



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULDA DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA MOLEDORA DE AGLUTINADO DE
COMPUESTOS HIGRÓSPICOS PULVERIZADOS, A SER
UTILIZADO EN PLANTA DE PINTURA**

**ARTEAGA EDGAR
GUINAND CARLOS**

Valencia, 27de Mayo 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULDA DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA MOLEDORA DE AGLUTINADO DE
COMPUESTOS HIGRÓSPICOS PULVERIZADOS, A SER
UTILIZADO EN PLANTA DE PINTURA**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA
ILUSTRE UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

Tutor: Aristides Boda

**ARTEAGA EDGAR
GUINAND CARLOS**

Valencia, 27 de Mayo 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULDA DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

El abajo firmante, tutor designado para evaluar el Trabajo Especial de grado titulado **“Diseño de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura”**, realizado por los bachilleres: Arteaga Edgar y Guinand Carlos, cédula de identidad: 15.737.429 y 18.252.305, respectivamente, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicha monografía.

Prof. Arístides Boada
Tutor

Prof. Víctor Carrera
Miembro del Jurado

Prof. Oswaldo Urbano
Miembro del Jurado

Valencia, 27 de Mayo 2011

Sinopsis

El presente trabajo de grado propone el diseño de una maquina moledora de compuestos higroscopicos, basándose en el estudio de los elementos de máquina que conforman el dispositivo. Con esta propuesta se desea mejorar las condiciones de trabajo y disminuir el tiempo de agregado de materia prima en el proceso de fabricación de pintura. Se presenta la metodología y los cálculos realizados para obtener el diseño del eje, sistema de transmisión de potencia mediante cadena, además también se seleccionan los materiales de fabricación nacional apropiados para la factibilidad de construcción, de acuerdo a las cargas que se encuentran sometidos en cada caso en particular, también se muestra la selección de rodamientos así como también el análisis de los factores de seguridad de los elementos de unión (tornillos y soldaduras). Culminando con la presentación de los planos de fabricación así como también el conjunto armado y explosión, para conformar el diseño eficiente de una máquina moledora de compuestos higroscópicos para operar en una planta de pintura.

Índice general

Índice general	i
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	vi
CAPÍTULO 1 Introducción	1
1.1 Introducción, 1	
1.2 Situación problemática, 1	
1.3 Objetivos, 3	
1.3.1 <i>Objetivo General</i> , 3	
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> , 3	
1.4 Justificación, 3	
1.5 Alcance, 4	
1.6 Limitaciones, 4	
1.7 Antecedentes, 5	
CAPÍTULO 2 Marco Teorico	8
2.1 La molienda, 8	
2.2 La molienda en la industria, 9	
2.3 Compuestos higróspicos, 10	
2.4 Higroscopia, 10	
2.4.1 <i>La protección de los materiales higroscópicos</i> , 11	
2.4.2 <i>Algunos de los compuestos higróspicos más conocidos</i> , 12	
2.4.3 <i>Características de Neopentilglicol</i> , 13	
2.4.4 <i>Características de Acido Benzoico</i> , 15	
2.4.5 <i>Absorción de agua en materiales higroscópicos</i> , 18	
2.5 Tipos de molinos, 18	
2.5.1 <i>Molinos de piedra</i> , 18	
2.5.2 <i>Molinos de discos metálicos</i> , 19	
2.5.3 <i>Molinos de barras o cilindros estriados</i> , 19	
2.5.4 <i>Molinos de bolas</i> , 21	
2.5.5 <i>Molinos de compartimientos múltiples</i> , 22	
2.5.6 <i>Molinos de rodillos</i> , 23	
2.5.7 <i>Molino DOPPEL – ROTATOR O DOUBLE ROTATOR</i> , 24	
2.6 Otros tipos de molinos más especializados, 26	
2.6.1 <i>Molino de vertical LM</i> , 25	
2.6.1.1 <i>El uso y las características</i> , 25	

- 2.6.1.2 *Modelo y características para mineral, 26*
- 2.6.1.2 *Modelo y características para carbón, 26*
- 2.6.2 *Molino Trapecio de Súper-presión, 27*
 - 2.6.2.1 *Ventajas en comparación con el tradicional, 28*
 - 2.6.2.2 *Especificaciones del molino trapecio, 29*
- 2.6.3 *Molino de suspensión de presión alta, 30*
 - 2.6.3.1 *Características del molino, 31*
 - 2.6.3.2 *Especificaciones del molino, 32*
- 2.6.4 *Molino de polvo, 32*
 - 2.6.4.1 *Especificaciones del molino para polvo, 34*
- 2.6.5 *Molino de Rodillos Raymond, 34*
 - 2.6.4.1 *Especificaciones del molino de rodillos Raymond, 35*
- 2.6.6 *Molino de Rodillos, 35*
 - 2.6.6.1 *Principio de trabajo del molino de rodillos, 36*
 - 2.6.6.2 *Parámetros principales de performance, 37*

CAPÍTULO 3 Marco Metodológico

38

- 3.1 *Nivel de Investigación, 38*
- 3.2 *Diseño de la Investigación, 39*
- 3.3 *1ra. ETAPA. Información inicial, 39*
- 3.4 *2da. ETAPA. Formulación del problema, 40*
 - 3.4.1 *Estudio de la situación problemática, 40*
 - 3.4.2 *Alternativas para la formulación de problemas, 41*
 - 3.4.3 *Selección de la formulación apropiada, 41*
- 3.6 *4ta Etapa. Especificación del sistema a diseñar, 43*
 - 3.6.1 *Restricciones, 44*
 - 3.6.2 *Criterios, 44*
- 3.7 *5ta Etapa. Selección de la mejor solución, 44*
- 3.8 *6ta Etapa. Especificación del sistema diseñado, 44*
- 3.9 *Procedimiento para la selección de la mejor solución, 45*
 - 3.9.1 *Especificaciones de Diseño. 45*
 - 3.9.2 *Restricciones. 45*
 - 3.9.3 *Justificación de Restricciones, 45*
 - 3.9.4 *Criterios de Diseño. 46*
- 3.10 *Posibles soluciones para el problema. (Breve Descripción). 46*
 - 3.10.1 *Maquina cortadora. 46*
 - 3.10.2 *Maquina molidora de un solo eje. 49*
 - 3.10.3 *Maquina molidora de dos ejes. 51*
 - 3.10.4 *Molidora de cono. 54*
 - 3.10.5 *Molidora de Martillo 55*
- 3.11 *Método de ponderación de criterios. 57*
 - 3.11.1 *Ponderación de criterios. 57*
 - 3.11.2 *Ponderación de soluciones de acuerdo a cada criterio. 58*

Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.

iii

3.11.3 Ponderación final de soluciones.	61	
CAPÍTULO 4	Cálculos y Diseño	63
4.1. Diseño y selección de los diferentes elementos.	63	
4.1.1 Herramienta de pulverización.	63	
4.1.2 Selección de elementos de transmisión de potencia.	66	
4.1.3 Calculo de diámetro del eje a fatiga.	68	
4.1.4 Calculo del eje a deflexión angular o torsión.	74	
4.1.5 Calculo del eje por Deflexión lateral.	75	
4.1.6 Diseño de chaveta o cuña.	76	
4.1.7 Selección de rodamientos.	77	
4.1.8 Diseño de soldadura para la base del motor.	78	
4.1.9 Diseño de la caja.	83	
4.1.10 Diseño de los tornillos de sujeción.	85	
4.1.7.1 Tornillos de sujeción del eje a la tolva.	85	
4.7.1.2 Tornillos de sujeción del tobogán a la tolva.	86	
4.2 Capacidad de la máquina.	86	
CAPÍTULO 5	Estudio Económico	88
5.1. Estudio económico.	88	
CAPÍTULO 6	Análisis de Resultados	92
6.1. Análisis de Resultados.	92	
CAPÍTULO 7	Conclusiones y Recomendaciones	96
Referencias bibliográfica		98
Anexos		104

Índice de tablas

2.1 Tipo de molienda	10
2.2 Neopentilglicol	13
2.3 Derrames y fugas, almacenamiento, envasado y etiquetado	14
2.4 Datos importante de Neopentilglicol	14
2.5 Características de Acido Benzoico	15
2.6 Derrames, fugas, y almacenamiento de Acido Benzoico	16
2.7 Datos importantes de Acido Benzoico	17
2.8 Ejemplo para madera	18
2.9 Características del Molino Vertical de serie LM para mineral	26
2.10 Características del molino vertical serie Lm para carbón	27
2.11 Trapecio de Súper-presión	29
2.12 Especificaciones del molino de suspensión de alta presión	32
2.13 Especificaciones del molino de suspensión de alta presión media	34
2.14 Especificaciones de molino de rodillos de Raymond	35
2.15 Parámetros principales de rendimiento de molino de rodillos MSB	37
3.1. Aplicación de las restricciones a las posibles soluciones.	57
3.2. Ponderación de criterios.	58
3.3. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 1.	58
3.4. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 2.	59
3.5. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 3.	59
3.6. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 4	60
3.7. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 5.	60
3.8. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 6.	60
3.9. Ponderación Final de Soluciones	61
4.1. Tamaños en pulgadas para chavetas rectangulares y cuadradas de tipo estándar.	77
5.1. Estimación de costos de fabricación.	88

Índice Figuras

2.1 Molino de piedra	19
2.2 Molino de bolas (BALL MILL)	21
2.3 Molino de bolas	22
2.4 Molino de rodillos	23
2.5 Molino de DOPPEL-ROTATOR	24
2.6 Molino vertical de la serie	25
2.7 Molino Trapecio de súper-presión	28
2.8 Trapecio de Súper-presión externo	29
2.9 Molino de suspensión de presión alta	31
2.10 Molino de suspensión de presión alta externo	32
2.11 Molino para polvos (1)	33
2.12 Molino para polvos (2)	27
2.13 Molino de rodillos Raymond	34
2.14 Molino de rodillos MSB	36
2.15 Principio de trabajo de molino de rodillos MSB	36
3.1 Máquina cortadora en vista isométrica.	47
3.2 Eje y aspas de corte.	47
3.3: vistas en isometría del embudo, eje y rodamientos.	48
3.4: Sistema de transmisión de potencia.	49
3.5: Ducto que comunica, la cortadora con la tolva dosificadora.	49
3.6: filos de la máquina moledora.	50
3.7: vista lateral de filos y tobogán	51
3.8: Muestra proceso de laminación.	52
3.9: Ejes y filos de corte	53
3.10: Máquina moledora de dos ejes vista lateral.	53
3.11: Cono de Molienda y sistema de transmisión de potencia.	54
3.12: Máquina moledora de Cono.	55
3.13: Eje de la moledora de martillo	56
3.14: Moledora de martillo	56
3.15: Explosión de máquina moledora de un eje	62
4.1: Herramienta de corte.	64
4.2: Diagrama de fuerzas en el eje.	69
4.3: Diagrama de fuerzas en el plano XY.	69
4.4: Esquema de montaje de ruedas catalinas en la máquina.	70
4.5 Diagrama de corte y momento.	71
4.6: diagrama de fuerzas en el plano XZ.	72
4.7 Diagrama de corte y momento en el plano XZ	72
4.8: Geometría del eje planteada.	73
4.9: Dimensiones finales de eje.	76
4.10: Diagrama de fuerzas en la base del motor.	79

Diseño de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.

v

4.11: Vista del soporte base para motor, muestra cordón de soldadura	80
4.12: Caja en isometría, vista de bases para el motor.	80
4.12.1: Vista lateral de barras para soporte de motor	81
4.13: Geometría y ubicación del motor.	82
4.14: Diagrama de corte.	82
4.15: Diagrama de momento.	83
4.16: Caja o tolva. Máquina moledora.	84
4.17: Elementos de máquina en la tolva.	85
5.1: Precio de molino de martillo.	89
5.2: Molino de martillo comercial.	90
5.3: Precio de molino.	90
5.4: Molino de martillo.	91

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1 Introducción

En la actualidad el hombre y la industria se han visto en la necesidad de ingeniar soluciones ante todos los obstáculos que se presentan en los diferentes procesos de producción, adaptándose a las diferentes condiciones que le muestra la naturaleza a través de las materias primas, obligándolos a someter a estos compuestos primarios a determinados tratamientos y procesos, para poder darles un uso adecuado y a conveniencia. El presente trabajo de grado propone diseñar una máquina moledora de compuesto higrópico, basándose en un estudio minucioso de las condiciones de trabajo y operación, elementos de diseño y materia prima presentes en la línea de producción de una planta de pintura.

1.2 Situación problemática

DuPont es una compañía ubicada en la avenida Eugenio Mendoza, Zona Industrial Carabobo. Valencia – Venezuela, con más de 200 años de existencia ofreciendo productos, tecnologías y servicios innovadores que mejoran la vida de las personas alrededor del mundo. Brinda soluciones, basadas en la ciencia, a mercados como: agricultura, nutrición,

2 *Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higrópicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

electrónica, comunicación, seguridad y protección, casa y construcción, transporte, indumentaria y textil. La Planta de Valencia se establece para cubrir el mercado de pinturas de cubrimiento para acabados automotrices, dirigido principalmente a las nuevas plantas de ensamblaje de vehículos que se establecen en el país.

El proceso comienza con la llegada de la materia prima a la empresa, la cual se compone básicamente de Acido Benzoico y Neopentilglicol, que son los principales componentes en la producción de resinas de poliéster y revestimientos en polvo, provenientes de diferentes empresas nacionales e internacionales. Esta llega empaquetada en sacos de veinticinco kilogramos, los cuales son destapados manualmente por los operadores y vertidos en los silos de almacenamiento respectivos, luego son agregados al proceso en dosificaciones precisas para el mezclado de las mismas. Posteriormente, la materia prima pasa por varios procesos y tratamientos hasta la configuración de la pintura.

En la actualidad la materia prima es agregada a los silos en forma manual de la siguiente manera:

1. El saco es colocado en el suelo y luego es golpeado con un tubo para eliminar los terrones más grandes formados por la presión generada por el apilamiento de sacos y la humedad.
2. Se abre el saco y se verifica si en él todavía quedan terrones de aglutinado.
3. Se termina de eliminar las rocas más pequeñas con las manos o herramientas si es necesario.
4. Se agrega la materia prima en los silos de almacenamiento.

Durante el proceso se expone al trabajador sensible o alérgico a estos materiales, a la aparición de reacciones alérgicas, intoxicaciones o cualquier tipo de enfermedades ocupacionales y lesiones. Este proceso trae retrasos en la producción debido a la acumulación de los sacos para la verificación del estado del material, lo que convierte el proceso en poco eficiente. Además de condiciones disergonómicas de trabajo, se observa la pérdida de tiempo, energía y de materia prima esparcida en el suelo que constituyen pérdidas para la producción.

La empresa Vemeca C.A, ubicada en la calle Norte Sur 3, c/c Av. Este Oeste 4, N° 67-50, zona industrial, Municipio Norte Apartado 1143-Valencia-Carabobo, dedicada al

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

3 *Capítulo 1.*

diseño, fabricación e instalación de máquinas y equipos que brindan soluciones industriales de tipo metal-mecánico, tanques, vigas especiales, estructuras, silos, plataformas, entre otros. Trabajando con el apoyo y experiencia de la empresa Vemeca C.A., se desea diseñar una máquina que permita pulverizar los aglutinados de forma rápida y eficiente, que disminuya el tiempo del proceso en comparación con el actual, aumente la productividad, disminuya la acción del operador, reduzca los factores de riesgos al momento de eliminar los aglutinados manualmente, permita reducir los gastos por indemnizaciones o en tratamientos de enfermedades ocupacionales y lesiones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una máquina moledora que permita pulverizar el aglutinado de compuestos higroscópicos en planta de procesamiento de pinturas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información concerniente a los procesos de molinería para identificar los diferentes tipos de molinos disponibles.
- Establecer condiciones de operación en régimen de seguridad para garantizar un correcto funcionamiento dentro de la planta.
- Analizar las condiciones ambientales necesarias para el manejo de la materia prima y garantizar la obtención de un material en óptimas condiciones luego del proceso de molienda.
- Desarrollar el diseño de la solución propuesta de la máquina moledora.

1.4 Justificación

La empresa Dupont Valencia-Venezuela se encuentra, en la actualidad, en la búsqueda de mejoras continuas de sus procesos productivos, para ello es necesario implementar y fomentar nuevas y rentables estrategias que permitan mantener la eficiencia de las líneas de producción. De allí la importancia que tiene para Dupont, el aporte de la máquina moledora de aglutinado de compuestos higroscópicos, al inicio de la línea de fabricación de pinturas, en la etapa de dosificación de materia prima al proceso. Debido a que se ha detectado una lista de problemas que afecta directamente la garantía de calidad de

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

4 *Diseño de una máquina moladora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

los productos y el retraso en entrega de la materia prima, además de la seguridad de los trabajadores que afectan la calidad de los servicios prestados.

Con la propuesta del diseño de una máquina moladora de aglutinado de compuestos higróspicos, se pretende disminuir el tiempo de agregado de material a las tolvas dosificadoras, para aumentar la productividad y disminuir el esfuerzo físico de los trabajadores y evitar lesiones laborales, y enfermedades ocupacionales para así aumentar la eficiencia y la calidad en los productos ofrecidos por la empresa. Como tesis de la empresa Vemeca se desea lograr dejar un trabajo de alta calidad que sirva como base para el desarrollo de siguientes propuestas generadas por la creciente demanda y crecimiento industrial, mantener la imagen y proyección de la empresa en la solución de problemas industriales.

Con el cumplimiento de los objetivos específicos del presente trabajo, se podrá aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, y alcanzar el título de Ingeniero Mecánico, en la magnífica Universidad de Carabobo.

1.5 Alcance

El presente trabajo de investigación pretende satisfacer los objetivos puntuales propuestos por el mismo, ofreciendo la propuesta más eficiente de solución a la serie de inconvenientes que se suscitan en la empresa DuPont, donde se generan grandes pérdidas de tiempo en el agregado del material, disminución de la productividad, grandes esfuerzos físicos y severas lesiones por parte de los trabajadores.

Con base en el diseño que se desea proponer, la empresa DuPont tendrá la opción de llevar a cabo la construcción implementar la alternativa de una máquina moladora dentro de sus instalaciones la cual solucionará los problemas que presentan en la actualidad.

1.6 Limitaciones

- Apoyo y cooperación de la empresa Vemeca.
- Acceso a las instalaciones de la empresa Dupont.
- Disponibilidad de la información de la empresa Dupont.

1.7 Antecedentes

Martínez, Valdéz, Díaz, Maturell, & Vega, (2005) partiendo del análisis energético y adaptando el método de cálculo propuesto por Gariachkin para el órgano de trilla de granos, se obtienen las expresiones que permiten determinar el momento de inercia del rotor que garantiza un régimen de trabajo estable de éste. Se elaboró un programa en MathCAD para la evaluación del modelo y se compararon los resultados con el momento de inercia del rotor de un molino de producción nacional, determinado experimentalmente. Sobre la base de la comparación, se brindan recomendaciones para el perfeccionamiento de dicho molino.^[10]

Parida et al., (2002) analizaron las fallas de una bola y del eje del molino pulverizador de carbón. Encontraron que el eje, hecho de acero ES 25, presentó falla por fatiga. Las grietas de fatiga se originaron en la zona de la chaveta, inusualmente desde el borde superior hasta el inferior. Presencia de inclusiones de sulfuro de manganeso alargadas debido al tratamiento inadecuado de calor, se redujo la ductilidad y tenacidad del material, e hizo así los materiales más propensos al fracaso. Los ejes por lo general se encuentran sujetos a fuerzas torsionales y axiales, éstas cargas hacen aumentar los esfuerzos dentro del sistema, generando fatiga en el eje, disminuyendo su diámetro, grietas y doblez. Aquí entra en juego la microestructura del material del eje, y cumple un gran papel en la escogencia del material a utilizar.^[12]

Bazin, Fortin, Hodouin, & Cayouette, (2004) realizaron en los laboratorios, pruebas de flotación semi-bach (proceso de evaluación continua) a dos muestras diferentes de mineral de sulfuro de varios grados de reducción en su tamaño de grano, las curvas de selectividad demostró que algunos granos son más sensibles a los cambios de reducción de tamaños en el proceso de molienda que otros que, sugieren asociaciones preferenciales de minerales que puede existir en los granos.^[2]

6 *Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

Salas, Benzo, Gonzalez, Marcano, & Gomez (2009), realizaron estudios de la transformación mecanoquímica de $Ca(OH)_2 - (NH_4)_2HPO_4$ con diferentes radios 1; 1.5; 1.67 y 1.75, se realizó en diferentes periodos de tiempo desde 10 minutos hasta 24 horas en un molino de vibración horizontal usando bolas de acero y bolas de agata. Cada fase de transformación obtenida en cada molienda fue caracterizada por difracción de rayos-X, espectroscopía infrarroja y microscopía electrónica de transmisión. La transformación completa a la hidroxiapatita (componente de materiales cerámicos) se llevo a cabo durante las primeras 5 horas de molienda, para Ca/p 1.5 a 1.7, cuando la molienda se llevó a cabo con los viales de acero y bolas. La contaminación no fue significativa para los periodos de molienda estudiados para ambos medios de molienda. ^[15]

Shaw, Karunakaran, & Tabil (2009) analizaron el efecto de la penetración con explosión de vapor, el proceso de la temperatura, el tamaño de partículas de la materia prima y el contenido de humedad, se evaluó la calidad física de los granos molidos producidos a partir de madera de álamo y paja de trigo molido; después de la preparación de materias primas que intervienen, y también el pre-tratamiento y acondicionamiento de la humedad (9 y 15%, condiciones húmedas). Estos tratamientos ayudan aumentar la calidad de los granos y hacen más fácil su tratamiento de reducción de dimensiones, esto disminuye los tiempos de reducción de grano. ^[16]

Ramírez, Johnston, McAloon, Yee, & Singh (2007) estudiaron la molienda húmeda de maíz convencional, que es un proceso diseñado para la recuperación y purificación de almidón y co-productos varios (germen, gluten, fibra y licor de maceración) El total de almidón producido por la industria de molienda húmeda en los EE.UU. en 2004 igualó kg 21.5billones, incluyendo almidones y féculas utilizado para edulcorantes y la producción de etanol. Ingeniería de procesos y modelos de costos para un proceso de molienda húmeda de maíz (de remojo y instalaciones de molienda) han sido desarrollados para una planta de procesamiento con una capacidad de 2.54millones de kg de maíz por día (100.000 bu / día). El proceso incluye la limpieza del grano, remojo, la separación de germen y la recuperación, o separación y recuperación de gluten, y la separación del almidón.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

Información para el desarrollo de los modelos se obtuvo a partir de una variedad de fuentes técnicas, incluidas las compañías comerciales de molienda húmeda, expertos de la industria y proveedores de equipos. Los modelos fueron desarrollados utilizando el proceso y costo de programas de simulación, e incluyen el procesamiento de información tales como la composición y tasas del proceso de varias corrientes, las descripciones de los diferentes. Esta las operaciones de pagarés unidad y un desglose detallado del funcionamiento y costo de capital del instalaciones. Basándose en la información del modelo, se puede estimar el costo de la producción por kilogramo de almidón mediante el precio de los insumos para el maíz y otros productos de molienda húmeda. También se ha utilizado el modelo para llevar a cabo una variedad de estudios de sensibilidad, utilizando los costos de materia prima, el maíz, variaciones en la composición, y la venta de gluten de maíz húmedo. El modelo también se está utilizando como caso base para el desarrollo de modelos para probar tecnologías alternativas de transformación y para ayudar en la expansión y comercialización de nuevas tecnologías de la molienda húmeda. ^[13]

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

Desde los comienzos de la civilización, el hombre se ha beneficiado de los distintos tipos de cereales para fabricar alimentos, en ese entonces el método de molienda más primitivo fue el empleo de dos piedras, más o menos duras, planas y pulidas, entre las que se machacaban los cereales hasta conseguir una harina con la suficiente finura, para ser asimilada por el organismo. A través de la historia, los molinos y el proceso de molienda se han establecido en nuestra sociedad y poco a poco en una gran cantidad de nuestros procesos industriales.

2.1 La molienda

El término molienda se refiere a la pulverización y a la desintegración del material sólido. Específicamente, la desintegración se refiere a la reducción del tamaño de agregados de partículas blandas débilmente ligadas entre sí. Es decir, que no se produce ningún cambio en el tamaño de las partículas fundamentales de la mezcla. La pulverización, por su parte, implica la reducción del tamaño de las partículas fundamentales de las sustancias.

La molienda es una operación de gran importancia en la actualidad ya que implica una transformación física de la materia prima, sin producir alteración alguna en su naturaleza. Esta nos ha permitido adaptarnos a las diferentes condiciones de operación de

todos los procesos del mundo, llevando el tamaño de los elementos a los requeridos para luego se procesados o mezclados con los demás componentes de un producto final.

El proceso de molienda ha ido de la mano con el desarrollo tecnológico de las empresas, formando parte de un gran número de procesos industriales en nuestra actualidad, obligando al desarrollo de nuevas tecnologías para diversos tipos de moliendas que requieren de tratamientos especiales. [3]

2.2 La molienda en la industria

Hoy en día, en la industria farmacéutica las materias primas de las que se parte para elaborar algún medicamento suelen tener un tamaño de partícula demasiado grande como para darle uso; debido a esto, es común la reducción de tamaño. La manera más empleada para la subdivisión de partículas sólidas grandes en partículas más pequeñas es la trituración y la molienda o molturación.

En la industria agropecuaria, el proceso de molienda es de gran importancia, puesto que gracias a ésta, es posible la fabricación de alimentos para diversos tipos de animales como ganado, cerdos, aves, etc., moliendo y mezclando diversos componentes necesarios para la buena alimentación, el desarrollo y crecimiento de los animales abriendo el camino para animales más saludables y grandes, traducándose en aumento del peso promedio a la hora de la venta, tamaño y otras características que mejoran los ingreso de los productores. Dentro de estos procesos entra también la fabricación de alimentos para el consumo humano, una de las más características es la producción de harinas en todas sus presentaciones, la producción de avena. (1995)

Otro de los campos de aplicación de los molinos y el proceso de molienda es la fabricación de cemento y extracción minerales, donde para cada uno de los casos, es indispensable y previo proceso de molienda para la obtención de la materia requerida, donde las grandes rocas extraídas de los cerros tienen que pasar por procesos de reducción de tamaño hasta llegar a dimensiones de fácil manejo para posteriormente ser utilizadas en diversos procesos.

El proceso de molienda se clasifica en dos grandes grupos, la molienda seca y la molienda húmeda, las cuales como sus nombres lo indican, los niveles de humedad en una soy mucho menores que en la otra, ocasionando esto diversidad en las variables de trabajo, como por ejemplo, las que se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 2.1 Tipos de molienda

Molienda Seca	Molienda Húmeda
Requiere más potencia por tonelada tratada	Requiere menos potencia por tonelada tratada
Requiere de equipos adicionales para el tratamiento de polvos	No requiere de equipos adicionales para el tratamiento de polvos
Consume menos revestimiento	Consume más revestimiento por efecto de la corrosión

Tomada de la pag

Dependiendo del tipo de material que se requiera, será el proceso de molienda escogido para su tratamiento. Por esta misma razón, según el material a tratar, será escogido el molino más apropiado para su proceso. Como se ha desarrollado anteriormente el proceso de molienda constituye la reducción de rocas y terrones a tamaños manejables por nuestras industrias. Unas de las sustancias que producen aglutinamientos y terrones, aparte de las comunes conocidas son los compuestos higróspicos.

2.3 Compuestos higróspicos

Si se toma del ambiente externo un pedazo de madera en equilibrio con el contenido de humedad que se encuentra en el aire y se lo lleva a un ambiente calentado y con un contenido menor de vapor de agua, la madera empieza a ceder parte de su humedad al aire seco del ambiente. Al perder la madera su humedad, se “encoge” causando la formación de grietas o deformaciones. El mismo daño se puede detectar en el papel, en los tejidos, en algunos materiales plásticos, en la cera, en las frutas y en las verduras y en otros materiales que tienen la propiedad de absorber y ceder la humedad.

2.4 Higroscopia: palabra que deriva del griego ὑγρός *hygros* 'húmedo, mojado' y σκοπεῖν *skopein* 'observar, mirar'. Se define higroscópico todo material que tiene las células que absorben el agua, causando una variación de sus dimensiones. De tipo diferente es la absorción hidrófila, que consiste en la absorción de agua entre las células, de la cual no

deriva ninguna variación de las dimensiones. Los materiales higroscópicos siempre tienden a alcanzar un equilibrio con el ambiente que los rodea. Es justamente las variaciones de las dimensiones de los materiales, debida a un cambio de la humedad relativa, que puede condicionar la manejabilidad de los materiales y los procesos de elaboración, hasta en mayor medida que la temperatura. Este tipo de compuestos producen grandes inconvenientes a las industrias donde intervienen en el proceso de producción, pues en su almacenamiento, y por su naturaleza, absorben humedad y se solidifican, obligando a los operarios a aplicar métodos de molienda para devolverlos a su estado original.

2.4.1 La protección de los materiales higroscópicos

Se puede garantizar solamente mediante la estabilidad del ambiente en que se han colocado. Este objetivo se consigue mediante la deshumidificación cuando el aire se convierte en aire demasiado húmedo y mediante la humidificación cuando el aire está demasiado seco.

Los núcleos higroscópicos, hacen referencia a las partículas de sales o gotas de soluciones salinas, procedentes principalmente de los mares y océanos, sobre las cuales se condensa la humedad del aire en la atmósfera. Una vez en la atmósfera empiezan por entrar en contacto con las gotitas de humedad y se disuelven en ellas. Como la presión de vapor de la disolución es inferior a la del agua pura, se va condensando en ella el vapor, hasta formar gotas mayores que acaban por precipitarse en lluvia. Uno de los métodos para provocar la lluvia artificialmente consiste precisamente en diseminar *núcleos higroscópicos* en el seno de las nubes.

Algunos de los compuestos higroscópicos reaccionan químicamente con el agua como los hidruros o los metales alcalinos. Otros la atrapan como agua de hidratación en su estructura cristalina como es el caso del sulfato de sodio. El agua también puede adsorberse físicamente. En estos dos últimos casos, la retención es reversible y el agua puede ser desorbida. En el primer caso, al haber reaccionado, no se puede recuperar de forma simple.

Para cada sustancia existe una humedad que se llama de equilibrio, es decir, un contenido de humedad tal de la atmósfera a la cual el material capta humedad del ambiente a la misma velocidad que la libera. Si la humedad ambiente es menor que este valor de equilibrio, el material se secará, si la humedad ambiente es mayor, se humedecerá. Así,

12 Diseño de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.

ciertos minerales como el cloruro de calcio son capaces de captar agua de la atmósfera en casi cualquier condición, porque su humedad de equilibrio es muy alta. Sustancias como estas son usadas como desecadoras. Otros ejemplos son el ácido sulfúrico, el gel de sílice, etc.

2.4.2 Algunos de los compuestos higroscópicos más conocidos son:

- Cloruro cálcico, usado como medicamento en afecciones ligadas a exceso o falta de calcio.
- Cloruro de sodio, sal común.
- Hidróxido de sodio, usado en la fabricación de papel, tejido y detergente.
- Ácido sulfúrico, muy corrosivo se utiliza para obtener fertilizantes.
- Silica gel, gel de sílice. Se encuentra habitualmente en la vida cotidiana como pequeñas esferas envasadas en bolsas, para controlar la humedad.
- Miel, la miel producida por las abejas, también es higroscópica.
- Neopentil glicol.
- Acido Benzoico.

2.4.3 Características de NEOPENTILGLICOL

Tabla 2.2 Neopentilglicol

	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas.	Agua pulverizada, polvo.
EXPLOSION	Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	Evitar el depósito del polvo; sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión del polvo.	
EXPOSICION			
INHALACION	<u>Tos.</u>	Evitar la inhalación de polvo fino y niebla. Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
PIEL	<u>Enrojecimiento.</u>	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
OJOS	<u>Enrojecimiento.</u> Dolor.	Gafas de protección de seguridad,	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
INGESTION	Sensación de quemazón.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

Tomada de: Recolección, Transporte y Disposición final de Residuos Industriales, Patológicos, Especiales y Peligrosos. Disponible: http://www.ecosur.net/Sustancias%20Peligrosas/Neopentil_glicol.html. [Consulta: 2010, Junio 02].

Tabla 2.3 Derrames, fugas, almacenamiento, envasado y etiquetado de Neopentilglicol

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente. Eliminar el residuo con agua pulverizada. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas).	Separado de oxidantes. Mantener en lugar seco.	NU (Transporte): No clasificado CE: No clasificado

Tomada de: Recolección, Transporte y Disposición final de Residuos Industriales, Patológicos, Especiales y Peligrosos. Disponible:
http://www.ecosur.net/Sustancias%20Peligrosas/Neopentil_glicol.html. [Consulta: 2010, Junio 02].

Tabla 2.4 Datos importantes de Neopentilglicol

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO	VIAS DE EXPOSICION
	Cristales higroscópicos de incoloro a blanco.	La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol o por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION
	Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.	La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas pulverizadas o dispersadas en el aire especialmente en forma de polvo.
PELIGROS QUIMICOS	Reacciona violentamente con oxidantes.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION
LIMITES DE EXPOSICION	TLV no establecido. MAK no establecido.	La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio.

PROPIEDADES FÍSICAS	Punto de ebullición: 210°C	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.0
	Punto de fusión: 127°C	Punto de inflamación: 107°C
	Densidad: 1.1 g/cm ³	Temperatura de auto ignición: 388°C
	Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 83	Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.1-11.4
	Presión de vapor, Pa a 20°C: 30	Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.84
	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.6	
NOTAS		
Los efectos de la exposición de ésta sustancia no han sido investigados adecuadamente. Código NFPA: H 1; F 1; R 0;		

Tomada de: **Recolección, Transporte y Disposición final de Residuos Industriales, Patológicos, Especiales y Peligrosos. Disponible:**
[http://www.ecosur.net/Sustancias%20Peligrosas/Neopentil glicol.html](http://www.ecosur.net/Sustancias%20Peligrosas/Neopentil%20glicol.html). [Consulta: 2010, Junio 02].

2.4.4 Características de ACIDO BENZOICO

Tabla 2.5 Características de Acido Benzoico

ACIDO BENZOICO Acido bencenocarboxilico Acido fenilcarboxilico C ₇ H ₆ O ₂ /C ₆ H ₅ COOH Masa molecular: 122.1			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	LUCHA CONTRA INCENDIOS/ PRIMEROS AUXILIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	Evitar el depósito del polvo; sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión del polvo.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

16 *Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróscopos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

• Inhalacion	Tos.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
• Piel	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
• Ojos	Enrojecimiento, dolor.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto, si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• Ingestión	Dolor abdominal, nauseas, vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca, provocar el vomito (UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!) y proporcionar asistencia médica.

Tomada de: **Recolección, Transporte y Disposición final de Residuos Industriales, Patológicos, Especiales y Peligrosos. Disponible:**

http://www.ecosur.net/Sustancias%20Peligrosas/acido_benzoico.html. [Consulta: 2010, Junio 06].

Tabla 2.6 Derrames, fugas y almacenamiento de acido benzoico

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico y eliminar el residuo con agua abundante.	Ventilación a ras del suelo.

Tomada de: **Recolección, Transporte y Disposición final de Residuos Industriales, Patológicos, Especiales y Peligrosos. Disponible:**

http://www.ecosur.net/Sustancias%20Peligrosas/acido_benzoico.html. [Consulta: 2010, Junio 06].

Tabla 2.7 Datos Importantes Acido Benzoico

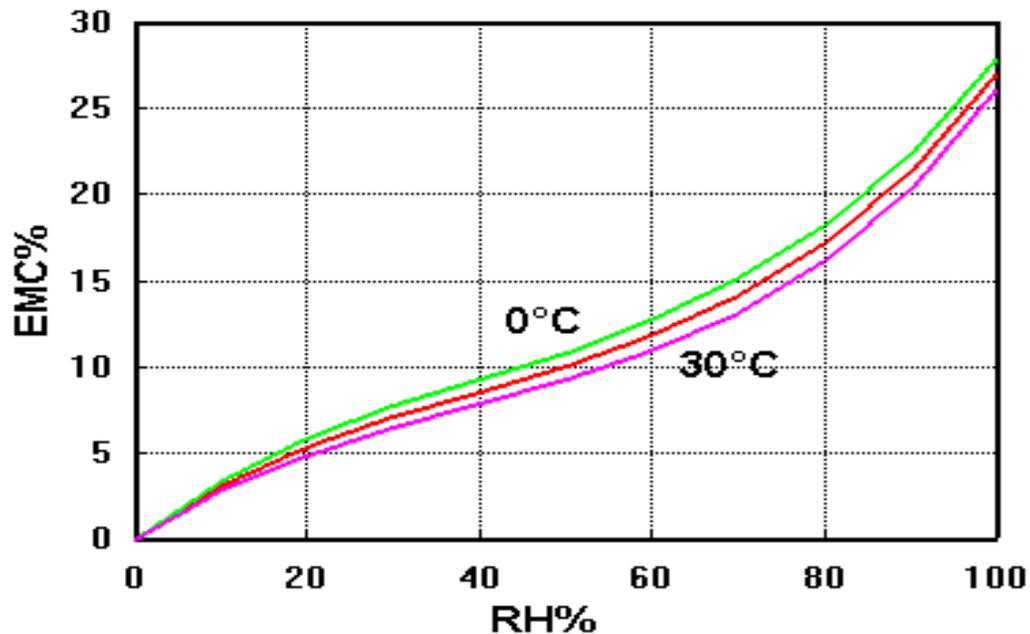
D A T O S I M P O R T A N T E	ESTADO FISICO; ASPECTO Polvo o cristales blancos.	RIESGO DE INHALACION No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire por evaporación de esta sustancia a 20C.
	PELIGROS FISICOS Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.	EFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.
PROPIEDADES FISICAS	PELIGROS QUIMICOS La disolución en agua es un acido débil. Reacciona con oxidantes.	EFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido.	
	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.	
	Punto de ebullición: 249C Punto de fusión: 122C (véanse Notas) Densidad relativa (agua = 1): 1.3 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20C: 0.29 Presión de vapor, Pa a 96C: 133 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4.2	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20C (aire = 1): 1 Punto de inflamación: 121C (c.c.) Temperatura de auto ignición: 570C Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.87
NOTAS		
La sustancia comienza a sublimarse a 100C. Código NFPA: H 2; F 1; R 0;		

Tomada de: Recolección, Transporte y Disposición final de Residuos Industriales, Patológicos, Especiales y Peligrosos. Disponible: http://www.ecosur.net/Sustancias%20Peligrosas/acido_benzoico.html. [Consulta: 2010, Junio 06].

2.4.5 Absorción de agua en materiales higróscopos

La forma típica de las curvas de absorción de agua para los materiales Higróscopos es la siguiente:

Tabla 2.8 Ejemplo para una madera: contenido de humedad en equilibrio frente a Humedad relativa



Tomada de: Absorción de agua en materiales higróscopos. Disponible: http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Prob7_17InfoAdicional.pdf. [Consulta: 2010, Junio 06].

2.5 Tipos de molinos para cada tipo de molienda necesaria, entre los más conocidos están los siguientes:

2.5.1 Molinos de piedras. (Stone mill)

También llamados molinos manchegos, fueron los primeros molinos utilizados en la agricultura desde tiempos remotos. Estos molinos están compuestos por un eje horizontal o vertical, posee dos muelas, una esta fija en la caja del molino y es llamada "Solera", y la otra es móvil, y gira a un número de revoluciones elevada, esta última es llamada

“volantera”. Los granos penetran axialmente por el llamado ojo del molino, el material triturado o la harina, sale por la fuerza centrífuga, en sentido radial. El diámetro de estas piedras oscila entre 20 y 50 cm, con una velocidad de giro de 250 y 1000 RPM. Su efecto es producir una presión tan intensa entre las superficies de las muelas o piedras, que destruye la envuelta de los granos y su estructura interna.



Figura 2.1 Molino de piedra.

Fuente: <http://www.los-seibos.com/paginas/molinopiedra.html>

2.5.2 Molinos de discos metálicos

Este tipo de molino, son similares a los molinos de piedras, puede tener el eje de forma horizontal o vertical. Están formados por dos discos estriados o provistos de dientes, cuyo diámetro es de 20 a 26 cm, y su velocidad de giro es de 500 a 800 RPM. Como es el caso del molino de piedra, un disco metálico gira y el otro se mantiene fijo, pudiendo regular la distancia entre los discos, variando así las dimensiones del material de molienda según sea el gusto.

2.5.3 Molino de barras o cilindros estriados (ROD MILL)

El molino de Barras está formado por un cuerpo cilíndrico de eje horizontal, que en su interior cuenta con barras (dispuestas a lo largo del eje) cilíndricas sueltas, de longitud aproximadamente igual a la del cuerpo del molino. Éste, gira gracias a que posee una

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

20 *Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróscopos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

corona, la cual está acoplada a un piñón que se acciona por un motor generalmente eléctrico. Las barras se elevan, rodando por las paredes del cilindro hasta una cierta altura, y luego caen efectuando un movimiento que se denomina “de cascada”. La rotura del material que se encuentra en el interior del cuerpo del cilindro y en contacto con las barras, se produce por frotamiento entre barras y superficie del cilindro, o entre barras, y por percusión como consecuencia de la caída de las barras desde cierta altura.

El material ingresa por el eje, en un extremo del cilindro y sale por el otro extremo o por el medio del cilindro, según las distintas formas de descarga: por rebalse (se emplea en molienda húmeda), periférica central y final (se emplean tanto en molienda húmeda como en molienda seca).

La relación longitud/diámetro se encuentra acotada entre 1,2/1 y 1,6/1, los diámetros mayores oscilan entre 3 y 4 metros. La velocidad usual se encuentra entre el 60% y 68% de la crítica, la máxima puede alcanzar hasta el 70%. El tamaño del material de alimentación (a moler) debe ser menor o igual a 1” (25,4mm), y el de salida es de 4 a 35 mallas (pasa el agujero del tamiz de x mallas, lo que significa x agujeros por pulgada lineal del tamiz).

El cuerpo cilíndrico se construye con chapas de acero curvadas y unidas entre sí por soldadura eléctrica. La cabeza o fondo del cilindro se construye en acero moldeado o fundición, y es de forma ligeramente abombada o cónica. Habitualmente los ejes o muñones están fundidos con la cabeza pero también pueden estar ensamblados con bridas atornilladas. Los muñones apoyan sobre cojinetes, uno en cada extremo. La parte cilíndrica, los fondos y la cámara de molienda, están revestidos interiormente por placas atornilladas de acero al manganeso o al cromo-molibdeno. Las barras generalmente, son de acero al carbono y su desgaste es alrededor de cinco veces mayor al de los revestimientos, en las mismas condiciones de trabajo.

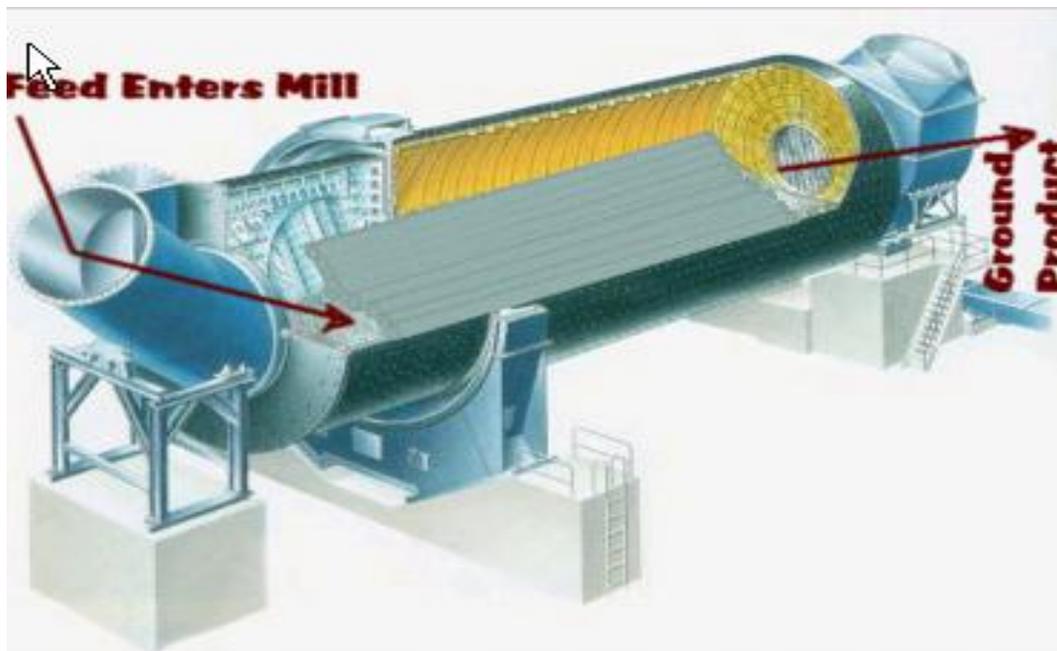


Figura 2.2 Molino de barras

Fuente: http://es.sbmchina.com/product/grinding/ball-mill/ball_mill.php?gclid=CKiPpaaAhakCFZAs7AodTj-apg

2.5.4 Molino de bolas (BALL MILL)

El molino de Bolas, análogamente al de Barras, está formado por un cuerpo cilíndrico de eje horizontal, que en su interior tiene bolas libres. El cuerpo gira merced al accionamiento de un motor, el cual mueve un piñón que engrana con una corona que tiene el cuerpo cilíndrico.

Las bolas se mueven haciendo el efecto “de cascada”, rompiendo el material que se encuentra en la cámara de molienda mediante fricción y percusión. El material a moler ingresa por un extremo y sale por el opuesto. Existen dos formas de descarga: por rebalse (se utiliza para molienda húmeda) y por diafragma (se utiliza para molienda húmeda y seca).

La relación longitud/diámetro se encuentra acotada entre 1/1 y 5/1, los diámetros mayores oscilan entre 3 y 4 metros. La velocidad usual se encuentra entre el 65% y 75% de la crítica, la máxima puede alcanzar hasta el 90%.

22 *Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

El tamaño del material de alimentación (a moler) es función de la dureza del mismo; para material duro, el 80% de la alimentación debe ser menor a 1". El tamaño de salida es inferior a 35 mallas.

En lo que hace a los materiales de recubrimiento interior de la cámara de molienda, y de las bolas, corresponden análogas consideraciones a las de los molinos de Barras.

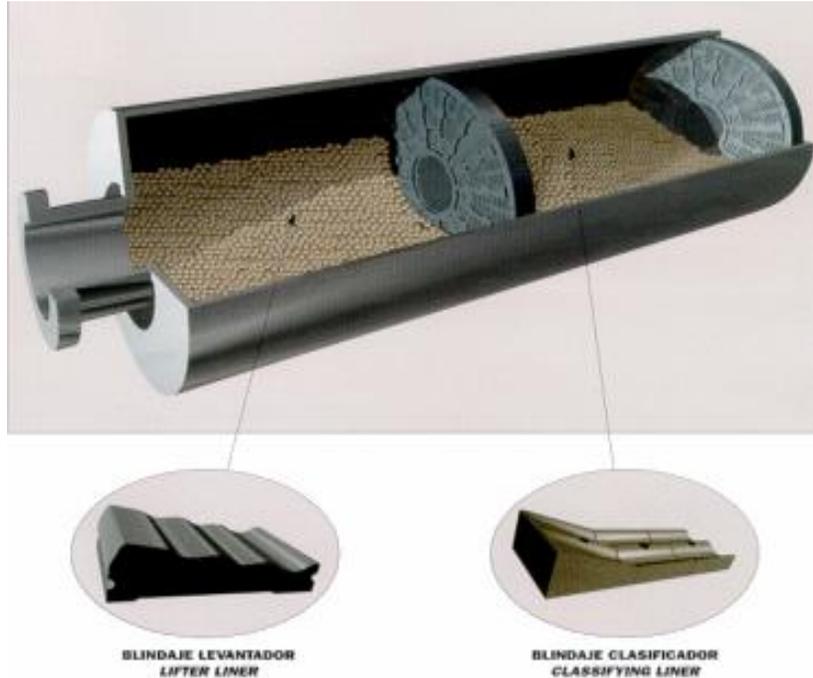


Figura 2.3. Molino de bolas

Fuente: http://es.sbmchina.com/product/grinding/ball-mill/ball_mill.php?gclid=CKiPpaaAhakCFZAs7AodTj-apg

5.5.5 Molino de compartimientos múltiples

Constan de dos compartimentos separados en el cilindro del molino. Éstos pueden contener barras y bolas, o bolas grandes y pequeñas. Estos tipos de molinos se utilizan para hacer en un mismo aparato la molienda gruesa y la fina.

La relación longitud/diámetro se encuentra acotada entre 3/1 y 5/1, los diámetros mayores oscilan entre 1,2 y 4,5 metros y las longitudes entre 6 y 14 metros. Se han utilizado en la industria del cemento y resultan también adecuados para tratar grandes volúmenes de materiales duros y abrasivos.

5.5.6 Molino de rodillos

Es muy utilizado en las plantas de molienda de cemento (vía seca). El molino consta de tres rodillos moledores grandes, los cuales son mantenidos a presión por medio de cilindros hidráulicos, sobre un mecanismo giratorio con forma de huella. El material a moler se introduce a través de una boca de alimentación ubicada al costado de la estructura principal, y cae directamente en las huellas de molido (pistas).

A medida que el material es molido, se va desplazando por fuerza centrífuga, hacia los bordes del sistema giratorio, ubicándose en el perímetro. Simultáneamente, una corriente lateral de gas caliente entra fuertemente a la zona de molido a través de un anillo que la rodea; por su acción, el material molido es levantado hacia la zona superior de la caja y el producto de medida aceptable pasa a través de un clasificador hacia una puerta de descarga.

El material con medida superior, cae nuevamente a la zona de molido para un molido “adicional” y así lograr la reducción requerida. Este molino admite materiales de alimentación de hasta 50 mm (2”). Tiene una capacidad de molienda entre 50 y 100 tn/hr; hay unidades que admiten tamaños de alimentación mayores y por ende tienen mayores capacidades de producción.

El consumo de energía es de alrededor del 50% de la energía consumida por un molino de Bolas que realice un trabajo equivalente.

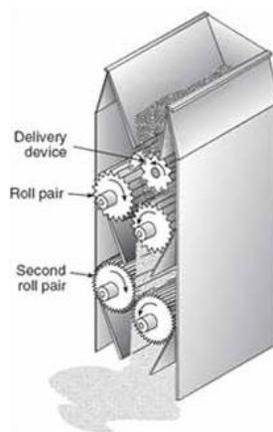


Figura 2.4 Molino de rodillos

Fuente: <http://www.revistavirtualpro.com/revista/imagenes/2006/febrero/imagenes/mt1.jpg&>

2.5.7 Molino DOPPEL – ROTATOR O DOUBLE ROTATOR

El molino Doppel-rotator es una instalación conformada principalmente por un molino de doble cámara con descarga periférica central, que en los últimos años está tomando un gran impulso, debido a su uso en la Industria del Cemento para la molienda del crudo además de uso muy difundido en la industria del oro, cuyo proceso de molienda en seco se llama “asado”.

Sus principales ventajas son su extraordinario bajo consumo específico de energía respecto a otros molinos y la posibilidad del uso de gas caliente de recirculación para el secado del material. Cabe recordar que el crudo en la industria del cemento está conformado en su mayor parte por piedras de caliza y arcilla que fueron extraídas de las canteras y luego trituradas.

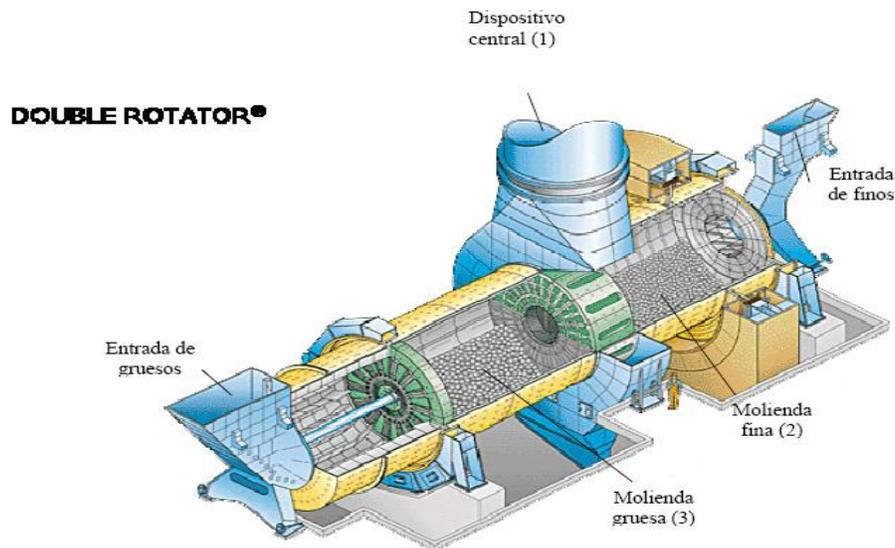


Figura 2.5 Molino DOPPEL – ROTATOR O DOUBLE ROTATOR
Fuente: http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06_Apunte%20Molienda.pdf

Cada molino, requiere que el material a moler presente ciertas características para que el proceso se lleve a cabo de manera correcta, evitando daños al equipo, garantizando un buen proceso, resultado adecuado y reduciendo el tiempo de operación.

2.6 Otros tipos de molinos más especializados son los siguientes:

2.6.1 Molino vertical de la serie LM

El molino vertical de la serie LM es un equipo avanzado de molienda de polvo el cual es diseñado en base de las tecnologías mundial que aplicamos ampliamente .Es un equipo que se dedica en la trituración, secador, molienda de polvo, transportación clasificada.

2.6.1.1 El uso y la característica:

El Molino vertical se aplica en el área de cemento, energía eléctrica, metalurgia, química, mineral etc. Se utiliza para moler los materiales de piezas, grano para productos de polvo.



Figura 2.6 Molino vertical de la serie LM

Fuente: http://www.break-day.com/es/lm_vertical_mill.htm

Características del Molino vertical de serie LM:

- Inversión más baja, por la parte de polifacético de trituración, secador, molienda, movimiento los cuales están juntados en la misma sistema sencilla y por otra parte de razonable de la colocación que ocupa un sitio de 50% de la sistema del molino de bola y lo que puede reducir más inversión.

26 *Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróscopos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

- El costo de operación más baja, la alta eficiencia del Molino vertical: aplicando el rodillo que muele el material directamente en el plano de molienda, se puede ahorrar 30%-40% el consumo de energía en comparación con el sistema del molino de bola.
- Poco desgaste: en el proceso de molienda no hay contacto entre el rodillo y el anillo, por eso el molino tendrá poco desgaste y larga vida de funcionamiento.
- La fuerte capacidad de secador, porque el viento caliente contacta a los materiales directamente en el molino, entonces el cual obtiene fuerte capacidad de secador y ahorra mucha energía. Se puede satisfacer a varias necesidades de humedad ajustando la temperatura del viento caliente.
- Operación sencilla y funcionamiento seguro. El equipo se instala con un sistema automático de control, que puede realizar el control a distancia y maneja fácil. La maquina está instalada con un accesorio que evita el contacto entre el rodillo y el plato de molienda evitando el choque y el fuerte sacudimiento.
- La estabilidad de la calidad. Porque el material se queda poco tiempo en el Molino, sería más fácil para asegurar la calidad del producto detectando los granos y el componente químico.
- Más facilidades para mantenimiento. A través de revisar el tino de aceite, revolver el brazo, será más fácil para cambiar los rodillos y placas, reduce el tiempo de mantenimiento.
- Protección del ambiente Para alcanzar las regímenes de ambiente, la maquina obtiene poco temblor, poco ruido, el empaque hermético y operación en sub-presión.

2.6.1.2 Modelos y características del Molino vertical de serie LM para mineral

Tabla 2.9 Características del Molino vertical de serie LM para mineral

contenido\parametro\Modelo		LM130K	LM150K	LM170K	LM190K	LM220K	LM240K
Diámetro central de rotario (mm)		1300	1500	1700	1900	2200	2400
capacidad (t/h)		10~30	13~40	18~57	23~72	36~114	41~128
Tamaño del producto	µm	170~45	170~45	170~45	170~45	170~45	170~45
	mesh	80~325	80~325	80~325	80~325	80~325	80~325
Proporción de humedad		≤1%	≤1%	≤1%	≤1%	≤1%	≤1%
Max tamaño de material (mm)		<38	<40	<42	<45	<50	<55
El mejor proporción de agua en el		<4%	<4%	<4%	<4%	<4%	<4%

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

material							
La proporción de agua para secar		<15%	<15%	<15%	<15%	<15%	<15%
La temperatura del viento entrado (°C)		<350	<350	<350	<350	<350	<350
La temperatura del viento salido (°C)		70~95	70~95	70~95	70~95	70~95	70~95
La potencia del motor (KW)		185~220	250~280	355~400	450~500	710~800	800~900
La dimensión	Longitud mm	3500	4200	4700	8500	10200	11700
	Ancho mm	3400	3900	4500	5600	6700	7700
	Altitud mm	5800	7100	8300	8800	10600	12200
peso (t)		48	75	90	100	125	160

Fuente: http://www.break-day.com/es/lm_vertical_mill.htm

2.6.1.3 Modelos y características del Molino vertical de serie LM para carbón

Tabla 2.10 Características del Molino vertical de serie LM para carbón

Contenido parámetro\Modelo	LM130M	LM150M	LM170M	LM190M	LM220M	LM240M	
Diámetro central del rotario (mm)	1300	1500	1700	1900	2200	2400	
peso (t/h)	10~15	16~22	20~28	26~35	35~45	40~50	
La medida del carbón (R0.08)	<15%	<15%	<15%	<15%	<15%	<15%	
La proporción de agua	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%	
La máxima medida del material (mm)	<38	<40	<42	<45	<50	<55	
La proporción de agua de material	<15%	<15%	<15%	<15%	<15%	<15%	
La temperatura del viento entrado (°C)	<350	<350	<350	<350	<350	<350	
La temperatura del viento salido (°C)	75~95	75~95	75~95	75~95	75~95	75~95	
El índice de hastelloy abrasable del carbón (HGI)	>55	>55	>55	>55	>55	>55	
La potencia del motor (KW)	185	250	315	400	500	560	
dimensión	Longitud mm	3500	4200	4700	8500	10200	11700
	Ancho mm	3400	3900	4500	5600	6700	7700
	Altitud mm	5800	7100	8300	8800	10600	12200
peso (t)		46	75	94	100	122	157

Fuente: http://www.break-day.com/es/lm_vertical_mill.htm

2.6.2 Molino Trapecio de Súper-presión

Tiene un nivel avanzado internacional y obtiene la última patente china--- molino trapecio de súper-presión. De acuerdo con las sugerencias de los consumidores, mejoramos el diseño de la base del molino de suspensión de alta presión, y ofrecemos a nuestros clientes una máquina que tiene ventajas como último modelo, eficiente, ahorro de energía. El molino trapecio de súper-presión aplica cinco patentes técnicas del molino, establece un nivel más alto en el mundo.



Figura 2.7 Molino Trapecio de Súper-presión
Fuente: http://www.lmtritadoras.com/m_5.html

2.6.2.1 Ventajas del molino trapecio de súper-presión en comparación con el molino tradicional

El diseño del rodillo y el anillo es una nueva idea. En comparación con el molino de rodillos Raymond, diseña el rodillo y el anillo como una escalera para rebajar la velocidad de caída de los materiales entre el rodillo y el anillo, alarga el tiempo de trituración de los productos, aumenta la producción de los productos. El resorte de presión es eficiente y equilibrado. El molino trapecio saca las excelencias del molino de rodillos Raymond y el molino de rodillo (suspendido), el rodillo se acopla con el resorte, la potencia radial evita el desgaste de las granulaciones grandes, alarga la duración de la máquina. El generador principal se acopla con el seleccionador de polvo, y aligera la vibración y ruido, evita la resonancia. Alta densidad y precisión de la instalación del impulso. El ventilador de tiro inducido centrífugo es eficiente y ahorra energía. En el proceso de funcionamiento, el ventilador es muy importante. El molino trapecio de súper-presión aplica un ventilador eficiente de tipo impulsor, la eficiencia del ventilador de tipo impulsor es mayor.

En comparación con el molino de rodillos Raymond, el bajo impulso del seleccionador de polvo y el espacio de la caja se regulan más convenientemente, eficacia, mejora la precisión del producto.



Figura 2.8 Trapecio de Súper-presión Externo.

Fuente: http://www.lmtrituradoras.com/m_6.html

2.6.2.2 Especificaciones de la Molino Trapecio de Súper-presión:

Tabla 2.11 Trapecio de Súper-presión

Modelo	TGM100	TGM130	TGM160
cantidad de rodillos	4	5	6
Diámetro × Altura (mm)	Φ320×200	Φ400×240	Φ440×270
Anillo interior Diámetro × Altura(mm)	Φ980×200	Φ1280×240	Φ1600×270
Velocidad del motor principal (r/min)	130	98	82
Tamaño máximo de entrada (mm)	<25	<30	<35
Tamaño (mm)	1.6~0.045 fineza alcanzada para 0.038	1.6~0.045 fineza alcanzada para 0.038	1.6~0.045 fineza alcanzada para 0.038
Capacidad (t/h)	3~8.8	6~13	13~22
Dimensiones de Caja (mm)	7300×5365×8310	9200×7000×9645	12550×5700×8355
Peso (t)	16	26.1	35

30 *Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

Nombre	Ítem	Unit	Specifications & Technical Data			
			TGM100	TGM130	TGM160	
Motor de la estructura principal	Modelo		Y225M-4	Y280M-4	Y135M1-4	
	Potencia	kW	45	90	132	
	Rev.	rpm	1480	1480	1480	
Motor del separador	Modelo		YCT200-4A	YCT200-4B	YCT225-4A	
	Potencia	kW	5.5	7.5	11	
	Rev.	rpm	125~1250	125~1250	125~1250	
Motor del elevador	Modelo		Y100L-4	Y100L2-4	Y112M-4	
	Potencia	kW	3	3	4	
	Rev.	rpm	1420	1420	1420	
Motor de la compresora	Modelo		Y225M-4	Y280M-4	Y135M1-4	
	Potencia	kW	45	90	132	
	REV	rpm	1480	1480	1480	
Motor de la trituradora de quijada	Modelo	PE	200×350	250×400	250×400	250×750
			Y160M-6	Y180L-6	Y180L-6	Y200M-6
	Potencia	KW	7.5	15	15	22
	REV	rpm	970	970	970	970
Alimentador de vibración electromagnético	Modelo		GZ2F	GZ2F	GZ3F	
	Potencia	W	150	150	200	

Fuente: http://www.lmtrituradoras.com/m_6.html

2.6.3 Molino de Suspensión de Presión Alta

El molino de suspensión de alta presión es un producto nuevo patentado que es a la base de las experiencias sobre las investigaciones de los molinos, combina la situación actual de uso de los consumidores, en vista de las necesidades del desarrollo del campo de los molinos. Y abre una nueva era que los molinos de bajo desgaste y de alta eficiencia en la historia mundial.

El molino de suspensión de alta presión se elabora varios anti-combustibles y anti-explosivos que humedad es menor a 6% con una dureza por debajo de 9.3, es utilizado ampliamente en los campos como metalurgia, materiales de construcciones, industria química, minería, construcción de autopista, obras hidráulicas, etc. El molino de suspensión de alta presión es una selección ideal para elaborar cuarzo, feldespato, calcita, caliza, talco, cerámica, mármol, granito, dolomita, mineral de hierro, baritina, ganga, carbón, etc. La fineza del producto final de los materiales puede regular entre 0.613mm y 0.033mm.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos



Figura 2.9 Molino de Suspensión de Presión Alta
Fuente: http://www.lntrituradoras.com/m_6.html

2.6.3.1 Característica del molino de suspensión de alta presión:

- Diseño particular. En la cavidad del motor principal, diseña una instalación de presión 1500kg—2000kg. De bajo la misma fuerza, la producción se eleva 10-30%, la instalación abrasivo eleva la presión de aplastamiento unos 800-1500kgf, fineza del producto final puede llegar a 1000.
- Los materiales tienen adaptabilidad buena, es adaptado de los materiales con la dureza por debajo 9.3.
- El efecto de extraído el polvo se llega a la criterio nacional completamente.

La instalación del rodillo se aplica la elaboración tecnológica de alto eficiencia y buena calidad, asegura el buen efecto hermético.

- Tiene largo período de substitución de rodillo y anillo.



Figura 2.10 Molino de Suspensión de Presión Alta Externo
Fuente: http://www.lmtrituradoras.com/m_6.html

2.6.3.2 Especificaciones del molino de suspensión de alta presión:

Tabla 2.12 Especificaciones del molino de suspensión de alta presión

Modelo	Cantidad del rodillo	Especificación del rodillo (mm)	Especificación del anillo (mm)	Tamaño de salida (mm)	Granulación del producto final (mm)	Capacidad (kg/h)	Potencia total (Kw)	Peso (t)
YGM65	3	Φ210×150	Φ650×150	≤15	0.033-0.613	0.4-1.8	15	3.6
YGM75	3	Φ260×150	Φ780×150	≤15	0.033-0.613	1-3	18.5	4.8
YGM85	3	Φ270×150	Φ830×150	≤20	0.033-0.613	1.2-4	22	8
YGM95	4	Φ310×170	Φ950×170	≤25	0.033-0.613	2.1-5.6	37	14
YGM130	5	Φ410×210	Φ1280×210	≤30	0.033-0.613	2.5-9.5	75	24

Fuente: http://www.lmtrituradoras.com/m_6.html

2.6.4 Molino para Polvo

La serie de HGM de molino para polvo (de tres rodillos de velocidad media) es un molino para polvo fino. Es una máquina que adopta una técnica avanzada suiza. En vista de la situación con la tendencia del desarrollo de las trituradoras nacionales y la necesidad del mercado, molino para polvo (de tres rodillos de velocidad media) es un último equipo de investigación para la elaboración de harina fina y harina superior.

La serie de HGM de molino para polvo (de tres rodillos de velocidad media) es un equipo de elaboración de harina fina y harina superior, se aplica principalmente en los materiales con una dureza media, y los anti-combustibles y anti-explosivos con una dureza por debajo de seis. Por ejemplo calcita, Creta, carbonato calicó, dolomite, caolín, talco, mica,

magnesita, pirofilita, vermiculita, sepiolita, diatomita, baritina, escayola, piedra de alumbre, grafito, fluorita, roca fosfática, piedra flotante, etc.



Figura 2.11 Molino para Polvo (1)

Fuente: <http://www.break-day.com/es/?gclid=CMnw4PeChakCFcLr7QodvjPVoA>



Figura 2.12 Molino para Polvo (2)

Fuente: <http://www.break-day.com/es/?gclid=CMnw4PeChakCFcLr7QodvjPVoA>

2.6.4.1 Especificaciones de la Molino para Polvo (de tres rodillos de velocidad media).

Tabla 2.13 Especificaciones del molino de suspensión de alta presión, velocidad media.

Modelo	Diámetro(mm)	Cantidad de anillos	Tamaño de salida del motor principal (mm)	Fineza del producto final(mm)	Capacidad (kg/h)	Potencia (Kw)	Peso(t)
HGM60	Φ600	15	≤10	0.005-0.045	350-2500	37	5.2
HGM80	Φ800	21	≤10	0.005-0.045	600-4000	55	7
HGM100	Φ1000	27	≤10	0.005-0.045	900-6000	90	9.5
Modelo			HGM60	HGM80	HGM100		
Número de rodillos			15	21	27		
Diámetro(mm)			Φ600	Φ800	Φ1000		
Número de anillos			2	2	2		
Velocidad principal (mm)			235	235	235		
Máximo. Tamaño de alimentación (mm)			10	10	10		
Tamaño final (mesh)			325-2500	325-2500	325-2500		
Capacidad (kg/h)			350-2500	600-4000	900-6000		
Dimensión total(m)			10×2×5.5	12.4×2.5×5.8	14.5×3.8×6.3		

Fuente: <http://www.break-day.com/es/?gclid=CMnw4PeChakCFcLr7QodvjPVoA>

2.6.5 Molino de Rodillos Raymond

El molino de rodillos Raymond tipo R, se ha mejorado durante muchos años de práctica, su estructura tiene muchas ventajas: es eficiente, de bajo desgaste, área pequeña, menor inversión y sin contaminación del medio ambiente, etc. Por eso, el molino de rodillos Raymond es utilizado ampliamente en los campos como metalurgia, materiales de construcciones, industria química, minería, etc. La máquina es buena para elaborar varios anti-combustibles y anti-explosivos con una dureza por debajo siete, humedad menor al 6%. Por ejemplo, escayola, talco, calcita, caliza, mármol, baritina, dolomita, granito, caolín, mineral de hierro, etc. La fineza del producto final es entre 0.613mm~0.44mm, puede satisfacer las necesidades de los clientes.



Figura 2.13 Molino de Rodillos Raymond
Fuente: <http://www.datoavisos.com.ve/?a=1223>

2.6.5.1 Especificaciones de Molino de Rodillos Raymond.

Tabla 2.14 Especificaciones de Molino de Rodillos Raymond

Modelo	Cantidad de rodillo (piece)	Dimensión de rodillo (R×H) (mm)	Diámetro interno y altitud de rodillo (mm)	Max. Tamaño de alimentación (mm)	Granulación del producto final (mm)	Capacidad (t/h)	Potencia del motor principal (kw)	Peso (t)	Dimensiones de caja (mm)
3R2115	3	210×150	630×150	15	0.044-0.165	0.6-1.8	15	3.6	4500×2800×5800
3R2615	3	260×150	780×150	15-20	0.044-0.165	0.8-2.5	18.5	4.2	5650×3305×5950
3R2715	3	270×150	830×150	15-20	0.044-0.165	0.9-2.8	22.	4.8	5600×3400×5900
4R3016	3	300×160	880×160	15-20	0.044-0.165	1-3.2	30	8.5	6500×4100×5200
4R3216	4	320×160	970×160	20-25	0.044-0.165	1.8-4.5	37	15	9900×5800×10580

Fuente: <http://www.datoavisos.com.ve/?a=1223>

2.6.6 Molino de Rodillos MSB

La serie MSB del Molino de Rodillos MSB es un nuevo modelo de máquina de molienda de alta tecnología que alcanza los requerimientos de los clientes de procesamiento de arena. Basado en nuestra experiencia en investigación de muchos años en la industria de molienda y considerando las recomendaciones y requerimientos de los clientes nacionales e internacionales. Molino de Rodillos MSB es el equipamiento ideal para reemplazar al molino Raymond, molino, molino de bolas, y otros tradicionales que únicamente procesan materiales en polvo. Molino de Rodillos MSB es un equipamiento de alta eficiencia ampliamente aplicado en arena de cuarzo, arena sílica, arena de fundición, arena fina y

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

36 *Diseño de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróscopos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

otras industrias de arena abrasiva. Siendo un componente de una línea de producción cerrada, puede producir productos de varios tamaños con un mejor efecto.



Figura 2.14 Molino de Rodillos MSB.

Fuente: http://www.break-day.com/es/coarse_powder_mill.htm

2.6.6.1 Principio de trabajo del Molino de Rodillos MSB

Formado por eje principal, disco a granel y soporte de rodillo es impulsado por el motor por medio del reductor. Instalado sobre el soporte, el ensamblaje de rodillos rota con el eje principal mientras que balancea libremente, esto ofrece una fuerza centrífuga grande, dispersa los materiales a granel uniformemente en la capa intermedia de trituración entre el rodillo central y el anillo. Los materiales a granel son triturados a polvo y enviados a la parte inferior, y luego son descargados por la abertura de descarga bajo el efecto de espátula de rotación sincronizada.



Figura 2.15 Principio de trabajo del Molino de Rodillos MSB

Fuente: http://www.break-day.com/es/coarse_powder_mill.htm

2.6.6.2 Parámetros principales de performance del Molino de Rodillos MSB**Tabla 2.15 Parámetros principales de rendimiento del Molino de Rodillos MSB**

Nombre	Parámetro		Observación
	Modelo	Potencia	
Modelo	MSB1004		
Cantidad de rodillos	4pcs		
Tamaño de alimentación máx.	<30mm		Material demasiado duro<20mm
Tamaño del producto	70-90%<2mm		Ajustable, controle debajo.
Capacidad	8-15ton/hr		Relativo al tamaño promedio y dureza del material introducido
Potencia del motor principal	37-45kW		Use motor pequeño si usa material fino y quiere baja capacidad
Modelo del motor principal	Y2-225M-4		45 kW
Tamaño genera l(L×A×H)	1.87×1.5×2.58(m)		Incluye motor principal, desacelerador e unidad principal
Peso del pc simple más largo	900kg		
Peso total (excluyendo gabinete de control de electricidad)	8ton		Peso del desacelerador 1.7 ton
Trituradora de mandíbula de trituración fina	PEX150×750	15kW	
Elevador de cubo	TH250	3kW	Velocidad≥1.2m/s
Alimentador de vibración electromagnético	GZ3	0.2kW	Distancia entre entrada y salida 1000

Fuente: http://www.break-day.com/es/coarse_powder_mill.htm

CAPÍTULO 3

Marco Metodológico

En el siguiente capítulo se presenta detalladamente la metodología que se llevará a cabo, para el desarrollo de la investigación, con el fin de ilustrar de forma estructurada y específica la secuencia de pasos considerados para diseñar la máquina moledora de aglutinado para ser utilizada en planta de fabricación de pinturas.

3.1. Nivel de Investigación

El presente trabajo de grado se basará en la modelación y formulación de una solución eficaz, a través de la investigación y elaboración de un modelo operativo de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróscopos, utilizados en la fabricación de pinturas para eliminar la humedad y la formación de cultivos de orgánicos. Los objetivos de este trabajo y el nivel de conocimiento que se quiere obtener sobre lo planteado, se presenta a través de una investigación del tipo descriptiva, ya que se efectúa de un tema estudiado y conocido como lo es la molinería, por lo que los resultados constituyen una respuesta puntual y específica para establecer la estructura de dicho objeto; y del tipo explicativa, ya que se encarga de buscar el por qué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

3.2 Diseño de la investigación

La investigación se enfoca en el problema existente en la planta de fabricación de pinturas Dupont de Venezuela, específicamente en la etapa inicial, al introducir la materia prima directamente al proceso de fabricación, ya que dos de los compuestos que requieren en la producción Acido Benzoico y NeopentilGlicol, requieren ser golpeados repetidas veces para eliminar los aglutinados formados por la compactación del producto durante el traslado hasta la empresa. La metodología propuesta se descompone en etapas, conforme a una serie de pasos: búsqueda de antecedentes, recolección de datos, propuestas iniciales de diseño, selección de propuesta más eficiente, realizar planos de fabricación y formulación de recomendaciones. Este trabajo utilizará para responder al problema planteado una estrategia de investigación de campo, con el fin de recaudar la información necesaria para los cálculos posteriores para obtener un diseño óptimo. Para logra cumplir por completo cada objetivo será necesario desarrollar un estudio de seis (6) etapas, las cuales se presentan a continuación.

3.3 1ra ETAPA: Información Inicial

El profesor Vílchez N. (2008) afirma que el proceso de diseño arranca con el estudio de la información inicial que se recibe, esta información puede ser tan vaga que refleje solamente el sentimiento de una persona respecto a una situación donde cree haber detectado un problema, también puede por el contrario, ser tan precisa y adaptada a la realidad que represente la verdadera formulación del problema. En ésta etapa se ve recolectar toda la información de estudios sobre métodos de molienda, lo concerniente al campo de estudio, en este caso la molinería. Además de la información necesaria para la manipulación de la materia prima: Acido Benzoico y Neopentil glicol, sus propiedades físicas y químicas, los efectos que ellos generan en los materiales, efectos sobre el hombre y el ambiente, Además de toda la información referente a la investigación, dispositivos, accesorios y demás elementos que pueden utilizarse para el diseño de la máquina moledora.

3.4 2da ETAPA: Formulación del problema

Esta etapa inicia con la consideración de la situación problemática y la presencia de necesidades insatisfechas (2008), Se toman los elementos más relevantes de esta situación y se ordenan apropiadamente en lo que se conoce normalmente como formular, definir o plantear el problema. Se comprende mejor cuales son los elementos que se seleccionan y como se organizan, se puede estimar que la formulación de un problema de diseño mecánico es una descripción generalizada de su solución. En la empresa Dupont; específicamente al inicio de la línea de producción de la planta de fabricación de pinturas, se agrega la materia prima a dicha línea, la cual debe estar completamente pulverizadas para ser mezclada; pero debido a las condiciones de almacenamiento y transporte de las mismas, estas se aglutinan y forman terrones de gran tamaño haciendo difícil su procesamiento. Genera trabajos en condiciones disergonómicas y peligrosas, genera retardos en la producción, ya que existe la pérdidas de tiempo en la puesta a punto de la materia prima. Con esto se crea un universo de soluciones permitidas o deseadas, demarcando el espacio donde deben buscarse las respuestas al problema en estudio.

3.4.1 Estudio de la situación problemática: El estudio de la situación problemática, más que justificar la información inicial, tiene por objeto hacer un análisis intenso de la información, teniendo siempre en cuenta que ciertas ideas claves pueden estar excluidas, mientras que algunas poco importantes pueden aparecer como relevantes. Debido a los múltiples problemas que desencadena la introducción de la materia prima a la línea de producción, comenzando por la llegada a las instalaciones de Dupont, estas llegan apiladas y empaquetadas en sacos de veinticinco kilogramos sobre las paletas de carga, es allí cuando los trabajadores golpean los sacos con unos tubos para intentar eliminar los terrones más grandes y disminuirles el tamaño para luego destapar el saco y eliminar con las manos y herramientas los terrones pequeños e intentar dejar el material con granos diminutos, en la mayor cantidad de materia posible, de forma tal que no formen obstrucciones en la tolva dosificadora. Durante el proceso, los trabajadores están expuestos a partículas dispersas en el aire, que pueden causar alergias, irritaciones o a la larga generar enfermedades ocupacionales. Todo esto además del riesgo que tiene el golpear repetidas veces el material para eliminar los aglutinados que pueden generar cortes o abrasiones en las manos o demás

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

extremidades. Durante esta etapa de alimentación de materia prima a la línea de producción, se está perdiendo tiempo que se traduce en dinero que se está dejando de producir, y se ve reflejado en los costos variables, de mano de obra, gastos de servicios y consumo de materia prima.

3.4.2 Alternativas para la formulación de problemas: En esta sub-etapa son separados los problemas comprendidos en la situación problemática. Una manera de lograr esto, es intentar formular una situación problemática con todos y cada uno de los problemas presentes en la empresa.

1. La materia prima que debe ser utilizada en forma pulverizada, por lo que se tiene que hacer un estudio, al modo en el que es transportada, ya que debido al apilamiento de los sacos genera mayor presión sobre los sacos colocados en los niveles inferiores, y estos son los que presentan los aglutinados más difíciles de eliminar.
2. En ella se presenta problemas de pérdidas de tiempo y materia prima, debido a que se pierden algunos gramos de materia prima esparcidos en el ambiente y pueden generar efectos dañinos sobre los trabajadores en como también.
3. Condiciones de trabajo riesgosas para el trabajador ya que están expuestos a trabajos peligroso.
4. En la empresa Dupont se presenta el problema de que la materia prima esta aglutinada en el momento de introducirla en tolva dosificadora y para el funcionamiento continuo de la planta es necesario agregarla en granos diminutos para evitar obstrucciones en el proceso.

Por ello es que este planteamiento se basa en la descripción de la situación problemática y establecer todos los problemas presentes.

3.4.3 Selección de la formulación apropiada: Para escoger la formulación más adecuada se estudian todas las alternativas establecidas en el paso anterior, teniendo en cuenta la situación problemática y las limitaciones de las variables fundamentales. (2008)

Primera formulación de problema. Variables fundamentales.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

42 *Diseño de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

- Sistema básico (S.B.): sacos de materia prima.
- Estado inicial del sistema básico (E.I.S.B.): sacos apilados.
- Estado final del sistema básico (E.F.S.B.): materia aglutinada.
- El sistema a diseñar (S. a D.): transporte eficiente de materia.
- El sistema ambiental (S.A.): Empresa de transporte.

Segunda formulación de problema. Variables fundamentales.

- Sistema básico (S.B.): sacos de materia prima.
- Estado inicial del sistema básico (E.I.S.B.): materia prima aglutinado.
- Estado final del sistema básico (E.F.S.B.): materia prima pulverizado.
- El sistema a diseñar (S. a D.): Máquina moledora.
- El sistema ambiental (S.A.): Empresa Dupont.

Tercera formulación de problema. Variables fundamentales.

- Sistema básico (S.B.): trabajadores expuestos.
- Estado inicial del sistema básico (E.I.S.B.): trabajadores sin lesiones.
- Estado final del sistema básico (E.F.S.B.): trabajadores lesionados.
- El sistema a diseñar (S. a D.): Máquina moledora.
- El sistema ambiental (S.A.): Empresa Dupont.

Cuarta formulación de problema. Variables fundamentales.

- Sistema básico (S.B.): sacos de materia prima.
- Estado inicial del sistema básico (E.I.S.B.): materia prima aglutinado.
- Estado final del sistema básico (E.F.S.B.): materia prima pulverizado.
- El sistema a diseñar (S. a D.): Máquina moledora.
- El sistema ambiental (S.A.): Empresa Dupont.

Las limitaciones de estas variables fundamentales son descripciones o valores que permiten identificar dichas variables en la formulación de un problema específico. (2008)

En esta sub-etapa se concluye con la formulación del problema, quedando en propuestas de soluciones generales o de procedimientos para resolver el problema de la máquina moledora, e inicia la etapa de búsqueda de soluciones.

3.5 3ra ETAPA: Búsqueda de soluciones

Las especificaciones de diseño muchas veces tienden a armonizar las relaciones entre el dispositivo a diseñar y los demás sistemas que intervienen en los procesos mecánicos. Aquí se hace necesario entonces distinguir tres tipos de especificaciones de diseño: las restricciones, especificaciones que permiten rechazar algunas de estas probables soluciones sin necesidad de compararlas con las restantes, los criterios ya que son especificaciones usadas para comparar soluciones y eventualmente decidir cuál de ellas es la mejor y los procesos principales donde interaccionan el sistema a diseñar y el sistema base los cuales determinan las funciones principales del sistema a diseñar.

Para obtener la mejor solución se va plantear la mayor cantidad de posibles soluciones, que satisfagan las necesidades al problema planteado. Estas ideas serán propuestas por métodos de analogía y comparación, con los métodos de molienda que existen en la actualidad, utilizando los que se ajustan a las características del problema planteado.

Otro recurso utilizado para la obtención de ideas de para la solución del problema será la inversión (2008), que está basado en el principio de la asociación de ideas por contraste, y consiste en la distorsión sistemática de las situaciones o ideas analizadas, hasta obtener la situación o idea opuesta, contraria o invertida.

3.6 4ta ETAPA: Especificación del sistema a diseñar

Al llegar a esta etapa, ya se ha visto como la formulación del problema, nos conlleva a definir de manera genérica el sistema a diseñar, pero aun no es suficiente para concluir u obtener la verdadera solución. El estudio de la formulación nos dice que el sistema debe interactuar en forma conjunta con los compuestos higróspicos y con el ambiente o espacio en donde va funcionar la máquina (2008), ya que debe fusionar de manera armónica la eficiencia del trabajo con el confort de los operadores.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

En esta etapa se distinguen tres tipos de especificaciones de diseño:

3.6.1 Restricciones: son especificaciones que nos permitirán eliminar probables soluciones, sin necesidad de compararlas entre sí.

3.6.2 Criterios: son especificaciones que serán usadas para comparar soluciones y nos permitirán decidir en caso de ser necesario.

3.7 5ta ETAPA: Selección de la Mejor Solución o Toma de Decisión

Una vez obtenidas las especificaciones del sistema a diseñar, dictadas en la etapa anterior se estudian todas las probables soluciones generadas durante la etapa de búsqueda en la que se debe efectuar un análisis de las probables soluciones con el propósito de comprenderlas mejor, captar sus ventajas y desventajas, e incluso hacer modificaciones, en caso de ser necesario, para adquirir así una visión del resultado de la etapa de búsqueda de soluciones y estar en condiciones idóneas para seleccionar el camino adecuado, y alcanzar la solución. Luego se aplicaran las restricciones a todas las probables soluciones, para filtrar las soluciones que no se adapten al sistema requerido.

Y por último, se aplicara el método de ponderación de criterios a la soluciones, que aprueben el proceso de filtrado. Por medio de tres pasos (2008):

- 1.- Ponderación de Criterio.
- 2.- Ponderación de soluciones de acuerdo a cada uno de los criterios.
- 3.-Ponderación final de soluciones.

3.8 6ta ETAPA: Especificación del sistema diseñado

En esta etapa se comprobará cuantitativamente, usando métodos de diseño mecánico, experimentales y modelos matemáticos, para la selección de los elementos de máquina, calcular por medios rudimentarios y computarizados la alternativa de solución seleccionada, haciendo uso de programas como Autocad 3D 2009 para el diseño, para las animaciones y cálculo Solidwork, éstos por mencionar algunos.

3.9 Procedimiento para la selección de la mejor solución

Es necesario para empezar el procedimiento establecer los criterios y la restricciones del diseño.

3.9.1 Especificaciones de Diseño.

Máquina moledora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.

3.9.2 Restricciones.

- R1. Dimensiones máximas admisibles por el dispositivo: 588x697 o menores.
- R2. Material de Fabricación nacional.
- R3. Fácil despiece.
- R4. Consumo de Potencia menor a 3Hp.
- R5. Nivel de ruido adecuado, no mayor a 85Db.

3.9.3 Justificación de Restricciones

R1. Las dimensiones de diseño del mecanismo se tienen que adaptar a las establecidas, 588x697, puesto que dicho diseño será instalado dentro de una tolva ya existente y que forma parte del proceso de producción de pinturas.

R2. Los materiales de construcción deben ser de fabricación nacional para así poder tener acceso a ellos sin ningún inconveniente de cantidad ni problemas de importaciones de materiales y piezas.

R3. A la hora de hacer un diseño de un conjunto mecánico es importante considerar en el mismo el fácil desarme de todas sus piezas, para así facilitar el mantenimiento del equipo y minimizar el tiempo de parada.

R4. Garantizando que el equipo funcione con un motor menor a 3Hp, logramos reducir el consumo de potencia para la planta para motores de mayor potencia.

R5. Al tener un motor de un nivel de ruido menor a 85 decibeles, garantizamos que los trabajadores no serán afectados y tendremos un equipo que trabaje dentro de los niveles aceptables de seguridad industrial establecidos en la norma.

3.9.4 Criterios de Diseño.

C1. Capacidad de manejo de grandes cantidades de materiales.

C2. Menor emisión de residuos al entorno.

C3. Operación segura.

C4. Bajo costo de mantenimiento.

C5. Calidad del producto.

C6. Capacidad de terrones de gran tamaño.

3.10 Posibles soluciones para el problema. (Breve Descripción.)

3.10.1 Máquina cortadora

Esta máquina, tiene un diseño comparado con el de las máquinas utilizadas para cortar caña o como en algunos casos para pulverizar cualquier tipo de desperdicios sólidos. Esta máquina utiliza la velocidad de cuchillas de acero en forma de aspas, para pulverizar la materia que se introduce en ella, consta de un motor de 10 hp trifásico tipo RGZ que trabaja a 1800 revoluciones por minuto, el cual está unido a el eje a través de un sistema de correas para transferir la potencia del motor al eje. Esta máquina es muy versátil debido a que es de fácil diseño, y no requiere altas prestaciones. El peso de esta máquina es favorable ya que se necesita instalar sobre una tolva dosificadora, y el tamaño de salida de los ductos se pueden ajustar a las medidas de la tolva, el peso del motor se puede distribuir en una extensión, que provenga de las bases de la tolva para así disminuir la carga real sobre el tope de la misma. La inserción de la materia a la máquina se realiza por una tubería en forma de codo para evitar que restos de materia salgan al entorno, para evitar contaminación y prevenir accidentes laborales.

El diseño de las aspas de la cortadora, funcionan como un ventilador, aumentando la energía cinética del aire forzando a las partículas del material pulverizado a fluir en la misma dirección del ducto de la tolva. El problema que se presenta en este diseño es que

no favorece el manejo de terrones de grandes tamaños ya que se puede obstruir el canal de entrada de materia, ya que el canal de entrada debe ser en forma de codo para mantener la cantidad de aire que puede succionar el ventilador y mantener presión constante en el sistema, y evitar que el operador pueda introducir alguna extremidad de forma directa durante la operación de la misma.

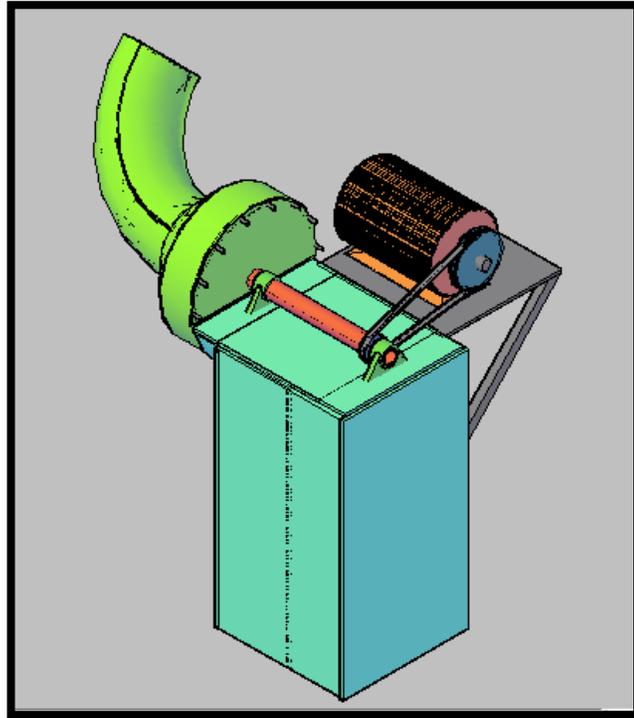


Figura 3.1: Máquina cortadora en vista isométrica.

El eje tiene un diseño hueco, para tener material más ligero y para disminuir el torque necesario para mover el equipo y mover las aspas a mayor velocidad de corte, como se muestra en la figura (3.2)

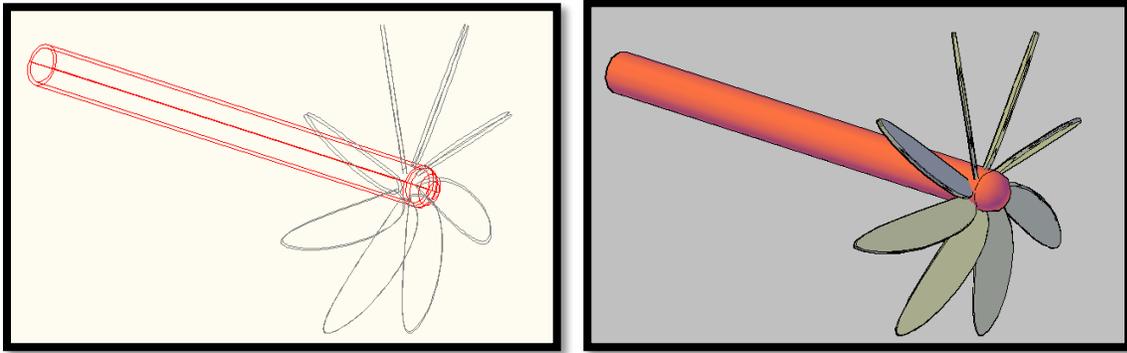


Figura 3.2: Eje y aspas de corte.

Las mismas, descansan en par de rodamientos y un cojinete, para mantener la estabilidad y amortiguación en el momento de empleo como se muestra en la figura.

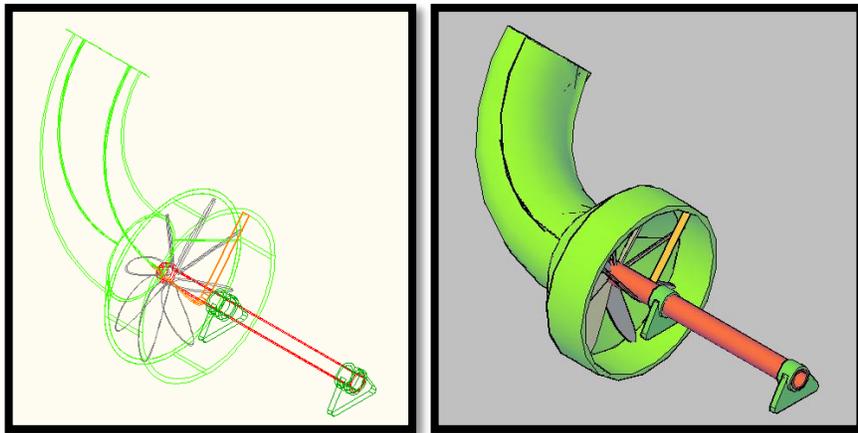


Figura 3.3: vistas en isometría del embudo, eje y rodamientos.

El sistema de transmisión de potencia es a través de un sistema de correa el cual posee una relación de 1:2 con el eje y poder obtener mayores revoluciones de las aspas cortantes, en la figura se muestran de color verde el embudo de admisión de materia, de color naranja y gris, el eje y las aspas cortantes respectivamente, también se muestran los rodamientos de color verde oscuro y las poleas de canales de color azul.

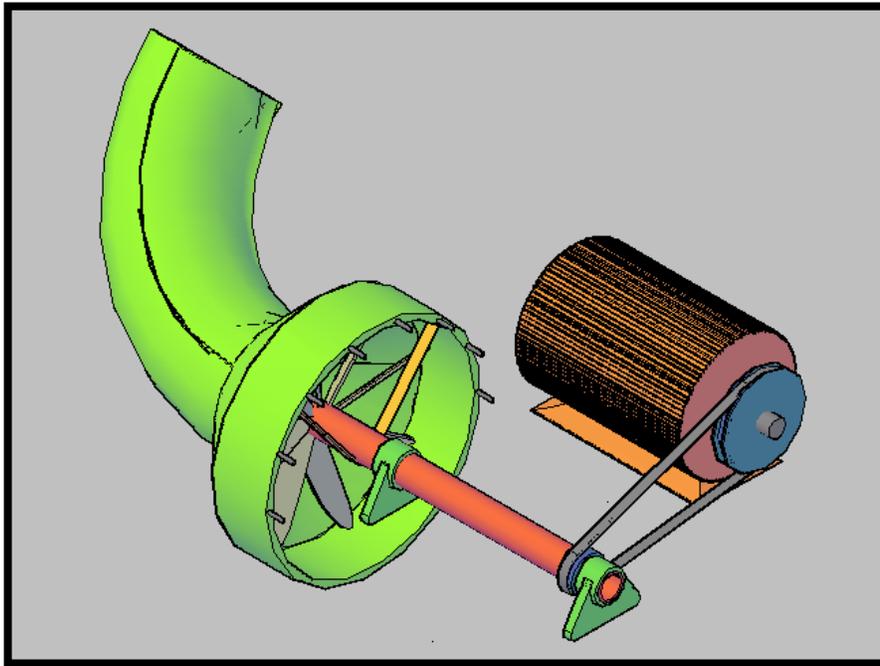


Figura 3.4: Sistema de transmisión de potencia.

Para conducir el polvo de los compuestos se diseñó una ductería cuadrada, de fácil construcción y ensamble para evitar que el producto sea entregado al entorno. Se representa en la figura

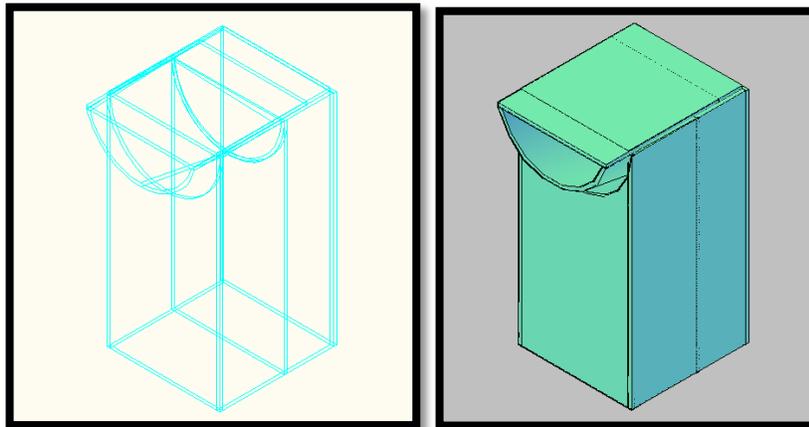


Figura 3.5: Ducto que comunica, la cortadora con la tolva dosificadora.

3.10.2 Máquina moledora de un solo eje.

Para el diseño de la máquina moledora, se utilizó el recurso de la analogía, con una herramienta para fresar acero, el fresado es una operación de maquinado en el cual se

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

50 *Diseño de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

hace pasar una pieza de trabajo enfrente de una herramienta cilíndrica rotatoria con múltiples bordes o filos cortantes. Se caracteriza porque el eje de rotación de la herramienta cortante es perpendicular al avance de la materia que se desea procesar, en un proceso de maquinado se fuerza o a la herramienta o a la pieza a moverse en una dirección, en el caso de la máquina moledora, el eje de la herramienta cortante se mantiene fijo, mientras que la gravedad realiza la función de pasar el material a través de los filos cortantes. El proceso de corte de esta máquina al igual que una fresadora es interrumpido, debido a que los filos o dientes entran y salen del trabajo durante cada revolución, esto lleva a que exista, momentos en los que hay impacto entre la herramienta y el compuesto, pero la misma posee la forma para disminuir el impacto en la resistencia del material de fabricación de la herramienta o los filos que ésta contiene. Para aumentar la superficie de corte, se emplea en el diseño un tubo, que contiene como especie de dos sentidos de filo o diente, para aumentar la velocidad de corte y aumentar la cantidad de material que puede procesar por unidad de tiempo (figura 3.6).

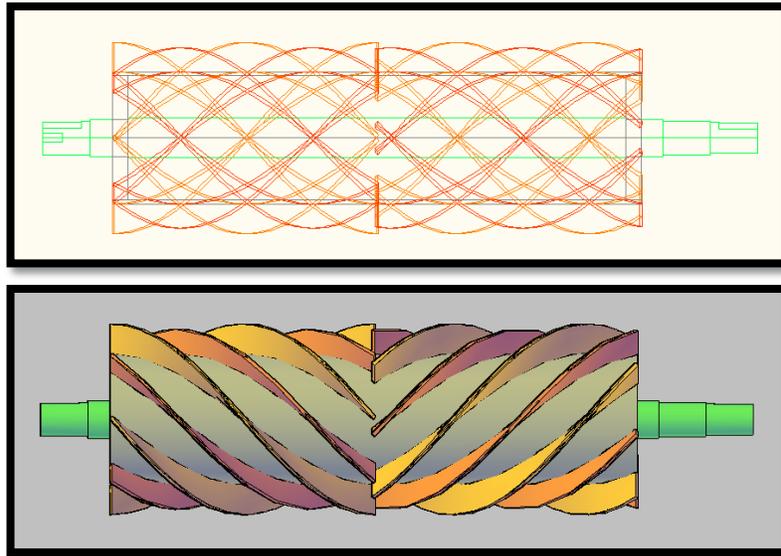


Figura 3.6: filos de la máquina moledora.

Para el fácil ingreso del compuesto higroscópico a la máquina se agrega un tobogán que culmina con un ángulo de entrada sobre los filos de 45° respecto a la vertical, para garantizar que los terrones sean cortados de forma que permita continuar el ciclo de corte

en cada revolución de la herramienta de igual manera evita que el material sea esparcido alrededor de la máquina.

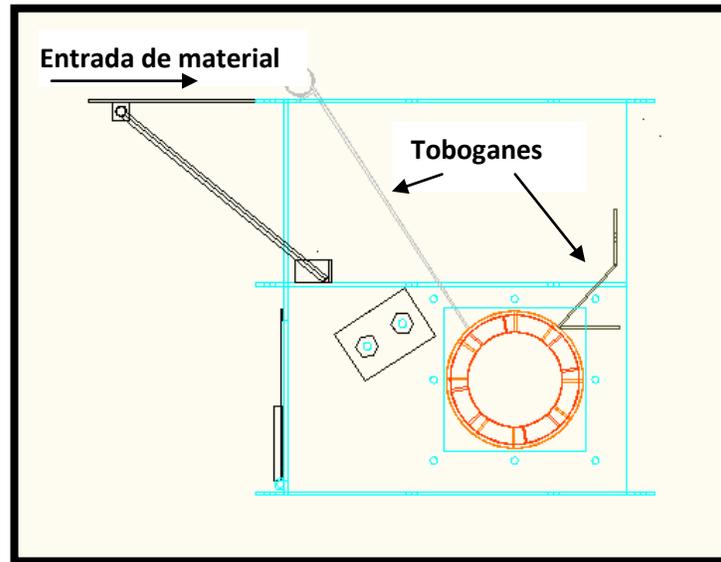


Figura 3.7: vista lateral de filos y tobogán.

Con este diseño se desea tener una máquina ligera que pueda ser colocada sobre la tolva dosificadora de modo que el material pulverizado caiga por la parte inferior de la misma en forma continua.

3.10.3 Máquina moledora de dos ejes.

El diseño de esta máquina está ligado al mecanismo anterior, ya que se utiliza como diseño base y se le realizan modificaciones para aumentar la eficiencia de la misma, aunque de igual manera se utiliza el recurso de analogía, ya que se la idea surge de imitar un proceso de deformación volumétrica, laminación es un proceso de deformación en el cual el espesor del material de trabajo se reduce mediante fuerza de compresión ejercidas por dos rodillos que giran en sentidos opuestos, para jalar el material y simultáneamente reducir el espesor, pero en el diseño de la máquina moledora se emplean cilindros con dientes a velocidades mayores y sentido vertical para utilizar la gravedad y forzar el material a circular por las herramientas de cortes.

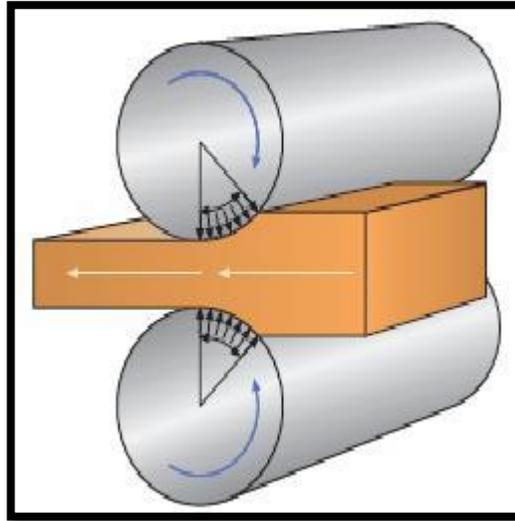


Figura 3.8: Muestra proceso de laminación.

Fuente:

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/imgs/acer045.gif&imgrefurl>

La máquina moledora de dos ejes, se emplean, herramientas cilíndricas de cortes, y un espacio de separación entre ellas que permita obtener partículas pulverizadas, y cada cilindro posee las características iguales, con filos cortantes similares a los que posee una herramienta para fresado, para así aumentar la capacidad de la máquina. Aunque de forma contraria, también aumenta el peso de la máquina ya que se duplica la herramienta de corte y hace necesario colocar un motor de mayor potencia para poder tener buenas relaciones de torque y velocidad al momento de pulverizar los materiales.

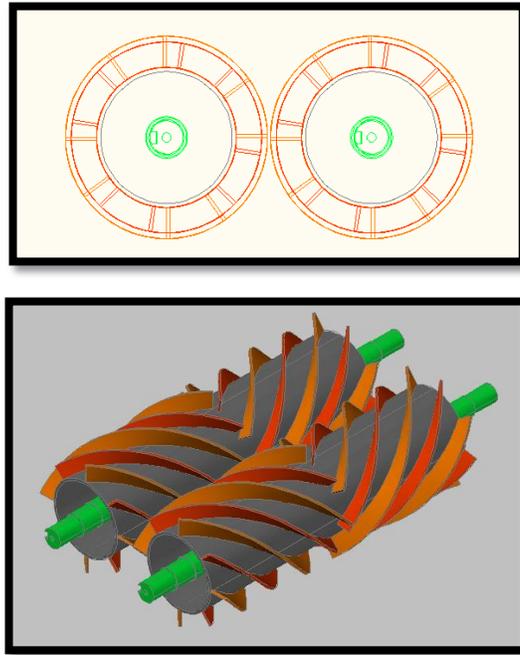


Figura 3.9: Ejes y filos de corte

El mecanismo empieza con el ingreso de la materia dentro de los cilindros por acción de la gravedad y luego por la fuerza ejercida por los filos que giran en sentidos contrarios, jalar los terrones para que sean pulverizados.

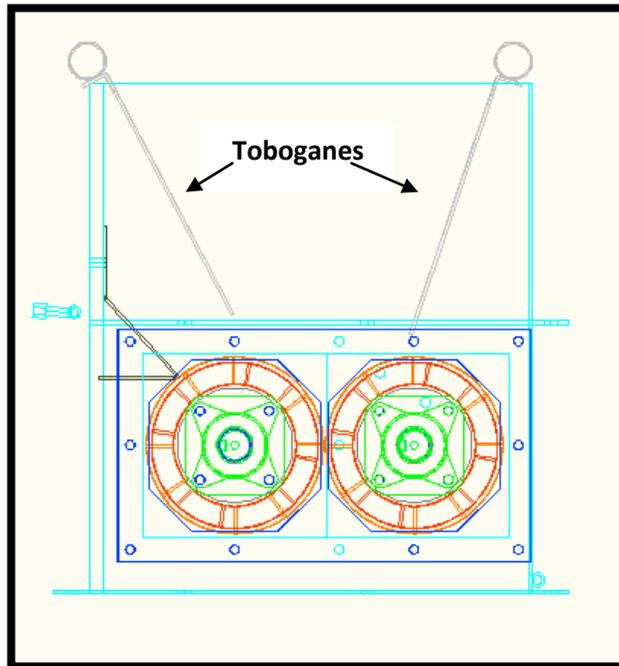


Figura 3.10: Máquina moledora de dos ejes (vista lateral).

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

3.10.4 Moledora de cono.

Este dispositivo de trituración consta de un eje que es accionado por un motor a través de cadenas como elementos de transmisión de potencia, este eje a su vez transmite la potencia por medio de un engrane cónico a un eje vertical al cual esta acoplado el cono principal de trituración.

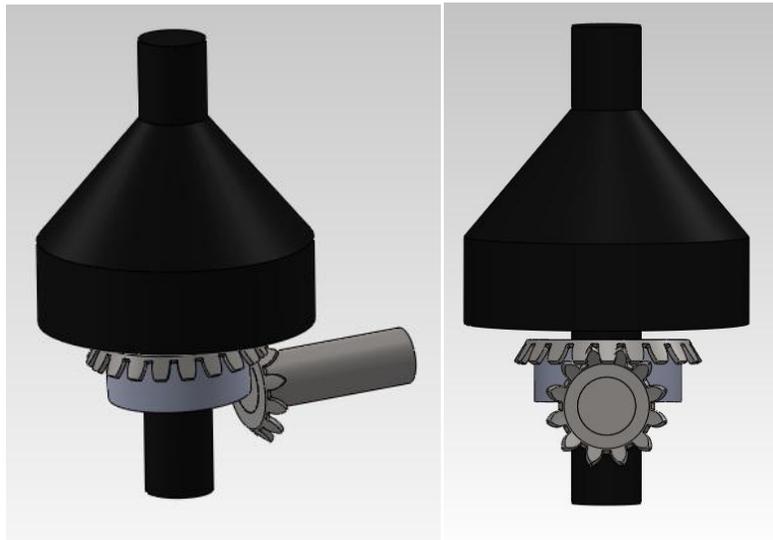


Figura 3.11: Cono de Molienda y sistema de transmisión de potencia.

El proceso de trituración consiste en verter el elemento a triturar por la parte superior, al entrar en contacto con el cono y las paredes de la tolva, el material se va triturando, la distancia de separación entre el cono de trituración y las paredes de la tolva va disminuyendo para lograr que el material salga lo más fino posible mientras va cayendo por gravedad.

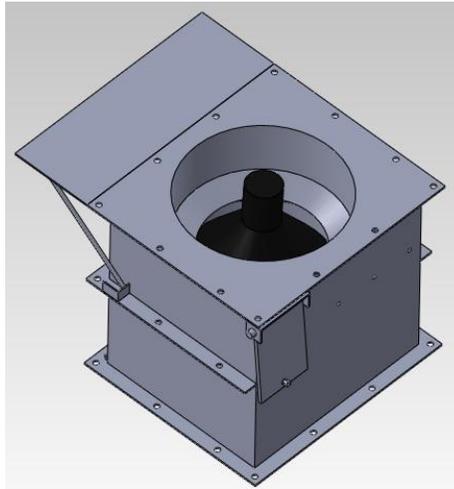


Figura 3.12: Máquina molidora de Cono.

El eje de transmisión de potencia está soportado por rodamientos a las paredes de la tolva y el eje del cono está sujetado en la parte superior e inferior por elementos rodantes.

3.10.5 Moledora de martillo.

La moledora de martillo utilizada en el proceso de molienda de rocas por su gran fuerza de trituración, consta de un eje en el cual están instaladas una serie de aspas en forma radial a través de lo largo del eje en la zona de trituración, el material vertido por la parte superior de la tolva entra en contacto con las aspas en movimiento, las cuales por el impacto provocan la separación de los terrones del elemento a moler, logrando que el producto final sea un producto más fino.

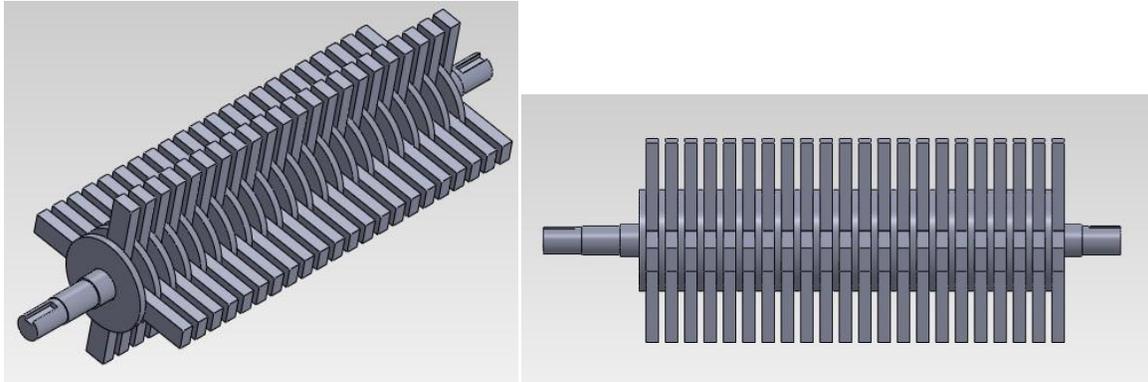


Figura 3.13: Eje de la molidora de martillo.

El material de las aspas es de suma importancia debido a que las fuerzas provocadas al instante del impacto recaen totalmente sobre las superficies de las mismas, provocando grandes magnitudes de esfuerzos de torsión y corte. Este dispositivo tiene que contar con un motor capaz de hacer girar el eje a una gran velocidad, para garantizar que las aspas golpeen en áreas pequeñas del material.

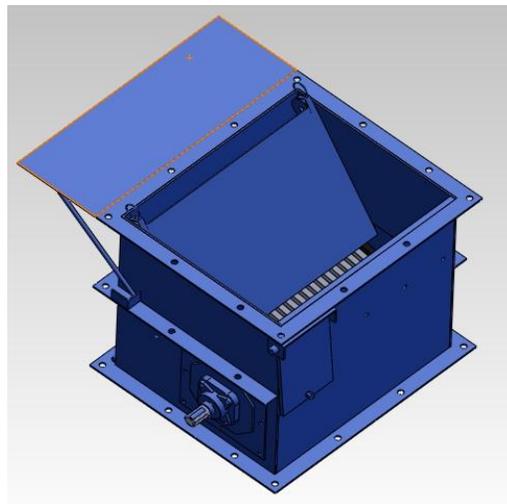


Figura 3.14: Molidora de martillo

La potencia es transmitida al eje a través de poleas y cadenas, accionadas por un motor eléctrico, estos elementos se encuentran en la parte externa de la tolva.

3.11 Método de ponderación de criterios.

Este es un método que ayuda al diseñador a entender a fondo, todas y cada una de las soluciones ya propuestas anteriormente y a su vez facilita el proceso de selección de la mejor solución para el problema planteado en etapas anteriores.

Tabla 3.1. Aplicación de las restricciones a las posibles soluciones.

		Posibles soluciones				
		PS1	PS2	PS3	PS4	PS5
Restricciones	R1	Si	Si	Si	Si	Si
	R2	Si	Si	Si	Si	Si
	R3	Si	Si	No	Si	Si
	R4	No	Si	No	Si	Si
	R5	No	Si	No	Si	Si

R1 = Dimensiones de 588x697.

R2 = Materiales de Fabricación nacional

R3 = Fácil despiece

R4 = Consumo de potencia menor a 3Hp.

R5 = Nivel de ruido adecuado, no mayor a 85 Db.

PS1 = Máquina Moledora de dos ejes cortadores.

PS2= Máquina Moledora de un eje cortador.

PS3= Máquina Moledora de cono.

PS4= Máquina Moledora de un aspa cortadora.

PS5= Máquina Moledora de Martillo.

3.11.1 Ponderación de criterios.

En esta etapa se procede a la ponderación de criterios de acuerdo al orden de importancia relativa, realizando un análisis de cada uno de ellos y comparándolos entre sí, de esta manera

58 *Diseño de una máquina moladora de aglutinado de compuestos higróscopos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

obtendremos como resultado el criterio con mayor importancia en nuestro diseño. El valor obtenido parte de la siguiente ecuación, $PC_x = \text{Numero repeticiones} + 1$.

Tabla 3.2. Ponderación de criterios.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	No. De veces que se repite	PCx
C1							2	$PC_1 = 3$
C2	C2						3	$PC_2 = 4$
C3	C3	C3					4	$PC_3 = 5$
C4	C1	C2	C3				0	$PC_4 = 1$
C5	C5	C5	C5	C5			5	$PC_5 = 6$
C6	C1	C2	C3	C6	C5		1	$PC_6 = 2$

C1 = Capacidad de manejo de grandes cantidades de material.

C2 = Menor emisión de residuos al entorno.

C3 = Operación segura.

C4 = Bajo costo de mantenimiento.

C5 = Calidad del producto.

C6 = Capacidad de manejo de terrones de gran tamaño.

3.11.2 Ponderación de soluciones de acuerdo a cada criterio.

Procedemos a ponderar las soluciones de acuerdo al grado de aceptación respecto a cada criterio, el mayor valor nos indicara la mejor solución respecto al criterio en estudio.

Tabla 3.3. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 1.

C1	S2	S4	S5	No de repeticiones	PSY1
S2				2	3
S4	S2			0	1
S5	S2	S5		1	2

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

S2= Máquina Moledora de un eje cortador.

S4= Máquina Moledora de un aspa cortadora.

S5= Máquina Moledora de Martillo.

C1 = Capacidad de manejo de grandes cantidades de material

Tabla 3.4. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 2.

C2	S2	S4	S5	No de repeticiones	PSY2
S2				2	3
S4	S2			1	2
S5	S2	S4		0	1

S2= Máquina Moledora de un eje cortador.

S4= Máquina Moledora de un aspa cortadora.

S5= Máquina Moledora de Martillo.

C2 = Menor emisión de residuos al entorno

Tabla 3.5. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 3.

C3	S2	S4	S5	No de repeticiones	PSY3
S2				2	3
S4	S2			0	1
S5	S2	S5		1	2

S2= Máquina Moledora de un eje cortador.

S4= Máquina Moledora de un aspa cortadora.

S5= Máquina Moledora de Martillo.

C3 = Operación segura

Tabla 3.6. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 4.

C4	S2	S4	S5	No de repeticiones	PSY4
S2				2	3
S4	S2			0	1
S5	S2	S5		1	2

S2= Máquina Moledora de un eje cortador.

S4= Máquina Moledora de un aspa cortadora.

S5= Máquina Moledora de Martillo.

C4 = Bajo costo de mantenimiento

Tabla 3.7. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 5.

C5	S2	S4	S5	No de repeticiones	PSY5
S2				2	3
S4	S2			1	2
S5	S2	S4		0	1

S2= Máquina Moledora de un eje cortador.

S4= Máquina Moledora de un aspa cortadora.

S5= Máquina Moledora de Martillo.

C5 = Calidad del producto.

Tabla 3.8. Ponderación de las soluciones de acuerdo al criterio 6.

C6	S2	S4	S5	No de repeticiones	PSY6
S2				2	3
S4	S2			0	1
S5	S2	S5		1	2

S2= Máquina Moledora de un eje cortador.

S4= Máquina Moledora de un aspa cortadora.

S5= Máquina Moledora de Martillo.

C6 = Capacidad de manejo de terrones de gran tamaño

3.11.3 Ponderación final de soluciones

Para realizar la ponderación final de soluciones se efectuaron las sumatorias para cada una de las soluciones de la siguiente manera.

Posible Solución 2.

$$PC1 * PSY1 + PC2 * PSY2 + PC3 * PSY3 + PC4 * PSY4 + PC5 * PSY5 + PC6 * PSY6 = 63$$

Posible Solución 4.

$$PC1 * PSY1 + PC2 * PSY2 + PC3 * PSY3 + PC4 * PSY4 + PC5 * PSY5 + PC6 * PSY6 = 31$$

Posible Solución 5.

$$PC1 * PSY1 + PC2 * PSY2 + PC3 * PSY3 + PC4 * PSY4 + PC5 * PSY5 + PC6 * PSY6 = 32$$

Tabla 3.9. Ponderación Final de Soluciones

	Solución 2	Solución 4	Solución 5
PC1*PSY1	3*3=9	3*1=3	3*2=6
PC2*PSY2	4*3=12	4*2=8	4*1=4
PC3*PSY3	5*3=15	5*1=5	5*2=10
PC4*PSY4	1*3=3	1*1=1	1*2=2
PC5*PSY5	6*3=18	6*2=12	6*1=6
PC6*PSY6	2*3=6	2*1=2	2*2=4
TOTAL	63	31	32

Como se resultado de la aplicación de la metodología de ponderación de criterios y soluciones, se obtuvo que la mejor solución es la número 2. Este diseño consta de un eje que

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

62 *Diseño de una máquina moladora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

acopla a un tubo dentado colocado de forma horizontal, en el cual caerá el material a pulverizar y con un movimiento rotatorio, la fuerza del impacto de los dientes sujetos al tubo, pulveriza el material deseado. La flecha está sujeta a la tolva a través de elementos rodantes en ambos lados, la potencia será transmitida por un motor eléctrico utilizando cadenas como elementos de transmisión de potencia. La recolección del material será de manera sencilla, puesto que los dientes están diseñados de tal manera que durante el proceso de molienda el material desprendido se va enviando hacia el centro de la tolva, produciendo muy poco material de desperdicio. Como se muestra en la figura 3.15

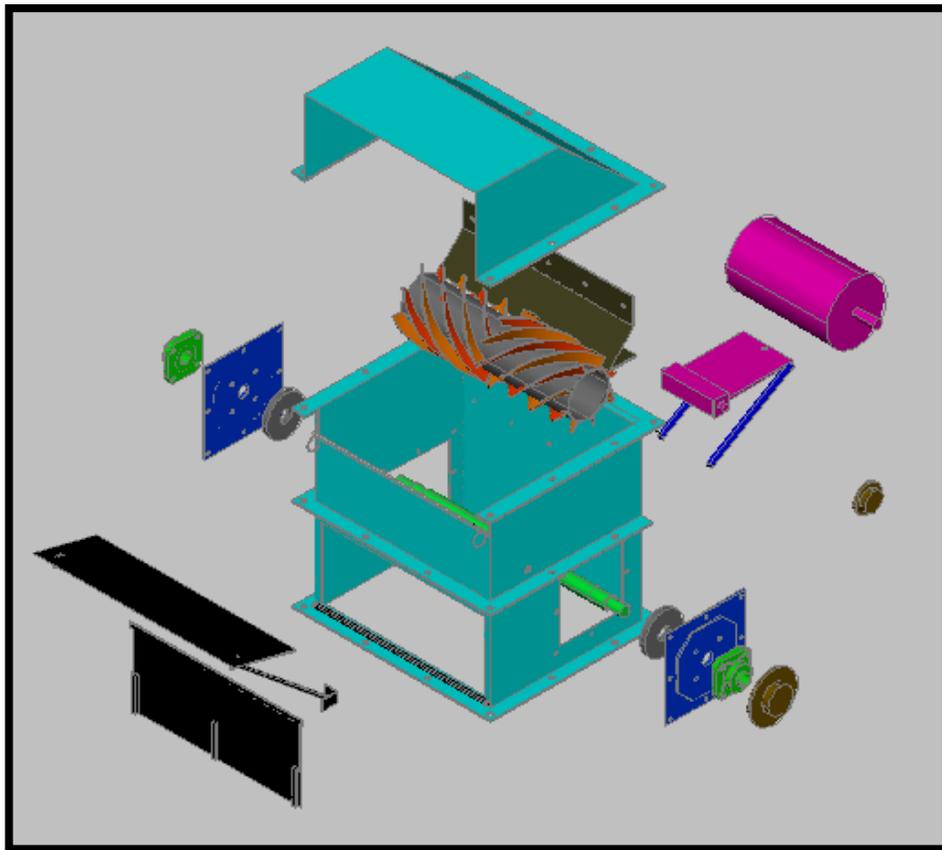


Figura 3.15: Explosión de máquina moladora de un eje.

CAPÍTULO 4

Cálculos y Diseño

Una vez determinada la alternativa de solución, se procedió al diseño teórico de cada elemento que compone la máquina seleccionada en el capítulo anterior (III). Para ello es necesario considerar que este diseño puede ser construido por la empresa Vemeca C.A., por lo tanto se tienen algunas consideraciones, hechas por conveniencia de la empresa, ya que ellos poseen materiales en almacén que pueden ser de utilidad, lo que aumentaría la posibilidad de construcción en menor tiempo y costo.

4.1. Diseño y selección de los diferentes elementos.

4.1.1 Herramienta de pulverización.

Para el diseño de la herramienta, se tomará como punto de partida que se desea pulverizar los terrones de un saco de materia prima, por lo que es necesario saber las propiedades de los compuestos. El Acido Benzoico y el Neopentilglicol, se almacenan y distribuyen en sacos de veinticinco kilogramos (25 Kg) cada uno y sus densidades son de 1.3 g/cm^3 y 1.1 g/cm^3 respectivamente, lo cual significa, que se debe procesar un terrón de 19,2 litros de volumen aproximadamente, estos compuestos son polímeros termoplásticos de baja densidad como el polietileno, como se muestra en la figura anexo A20 de

propiedades de los termoplásticos este posee una dureza de 40 HRC, y un esfuerzo máximo a la tensión de 1 *Kpsi* .

Es posible determinar en forma aproximada la resistencia estática de los materiales, conociendo la dureza Brinell de los mismos, mediante el empleo de la ecuación 4.1 que relaciona la resistencia última con la dureza Brinell de los aceros.

$$\sigma_{ET} = 3,1 \text{ HB MPa}$$

$$\sigma_{ET} = 0,45 \text{ HB Kpsi}$$

Ec. 4.1^[20]

Para la selección del material de la herramienta se introduce el mayor valor del esfuerzo de tensión, $S_y = 1.000 \text{ psi}$. Por lo tanto se debe seleccionar un material cuya dureza sea mayor a 2.2 HB. Por lo tanto se selecciona acero 1010 laminado en caliente que posee una dureza de 111 HB.

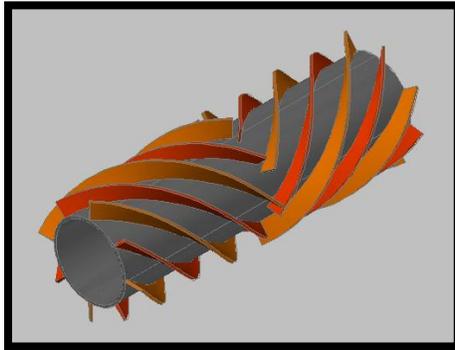


Figura 4.3: Herramienta de corte.

Luego por conveniencia se diseñan los filos de corte, en la forma que muestra la figura 4.3. Para ello se determina la ecuación de la hélice que forma cada filo, de la siguiente ecuación paramétrica.

Ecuación paramétrica de
la hélice.

$$\begin{cases} x = r \cdot \cos t \\ y = r \cdot \sin t \\ z = k \cdot t \end{cases}$$

Ec. 4.2

De igual manera $k \cdot t = \text{paso de la helice}$, por lo tanto, $k = 678/2\pi$, y el diámetro nominal del tubo es de 169 *mm*, quedando de esta forma:

$$\begin{cases} x = 84,5 \cdot \cos t \\ y = 84,5 \cdot \sin t \\ z = 107,907 \cdot t \end{cases}$$

Ec. 4.3

64 *Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróscopos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

Luego se calcula mediante el teorema de longitud de una curva $L(C) = \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{\|\alpha'(t)\|} dt$, se obtiene:

$$L(C) = \int_0^{\pi} \sqrt{(-84.5 \operatorname{sen} t)^2 + (84.5 \operatorname{cost})^2 + (107.907)^2} dt \quad \text{Ec. 4.4}$$

Resultando la longitud de la hélice $L = 430,57 \text{ mm}$. Se calcula el área de corte que se desea, es decir se requiere cortar del terrón partículas pequeñas para disminuir la carga, y volver pulverizar el material. Como se desea procesar terrones que provienen de sacos, se tiene que la mayor área pulverizar es la sección transversal la cual es de 300 mm de largo, y un ancho de 2 mm obtiene un área de corte por cizallamiento de $6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Para colocar los filos de la herramienta, es necesario colocar una base que ofrezca firmeza, y rigidez. Por lo cual se emplea un tubo de acero ASTM A36 de diámetro nominal de 169 mm y un espesor de 6 mm . En él se van a soldar las herramientas de cortes.

Es necesario conocer el esfuerzo cortante de los polímeros, como se demostró anteriormente que las propiedades de los termoplásticos es tomado del valor máximo de $S_y = 1.000 \text{ psi} = 6.9 \text{ MPa}$ de las tabla A20.

$$\tau_{\text{permisible}} = 0.577 S_y \quad \text{Ec. 4.5}$$

$$\tau = P/A_{\text{corte}} \quad \text{Ec. 4.6}^{[21]}$$

Sustituyen en la ecuación 4.5 se obtiene que $\tau_{\text{perm}} = 3.45 \text{ MPa} = 500 \text{ psi}$, para luego sustituirlo en la ecuación 4.6. De donde el área de corte, es un área de corte por cizallamiento, se obtuvo que la carga de corte a vencer por las cuchillas es de $P = 311,4 \text{ N}$. Luego es necesario calcular el momento torsor que no es más, que multiplicar la carga de corte por el brazo (distancia del centro del eje hasta el filo de la herramienta) donde se aplica la fuerza que es de $b = 0,124 \text{ m}$. Se emplea la ecuación 4.7.

$$Mt = P \cdot b \quad \text{Ec. 4.7}^{[22]}$$

Resultando un para torsor de $Mt = 38,8 \text{ N.m} = 343.14 \text{ lbf.plg}$. Se establece a conveniencia que la velocidad de giro es de 500 RPM , se necesita vencer el momento torsor para poder pulverizar el terrón por lo que se calcula mediante la ecuación 4.6 la potencia del motor.

$$Hp = (Mt \cdot N) / 63000 \quad \text{Ec. 4.8}^{[23]}$$

Se obtiene, que es necesario utilizar un motor de $2,72 \text{ Hp}$, por lo cual se selecciona un motor trifásico de 3 Hp marca Siemens, tipo jaula de ardilla de eficiencia estándar con un armazón de 215T que opera a 900 RPM , como se muestra en el anexo A1.

4.1.2 Selección de elementos de transmisión de potencia.

Se selecciona una transmisión de potencia mediante cadenas debido a que no hay restricciones para la distancia entre los centros entre el piñón y la catalina, por ser de bajos costos y de fácil diseño e instalación y poseen una mejor absorción al impacto generado en esta máquina.

Es necesario calcular el factor de servicio de la cadena de acuerdo al tipo de carga a la cual será sometida a jornadas diarias de trabajo. En nuestro caso la carga es de clase C, cadena de choque fuerte, clase a la cual pertenecen las cadenas de transmisión de potencia de molinos de martillos, maquinas de herramientas punzadoras, cizalladoras o cepilladora. La tabla A3 nos muestra los factores de servicio según el tipo de cadena.

Con una carga tipo C y una jornada de trabajo diaria de 24 horas en Factor de servicio es de 1.7. Con el factor de servicio calculado procedemos obtener la potencia de diseño, multiplicando el factor por la potencia a ser transmitida.

$$PD = Fs \cdot \text{Potencia} \quad \text{Ec.4.9}^{[24]}$$

$$PD = 1,7 \cdot 3\text{Hp}$$

$$PD = 5,1 \cdot \text{Hp}$$

Se realizó la selección tentativa de de la cadena y rueda catalina más pequeña usando las graficas de potencia del anexo A4 se selecciona el paso de la cadena y el número de dientes del piñón el cual se seleccionó $5/8$ plg y 21 dientes y numero 60.

Luego usando las tablas de capacidad de potencia, para el paso de cadena seleccionado, se verificó la selección tentativa y se obtuvo que el máximo diámetro del cubo $2\frac{25}{32}$ plg. Luego se verificó con la relación de transmisión, igual a 1.8, el número de dientes de la catalina grande y se obtuvo una rueda de 38 dientes. Vale la pena destacar que al entrar en la grafica de potencia con 5,1 Hp y 500 rpm, se obtiene un piñón de 19 dientes, y al determinar el número de dientes de la catalina grande se obtiene una de 34 dientes y la misma no es comercial, por la misma razón se utilizan ruedas de 21 y 38 dientes debido a que son comerciales, como se muestra en la figura del anexo A21 y mantienen la relación de transmisión del dispositivo.

Se determinó la longitud de la cadena y se asumió que la distancia entre centros es de 40 pasos.

$$L = 2C + \frac{N + n}{2} + \frac{(N - n)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C} \quad \text{Ec. 4.10}$$

$$C = \frac{L - \frac{N + n}{2} + \sqrt{\left(L - \frac{N + n}{2}\right)^2 - 8 \cdot \frac{(N - n)^2}{4 \cdot \pi^2}}}{4} \quad \text{Ec. 4.11}^{[25]}$$

Lo que se obtuvo una cadena de longitud 110 pasos lo que significa una longitud de 1746,25 mm. Luego usando la ecuación 4.9 se verificó la distancia entre centros y se obtuvo que la distancia entre centros es de 637.54 mm.

Con las ecuaciones:

$$D = \frac{Pd}{\sin\left(\frac{180}{N}\right)} \quad \text{Ec. 4.12}^{[25]}$$

Se determinó los diámetros externos de las catalinas y se obtuvo 4,2 y 7,6 plg, para el piñón y la catalina respectivamente^[43]. Con lo cual se determinó el par torsor entregado y la fuerza de tensión en la cadena mediante la ecuación 4.6 y 4.11:

$$M_t = \frac{F \cdot D}{2} \quad \text{Ec. 4.13}$$

Obteniendo así un par torsor de 42,7 N.m y una fuerza de 442,6 N.

Se seleccionó una cadena de rodillos de 5/8 pulgadas de paso, número 50 No. 119057 con una longitud de 110 pasos según el catálogo Renold de cadenas y ruedas catalinas, de longitud equivalente a 1,7 m, un piñón y una rueda catalina de 21 No. 10B1/21T y 38 No. 10B1/38T dientes, respectivamente del catálogo Renold. ^[43]

4.1.3 Cálculo de diámetro del eje a fatiga.

En ingeniería y, en especial, en ciencia de materiales, la fatiga de materiales se refiere a un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas (fuerzas repetidas aplicadas sobre el material) se produce ante cargas inferiores a las cargas estáticas que producirían la rotura. El diseño tiene una influencia grande en la rotura de fatiga. Cualquier discontinuidad geométrica actúa como concentradora de tensiones y es por donde puede nuclear la grieta de fatiga. Cuanto más aguda es la discontinuidad, más severa es la concentración de tensiones.

$$D_2 = \left\{ \frac{32 * Nf}{\pi} * \left[\left(\frac{Kf * Ma}{Se} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(Kfsm \frac{Tm}{Sy} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad \text{Ec. 4.14}^{[26]}$$

Para lo cual fue necesario calcular las fuerzas y los momentos como las gráficas de corte y momento para ambos planos.

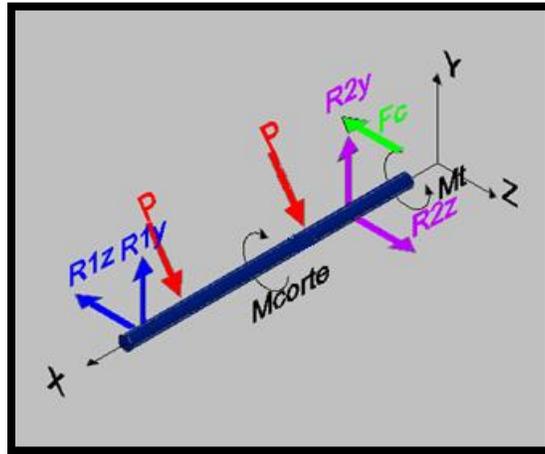


Figura 4.2: Diagrama de fuerzas en el eje.

Haciendo sumatoria de fuerzas y momentos en el punto R1, en el plano XY se obtuvo lo siguiente:

$$\sum Fy = R1y - 2Py + Fcy + R2y \quad \text{Ec. 4.15}$$

$$\sum Mt = -(Py) \cdot 3,09 - (Py) \cdot 28,2 + R2 \cdot 31,35 + Fcy \cdot 33,91 \quad \text{Ec. 4.16}$$

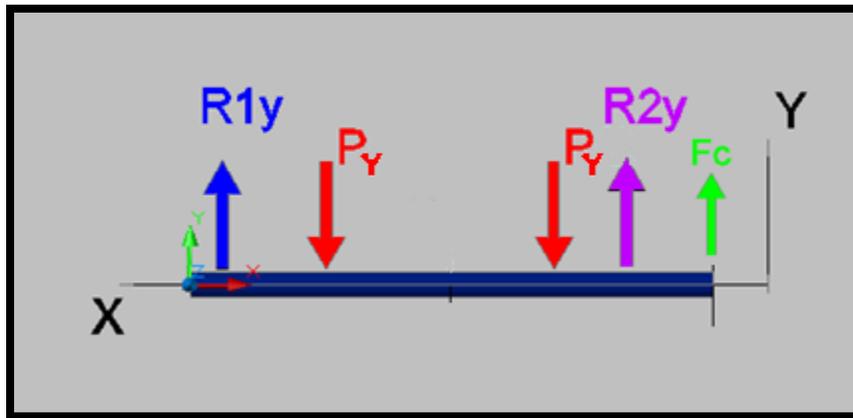


Figura 4.3: diagrama de fuerzas en el plano XY.

Para obtener la sumatoria de las fuerzas fue necesario calcular la proyección de la tensión de la cadena en el eje Y, para ello se determinó el ángulo con la disposición de la geometría y ubicación de las catalinas en el dispositivo como se muestra en la figura 4.4.

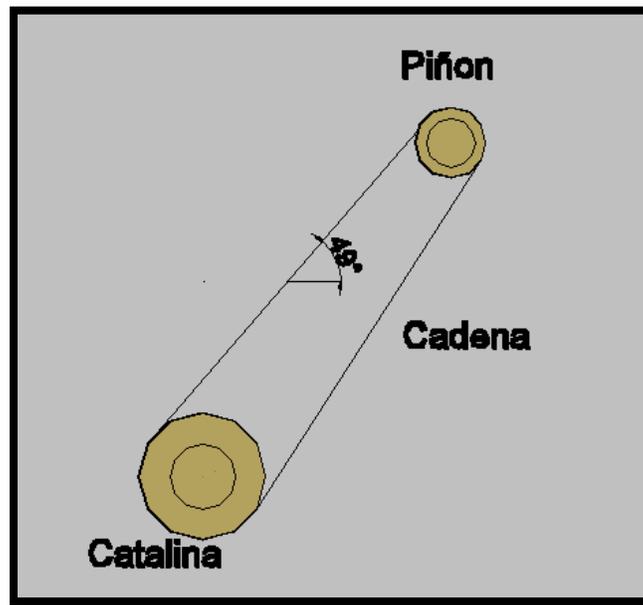


Figura 4.4: Esquema de montaje de ruedas catalinas en la máquina.

Los valores obtenidos fueron $F_{cy} = 334 \text{ N}$, $F_{cz} = 290,34 \text{ N}$, y la carga P se obtuvo de la sumatoria de los pesos del tubo con la herramienta y las tapas junto con el peso de un saco de materia prima. $P_y = 284 \text{ N}$, y se distribuye en los puntos donde se van a fijar al eje. El resultado obtenido de la sumatoria de momento fue $R_{1y} = 311,4 \text{ N}$; $R_{2y} = -77,84 \text{ N}$.

70 *Diseño de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

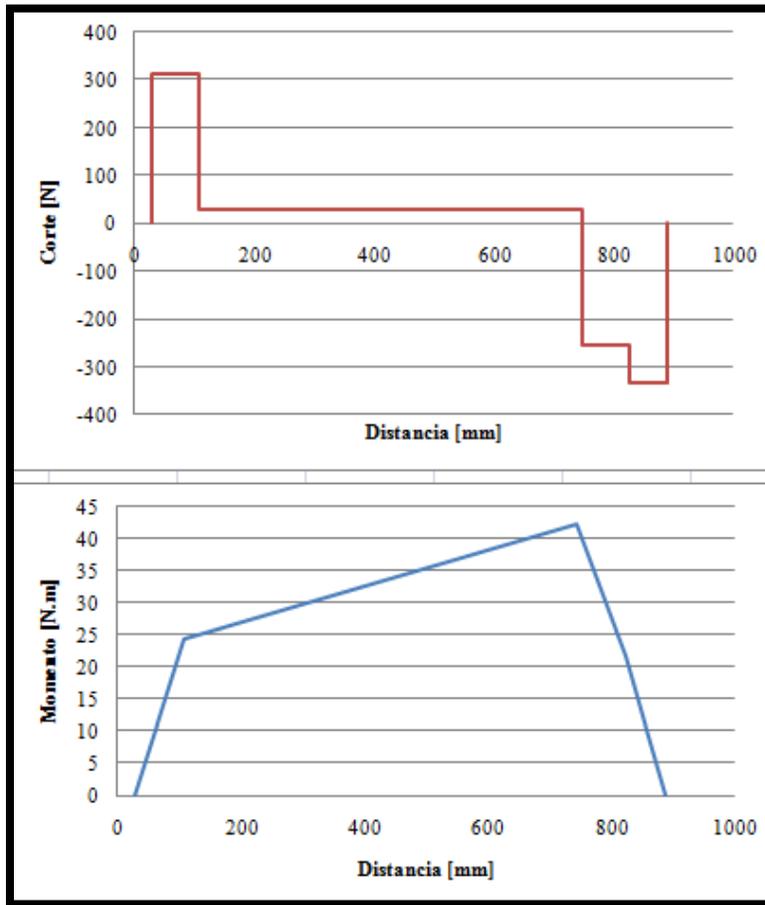


Figura 4.5: Diagrama de corte y momento.

Luego se determinó en el plano XZ las reacciones y sus diagramas de cortes haciendo momento en R1.

$$\sum Fz = R1z - 2Pz + Fcz + R2z \quad \text{Ec. 4.17}$$

$$\sum Mt = -(Pz).3,09 - (Pz).29,2 + R2z.31,35 + Fcz.33,91 \quad \text{Ec. 4.18}$$

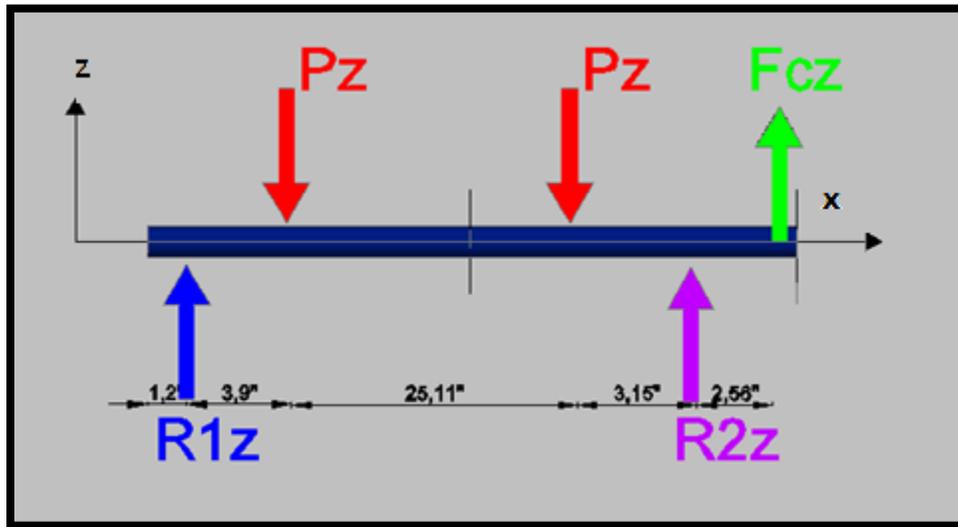


Figura 4.6: diagrama de fuerzas en el plano XZ.

Se obtuvo las siguientes fuerzas y momentos. $R1z = 195.3 \text{ N}$; $R2z = -143.05 \text{ N}$, y se obtuvieron los siguientes diagramas de corte y momento.

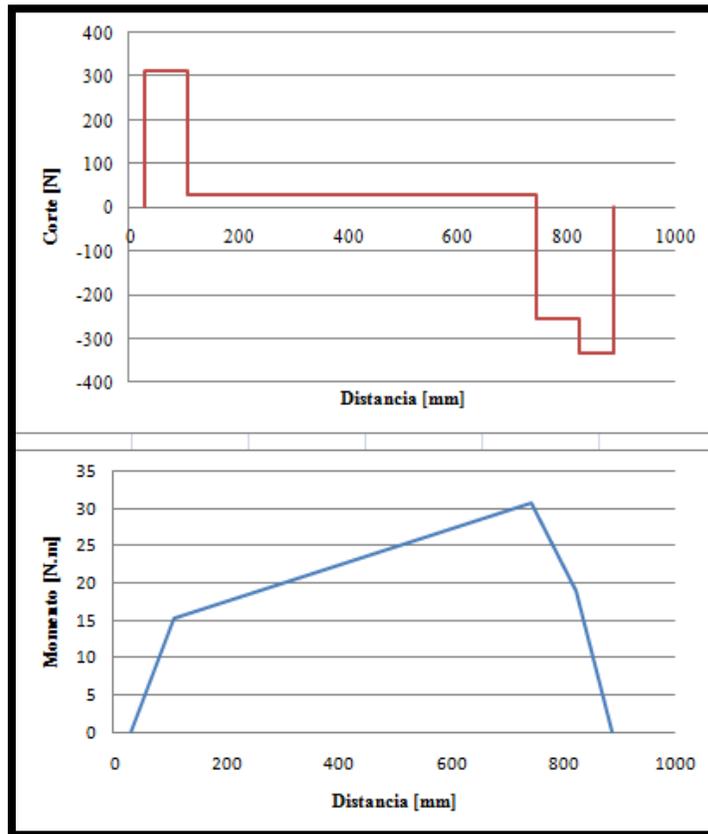


Figura 4.7: Diagrama de corte y momento en el plano XZ

Ya determinadas las fuerzas y los momentos en cada punto, se estiman los diámetros mediante la ecuación 4.12 para lo cual se planteó la siguiente geometría del eje.

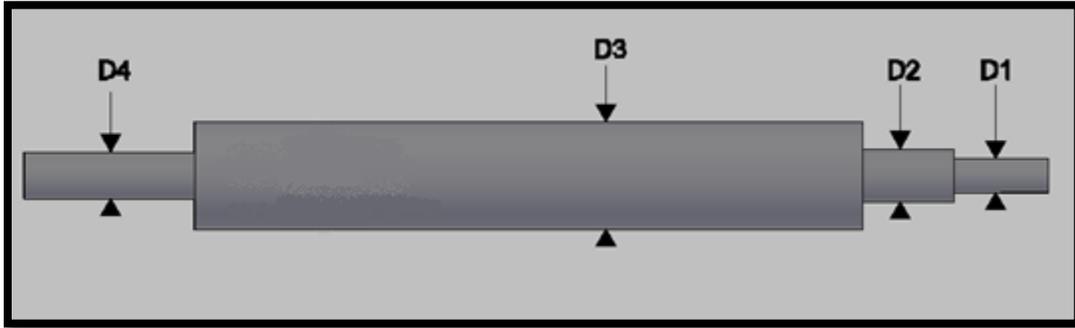


Figura 4.8: Geometría del eje planteada.

Se seleccionó un acero AISI SAE 1020 laminado en frío, el cual posee unas propiedades de $S_u = 469 \text{ MPa}$ y $S_y = 393 \text{ MPa}$.

En el tramo donde se asigna la dimensión D4, solo existe fuerzas cortante, por lo tanto se determinó el diámetro mínimo de la siguiente forma:

$$\tau = \frac{0,577 \cdot S_y}{N} \quad \text{Ec. 4.19}^{[27]}$$

$$\tau = \frac{4}{3} \cdot \frac{V_f}{A_t} \quad \text{Ec. 4.20}^{[19]}$$

Se utilizó un factor de seguridad $N = 3$, y se obtuvo los valores de corte utilizando la sumatoria ($V_f = \sqrt{R1y^2 + R1z^2}$) de las fuerzas cortantes en el punto R1, y el diámetro mínimo dio $D4 = 0.2.87 \text{ mm}$.

Se calculó la resistencia a la fatiga corregida y los factores de diseño mediante las siguientes ecuaciones:

$$S_e = 0,5 \cdot S_u \quad \text{Ec. 4.21}^{[28]}$$

$$S_e = C_{carga} \cdot C_{tamaño} \cdot C_{superf} \cdot C_{temp} \cdot C_{confialdad} \cdot S_e' \quad \text{Ec. 4.22}^{[28]}$$

Se asume el $C_{carga} = 1$ porque en ese punto solo hay carga a flexión, el $C_{tamaño} = 1$

Porque no se conocen todavía las dimensiones del eje, el $C_{superficie} = A.Su^b = 0.94$, y los valores fueron tomados de la tabla anexo A4, se asume $C_{temperatura} = 1$, debido a que la temperatura de operación es menor a los 450°C y por ultimo $C_{confiabilidad} = 1$, ya que se desea que la máquina tenga un factor de confiabilidad de 50% tomado de la tabla anexo A5. Y se obtuvo un $Se = 220,4 MPa$.

Asumiendo un radio de muesca de $r = 0,10$ se obtuvo mediante las ecuaciones 4.21 y 4.22 los valores de $q = 0,77$; $K_f = 2,95$ y $K_{fsm} = 1,77$, luego mediante la ecuación 4.12 se obtuvo los diámetros, $D_2 = 22,02 mm$; $D_3 = 25,43 mm$ y $D_1 = 16,256 mm$.

4.1.4 Calculo del eje a deflexión angular o torsión.

Para el diseño de un eje por deflexión angular se deben usar las ecuaciones siguientes:

$$\frac{\theta}{l} = \frac{Mt}{G * J} \quad \text{Ec. 4.23}^{[29]}$$

$$J = \frac{\pi D_{eje}^4}{32} \quad \text{Ec. 4.24}^{[30]}$$

La ecuación 4.14 se aplica en los puntos ab, bc, y cd del eje en estudio y obtenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{M_{tab} * L_{ab} + M_{tbc} * L_{bc} + M_{tcd} * L_{cd}}{G * \frac{\pi d^4}{32}} = \theta \quad \text{Ec. 4.25}$$

Sabiendo que la deflexión angular máxima establecida en la norma es de un valor de 0,00635/pulgada de longitud, sustituyendo obtenemos un valor de $\theta = 0,004$, sustituimos en la ecuación 4.25 y obtenemos un diámetro de 0,18 pulgadas ó 4,6 milímetros.

4.1.5 Calculo del eje por Deflexión lateral.

Para el cálculo de las dimensiones del eje por el procedimiento de la deflexión lateral usaremos la siguiente ecuación en el plano YX.

$$E * I \left(\frac{d^2Y}{dX^2} \right) = M \quad \text{Ec. 4.26}^{[31]}$$

Se tomara el punto donde se encuentra R1 como punto fijo para hacer el cálculo de la sumatoria de momento, tomando en cuenta que el momento será positivo en el sentido anti horario y negativo en sentido horario. En base a lo establecido se desarrolla la ecuación de carga.

$$R1y \langle x - 0 \rangle^{-1} - Py \langle x - 0,0785 \rangle^{-1} - Py \langle x - 0,717 \rangle^{-1} + R2 \langle x - 0,796 \rangle^{-1} + R2 \langle x - 0,861 \rangle^{-1} = E * I \left(\frac{d^2Y}{dX^2} \right) \quad \text{Ec. 4.27}$$

En base al procedimiento que se utiliza en este método procedemos a integrar.

Primera Integración.

$$R1y \langle x - 0 \rangle^0 - Py \langle x - 0,0785 \rangle^0 - Py \langle x - 0,717 \rangle^0 + R2 \langle x - 0,796 \rangle^0 + R2 \langle x - 0,861 \rangle^0 + C1 = E * I \left(\frac{dY}{dX} \right)$$

Segunda Integración.

$$R1y \langle x - 0 \rangle^1 - Py \langle x - 0,0785 \rangle^1 - Py \langle x - 0,717 \rangle^1 + R2 \langle x - 0,796 \rangle^1 + R2 \langle x - 0,861 \rangle^1 + C1 \langle x \rangle + C2 = E * I$$

Tomando en cuenta que cuando se incluye el momento que realizan las fuerzas de reacción en la ecuación las constantes que surgen producto de la integración son cero (C1 = 0 y C2 = 0), por lo tanto, la ecuación de momento del eje queda de la siguiente manera.

$$R1y \langle x - 0 \rangle^1 - Py \langle x - 0,0785 \rangle^1 - Py \langle x - 0,717 \rangle^1 + R2 \langle x - 0,796 \rangle^1 + R2 \langle x - 0,861 \rangle^1 = E * I$$

Se sabe que el modulo de elasticidad para el acero tiene un valor de $E=30$ MPsi (206.8GPa), y que el momento de inercia de una sección circular viene dado por la siguiente ecuación;

$$I = \frac{\pi * D_{eje}^4}{64} \quad \text{Ec. 4.28}^{[32]}$$

Para determinar el valor de la dimensión del eje se sustituye en la ecuación de momento el valor de E, y la ecuación del momento de inercia. En el punto donde el momento es máximo ($x = 28.2$), se obtuvo como resultado un diámetro de eje de 0,1261 pulgadas ó 3,2 milímetros.

Se seleccionó un eje con dos cambios de sección transversal, para disminuir las concentraciones de esfuerzos, por lo que se diseñó un eje, de diámetro máximo de 25,4 milímetros y un diámetro de 19.05 milímetros en la zona donde se encuentran los rodamientos. Éste satisface los diferentes métodos con los cuales se diseñó dicho elemento de máquina.

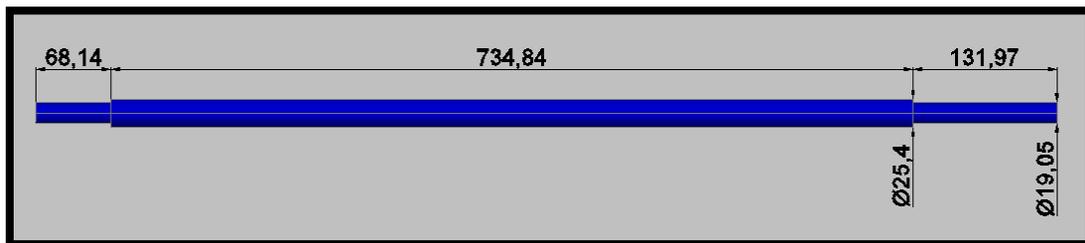


Figura 4.9: Dimensiones finales de eje.

4.1.5 Diseño de chaveta o cuña.

Este elemento será usado para sujetar la catalina al eje y así transmitir la potencia de la cadena al eje diseñado. El material seleccionado para la chaveta es Acero AISI 1010, por tener una resistencia menor al corte que el eje, los valores de este acero son $S_y = 303$ MPa (44 Kpsi) y $S_u = 365$ MPa (53Kpsi).

Partiendo del diámetro de 25,4 milímetros (1 plg) del eje y con las tablas de dimensiones de chavetas tenemos que las dimensiones de la chaveta a utilizar son:

Tabla 4.1 Tamaños en pulgadas para chavetas rectangulares y cuadradas de tipo estándar.

Diámetro del Eje. (in)	Tamaño de la Chaveta		Profundidad de chavetero
	W	H	
7/8 - 1 1/4	1/4	3/16	3/32

Tomada de la pág. 416. SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.

Para diseñar una chaveta en primer lugar tenemos que calcular la fuerza que actuará sobre la misma, la cual será la fuerza tangencial al eje, producida por el momento torsor, esta fuerza viene dada por la siguiente ecuación.

$$F = \frac{T}{r} \quad \text{Ec. 4.29}^{[33]}$$

Con un valor de $T_{\text{momento torsor máximo en el eje}} = 42,71 \text{ N.m} = 378 \text{ lbf}$ y un radio del eje de 25,4 milímetros. El valor de la fuerza que actúa sobre la chaveta es de $F = 3362,9 \text{ N}$. Ahora se estudia falla por corte que se determina con la siguiente ecuación.

$$\frac{S_{ys}}{N} = \frac{F}{t * L} \quad \text{E.c. 4.30}^{[34]}$$

Sabiendo que $S_{ys} = 0.577S_y$, se tiene que $S_y = 174,83 \text{ MPa}$ y tomando un factor de seguridad de $N = 2,8$, menor que el factor de seguridad establecido para el diseño del eje.

De esta manera se obtiene el valor de la longitud de la chaveta. $L = 9.6 \text{ mm} = 0.378 \text{ pulgadas}$.

De ésta manera se selecciona una chaveta de dimensiones $\frac{1}{4} \times \frac{3}{16} \times \frac{3}{32}$ pulgadas. De un acero 1010 laminado en caliente.

4.1.6 Selección de rodamientos.

Para seleccionar un rodamiento se debe cumplir con las condiciones estáticas y dinámicas. Se seleccionan rodamientos rígidos de bola, para la selección de los rodamientos se conoce que $D_{eje} = 25,4 \text{ mm}$, $N_{eje} = 500 \text{ rpm}$ y debe cumplir con las condiciones siguientes para los apoyos:

$$\text{Apoyo en R1: } R1 = \sqrt{R1y^2 + R1z^2} = 82,71 \text{ lbf} = 367,91 \text{ N}$$

$$\text{Apoyo en R2: } R2 = \sqrt{R2y^2 + R2z^2} = 99,50 \text{ lbf} = 442,59 \text{ N}$$

Se tomó para el estudio el apoyo en R2, debido a que es el punto más esforzado y es en él donde la fuerza es mayor. Se tiene que $L_{h10} = 40.000 \text{ h}$, por la tabla anexo A7, para así verificar las cargas estáticas y dinámicas.

Se determinó la carga dinámica mediante la ecuación 4.31. Para obtener las horas

$$L = L_{h10} \cdot N \cdot 60 \quad \text{Ec 4.31.}$$

$$L = \left(\frac{C_d}{P} \right)^p \quad \text{Ec. 4.32}^{[35]}$$

Se obtuvo que $L = 1.200 \cdot 10^6 \text{ h}$, luego mediante la ecuación m, se calculó la carga dinámica, $C_d = 4,703 \text{ KN}$.

Luego se determinó la carga estática mediante la ecuación 4.33 y la tabla anexo A9,

$$C_o = S_o \cdot P_o \quad \text{Ec. 4.33}^{[36]}$$

Y se obtuvo una fuerza estática de $C_o = 0.885 \text{ KN}$, y luego con la carga estática, dinámica y el diámetro del eje.

Se seleccionó el rodamiento con chumacera o soporte de pie con 4 agujeros, en el catalogo FAG, figura (anexo A17) No. 56205.100.

4.1.6 Diseño de soldadura para la base del motor.

Para el diseño de la soldadura, es necesario saber las fuerzas que actúan, en la base de acero, de tipo ASTM A36, por la tanto se realizó el estudio de las cargas sobre la estructura. Se determinó que la reacción en el punto donde se va realizar la soldadura (Punto R1), existe una fuerza cortante $R_{1y} = 516,22 \text{ N}$ y una fuerza a compresión de $R_{2x} 290 \text{ N}$, como se muestra en la figura 4.10

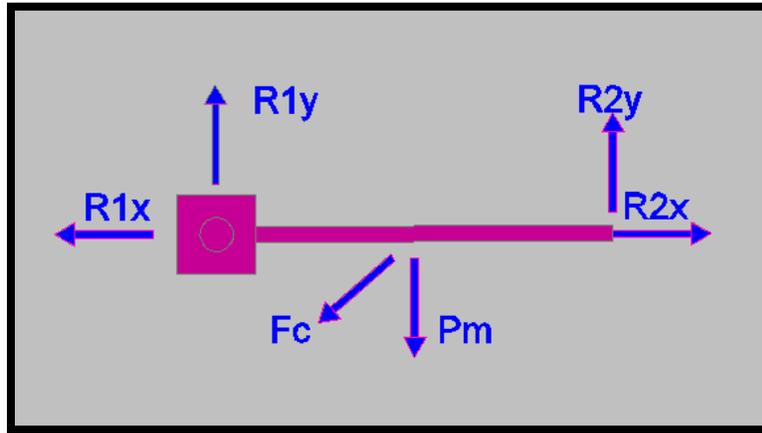


Figura 4.10: Diagrama de fuerzas en la base del motor.

Por lo tanto se hizo necesario aplicar la relación de Von-Misses y obtener una fuerza cortante total de $P = 873 \text{ N}$, debida a la fuerza ejercida por la cadena y el peso del motor (77 Kg) Y mediante la ecuación 4.34 se determinó que el esfuerzo cortante admisible es de $\tau = 25,6 \text{ MPa}$. Utilizando la tabla anexo A22 que muestra el área para los cordones de soldadura.

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{V}{1,414 \cdot h \cdot b} \quad \text{Ec. 4.34}$$

$$\tau'' = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{1,414 \cdot M}{b \cdot d \cdot h} \quad \text{Ec. 4.35}^{[44]}$$

$$\tau_{adm} = \frac{0,5 \cdot S_y}{N} \quad \text{Ec. 4.36}$$

En la soldadura se observa esfuerzo combinado, por lo que determinó el valor de dicho esfuerzo con la siguiente ecuación 4.35, para la cual se tiene que $b = 213 \text{ mm}$, $d =$

60 mm, como se muestra en la figura 4.11. Donde se observa el cordón de soldadura en color negro.

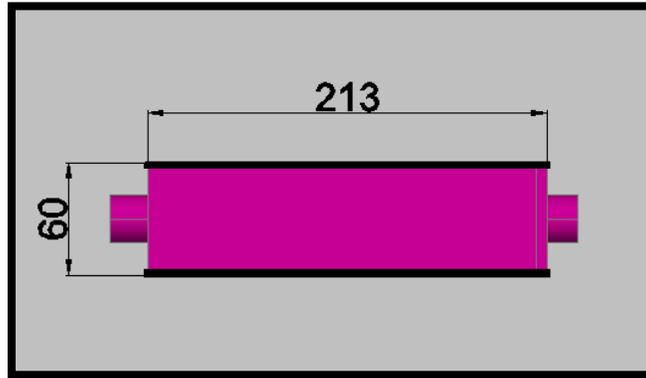


Figura 4.11: Vista del soporte base para el motor, muestra cordón de soldadura (vista posterior).

Se obtiene un momento torsor de $M = 96 N.m$. Usando un factor de seguridad de $N = 10$, y un electrodo para soldar de tipo E60xx, con una resistencia de $427 MPa$, se obtuvo un ancho mínimo de soldadura debido al esfuerzo combinado de $h = 0,6 mm$, para evitar que el sistema falle.

Luego se diseña un soporte como se muestra en la figura 4.10, que actúa como un pie de amigo, y es una barra que es sometida a compresión y a flexión con una fuerza $P = 133.1 lbf$.

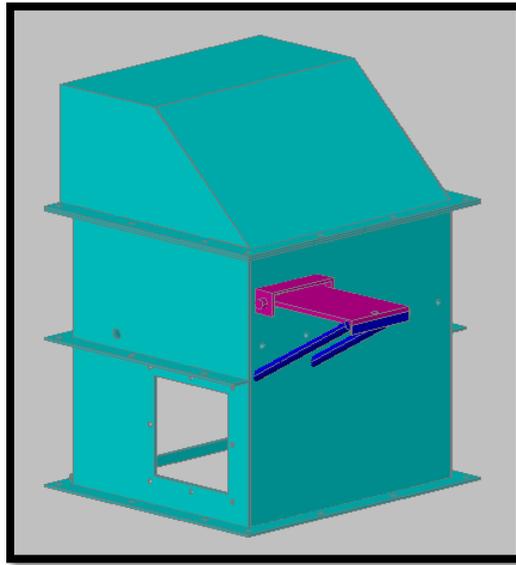


Figura 4.12: Caja en isometría, vista de bases para el motor.

Se dispone en el mercado de barras de acero AISI SAE 1020 con $S_y = 393 \text{ MPa}$, las barra forman 30 grados con la horizontal como se muestra en la figura 4.12.1.

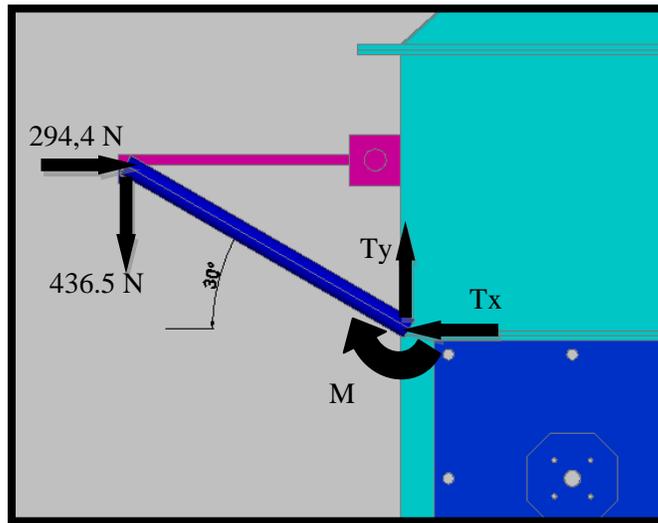


Figura 4.12.1: vista lateral de las barras para soporte de motor.

Realizando el cálculo de las cargas que actúan en la barra se obtiene cargas a compresión a flexión en la misma con los valores mostrados en la figura.

$$\sigma_e = \frac{0,6 \cdot S_y}{N} \quad \text{Ec. 4.37}$$

$$\sigma_e = \sqrt{3 \left(\frac{F}{A}\right)^2 + \left(\frac{M \cdot c}{I}\right)^2} \quad \text{Ec. 4.38}$$

Mediante la ecuación 4.38 y un factor de seguridad igual a 5 se seleccionó una barra de 0,06 m de diámetro para soportar el peso del motor y las cargas asociadas a la transmisión de potencia.

Para la instalación del motor se recomienda ubicarlo fuera de la estructura de la caja para evitar concentraciones de esfuerzos en las paredes y evitar que la máquina colapse. Por lo que se propone la siguiente geometría de ensamble que se muestra en la figura 4.13.

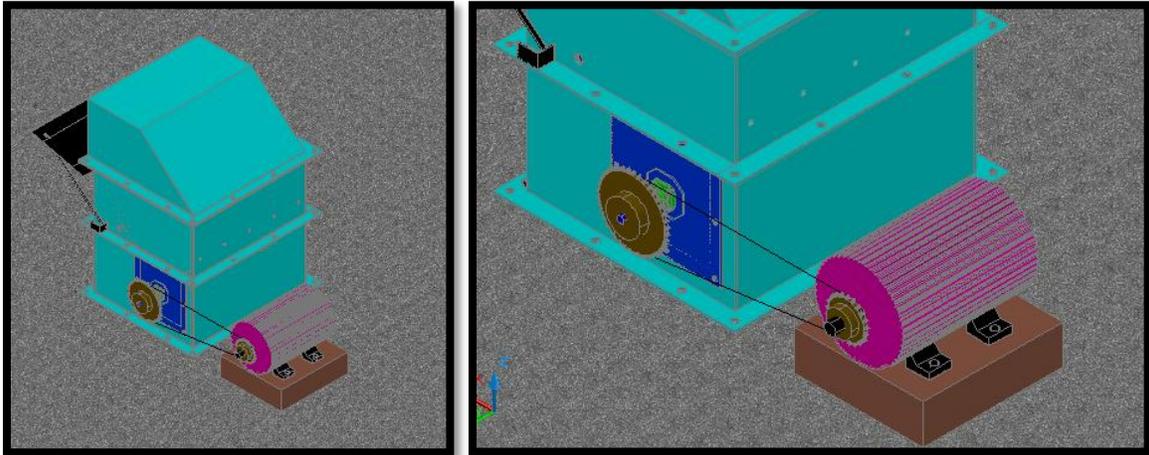


Figura 4.13: Geometría y ubicación del motor

Para comprobar que el diámetro del eje no se ve afectado se realizó el diagrama de cuerpo libre y los diagramas de corte y momento para el plano más esforzado y se compararon con los ya calculados anteriormente.

$$\sum Fz = R1z - 2Pz + Fcz + R2z \quad \text{Ec. 4.39}$$

$$\sum Mt = -(Pz) \cdot 129,54 - (Pz) \cdot 767,24 + R2z \cdot 847,25 + Fcz \cdot 912,29$$

82 *Diseño de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

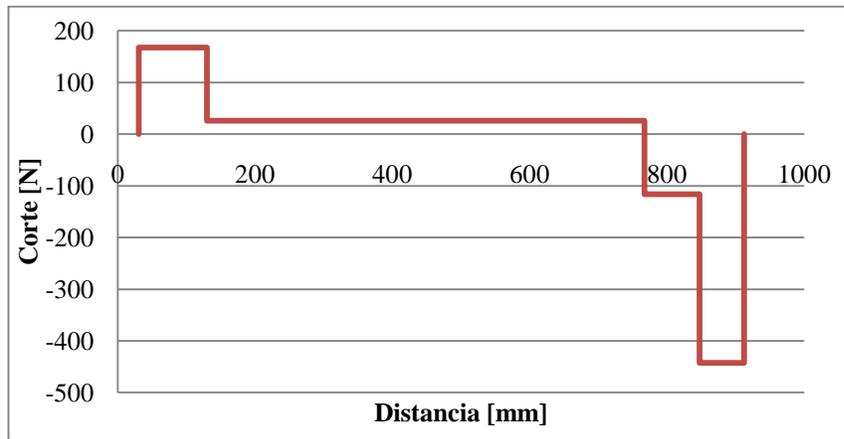


Figura 4.14: Diagrama de corte.

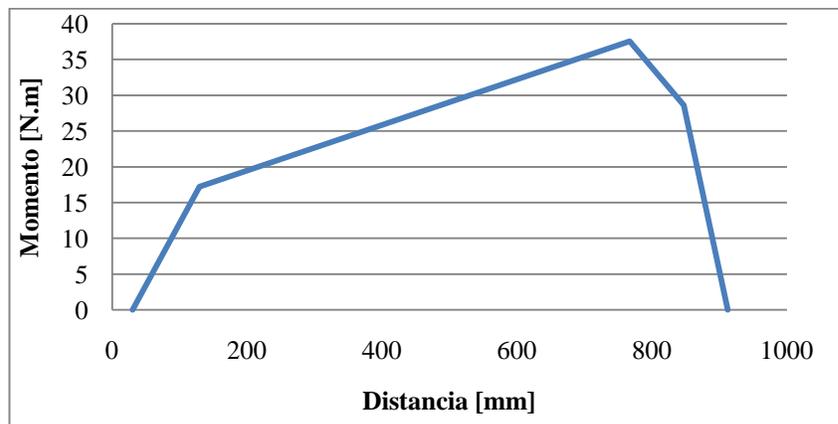


Figura 4.15: Diagrama de momento.

Se obtuvo las siguientes fuerzas y momentos. $R1z = 434,23 \text{ lbf}$; $R2z = -592,83 \text{ lbf}$, y se observa que al comparar el diagrama de momento obtenido con la nueva localización del motor, con el diagrama de momento donde se encuentra el momento máximo el cual es de 43 N.m, y el momento máximo obtenido para la nueva configuración es de 38 N.m, lo cual no modificará el diseño del eje, ya que el diámetro se diseñó en función de cargas superiores a la que ocurre en esta posición.

Se seleccionó para la soldadura un electrodo de 1/8 de pulgada E60xx, debido a que el material que se desea soldar es un acero de bajo carbono por lo que el manual de procesos de soldadura lo recomienda, para un proceso de soldadura de filete en plano, según la norma AWS A5.1. [38] Se considera que el ancho de garganta debe ser como mínimo, el ancho del material más delgado.

Se seleccionó una barra de acero comercial A36 de $2\frac{3}{8}$ de pulgadas para mantener estable la base del motor, y soldada en los extremos según norma AWS A5.1.

4.1.6 Diseño de la caja.

Es necesario recordar que la tolva estaba diseñada para sostener cargas a compresión, pero con propuesta de la máquina moledora, es necesario realizar modificaciones para poder adaptar los diferentes elementos diseñados en el presente trabajo, para lograr la fabricación de la misma se procedió a determinar el factor de seguridad de dicha caja ante los esfuerzos de compresión en la zona donde se realizó el mayor cambio de área. En la figura 4.16 se muestra el área transversal de la caja donde se realizó mayor reducción de material.

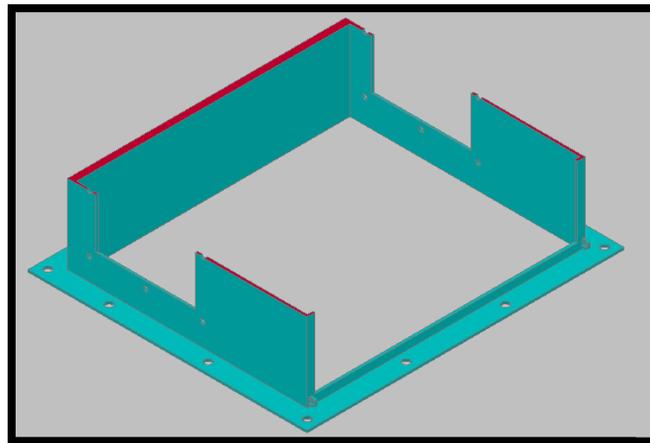


Figura 4.16: Vista en corte de la sección transversal. (Isometría)

En color rojo se observa el área de la sección transversal de la caja la cual tiene un valor de $0,0168 m^2$, y se obtienen las propiedades de la caja figura 4.16 completa, del software AUTOCAD 2009 como se muestran en el anexo A22.

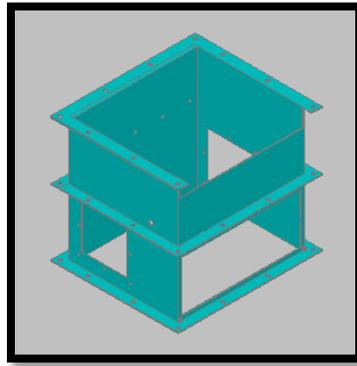


Figura 4.16: Caja o tolva. Máquina moledora.

Se obtuvo mediante el software las propiedades de los elementos restantes, eje, rodamientos, tubo, tapas de tubo, filos de la herramienta, tapas de la caja que generan cargas sobre la tolva, para luego determinar los esfuerzos que en ella actúan.

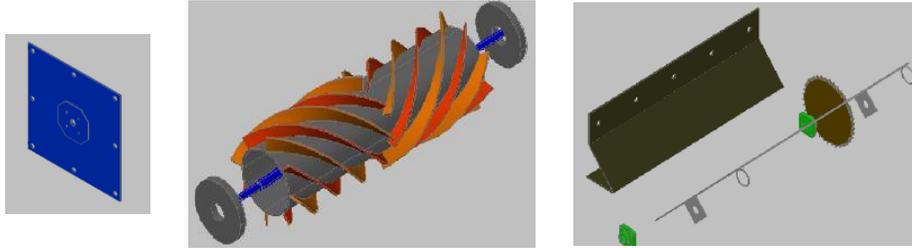


Figura 4.17: Elementos de máquina en la tolva.

Con el peso total ejercido por los diferentes elementos de máquina, se obtuvo mediante la ecuación $\sigma_e = \frac{P}{Ac}$, siendo ($P = 2090 \text{ N}$; $Ac = 0.01683 \text{ m}^2$), que la tolva es sometida en el área más esforzada a compresión con un valor de $\sigma_e = 125 \text{ KPa}$, la estructura opera bajo un factor de seguridad de muy elevado.

Se recomienda verificar la soldadura a filete de las esquinas, para evitar fallas, de ser necesario se debe soldar a filete en plano, según norma AWS A5.1, y utilizando un ancho de garganta mínimo igual al espesor del material más delgado.

4.1.7 Diseño de los tornillos de sujeción.

4.1.7.1 Tornillos de sujeción del eje a la tolva.

Las tapas laterales que soportaran el eje serán sujetadas a la tolva por medio de tornillos, los tornillos serán sometidos a cargas de corte, con un valor de $3021,23 \text{ N}$. Para todo el

conjunto de tornillos, en este valor de fuerza se está considerando todas las fuerzas que actúan sobre el eje y el peso del mismo.

Serán colocados 4 tornillos por tapa, dando un total de 8 tornillos en las 2 tapas.

El corte máximo se determinara con la siguiente ecuación.

$$\tau_{max} = \frac{S_{ycorte}}{N} \quad \text{Ec. 4.41}^{[40]}$$

Tomando un valor de factor de seguridad de 3, y empleando tornillos de grado 1, de aceros de bajo carbono, se determinó el valor de S_{ycorte} con la ecuación $S_{ycorte} = 0,577 S_y$. Con un valor de $S_y = 228 \text{ MPa}$, se obtiene el valor de $S_{ycorte} = 131,5 \text{ MPa}$. Empleando tornillos de grado 1, de aceros de bajo carbono. Resultando así un corte máximo de $\tau_{max} = 43,83 \text{ MPa}$.

$$\tau = \frac{P}{n \cdot \pi \cdot R \cdot L} \quad \text{Ec. 4.42}^{[41]}$$

Despejando el valor del radio de la ecuación 4.42, y utilizando los valores ya calculados, obtenemos un radio de tornillo de $0,004 \text{ mm}$.

Con este valor se seleccionó un tornillo de $\frac{3}{8} \text{ plg}$, grado 1, de acero de bajo carbono, de cabeza hexagonal, por ser un tornillo comercial y que soporta las cargas del diseño.

4.1.7.2 Tornillos de sujeción del tobogán a la tolva.

El tobogán por donde bajara la materia que se va a moler, estará sujetado a los lados por dos tornillos, uno a cada lado del tobogán. Estos tornillos estarán sometidos a esfuerzos cortantes producidos por el peso del tobogán y por el peso del saco de la materia prima. La fuerza producida por el peso del tobogán es de 203 N y la producida por el peso del saco es de 245 N, eso es un total de 448 N.

Tomando el valor de $\tau_{max} = 43,83 \text{ MPa}$, utilizando un factor de seguridad (N) igual a 3, y la ecuación 4.41, Con los datos obtenidos y la ecuación 4.42 se determinó el valor del radio que es sometida a el esfuerzo cortante, la cual es de $0,002 \text{ m}$.

Se seleccionó tornillos grado 1, de acero de bajo carbono, con un diámetro de $\frac{3}{8}$ plg de cabeza hexagonal, para estandarizar los tornillos de la máquina y que operen en forma segura.

4.2 Capacidad de la máquina.

Se determinó la capacidad de la máquina, de acuerdo con la cantidad de material que puede pulverizar los ocho filos que posee y las revoluciones de operación.

Cada herramienta puede devastar dos (2) milímetros de material, y asumiendo la condición crítica, que entra un terrón máximo del tamaño del saco ($400 \times 300 \times 100 \text{mm}$), se obtiene que para devastar en su totalidad los 400 milímetros de largo es necesario que la herramienta pase 200 veces. Se calcula la capacidad por unidad de sacos con la ecuación 4.41.

$$C = \left(\frac{200 \text{ pasadas}}{8 \text{ pasadas/RPM}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ s}}{500 \text{ RPM}} \right) \quad \text{Ec. 4.43}^{[42]}$$

Se obtuvo una capacidad de la máquina de operación de 3 segundos por saco.

CAPÍTULO 5

Estudio Económico

A continuación se presentan los detalles relacionados al costo de los componentes comerciales y manufacturados, requeridos para la fabricación del dispositivo diseñado en el capítulo 4.

Para indicar los costos se parte del criterio de que la máquina se construirá por la empresa Vemeca C.A.

Tabla 5.1. Estimación de costos de fabricación.

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO BsF.	COSTO TOTAL	REFERENCIA EMPLEADA
CHUMACERA FY 3/4	2	170	342	Rodamientos NTR
CADENA PASO 5/8" 50	1	222.66	222.66	ASTRAL
PIÑON PASO 50. 21 DIENTES	1	151.2	151.2	ASTRAL
PIÑON PASO 50. 38 DIENTES	1	330.4	330.4	ASTRAL
ANILLO DE SUJECION FFB 25/50	2	253.14	506.3	ASTRAL
MOTOR TRIFASICO DE 3HP, FRAME 215T. 900 RPM.	1	5100	5100	SIMENS
BARRA DE ACERO 1 PULGADA	1	170,34	170,34	PRECA
TUBO ACERO 6 PULGADAS (6 pulg x 4mm x 12mts)	1	2153	2153	PRECA
LAMINA DE ACERO (2,4 m x 1,2 m x 2,5 mm)	1	473,78	473,78	PRECA
TORNILLOS 3/4 DE PULGADAS	32	5	160	PRECA
MANO DE OBRA (mecanizado, soldadura, herrería, etc.)	1	6000	6000	VEMECA
TOTAL BsF.			14399,12	

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

La tabla anterior nos indica que es posible construir el dispositivo diseñado, debido a que los materiales y equipos necesarios para su elaboración y posterior mantenimiento son nacionales y se encuentran en el mercado, además del factor económico, donde es de menor costo construir el dispositivo que comprar otro ya fabricado a un valor mayor y tenerlo que adaptar a la línea de producción, además hay que tener en cuenta que la planta procesadora de pinturas necesita la instalación del dispositivo dentro de la misma tolva que opera en su línea, lo cual es un factor imposible de conseguir en el mercado.

Durante la investigación se consiguieron algunos precios de molinos de diversos tipos pero que pueden cumplir la misma función, todos los precios de dichos molino superan el valor de los 25.000BsF, lo cual el desarrollo del dispositivo diseñado arroja un ahorro del 65% del dinero a invertir.

A continuación se presentan algunos modelos y precios de equipos de molienda conseguidos en el mercado.

Listado de 99.934 Molino de martillos Eliminator BLISS	
Modelo:	E-3820-TF
Número de serie:	N / A
Año de construcción:	N / A
Estado de conservación:	USADO
Dimensiones y peso:	
Ubicación:	EE.UU. - norcentral (Ver Mapa)
El vendedor carga tema de los camiones comprador	
¡Cómpralo ya! Por:	\$ 24,000.00 (Dólares EE.UU.)
Última oferta:	\$ 0.00 (<i>Reserva no alcanzada</i>)
# De las ofertas:	0 (<i>véase el historial de pujas</i>)
Oferta mínima de apertura:	\$ 13.800,00 de pujas
<p>Este Bliss modelo E-3820-TF molino de martillos Eliminator es alimentado por una de 100 CV, 230/460 voltios, trifásico motor eléctrico y viene equipado con un modelo de SMA20 magnética adaptador de Bliss. Esta máquina se utiliza para reducir un producto a un tamaño predeterminado. Funciona bien para los granos de todo tipo, materiales fibrosos, productos alimenticios, subproductos y la carne / harina de hueso. Buen estado.</p> <p>Solicitar más información</p>	

Figura 5.1: Precio de Molino de Martillo.

Fuente: <http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&langpair=en/es&u=http://www.bid-on-equipment.com/6950.htm>



Figura 5.2: Molino de Martillo Comercial.

Fuente: <http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&langpair=en/es&u=http://www.bid-on-equipment.com/6950.htm>

Molino de martillo

Modelo:	# 30
Número de serie:	13808
Año de construcción:	N / A
Estado de conservación:	USADO
Dimensiones y peso:	
Ubicación:	EE.UU. - Sur-central (Ver Mapa)
El vendedor carga tema de los camiones comprador	
¡Cómpralo ya! Por:	\$ 28,000.00 (Dólares EE.UU.)
Última oferta:	\$ 0.00 (Reserva no alcanzada)
# De las ofertas:	0 (véase el historial de pujas)
Oferta mínima de apertura:	\$ 15,000.00 Oferta
Williams cerdo 5.5 "eje 30" de ancho del rotor de 28 "de diámetro con contrapeso 1 / 2" martillos de espesor. Cuenta con 150 HP del motor. Tema reconstruida después de la venta espere 2-4 semanas.	
Solicitar más información	

Figura 5.3: Precio de Molino.

Fuente: <http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&langpair=en/es&u=http://www.bid-on-equipment.com/6950.htm>



Figura 5.4: Molino de Martillo.

Fuente: <http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&langpair=en/es&u=http://www.bid-on-equipment.com/6950.htm>

Durante la investigación se encontraron algunos precios de molinos de diversos tipos, que pueden cumplir la misma función, todos los precios de dichos molinos superan el valor de los 25.000BsF, lo cual representa un ahorro del 65% del dinero a invertir en el desarrollo del dispositivo diseñado en el presente trabajo de grado.

CAPÍTULO 6

Análisis de Resultados

6.1. Análisis de Resultados.

El estudio realizado de la situación problemática nos llevó al diseño efectivo de una maquina de molienda capaz de pulverizar los terrones aglutinados de la materia prima del proceso de fabricación de pinturas y dar solución al problema presente en la empresa. Se toma en cuenta que la máquina puede ser fabricada en el taller de la empresa Vemeca, en donde se dispone de una gama de materiales de fabricación, lo cual disminuye los costos y disminuye el tiempo de construcción.

- Se diseñó la geometría de las herramientas de corte, utilizando métodos de cortes similares a los existentes en la actualidad, en base a ellos se determinó el tipo de material a emplear y se verificó que la geometría cumpliera con los requerimientos de diseño; se selecciona un acero 1010 laminado en caliente. Las propiedades del mismo son mucho mayores a las requeridas para cortar la materia prima lo que aumenta el factor de seguridad de operación, pero se dispone de láminas de dicho material en las instalaciones del taller.

- La orientación de la herramienta se dispuso de forma tal que no se produjesen fuerzas axiales puesto que se cancelan entre sí, esta misma orientación de la herramienta produce que el producto de la molienda salga de manera más ordenado y centrado, provocando un bajo nivel de desperdicios de la materia prima. El método de unión entre la herramienta y el tubo es una soldadura a tope, realizada con un electrodo E60XX Lincoln de 1/8 de pulgada, según norma AWS A5.1 y un ancho de garganta mínima de $4mm$.
- Para la transmisión de potencia se utilizó una cadena por las características que estas poseen, tienen una buena absorción de impactos, mejor acoplamiento, mejor distribución de carga, mayor potencia transmitida, y tomando en cuenta que no contábamos con ninguna restricción para la distancia de los centros, esta fue la mejor alternativa, además, esto nos da un diseño de bajo costo y más práctico comparado con la utilización de engranes. Se seleccionó una cadena de rodillos de 5/8 pulgada de paso, número 50 No. Part. 119057, con una longitud de 110 pasos según el catálogo Renold de cadenas y ruedas catalinas, de longitud equivalente a $1,7 m$, un piñón y una rueda catalina de 21 dientes, No. 10B1/21T y 38 dientes No. 10B1/38T respectivamente, del catálogo Renold.
- Se seleccionó un eje con dos cambios de sección transversal, para disminuir las concentraciones de esfuerzos, lo cual arrojó un diámetro máximo de 25,4 milímetros y un diámetro de 19,05 milímetros en la zona donde se encuentran los rodamientos, esta medida seleccionada garantiza el correcto funcionamiento de la máquina moladora debido a que se estudió el eje por tres métodos (fatiga, deflexión lateral y torsión). Se diseñó un chavetero de $6,35 \times 4,7625 \times 35 mm$ dimensiones para transmitir la potencia del motor al eje a través de las catalinas.
- El diseño de la chaveta se realizó tomando en cuenta todas las fuerzas que actúan sobre ésta, de corte y aplastamiento, conociendo por tablas los valores del ancho y alto en base al diámetro del eje, se calculó una longitud mínima de la chaveta, sin embargo, para el diseño final se tomará la longitud de la chaveta igual a la del ancho

del cubo de la catalina, de esta forma, se consigue mayor estabilidad y uniformidad en la transferencia del par torsor. La chaveta tiene unas dimensiones de 6,35 x 4,7625 x 35 mm y el material es un acero 1010, el cual posee propiedades menores de resistencia que el acero 1020, de forma que al momento de una sobrecarga falle primero la chaveta que el eje.

- Para la selección de los rodamientos se determinó las cargas estática de 885 N y una carga dinámica de 4,703 KN, para lo cual se selecciona un rodamiento con soporte del catalogo FAG, 56205.100, el cual es ideal para colocar en las tapas de la tolva por sus dimensiones y peso.
- Para la colocación de la herramienta de corte, se seleccionó un tubo que nos permite aumentar el diámetro, y con esto garantizar que toda el área de impacto del material aglutinado se encuentre en contacto con las herramientas de corte. Se selecciona un tubo de acero A-36, de 152,4mm de diámetro y de 7mm de espesor. La soldadura requerida entre el tubo y las tapas del mismo, es una soldadura de filete, realizada con un electrodo E60XX Lincoln de 1/8 de pulgada, según norma AWS A5.1 y un ancho de garganta mínima de 4mm.
- Para transmitir la potencia del eje al tubo de herramientas se seleccionó un anillo de fijación modelo BK-13 25x50 mm, el cual tiene la capacidad de transmitir un par torsor de 413 N.m y una fuerza axial de 34 KN. Esta es la mejor selección para la transmisión de potencia puesto que no se le hará ninguna ranura al eje que debilite su resistencia ni provoque concentradores de esfuerzos.
- Se selecciona un motor trifásico de 3 HP, marca Siemens tipo jaula de ardilla de eficiencia estándar con un armazón de 215T que opera a 900 RPM, como se muestra en el anexo A1, para cumplir con las demandas de energía del dispositivo.
- Se hizo necesario reubicar la colocación del motor debido a que el motor tamaño 215T, tiene un peso de 78 Kg, y capaz de entregar un par torsor de 38N.m,

aumentaría las vibraciones en el dispositivo, aumentando la concentración de esfuerzos de los diferentes elementos. Se recomienda colocar los motores en bases firmes.

- El área de entrada a la tolva fue modificada, disminuyendo sus dimensiones a 250mm de alto y 600mm de ancho, con el fin de impedir la entrada de cualquier persona mientras el equipo está en funcionamiento. La tapa de la tolva es totalmente desmontable para facilitar cualquier mantenimiento que se requiera hacerle.

CAPÍTULO 7

Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

Teniendo presente que la tolva ya estaba fabricada, la máquina se debía adaptar a las dimensiones de ésta, se diseñó el dispositivo de fácil desarme y mantenimiento. Dos de las caras laterales de la tolva fueron modificadas y cambiadas por nuevas planchas de acero desmontables y capaces de sostener el motor y las tensiones que él mismo produce sobre el eje y los filos cortantes.

- De todas las alternativas planteadas en el estudio se recomienda que la unidad de motor con el tubo y soportes fijos de herramientas, establecerá un mejor desempeño para la pulverización de los compuestos higróspicos.
- Junto con el apoyo de la empresa Vemeca, se seleccionan materiales que se encuentran a la disposición en el taller de la misma, para disminuir costos para la empresa al momento de la fabricación del diseño.
- El diseño del dispositivo se realizó tomando en cuenta su mantenimiento, para esto, se realizaron los cálculos con piezas de fácil acceso en el territorio nacional. El dispositivo se dispone con un ensamblaje sencillo.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

- El diseño del eje se realizó por tres métodos, de los cuales se tomó como resultado el diámetro mayor de los tres, garantizando así, que se cumpla con los diámetros mínimos arrojados por los diferentes métodos. Se consideró también, reducir los costos de fabricación, por lo que se diseñó en base al diámetro comercial de barras que se pueden conseguir en el país.
- El dispositivo trabajara bajo condiciones ambientales estándar de humedad y temperatura de la ciudad (65% y 27° C), tomando en cuenta que debe estar bajo techo, asegurando que se mantenga alejado de cualquier ambiente con una humedad muy alta o lluvia, que puedan afectar al material que es procesado.
- La entrada de la materia prima a la tolva se mantiene de la misma forma en la que se hace, mediante cintas transportadoras, y el dispositivo será colocado en la tolva en su parte más alta, por lo que no es necesario diseñar nuevos métodos de agregado de material. El diseño es parte de una mejora continua del proceso de producción de pinturas.
- El eje del dispositivo es accionado por un motor de 3 Hp y gira a una velocidad de 500 rpm, la cual es suficiente para proporcionar un tiempo de molienda óptimo para el proceso.
- El dispositivo podrá manejar 1 saco a la vez, procesando cada saco en un tiempo de 3 segundos, eliminando así cualquier retraso posible en la línea de producción causado por el aglutinamiento de los compuestos.
- El sistema de catalinas y cadena estará cubierto con un cubre cadenas, con el fin de evitar el contacto del personal que labore en esta área con el dispositivo en funcionamiento y así evitar algún accidente.
- El área de entrada a la tolva se dispuso de tal dimensión que impida la entrada de cualquier persona a la misma, garantizando un nivel de seguridad óptimo en el funcionamiento del dispositivo diseñado.
- Se ratificó los conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera, debido a que se utilizó los conocimientos de gran variedad de materias.
- La fabricación de este dispositivo traerá un gran beneficio para la línea de producción de pinturas, logrando la continuidad de la misma, por esta razón es un proyecto factible, también desde el punto de vista económico, tomando en cuenta los beneficios que trae para la empresa y sabiendo que el precio de fabricación del equipo está muy por debajo del precio de cualquier equipo del mercado.

7.2 Recomendaciones.

- Se pueden elaborar piezas del dispositivo como los filos de la herramienta, el tubo, las tapas del tubo en materiales más ligeros, lo cual disminuiría el peso de las piezas lo que sería de gran ayuda al momento de ensamble, elevaría un poco más los costos de fabricación pero disminuiría los mantenimientos correctivos por desgastes.
- Estudiar los métodos de transporte de la materia prima, para disminuir la formación de terrones dentro de los compuestos.
- Evitar mantener los compuestos en almacenes donde la humedad en el ambiente sea elevada para disminuir la formación de los aglutinados.
- En caso de que el nivel de ruido del dispositivo sea muy elevado, se recomienda sustituir las cadenas de rodillo por cadenas silenciosas, las cuales poseen buen rendimiento y el nivel de ruido es muy bajo en comparación a la implementada. El nivel de ruido de la cadena de rodillos seleccionada es de $80dB$.
- Para el buen funcionamiento a lo largo del tiempo del dispositivo, se recomienda realizarle el mantenimiento necesario, por ejemplo manteniendo bien lubricada la cadena, de esta manera alarga la vida útil y reduce ruidos.

Referencias

- [1] Anillos de Fijación autocentrante marca BEA. [Catálogo]. Edición 2005.
- [2] Bazin C., Fortin C., Hodouin D., & Cayouette J. (2004). Effect of fineness of grind on semi-batch flotation test results. *Minerals Engineering*, Vol. 18 (2005), 367-370.
- [3] Brown, G., George G., Foust, Alan S., Kats, Donald L.V. (1965). “Operaciones básicas de la Ingeniería Química”. (Ed. 1era). Barcelona: Editorial Marín S.A.
- [4] Fag, Catálogo de rodamientos FAG. [Catálogo]. Edición 2000.
- [5] Fueyo L. (1999). “Equipos de trituración, molienda y clasificación: tecnología, diseño y aplicación”. (Ed. 2da). Editorial Rocas y minerales
- [6] García-Pelayo R, Gross. (2009). “Pequeño Larousse Ilustrado”. (1 era Edición). Barcelona. Larousse.
- [7] Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. Mc Graw Hill

99 Referencias. Diseño de una máquina moladora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.

- [8] Guanipa, V. (2007). Selección de materiales de ingeniería. Primera edición.
- [9] Internet <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA05.htm>, día 13.04.2011 **Propiedades de las Rocas de Construcción y Ornamentación** valores obtenidos en seco por Guardia Olmedo et al., 1986, *Arte y Deterioro en los Monumentos Granadinos. Catedral, Chancillería y Palacio de Carlos V.* Universidad de Granada, 140 p.)
- [10] Martínez, A., Valdéz, P., Díaz J., Maturell, Y., & Vega, D. (2005). Calculo del momento de inercia requerido en un molino forrajero para garantizar un régimen de trabajo estable del rotor. *Revista de Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, Vol. 14 (No. 1), 1-3.
- [11] Norton, R. L. (1998). *Diseño de máquinas.* Pearson Prentice. Primera Edición
- [12] Parida, N. Tarafder, S., Das S.K., Kumar P., Das G., Ranganath V.R., & Bhattacharya D.K., (2002). Failure analysis of coal pulverizer mill shaft. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 10 (2003), 733-744.
- [13] Ramirez E., Johnston D., McAloon A., Yee W., & Singh V. (2006). Engineering process and cost model for a conventional corn wet milling facility. *Industrial Crops and Products*. Vol. 27 (2008), 91–97.
- [14] Rotor Clip. Catálogo de productos. [Catálogo]. Edición 2005.
- [15] Salas J., Benzo Z., Gonzalez G., Marcano E., & Gomez C. (2009). Effect of Ca/P ratio and milling material on the mechanochemical preparation of hydroxyapatite. *J Mater Sci: Mater Med*, Vol. 20 (2009), 2249–2257.

100 Referencias. Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróscopos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.

- [16] Shaw M.D., Karunakaran C., & Tabil L.G. (2008), Physicochemical characteristics of densified untreated and steam exploded poplar wood and wheat straw grinds. Biosystems Engineering. Vol. 103 (2009), 198–207.
- [17] Shigley, J. E. & Mischke, Ch. R. (1998). Diseño en ingeniería mecánica. Mc Graw Hill. Cuarta Edición.
- [18] Siemens, Catálogo general de motores eléctricos. [Catálogo]. Venezuela
- [19] Tassoni, D. (2006). Elementos de máquinas. Primera Edición.
- [20] Tomada de la pág. 221. SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.
- [21] Tomada de la pág. 68. TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo.
- [22] Tomada de la pág. 137. MOTT, Robert. RESISTENCIA DE MATERIALES APLICADA, PRENTICE HALL, Tercera edición.
- [23] Tomada de la pág. 60. SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.
- [24] Tomada de la pág. 765. SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.
- [25] Manual de selección de cadenas y catalinas. Universidad de Carabobo

101 Referencias. Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróscopos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.

- [26] Tomada de la pág. 573. NORTON, Robert. DISEÑO DE MAQUINAS, PEARSON, Primera Edición, 1999.
- [27] Tomada de la pág. 82. TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo.
- [28] Tomada de la pág. 373. NORTON, Robert. DISEÑO DE MAQUINAS, PEARSON, Primera Edición, 1999.
- [29] Tomada de la pág. 59. SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.
- [30] Tomada de la pág. 725 del apéndice. FAIRES, Virgil. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS, MONTANER Y SIMÓN, S. A. Barcelona. Primera Edición 1970.
- [31] Tomada de la pág. 447. MOTT, Robert. RESISTENCIA DE MATERIALES APLICADA, PRENTICE HALL, Tercera edición.
- [32] Tomada de la pág. 725 del apéndice. FAIRES, Virgil. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS, MONTANER Y SIMÓN, S. A. Barcelona. Primera Edición 1970.
- [33] Tomada de la pág. 592. NORTON, Robert. DISEÑO DE MAQUINAS, PEARSON, Primera Edición, 1999.
- [34] Tomada de la pág. 593. NORTON, Robert. DISEÑO DE MAQUINAS, PEARSON, Primera Edición, 1999.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

102 Referencias. Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.

- [35] Tomada de la pág. 31. Catalogo Rodamientos FAG. Catálogo WL 41 520/3 SB
- [36] Tomada de la pág. 41. Catalogo Rodamientos FAG. Catálogo WL 41 520/3 SB
- [37] Tomada de la pág. 22. TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo.
- [38] Tomada de la pág. 19. TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo.
- [39] Tomada de la pág. 95. TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo.
- [40] Tomada de la pág. 109. TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo
- [41] Tomada de la pág. 110. TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo.
- [42] Tomada de la pág. 28. GOMEZ, E., Nuñez, F., PLANTAS INDUSTRIALES ASPECTOS TECNICOS, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo.
- [43] Tomada de la pág. 70. RENOLD, ROLLER CHAIN CATALOGUE. Superior chain technology.
- [44] Tomada de la pág. 448. SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.

103 Referencias. Diseño de una máquina molidora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.

[45] Tomada de la pág. 5.6-6. Lincoln Electric. THE PROCEDURE HANDBOOK OF ARC WELDING, The Lincoln electric company.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

Anexos

Motores trifásicos jaula de ardilla, eficiencia estándar

Construcción horizontal con gatas, 60 Hz.
 220-230/440-460 V, motores tipo RGZ y RGZSD de armazones 143T al 256T.
 220/440 V motores tipo RGZ y RGZSD desde armazones 284T hasta 75HP.
 220/440 V motores tipo RGZSD hasta 75 HP.
 440 V ó 460 V motores a partir de 150 HP.

TCCVE Servicio pesado A prueba de explosión		Tipo RGZ TCCVE Aisl. F - F.S. 1.15	Tipo RGZSD Servicio pesado Aisl. F - F.S. 1.15	Tipo RGZSD Prueba de Explosión División 1 Cl.1-Grupo D Cl.2-Grupo F&G Aisl. B - F.S. 1.0	
HP	RPM	Armazones	Cat. No.	Cat. No.	Cat. No.
0.5	900	143T	3000804	-	-
0.75	1800	143T	3000815	-	30001648
	1200	143T	3000826	HSF0391	30001655
	600	145T	3000800	-	-
1	3600	143T	3000804	-	30001642
	1800	143T	3000857	HSF0165	30001671
	1200	145T	3000890	HSF0518	30001690
	600	182T	3000948	HSG1108	30002158
1.5	3600	143T	3000845	HSF0119	30001685
	1800	145T	3000879	HSF0530	30001683
	1200	182T	3000940	HSG1113	30002048
	600	184T	3000981	HSG1824	30002049
2	3600	145T	3000868	HSF0574	30001677
	1800	145T	3000912	HSF0560	30001696
	1200	184T	3000973	HSG1831	30002157
	600	213T	3001024	HSR2191	30001727
3	3600	182T	3000923	HSG1155	30002153
	1800	182T	3000932	HSG1134	30001705
	1200	213T	3001013	HSR2198	30001732
	600	215T	3001071	HSR2758	30002176
5	3600	184T	3000957	HSG1866	30002154
	1800	184T	3000965	HSG1852	30002156
	1200	215T	3001060	HSR2772	30001743
	600	254T	3001118	HSR3280	30001783
7.5	3600	213T	3000991	HSR2233	30001711
	1800	213T	3001002	HSR2219	30001718
	1200	254T	3001106	HSR3304	30001760
	600	256T	3001185	HSR3808	30001777
10	3600	215T	3001035	HSR2907	30001732
	1800	215T	3001047	HSR2793	30001737
	1200	256T	3001153	HSR3815	30001774
	600	284T	30005729	HSJ4270	-
15	3600	254T	3001082	HSR3339	30001752
	1800	254T	3001094	HSR3325	30001755
	1200	284T	30007302	HSJ4277	HXJ4347
	600	286T	30007304	HSJ4746	-
20	3600	256T	30001129	HSR3850	30001766
	1800	256T	30001141	HSR3836	30001769
	1200	286T	30007303	HSJ4753	HXJ4816
	600	324T	30007313	HSK5238	-
25	3600	284T	30007299	HSJ4550	HXJ4592
	1800	284T	30005716	HSJ4298	HXJ4354
	1200	324T	30007310	HSK5243	HXK5313
	600	326T	30007314	-	-

Anexo A1: Catalogo general de motores eléctricos. Tomado del catalogo de motores trifásicos Siemens.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

100 Anexos. *Diseño de una máquina moladora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

▼ Valores f_L para rodamientos de bolas

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_n}{500}}$$

L_n	f_L	L_n	f_L	L_n	f_L	L_n	f_L	L_n	f_L
h		h		h		h		h	
100	0,585	420	0,944	1700	1,5	6500	2,35	28000	3,83
110	0,604	440	0,958	1800	1,53	7000	2,41	30000	3,91
120	0,621	460	0,973	1900	1,56	7500	2,47	32000	4
130	0,638	480	0,986	2000	1,59	8000	2,52	34000	4,08
140	0,654	500	1	2200	1,64	8500	2,57	36000	4,16
150	0,669	550	1,03	2400	1,69	9000	2,62	38000	4,24
160	0,684	600	1,06	2600	1,73	9500	2,67	40000	4,31
170	0,698	650	1,09	2800	1,78	10000	2,71	42000	4,38
180	0,711	700	1,12	3000	1,82	11000	2,8	44000	4,45
190	0,724	750	1,14	3200	1,86	12000	2,88	46000	4,51
200	0,737	800	1,17	3400	1,89	13000	2,96	48000	4,58
220	0,761	850	1,19	3600	1,93	14000	3,04	50000	4,64
240	0,783	900	1,22	3800	1,97	15000	3,11	55000	4,79
260	0,804	950	1,24	4000	2	16000	3,17	60000	4,93
280	0,824	1000	1,26	4200	2,03	17000	3,24	65000	5,07
300	0,843	1100	1,3	4400	2,06	18000	3,3	70000	5,19
320	0,862	1200	1,34	4600	2,1	19000	3,36	75000	5,31
340	0,879	1300	1,38	4800	2,13	20000	3,42	80000	5,43
360	0,896	1400	1,41	5000	2,15	22000	3,53	85000	5,54
380	0,913	1500	1,44	5500	2,22	24000	3,63	90000	5,65
400	0,928	1600	1,47	6000	2,29	26000	3,73	100000	5,85

▼ Valores f_n para rodamientos de bolas

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 \times n}{n}}$$

n	f_n								
min ⁻¹									
10	1,49	55	0,846	340	0,461	1800	0,265	9500	0,152
11	1,45	60	0,822	360	0,452	1900	0,26	10000	0,149
12	1,41	65	0,8	380	0,444	2000	0,255	11000	0,145
13	1,37	70	0,781	400	0,437	2200	0,247	12000	0,141
14	1,34	75	0,763	420	0,43	2400	0,24	13000	0,137
15	1,3	80	0,747	440	0,423	2600	0,234	14000	0,134
16	1,28	85	0,732	460	0,417	2800	0,228	15000	0,131
17	1,25	90	0,718	480	0,411	3000	0,223	16000	0,128
18	1,23	95	0,705	500	0,405	3200	0,218	17000	0,125
19	1,21	100	0,693	550	0,393	3400	0,214	18000	0,123
20	1,19	110	0,672	600	0,382	3600	0,21	19000	0,121
22	1,15	120	0,652	650	0,372	3800	0,206	20000	0,119
24	1,12	130	0,635	700	0,362	4000	0,203	22000	0,115
26	1,09	140	0,62	750	0,354	4200	0,199	24000	0,112
28	1,06	150	0,606	800	0,347	4400	0,196	26000	0,109
30	1,04	160	0,593	850	0,34	4600	0,194	28000	0,106
32	1,01	170	0,581	900	0,333	4800	0,191	30000	0,104
34	0,993	180	0,57	950	0,327	5000	0,188	32000	0,101
36	0,975	190	0,56	1000	0,322	5500	0,182	34000	0,0993
38	0,957	200	0,55	1100	0,312	6000	0,177	36000	0,0975
40	0,941	220	0,533	1200	0,303	6500	0,172	38000	0,0957
42	0,926	240	0,518	1300	0,295	7000	0,168	40000	0,0941
44	0,912	260	0,504	1400	0,288	7500	0,164	42000	0,0926
46	0,898	280	0,492	1500	0,281	8000	0,161	44000	0,0912
48	0,886	300	0,481	1600	0,275	8500	0,158	46000	0,0898
50	0,874	320	0,471	1700	0,27	9000	0,155	50000	0,0874

Anexo A2: Valores de fs. Tomado del catalogo FAG de Rodamientos.

Clasificación de la carga	Tipo de carga	Factor de Servicio	
		10 horas al día	24 horas al día
A	uniforme	1.0	1.2
B	Choque moderado	1.2	1.4
C	Choque fuerte	1.4	1.7

Tabla A3: Clasificación de las cargas y factor de Servicio para la selección de cadenas. Tomada del catalogo de selección de cadenas. Universidad de Carabobo.

Material ASTM núm. y productos	Resistencia última, s_u^*		Resistencia a la cedencia, s_y^*		Porcentaje de alargamiento en 2 plg
	ksi	MPa	ksi	MPa	
A36-Perfiles, placas y barras de acero al carbón	58	400	36	248	21
A242-Perfiles, placas y barras de baja aleación y alta resistencia					
$\leq 3/4$ plg de espesor	70	483	50	345	21
$3/4$ a $1\ 1/2$ plg de espesor	67	462	46	317	21
$1\ 1/2$ a 4 plg de espesor	63	434	42	290	21
A500-Tubería estructural formada en frío					
Redonda, grado A	45	310	33	228	25
Redonda, grado B	58	400	42	290	23
Redonda, grado C	62	427	46	317	21
Perfilada, grado A	45	310	39	269	25
Perfilada, grado B	58	400	46	317	23
Perfilada, grado C	62	427	50	345	21
A501-Tubería estructural formada en caliente, redonda o perfilada	58	400	36	248	23
A514-Placa de acero aleado templado y enfriado de alta resistencia a la cedencia					
$\leq 2\ 1/2$ plg de espesor	110	758	100	690	18
$2\ 1/2$ a 6 plg de espesor	100	690	90	620	16
A572-Perfiles, placas y barras de acero de baja aleación de columbio-vanadio de alta resistencia					
Grado 42	60	414	42	290	24
Grado 50	65	448	50	345	21
Grado 60	75	517	60	414	18
Grado 65	80	552	65	448	17

*Valores mínimos; pueden ser más elevados.
El American Institute of Steel Construction especifica $E = 29 \times 10^6$ lb/plg² (200 GPa) para acero estructural.

Anexo A4: Propiedades de aceros estructurales. Tomada de la pág. 599. MOTT, Robert. RESISTENCIA DE MATERIALES APLICADA, PRENTICE HALL, Tercera Edición.

102 Anexos. *Diseño de una máquina moladora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

Confiabilidad %	$C_{\text{confiabilidad}}$
50	1.000
90	0.897
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659

Tabla anexo A5: Factores de Confiabilidad. Tomado de la pág. 381. NORTON, Robert. DISEÑO DE MAQUINAS, PEARSON, Primera Edición, 1999.

Diámetro del eje (in)	Tamaño de la chaveta (in)		Profundidad del chavetero (in)
	w	h	
7/8 a 1 ¼	1/4	3/16	3/32
	1/4	1/4	1/8

Anexo A6: Tamaños en pulgadas para chavetas rectangulares y cuadradas de tipo estándar.
Tomada de la pág. 416. SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.

103 Anexos. *Diseño de una máquina moladora de aglutinado de compuestos higroscópicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

Clase de máquina	L _{10h} horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos técnicos para uso médico	300 a 3 000
Máquinas de uso intermitente o por cortos periodos: Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas para la construcción	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento durante cortos periodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas	8 000 a 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo, no totalmente utilizadas: Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: Máquinas-herramienta, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de imprimir, centrifugas y separadoras	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria propulsora para transatlánticos	60 000 a 100 000
Maquinaria para la fabricación de papel y pasta de papel, maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos	~ 100 000

Anexo A7: Guía para los valores de la duración L10h para diferentes clases de máquinas.

Tomado del catalogo FAG

Carga equivalente					
dinámica			estática		
$P = XF_r + YF_a$			$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$		
Si $P_0 > F_r$, se toma $P_0 = F_r$					
Factores de carga					
dinámica					
F_a/C_0	e	$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$	
		X	Y	X	Y
0,025	0,22	1	0	0,56	2
0,04	0,24	1	0	0,56	1,8
0,07	0,27	1	0	0,56	1,6
0,13	0,31	1	0	0,56	1,4
0,25	0,37	1	0	0,56	1,2
0,5	0,44	1	0	0,56	1

Anexo A8; Ecuaciones de cargas equivalentes y factor de carga dinámico. Tomadas del Catalogo FAG.

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

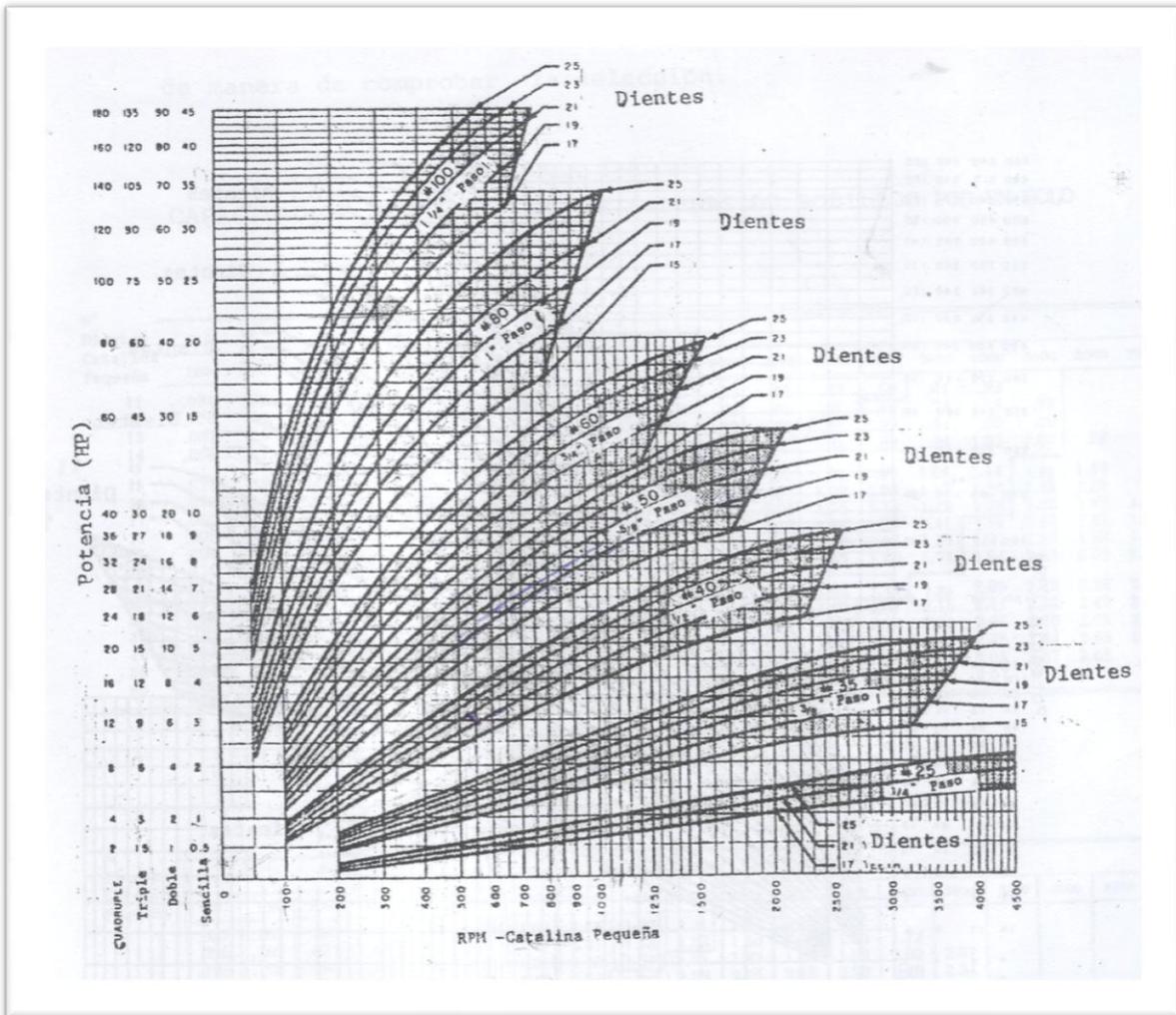
Aplicaciones en que se dé con seguridad un funcionamiento suave, sin vibraciones $s_0 = 0,5$
 Condiciones de trabajo medias, con exigencias normales de funcionamiento silencioso $s_0 = 1$
 Cargas de choque acusadas $s_0 = 1,5$ a 2
 Rigurosas exigencias de funcionamiento silencioso $s_0 = 2$

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula, se tomará en general $s_0 \geq 2$.

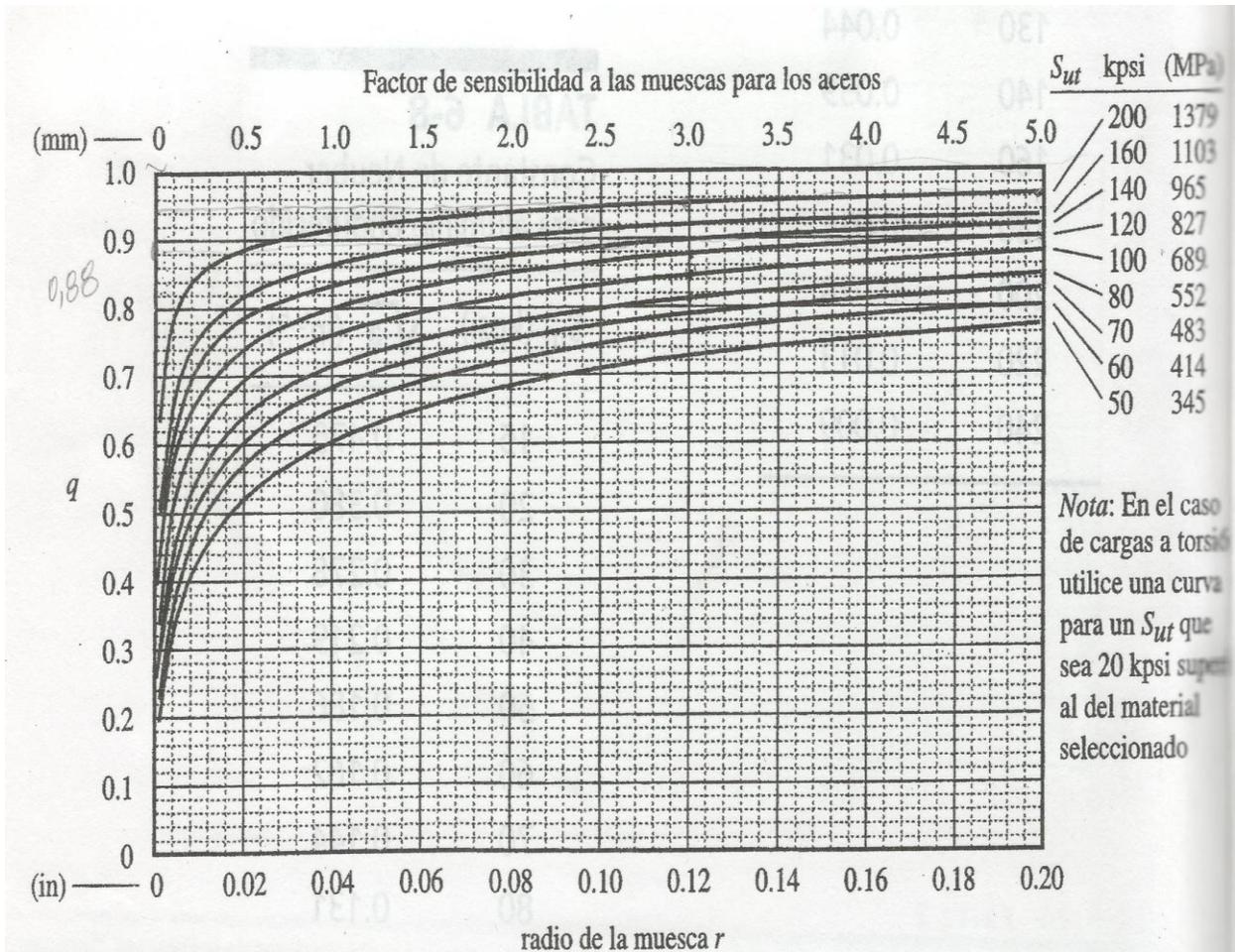
Anexo A9: Factor de seguridad estática para rodamientos de bolas que giran. Tomadas del Catalogo FAG.

Clase A -Carga Uniforme	Clase B-Carga Moderada	Clase C-Carga de choque fuerte
Agitadoras-Líquidos puros. Transportadores-Cargados llenados uniformemente. Ventiladores - Centrífugos de diámetro pequeño. Máquinas - Aquellos que trabajan con cargas constantes. Cedazos rotativos llenados uniformemente.	Maquinarias para amasar arcilla Transportadores servicio pesado y no uniforme. Grúas y montacargas Servicio medio pesado. Dragas Guaya, Tambor y transportador. Industria de alimento - Rebana-doras de remolachas- Mezcladora de Pastas. Molinos de carne. Industria de Lavandería-Lavadores Máquinas herramientas -auxiliares Tánices - Rotativos (Piedras o gravas) Industria Textil - Calandrias Máquinas teñidoas Planchadoras, Hiladoras Toda máquina que trabaja con carga constante y moderada. Clase C.	Maquinaria para arcillas - Prensa para ladrillos. Transportadores Reversibles y con sacudidas. Grúas y montacargas Servicio pesado. Dragas Máquinas de servicio pesado Molinos de martillo. Máquina herramientas Punzadoras. cizalladoras. Cepilladoras. Toda máquina que trabaja con impacto y cargas visibles. Taller de metales - Banco de estrusión -cortadora. Molinos - Rotativos de bolas. -Hornos de cemento. Industria de papel Mezcladoras. Calandrias, prensas. Industria Textil - Máquina para cardar.

Anexo A10. Tipo de cadena según la carga. Tomada del catalogo de selección de cadenas. Universidad de Carabobo.



Anexo A11. Tipo y características de cadenas según la potencia de trabajo. Tomada del catalogo de selección de cadenas. Universidad de Carabobo.



Anexo A12. Factor de sensibilidad a las muescas en Aceros. Tomada del Apéndice. F. TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo

Dimensiones en pulgadas para algunas aplicaciones de chavetas rectangulares y cuadradas de tipo estándar*

DIÁMETRO DE EJE MÁS DE HASTA (INCL.)	TAMAÑO DE CHAVETA		PROFUNDIDAD DE CHAVETERO
	w	h	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{16}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{32}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

Fuente: Joseph E. Shigley, "Unthreaded Fasteners", Cap. 22, Joseph E. Shigley y Charles R. Mischke (eds.), *Standard Handbook of Machine Design*, McGraw-Hill, Nueva York, 1986.

Anexo A13. Dimensiones de chaveta según el diámetro del eje. Tomada de la pág. 416. SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.

Diámetro orificio y diámetro eje (D)		Tamaño del prisionero usando chavetas cuadradas
Pulgadas.		Pulgadas
$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{16}$	_____	$\frac{1}{4}$
$\frac{5}{8}$ — $\frac{7}{8}$	_____	$\frac{1}{4}$
$\frac{15}{16}$ — $1\frac{1}{4}$	_____	$\frac{3}{8}$
$1\frac{5}{16}$ — $1\frac{3}{8}$	_____	$\frac{3}{8}$
$1\frac{7}{16}$ — $1\frac{3}{4}$	_____	$\frac{3}{8}$
$1\frac{13}{16}$ — $2\frac{1}{4}$	_____	$\frac{1}{2}$
$2\frac{5}{16}$ — $2\frac{3}{4}$	_____	$\frac{5}{8}$
$2\frac{7}{8}$ — $3\frac{1}{4}$	_____	$\frac{5}{8}$
$3\frac{3}{8}$ — $3\frac{3}{4}$	_____	$\frac{3}{4}$
$3\frac{7}{8}$ — $4\frac{1}{2}$	_____	$\frac{3}{4}$
$4\frac{3}{4}$ — $5\frac{1}{2}$	_____	$\frac{7}{8}$
$5\frac{3}{4}$ — $7\frac{3}{8}$	_____	1
$7\frac{1}{2}$ — $9\frac{7}{8}$	_____	$1\frac{1}{4}$
10 — $12\frac{1}{2}$	_____	$1\frac{1}{4}$

Anexo A14. Tamaño del tornillo prisionero según el diámetro del eje. Tomada del catalogo de selección de cadenas. Universidad de Carabobo.

TABLA C-9 Propiedades mecánicas de algunos aceros al carbono
 Datos de varias fuentes. * Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Número SAE/AISI	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1010	laminado en caliente	26	179	47	324	28	95
	laminado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	laminado en caliente	30	207	55	379	25	111
	laminado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	laminado en caliente	38	259	68	469	20	137
	normalizado @ 1 650°F	50	345	75	517	32	149
	laminado en caliente	64	441	76	524	12	149
	templado y revenido @ 1 000°F	75	517	97	669	28	255
	templado y revenido @ 800°F	84	579	106	731	23	302
1035	templado y revenido @ 400°F	94	648	123	848	17	495
	laminado en caliente	40	276	72	496	18	143
	laminado en frío	67	462	80	552	12	163
1040	laminado en caliente	42	290	76	524	18	149
	normalizado @ 1 650°F	54	372	86	593	28	170
	laminado en frío	71	490	85	586	12	170
	templado y revenido @ 1 200°F	63	434	92	634	29	192
	templado y revenido @ 800°F	80	552	110	758	21	241
1045	templado y revenido @ 400°F	86	593	113	779	19	262
	laminado en caliente	45	310	82	565	16	163
	laminado en frío	77	531	91	627	12	179
1050	laminado en caliente	50	345	90	621	15	179
	normalizado @ 1 650°F	62	427	108	745	20	217
	laminado en frío	84	579	100	689	10	197
	templado y revenido @ 1 200°F	78	538	104	717	28	235
	templado y revenido @ 800°F	115	793	158	1 089	13	444
1060	templado y revenido @ 400°F	117	807	163	1 124	9	514
	laminado en caliente	54	372	98	676	12	200
	normalizado @ 1 650°F	61	421	112	772	18	229
	templado y revenido @ 1 200°F	76	524	116	800	23	229
	templado y revenido @ 1 000°F	97	669	140	965	17	277
1095	templado y revenido @ 800°F	111	765	156	1 076	14	311
	laminado en caliente	66	455	120	827	10	248
	normalizado @ 1 650°F	72	496	147	1 014	9	13
	templado y revenido @ 1 200°F	80	552	130	896	21	269
	templado y revenido @ 800°F	112	772	176	1 213	12	363
	templado y revenido @ 600°F	118	814	183	1 262	10	375

* SAE Handbook, Society of Automotive Engineers, Warrendale Pa.; Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Anexo A15. Propiedades Mecánicas de Aceros al carbono. Tomada del Apéndice. B.
TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo

Elaborado por: Arteaga Edgar y Guinand Carlos

TABLA C-1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería

Datos provenientes de varias fuentes. * Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico

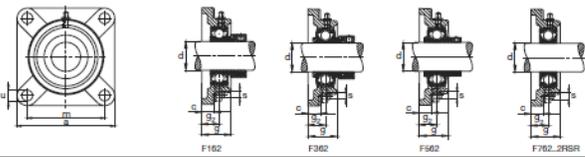
Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ lb/in ³	Densidad de masa ρ Mg/m ³	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* *Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., N.Y., *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Anexo A16. Propiedades Físicas de materiales de ingeniería. **Tomada del Apéndice. B. TASSONI, Danilo, ELEMENTOS DE MAQUINA, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo**

111 Anexos. *Diseño de una máquina moledora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

Unidades FAG de rodamientos S
Series F162, F362, F562, F762...ZRSR
Soporte brida de fundición gris



Eje	Dimensiones										Tornillos de fijación		Denominación abreviada			Peso = Unidad de rodamiento S kg
	d	a	c	g	gr	m	u	min	max	s	mm	In	Unidad de soporte	Rodamiento con dispositivo de seguridad FAG	Soporte	
mm	in	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	In	FAG	FAG	FAG	
1	35.4	03	13	30	19	70	11.5	12.5	M10	7/8			F16205.100	16205.100	F205	1.00
	35.4	03	13	30	19	70	11.5	12.5	M10	7/8			F36205.100	36205.100	F205	1.07
	35.4	03	13	30	19	70	11.5	12.5	M10	7/8			F56205.100	56205.100	F205	0.958
1 1/8	30.088	100	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F16206.101	16206.101	F206	1.33
	30.088	100	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F36206.101	36206.101	F206	1.48
	30.088	100	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F56206.101	56206.101	F206	1.35
1 1/2	28.275	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F16206.102	16206.102	F206	1.31
	28.275	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F36206.102	36206.102	F206	1.44
	28.275	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F56206.102	56206.102	F206	1.31
30	30	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F16206	16206	F206	1.3
	30	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F36206	36206	F206	1.43
	30	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F56206	56206	F206	1.31
1 3/8	30.183	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F16206.103	16206.103	F206	1.3
	30.183	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F36206.103	36206.103	F206	1.43
	30.183	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F56206.103	56206.103	F206	1.31
1 1/4	31.75	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F16206.104	16206.104	F206	1.28
	31.75	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F36206.104	36206.104	F206	1.4
	31.75	106	14	30.5	20	82.5	11.5	12.5	M10	7/8			F56206.104	56206.104	F206	1.28
1 1/2	31.75	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F16207.104	16207.104	F207	1.83
	31.75	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F36207.104	36207.104	F207	1.90
	31.75	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F56207.104	56207.104	F207	1.64
1 3/8	33.338	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F16207.105	16207.105	F207	1.80
	33.338	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F36207.105	36207.105	F207	1.97
	33.338	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F56207.105	56207.105	F207	1.61
1 1/2	34.025	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F16207.106	16207.106	F207	1.8
	34.025	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F36207.106	36207.106	F207	1.94
	34.025	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F56207.106	56207.106	F207	1.75
35	35	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F16207	16207	F207	1.8
	35	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F36207	36207	F207	1.94
	35	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F56207	56207	F207	1.77
1 7/8	36.213	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F16207.107	16207.107	F207	1.78
	36.213	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F36207.107	36207.107	F207	1.92
	36.213	116	15	35	21	92	13	15	M12	1 1/8			F56207.107	56207.107	F207	1.75

Por favor, verifique cualquier cambio de las dimensiones al reemplazar soportes viejos por nuevos. Deje demanda también sus suministros en ejecución; no duden en contactarnos.

FAG | 528 529 | FAG

Anexo A17: Tipo de rodamiento con soporte. Tomadas del Catalogo FAG de Rodamientos

TABLA 14-1 Dimensiones principales de las roscas de tornillo Unified National Standard

Datos calculados de las ecuaciones 14.1—Véase la referencia 3 para mayor información

Tamaño	Roscas bastas—UNC				Roscas finas—UNF		
	Diámetro mayor d (in o pulg)	Hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tensión A_t (in ²)	Hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tensión A_t (in ²)
0	0.0600	—	—	—	80	0.0438	0.0018
1	0.0730	64	0.0527	0.0026	72	0.0550	0.0028
2	0.0860	56	0.0628	0.0037	64	0.0657	0.0039
3	0.0990	48	0.0719	0.0049	56	0.0758	0.0052
4	0.1120	40	0.0795	0.0060	48	0.0849	0.0066
5	0.1250	40	0.0925	0.0080	44	0.0955	0.0083
6	0.1380	32	0.0974	0.0091	40	0.1055	0.0101
8	0.1640	32	0.1234	0.0140	36	0.1279	0.0147
10	0.1900	24	0.1359	0.0175	32	0.1494	0.0200
12	0.2160	24	0.1619	0.0242	28	0.1696	0.0258
1/4	0.2500	20	0.1850	0.0318	28	0.2036	0.0364
5/16	0.3125	18	0.2403	0.0524	24	0.2584	0.0581
3/8	0.3750	16	0.2938	0.0775	24	0.3209	0.0878
7/16	0.4375	14	0.3447	0.1063	20	0.3725	0.1187
1/2	0.5000	13	0.4001	0.1419	20	0.4350	0.1600
9/16	0.5625	12	0.4542	0.1819	18	0.4903	0.2030
5/8	0.6250	11	0.5069	0.2260	18	0.5528	0.2560
3/4	0.7500	10	0.6201	0.3345	16	0.6688	0.3730
7/8	0.8750	9	0.7307	0.4617	14	0.7822	0.5095
1	1.0000	8	0.8376	0.6057	12	0.8917	0.6630
1 1/8	1.1250	7	0.9394	0.7633	12	1.0167	0.8557
1 1/4	1.2500	7	1.0644	0.9691	12	1.1417	1.0729
1 3/8	1.3750	6	1.1585	1.1549	12	1.2667	1.3147
1 1/2	1.5000	6	1.2835	1.4053	12	1.3917	1.5810
1 3/4	1.7500	5	1.4902	1.8995			
2	2.0000	4.5	1.7113	2.4982			
2 1/4	2.2500	4.5	1.9613	3.2477			
2 1/2	2.5000	4	2.1752	3.9988			
2 3/4	2.7500	4	2.4252	4.9340			
3	3.0000	4	2.6752	5.9674			
3 1/4	3.2500	4	2.9252	7.0989			
3 1/2	3.5000	4	3.1752	8.3286			
3 3/4	3.7500	4	3.4252	9.6565			
4	4.0000	4	3.6752	11.0826			

Anexo A18: Dimensiones principales de las roscas de tornillos UNS. Tomada del SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.

TABLA 14-2 Dimensiones principales de las roscas para tornillo métrico estándar ISO
 Datos calculados de las ecuaciones 14.1—Véase la referencia 4 para mayor información

Diámetro mayor d (mm)	Paso p (mm)	Roscas bastas		Roscas finas		
		Diámetro menor d_f (mm)	Área de esfuerzo a tensión A_t (mm ²)	Paso p (mm)	Diámetro menor d_f (mm)	Área de esfuerzo a tensión A_t (mm ²)
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39

Anexo A19: Dimensiones principales de las roscas para tornillos Métrico estándar ISO. Tomada del SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, McGraw-Hill, Cuarta Edición, 1990.

114 Anexos. *Diseño de una máquina moladora de aglutinado de compuestos higróspicos pulverizados, a ser utilizado en planta de pintura.*

Material	Densidad gr/cm ³	Resistencia a la tensión x 1000 psi	Resistencia al impacto, Izop. ft ³ /lb/pulg
Poliétileno baja densidad	0,92 – 0,93	0,9 – 2,5	...
Poliétileno alta densidad	0,95 – 0,96	2,9 – 5,4	0,4 – 14
PVC rígido, clorado	1,49 – 1,58	7,5 - 9	1 – 5,6
Polipropileno de propósito general	0,90 – 0,91	4,8 – 5,5	0,4 – 2,2
Estireno - acrilonitrilo (SAN)	1,08	10 - 12	0,4 – 0,5
ABS, propósito general	1,05 – 1,07	5,9	6
Acrílico, propósito general	1,11 – 1,19	11,0	2,3
Celulósico, acetato	1,2 – 1,3	3 – 8	1,1 – 6,8
Politetrafluoroetileno	2,1 – 2,3	1 - 4	2,5 - 4
Nylon 6,6	1,13 – 1,15	9 – 12	2
Poliacetato, homo	1,42	10	1,4
Policarbonato	1,2	9	12 - 16
Poliéster, PET	1,37	10,4	0,8
Poliéster, PBT	1,31	8 – 8,2	1,2 – 1,3
Óxido de polifenileno	1,06 – 1,10	7,8 – 9,6	5
Polisulfona	1,24	10,2	1,2
Sulfuro de polifenileno	1,34	10	0,3
Fenólico, relleno de viruta de madera	1,34 – 1,45	5 - 9	0,2 – 0,6
Fenólico, relleno mica	1,65 – 1,92	5,5 - 7	0,3 – 0,4
Fenólico, relleno de vidrio	1,69 – 1,95	5 - 18	0,3 - 18
Poliéster, relleno de vidrio SMS	1,7 – 2,1	8 -20	8 - 22

**Anexo A20: Propiedades de los materiales termoplásticos. Tomada del, GUANIPA, Victor.
SELECCIÓN DE MATERIALES DE INGENIERIA. Universidad de Carabobo.**

RENOLD

Transmission Sprockets ISO606
15.875mm (0.625") Pitch

Tooth Width SIMPLEX B1 - 9.2 mm
 Tooth Width DUPLICATION b1 - 9.0 mm
 Tooth Width DUPLEX B2 - 25.6 mm
 Tooth Width TRIPLEX B3 - 42.2 mm

1

Key

Steel
 Cast Iron

Plain Bore - Steel

No of Teeth	PCD Dia A	Top Dia C	Part No	SIMPLEX				Part No	DUPLEX				Part No	TRIPLEX			
				Bore Min	Bore Max	Base Dia E	Dist Thro' F		Bore Min	Bore Max	Base Dia E	Dist Thro' F		Bore Min	Bore Max	Base Dia E	Dist Thro' F
11	56.34	63.2	10S111T	12	25	37	30	10S111T	16	25	39	40	-	-	-	-	
12	61.34	68.2	10S112T	12	28	42	30	10S112T	16	28	44	40	-	-	-	-	
13	66.32	73.2	10S113T	12	30	47	30	10S113T	16	30	49	40	-	-	-	-	
14	71.34	78.2	10S114T	12	32	52	30	10S114T	16	32	54	40	-	-	-	-	
15	76.36	83.2	10S115T	12	32	57	30	10S115T	16	36	59	40	-	-	-	-	
16	81.37	88.3	10S116T	12	36	60	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	86.39	93.3	10S117T	12	36	63	30	10S117T	16	42	69	45	-	-	-	-	
18	91.42	98.3	10S118T	14	42	70	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	96.45	103.3	10S119T	14	42	70	30	10S119T	16	48	79	45	-	-	-	-	
20	101.49	108.4	10S120T	14	45	75	30	10S120T	16	50	84	45	-	-	-	-	
21	106.52	113.4	10S121T	16	45	75	30	10S121T	16	50	85	45	-	-	-	-	
22	111.55	118.4	10S122T	16	48	80	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23	116.58	123.5	10S123T	16	48	80	30	10S123T	16	60	95	45	-	-	-	-	
24	121.62	128.5	10S124T	16	48	80	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	126.66	133.6	10S125T	16	48	80	30	10S125T	16	65	105	45	-	-	-	-	
26	131.70	138.6	10S126T	20	50	85	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27	136.75	143.6	10S127T	20	50	85	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28	141.87	158.6	10S130T	20	58	90	35	10S130T	20	72	120	45	-	-	-	-	
28	142.24	159.1	10S136T	20	60	100	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Plain Bore - Heavy Duty Cast Iron

57	286.18	296.6	10S157T	24	50	90	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	394.15	392.5	10S176T	28	50	90	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95	493.14	489.5	10S195T	28	50	90	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
114	576.13	584.5	10S1114T	38	75	130	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Taper Bore - Steel

No of Teeth	PCD Dia A	Top Dia C	Part No	Taper Bush		Part No	Taper Bush		Part No	Taper Bush	
				Bore Min	Bore Max		Bore Min	Bore Max		Bore Min	Bore Max
15	76.36	83.2	T10S115T	12	25	-	-	-	-	-	-
17	86.40	93.3	T10S117T	12	28	-	-	-	-	-	-
19	96.45	103.3	T10S119T	14	42	-	-	-	-	-	-
21	106.51	113.4	T10S121T	16	45	-	-	-	-	-	-
23	116.59	123.5	T10S123T	16	48	-	-	-	-	-	-
25	126.66	133.6	T10S125T	16	48	-	-	-	-	-	-

Taper Bore - Heavy Duty Cast Iron

28	141.87	158.6	T10S136T	20	58	-	-	-	-	-	-
57	286.18	296.6	T10S157T	24	50	-	-	-	-	-	-
76	394.15	392.5	T10S176T	28	50	-	-	-	-	-	-
95	493.14	489.5	T10S195T	28	50	-	-	-	-	-	-

REBORE, KEYWAY AND SETSCREW MODIFICATION SERVICE AVAILABLE - SEE PAGE 73

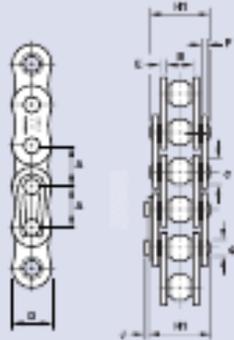
70 engineering excellence www.renold.com

Anexo A21: Catalogo Renold, de ruedas catalinas y cadenas. Tomado de la pág. 70.
 RENOLD, ROLLER CHAIN CATALOGUE. Superior chain technology

RENOLD

RENOLD Synergy® - ANSI Transmission Chain
ISO606 / ANSI B29.100

1





Renold Synergy® ANSI Simplex Transmission Chain

Chain
Technical Details (mm)
Connecting Links

Renold Chain No	ISO No	ANSI No	Pitch Inch	Pitch mm	Inside Width Min	Roller Dia Max	Plate Height Max	Plate Width Inner Max	Plate Width Outer Max	Pin Dia Max	Pin Len Max	Can Link Exts	ISO606 Tensile Strength Min	Weight kg/m	Connecting Links						
															No 4	No 167	No 11	No 28	No 58	No 12	No 36
			A	A	B	C	D	E	F	G	H1	J									
129637	80A-1	25	0.075	9.525	4.88	5.08*	9.05	1.25	1.25	3.58	12	1.1	7000	0.25	/	/	-	/	-	/	/
119847	88A-1	48	0.5	12.7	7.85	7.92	12.07	1.55	1.55	3.90	16.4	1.4	12000	0.6	/	/	/	/	-	/	/
119857	10A-1	58	0.625	15.875	9.4	16.16	15.09	2.03	3.03	5.39	20.4	1.5	21000	1	/	/	/	/	-	/	/
119867	12A-1	68	0.75	19.05	12.57	11.91	18.1	2.29	2.29	5.90	25.2	1.5	31000	1.47	/	/	/	/	-	/	/
119887	90A-1	98	1.0	25.4	15.75	15.88	24.13	3.25	3.25	7.94	32.7	3	32000	2.9	/	/	/	-	/	/	-
119107	30A-1	188	1.25	31.75	18.9	19.05	36.17	4.08	4.08	9.54	38.7	4.2	47000	4.2	/	/	/	-	/	/	-
119127	34A-1	126	1.5	38.1	25.23	25.23	36.2	4.8	4.8	11.11	48.2	5.3	125000	5.7	/	/	/	-	/	/	-
119147	38A-1	148	1.75	44.45	29.23	29.4	42.23	5.61	5.61	12.71	52.9	5.3	170000	7.9	/	/	/	-	/	/	-
119167	33A-1	168	2	50.8	31.55	28.58	48.26	6.25	6.25	14.29	63.1	6.5	220000	10.4	/	/	/	-	/	/	-

* DUSH CHAIN
 † RENOLD SYNERGY FRR EXCEEDS THE ISO606 MINIMUM TENSILE STRENGTH REQUIREMENT, BUT RENOLD DO NOT CONSIDER THAT THIS FIGURE PROVIDES A USEFUL INDICATOR TO THE KEY CHAIN PERFORMANCE AREAS OF WEAR AND FATIGUE.


 link no. 4


 link no. 107


 link no. 11, 58


 link no. 26


 link no. 12


 link no. 36

24
engineering excellence www.renold.com

Anexo A21: Catalogo Renold, de ruedas catalinas y cadenas. Tomado de la pág. 94. RENOLD, ROLLER CHAIN CATALOGUE. Superior chain technology.

----- SOLIDOS -----	
Masa:	16996403.3478
Volumen:	16996403.3478
Cuadro delimitador:	X: -50.0000 -- 662.0000
	Y: -50.0000 -- 759.0000
	Z: -6.0000 -- 700.0000
Centro de gravedad:	X: 175.5027
	Y: 354.5004
	Z: 355.4581
Momentos de inercia:	X: 6.2516E+12
	Y: 4.3921E+12
	Z: 4.7876E+12
Productos de inercia:	XY: 1.0574E+12
	YZ: 2.1417E+12
	ZX: 1.0685E+12
Radios de giro:	X: 606.4818
	Y: 508.3454
	Z: 530.7406
Momentos principales y direcciones X-Y-Z alrededor del centro de gravedad:	
I:	1.9678E+12 a lo largo de [0.9987 0.0000 0.0510]
J:	1.7211E+12 a lo largo de [0.0000 1.0000 0.0000]
K:	2.1286E+12 a lo largo de [-0.0510 0.0000 0.9987]

Anexo A22: Propiedades de la caja o tolva. Tomada del software AUTOCAD 2009.

----- SOLIDOS -----	
Masa:	9624496.1280
Volumen:	9624496.1280
Cuadro delimitador:	X: 1733.6525 -- 2386.0149
	Y: -518.1469 -- 402.0531
	Z: -1430.2775 -- -838.1367
Centro de gravedad:	X: 1944.3116
	Y: -63.9189
	Z: -1215.4589
Momentos de inercia:	X: 1.4992E+13
	Y: 5.0890E+13
	Z: 3.7175E+13
Productos de inercia:	XY: -1.2018E+12
	YZ: 7.3462E+11
	ZX: -2.2674E+13
Radios de giro:	X: 1248.0642
	Y: 2299.4668
	Z: 1965.3269
Momentos principales y direcciones X-Y-Z alrededor del centro de gravedad:	

Anexo A23: Propiedades de elementos de máquina. Tomada del software AUTOCAD 2009.

Nivel de ruido(dBA)	Calificación	Origen del ruido	Sensación que produce sobre el oído
130	Ensordecedor	Motor a reacción. Tracas de artificio.	Sensación de dolor
120	Ensordecedor	Martillo pilón (a 1mt.). Remachado de cisternas.	
110	Muy alto	Laminadoras. Martillos forjadores rápidos. Motocicleta a escape libre (a 1mt.)	Sensación insoportable. Necesidad imperiosa de salir de ese ambiente.
100	Muy alto	Discoteca. Tejeduría mecánica. Sierra circular. Rebabado.	
90	Muy alto	Taller mecánico. Imprenta. Prensas. Punzonadoras.	Sensación molesta
80	Alto	Tornos. Fresadoras. Calle ruidosa. Interior del metro. Cadena de montaje	
70	Moderado	Conversación en voz alta. Oficinas. Almacenes. Tráfico rodado.	Ruido de fondo incómodo para conversar
60	Moderado	Conversación sosegada. Restaurante tranquilo. Ventilador a 1mt. De distancia.	Nivel agradable
40	Moderado-bajo	Sala de estar. Biblioteca. Radio funcionando con música suave.	Nivel de ruido adecuado para el descanso
30	Bajo	Dormitorio. Conversación en voz baja. Frigorífico a 1mt. de distancia.	
20	Muy bajo	Estudio de radio. Iglesia vacía. Vuelo de un mosquito.	Silencio inquietante
10	Muy bajo	Cabina audiométrica. Ruido de la propia respiración.	
0	Silencio	Umbral de audición de joven sano promedio.	

Anexo A24: Tabla de clasificación del ruido. Tomada de la pág. 2. Guía exposición al ruido y su prevención. Tomada de la página Web:

<http://www.grupovitrivio.org/guiasdidacticas/guiaoido.pdf>