81,3 (206,5)	B90	91,8 (233,1)	C128	130,9 (332,4)	D330	330,8 (840,2)
A85	86,3 (219,2)	B97	98,8 (250,9)	C144	146,9 (373,1)	D360	360,8 (916,4)
A90	91,3 (231,9)	B105	106,8 (271,2)	C158	160,9 (408,6)	D390	390,8 (992,6)
A96	97,3 (247,1)	B112	113,8 (289,0)	C173	175,9 (446,7)	D420	420,8 (1068,8)
A105	106,3 (270,0)	B120	121,8 (308,3)	C180	182,9 (464,5)	D480	480,8 (1221,2)
A112	113,3 (287,7)	B128	129,8 (329,6)	C195	197,9 (502,6)	D540	540,8 (1373,6)
A120	121,3 (308,1)	B144	145,8 (370,3)	C210	212,9 (540,7)	D600	600,8 (1526,0)
A128	129,3 (328,4)	B158	159,8 (405,8)	C240	240,9 (611,8)	D660	660,8 (1672,4)
		B173	174,8 (444,0)	C270	270,9 (688,0)		
		B180	181,8 (461,7)	C300	300,9 (764,2)		
		B195	196,8 (499,8)	C330	330,9 (840,4)		
		B210	211,8 (537,9)	C360	360,9 (916,6)		
		B240	240,3 (610,3)	C390	390,9 (992,8)		
		B270	270,3 (688,0)	C420	420,9 (1069,0)		
		B300	300,3 (762,7)				
Constantes para potencia nominal: $a = 2,684$ $c = 5,326$ $e = 0,0136$		Constantes para potencia nominal: $a = 4,737$ $c = 13,962$ $e = 0,0234$		Constantes para potencia nominal: $a = 8,792$ $c = 38,819$ $e = 0,0416$		Constantes para potencia nominal: $a = 18,788$ $c = 137,7$ $e = 0,0848$	

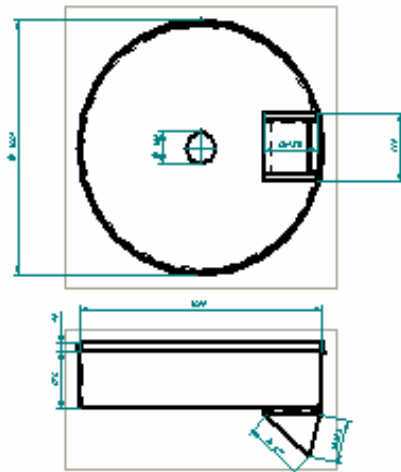
ALGUNOS DIAMETROS DE POLEA NORMALIZADOS

Varía en aumentos de 0,2 pulg (0,50 cm) desde 2,6 pulg (6,6 cm) hasta 5,2 pulg (13,20 cm); luego en aumentos de 0,4 pulg (1,01 cm) hasta 6,4 pulg (16,25 cm); luego los diámetros de 7; 8,2; 9; 10,6; 12; 15; 18 pulg (o sea, respectivamente, 17,78; 20,82; 22,86; 26,92; 30,48; 38,10; 54,72 cm).	Varía en aumentos de 0,2 pulg (0,50 cm) hasta 4,6 pulg (11,68 cm); luego los diámetros de 5; 5,2; 5,4; 5,6; 6; 6,4; 6,8; 7,4; 8,6; 9,4; 11; 12,4; 15,4; 18,4; 20; 25; 30; 38 pulg (o sea, respectivamente, 12,70; 13,20; 13,71; 14,22; 15,24; 16,25; 17,27; 18,79; 21,84; 23,87; 27,94; 31,50; 39,12; 46,74; 50,80; 63,50; 76,20; 96,52 centímetros).	Varía en aumentos de 0,5 pulg (1,27 cm) desde 7 pulg (17,78 cm) hasta 11 pulg (27,94 cm); luego en aumentos de 1 pulg (2,54 cm) hasta 14 pulg (35,56 cm); de 2 pulg (5,08 cm) hasta 20 pulg (50,80 cm); luego los diámetros de 24; 30; 36; 44; 50 pulg (o sea, respectivamente, 60,96; 76,20; 91,44; 111,76; 127 centímetros).	Varía en aumentos de 0,5 pulg (1,27 cm) desde 13 pulg (33,02 cm) hasta 16 pulg (40,64 cm); luego los diámetros de 18; 22; 27; 33; 40; 48; 58 pulg (o sea, respectivamente, 45,72; 55,88; 68,58; 83,82; 101,60; 121,92; 147,32 cm).
---	---	--	--

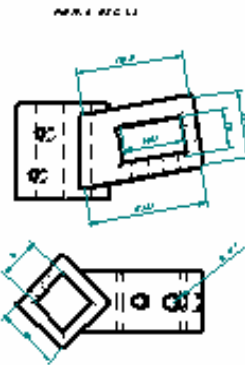
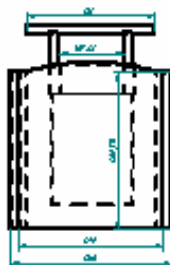
ANEXO G. PLANOS



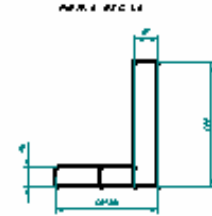
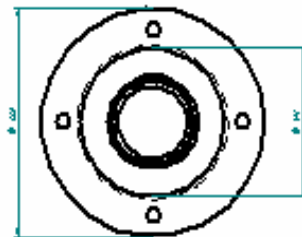
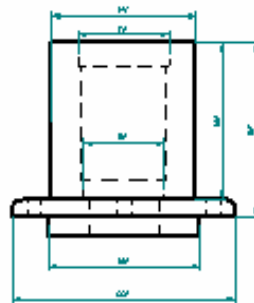
PART 1 REC L1



PART 2 REC L1



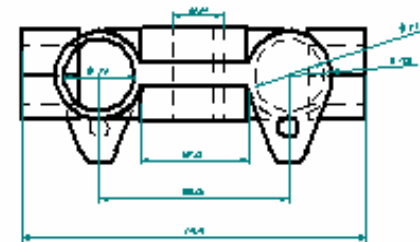
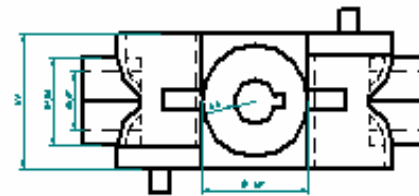
PART 4 REC L1



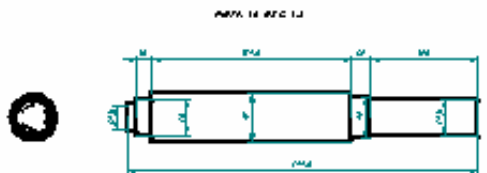
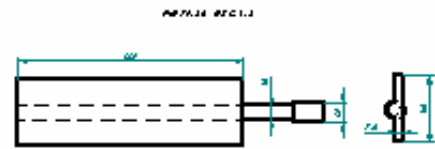
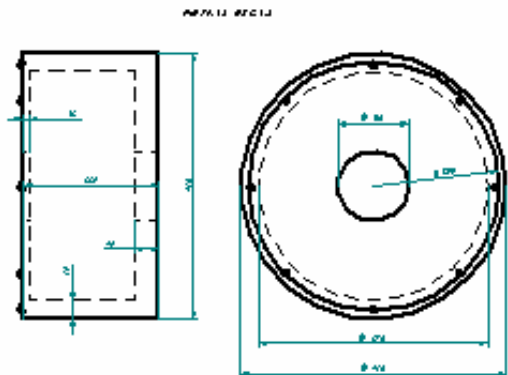
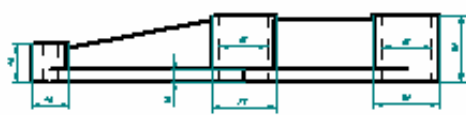
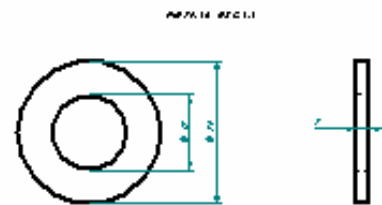
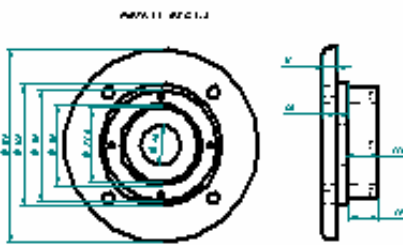
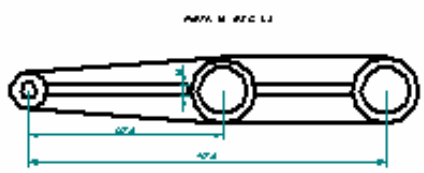
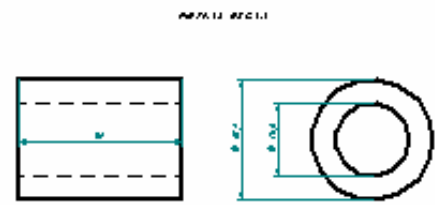
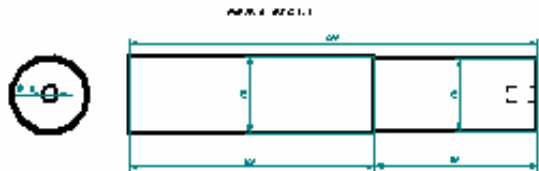
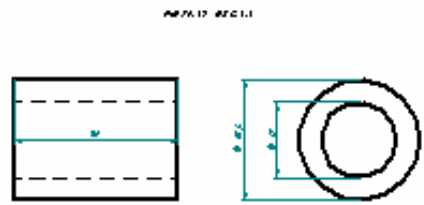
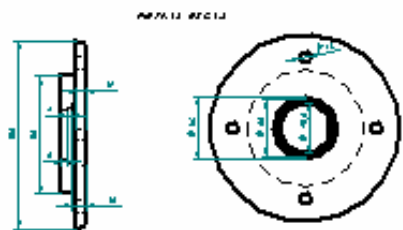
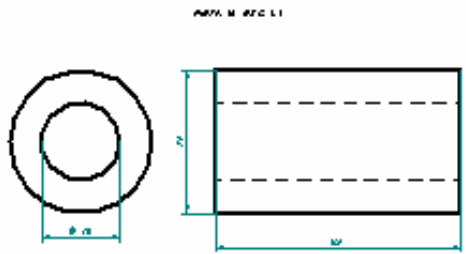
PART 7 REC L1



PART 9 REC L1



U.S.	REV. 03	DATE	
1. ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.		2. DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.	



LWS	01/10/11	02/20/12		
11/01/2012/01/10/11		02/10/2012/01/10/11		
01/10/11/10/11		02/10/11/10/11		