



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA**

**“Diseño de un Sistema de Molienda para Reciclaje Seco en la producción  
de láminas de Fibro Cemento”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADA POR:**

**Ángela Beatriz Peñafiel Calderón**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**2012**

## AGRADECIMIENTO

*Al culminar esta etapa de mi vida expreso mi agradecimiento a todas las personas que hicieron posible llegar a la misma. A los ingenieros: Mario Villacrés y Hugo Calderón por la colaboración prestada para la realización de este trabajo.*

*Al Complejo Industrial Tubasec C.A. en la persona del ingeniero Moisés Fierro Director de Fábrica, por hacer posible el desarrollo de este estudio y al señor Gustavo Cajas Líder de Mantenimiento, por su ayuda incondicional, a quienes presento mi reconocimiento y gratitud por su colaboración.*

## DEDICATORIA

*Con mucho amor y cariño a mi querido Hijo  
Alejandro Sebastián y a la memoria de mi  
adorable Mamita, quienes fueron sacrificados  
para alcanzar esta meta.*

*Angelita Beatriz*

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

**Dra. Yolanda Díaz**  
DECANA FAC. CIENCIAS

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Ing. Mario Villacrés**  
DIRECTOR ESC. ING. QUIM.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Ing. Mario Villacrés**  
DIRECTOR DE TESIS

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Ing. Hugo Calderón**  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Sr. Carlos Rodríguez**  
DIRECTOR CENTRO DOCUMENT.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

NOTA DE TESIS

\_\_\_\_\_

*Yo, Ángela Beatriz Peñafiel Calderón soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este informe y el patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.*

.....  
*Tga. Ángela Beatriz Peñafiel Calderón*

# INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	II
DEDICATORIA.....	III
INDICE GENERAL .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XI
INTRODUCCION.....	12
OBJETIVOS .....	13
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
CAPITULO I.....	15
MARCO TEÓRICO .....	15
1.1. LÁMINAS DE FIBROCEMENTO .....	15
1.2. AMIANTO .....	15
1.2.1. <i>Clases de Amianto</i> .....	15
1.2.1.1. Crisotilo .....	15
1.3. CEMENTO .....	16
1.3.1. <i>Tipos de Cemento</i> .....	16
1.3.1.1. Cemento Portland .....	16
1.3.1.2. Cemento Portland Puzolánico Modificado.....	17
1.4. RECICLAJE.....	17
1.4.1. <i>Razones para Reciclar</i> .....	17
1.5. OPERACIONES UNITARIAS DE PROCESO.....	18
1.6. PARTÍCULAS SÓLIDAS.....	18
1.6.1. <i>Caracterización de las Partículas Sólidas</i> .....	19
1.6.2. <i>Reducción de Tamaño de Sólidos</i> .....	19
1.6.3. <i>Tipos de Reducción de Tamaño</i> .....	19
1.6.4. <i>Técnicas de Reducción de Tamaño</i> .....	19
1.6.5. <i>Variables que Influyen en la Reducción de Tamaño</i> .....	20
1.7. MOLIBILIDAD .....	20
1.7.1. <i>Materiales suaves</i> .....	21
1.7.2. <i>Materiales de dureza intermedia</i> .....	21
1.7.3. <i>Materiales duros</i> .....	21
1.8. CRITERIOS DE DESINTEGRACIÓN MECÁNICA .....	21
1.9. CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTOS DESINTEGRADOS.....	21
1.10. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA Y POTENCIA EN LA DESINTEGRACIÓN.....	22
1.11. EFICIENCIA EN LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO .....	22

1.12.	MOLIENDA .....	22
1.13.	MOLINO .....	23
1.13.1.	<i>Molino de bolas</i> .....	23
1.13.2.	<i>Características del Molino de Bolas:</i> .....	23
1.13.3.	<i>Partes Principales de un Molino</i> .....	24
1.13.3.1.	Casco.....	24
1.13.3.2.	Extremos .....	24
1.13.3.3.	Revestimientos.....	24
1.14.	MOVIMIENTO DE LA CARGA EN MOLINOS .....	25
1.15.	VELOCIDAD CRÍTICA .....	25
1.16.	DESGASTE DEL MOLINO.....	26
1.17.	SELECCIÓN DE LAS BOLAS .....	26
1.17.1.	<i>Gravedad específica</i> .....	26
1.17.2.	<i>Tamaño inicial de alimentación</i> .....	26
1.17.3.	<i>Tamaño final de partícula</i> .....	26
1.17.4.	<i>Dureza</i> .....	26
1.17.5.	<i>pH</i> .....	26
1.18.	VARIABLES OPERACIONALES DE UN MOLINO DE BOLAS .....	27
1.18.1.	<i>Alimentación y Descarga</i> .....	27
1.18.2.	<i>Dosificadores Alimentadores de un Molino</i> .....	27
1.18.3.	<i>Carga de Material de Alimentación al Molino</i> .....	27
1.18.4.	<i>Alimentación de Agua</i> .....	27
1.18.5.	<i>Carga de Bolas</i> .....	28
1.19.	CONTROL DE LAS VARIABLES DE MOLIENDA.....	29
1.19.1.	<i>Sonido de las bolas</i> .....	29
1.19.2.	<i>Grado de densidad</i> .....	29
1.19.3.	<i>Amperímetro</i> .....	29
1.20.	VOLUMEN DE LLENADO DEL MOLINO .....	29
1.21.	FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE MOLIENDA.....	30
1.21.1.	<i>Exceso de Agua en el Molino</i> .....	30
1.21.2.	<i>Falta de Agua en el Molino</i> .....	31
1.22.	CONSIDERACIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN MOLINO.....	31
1.22.1.	<i>Frecuencia de Carga de los Agentes de Molienda</i> .....	31
1.22.2.	<i>Sobre Carga del Molino</i> .....	31
1.22.3.	<i>Densidad muy Baja</i> .....	31
1.23.	CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE DE UN MOLINO .....	32
1.24.	VENTAJAS DE LA MOLIENDA EN HÚMEDO .....	32
1.25.	SISTEMAS DE MOLIENDA POR LOTES Y CONTINUO .....	32
1.26.	EFICIENCIA DE UN MOLINO .....	32
1.27.	GRANULOMETRÍA .....	33
1.28.	TAMIZADO.....	33

CAPITULO II .....	35
PARTE EXPERIMENTAL .....	35
2.1. DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARA RECICLADO GENERADO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LÁMINAS DE FIBRO – CEMENTO .....	35
2.2. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.....	35
2.2.1. <i>Características Físicas</i> .....	35
2.2.1.1. Dureza.....	35
2.2.1.2. Densidad .....	36
2.2.2. <i>Características Químicas</i> .....	37
2.3. CARGA DE BOLAS.....	37
2.3.1. <i>Con este volumen se calcula la cantidad de bolas que se colocarán en el molino:</i> .....	38
2.4. TAMAÑO DE LAS BOLAS.....	38
2.5. CARGA DEL MATERIAL.....	38
2.6. CARGA DE AGUA.....	38
2.7. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA .....	39
2.8. VELOCIDAD CRÍTICA .....	39
2.9. CANTIDAD DE PASTA DE RECICLAJE A INCLUIRSE EN LA FORMULACIÓN .....	40
2.10. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA EN VIGAS PREPARADAS.....	40
CAPITULO III .....	43
CÁLCULOS Y RESULTADOS .....	43
3.1. CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE RECICLAJE GENERADO.....	43
3.2. DUREZA DEL MATERIAL A TRATARSE .....	44
3.3. DENSIDAD DEL MATERIAL.....	44
3.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS .....	45
3.5. CARGA Y TAMAÑO DE LAS BOLAS.....	46
3.6. CARGA DEL MATERIAL Y AGUA.....	46
3.7. TIEMPO DE RESIDENCIA .....	46
3.8. VELOCIDAD CRÍTICA .....	47
3.9. RESISTENCIA EN VIGAS PREPARADAS .....	47
3.10. DISEÑO DEL EQUIPO PARA EL SISTEMA DE MOLIENDA.....	50
3.10.1. <i>Espesor de la chapa del cilindro del molino</i> .....	51
3.10.2. <i>Diseño de los ejes del tambor</i> .....	51
3.10.3. <i>Carga por Material</i> .....	51
3.10.4. <i>Carga por bolas</i> .....	52
3.10.5. <i>Carga del peso del molino</i> .....	53
3.10.6. <i>Revestimiento interno</i> .....	54
3.10.7. <i>Carga de agua</i> .....	56
3.10.8. <i>Parámetros del tambor</i> .....	56
3.10.9. <i>Velocidad Crítica:</i> .....	58



3.10.10.	<i>Potencia del motor</i> .....	58
3.10.11.	<i>Transmisión por banda</i> .....	59
3.11.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE MOLIENDA (MOLINO) .....	62
3.12.	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	62
CAPITULO IV .....		65
DISCUSION DE RESULTADOS .....		65
CAPITULO V .....		68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		68
5.1.	CONCLUSIONES .....	68
5.2.	RECOMENDACIONES .....	70
RESUMEN .....		71
ABSTRACT.....		72
BIBLIOGRAFÍA.....		73
ANEXOS .....		76
ANEXO MECÁNICO 1. COEFICIENTES DE SEGURIDAD.....		76
ANEXO MECÁNICO 2. TABLAS DE ACEROS BHOMAN.....		77
ANEXO MECÁNICO 3. CHUMACERAS DODGE SSND 232 .....		78
ANEXO MECÁNICO 4. POTENCIA CORREGIDA .....		79
ANEXO MECÁNICO 5. SECCIÓN DE LA BANDA.....		80
ANEXO MECÁNICO 6. DIÁMETROS PRIMITIVOS .....		81
ANEXO MECÁNICO 7. LONGITUD DE BANDA CORREGIDA.....		82
ANEXO MECÁNICO 8. POTENCIA NOMINAL.....		83
ANEXO MECÁNICO 9. FACTORES DE CORRECCIÓN.....		84
ANEXO MECÁNICO 10. PLANO DE CONJUNTO MOLINO DE BOLAS .....		85
ANEXO MECÁNICO 11. DIMENSIONES GENERALES MOLINO DE BOLAS .....		86

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.2.1.1-1. DUREZA EN LA ESCALA MOHS.....	35
TABLA 2.4-1. TAMAÑO DE LAS BOLAS .....	38
TABLA 3.1-1. RECICLAJE GENERADO.....	43
TABLA 3.2-1. DUREZA DEL MATERIAL .....	44
TABLA # 3.3-1. DENSIDAD MATERIAL RECUPERADO .....	44
TABLA # 3.4-1. COMPOSICIÓN QUÍMICA MATERIAL RECUPERADO .....	45
TABLA # 3.7-1. TIEMPO DE RESIDENCIA.....	46
TABLA # 3.9-1. RESISTENCIA CON COMPOSICIÓN NORMAL.....	48
TABLA # 3.9-2. RESISTENCIA CON EL 5 % DE RECICLAJE.....	48
TABLA # 3.9-3. RESISTENCIA CON EL 7.5 % DE RECICLAJE.....	48
TABLA # 3.9-4. RESISTENCIA CON EL 10 % DE RECICLAJE.....	49
TABLA # 3.9-5. RESISTENCIA CON EL 12.5 % DE RECICLAJE.....	49
TABLA 3.10.1-1. ESPESOR DE LA CHAPA DEL CILINDRO DEL MOLINO .....	51
TABLA 3.10.8-1. CARGAS QUE SOPORTAN LOS EJES .....	56
TABLA # 3.10.11-1. VALORES DEL FACTOR (FÓRMULA DE BLANC).....	59
TABLA # 3.11-1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE MOLIENDA.....	62
TABLA # 3.12-1. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MOLINO .....	63
TABLA # 3.12-2. MANO DE OBRA PARA CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL MOLINO ...	63

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO # 3.7-1. TIEMPO DE RESIDENCIA.....	47
GRÁFICO # 3.9-1. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....	49
GRÁFICO # 3.10.6-1. REVESTIMIENTO INTERNO.....	54

## INTRODUCCION

TUBASEC C.A. es una empresa importante situada en la ciudad de Riobamba, dedicada a la fabricación de productos para techado, entre los que se cuentan: láminas de fibro – cemento (**EUROLIT**), tejas de hormigón (**ECUATEJA**), láminas de polipropileno (**TECHOLUZ**), tableros para loza y cielo raso (**EUROTABLERO**) y otros accesorios de acabado para la construcción.

En su trabajo diario y constante por la mejora continua ha conseguido optimizar algunos de sus procesos, logrando ahorros importantes en el consumo de agua, energía y ha controlado de mejor manera la generación de residuos, aspectos que la convierten en una industria competitiva.

En las circunstancias actuales que se encuentra nuestro planeta, todos y cada uno de los habitantes debemos contribuir a mantener un ambiente saludable, por lo que también las instituciones públicas y privadas deben involucrarse en su cuidado.

TUBASEC C.A. ha logrado mantener la certificación de calidad ISO INEN 9001:2008, hoy uno de sus objetivos es lograr la certificación ambiental ISO 14000:2004 dentro del sistema integrado de gestión, con este estudio se desea aportar para que el material defectuoso originado en diferentes secciones de la planta de producción de láminas de fibro – cemento se le dé un tratamiento adecuado.

Este tratamiento consiste en un proceso de molienda por vía húmeda, posteriormente la pasta obtenida pase a ser reutilizada como parte de las materias primas iniciales.

El producto obtenido incluido este reciclaje debe cumplir con los parámetros técnicos de las normas de control INEN 1 320.

Con este proceso se espera disminuir la cantidad de desperdicios finales que se genera en esta planta productiva.

# OBJETIVOS

## Objetivo General

“Diseñar un sistema de molienda para reciclaje seco en la producción de láminas de fibrocemento”.

## Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físico – químicas del reciclaje.
- Realizar el banco de pruebas para el sistema de molienda (laboratorio).
- Determinar el porcentaje óptimo de reciclaje que se incluirá en la formulación.
- Realizar el diseño técnico y análisis económico del sistema de molienda.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

# CAPITULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Láminas de Fibrocemento

Las láminas de fibrocemento son láminas para techado, de forma regular y espesor reducido con respecto a sus otras dimensiones, en la que una de sus secciones transversales sigue la dirección de una línea ondulada; están formadas principalmente por amianto y cemento.

### 1.2. Amianto

Bajo la denominación de amianto se agrupan todos los minerales fibrosos, cuya composición química es básicamente silicato de magnesio hidratado, que además de ser incombustibles, poseen la propiedad de desfibrarse en fibras extraordinariamente delgadas y resistentes.

Sus moléculas son huecas, propiedad que explica sus características de absorción y aislamiento.

Se utiliza en gran escala como material aislante del calor y la electricidad, es resistente al fuego y a los ácidos.

En la mayor parte de su larga historia, el amianto se ha empleado para fabricar tejidos y productos afines, considerando su resistencia al fuego como una misteriosa aunque afortunada propiedad que no ha sido adecuadamente explotada.<sup>1</sup>

#### 1.2.1. Clases de Amianto

Existen varias clases de amianto, pero todos son silicatos de metales, tales como magnesio, calcio, sodio y hierro. Los principales son: el crisotilo y el anfíbol.

##### 1.2.1.1. Crisotilo

Denominado también serpentina fibrosa, es la variedad de serpentina más buscada y mejor aprovechada en el campo industrial. Su fórmula es:

---

<sup>1</sup> WAGANOFF, N., *Asbesto Cemento*, Buenos Aires – Argentina., Librería del Colegio., 1952. pp. 9 – 15



Es un silicato hidratado de magnesio, aunque puede tener pequeñas cantidades de aluminio, hierro II, manganeso y níquel.

Se presenta en agregados amarillentos, verde – grisáceos o blancos; constituidos por fibras flexibles más o menos gruesas, fuertes y dotadas de un brillo sedoso característico.

Se descompone con el ácido clorhídrico por separación de sílice no gelatinosa, algunas variedades pueden resistir temperaturas de hasta 2760 °C y por ello mayor resistencia al calor.

Las fibras de crisotilo suelen ser más cortas y delgadas que las de amianto anfíbol. El grosor de una fibra de crisotilo es de 1.0 a 1.5 micrones.

### **1.3. Cemento**

El cemento es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y en menores proporciones por aluminatos de calcio. Pertenece a la clase de los denominados aglomerantes hidráulicos que mezclados con agua se fraguan y endurecen tanto expuestos al aire como sumergidos en el agua por ser un producto de hidratación estable en todas las condiciones.

#### **1.3.1. Tipos de Cemento**

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad y por lo tanto tienen diferentes usos.

##### **1.3.1.1. Cemento Portland**

Ha sido uno de los más utilizados como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto.

Cuando el cemento portland es mezclado con agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica.



### **1.3.1.2. Cemento Portland Puzolánico Modificado**

Es un cemento formado por la mezcla íntima y uniforme de cemento portland, puzolana fina y yeso, en el cual la puzolana es menor que el 15 % en masa del cemento portland. La puzolana es una ceniza volcánica de naturaleza ácida, muy reactiva por ser muy porosa.<sup>2</sup>

## **1.4. Reciclaje**

El reciclaje consiste en someter de nuevo una materia o un producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto útil.

El reciclaje es un factor de suma importancia para el cuidado del medio ambiente.

En una visión ecológica del mundo, entre diversas medidas para la conservación de los recursos naturales de la Tierra, el reciclaje es la tercera y última medida en el objetivo de la disminución de residuos; el primero sería la reducción del consumo y el segundo la reutilización.

La mayoría de los materiales que componen la basura pueden reciclarse, hoy por hoy uno de los desafíos más importantes de las sociedades actuales es la eliminación de los residuos que la misma produce. Se pueden salvar grandes cantidades de recursos naturales no renovables cuando se utilizan materiales reciclados. Cuando se consuman menos combustibles fósiles, se generará menos CO<sub>2</sub> y por lo tanto habrá menos lluvia ácida, se reducirá el efecto invernadero.

### **1.4.1. Razones para Reciclar**

- El costo de recogida y eliminación de una tonelada de basura es altísimo.
- En América Latina se tiran al año más de 600.000 toneladas de metales.
- Si se recicla el vidrio se ahorra un 90% de energía y por cada tonelada reciclada se ahorran 1.2 toneladas de materias primas.
- Recuperar dos toneladas de plástico equivale a ahorrar una tonelada de petróleo.
- Por cada tonelada de aluminio tirada hay que extraer cuatro toneladas de bauxita (que es el mineral del que se obtiene). Durante la fabricación se producen dos toneladas de residuos muy contaminantes y difíciles de eliminar.

---

<sup>2</sup> FRITZ, K., *Cemento, Fabricación, Propiedades y Aplicaciones.*, Barcelona – España, Técnicos Asociados, 1973. pp. 1 - 8

- Al reciclar una tonelada de papel se salvan 17 árboles.

Aunque no se duda de sus beneficios, el reciclaje tiene algunos obstáculos que superar, el principal problema es la falta de educación de la sociedad que no entiende lo que le está pasando al planeta, especialmente en lo que se refiere a los recursos naturales.

### **1.5. Operaciones Unitarias de Proceso**

Una operación unitaria se define como un área del proceso o un equipo donde se incorporan materiales, insumos o materias primas y ocurre una función determinada, estas son actividades básicas que forman parte de un proceso.

Un proceso consta de una serie de operaciones físicas y químicas que, en algunos casos son específicas del proceso considerado, pero en otros, son operaciones comunes e iguales para varios procesos. Generalmente un proceso puede descomponerse en los siguientes pasos:

- Materias Primas
- Operaciones físicas de acondicionamiento
- Reacciones químicas
- Operaciones físicas de separación
- Productos

Cada una de estas operaciones es una operación unitaria, ejemplo pulverización, secado, cristalización, filtración, evaporación, destilación, molienda, mezclado, tamizado, etc.

### **1.6. Partículas Sólidas**

Las partículas sólidas son más difíciles de tratar que los líquidos o gases. En los procesos, los sólidos presentan diferentes apariencias: piezas angulares, láminas continuas o polvos finamente divididos; pueden ser duros o abrasivos, resistentes o gomosos, blandos o frágiles, polvorientos, cohesivos, de fluidez libre o pegajosos.

Independientemente de su forma, se debe encontrar medios para manipular los sólidos tal como se presentan, para mejorar sus características de tratamiento.

### 1.6.1. Caracterización de las Partículas Sólidas

Para caracterizar partículas sólidas se debe considerar algunas propiedades que pertenecen a la partícula individual y sobre ella se basa el comportamiento de las partículas sólidas en la reducción de tamaño, entre ellas están el volumen, área superficial, masa, densidad, estructura, tamaño y forma de la partícula.

### 1.6.2. Reducción de Tamaño de Sólidos

El término de reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas. Durante los procesos industriales, la reducción de tamaño de sólidos se lleva a cabo por diferentes métodos. Las grandes piedras de un mineral crudo se desintegran hasta un tamaño manejable; los productos químicos sintéticos se muelen hasta quedar convertidos en polvo y las láminas de plástico se cortan en cubos pequeños.

### 1.6.3. Tipos de Reducción de Tamaño

- Reducción grosera
- Reducción intermedia
- Reducción fina y ultrafina

### 1.6.4. Técnicas de Reducción de Tamaño

Las técnicas de reducción de tamaño son:

- **Compresión.-** Es utilizada para la reducción gruesa de sólidos duros, genera productos gruesos, medios o finos.
- **Corte.-** Se utiliza cuando se requiere un tamaño definido de partículas.
- **Frotación o rozamiento.-** Genera productos finos a partir de materiales blandos no abrasivos.
- **Impacto.-** Esta técnica consiste en el choque de las partículas para la disminución de su tamaño.

Los requerimientos de tamaño son diversos para cada tipo de producto, por eso se utilizan diferentes máquinas y procedimientos. La operación de desintegración tiene la

finalidad de generar productos que posea un determinado tamaño granular comprendido entre límites preestablecidos.

#### **1.6.5. Variables que Influyen en la Reducción de Tamaño**

- **Alimentación obstruida.-** El desintegrador está equipado con una tolva alimentadora que se mantiene siempre llena de modo que el producto no se descarga libremente, lo que hace que aumente la proporción de finos y disminuye la capacidad de producción.
- **Contenido de humedad.-** En la etapa grosera e intermedia los materiales no deben exceder el 4% de humedad. En la etapa mas fina de reducción de tamaño se aplica una molienda húmeda.
- **Trituración libre.-** El producto desintegrado, junto con cierta cantidad de finos formados, se separa rápidamente de la zona de acción desintegrante después de una permanencia relativamente corta. Por lo regular el producto de la molienda sale por una corriente de agua, por gravedad o lanzado por fuerza centrífuga.
- **Operación en circuito cerrado.-** Cuando el material de rechazo es devuelto al desintegrador.
- **Operación en circuito abierto.-** Cuando el material no se devuelve para su retrituración.
- **Dureza y estructura del material.-** Las máquinas para trituración grosera de materiales blandos no necesitan una máquina tan robusta o compleja como las utilizadas en la trituración de materiales duros.

#### **1.7. Molibilidad**

La molibilidad o índice de molienda es la cantidad de producto de un molino en particular que satisface una especificación dada en una unidad de tiempo de molienda, por ejemplo toneladas/hora, a través de una malla 200.

Con la molibilidad se determina el tamaño y el tipo del molino que se requiere para producir un tonelaje específico y las necesidades de energía para la molienda.

Entre los factores importantes que determinan la molibilidad están la dureza, la elasticidad, la resistencia y la divisibilidad.

La dureza de un mineral, se mide por medio de la escala de Mohs, es un criterio de su resistencia a la trituración. Se trata de una de las indicaciones más acertadas del

carácter abrasivo del mineral, factor que determina el desgaste de los medios de molienda.

La clasificación según el orden creciente de dureza según la escala de Mohs es la siguiente:

1, talco; 2, yeso; 3, calcita; 4, fluoruro; 5, apatita; 6, feldespato; 7, cuarzo; 8, topacio; 9, corindón; 10, diamante.

Los materiales con durezas del 1 al 3, se clasifican como suaves; de 4 a 7 como intermedios y los demás como duros.

### **1.7.1. Materiales suaves**

1) Talco, tortas secas de filtro prensa, saponita, ceras, conglomerados de cristales de sales; 2) yeso, sal de rocas, sales cristalinas en general, carbón suave; 3) calcita, mármol, piedra caliza suave, baritas, tiza, azufre.

### **1.7.2. Materiales de dureza intermedia**

4) Fluorita, fosfato suave, magnesita, piedra caliza; 5) apatita, fosfato duro, piedra caliza dura, cromita, bauxita; 6) feldespato, ilmenita, ortoclasa, hornablendas.

### **1.7.3. Materiales duros**

7) Cuarzo, granito; 8) topacio; 9) corindón, zafiro, esmeril, 10) diamante.

## **1.8. Criterios de Desintegración Mecánica**

La desintegración mecánica es un término genérico de reducción de tamaño; los trituradores y molinos son tipos de equipos de desintegración.

Un triturador o un molino ideal debería:

- Tener una gran capacidad.
- Requerir poco consumo de energía por unidad de producto y
- Formar un producto de un tamaño único o distribución de tamaños que se desee.

## **1.9. Características de Productos Desintegrados**

A menos que sean alisadas por abrasión después de la trituración, las partículas trituradas se parecen a poliedros con caras casi planas, bordes y esquinas afilados. Las

partículas pueden ser compactas, con longitud, ancho y espesor casi iguales o pueden tener forma de láminas o agujas.

### **1.10. Requerimientos de Energía y Potencia en la Desintegración**

El costo de energía es más alto en la trituración y la molienda, así que son importantes los factores que controlan este costo. Durante la reducción de tamaño, las partículas del material de alimentación de sólidos primero son distorsionadas y tensionadas.

El trabajo necesario, para tensionarlas se almacena temporalmente en el sólido como energía mecánica de tensión, tal como la energía mecánica puede ser almacenada en un resorte.

A medida que se aplica fuerza adicional a las partículas tensionadas, éstas se distorsionan más allá de su resistencia final y repentinamente se rompen en fragmentos.

### **1.11. Eficiencia en la Reducción de Tamaño**

La reducción de tamaño es una de las operaciones unitarias menos eficientes desde el punto de vista energético. Según estudios la trituración han mostrado que menos del 1% de la energía liberada de los sólidos se utiliza para crear superficies nuevas; el resto se disipa como calor. En las máquinas en operación, la energía debe ser suministrada para sobrepasar la fricción en el soporte y otras partes móviles. La eficiencia mecánica, la relación entre la energía liberada de los sólidos a la entrada de energía total a la máquina, está en el intervalo de 25 a 60%.

Una medida de la eficiencia de la operación se basa en la energía requerida para crear una nueva superficie, ya que el área de superficie de una unidad de masa de partículas aumenta en forma considerable a medida que se reduce el tamaño de la partícula.

### **1.12. Molienda**

La molienda es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida.

La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado.

El propósito de la operación de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto y por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de una buena recuperación de la especie útil.

Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son los trituradores y los molinos.<sup>3</sup>

### **1.13. Molino**

El término molino se utiliza para describir una gran variedad de máquinas de reducción de tamaño para servicio intermedio. El producto procedente de un triturador con frecuencia se introduce como alimentación de un molino, en el que se reduce a polvo.

Existen diferentes tipos de molinos entre ellos tenemos: de martillos, de compresión rodante, de atrición, de volteo y de bolas.

#### **1.13.1. Molino de bolas**

El molino de bolas es una herramienta eficiente para la pulverización de muchos materiales en polvo fino.

El molino de bolas es un equipo ampliamente usado en las industrias del cemento, productos de silicato, nuevos tipos de materiales de construcción, materiales a prueba de fuego, fertilizantes químicos, metales negros y no ferrosos, vidrio, cerámicas, entre otros.

Cuenta con dos tipos de pulverización: el proceso seco y el proceso húmedo. Puede ser dividido en tipo tubular y tipo fluido de acuerdo con las diferentes formas de descarga del material.<sup>4</sup>

#### **1.13.2. Características del Molino de Bolas:**

- Función estable y buena calidad a prueba de fricción
- Productos con granularidad uniforme
- Poca inversión y mucho ahorro energético
- Fácil operación y uso con seguridad

El molino de bolas utiliza fuerzas de cizalla o impacto. Está formado por un cilindro giratorio horizontal que se mueve a poca velocidad con cierto número de bolas de acero.

---

<sup>3</sup> [www.es.wikipedia.org/wiki/molienda](http://www.es.wikipedia.org/wiki/molienda)

<sup>4</sup> [www.molinos.es.wikipedia.org/wiki/molino](http://www.molinos.es.wikipedia.org/wiki/molino)

A medida que gira el cilindro, las bolas se elevan por las paredes y caen sobre el producto a triturar que está ocupando el espacio libre entre las bolas. Las bolas resbalan entre sí produciendo el cizallamiento del producto. El tamaño de las bolas es variable, las bolas pequeñas proporcionan mas puntos de contacto, pero las grandes producen un mayor impacto. Para una molienda eficaz no debe excederse la “velocidad crítica”: Velocidad crítica es la velocidad a la cual las bolas dentro de un molino empiezan a centrifugar. La velocidad óptima es el 75 % de la velocidad crítica.

### **1.13.3. Partes Principales de un Molino**

#### **1.13.3.1. Casco**

El casco del molino está diseñado para soportar impactos y carga pesada. Está construido de placas de acero forjadas y soldadas. Tiene perforaciones para sacar los pernos que sostienen el revestimiento o forros. Para conectar las cabezas de los muñones tiene grandes flanges de acero generalmente soldados a los extremos de las placas del casco, los cuales tienen perforaciones para apernarse a la cabeza.

#### **1.13.3.2. Extremos**

Los extremos del molino, o cabezas de los muñones pueden ser de fierro fundido gris o nodular para diámetros menores de 1 m. Cabezas más grandes se construyen de acero fundido, el cual es relativamente liviano y puede soldarse. Las cabezas son nervadas para reforzarlas.

#### **1.13.3.3. Revestimientos**

Las caras de trabajo internas del molino consisten de revestimientos renovables que deben soportar impacto, ser resistentes a la abrasión y promover el movimiento más favorable de la carga.

Los extremos de los molinos de bolas generalmente tienen nervaduras para levantar la carga con la rotación del molino. Ellos impiden deslizamiento excesivo y aumentan la vida del revestimiento, generalmente están hechos de fierro fundido blanco aleado con níquel (Ni-duro) y otros materiales resistentes a la abrasión, como goma. Los revestimientos de los muñones son diseñados para cada aplicación y pueden ser cónicos, planos y con espirales de avance o retardo.



Los revestimientos de un molino son un costo importante en su operación y constantemente se está tratando de prolongar su vida. En algunas operaciones se han reemplazado los revestimientos y elevadores por goma. Se ha encontrado que ellos son más durables, más fáciles y rápidos de instalar y su uso resulta en una significativa reducción del nivel de ruido. Sin embargo se ha informado que producen un aumento en el desgaste de medios de molienda comparados con los revestimientos Ni-duro. Los revestimientos de goma también pueden tener dificultades en procesos que requieren temperaturas mayores que 80 °C.

#### **1.14. Movimiento de la Carga en Molinos**

Se pueden distinguir tres tipos de movimientos de los medios de molienda en un molino rotatorio:

- Rotación alrededor de su propio eje.
- Caída en cascada, donde los medios bajan rodando por la superficie de los otros cuerpos.
- Caída en catarata que corresponde a la caída libre de los medios de molienda sobre el “pie” de la carga.

La magnitud del elevamiento que sufren los medios de molienda depende de la velocidad de rotación del molino y del tipo de revestimiento del molino. A velocidades relativamente bajas o con revestimientos lisos, los medios de molienda tienden a rodar hacia el pie del molino y la conminución que ocurre es principalmente abrasiva. Esta caída en cascada produce molienda más fina, aumentando el desgaste del revestimiento. A velocidades mayores los cuerpos de molienda son proyectados sobre la carga para describir una serie de parábolas antes de aterrizar en el “pie” de la carga. Esta caída en catarata produce conminución por impacto y un producto más grueso con menos desgaste del revestimiento.

#### **1.15. Velocidad Crítica**

Velocidad crítica de un molino es la velocidad de rotación que provoca la adherencia de cualquier partícula pequeña a las placas de revestimiento, producida por la fuerza centrífuga. A esta velocidad la fuerza centrífuga es justo balanceada por el peso de los

medios de molienda. Normalmente el rango de trabajo es entre 70 a 80% de la velocidad crítica.

### **1.16. Desgaste del Molino**

En general, los materiales duros, las partículas gruesas y el movimiento rápido generan un desgaste notable en los molinos. El desgaste puede reducirse utilizando materiales en la zona de desgaste del molino que sean más duros que el material que se está triturando.

### **1.17. Selección de las Bolas**

La selección de las bolas de molienda depende de varios factores, algunos de los cuales están interrelacionados.

#### **1.17.1. Gravedad específica**

En general, las bolas de alta densidad dan mejores resultados. Las bolas deben ser más densas que el material que se va a moler.

#### **1.17.2. Tamaño inicial de alimentación**

Se debe considerar que bolas pequeñas no pueden romper fácilmente partículas grandes.

#### **1.17.3. Tamaño final de partícula**

Las bolas pequeñas son más eficientes cuando se desea una molienda de partículas ultra-finas.

#### **1.17.4. Dureza**

Mientras más dura sea la bola, mejor será la eficiencia de molido y consecuentemente, de mayor duración de uso.

#### **1.17.5. pH**

Algunos ácidos fuertes ó lechadas básicas pueden reaccionar con ciertos tipos de bolas metálicas.

Existen diferentes tipos de bolas, por ejemplo acero al carbón; acero cromo; acero inoxidable; carburo de tungsteno; cerámica, etc.

Las bolas de acero al carbón son las más comúnmente usadas, su gravedad específica es 7.8, esto quiere decir que es dura, densa, de costo relativamente bajo y fácilmente disponible.

## **1.18. Variables Operacionales de un Molino de Bolas**

### **1.18.1. Alimentación y Descarga**

Los esquemas de alimentación y descarga de los molinos de bolas dependen de su modo de operación.

### **1.18.2. Dosificadores Alimentadores de un Molino**

El dosificador de un molino debe ser capaz de manejar cualquier cantidad de material que el molino debe tratar y además, una carga circulante que llega a ser del orden del 100% del nuevo orden de alimentación.

Para que la molienda sea racional y económica hay que considerar 3 factores fundamentales que influyen en los resultados y son:

- Carga del mineral
- Alimentación de agua
- Medios de molienda

### **1.18.3. Carga de Material de Alimentación al Molino**

Cuanto mas rápido sea la alimentación al molino mas rápido será la descarga que llega al otro extremo y el producto final será más grueso, permanecerá menos tiempo sometido a molienda.

Normalmente los molinos trabajan con 70% a 78% de sólidos, dependiendo del peso específico del mineral, la cantidad de mineral que se puede cargar en un molino de bolas oscila de 0.45 toneladas por m<sup>3</sup> de capacidad.

### **1.18.4. Alimentación de Agua**

Al operar el molino por vía húmeda, el mineral finalmente molido es extraído con agua de los intersticios entre las bolas y por lo tanto no perjudica la molienda de las partículas de mineral gruesas, por ende en la operaciones se agrega un 50% a 60% de agua en peso, para asegurar una descarga rápida del mineral.

No debe existir exceso de agua dentro del molino, porque esta lavaría las bolas y cuando se hace funcionar el molino, el producto a tratarse no se pegaría en las mismas, obteniéndose una pasta demasiado fluida, consumo exagerado de bolas y desgaste de chaquetas, todas estas condiciones unidas representan un aumento del costo de producción y una baja eficiencia de la molienda.

#### **1.18.5. Carga de Bolas**

La cantidad de bolas que se coloca dentro de un molino depende en gran parte de la cantidad de energía disponible para mover el molino.

Generalmente no llega al 50% de volumen, aunque una carga de bolas igual a 50% del volumen del molino da la capacidad máxima, el volumen total de las bolas no debe ser menor que el 20% del volumen interior.

Donde quiera que se desee una producción mínima de finos debe usar una carga de bolas cuyo diámetro está relacionado al tamaño del mineral que se alimenta. El aumento de la carga de bolas, hace elevar el gasto de energía hasta alcanzar un valor máximo, por encima del cual la energía necesaria disminuye al aumentar la carga, por acercarse al centro de gravedad de esta al eje de rotación.

La carga se puede aumentar elevando el peso de bolas cargado al molino, aumentando la densidad de sólidos del material a moler, o trabajando a nivel de líquidos más alto.

Este nivel de pasta, que es función de la cantidad de molienda, constituye un factor muy importante en el funcionamiento del molino de bolas.

Normalmente la carga de bolas se debe determinar mediante ensayos metalúrgicos. La potencia necesaria es máxima cuando el contenido en sólidos de alimentación es del orden del 75%.

El consumo de bolas está dado en función del tonelaje tratado, a la dureza del mineral y al tamaño de la carga de mineral.

Cuanto mas pequeñas sean las bolas, mayor será la finura del producto final.

La elección de las dimensiones de un molino es función de muchos factores entre los cuales se tiene la dureza del mineral, el tamaño promedio de la alimentación, como también el grado de finura a obtenerse. La velocidad del molino afecta a la capacidad y también al desgaste.

## **1.19. Control de las Variables de Molienda**

Las variables de molienda se controlan por:

- Sonido de las bolas
- Densidad de la pasta
- Amperímetro del motor

### **1.19.1. Sonido de las bolas**

Indica la cantidad de carga dentro del molino. El sonido debe ser claro. Si las bolas producen un ruido muy sordo u opaco, es porque el molino está sobrecargado por exceso de carga o falta de agua. Si el ruido de las bolas es excesivo, es porque el molino está descargado o vacío, por falta de carga o mucha agua.

### **1.19.2. Grado de densidad**

En la salida del molino debe ser tal que la pasta sea espesa y avance por su muñón de descarga con facilidad, sin atorarse, la pasta no debe ser de densidad muy baja.

### **1.19.3. Amperímetro**

Es un aparato eléctrico que está intercalado en el circuito del motor eléctrico del molino. Su función es determinar y medir el consumo de amperios de la intensidad de la corriente que hace el motor eléctrico. Generalmente el amperímetro del motor eléctrico del molino debe marcar entre ciertos límites normales.

## **1.20. Volumen de Llenado del Molino**

El volumen o nivel de la carga de bolas está relacionado con la dureza del mineral y tonelaje de alimentación que puede tratar el molino para un mismo grado de molienda.

Un aumento del tonelaje a tratar involucra un mayor tiempo de residencia, lo que se compensa con una mayor carga de bolas, a fin de aumentar la probabilidad de contacto entre bolas y mineral. Lo mismo sucede frente a un mineral que presenta una mayor dureza.

El grado de llenado de los molinos es la relación entre el volumen del apilamiento de las bolas y el volumen del cuerpo del molino.

El grado de llenado varía entre el 25 % y el 45 %. Por debajo del 25 % de llenado, los cuerpos molidores se deslizan sobre el blindaje del molino, por encima del 45 % de llenado se originan dificultades en la trayectoria de los cuerpos molidores.

Habitualmente el grado de llenado para las bolas de acero es del 28 al 45 %.

### **1.21. Factores que Afectan la Eficiencia de Molienda**

Varios factores afectan la eficiencia del molino de bolas. Es esencial que las bolas estén cubiertas con una capa de mena; una pasta demasiado diluida aumenta el contacto metal-metal, aumentando el consumo de acero y disminuyendo la eficiencia. El rango de operación normal de los molinos de bolas es entre 65 a 80% de sólidos en peso.

La eficiencia de la molienda depende del área superficial del medio de molienda. Luego las bolas deben ser lo más pequeñas posible y la carga distribuida de modo tal que las bolas más grandes sean justo lo suficientemente pesadas para moler las partículas más grandes y más duras de la alimentación.

#### **1.21.1. Exceso de Agua en el Molino**

El exceso de agua lava las bolas y cuando se pone en funcionamiento el molino no se obtiene una buena acción de molienda porque el material no se pega a las bolas, obteniendo una pasta muy fluida, no permitiendo obtener una buena molienda, dando como resultado una molienda excesivamente gruesa, consumo exagerado de bolas, aumento de costo de producción y una baja eficiencia de molienda.

El exceso de agua en la molienda da como resultado

- Molienda gruesa
- Aumento de costo de producción
- Densidad baja
- Menor eficiencia del molino
- Bajo tonelaje de molienda
- Excesivo consumo de bolas y chaquetas o revestimiento
- Paradas obligadas del molino por pernos flojos, rupturas de pernos, caída de chaquetas o revestimiento interiores del molino.
- Costo de molienda altos

### **1.21.2. Falta de Agua en el Molino**

La pasta a tratar avanza lentamente y se vuelve muy densa, permitiendo que las bolas no muelan porque la pasta concentrada amortigua todos los golpes.

En estas condiciones de operación las bolas pueden salir junto con la pasta formada.

La falta de agua en un molino ocasiona:

- Molienda gruesa y mala
- Paradas obligatorias del molino
- Densidad elevada
- Molienda deficiente por que la pasta se pega a las bolas amortiguando los golpes.
- Pérdidas de tonelaje en el molino

## **1.22. Consideraciones para el Funcionamiento de un Molino**

### **1.22.1. Frecuencia de Carga de los Agentes de Molienda**

La frecuencia de carga de los agentes de molienda (bolas) depende de estas variables:

- Tiempo de operación de la molienda
- Tonelaje de material de trabajo
- Tamaño de la carga en la entrada del molino
- Malla deseada por la planta
- Dureza del mineral de alimentación

### **1.22.2. Sobre Carga del Molino**

La sobrecarga del molino puede ser debida a las siguientes causas:

- Falta de agua en un molino
- Mala regulación del tonelaje
- Sobrecargas
- Exceso de carga en el molino

### **1.22.3. Densidad muy Baja**

La densidad muy baja en la descarga del molino puede ser debido a:

- Falta de agua en molino
- Tonelaje elevado en el molino
- Mala regulación de agua en molino

### **1.23. Consideraciones para el Montaje de un Molino**

- El eje del motor debe estar bien nivelado.
- El acoplamiento del eje del motor eléctrico con el eje del piñón dentado debe estar bien alineado.
- La rueda o catalina dentada debe estar bien centrada y concéntrica.
- Los dientes de los engranajes de la transmisión del movimiento del molino deben tener una tolerancia correcta de contacto.
- Los pernos, tuercas, chavetas y todo material que sujeta los engranajes dentados, deben estar revisados.

### **1.24. Ventajas de la Molienda en Húmedo**

- Menor consumo de energía por tonelada de producto.
- Mayor capacidad por unidad de volumen.
- Posibilita el uso de harneado en húmedo o clasificación mecánica (centrífuga) para controlar bien el tamaño del producto.
- Elimina el problema de polvo (criterio ambiental).
- Hace posible el uso de métodos simples de manejo y transporte de pasta, tales como bombas, cañerías y canaletas.

### **1.25. Sistemas de Molienda por Lotes y Continuo**

La operación continua se logra en circuitos abiertos o cerrados. La mayor parte de los equipos de trituración y molienda se operan en circuito cerrado con clasificadoras de tamaño. La economía de operación es el objeto de la molienda en circuito cerrado para satisfacer una especificación de tamaño limitante. La idea consiste en separar el material del molino antes de que todo éste quede triturado, separar el producto fino en un clasificador y regresar el más grueso para volver a molerlo con la nueva alimentación que entra al molino. Un molino con los finos removidos en esta forma funcionará con mayor eficiencia. El material grueso devuelto al molino por medio de un clasificador se conoce como carga circulante.

### **1.26. Eficiencia de un Molino**

Los factores que regulan la eficiencia de molienda de minerales en molinos cilíndricos pueden ser entre otros:



- La velocidad del molino afecta la capacidad, al igual que el desgaste del recubrimiento y de las bolas en la proporción directa hasta del 85% de la velocidad crítica.
- La carga de bolas equivalente al 50% del volumen del molino da la capacidad máxima.
- Las bolas de tamaño mínimo capaces de moler el material alimentado dan una eficiencia máxima.
- Las cargas circulantes de mayor tamaño tienden a aumentar la producción y reducir la cantidad de material fino no deseable.
- La descarga de nivel bajo o rejilla incrementa la capacidad de molienda en comparación con la descarga central o por rebosamiento, aunque el desgaste del revestimiento, la rejilla y los medios es mayor.

### **1.27. Granulometría**

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices.

### **1.28. Tamizado**

Se realiza haciendo pasar el producto sobre una superficie provista de orificios del tamaño deseado. El equipo puede estar formado por barras fijas o en movimiento, por placas metálicas perforadas o por tejidos de hilos metálicos.

Consiste en la separación de una mezcla de partículas de diferentes tamaños en dos o más fracciones, cada una de las cuales estarán formadas por partículas de tamaño más uniforme que la mezcla original.

El tamizado en húmedo se efectúa con adición de agua al material en tratamiento, con el fin de que el líquido arrastre a través del tamiz a las partículas más finas.

El material que no atraviesa los orificios del tamiz se designan como rechazo o fracción positiva y el que lo pasa se llama tamizado o fracción negativa.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Es.wikipedia.org/wiki/granulometría

# CAPÍTULO II

## PARTE EXPERIMENTAL

## CAPITULO II

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1. Determinación de material para reciclado generado en la planta de producción de láminas de fibro – cemento

En el proceso de desmolde y en otras áreas de almacenamiento y manipulación de láminas de fibro – cemento se retira el material defectuoso (material que no se puede recuperar), para realizar un seguimiento diario y determinar mediante pesaje la cantidad aproximada que se genera del mismo.

#### 2.2. Caracterización del Material

##### 2.2.1. Características Físicas

##### 2.2.1.1. Dureza

La dureza es la oposición que ofrecen los materiales a la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, etc.

La dureza también se considera como la cantidad de energía que absorbe un material ante un esfuerzo antes de romperse o deformarse.

##### a) Fundamento

Con este método se encuentra la dureza del material a tratarse mediante rayado. Esta característica influirá en el tiempo de residencia que tendrá en el molino.

##### b) Procedimiento

- Tomar rocas de yeso, calcita y feldespato.
- Con estas rocas proceder a rayar muestras de láminas de fibro – cemento.
- Según la escala de Mohs, determinar la relación de dureza.

**Tabla 2.2.1.1-1. Dureza en la Escala Mohs**

Dureza	Metal
1	Talco
2	Yeso
3	Calcita
4	Fluoruro
5	Apatita
6	Feldespato
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindón
10	Diamante

Fuente: Perry, R. - Biblioteca del Ingeniero Químico

### 2.2.1.2. Densidad

Es la cantidad de masa contenida en un cierto volumen de sustancia.

#### a) Fundamento

Se calcula la densidad del material mediante la técnica del Frasco de Le Chatelier.

#### b) Procedimiento

Para encontrar la densidad del material se utiliza la técnica de Determinación de la Densidad Absoluta (INEN 156).

- Llenar el frasco de Le Chatelier con el reactivo hasta enrasar en una división comprendida entre las marcas correspondientes a  $0 \text{ cm}^3$  y  $1 \text{ cm}^3$ .
- Secar la parte interior del frasco que queda sobre el nivel del líquido.
- Sumergir el frasco en un baño de agua a  $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$  y mantenerlo allí, en posición vertical, hasta que su contenido haya alcanzado la temperatura del baño.
- Registrar una primera lectura (V1) que corresponde al volumen ocupado por el líquido contenido en el frasco.
- Pesar la muestra previamente desecada a  $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  e introducir esta porción en el frasco, cuidando que no se produzcan salpicaduras y evitando que la muestra se adhiera a las paredes interiores sobre el nivel del líquido.
- Tapar el frasco y tomándolo por su parte superior, girarlo en posición inclinada o suavemente en círculos horizontales, hasta que, colocado en posición vertical, no asciendan burbujas de aire a la superficie del líquido.
- Sumergir el frasco en un baño de agua a  $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$  y mantenerlo allí, en posición vertical, hasta que su contenido haya alcanzado la temperatura del baño.
- Registrar una segunda lectura (V2), que corresponde al volumen del líquido más el volumen de la muestra contenido en el frasco.
- Realizar los cálculos para obtener la densidad.

**c) Ecuación de Cálculo:**

$$\delta = \frac{m}{V_2 - V_1}$$

Ec. 2.2.1.2-1

Donde:

$\delta$  = Densidad del material en g/cm<sup>3</sup>

m = Masa del material ensayado en g

V1 = Volumen del líquido registrado en la primera lectura, en cm<sup>3</sup>

V2 = Volumen del líquido y material registrado en la segunda lectura, en cm<sup>3</sup>

## 2.2.2. Características Químicas

### a) Fundamento

Conocer la composición química del reciclaje, para asegurarse de la calidad del material que se obtendrá.

### a) Procedimiento

Con equipos de rayos X, en los laboratorios de la empresa Cemento Chimborazo se determinó la presencia de los siguientes óxidos: silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio y titanio.

## 2.3. Carga de Bolas

### a) Fundamento

Cantidad de este material que será colocado en el molino para su molturación.

### b) Procedimiento<sup>6</sup>

Para calcular la carga de bolas se multiplica el volumen útil del molino por el correspondiente grado de llenado de las bolas en el apilamiento, con ello se obtiene el volumen del montón que ocupan las bolas.

Este valor se multiplica por el peso específico aparente del montón y se obtiene el peso de la carga de los cuerpos moledores.

$$Vm = \psi x V$$

---

<sup>6</sup> DUDA W., Manual Tecnológico del Cemento,, Barcelona – España., Editores Técnicos Asociados., 1977, pp. 74

$$Vm = \psi \times \frac{\pi \times D^2 \times L}{4}$$

Donde:

- Vm: Volumen del montón de bolas
- Ψ: Grado de llenado de las bolas (0.30 %)
- D: Diámetro del molino (0.7956 m<sup>3</sup>)
- L: Longitud del molino (3 m)

$$Vm = 0.45 \text{ m}^3$$

**2.3.1. Con este volumen se calcula la cantidad de bolas que se colocarán en el molino:**

$$G = gm \times Vm$$

Ec. 2.3-1
-----------

Donde:

- G = Cantidad de bolas
  - gm = Peso específico aparente del montón (4.55T/m<sup>3</sup>)
- G = 2 047. 50 Kg de bolas**

## 2.4. Tamaño de las Bolas

Son los tamaños de bolas que se escogen para este proceso y para que la molienda sea más eficiente las mismas son de diferentes diámetros.

**Tabla 2.4-1. Tamaño de las Bolas**

Cámara del Molino	Diámetro de las Bolas	Llenado de la Cámara
1	70 – 60 mm	1023.75 Kg
2	60 – 35 mm	1023.75 Kg

**Fuente:** DUDA W., Manual Tecnológico del Cemento,, Barcelona – España., Editores Técnicos Asociados., 1977, pp. 74

## 2.5. Carga del Material

Es la cantidad de material para reciclado que se tratará en el molino.

Se colocará en el molino 200 kilos de material para reciclarse.

## 2.6. Carga de Agua

Con la densidad del material 2524 Kg/m<sup>3</sup>, se calcula el volumen que éste ocupará en el molino:

$$V = \frac{200 \text{ Kg}}{2524 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = 0.0792 \text{ m}^3$$

Ahora, se calcula la cantidad de agua que ingresará en el molino para realizar el proceso de molienda, considerando que se debe obtener una concentración aproximada de 220 g/L (220 Kg/m<sup>3</sup>), que es una concentración adecuada para el descargue.

$$V = \frac{200 \text{ Kg}}{220 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = 0.909 \text{ m}^3$$

Se resta del volumen que ocupa el material:

$$V = 0.909 \text{ m}^3 - 0.0792 \text{ m}^3$$

$$V = 0.8298 \text{ m}^3$$

**El agua que ingresará al molino es 830 litros.**

## 2.7. Determinación del Tiempo de Residencia

El tiempo de residencia es el tiempo que estará sometido el material al proceso de molienda.

### a) Fundamento

Sirve para determinar el tiempo óptimo que estará el material en el molino para que esté en condiciones de entrar al proceso de fabricación.

### b) Procedimiento

- Colocar en el molino 1 kilogramo de material y 10 litros de agua.
- Someter a 30, 40, 50 y 60 minutos de molienda.
- La pasta obtenida pasar por el tamiz # 16 (1.18 mm).
- Determinar la masa retenida.

## 2.8. Velocidad Crítica

El número de vueltas por minuto que en la práctica se aplica de modo general, está comprendido entre el 65 al 90 % de la velocidad crítica.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup>

DUDA W. Manual Tecnológico del Cemento, Barcelona - España, Editores Técnicos Asociados, 1977, pp. 72

$$n_{r.p.m.} = \frac{32}{\sqrt{D1}}$$

Ec. 2.8-1

Donde:

n = número de vueltas por minuto  
D1 = Diámetro interior del tubo en pies

## 2.9. Cantidad de Pasta de Reciclaje a Incluirse en la Formulación

La pasta de reciclaje se refiere al producto que se obtendrá del proceso de molienda.

Para conocer este porcentaje se realizan diferentes mezclas añadiendo a la composición 5; 7.5; 10 y 12.5 % del material reciclado.

También se prepara una mezcla con composición normal para establecer las diferencias.

### a) Composición con 5 % de reciclaje:

Cemento: 87.7 %

Amianto: 7.3 %

### b) Composición con 7.5 % de reciclaje:

Cemento: 85.2 %

Amianto: 7.3 %

### c) Composición con 10 % de reciclaje:

Cemento: 82.7 %

Amianto: 7.3 %

### d) Composición con 12.5 % de reciclaje:

Cemento: 80.2 %

Amianto: 7.3 %

## 2.10. Determinación de Resistencia en Vigas Preparadas

La resistencia de un material es la capacidad para resistir una fuerza aplicada hasta su momento de rotura.

Esta puede ser una de las pruebas más eficientes para determinar el porcentaje adecuado de reciclaje que debe incluirse en la composición.



### a) Fundamento

Se determina la resistencia a la rotura de vigas elaboradas añadiendo a la composición diferentes porcentajes de la mezcla obtenida de la molienda.

### b) Procedimiento

Se ha tomado como base la norma URALITA D.T. AC-111.14

#### ➤ Preparación de las vigas

- En una probeta de 2000 ml desfibrar en agua el amianto previamente tratado durante 10 minutos.
- Pasar a un mezclador y añadir el cemento y la pasta de reciclaje, según lo indicado en las diferentes composiciones, mantenerlo en agitación durante 5 minutos.
- Esta pasta colocar en moldes de 30 cm de largo por 5 cm de ancho y 5 cm de profundidad.
- En una prensa semiautomática aplicar una carga de 100 Kgf. a una velocidad de 20 m/min.
- Secar en una estufa durante 24 horas a 60 °C.
- Desmoldar y fraguar en agua durante 72 horas.

#### ➤ Pruebas de resistencia

- Tomar 3 mediciones de espesor y ancho de las vigas obtenidas.
- Colocar la muestra en la máquina de ensayos.
- La distancia de los apoyos es 28 cm.
- Aplicar carga hasta la rotura
- Calcular la resistencia.

### c) Ecuación de Cálculo

$$MR = \frac{3 \times P \times L}{2 \times A \times e^2}$$

Donde:

- MR = Módulo de rotura en Kg/cm<sup>2</sup>  
P = Carga de rotura en Kgf  
L = Distancia entre apoyos en cm  
A = Ancho de las vigas en cm  
E = Espesor de las vigas en cm

Todos los resultados expuestos en los cuadros son resultado del promedio de 3 pruebas realizadas.

# CAPÍTULO III

## CÁLCULOS Y RESULTADOS

## CAPITULO III

### CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.1. Cuantificación de la cantidad de Reciclaje Generado

**Tabla 3.1-1. Reciclaje Generado**

# Muestra	Peso (Kg)
1	865
2	880
3	825
4	880
5	860
6	860
7	890
8	845
9	890
10	865
11	825
12	870
13	845
14	825
15	880
16	890
17	820
18	875
19	880
20	845
X	860,75

Fuente: Tesista

Aproximadamente se generan unos 860 kilos diarios de desperdicio, los mismos que son almacenados en un contenedor de 1.5 m<sup>3</sup>.

### 3.2. Dureza del Material a Tratarse

**Tabla 3.2-1. Dureza del Material**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
materiales suaves			dureza intermedia			materiales duros			

Fuente: Perry, R. - Biblioteca del Ingeniero Químico

De las pruebas realizadas se determinó que el material según la escala de Mohs tiene una dureza intermedia.

### 3.3. Densidad del Material

Aplicando la ecuación 2.2.1.2-1 tenemos:

$$\delta = \frac{47.5544 \text{ g}}{19.1 \text{ ml} - 0.70 \text{ ml}}$$

$$\delta = 2.58 \text{ g/ml}$$

**Tabla # 3.3-1. Densidad Material Recuperado**

Masa (g)	Volumen 1 (ml)	Volumen 2 (ml)	Volumen real (ml)	Densidad (g/ml)
47,5544	0,70	19,1	18,40	2,58
43,6953	0,65	18,6	17,95	2,43
50,1821	0,60	20,7	20,10	2,50
45,2492	0,75	18,45	17,70	2,56
48,7739	0,85	19,95	19,10	2,55
X				<b>2.524</b>

Fuente: Tesista

### 3.4. Características Químicas

Tabla # 3.4-1. Composición Química Material Recuperado

CEMENTO CHIMBORAZO		REPORTE DE ANALISIS QUIMICO						RA-CC-25			
Control de Calidad		PUZOLANAS						Fecha	05-jul-11		
								Pagina:	1 de 1		
								Distribución: GT-JCC			
MATERIAL											
IDENTIFICACION	Polvo Láminas										
<b>Análisis Químicos</b>											
Perd. Fuego	9.7										
SiO2	31.0										
Al2O3	5.8										
Fe2O3	1.3										
CaO	45.5										
MgO	4.42										
SO3	0.00										
Na2O	1.16										
K2O	1.03										
TiO2	0.11										
PO5											
<b>TOTAL</b>	<b>100.0</b>										
Titulación											
Cal Libre											
Res. Insoluble											
Humedad											
% Húmedo											
% Seco											
Peso Litro											
Observaciones:											
<b>JCC</b>											

Fuente: Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

### 3.5. Carga y Tamaño de las Bolas

Se colocarán en el molino 2047.50 kilos de bolas.

El 50 % de ellas estarán comprendidas en el diámetro entre 70 y 60 mm y el otro 50 % entre los diámetros 60 y 35 mm., esto con el fin de que los espacios de las bolas más grandes sean cubiertos por las bolas mas pequeñas y de esta manera el material tenga un mejor proceso de molturación.

### 3.6. Carga del Material y Agua

Por la capacidad que tendrá el molino y de acuerdo a las concentraciones de pasta que se esperan obtener, cada ciclo de proceso se lo realizará con 200 kilos de material más 830 litros de agua.

### 3.7. Tiempo de Residencia

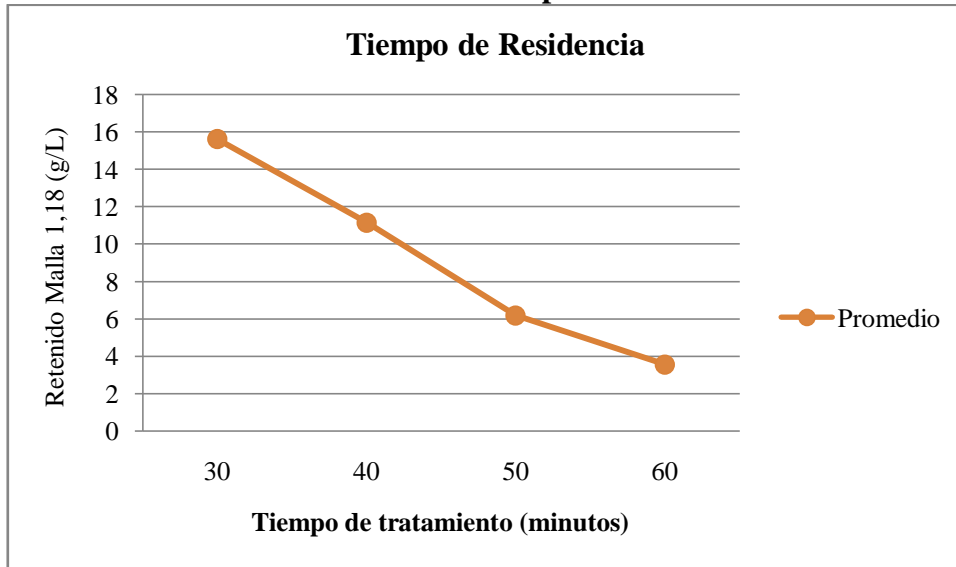
**Tabla # 3.7-1. Tiempo de Residencia**

Tiempo de Molienda minutos	Retenido Malla 1.18 mm (# 16) (g/L)					
	1	2	3	4	5	X
30	14,3	16,12	17,19	15,44	15,05	15,62
<b>40</b>	10,15	11,57	10,86	11,55	11,62	<b>11,15</b>
50	5,68	6,54	5,63	6	6,66	6,18
60	3,85	3,49	3,45	3,68	3,26	3,55

Fuente: Tesista

Se determina que el tiempo óptimo de molienda es 40 minutos, porque con este tiempo se obtiene un retenido de 11.15 g/L, que es un tamaño de grano adecuado para el proceso de fabricación.

**GRÁFICO # 3.7-1. Tiempo de Residencia**



Fuente: Tesista

### 3.8. Velocidad Crítica

Aplicando la ecuación 2.8-1 tenemos:

$$n_{rpm} = \frac{32}{\sqrt{2.48}}$$

$$n = 20.3 \text{ r.p.m.}$$

Esta es la velocidad a la que girará el molino, para su funcionamiento.

### 3.9. Resistencia en Vigas Preparadas

Aplicando la ecuación 2.10-1 tenemos:

$$MR = \frac{3 \times 13.54 \text{ kg} \times 28 \text{ cm}}{2 \times 5.13 \text{ cm} \times (0.6025 \text{ cm})^2}$$

$$MR = 305.4 \text{ Kg/cm}^2$$

**Tabla # 3.9-1. Resistencia con Composición Normal**

Muestra	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Carga (Kg)	Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.6125	5.16	13.15	285.3
2	0.6655	5.12	14.26	264.1
3	0.6075	5.11	11.63	259.0
4	0.6325	5.10	12.21	251.3
X	0.6295	5.12	12.81	<b>264.9</b>

Fuente: Tesista

**Tabla # 3.9-2. Resistencia con el 5 % de Reciclaje**

Muestra	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Carga (Kg)	Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.6025	5.13	13.54	305.4
2	0.6575	5.14	18.24	344.8
3	0.5775	5.15	15.63	382.2
4	0.7225	5.23	15.94	245.2
X	0.64	5.16	15.84	<b>319.4</b>

Fuente: Tesista

**Tabla # 3.9-3. Resistencia con el 7.5 % de Reciclaje**

Muestra	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Carga (Kg)	Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.6275	5.19	12.16	249.9
2	0.7455	5.12	15.21	224.5
3	0.6075	5.06	11.66	262.2
4	0.6370	5.02	12.19	251.3
X	0.6544	5.10	12.81	<b>247.0</b>

Fuente: Tesista



**Tabla # 3.9-4. Resistencia con el 10 % de Reciclaje**

Muestra	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Carga (Kg)	Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.6575	5.18	10.50	196.9
2	0.8975	5.10	18.82	192.4
3	0.8275	5.33	17.44	200.7
4	0.7642	5.22	12.73	175.4
X	0.7867	5.21	14.87	<b>191.4</b>

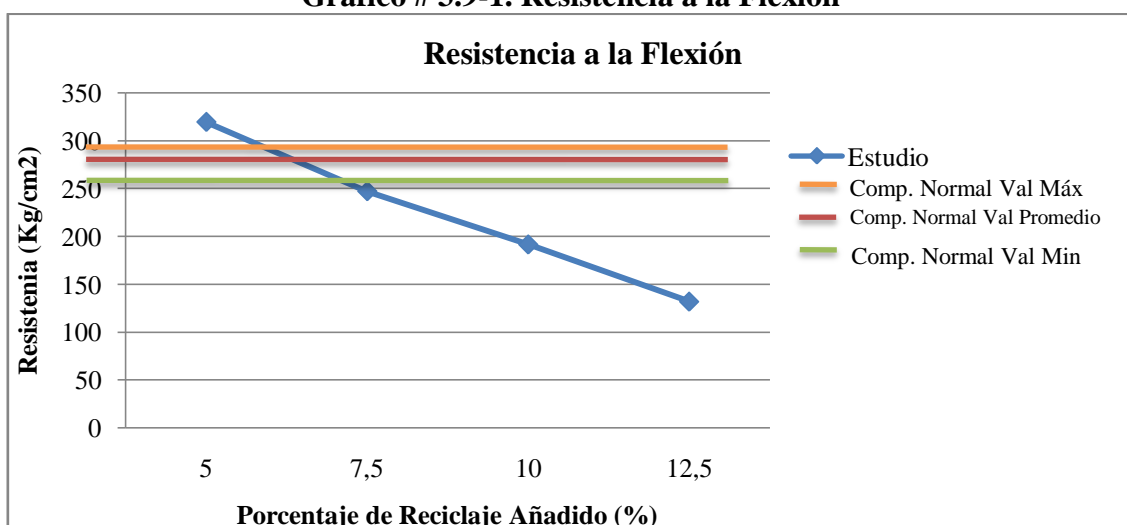
Fuente: Tesista

**Tabla # 3.9-5. Resistencia con el 12.5 % de Reciclaje**

Muestra	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Carga (Kg)	Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.6130	5.00	6.72	150.2
2	0.6555	5.23	6.96	130.1
3	0.5875	5.16	5.32	125.5
4	0.7125	5.14	7.52	121.0
X	0.6421	5.13	6.63	<b>131.7</b>

Fuente: Tesista

**Gráfico # 3.9-1. Resistencia a la Flexión**



Fuente: Tesista

### 3.10. Diseño del Equipo para el Sistema de Molienda

Para dar dimensiones al molino se basa en la ecuación<sup>8</sup> para un molino de 2 cámaras donde se tiene una relación de longitud-diámetro:

$$\frac{L}{D} = 3$$

Ec. 3.10-1

Para facilidad de construcción se escoge un diámetro de 0.8 metros debido a la disponibilidad del material y considerando que la capacidad de volumen que el molino debe abastecer es  $1.5 \text{ m}^3$ , se halla la longitud del molino:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Ec. 3.10-2

Donde:

V = Volumen de la cámara

r = Radio de la cámara

h = Longitud de la cámara

$$h = \frac{V}{\pi \cdot r^2} = \frac{1.5 \text{ m}^3}{\pi \cdot (0.4 \text{ m})^2} = 2.98 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

Verificando la relación:

$$\frac{L}{D} = 3 \quad \text{se tiene que:} \quad \frac{3}{0.8} = 3.75$$

Este valor se aproxima a la relación y además cumple con los requisitos de volumen necesarios.

Entonces el molino tendrá las siguientes dimensiones:

Longitud = 3 m

Diámetro = 0.8 m

Volumen =  $1.5 \text{ m}^3$

---

<sup>8</sup> DUDA W. Manual Tecnológico del Cemento, Barcelona - España, Editores Técnicos Asociados, 1977, pp. 101

### 3.10.1. Espesor de la chapa del cilindro del molino

El espesor de la chapa de acero del cilindro del molino va aproximadamente del 1/100 hasta el 1/75 del diámetro del molino, según el diámetro y la longitud de él se utilizan los siguientes espesores:

**Tabla 3.10.1-1. Espesor de la Chapa del Cilindro del molino**

<b>Diámetro del Tambor del Molino</b>	<b>Espesor de la Chapa</b>
Hasta 1.6 m	18 mm
de 1.6 m a 2.0 m	20 mm
de 2 m a 2.2 m	25.5 mm
de 2.2 m a 2.4 m	28 mm
de 2.5 m a 3.5 m	38 mm
de 3.5 m a 4.25 m	52 mm
de 4.25 m a 4.50 m	58 mm
5 m	63.5 mm

**Fuente:** DUDA W. Manual Tecnológico del Cemento, Barcelona - España, Editores Técnicos Asociados, 1977, pp. 101

Según la tabla anterior para un diámetro de tambor hasta 1.6 m el espesor del tubo es de 18 mm, pero para mayor seguridad y espesor comercial de la localidad se elige un espesor de 22 mm.

### 3.10.2. Diseño de los ejes del tambor

#### **Datos:**

Los siguientes valores de cargas son los críticos que se pueden presentar al momento del funcionamiento del molino, no representan cargas que se dan en un mismo instante.

### 3.10.3. Carga por Material

La cantidad de material a moler es 860 kilos, los mismos que ocupan un volumen aproximado de 1.5 m<sup>3</sup>.

Para un volumen del molino de 1.5 m<sup>3</sup>, \*la mayor eficiencia se da cuando el material ocupa 1/3 de la cámara, o sea:

Fuente:<sup>9</sup>

<sup>9</sup> [//personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec\\_far/pulverizacion.pdf](http://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/pulverizacion.pdf)

$$V = \frac{1.5 \text{ m}^3}{3}$$

$$V = 0.5 \text{ m}^3$$

El peso del material a ser molido es:

$$\begin{array}{rcl} 1.5 \text{ m}^3 & \text{----} & 860 \text{ kg} \\ 0.5 \text{ m}^3 & \text{----} & X \end{array}$$

De donde se obtiene que el **peso del material** a ser molido es de **286.67 kilos**.

### 3.10.4. Carga por bolas

La densidad de los elementos molientes es de 7.6 gr/ml (7600Kg/m<sup>3</sup>).

Fuente:<sup>10</sup>

Y la mayor eficiencia se da cuando las bolas ocupan un 50% del volumen del molino, o sea:

$$V = \frac{1.5 \text{ m}^3}{2}$$

$$V = 0.75 \text{ m}^3$$

Se tiene entonces:

$$\begin{array}{rcl} 7600 \text{ Kg} & \text{----} & 1 \text{ m}^3 \\ X & \text{----} & 0.75 \text{ m}^3 \end{array}$$

De donde se obtiene que el **peso de las bolas es de 5700 Kg**.

---

<sup>10</sup> [//personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec\\_far/pulverizacion.pdf](http://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/pulverizacion.pdf)

### 3.10.5. Carga del peso del molino

Para un molino de longitud 3 metros y perímetro:

$$P = \emptyset \times \pi$$

Ec. 3.10.5-1

$$P = 0.8 \text{ m} \times \pi$$

$$P = 2.51 \text{ m}$$

Con este dato se tiene el área de un rectángulo que forma el cilindro correspondiente a:

$$A = L \times L$$

$$A = 2.51 \text{ m} \times 3 \text{ m}$$

$$A = 7.53 \text{ m}^2$$

Luego, como el molino está construido de una plancha de acero de 22 mm (0.022 m) de espesor se calcula el volumen:

$$V = \text{área} \times \text{espesor}$$

$$V = 7.53 \text{ m}^2 \times 0.022 \text{ m}$$

$$V = 0.16566 \text{ m}^3$$

Ec. 3.10.5-2

Para una densidad del acero A36 = 7850 Kg/m<sup>3</sup>, entonces se tiene que:

$$m = \delta \times v$$

$$m = 7850 \text{ Kg/m}^3 \times 0.16566 \text{ m}^3$$

$$m = 1300.431 \text{ Kg}$$

Este es el peso del tubo del molino.

Además se necesitan 2 bridas para cerrar los extremos del tubo del molino que tendrán un diámetro de 0.756 m correspondientes al diámetro interior del tubo del molino.

Área de la Brida:

$$A = (\pi)(0.378 \text{ m})^2$$

$$A = 0.45 \text{ m}^2$$

y con un espesor de 0.022 m de la brida se tiene un volumen de:

$$V = (0.45 \text{ m}^2)(0.022 \text{ m}) = 0.0099 \text{ m}^3$$

$$V = 0.01 \text{ m}^3$$

Con una densidad del acero A36 = 7850 Kg/m<sup>3</sup>, se tiene:

$$m = \delta \times v$$

$$m = 7850 \text{ Kg/m}^3 \times 0.01 \text{ m}^3$$

$$m = 78.5 \text{ Kg}$$

Como son 2 bridas se tiene un peso de 157 kg.

Este es el peso de las 2 bridas que cierran el tubo del molino.

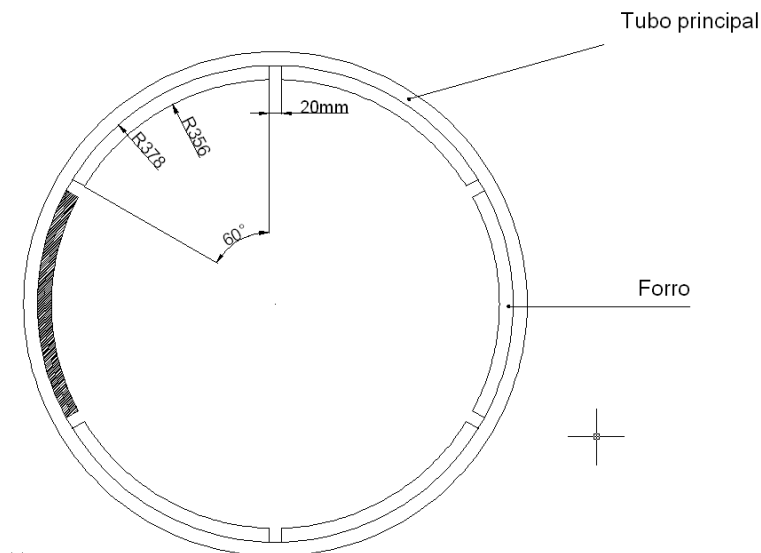
Peso Total del Tubo:

$$\text{Peso total} = 1300.431 \text{ Kg} + 157 \text{ Kg} = 1457.431 \text{ kg}$$

### 3.10.6. Revestimiento interno

Existirá un revestimiento interior del tubo principal, el mismo será construido con 6 planchas de lámina de acero de 22 mm empennadas a este, con el fin de proteger del desgaste al mismo, el cual estará colocado de acuerdo a la siguiente disposición:

**Gráfico # 3.10.6-1. Revestimiento Interno**



Restando el área del sector circular de radio 378 mm del sector circular de radio 356 mm para un mismo ángulo de 60°, de la fórmula del sector circular se tiene que:

$$A = \frac{\pi r^2 n^\circ}{360^\circ}$$

Ec. 3.10.6-1

n = número de grados

r = radio

$$A = \frac{\pi r_1^2 n^\circ}{360^\circ} - \frac{\pi r_2^2 n^\circ}{360^\circ}$$

$$A = \frac{\pi(378^2)(60)}{360} - \frac{\pi(356^2)(60)}{360}$$

$$A = 8455.07 \text{ mm}^2 = 0.00845 \text{ m}^2$$

Como las 6 planchas de forro están construidas de plancha de lámina de acero de longitud 3000 mm = 3 m, se tiene un volumen:

$$V = \text{Area} \times \text{longitud}$$

$$V = (0.00845 \text{ m}^2) (3)$$

$$V = 0.02535 \text{ m}^3$$

y para una densidad del acero <sup>\*11</sup> A36 = 7850 Kg/m<sup>3</sup> se tiene que:

$$m = \delta \times V$$

$$m = 7850 \text{ Kg/m}^3 \times 0.02535 \text{ m}^3$$

$$m = 198.9975 \text{ Kg}$$

Este es el peso de una plancha del revestimiento del tubo del molino.

Para 6 planchas se tendrá

$$m = 1193.985 \text{ kg} \approx 1194 \text{ kg}$$

Este valor sumado con el del peso del tubo del molino da un valor de 2651.43 kg que es el peso total del molino.

---

<sup>11</sup> Wikipedia

### 3.10.7. Carga de agua

Dado que el molino tiene un volumen de bolas que ocupa el 50% de su capacidad, el nivel máximo de llenado de agua será del otro 50% menos el volumen del material a moler, consideración que se hace para tener el diseño más crítico.

Se tiene que el volumen máximo de agua será de  $1.5 \text{ m}^3/2 = 0.75 \text{ m}^3$  y si a este valor se resta el volumen del material  $0.5 \text{ m}^3$  y para una densidad del agua de  $1000 \text{ Kg/m}^3$  se tiene que:

$$V_{\text{agua}} = 0.75 \text{ m}^3 - 0.5 \text{ m}^3 = 0.25 \text{ m}^3$$

$$m = \delta \times V$$

$$m = 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 0.25 \text{ m}^3$$

$$m = 250 \text{ Kg}$$

### 3.10.8. Parámetros del tambor

El tambor dispondrá de dos ejes perforados empotrados a los costados, los cuales se apoyarán en dos chumaceras de piso, lo que permitirá que el tambor rote consecuentemente. Por tal motivo dichos ejes estarán soportando esfuerzos de flexión provocados por las siguientes cargas:

**Tabla 3.10.8-1. Cargas que Soportan los Ejes**

Tipo de carga	Peso (kgf)
Molino	2651.43
Bolas	5700
Material	286.67
Agua	250
<b>Total</b>	<b>8888.1</b>

Fuente: Tesista

La Fuerza que soportará cada eje perforado será de  $8888.1/2 = 4444.05 \text{ kg}$ .

De la ecuación de la presión:

$$P = \frac{F}{A}$$

Ec. 3.10.8-1

Donde:

P = Presión

F = Fuerza

A = Área



Se hace una comparación de tal manera que para una fuerza  $F = 4444.05 \text{ kg}$  que actúa sobre una área  $A$  correspondiente al área de un eje perforado sea igual a una presión  $P$  correspondiente a la presión de fluencia o Límite de Fluencia para un acero A36 del cual está hecho el eje perforado.

<sup>12</sup> Presión de fluencia =  $2536.36 \text{ Kg/cm}^2$  que es el límite en donde el material empieza a ceder.

Así se tiene:

$$\text{Ec .a)} \quad 2536.36 \text{ Kg/cm}^2 = \frac{4444.05 \text{ Kg}}{A}$$

El área de un cilindro perforado viene dada por la ecuación:

$$\text{Ec.b)} \quad A = \pi(r_1)^2 - \pi(r_2)^2$$

Donde:

$r_1$  = radio exterior del eje hueco

$r_2$  = radio interior del eje hueco

Si se hace la consideración de que  $r_2 = 0.8 r_1$  (por comprobar)

Reemplazando ec b) se tiene:

$$A = \pi(r_1)^2 - \pi(0.8 r_1)^2$$

$$A = \pi r_1^2 [1 - 0.8^2]$$

$$A = \pi r_1^2 (0.36)$$

Ecuación c)

$$A = 1.13 r_1^2$$

Reemplazando c) en a) tenemos

$$2536.36 \text{ Kg/cm}^2 = \frac{4444.05 \text{ Kg}}{1.13 r_1^2}$$

Donde:

$$r_1 = 1.24 \text{ cm}$$

Esta comparación indica que el eje perforado cederá al tener un  $r_1 = 1.24 \text{ cm}$ ; pero lo que se busca es tener un diseño óptimo para alcanzar una confiabilidad por lo que se usa un coeficiente de seguridad de  $N = 7$  (Anexo Mecánico1), por lo que se tiene:

---

<sup>12</sup> Wikipedia

$$\begin{aligned}
r_1 &= 1.24 \text{ cm} \times N \\
r_1 &= 1.24 \text{ cm} \times 7 \\
r_1 &= 8.68 \text{ cm} \approx 8.7 \text{ cm} \\
r_2 &= 0.8 r_1 \\
r_2 &= 6.96 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Lo que indica que inicialmente se tendrá un eje perforado de radio exterior 6.96 cm (diámetro 139.2 mm) y espesor 1.6 cm.

Se selecciona un eje de acero AISI 1018 de 152.4 mm (6 pulgadas) de diámetro debido a su existencia comercial (Tabla de Aceros BHOMAN) y además para que se aloje en la chumacera de piso que se cita en la tabla SSND 200 (Anexo Mecánico 2).

Con este análisis se selecciona dos chumaceras DODGE SSND 232 (Anexo Mecánico 3).

### 3.10.9. Velocidad Crítica:

<sup>13</sup> La velocidad crítica de rotación en r.p.m. viene dado por la ecuación:

$$\text{Velocidad de rotación}_{\text{rpm}} = \frac{76.6}{\sqrt{D_1}} = 47.32$$

Ec. 3.10.9-1

Donde:

$D_1$  = diámetro interior del tubo en pies

Para un diámetro interior del tubo de 2.62 pies (0.8 m) la velocidad óptima está en un rango entre el 65% y el 90% de  $V_c$ . Para un diseño con el 72% de la velocidad crítica se tiene que la velocidad en rpm es  $W = 34.1$  r.p.m.

### 3.10.10. Potencia del motor

Ec. 3.10.11-1

$$P = c \cdot G * \sqrt{D}$$

Donde:

---

<sup>13</sup> DUDA W. Manual Tecnológico del Cemento, Barcelona - España, Editores Técnicos Asociados, 1977, pp. 72

- P = Potencia necesaria, en CV  
 c = Factor grado de llenado (tabla # 3.10.11-1)  
 G = Carga de bolas en toneladas  
 D = Diámetro interior del tambor del molino, en m

$$P = 6.8 * 5.700 \text{ Kg} * \sqrt{0.7956} \text{ m}$$

$$P = 34.6 \text{ CV} * \frac{1 \text{ HP}}{1.0138 \text{ CV}}$$

$$P = 34.1 \text{ HP}$$

$$P = 34.1 \text{ HP} * \frac{0.7457 \text{ kw}}{1 \text{ HP}}$$

$$P = 25.4 \text{ Kw}$$

**Tabla # 3.10.11-1. Valores del factor (fórmula de Blanc)**

Cuerpos Moledores	Grado de llenado del molino				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Bolas Gruesas (> 60 mm)	11,9	11	9,9	8,5	7
Bolas de acero (< 60 mm)	11,5	10,6	9,5	8,2	6,8
Cylpebs	11,1	10,2	9,2	8	6
Cuerpos moledores - promedio	11,5	10,6	9,53	8,23	6,8

Fuente: UDA W. Manual Tecnológico del Cemento, Barcelona - España, Editores Técnicos Asociados, 1977, pp. 80

### 3.10.11. Transmisión por banda

La transmisión de la velocidad angular  $\omega$  será dada por un moto reductor de 25.4 kw y 100 r.p.m. de salida.

#### a) Datos Necesarios

- $P_{\text{Motor}}$  = 25.4 Kw  
 $\eta$  = 96% (asumida)
- $\omega_{\text{MOTRIZ}}$  = 100 rpm del motoreductor  
 $\omega_{\text{CONDUCIDO}}$  = 34.1 rpm (70% de la velocidad crítica)  
 $P_{\text{Motor}}$  = 25.4 x (0.96) Multiplicado por la eficiencia asumida  
 $P_{\text{Motor}}$  = 24.4 kw

**b) Relación de Transmisión i**

Ec. 3.10.12-1

$$i = \frac{\omega_{Motriz}}{\omega_{Conducida}}$$

$$i = \frac{100 \text{ rpm}}{34.1 \text{ rpm}}$$

$$i = 2.9 \cong 3$$

**c) Potencia corregida  $P_c$** 

$$P_c = P_{Motor} \times Factor_{servicio}$$

Ec. 3.10.12-2

$$P_c = 24.4 \text{ kw} \times F_{servicio}$$

$$P_c = 24.4 \text{ kw} \times 1.5 \text{ (Anexo Mecánico 4)}$$

$$P_c = 36.6 \text{ kw}$$

**d) Sección de la banda**

$$P_c = 36.6 \text{ kw}$$

$$\omega_{MOTRIZ} = 100 \text{ rpm}$$

Se tiene que la sección de la banda es **tipo D** (Anexo Mecánico 5)

**e) Selección de los diámetros primitivos**

$$D_{P \text{ MOTRIZ}} \rightarrow 355 \text{ mm} \text{ (Anexo Mecánico 6)}$$

$$D_{P \text{ CONDUCTIDO}} = D_{P \text{ MOTRIZ}} \times i$$

$$D_{P \text{ CONDUCTIDO}} = 355 \text{ mm} \times 3$$

$$D_{P \text{ CONDUCTIDO}} = 1065 \text{ mm}$$

Como el diámetro del cuerpo del cilindro (800mm) se aproxima al diámetro de la polea conducida (1065mm), se tomará como diámetro de la polea conducida:

$$D_{P \text{ CONDUCTIDO}} = 800 \text{ mm}$$

De esta manera se ahorra en un gasto de compra de polea conducida.

**f) Longitud de la banda L**

Ec. 3.10.12-3

$$L = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4 \times C}$$

Donde:

- D = Diámetro polea mayor (800 mm)  
d = Diámetro polea menor (355 mm)  
C = Distancia entre centro aproximada

Para una distancia aproximada de  $C' = 620$  mm entre centros, se tiene que:

$$L = 2(620\text{mm}) + 1.57(800\text{mm} + 355\text{mm}) + \frac{(800\text{mm} - 355\text{mm})^2}{4 \times 620\text{mm}}$$

$$L = 3133.2\text{ mm}$$

**g) Longitud de banda corregida  $L'$**

$$L' = 3127\text{ mm} \quad (\text{Anexo Mecánico 7})$$

**Banda: D120** (Anexo Mecánico 7)

**h) Distancia corregida entre centros C**

Ec. 3.10.12-4

$$C = A + \sqrt{A^2 - B}$$

$$A = \frac{L'}{4} - 0.3925(D + d)$$

$$B = \frac{(D-d)^2}{8}$$

$$A = \frac{3127}{4} - 0.3925(800 + 355) = 328.4\text{ mm}$$

$$B = \frac{(800-355)^2}{8} = 24753.1$$

$$C = 328.4 + \sqrt{328.4^2 - 24753.1}$$

$$C = 616.6\text{ mm}$$

**i) Potencia Nominal y factores de corrección**

P nominal = Clasificación de potencia + potencia adicional

Clasificación de potencia = 3.39 kw (Anexo Mecánico 8)

Potencia adicional = 0.31 kw para  $i = 3$  (Anexo Mecánico 8)

P nominal = 3.39 + 0.31

P nominal = 3.7 kw

Factor de corrección de arco de contacto:  $F_c = 0.89$  (Anexo Mecánico 9)

Factor de corrección de longitud de banda  $F_d = 0.86$  (Anexo Mecánico 9)

j) **Número de bandas**

Ec. 3.10.12-5

$$N = \frac{P_{\text{corregida}}}{P_n \cdot F_c \cdot F_d}$$
$$N = \frac{36.9}{3.7 \times 0.89 \times 0.86}$$
$$N = 13$$

### 3.11. Características Generales del Sistema de Molienda (Molino)

**Tabla # 3.11-1. Características del Sistema de Molienda**

<b>Elementos</b>	<b># Elementos/Dimensiones</b>
Longitud	3 m
Diámetro	0.8 m
Espesor chapa	22 mm
Revestimiento de acero	22 mm
Bridas	2
Eje de acero	2
Chumaceras	2
Moto reductor	1 de 25.4 Kw
Bandas	13 tipo D 120
Cuerpos moledores	5700 Kg
Agua	250 Kg
Material a tratarse	286.67 Kg

Fuente: Tesista

### 3.12. ANÁLISIS ECONÓMICO

En base a los resultados del estudio realizado, se toman en cuenta los costos de materiales, construcción e instalación del sistema de molienda.

#### a) **Construcción del equipo (molino)**

Corte y varolado de planchas

Soldado planchas y revestimiento

Mecanizado de ejes  
Soldado y reforzado de ejes  
Construcción de base

**b) Instalación de la transmisión**

Moto – reductor  
Eje  
Bandas

**c) Instalación eléctrica**

Cableado de potencia  
Cableado de mando  
Tablero de potencia y mando

**Tabla # 3.12-1. Materiales para la Construcción del Molino**

Elementos	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Plancha 22 mm revestida	4	960	3840
Moto – reductor	1	2000	2000
Chumaceras	2	800	1600
Ejes perforados	2	200	400
Bandas	13	15	195
Bolas de acero	2 047.50 Kg	0.80	1638
Material eléctrico	1	500	500
<b>TOTAL:</b>			<b>10173</b>

Fuente: Personal Mantenimiento TUBASEC C.A.

**Tabla # 3.12-2. Mano de Obra para Construcción e Instalación del Molino**

Actividad	Costo (\$)
Corte y varolado	1000
Soldado y revestimiento	1000
Mecanizado ejes	500
Soldado y reforzado	500
Construcción base	200
Instalación transmisión	1000
Instalación eléctrica	800
<b>TOTAL:</b>	<b>5000</b>
<b>COSTO TOTAL:</b>	<b>\$ 15173</b>

Fuente: Personal Mantenimiento TUBASEC C.A.

# **CAPÍTULO IV**

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**



## CAPITULO IV

### DISCUSION DE RESULTADOS

- 4.1. En el proceso de fabricación de láminas de fibro – cemento se generan aproximadamente 860 kilos diarios de material para reciclar, lo que indica que se pueden recuperar unas 17 toneladas mensuales, que pueden reemplazar a la materia prima original (cemento), lo que implicaría un beneficio tanto económico como ambiental.
- 4.2. Por ser un material sólido se ha utilizado básicamente la operación unitaria molienda, ésta por vía húmeda; pues resulta la más idónea para alcanzar el objetivo propuesto. Esta se ha llevado a efecto en un molino de bolas, equipo ampliamente usado en todo tipo de industria por su sencillo manejo y excelentes resultados.
- 4.3. Este material no tiene una dureza alta, por lo que necesita poco tiempo de residencia al momento de tratamiento en el molino.
- 4.4. Con relación a la composición química, se determina que el óxido de magnesio se encuentra en un porcentaje menor al 5 %, que según la norma ecuatoriana INEN 490 es el límite máximo permitido en los cementos, que es el componente mayoritario en la composición de las láminas.
- 4.5. El tiempo óptimo de residencia del material de reciclado en el molino es de 40 minutos, porque al realizar la prueba de tamizado se obtiene un retenido promedio de 11.15 g/L en el tamiz # 16 (1.18 mm), que por análisis granulométrico se determina es el adecuado.
- 4.6. Para el buen funcionamiento del proceso de molienda se incluirán en el molino 2047 kilos de cuerpos moledores de diferente tamaño, 830 litros de agua y 200 kilos de material a recuperarse, con esto se logrará obtener una pasta con suficiente fluidez que facilitará su descarga.
- 4.7. En placas preparadas que incluyen en su composición 5; 7.5; 10 y 12.5 % de material reciclado se realizan pruebas de resistencia a la flexión, determinando de esta manera con cual de esas composiciones se obtienen mejores resultados y puede ser aplicada en la planta de producción.

- 4.8.** Para realizar el dimensionamiento del sistema de molienda se consideran todos los parámetros críticos para que este equipo tenga garantía de funcionamiento. El molino tendrá las siguientes dimensiones: longitud 3 metros, diámetro 0.8 metros, el mismo que ocupará un volumen de 1.5 metros cúbicos, tendrá un recubrimiento interno, funcionará con un motor de 25.4 Kw a 20.3 revoluciones por minuto y con 13 bandas para su movimiento giratorio. Este sistema de molienda tendrá un costo aproximado de 15000 dólares.

# **CAPÍTULO V**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- 5.1.1.** De las propiedades químicas del material para reciclaje, se determina que pasará a ser un componente que ingresado en la producción no presentará efectos expansivos en el producto final a obtenerse, porque el óxido de magnesio que puede presentar estos efectos es menor al 5 %.
- 5.1.2.** Para el diseño del molino se han considerado todas las variables que influenciarán en el dimensionamiento del equipo, como son: cantidad de reciclaje a tratarse, capacidad del molino, revestimiento interno del molino, cantidad de cuerpos molidores y cantidad de agua necesaria para realizar la molienda; esto conllevará a conseguir un proceso eficiente sobre todo sin un alto consumo energético, que será al final el éxito de esta inversión.
- 5.1.3.** Con el tiempo óptimo de residencia determinado, se conseguirá que el material tenga un tamaño de grano adecuado que no afecte en el aspecto visual del producto final.
- 5.1.4.** De acuerdo a los ensayos de resistencia a la flexión que se realizaron incluyendo en la composición diferentes porcentajes de material reciclado se concluye que se debe añadir el 7.5 % del producto obtenido, ya que con este porcentaje se alcanza una resistencia aproximada a la de la composición normal.
- 5.1.5.** Incluir este proceso de molienda en la fabricación de láminas de fibro - cemento es muy importante porque se logrará obtener una dosificación adecuada que ingresará como parte de las materias primas iniciales, lo que implica económicamente un ahorro en los costos de producción, porque actualmente no se aprovechan totalmente esos desperdicios.

- 5.1.6.** El realizar esta molienda por vía húmeda traerá muchos beneficios, tanto al trabajador por proteger su salud al manipular estos residuos como para proteger el ambiente que se verá libre de contaminación por partículas.
- 5.1.7.** Se concluye indicando que es posible obtener un producto reciclado apto para ser reutilizado en la fabricación de láminas de fibro cemento, después de éste ser sometido a un proceso de molienda.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- 5.2.1.** Someter el material para reciclado a pre trituración para facilitar su ingreso al molino y se consiga obtener mayor eficiencia en esta operación.
- 5.2.2.** Cuando se realice este proceso de molienda, controlar la finura del grano y la concentración de sólidos, para que estos valores no queden fuera de control y cumplan con los requisitos de formulación y además no se genere un alto consumo energético.

## RESUMEN

El diseño de un sistema de molienda para reciclaje seco en la producción de láminas de fibro – cemento se desarrolló en las instalaciones de la empresa TUBASEC C.A.

A través de este estudio se ve la forma de aprovechar totalmente el reciclaje seco generado en la planta de producción.

Con el método inductivo, se consideraron los elementos que influyen para alcanzar el objetivo de esta investigación, como son características, tratamiento y uso del reciclaje.

Aplicando el método experimental se realizaron pruebas de laboratorio que permiten conocer el material de forma técnica.

Se estudiaron sus características físicas como son dureza, mediante métodos comparativos en la escala de Mohs, densidad por método volumétrico de Le Chatelier, con procedimientos de las normas INEN y composición química con análisis en equipos de rayos X, en los laboratorios de la empresa Cemento Chimborazo.

Realizando pruebas en molinos se encontró el tiempo de tratamiento que se dará al material y como obtener una pasta con la concentración de sólidos adecuada.

Con placas de ensayo aplicando pruebas de resistencia a la flexión se determinó cual es el porcentaje ideal que se podrá incorporar en el proceso, siguiendo técnicas de ensayo de las normas URALITA de España.

Se obtuvieron los siguientes resultados: la dureza del material está en la escala intermedia, la densidad 2.58 g/ml, en la composición química el óxido de magnesio tiene un 4.42 %, en el molino la carga de bolas será de 2047.50 Kg, carga del material 200 Kg, volumen de agua 830 L y el equipo funcionará con un motor de 20.3 rpm.

Se concluye que el material a reciclarse tiene una dureza tal, que podrá ser tratado en un molino de bolas por vía húmeda con un tiempo de residencia de 40 minutos y se podrá añadir a la composición 7.5 % de la pasta obtenida.

Realizados los cálculos y considerando todos sus elementos se finaliza indicando que el sistema de molienda tendrá un costo aproximado de 15000 dólares.

Se recomienda que el material pase por un proceso de pre trituración antes de ingresar a la molienda y controlar la finura y concentración de sólidos para su ingreso a producción.

## **“DESIGNING A MILLING SYSTEM FOR DRY RECYCLING IN THE PRODUCTION OF FIBER-CEMENT SHEETS”**

### **ABSTRACT**

The design of a milling system for dry recycling in the production of fiber-cement sheets in the TUBASEC C.A. Company installations was developed.

By means of this study is seen how to take full advantage of dry recycling generated at the plant.

With the inductive method, the factors influencing to achieve the goal of this research work were considered, such as characteristics, treatment and its use of recycling.

By applying the experimental method is conducted laboratory tests which provide insight into the material-technical manner.

It was studied the physical characteristics such as hardness through volumetric method of Le Chatelier, with procedures INEN standards, and chemical composition analysis in X-ray equipment, in laboratories of Cemento Chimborazo Company.

Carrying out tests mills, it was found that treatment time will be given to the material to obtain mix cement with appropriate solids concentration.

Assay plates using testing bending resistance was determined which is the ideal rate may be incorporated in the process, following assay techniques URALITA standards Spain.

Then, the following results were obtained: the hardness of the material is in the middle range, density 2.58 g/ml, in the chemical composition magnesium oxide has a 4.42 %, load in the ball mill will be 2047.50 Kg, material loading 200 Kg, volume of water 830 L, and the equipment will operate with an engine of 20.3 rpm.

It was concluded that material to recycle has a hardness which can be treated in ball mill wet strength with a time of 40 minutes and it can be added to the composition 7.5 % of the mix cement obtained.

It was made the calculations and considering all elements, indicating ends that the milling system will cost approximately \$ 15000.

It is recommended that the material passes through a pre-shredding process before entering the mill and control the fineness and solids concentration for entry into production.



## BIBLIOGRAFÍA

1. **CABE, W./SMITH J.**, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., México DF - México., 6<sup>ta</sup> ed., Mc Graw Hill., 1980. pp. 1019 – 1046
2. **DUDA, W.**, Manual Tecnológico del Cemento., Barcelona – España., editores técnicos asociados s.a., 1977. pp.71-108
3. **FOUST, A.**, Principio de Operaciones Unitarias., México DF – México., Compañía Editorial Continental., 1998. pp. 697 – 711
4. **FRITZ, K.**, Cemento, Fabricación Propiedades y Aplicaciones., Barcelona - España., Técnicos Asociados., 1973. pp. 1 – 8
5. **GEANKOPLIS, C.**, Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias., México DF – México., Editorial Continental., 5<sup>ta</sup> ed., 1991. pp. 685 – 690
6. **JIMENEZ, A.**, Diseño de Procesos en Ingeniería Química., México DF – México., Reverté Ediciones., 2003. pp. 59
7. **PERRY, R./CHILTON C.**, Biblioteca del Ingeniero Químico., México DF- México., 5<sup>ta</sup> ed., Vol. 3., Mc Graw Hill, 1986. pp. 8-3 – 8-17
8. **WAGANOFF, N.**, Asbesto Cemento., Buenos Aires. - Argentina., Librería del Colegio., 1952. pp. 9 - 15
9. **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION.**, Cementos. Determinación de la Densidad Absoluta., (NORMA INEN N.º 156)., Quito., Ecuador: 1975. pp. 1-2
10. **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION.**, Productos de Asbesto Cemento. Terminología., (NORMA INEN N.º 1 314) Quito., Ecuador: 1985. pp. 1-2
11. **URALITA S.A.** Control Primeras Materias – Poder Reforzante., (Norma D.T. AC-111.14) Madrid., España., 1976. pp 17

## BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

### Granulometría

12. [es.wikipedia.org/wiki/granulometría](http://es.wikipedia.org/wiki/granulometría)  
(2011-05-10)

### Molienda

13. [www.es.wikipedia.org/wiki/molienda](http://www.es.wikipedia.org/wiki/molienda)  
(2011-05-10)

### Molino de Bolas

14. [www.molinos.\\_es.wikipedia.org/wiki/molino](http://www.molinos._es.wikipedia.org/wiki/molino)  
(2011-06-15)

# **ANEXOS MECÁNICOS**

## ANEXOS

### Anexo Mecánico 1. Coeficientes de seguridad

**TABLA 1.1 COEFICIENTES DE SEGURIDAD  
(COEFICIENTES DE CÁLCULO)**

Los coeficientes de seguridad señalados con \* están destinados principalmente al uso de principiantes, aunque son valores tradicionales. No se deberán utilizar cuando se haga un análisis detallado de las cargas variables, concentraciones de esfuerzos, etc., Capítulo 4. Son aceptables para utilizarlos con resistencias típicas.

CLASE DE CARGA	ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES QUEBRADIZOS	MADERA DE CONS- TRUCCIÓN
	<i>Basado en la resistencia máxima</i>	<i>Basado en la resistencia de fluencia</i>	<i>Basado en la resistencia máxima</i>	
Carga permanente, $N =$	3-4	1.5-2	5-6	7
Repetida, una dirección, gradual (choque suave) *, $N =$	6	3	7-8	10
Repetida, invertida, gradual (choque suave) *, $N =$	8	4	10-12	15
Choque *, $N =$	10-15	5-7	15-20	20

**Fuente:** <sup>14</sup>

<sup>14</sup> FAIRES, V., Diseño de Elementos de Máquinas., 4ta edición

## Anexo Mecánico 2. Tablas de Aceros BHOMAN



### SSND 200

Series Serie Série Serie Serie	SSND 200 Series SSND 200 Serie SSND 200 Série SSND 200 Serie SSND 200 Serie														A (With Seals) A (mit Dichtungen) A (avec joints) A (con juntas) A (con quantziani)			
	Wg	S1	S2	A1	B	C	D	F	H	J	K	M	Q	F8 Filtre Filtro Filtro	LD	DK End Cap Endver- schluss Embout Tape final Coper- chio terminale	VR	L-1
209	4.2	55	45	85	205	60	170	M12	25	100	42.5	60	22.5	85	85	85	97.2	65.2
210	4.5	60	50	90	205	60	170	M12	25	115	45	60	23.5	90	90	90	102.2	70.2
211	5.6	65	55	93	255	70	210	M16	28	130	46.5	70	24.5	93	93	93	103.2	75.2
212	6.4	70	60	105	255	70	210	M16	30	135	52.5	70	27	105	105	105	119.8	82.2
213	8.1	75	65	111	275	80	230	M16	30	150	55.5	80	29.5	111	111	111	124.8	87.2
215	8.7	85	75	115	280	80	230	M16	30	155	57.5	80	30.5	115	115	115	129.8	97.2
216	11.1	90	80	120	315	90	260	M20	32	175	60	96	33.5	120	120	120	134.8	102.2
217	12.1	95	85	125	320	90	260	M20	32	185	62.5	96	36	125	125	125	136.8	107.2
218	14.8	100	90	145	345	100	290	M20	35	195	72.5	100	38	145	145	145	160.8	112.2
220	19.3	115	100	160	380	110	320	M24	40	215	80	112	43	160	160	160	178.8	129.2
222	24.7	125	110	175	410	120	350	M24	45	240	87.5	125	47.5	175	175	175	192.8	139.2
224	28.0	135	120	185	410	120	350	M24	45	315	92.5	140	51	185	185	185	202.8	149.2
226	35.5	145	130	190	445	130	380	M24	50	335	95	150	55	190	190	190	205.8	159.2
228	45.0	155	140	205	500	150	420	M30	50	350	102.5	150	58	205	205	205	220.9	170.7
230	53.5	165	150	220	530	160	450	M20	60	325	110	160	62.5	220	220	220	235.9	180.7
232	62.0	175	160	235	550	160	470	M24	60	345	117.5	170	68	235	235	235	249.9	190.7

### Anexo Mecánico 3. Chumaceras DODGE SSND 232

**DODGE**  
SSND 200

Plummer Blocks for bearings 22200, 23200  
Stehlagergehäuse für Lager 22200 und 23200  
Paliers à semelle complets pour roulements 22200, 23200  
Soportes de pie para rodamientos 22200, 23200  
Supporti ritri per cuscinetti 22200, 23200

B7-32

SS Series  
HFO  
Bearings and Shafts  
SLEVOIL

Anexo

## Anexo Mecánico 4. Potencia Corregida

**TABLE - 1**

**SERVICE FACTORS FOR BELT DRIVES (SEE NOTE 1)**

TYPE OF DRIVEN MACHINE		SERVICE FACTOR *					
CLASS	EXAMPLES	SOFT STARTS +			HEAVY STARTS #		
		HOURS OF DUTY PER DAY			HOURS OF DUTY PER DAY		
		TO AND UNDER	OVER 10 TO 16	OVER 16	10 AND UNDER	OVER 10 TO 16	OVER 16
<b>Class 1</b> (LIGHT DUTY)	Agitators (uniform density), Blowers, Exhausters & fans (upto 75 kw), Centrifugal compressors & pumps, Belt conveyors (uniformly loaded)	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
<b>Class 2</b> (MEDIUM DUTY)	Agitators & mixers (variable density), Blowers, Exhausters & fans (over 75 kw), Rotary compressors & pumps (other than centrifugal), Belt conveyors (not uniformly loaded), Generators & excitors, Laundry machinery, Line shafts, Machine tools, Printing machinery, Saw mill & wood working machinery, Screens (rotary)	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
<b>Class 3</b> (HEAVY DUTY)	Brick machinery, Bucket elevators, Compressors & pumps (reciprocating), Conveyors (heavy duty), Hoists, Mills (hammer), Pulverizers, Punches, Presses, Shears, Quarry Plant, Rubber machinery, Screens (vibrating), Textile machinery	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
<b>Class 4</b> (EXTRA HEAVY DUTY)	Crushers (gyratory jaw - roll) Mills (ball - rod - tube)	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

**\* FOR SPEED - INCREASING DRIVES OF,**

Speed ratio	1.00 to 1.24	:	Multiply service factor by 1.00
Speed ratio	1.25 to 1.74	:	Multiply service factor by 1.05
Speed ratio	1.75 to 2.49	:	Multiply service factor by 1.11
Speed ratio	2.50 to 3.49	:	Multiply service factor by 1.18
Speed ratio	3.50 & over	:	Multiply service factor by 1.25

+ E.g. electric motors (a.c. start, delta start, d.c. shunt wound), Internal combustion engines with four or more cylinders, all prime movers fitted with centrifugal clutches, dry or fluid couplings.

# E.g. electric motors (a.c. direct - on - line start, d.c. series & compound wound), Internal combustion engines with less than four cylinders.

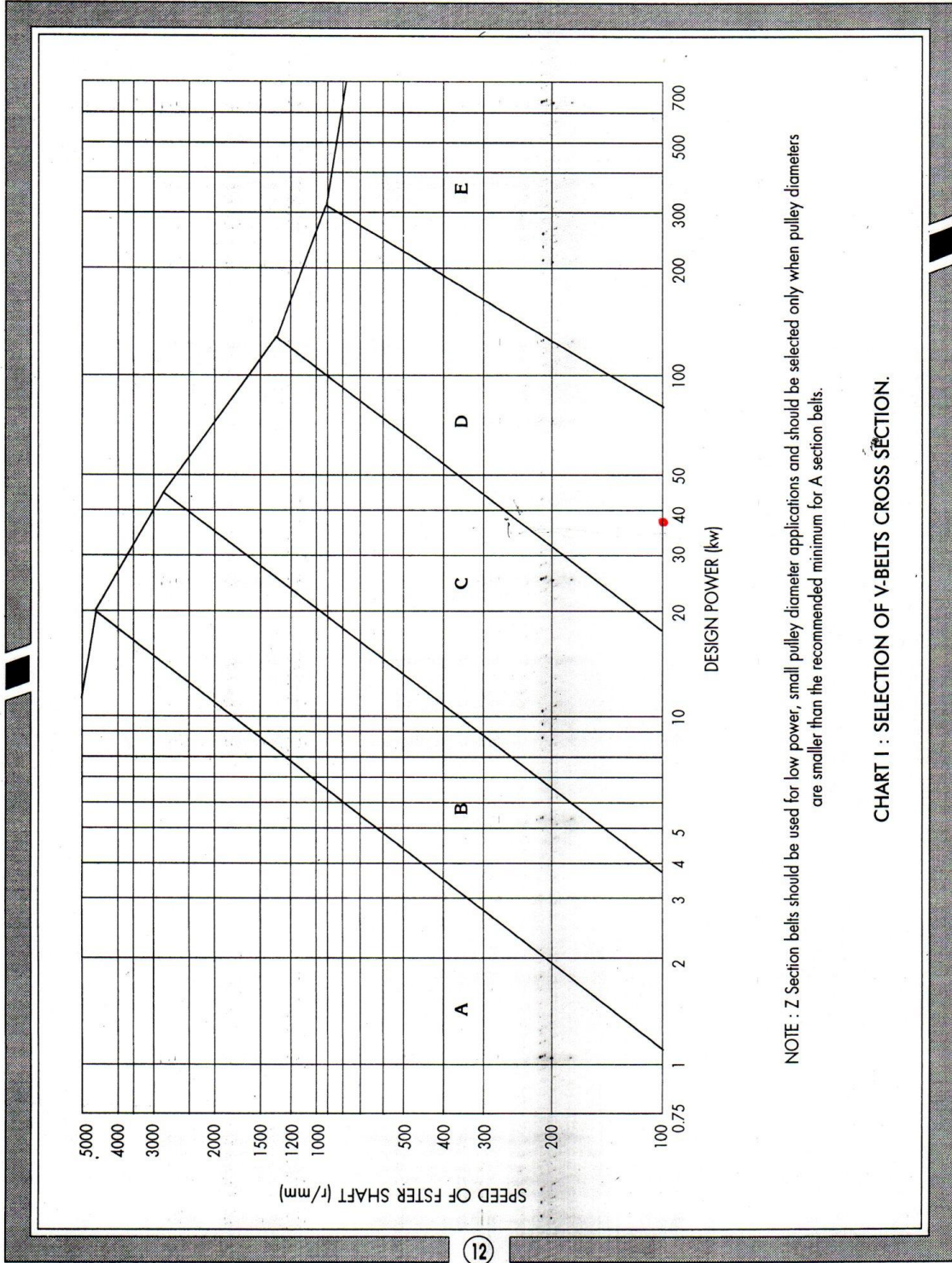
**SPECIAL CONDITIONS**

- (1) For reversing drives, except where high torque is not present on starting, add 20% to the factors.
- (2) Idler pulley on slack side (internal), no addition to the factors.
- (3) Idler pulley on tight side (internal), add 0.1 to the factors.

**NOTE - 1 :** The service factors in table 1 do not apply to light duty drives using Z Section belts ; PIX should be consulted.

**NOTE 2 :** The use of an idler pulley on the outside of the belt is not recommended.

# Anexo Mecánico 5. Sección de la Banda





## Anexo Mecánico 6. Diámetros Primitivos

**TABLE - 2**

**RECOMMENDED STANDARD PULLEY PITCH DIAMETERS FOR FASTER SHAFTS**

Z	A	B	C	D	E	SPZ/3V	SPA	SPB/5V	SPC	8V
50	75	125	200	355	510	67	100	160	224	330
56	80	132	212	375	535	71	106	170	236	350
63	85	140	224	400	560	75	112	180	250	380
71	90	150	236	425	585	80	118	190	265	400
80	95	160	250	450	610	85	125	200	280	420
90	100	170	265	475	635	90	132	212	315	440
	106	180	280	500	660	95	140	224	355	460
	112	190	315	530	685	100	150	236	400	480
	118	200	355	560	710	112	160	250	450	500
	125		375	600	760	125	180	280	500	550
			400		810	140	200	315	560	600
					865					640
					915					

**TABLE - 3 (Z Section)**

SECTION & SIZE	LENGTH			SECTION & SIZE	LENGTH		
	INSIDE (inch)	INSIDE (mm)	PITCH (mm)		INSIDE (inch)	INSIDE (mm)	PITCH (mm)
Z-17	17	432	454	Z-54	54	1372	1394
Z-20	20	508	530	Z-55	55	1397	1419
Z-25	25	635	657	Z-56	56	1422	1444
Z-27	27	685	707	Z-57	57	1448	1470
Z-30	30	762	784	Z-58	58	1473	1495
Z-31	31	787	809	Z-59	59	1499	1521
Z-32	32	813	835	Z-60	60	1524	1546
Z-33	33	838	860	Z-61	61	1549	1571
Z-34	34	864	886	Z-62	62	1575	1597
Z-35	35	889	911	Z-63	63	1600	1622
Z-36	36	914	936	Z-64	64	1626	1648
Z-37	37	940	962	Z-65	65	1651	1673
Z-38	38	965	987	Z-66	66	1676	1698
Z-39	39	991	1013	Z-67	67	1702	1724
Z-40	40	1016	1038	Z-68	68	1727	1749
Z-41	41	1041	1063	Z-69	69	1753	1775
Z-42	42	1067	1089	Z-70	70	1778	1800
Z-43	43	1092	1114	Z-71	71	1803	1825
Z-44	44	1118	1140	Z-72	72	1829	1851
Z-45	45	1143	1165	Z-73	73	1854	1876
Z-46	46	1168	1190	Z-75	75	1905	1927
Z-47	47	1194	1216	Z-76	76	1930	1952
Z-48	48	1219	1241	Z-78	78	1981	2003
Z-49	49	1245	1267	Z-79	79	2007	2029
Z-50	50	1270	1292	Z-80	80	2032	2054
Z-51	51	1295	1317	Z-88	88	2235	2257
Z-52	52	1321	1343	Z-93	93	2362	2384
Z-53	53	1346	1368	Z-160	160	4064	4086

**Z Section :** Min. batch quantity for standard sizes 35 nos. For nonstandard sizes 52 nos.

## Anexo Mecánico 7. Longitud de banda corregida

**TABLE - 6 (C Section)**

SECTION & SIZE	LENGTH			SECTION & SIZE	LENGTH		
	INSIDE (inch)	INSIDE (mm)	PITCH (mm)		INSIDE (inch)	INSIDE (mm)	PITCH (mm)
C-166	166	4216	4272	C-225	225	5715	5771
C-167	167	4242	4298	C-228	228	5791	5847
C-168	168	4267	4323	C-236	236	5994	6050
C-173	173	4394	4450	C-238	238	6045	6101
C-177	177	4496	4552	C-240	240	6096	6152
C-180	180	4572	4628	C-248	248	6299	6355
C-185	185	4699	4755	C-256	256	6502	6558
C-187	187	4750	4806	C-264	264	6706	6762
C-190	190	4826	4882	C-270	270	6858	6914
C-195	195	4953	5009	C-280	280	7112	7168
C-198	198	5029	5085	C-295	295	7493	7549
C-200	200	5080	5136	C-300	300	7620	7676
C-204	204	5182	5238	C-320	320	8128	8184
C-208	208	5283	5339	C-328	328	8331	8387
C-210	210	5334	5390	C-418	418	10617	10673
C-220	220	5588	5644	C-658	658	16713	16769

C Section : Min. batch quantity for standard Size 15 Nos., For non standard size 22 Nos.

**TABLE - 7 (D Section)**

SECTION & SIZE	LENGTH			SECTION & SIZE	LENGTH		
	INSIDE (inch)	INSIDE (mm)	PITCH (mm)		INSIDE (inch)	INSIDE (mm)	PITCH (mm)
D-80	80	2032	2111	D-135	135	3429	3508
D-88	88	2235	2314	D-136	136	3454	3533
D-90	90	2286	2365	D-140	140	3556	3635
D-95	95	2413	2492	D-142	142	3607	3686
D-100	100	2540	2619	D-144	144	3658	3737
D-105	105	2667	2746	D-145	145	3683	3762
D-108	108	2743	2822	D-146	146	3708	3787
D-109	109	2769	2848	D-147	147	3734	3813
D-110	110	2794	2873	D-148	148	3759	3838
D-111	111	2819	2898	D-150	150	3810	3889
D-114	114	2896	2975	D-152	152	3861	3940
D-116	116	2946	3025	D-155	155	3937	4016
D-118	118	2997	3076	D-158	158	4013	4092
D-120	120	3048	3127	D-160	160	4064	4143
D-121	121	3073	3152	D-162	162	4115	4194
D-122	122	3099	3178	D-165	165	4191	4270
D-124	124	3150	3229	D-168	168	4267	4346
D-126	126	3200	3279	D-170	170	4318	4397
D-128	128	3251	3330	D-172	172	4369	4448
D-129	129	3277	3356	D-173	173	4394	4473
D-130	130	3302	3381	D-175	175	4445	4524
D-134	134	3404	3483	D-178	178	4521	4600

**TABLE - 20**  
**POWER RATING FOR 'D' SECTION V-BELTS, WITH 180° ARC OF CONTACT ON SMALLER PULLEY**

SPEED OF SHAFT r/min	POWER RATING FOR SMALLER PULLEY PITCH DIAMETER OF												ADDITIONAL POWER INCREMENT PER BELT, FOR SPEED RATIO OF																	
	355	400	425	450	475	500	530	560	600	1.00	1.02	1.05	1.09	1.13	1.19	1.25	1.35	1.52	2.00	1.01	1.04	1.08	1.12	1.18	1.24	1.34	1.51	1.99	over	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	
	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	kw	
720	16.26	17.90	19.90	21.85	23.75	23.59	27.38	29.44	31.42	33.91	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	0.00	0.33	0.67	1.00	1.34	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00
960	19.26	21.16	23.45	25.63	27.70	29.65	31.47	33.50	35.32	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	
1440	21.22	23.03								0.00	0.03	0.07	0.10	0.14	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	0.00	0.03	0.07	0.10	0.14	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	
100	3.39	3.70	4.08	4.45	4.83	5.20	5.57	6.02	6.46	7.04	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63
200	6.04	6.61	7.32	8.02	8.72	9.42	10.11	10.93	11.75	12.83	0.00	0.10	0.21	0.31	0.42	0.52	0.62	0.73	0.83	0.94	0.00	0.10	0.21	0.31	0.42	0.52	0.62	0.73	0.83	0.94
300	8.41	9.22	10.24	11.24	12.24	13.22	14.20	15.37	16.52	18.04	0.00	0.14	0.28	0.42	0.56	0.70	0.83	0.97	1.11	1.25	0.00	0.14	0.28	0.42	0.56	0.70	0.83	0.97	1.11	1.25
400	10.57	11.61	12.91	14.19	15.45	16.70	17.94	19.40	20.85	22.74	0.00	0.17	0.35	0.52	0.70	0.87	1.04	1.22	1.39	1.56	0.00	0.17	0.35	0.52	0.70	0.87	1.04	1.22	1.39	1.56
500	12.55	13.80	15.35	16.87	18.38	19.86	21.32	23.03	24.72	26.91	0.00	0.21	0.42	0.62	0.83	1.04	1.25	1.46	1.67	1.88	0.00	0.21	0.42	0.62	0.83	1.04	1.25	1.46	1.67	1.88
600	14.34	15.79	17.56	19.30	21.01	22.68	24.32	26.23	28.09	30.49	0.00	0.24	0.49	0.73	0.97	1.22	1.46	1.70	1.95	2.19	0.00	0.24	0.49	0.73	0.97	1.22	1.46	1.70	1.95	2.19
700	15.96	17.57	19.54	21.46	23.33	25.15	26.91	28.96	30.92	33.41	0.00	0.28	0.56	0.83	1.11	1.39	1.67	1.95	2.22	2.50	0.00	0.28	0.56	0.83	1.11	1.39	1.67	1.95	2.22	2.50
800	17.39	19.14	21.26	23.32	25.31	27.22	29.06	31.17	33.16	35.62	0.00	0.31	0.63	0.94	1.25	1.56	1.87	2.19	2.50	2.81	0.00	0.31	0.63	0.94	1.25	1.56	1.87	2.19	2.50	2.81
900	18.62	20.48	22.72	24.87	26.92	28.87	30.73	32.81	34.73	37.02	0.00	0.35	0.70	1.04	1.39	1.74	2.08	2.43	2.78	3.13	0.00	0.35	0.70	1.04	1.39	1.74	2.08	2.43	2.78	3.13
1000	19.64	21.57	23.88	26.07	28.14	30.07	31.86	33.82	35.57	0.00	0.38	0.77	1.15	1.53	1.91	2.29	2.63	3.06	3.44	0.00	0.38	0.77	1.15	1.53	1.91	2.29	2.63	3.06	3.44	
1100	20.43	22.40	24.74	26.91	28.92	30.76	32.42				0.00	0.42	0.84	1.25	1.67	2.09	2.50	2.92	3.34	3.75	0.00	0.42	0.84	1.25	1.67	2.09	2.50	2.92	3.34	3.75
1200	20.98	22.96	25.26	27.36	29.25	30.92					0.00	0.45	0.91	1.35	1.81	2.26	2.71	3.16	3.61	4.06	0.00	0.45	0.91	1.35	1.81	2.26	2.71	3.16	3.61	4.06
1300	21.27	23.21	25.42	27.38							0.00	0.49	0.98	1.46	1.95	2.43	2.92	3.40	3.89	4.38	0.00	0.49	0.98	1.46	1.95	2.43	2.92	3.40	3.89	4.38
1400	21.29	23.15	25.21								0.00	0.52	1.05	1.56	2.09	2.61	3.12	3.65	4.17	4.69	0.00	0.52	1.05	1.56	2.09	2.61	3.12	3.65	4.17	4.69
1500	21.03	22.76									0.00	0.56	1.11	1.67	2.23	2.78	3.33	3.89	4.44	5.00	0.00	0.56	1.11	1.67	2.23	2.78	3.33	3.89	4.44	5.00
1600	20.46																													

Anexo Mecánico 9. Factores de corrección

**TABLE - 27**

**POWER CORRECTION FACTORS FOR ARC OF CONTACT**

D-d C	ARC OF CONTACT ON SMALLER PULLEY (DEGREES)	CORRECTION FACTOR i.e. PROPORTION OF 180° RATING
0.00	180	1.00
0.05	177	0.99
0.10	174	0.99
0.15	171	0.98
0.20	169	0.97
0.25	166	0.97
0.30	163	0.96
0.35	160	0.95
0.40	157	0.94
0.45	154	0.93
0.50	151	0.93
0.55	148	0.92
0.60	145	0.91
0.65	142	0.90
0.70	139	0.89
0.75	136	0.88
0.80	133	0.87
0.85	130	0.86
0.90	127	0.85
0.95	123	0.83
1.00	120	0.82

**TABLE - 28**

**POWER CORRECTION FACTORS FOR BELT PITCH LENGTH**

POWER CORRE- CTION FACTORS	BELT PITCH LENGTH										
	V-BELTS					WEDGE BELTS					
	Z	A	B	C	D	E	SPZ/3V	SPA	SPB/5V	SPC	8V
0.80	630	930	1550	2740			630	800			
0.81	700	1000	1760	3130			710	900			
0.82	790	1100	1950	3330			1250	1000			
0.83	890	1210	2190	3730			800	1120	1400	2000	2540
0.84	990	1370	2340	4080			900	1250	1600	2240	3000
0.85	405	1560	2490	4620	5334		1000	1400	1800	2500	3350
0.86	475	1760	2720	5400	6045		1120	1600	2090	2800	4060
0.87	530	1950	2800	5400	6045		1250	1800	2240	2500	3550
0.88	625	2180	3110	5400	6045		1400	2000	2800	4000	5080
0.89	700	2300	3310	5400	6045		1600	2240	3150	4500	6000
0.90	780	2500	3520	6100	6807		1800	2500	3500	5000	7100
0.91	890	2700	3800	6840	7569		2000	2800	3500	5000	8000
0.92	920	2850	4060	7620	8331		2200	3150	4000	5000	9000
0.93	1080	3200	4600	8410	9093		2500	3500	4500	6000	10160
0.94	1080	3600	5380	9140	9855		2800	4000	5000	7000	11430
0.95	1080	4060	6100	10700	10617		3150	4500	6000	8000	12700
0.96	1080	4430	6860	13665	12141		3500	5000	7000	10000	
0.97	1080	4820	7600	15189	13665		3800	7880	10000	12500	
0.98	1080	5370	8430	16713	15189		4000				
0.99	1080	6070	9100	18520	16713		4500				
1.00	1080	10700	10700	21200	18520						

## Anexo Mecánico 10. Plano de Conjunto Molino de Bolas

ITEM	DESCRIPCION	CANT	MATERIAL/DENOMINACION
01	Bastidor	01	Acero A36
02	Tolva entrada	01	Acero A36
03	Perno chumacera	04	M24-Acero grado 7 SAE
04	Chumacera piso	02	Dodge SSND 232
05	Tubo del molino	01	Plancha de Acero A36
06	Arandela plana	08	M24-Acero grado 7 SAE
07	Arandela presión	08	M24-Acero grado 7 SAE
08	Tubo eje soporte	02	Eje Acero AISI 1018
09	Tuercas	08	M24-Acero grado 7 SAE
10	Placa base	04	Plancha de Acero A36
11	Reductor	01	n=100 rpm
12	Banda trapezoid.	13	D120
13	Polea matriz	01	355D13
14	Chavetero	01	15x8x500
15	Pernos brida	08	M12-Acero grado 7 SAE
16	Base motor eléct.	01	Acero A36
17	Perno base motor	04	M14-Acero grado 7 SAE
18	Motor eléctrico	01	24.6 kw 1700 rpm 3f 440v

Fecha:	Nombre:	ESPOCH ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	Código:
Dibujó:	Pérez M.		P.M.01
Revisó:	Peñafiel A.		Hoja N°:
Aprobó:	11/12/12		01 de 02
ESCALA: 1:20	Denominación:	PLANO DE CONJUNTO MOLINO DE BOLAS	
		Observaciones:	

## Anexo Mecánico 11. Dimensiones Generales Molino de Bolas

