



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD METALURGIA-ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO MECÁNICA

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Mecánico

*Título: Diseño de un sistema de molienda para la granja
avícola de Centeno*

Autor: Hector Terrero Sanamé

*TUTORES: Dr. C.. Roberto Sierra Pérez
M. Sc. Dayanis Alcántara Borges*

Moa - 2012
“Año 54 de la Revolución”



Declaración de Autoría

Yo: Héctor Terrero Sanamé

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Hector Terrero Sanamé

Dr. C. Roberto Sierra Pérez

M Sc. Dayanis Alcántara Borges



Agradecimientos

A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera.

A mi tutor por confiar en mí en la realización de este trabajo el M Sc. Dayanis Alcántara Borges.

A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que más lo necesitaba.

A mis amigos que siempre creyeron en mí.

A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realización de este trabajo.

A la revolucion, por darme la oportunidad de convertirme en profesional .

A todos

Muchas Gracias.



Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis familiares.

A mis hijos: Eliu y Elí.

A mi madre: Magdalena

A la memoria de mi padre: Erasmo.

A mis amigos.

***A nuestra revolución, por las posibilidades que
me ofrece.***



Resumen

En el presente trabajo se propone el diseño de un molino de martillo para el balanceado de alimentos en la granja avícola de Centeno. Se determinaron las constantes energéticas para granos, la misma que permite evaluar el trabajo y la potencia en función de la capacidad, luego se definieron las geometrías, dimensiones y materiales a utilizarse en base a los diseños desarrollados, lo que ha sido verificado con la utilización del módulo COSMOS DESING. Se caracterizaron los materiales a emplear en correspondencia con sus propiedades químicas y mecánicas. Como elemento fundamental se diseñó la capacidad de la tolva de almacenamiento, así como las características de las cribas a emplear en el molino. Se tiene en cuenta la incidencia económica y el impacto medioambiental de este tipo de instalación.



Abstract

Presently paper intends the design of a hammer mill for the one balanced of allowances in the poultry farm of Centeno. The energy constants were determined for grains, the same one that allows evaluating the work and the power in function of the capacity, and then was defined the geometries, dimensions and materials to be used based on the developed designs, what has been verified with the use of the module COSMOS DESING. The materials were characterized to use in correspondence with their chemical and mechanical estates. As fundamental element you design the capacity of the storage chute, as well as the characteristics of the sieves to use in the mill. One keeps in mind the economic incidence and the environmental impact of this installation type.



TABLA DE CONTENIDOS	Pág
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	
1.1 Introducción	5
1.2. Generalidades sobre el proceso de molienda	5
1.3. Generalidades acerca del proceso de trituración	7
1.3.1. Fragmentación de materiales blandos y frágiles	7
1.4. Características de los molinos	8
1.4.1. Molino de martillos	9
1.5. Consumo de energía en el proceso de molienda	11
1.6. Transportación de productos	12
1.6.1. Uso de los transportadores de banda	13
1.6.2. Uso del transportador sinfín	14
1.7. Generalidades del diseño en la Ingeniería mecánica	14
1.7.1. Diseño mecánico	15
1.7.2. Etapas del diseño	16
1.7.3. Fase de diseño	17
1.7.4. Fase de postdiseño	17
1.8. Alimentos balanceados	18
1.8.1. Clasificación de los balanceados	18
1.8.2. Balanceados para aves	18
1.8.3. Balanceados para cerdos	19
1.8.4. Descripción del proceso de elaboración del balanceado	19
1.8.5. Recepción de la materia prima	19
1.8.6. Almacenamiento	20
1.9. Proceso de molienda de los alimentos	20
1.10. Conclusiones del capítulo 1	21
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1. Introducción	
2.2. Datos nominales del consumidor eléctrico	22
2.2.1. Cálculo de la potencia útil o activa	23



2.2.2. Cálculo de la potencia aparente o total	23
2.2.3. Cálculo del factor de potencias	23
2.2.4. Cálculo del consumo de potencia útil o activa de motores a plena carga	24
2.2.5. Consumo de potencia reactiva de los motores a plena carga	24
2.3. Requerimientos de producción de la planta de balanceado	24
2.4. Especificación de los elementos mecánicos	25
2.4.1. Cálculo de la tolva de alimentación	25
2.4.2. Cálculo del volumen de la tolva de alimentación	26
2.4.3. Cálculo para la selección de las cribas	27
2.4.4. Cálculo del número de trenes en el rotor del molino de martillos	28
2.4.5. Cálculo de número de trenes en el molino de martillos	29
2.5. Cálculo de la resistencia a la compresión de los martillos	29
2.6. Análisis de los esfuerzos de los martillos del molino mediante (MEF)	30
2.7. Cálculo de pesos del eje del molino de martillos	32
2.7.1. Cálculo del peso de los volantes	32
2.7.2. Cálculo del peso de los espaciadores y arandelas	33
2.7.3. Cálculo del peso del árbol	33
2.8. Conclusiones del capítulo 2	35
CAPÍTULO 3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
3.1. Introducción	36
3.2. Análisis de la metodología de cálculo	36
3.3. Análisis del consumo de potencia reactiva de los motores a plena carga	36
3.4. Análisis de la capacidad de producción del martillo	37
3.5. Análisis del cálculo de la tolva de alimentación	37
3.6. Determinación del volumen de la tolva de alimentación	37
3.7. Análisis de la selección de las cribas	38
3.8. Comportamiento del número de trenes en el rotor del molino de martillos	39
3.9. Análisis del cálculo de la resistencia a la compresión de los martillos	41
3.10. Comportamiento del peso de los volantes	42
3.11. Análisis del cálculo para el peso del árbol	42
3.12. Análisis de la simulación por el MEF	43



3.13. Análisis económico	44
3.13.1. Costos de la mano de obra	45
3.14. Valoración del impacto medio ambiental	45
3.15. Conclusiones del capítulo 3	48

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO

INTRODUCCIÓN

El mundo del diseño en la ingeniería está evolucionando a un ritmo vertiginoso. En menos de una generación, se ha pasado de buscar soluciones aproximadas mediante groseras simplificaciones, a intentar encontrar la mejor de todas las posibles en problemas de naturaleza extraordinariamente compleja. Múltiples, y de distinta índole, son los factores que han contribuido a este desarrollo.

El esfuerzo económico de empresas e instituciones en investigación; el aumento de la comunicación entre la dispersa comunidad científica; tal vez una inherente capacidad del hombre para intentar buscar el progreso, pero de entre todos los razones económicas, antropológicas, sociológicas o filosóficas que se desee encontrar, dos hechos reales fundamentan el nivel conseguido: por un lado el desarrollo del ordenador y sus periféricos y por otro lado el desarrollo teórico de nuevos conceptos computacionales.

En el mundo de la ingeniería, la dificultad de los problemas planteados ha ido aumentando día a día. El cálculo elástico lineal ha sido superado por diferentes modelos constitutivos no lineales o por modelos de no linealidad geométrica, todo en aras de simular un comportamiento más acorde con la realidad observada. La posibilidad de resolver dichos planteamientos se debe, en gran medida, a la aplicación de algoritmos numéricos complejos y al desarrollo de potentes preprocesadores y postprocesadores para el MEF (Método de los Elementos Finitos), el más popular de los métodos numéricos existentes en la literatura para el cálculo de estructuras.

En los últimos tiempos un par de cuestiones han estimulado a la investigación sobre las posibilidades del diseño en la ingeniería. Una es el problema de la optimización, el hecho de buscar la mejor solución posible. Otra es el problema de la patología y control de calidad, ser capaces de predecir los defectos de proyecto, evaluar el daño y las posibilidades de mantener en servicio una estructura que supera algún estado límite.

En el campo de la optimización se han hecho muchos progresos y, en particular, ha nacido todo un conjunto de algoritmos que hacen uso de la información de las derivadas de variables significativas, son los llamados métodos de orden uno.

Asimismo, en el problema de la reparación y el análisis de patologías en estructuras, algunos algoritmos existentes también necesitan conocer dichas derivadas. Por lo tanto,

en estos últimos años se ha promovido el interés por la evaluación de las derivadas, es decir, el cálculo de la relación entre diferentes variables de un problema.

En el diseño de una estructura existen una serie de variables que definen de forma fundamental el proyecto estructural, donde se considera la naturaleza del material de construcción: acero, hormigón o un material compuesto, o bien, las dimensiones de las secciones estructurales.

El ingeniero que proyecta también se enfrenta a una serie de restricciones o condicionantes, entre los que cabe citar la tensión máxima de trabajo en el material, o la máxima flecha admisible. En definitiva, el diseñador tomará decisiones sobre una serie de variables deseando cumplir una serie de objetivos y limitaciones. Es evidente que algunas variables influyen de forma determinante en el comportamiento estructural, por ejemplo el tipo de material, mientras otras no influyen en absoluto, aunque no por ello se deben considerar menos importantes, por ejemplo la textura.

La **situación problemática** de la investigación la constituye:

La granja Avícola de la localidad de Centeno, una de su actividad fundamental es realizar el abastecimiento de huevos y carne a los municipios de Moa, Sagua de Tánamo y Frank País, la unidad cuenta con un sistema de alimentación a pollos pequeños, en ocasiones el abastecimiento de materia prima que llega a la entidad es grano de maíz, lo que se convierte en una limitante para suministrarle estos alimentos. En muchas ocasiones, existen roturas de huevos que se convierten en focos de contaminantes. Otra dificultad radica en que en ocasiones la transportación del producto molido es deficiente y el maíz en el almacén tarda mucho tiempo en ser consumido por las aves mayores.

El **problema** a investigar se define como:

La no existencia de un sistema de molienda para la trituración de la materia prima en la granja avícola de Centeno, lo cual en ocasiones provoca la no alimentación adecuada de los animales allí existentes.

Se establece como **objeto de la investigación**:

Martillo de molino para la granja avícola de Centeno.

Hipótesis:

El diseño de un molino de martillo donde se considere la capacidad de producción, el sistema de alimentación, así como la cantidad de martillo a emplear, permitirá dar respuestas a la alimentación relacionado con las aves en la granja avícola de Centeno.

Se define como objetivo general:

Realizar el diseño de un molino de martillos para la granja avícola de Centeno con capacidad de producción necesaria para el abastecimiento de los animales existentes.

Campo de acción:

Molienda de maíz y rechazo en la granja avícola de Centeno.

Objetivos específicos:

1. Establecimiento de una metodología de cálculo que permita establecer el diseño del molino de martillo a partir de su capacidad de producción.
2. Caracterización de los materiales necesarios a considerar en el diseño del molino a partir de sus propiedades físicas mecánicas que garanticen la funcionalidad del equipo.
3. Determinación de las tensiones originadas en el área de trabajo de los martillos del molino a través del Método de los Elementos Finitos con el empleo del software COSMOS DESING.

Tareas del trabajo:

1. Establecimiento del estado del arte y sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Caracterización para el cálculo de cada uno de los elementos que se van a emplear para el diseño del molino de martillo.
3. Establecimiento de la metodología de cálculo que permita la realización del diseño del molino de martillo según su capacidad de producción.
4. Determinación de las tensiones del área de trabajo de los martillos en correspondencia con los parámetros establecidos en el software COSMOS DESING.
5. Valoración de los resultados obtenidos y fundamentación de la propuesta de diseño del molino de martillo, así como la incidencia económica e impacto ambiental.

CAPÍTULO I



CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1 Introducción

Existe una amplia variedad de equipos para la reducción de tamaño. Las principales razones de la falta de estandarización son la variedad de sustancias que se pueden triturar y las calidades requeridas para el producto final, la limitada información útil que se tiene sobre la molienda y los requisitos de diferentes industrias en el balance económico entre el coste de inversión y el de operación.

El objetivo de este capítulo es realizar la búsqueda bibliográfica relacionada con el proceso de molienda.

1.2. Generalidades sobre el proceso de molienda

La molienda es la última etapa del proceso de conminución, en esta etapa las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión, ya sea en seco o como una suspensión en agua, también llamado pulpa. La molienda se realiza en molinos de forma cilíndrica que giran alrededor de su eje horizontal y que contienen cuales están libres para moverse a medida que el molino gira produciendo la conminución de las partículas de mena.

En el proceso de molienda partículas de 5 a 250 mm son reducidas en tamaño a 10 - 300 micrones, aproximadamente, dependiendo del tipo de operación que se realice. 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.

El método de la molienda es utilizado para refinar el tamaño de partícula. Los equipos más utilizados son los molinos de bolas, de martillo y vibración (Randall, 1994).

Los polvos que presentan un tamaño de partícula a niveles nanométricos han llamado la atención por sus propiedades inusuales, por tal razón se consideran materiales avanzados. La molienda aplicada a materiales frágiles y dúctiles resulta ser importante en las aplicaciones industriales como desarrollo de tintas, catalizadores, aceleradores de sinterización, materiales para construcción. Si las condiciones de molienda son cuidadosamente controladas, es posible obtener nanopartículas (Koch y Hershberger, 1998).

Ralph y Hershberger (1998) define a los nanopolvos como aquellos polvos que tienen un tamaño menor de 100 nm sin embargo otros autores consideran como nanopolvos a aquellos con tamaño cercano a 500 nm. Climax Molybdenum Company (2009) clasifica a los nanopolvos en un rango de 100 a 500 nm.

Algunos de los dispositivos de molienda comercialmente disponibles son los molinos de bolas, de martillos y de vibración. Durante la molienda, las fuerzas actúan en las partículas para modificar su forma y tamaño. Fuerzas de impacto, de desgaste, de corte, y de compresión afectan a la partícula (Randall, 1994). En la figura 1.1 se muestra un esquema del molino de bolas donde se observan posibles fuerzas debidas al movimiento de las bolas

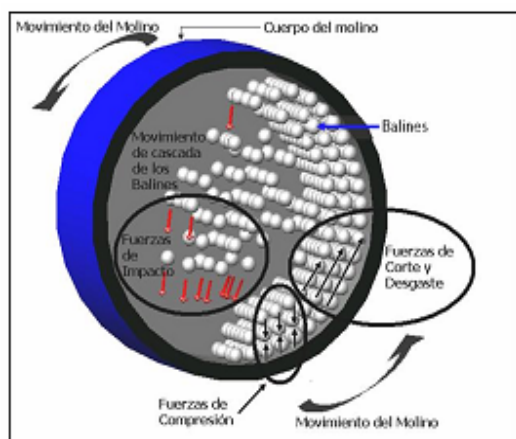


Figura 1.1. Vista de la acción de fuerzas en un molino de bolas.

Algunos de los objetivos más importantes que se pretenden alcanzar con la molienda pueden ser:

- Reducción de tamaño de partícula.
- Cambio de forma (hojuelas en el caso de materiales dúctiles).
- Aglomeración.
- Formación de aleación en estado sólido (aleación mecánica).
- Mezcla en estado sólido (aleación incompleta).
- Modificación, cambio o alteración de las propiedades del metal (densidad, fluidez y endurecimiento en el caso de aleación mecánica).



- Obtención de fases metaestables (fuera de equilibrio) tal como aleaciones amorfas, soluciones sólidas sobresaturadas y estructuras nanocristalinas (Koch y Hershberger, 1998).

1.3. Generalidades acerca del proceso de trituración

La trituración y la molienda son procesos de disminución de las dimensiones de los trozos (granos) mediante la destrucción de los mismos por la acción de fuerzas exteriores que superan las fuerzas interiores de cohesión, las que unen entre si las partículas del cuerpo sólido. En esencia los procesos de trituración y la molienda no se diferencian entre si. Comúnmente se considera que de la trituración se obtiene un producto preferentemente grueso, y la molienda más fina de 5 mm. Para la trituración se emplean trituradoras y para la molienda molinos.

La trituración y la molienda en las fábricas de enriquecimiento sirven de operaciones preparatorias antes del enriquecimiento y tienen como destino la separación (apertura) de los distintos granos, fuertemente entremezclados y químicamente afines. Cuanto más se abren (se liberan uno de otro).

El grosor de los granos hasta el que hay que triturar o moler el material inicial antes del enriquecimiento, se establece por la dimensión de esparcimiento de los minerales y según el proceso adoptado para el enriquecimiento del mineral dado. Este grosor se determina por el camino experimental durante las investigaciones de la facultad de enriquecerse de cada mineral (Andreiv, 1987).

1.3.1. Fragmentación de materiales dúctiles y frágiles

Para la fragmentación gruesa, media y fina se utilizan trituradoras de uno y dos cilindros dentados o estriados, trituradores de martillos y de rotor, desintegradores. Las trituradoras de dos cilindros dentados están destinadas a la fragmentación media y gruesa del carbón bruto y los esquistos con mezclas de ganga en grandes trozos, con coeficientes de tenacidad menores de 4 – 6 (Milfelner, 2003).

Plantea Abd el-Rahman et al. (2001) que en comparación con las trituradoras de otros tipos, las de cilindros dentados forman menor cantidad de menudos. Dichas máquinas se fabrican de dos tipos de alta y baja velocidad. Las primeras se utilizan para la fragmentación de géneros más duros de carbones de piedra, mientras que las

segundas, para sus variedades más blandas.

Según Gavrilov et al. (1999) las trituradoras de baja velocidad proporcionan menor fragmentación excesiva que las de alta velocidad y por esta razón se utilizan cuando la limitación de la trituración tiene particular importancia.

Por otro lado afirma Cali (2004) que las trituradoras de martillos y los desintegradores proporcionan mayor fragmentación excesiva que las trituradoras de cilindros dentados, por lo que no deben ser instaladas cuando ha de ser obtenido material en trozos y suficientemente grueso. Por regla, los trituradores de martillos y los desintegradores se emplean para la trituración fina. A causa de debilidad de su estructura los desintegradores pueden ser instalados sólo para la fragmentación de los materiales más dúctiles y frágiles.

Las trituradoras de martillos y de rotor se distinguen por tener sencilla estructura, pequeña masa, bajo costo por unidad de rendimiento y pequeño consumo específico de energía. Estas máquinas han obtenido en los últimos años extensa aplicación para fragmentar materiales dúctiles y de dureza media, tales como el carbón de piedra, la carga de coque, la cal, las menas de metales ligeros, ferrosos, no ferrosos, raros y nobles, sales potásicas, menas de asbesto, de baritina y fluorita, materiales para la construcción.

En las trituradoras de martillos y de rotores el rendimiento, triturabilidad del material, el grado de trituración y la potencia consumida están interrelacionadas. Al fragmentar un material dado en una trituradora, para una misma potencia de accionamiento, el aumento del rendimiento según la alimentación inicial reduce el grado de trituración y viceversa.

1.4. Características de los molinos

Los molinos de tambor están constituidos por un tambor con dos tapas laterales, en el centro de las cuales se encuentran los gorriones, las cuales descansan en cojinetes de rodillos o fricción, según el tipo constructivo; el segundo es más común que el primero (Ramírez, 2005).

Según Flores (2004) el tambor se llena aproximadamente hasta la mitad del volumen interior con los elementos moledores. Durante la rotación del tambor, los elementos

moledores, gracias a la fricción, se elevan hasta la altura que corresponde al equilibrio dinámico y o bien caen en forma de parábola, o se deslizan hacia abajo en forma de capas. Por uno de los laterales se alimenta el material de forma continua, el cual se muele en el interior del tambor por los métodos de compresión, golpe y fricción, para luego descargarse por la otra boca lateral. Durante el movimiento del tambor, el material se desplaza por el interior del molino desde a boca de carga hasta el gorrón de descarga.

Los molinos se caracterizan por las dimensiones del diámetro interior y el largo del tambor. El tambor se recubre con planchas de acero Hard Ni, acero al carbono, al manganeso o cromo - molibdeno. De todos ellos los más resistentes a la abrasividad son los de acero de cromo – molibdeno y los de Hard níquel. Los recubrimientos internos de los molinos representan el mayor peso específico en el costo de los molinos.

Existen múltiples tipos de recubrimiento: lisos, ondulados, de paso. El grupo franco-belga Magoteaux produce un tipo de recubrimiento conocido por el nombre de Dorr – lift cuya evaluación deben considerarse, pues reducen considerablemente los gastos energéticos de los molinos (Gaudin, 1991).

1.4.1. Molino de martillos

Está conformado con una tolva alimentación con mecanismo de regulación de martillos fijos u oscilantes montados en un eje de rotación, de una criba y de un sistema de descarga por gravedad. En la figura 1.2 se muestran los elementos constitutivos del martillo de molino.

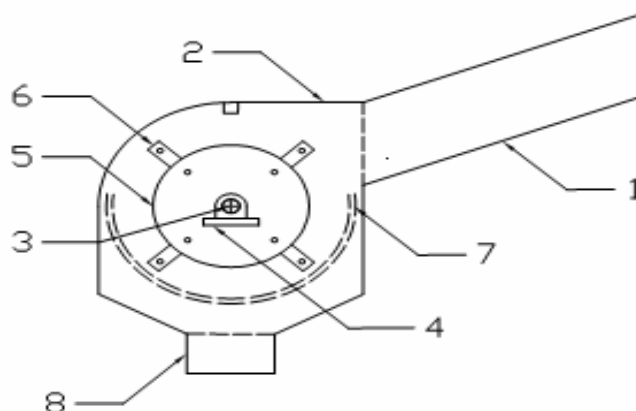


Figura 1.2. Elementos constitutivos del molino de martillo.

El molino de martillo esta constituido por los elementos siguientes:

1. Tolva de alimentación
2. Carcasa
3. Eje
4. Chumaceras
5. Rotor
6. Martillos
7. Cribas
8. Tolva de descarga.

En el eje se alojan cuatro rotores redondos en los cuales se encuentran treinta y seis martillos distribuidos equitativamente en las esquinas de cada rotor. En la carcasa se encuentra colocadas platinas de impacto para facilitar el mejoramiento de trituración.

En estos molinos, los martillos (figura 1.3) que giran generalmente a altas velocidades golpean el material que se encuentra en grumos o partículas contra la carcasa y entre si. La clasificación del material molido puede ser por cribas que por lo general realizan la función de carcasa, también se puede clasificar por sistemas de aire interno o externo en un sistema cerrado.



Figura 1.3. Martillos empleados en los molinos.

La finalidad del molino de martillos es pulverizar y desintegrar la materia prima introducida en él, por medio de impactos y fricciones (fuerzas de rozamiento) entre partículas del material el cual que debe ser del tipo no abrasivo con durezas de 1,5 o menos.



El eje del rotor puede ser vertical u horizontal, predominando este último. Los martillos están acoplados al eje; y todo el conjunto se aloja en una carcasa, la misma que posee placas de molienda.

El espacio existente entre los martillos y las placas, es importante en la determinación de la finura del producto molido. Otro factor preponderante es la velocidad del rotor, la velocidad de alimentación, el número de martillos y diámetro de agujeros en la criba.

Al igual que en las cribas rotatorias, en los molinos la frecuencia de rotación es de suma importancia, no sólo por que define el régimen de trabajo del molino y por tanto, las características del producto molido, sino también porque define en gran medida el consumo de energía del mismo.

Al mismo tiempo, el aumento desmedido de la velocidad de rotación puede conllevar al fenómeno de centrifugación de bolas, fenómeno muy poco deseado por los tecnólogos beneficiadores, a esta velocidad con la cual las bolas comienzan a girar conjuntamente con el tambor, pegadas a la superficie del tambor se le denomina velocidad crítica.

1.5. Consumo de energía en el proceso de molienda

El alto consumo de energía en las máquinas de trituración y molienda se considera como uno de los elementos fundamentales dentro del proceso de beneficio. El equipamiento disponible para la trituración y molienda de minerales carece de un principio organizativo que le permita suministrar al máximo la energía suministrada en el rompimiento de las partículas minerales (Coello y Tijonov, 2001).

En la molienda, la energía de desmenuzamiento al material ocurre de forma desmedida, el grado de liberación necesario se alcanza a costa de una alta remolienda de uno o varios de los minerales participantes, de ahí su baja eficiencia.

Andreiev *et al.*, (1980), establecieron que la energía útil en el rompimiento del mineral no supera el 3 % de toda la energía consumida por el molino. Beke (1964) determinó que el consumo de energía en el rompimiento del mineral no supera el 0,6 %.

Autores como Sahoo y Roy (2008), tratan de correlacionar todas estas variables con la molibilidad sobre la base del análisis dimensional y con el método del diseño factorial fraccionario. Se observa que estos parámetros influyen significativamente sobre el

comportamiento del molino, de modo que a partir de las correlaciones obtenidas, se llega a la conclusión de que la cantidad de finos se incrementa bajo el efecto general del incremento de la carga de bolas, el tiempo de molienda y la velocidad del molino.

Sin embargo, con el incremento del tamaño de las partículas y de la densidad de las mismas disminuye la molibilidad. De los factores considerados, el más influyente es la velocidad, por lo que cuando se quiere optimizar el proceso con respecto a otros parámetros debe mantenerse un estricto control sobre la misma.

El nivel del grado de eficiencia de la molienda es objeto de análisis, de acuerdo con interpretaciones muy diversas, la energía que el molino requiere para transformarla en trabajo de desmenuzamiento queda situada entre el 2 % y el 20 %, el resto se distribuye en rozamiento de las partículas entre si, rozamiento de las partículas con las paredes del molino, el ruido, el calor, la vibración, el rendimiento del motor y del molino y la elevación del mineral en el molino.

El grado de utilización de la energía suministrada, teóricamente baja, ofrece más interés en los dispositivos de molienda que para la explotación práctica, en la cual la energía aplicada a la molienda se puede considerar baja en relación con las ventajas del resultado tecnológico que con ella se obtiene.

1.6. Transportación de productos

En el proceso de elaboración de alimentos es indispensable la transportación del producto, se realiza por medio de los siguientes transportadores:

- Transportador de tornillo sinfín (figura 1.4).
- Transportadores de bandas (figura 1.5).

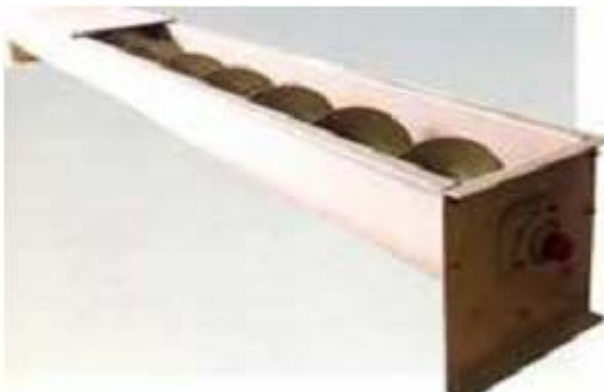


Figura 1.4. Transportador de tornillo Sinfín.



Figura 1.5. Transportador de bandas.

El amplio campo de aplicaciones que tienen las máquinas de transporte continuo y la forma tan variadas que presentan en el orden constructivo, hace complejo establecer una clasificación única de las mismas. La clasificación más recomendable es la de ordenarlas según los elementos que constituyen su rasgo más característico (Oriol, 1988), por ejemplo.

- Según la forma en que se transmita la fuerza motriz a la carga que se traslada.
 1. Mediante elementos mecánicos,
 2. Por la fuerza de gravedad,
 3. Por las fuerzas centrífugas.
- Según el aspecto de la carga transportada.
 1. Máquinas para el transporte de carga a granel,
 2. Máquinas para el transporte de carga por piezas
- Según el plano en que se ubique la trayectoria de la máquina transportadora.
 1. En el plano horizontal,
 2. En el plano vertical.
 3. En el espacio tridimensional.
- Según la forma de transportar la carga.
 1. En forma de ventana continua.
 2. En recipientes o depósitos (cangilones).
 3. Por piezas.
- Por las formas constructivas y de aplicación de la forma motriz, forma de clasificación para subdividir los diferentes tipos de máquinas transportadoras.

1.6.1. Uso de los transportadores de banda

Al amplio grupo de los transportadores de banda pertenecen todos aquellos cuya superficie portadora de la carga es móvil, permaneciendo el material que se transporta inmóvil con respecto a ella y transportándose conjuntamente con la misma.

Al tipo principal de transportadores pertenecen una serie de construcciones que se diferencian entre sí por la estructura de la banda o del material con que están construidas. Un tipo completamente distinto de acuerdo con su principio de funcionamiento son los transportadores de banda y cable, donde la banda sólo realiza la función de elemento

portador de la carga y las funciones de tracción se ejecutan por medio de cables o cadenas. A este subgrupo pueden ser incluidos también los transportadores de placas, aunque una serie de particularidades de su estructura los separa en grupo especial.

Según el tipo de la banda pueden ser: banda de goma-cable, goma - caucho, Goma algodón. Según el carácter de la instalación se distinguen los transportadores estacionarios, semiestacionarios y móviles.

Entre las ventajas de los transportadores de bandas se tiene que se logran grandes productividades, seguridad en el trabajo, facilidad para la automatización, posibilidad de variar la productividad en amplio rango, relativamente poco consumo de energía durante la explotación, sencillez en las labores de mantenimiento y reparación, posibilidad de cargar y descargar el material transportado en cualquier punto.

1.6.2. Uso del transportador sinfín

Los alimentadores sinfín estacionarios se emplean par instalaciones donde se manipulen material pulverizado. El sinfín puede rotar a velocidades de hasta 1 000 rev/min y tiene un paso variable decreciente en sentido del movimiento de la carga, esto hace que la carga se vaya compactando e impida que el aire comprimido que hay en la cámara de mezclado escape a través del tornillo sinfín hacia la tolva. El material desde la tolva, es forzado a penetrar en la cámara de mezclado de alta presión mediante un alimentador sinfín. El grado de compactación en el material se regula mediante una válvula.

Los alimentadores sinfín tienen la ventaja de que mantienen un llenado constante y que son compactos. Como desventaja tienen el tremendo desgaste a que están sometidos el tornillo sinfín y el cilindro o cámara donde este trabaja y el alto consumo de energía.

Las cámaras de llenado se emplean para cargar materiales pulverizados, suspendiéndolos en una corriente de aire e introduciéndolos dentro del conducto neumático.

Las principales ventajas de las cámaras de llenado sobre los alimentadores sinfín, está en que consumen menor potencia y que no tienen partes móviles que se desgasten, resultando por tanto preferibles para la manipulación de materiales abrasivos. Se emplean también cuando el material se transporta a grandes distancias y por tanto trabajan con altas presiones.

1.7. Generalidades del diseño en la Ingeniería mecánica

Diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda humana. La necesidad particular que habrá de satisfacerse puede estar completamente bien definida desde el principio. En ingeniería, el término diseño puede tener diferentes significados para distintas personas. Algunos consideran al diseñador como el técnico que dibuja en todos sus detalles una rueda dentada, un embrague u otros elementos de una máquina.

Otros creen que el diseño es la creación de un sistema complejo, como una red de comunicaciones. En algunas ramas de la ingeniería el término diseño ha sido sustituido por denominaciones como ingeniería de sistemas o aplicación de la teoría de las decisiones.

No importa qué palabras se usen para describir la función de diseñar; en ingeniería es también el proceso en el que se utilizan principios científicos y métodos técnicos (matemáticos, computación electrónica, métodos gráficos y lenguaje común) para llevar a cabo un plan que satisfará cierta necesidad o demanda.

1.7.1. Diseño mecánico

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: máquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, la ciencia de los materiales y la ciencia mecánica aplicada.

El diseño en ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico, pero es un estudio de mayor amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos. Aparte de las ciencias fundamentales que se requieren, las bases del diseño en ingeniería mecánica son las mismas que las del diseño mecánico.

La definición del problema debe abarcar todas las condiciones para el objeto que ha de ser diseñado. Las condiciones o especificaciones son las cantidades de entrada y de salida, las características y dimensiones del espacio que deberá ocupar el objeto, y todas las limitaciones a estas cantidades. Se puede considerar el objeto a diseñar como algo colocado en una 'caja negra' (Brunet, 1986).

En este caso se debe especificar lo que entra y lo que sale de dicha caja, junto con sus características y limitaciones. Las especificaciones definen el costo, la cantidad de piezas a fabricar, la duración esperada, el intervalo o variedad de capacidades, la temperatura de

trabajo y la confiabilidad. Entre dichas condiciones sobresalen las velocidades necesarias, las intensidades de alimentación en las máquinas, las limitaciones de temperatura, el alcance máximo, las variaciones esperadas en las variables y las restricciones en tamaño y peso.

Existen muchas condiciones intrínsecas que dependen del entorno particular del diseñador o de la propia naturaleza del problema. Los procesos de fabricación de que se dispone, así como las instalaciones de cierta planta industrial son restricciones a la libertad de acción del diseñador; por tanto, forman parte de las condiciones intrínsecas.

Una fábrica pequeña tal vez no tenga maquinaria para trabajar metales en frío. Sabiendo esto, el diseñador seleccionará otros métodos de fabricación que se puedan aplicar en la planta. La habilidad y calificación del personal disponible y la situación competitiva son también condiciones o restricciones inherentes. Todo lo que limite la libertad de elección del diseñador es una condición o restricción (Bugeda, 1990).

En los catálogos, los fabricantes enlistan numerosos materiales y tamaños de productos, pero muchas veces no pueden surtirlos todos, y con frecuencia hay escasez de algunos. Además, la economía de los inventarios requiere que el fabricante tenga en existencia una cantidad mínima de materiales y tamaños de los productos a surtir.

Una vez que se ha definido el problema y obtenido un conjunto de especificaciones implícitas formuladas por escrito, el siguiente paso en el diseño, es la síntesis de una solución adecuada. Ahora bien, esta síntesis no podrá efectuarse antes de hacer el análisis y la optimización debido a que se debe analizar el sistema a diseñar, con el fin de determinar si su funcionamiento cumplirá las especificaciones. El análisis podría revelar que el sistema no es óptimo. Si el diseño no resultase satisfactorio en una de dichas pruebas o en ambas, el procedimiento de síntesis deberá iniciarse otra vez.

1.7.2. Etapas del diseño

El diseño en un proceso iterativo en el que se pasa por varias etapas, se evalúan los resultados y luego se vuelve a una fase anterior del proceso. En esta forma es posible sintetizar varios componentes de un sistema, analizarlos y optimizarlos para volver después a la fase de síntesis y ver qué efecto tiene esto sobre las partes restantes del sistema.

Para el análisis y la optimización se requiere que se ideen o imaginen modelos abstractos del sistema que admitan alguna forma de análisis matemático. Tales consideraciones reciben el nombre de modelos matemáticos. Al crearlos se espera encontrar alguno que reproduzca lo mejor posible el sistema físico real.

1.7.3. Fase de diseño

Brunet (1986); Bugeda (1990); Hartmann y Lehner (1992), plantean que durante la fase de análisis y posterior optimización, el sistema debe realizar los cálculos del conjunto de soluciones propuestas habiendo aceptado las modificaciones que el ingeniero diseñador haya decidido. Una vez optimizada la estructura, en función de las variables de diseño y de los objetivos, el sistema debería realizar un análisis de sensibilidad de las variables relacionadas con las patologías, bien porque en la estructura óptima se comportan peor, o bien porque la experiencia heurística señala que van a existir problemas.

El análisis de sensibilidad se acompañará de una crítica sobre la solución óptima, dicho juicio se emitirá combinando el comportamiento de la estructura extrapolada, los criterios de las normativas o de las reglas heurísticas añadidas al sistema y los mecanismos de inferencia que permitirán establecer mecanismos de razonamiento. En conclusión, además de los algoritmos clásicos de optimización, será necesario un análisis de sensibilidad y un sistema experto que realice diagnósticos sobre la estructura diseñada.

1.7.4. Fase de postdiseño

Al final el ingeniero se habrá decidido por un diseño en particular, durante el camino habrá descartado opciones, o habrá descubierto futuros comportamientos anómalos debidos a variables defectuosas, o tal vez habrá tenido otro tipo de vivencias. Pero lo verdaderamente cierto, es que durante el proceso de diseño el ingeniero habrá aumentado sus conocimientos a través de una experiencia real simulada, una experiencia heurística que es la de más difícil adquisición.

Por lo tanto, el sistema le permitirá aumentar sus conocimientos y aprender al mismo tiempo que resuelve problemas. De hecho el propio sistema deberá deducir reglas a partir de la experiencia nueva y guardarlas en la base de datos junto aquellas otras anotaciones que el diseñador crea de interés para posibles proyectos futuros.

1.8. Alimentos balanceados

La industria de alimentos balanceados se caracteriza por su estrecha conexión con las actividades pecuarias, principalmente la avicultura, la porcicultura y la ganadería.

Además, esta industria es una de los principales demandantes de bienes agrícolas, como sorgo, maíz y frijol de soya, constituyéndose en una de las industrias más influyentes en el desarrollo del sector agropecuario del país.

La caracterización de la industria del alimento balanceado adquiere especial importancia en el marco de análisis de la cadena de valor de carne de pollo, no sólo porque posee una elevada incidencia como insumo básico en los costos de producción, sino por las implicancias desde el punto de vista de la organización de la industria (Cajas, 1989).

La producción de alimentos balanceados consiste en unos pocos procesos, que además de ser muy simples, no varían mucho entre plantas, debido a la flexibilidad que estas brindan para la elaboración de diferentes tipos de alimentos. No obstante, los niveles de inversión para la operación de estas plantas son elevados; en primer lugar por los altos volúmenes de materias primas que deben procesar, al igual que el nivel de producción que genera la industria.

En segundo lugar, para la elaboración de alimentos balanceados es importante considerar la calidad o los estándares de presentación de las materias primas, ya que estos factores influyen directamente sobre el rendimiento de los animales (Church, 1990).

1.8.1. Clasificación de los balanceados

Según Andreiv (1987) existen abundantes productos industriales que pueden ser utilizados como alimentos de diversas especies animales tales como:

- Balanceados para aves.
- Balanceados para cerdos.
- Otros tipos de balanceado.

1.8.2. Balanceados para aves

Los alimentos balanceados para aves, están diseñados para brindar los nutrientes indispensables para cada una de las fases de producción, con el fin de lograr los mejores beneficios económicos en la explotación avícola, siguiendo recomendaciones de sanidad y manejo.

Todos los alimentos son elaborados con materias primas seleccionadas, calificadas de acuerdo a parámetros microbiológicos tolerantes establecidos para animales (bacterias totales, coliformes, hongos, micotoxinas, DON, T2, ocratoxina, calidad de grasas), además se toma en cuenta el valor de digestibilidad (mejor porcentaje de absorción de nutrientes).

1.8.3. Balanceados para cerdos

Los alimentos para cerdos, están diseñados para brindar los nutrientes necesarios para el desarrollo del animal, el objetivo para cerdos modernos es llegar a 100 kg. de peso en 150 días de vida, con consumos inferiores a 240 kg de alimento por animal; para que de esta manera el productor moderno, pueda enfrentar los mercados cada vez más competitivos, y así lograr la mejor rentabilidad con la producción.

1.8.4. Descripción del proceso de elaboración del balanceado

El proceso de elaboración del balanceado depende de algunas etapas, cuya finalidad es combinar ingredientes con características únicas en una ración formulada, para aportar todos los requerimientos nutricionales a los animales, es decir obtener un producto final de calidad.

Para elaborar los alimentos se requieren dos procesos básicos:

La molienda y la mezcla. Durante la fase de la molienda, se reduce el tamaño de las partículas de los ingredientes, con el fin de facilitar la mezcla y la digestión de los ingredientes en los animales.

El proceso de mezclado, permite que los animales consuman las cantidades necesarias de cada ingrediente, debido a una distribución uniforme de estos en el alimento. Para lograr este resultado se deben tener en cuenta características de los insumos como: la forma, la densidad, el tamaño, la higroscopicidad, la carga estática y la adhesividad; además, los ingredientes se deben agregar a la mezcla con un orden determinado para así obtener un balanceado equilibrado.

1.8.5. Recepción de la materia prima

La materia prima debe ser recibida observando las siguientes indicaciones:

- Verificar que la materia prima solicitada sea la que efectivamente arriba a la planta.



- La planta debe tomar muestras del producto en cuestión, para realizar análisis de laboratorio que determinen los estándares de presentación y los factores de calidad.
- Descartar la posibilidad de existencia de micotoxinas en el producto.
- Por último se hace el pesaje de las materias primas, para un correcto mantenimiento de los inventarios.

1.8.6. Almacenamiento

Una vez realizada la recepción de materia prima, estas son almacenadas en bodegas o en silos dependiendo del empaque del insumo. El producto a granel se almacena generalmente en silos con condiciones específicas de ventilación, que previenen un rápido deterioro de las materias primas.

Los insumos almacenados en bodegas están empacados en sacos, y deben ser ubicados en estantes que permitan una ventilación apropiada para su conservación, además de permitir a los operarios una manipulación sencilla.

El almacenamiento de las materias es de gran importancia, ya que de este depende, en gran parte, la calidad del producto final. Para preservar las propiedades nutritivas de los ingredientes es indispensable una limpieza adecuada de los silos así como de las bodegas, para evitar la aparición de roedores, muy comunes en estas plantas debido a la abundancia de alimentos.

1.9. Proceso de molienda de los alimentos

La fineza de la molienda varía de acuerdo a la edad del animal, dependiendo de la granulación o tamaño de partícula requerido para cada uno de los alimentos terminados, empleando uno de los siguientes procesos:

- Trituración, para obtener partículas de gruesas a medianas (aves).
- Molienda, para obtener partículas de medianas a finas (cerdos).

La molienda de los alimentos se justifica porque:

- Aumenta el buen sabor del alimento.
- Facilita el manejo y el almacenamiento.
- Rompe la cubierta de la semilla del grano, lo cual trae como resultado una mejor utilización, mejor disponibilidad de nutrientes para la digestión y mayores ganancias.
- Facilita el mezclado y el paletizado.



1.10. Conclusiones del capítulo 1

- En la búsqueda bibliográfica se determinó que la molienda consiste en la trituración de materiales hasta obtener un tamaño de grano o un polvo luego de efectuado el proceso.
- Se exponen los fundamentos teóricos que caracterizar el proceso de elaboración de alimentos para animales a través del proceso de molienda.
- El proceso de balanceado atraviesa por varias etapas y del cuidado de éstas dependerá que se obtenga un producto de calidad. La actividad de mayor importancia es la molienda una trituración adecuada y la mezcla para la homogeneidad requerida en el producto.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

Estructuralmente, cada tipo de molino consiste de un casco cilíndrico, con revestimientos renovables y una carga de medios de molienda. El tambor es soportado en muñones huecos fijos a las paredes laterales de modo que puede girar en torno a su eje. El diámetro del molino, determina la presión que puede ejercer el medio en las partículas de mena y, en general, mientras mayor es el tamaño de la alimentación mayor necesita ser el diámetro. La longitud del molino, junto con el diámetro, determina el volumen y por consiguiente la capacidad del molino.

El **objetivo** del capítulo es:

Establecer el procedimiento para el diseño del molino de martillos en función de la capacidad de molienda, así como las técnicas y procedimientos experimentales que darán cumplimiento al trabajo.

2.2. Datos nominales del consumidor eléctrico

Un motor eléctrico está formado con polos alternados entre el estator y el rotor, produciendo así el movimiento de rotación. En la figura 2.1 se muestra como se produce el movimiento de rotación de un motor eléctrico.

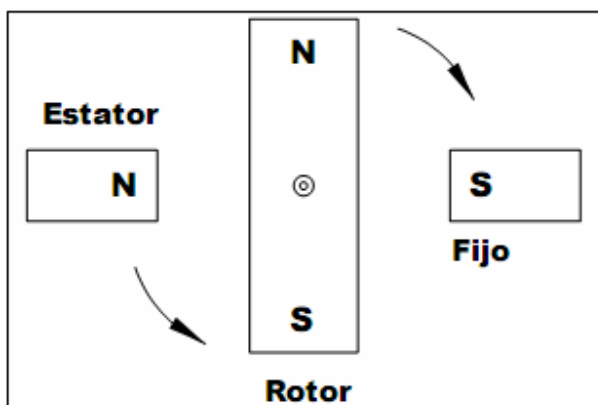


Figura 2.1. Generación de movimiento de rotación.

Para procesar el material en la planta de balanceados, se requiere de un motor eléctrico, capaz de mover el molino y que este a su vez pulverice la cantidad necesaria de materia que según la necesidad de alimentación en correspondencia con la cantidad de animales.

El motor molino tiene las siguientes características técnicas:



Potencia = 3.7 kW (5 HP)

Voltaje = 220 / 440 V

Frecuencia = 60 Hz

Velocidad nominal = 1 745 rev/min

Corriente nominal = 22/11 A

Factor de potencia ($\cos\phi$) = 0,94

2.2.1. Cálculo de la potencia útil o activa

Es la potencia útil que se aprovecha de manera efectiva en el eje del motor; es decir, es la potencia que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se convierte en trabajo.

Para corriente alterna trifásica:

$$P = \sqrt{3VI \cos\phi} \quad (2.1)$$

Donde:

P - potencia útil o activa en watts (W)

V - voltaje en voltios (V)

I - intensidad de corriente en amperes (A)

ϕ - ángulo de desfase entre V e I

2.2.2. Cálculo de la potencia aparente o total

Es el producto $V \cdot I$. Esta potencia, es la que realmente suministra una planta eléctrica cuando se encuentra funcionando sin ningún tipo de carga conectada.

Para corriente alterna trifásica:

$$S = \sqrt{3VI} \quad (2.2)$$

Donde:

S - potencia aparente en volta amperios (VA)

2.2.3. Cálculo del factor de potencias

Es la relación entre la potencia activa con respecto a la potencia aparente. El factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se convierte en trabajo.

Puede tomar valores entre 0 y 1, siendo aconsejable que en una instalación eléctrica el factor de potencia sea alto cercano a 1, ya que este indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo.

$$fp = \frac{P}{S} = \cos \phi \quad (2.3)$$

Donde:

fp - factor de potencia (adimensional)

2.2.4. Cálculo del consumo de potencia útil o activa de motores a plena carga

Para el cálculo del consumo de potencia útil de los motores, se utilizará los datos nominales de placa, ya que estos son los mismos que si trabajarán a plena carga.

- Cálculo del motor del molino de martillos

$$P = \sqrt{3VI \cos \phi} \quad (2.4)$$

2.2.5. Consumo de potencia reactiva de los motores a plena carga

De manera análoga al cálculo de la potencia útil, se utilizan para el cálculo los datos de placa de los motores.

- Motor del molino de martillo

$$Q = \sqrt{3VI \sin \phi} \quad (2.5)$$

2.3. Requerimientos de producción de la planta de molienda

La planta para la molienda de la granja avícola de Centeno, será capaz de satisfacer una producción de 2 ton/semana² de balanceado para aves, cerdos y especies menores.

Asumiendo que la planta trabajará cinco días a la semana, ocho horas diarias, se tiene la capacidad de producción (CP), en kilogramos por hora y libras por hora:

$$CP = 2 \frac{\text{ton}}{\text{semana}} \quad (2.6)$$

2.4. Especificación de los elementos mecánicos

Los elementos mecánicos constitutivos del molino se detallan en la tabla 2.1. Esta relación de elementos son lo que se corresponden con los materiales de lo que dispone el molino de martillo.

Tabla 2.1. Elementos mecánicos constitutivos del molino

Elemento	Cantidad	Material
Tolva de alimentación	1	AISI 1010
Carcasa	1	HF - 24
Criba	1	AISI 316
Rotor	1	AISI 1045
Eje	1	AISI 1045
Martillos	48	AISI 1020
Chumaceras	2	HF - 24
Tolva de descarga	1	AISI 1010
Estructura soporte	1	AISI 1010

La selección de materiales se realizó atendiendo a las propiedades mecánicas de cada uno de ellos, así como a la función que cumplirá en el molino, en consideración además de la condición del desgaste.

2.4.1. Cálculo de la tolva de alimentación

Para calcular el volumen de almacenamiento mínimo que debe tener la tolva utilizamos la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (2.7)$$

Donde:

δ - densidad del grano de 800 kg/m³

m - masa del grano, kg

v - volumen de almacenamiento, m³

Por la ecuación 2.6, se determinó la masa de granos solicitada, despejando de la ecuación 2.7, se obtiene la 2.8.

$$V_{requer} = \frac{m}{\delta} \quad (2.8)$$

2.4.2. Cálculo del volumen de la tolva de alimentación

En la figura 2.2 se muestran las dimensiones de la tolva de alimentación, el cálculo de la misma permitirá establecer si es la adecuada para obtener la capacidad de producción.

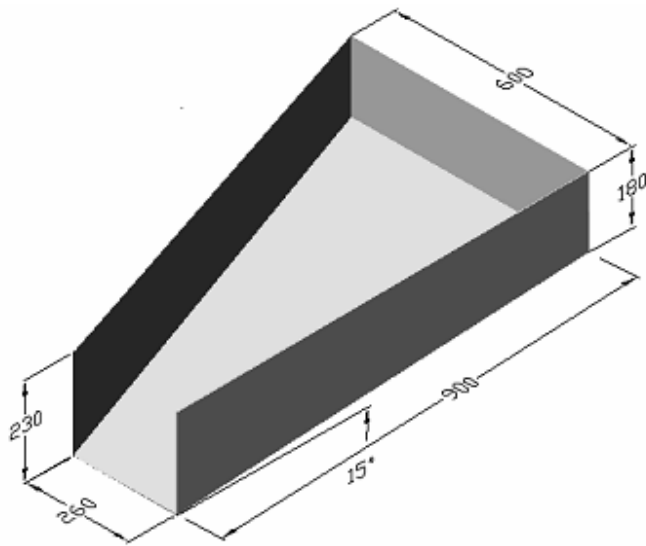


Figura 2.2. Dimensiones de la tolva de alimentación.

Para facilitar el cálculo del volumen de la tolva se dividirá en tres sub-volúmenes y se utiliza:

$$V_{tolv} = V1 + V2 + V3 \quad (2.8)$$

$$V1 = A1 \cdot L1 \quad (2.9)$$

$$V2 = V3 = \frac{A1 \cdot L2}{2} \quad (2.10)$$

Donde:

V_{tolv} - volumen de la tolva, m^3

A - área lateral de la tolva, m^2

$V1$; $V2$ y $V3$ - sub-volúmenes de la tolva, m^3

$L1$ - longitud de la parte recta de la tolva, mm (260 mm).

$L2$ - longitud complementaria a $L1$ de 110 mm

Para determinar el volumen inicial de la tolva de alimentación, se utiliza la ecuación 2.11:

$$V1 = A1 \cdot L1 \quad (2.11)$$

El área $A1$ se la determina basándose en la figura 2.3.

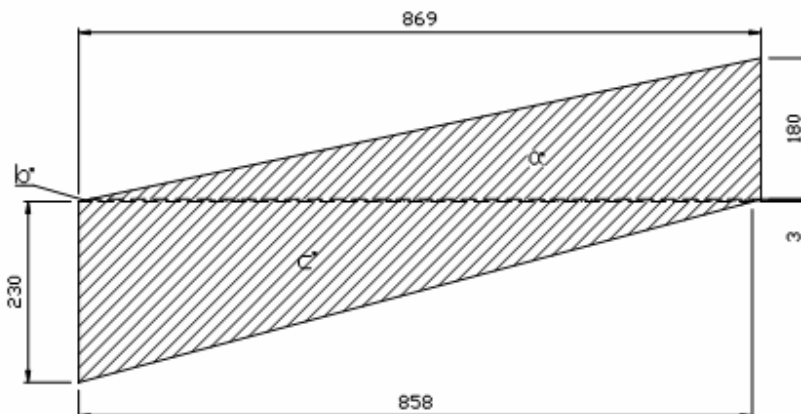


Figura 2.3. Sub áreas laterales.

El volumen total de la tolva se calcula entonces como:

$$V_{Total} = \sum V \quad (2.12)$$

2.4.3. Cálculo para la selección de las cribas

Para un máximo de eficiencia en el molino de martillos se determina el diámetro de las perforaciones, la separación de las mismas y el espesor en que serán ejecutadas. El diámetro de las perforaciones y el espacio entre ellas debe ser igual o mayor al espesor de la lámina de acero.

Para seleccionar la criba se debe:

- Determinar el número de cribas necesarias.
- Especificar el tipo de material.
- Determinar el espesor en milímetros.
- Indicar el diámetro de las perforaciones y la distancia entre los centros de las mismas, en milímetros.

En la figura 2.4 se puede observar los tipos de criba a utilizar en el molino de martillo.

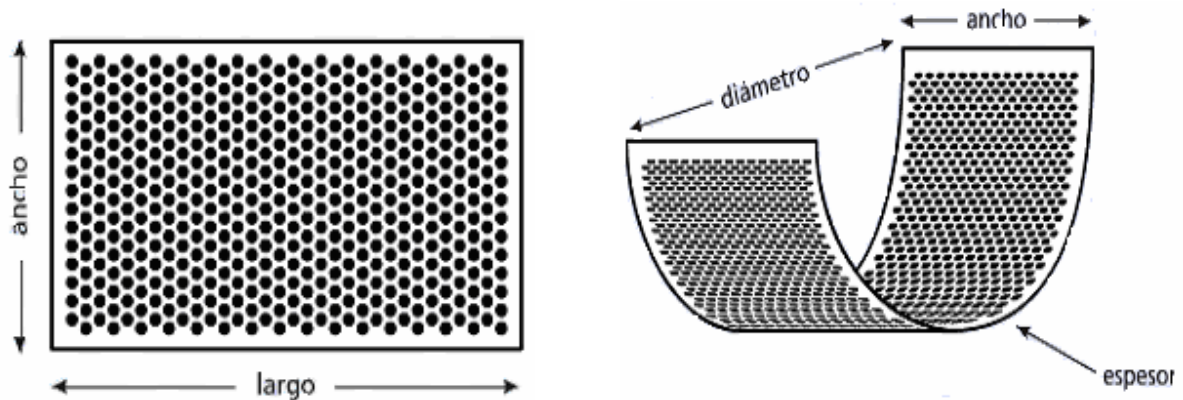


Figura 2.4. Gráfico de los tipos de cribas.

2.4.4. Cálculo del número de trenes en el rotor del molino de martillos

Para determinar el volumen de granos V_g utilizamos la siguiente expresión:

$$V_g = \frac{\pi \cdot d_g \cdot Lf}{4} \quad (2.13)$$

Donde:

d_g - diámetro del grano, m

Lf - longitud del grano, m

La masa de alimentación en grano M_g se determina con la siguiente ecuación:

$$M_g = \delta \cdot V_g \quad (2.14)$$

Donde:

V_g - volumen de granos, m^3

δ - densidad de los granos, kg/m^3

El número de granos a ser molidos N_g por segundo está en función de la capacidad Q y se puede determinar según la siguiente expresión:

$$N_g = \frac{Q}{M_g} \quad (2.15)$$

Donde:

Q - capacidad del molino, kg/s

M_g - masa de alimentación, kg

El número de trenes de martillos N_t , se determina por la siguiente ecuación:

$$N_t = \frac{N_g}{W_R} \quad (2.16)$$

Donde:

N_g - número de granos, granos/s

W_R - número de revoluciones en el eje, rev/min

2.4.5. Cálculo de número de trenes en el molino de martillos

Según mediciones realizadas se pudo determinar que el tamaño de los granos de maíz varía con valores de diámetros (d_g) 6,4 a 10 (mm), y con una longitud promedio (L_f) igual a 5 mm.

Para determinar el número de trenes del molino de martillos, se debe disponer de los siguientes datos:

- Capacidad; Q
- Densidad de los granos, kg/m^3
- Número de revoluciones en el eje, W_R
- Diámetro del grano, d_g
- Longitud del grano, L_f

Los martillos serán de acero AISI 1020 de 6 mm de espesor, con una separación martillos – criba / carcasa de 30 mm. Se distribuirán en cuatro grupos de doce martillos.

2.5. Cálculo de la resistencia a la compresión de los martillos

Se procederá a evaluar la resistencia a la compresión de los martillos para determinar si son aptos para el trabajo de molino. Para esto utilizamos las siguientes expresiones:

$$\sigma_c = \frac{Ft}{A_c} \quad (2.17)$$

$$n = \frac{[\sigma_c]}{\sigma_c} \quad (2.18)$$

Donde:

σ_c - esfuerzo de compresión, MPa

Ft - fuerza de trituración de maíz (para 40 kg)

A_c - área sujeta a compresión, mm^2

n - coeficiente de seguridad de los martillos (adimensional)

$[\sigma_c]$ - resistencia a la compresión, 28,13 MPa

Utilizando la ecuación 2.19 se evalúa la masa de los martillos fabricados de acero teniendo en cuenta que la densidad del mismo ($7\,800\text{ kg/mm}^3$). Para determinar esta masa se tiene en cuenta la figura 2.5, donde se puede observar las dimensiones de los mismos.

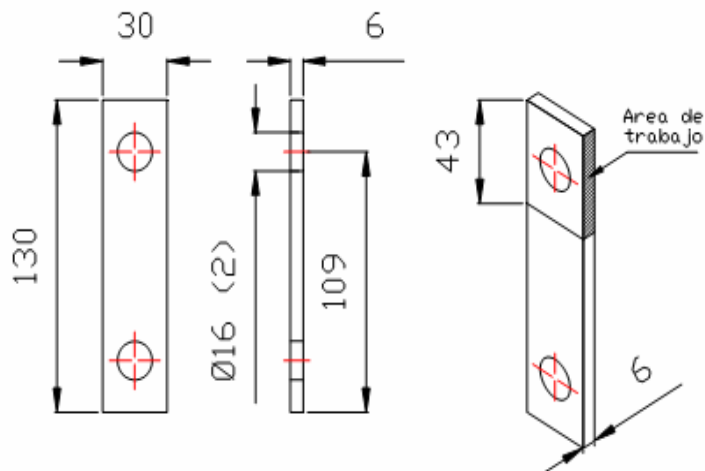


Figura 2.5. Dimensiones de los martillos.

Entonces el volumen del martillo se determina como:

$$V = S \cdot l \cdot A \quad (2.19)$$

Donde:

V - volumen del martillo; mm^3

S - espesor; mm

l - longitud del martillo; mm

A - ancho del martillo; mm

2.6. Análisis de los esfuerzos de los martillos del molino mediante (MEF)

El objetivo de determinar las tensiones generadas en las planchas de acero AISI 1020, que componen el material del cual se van a construir los martillos del molino mediante simulación numérica por elementos finitos es para determinar las cargas en el área de

trabajo. Para ello se ha utilizado el paquete del software COSMOS DESING. El modelo empleado considera el contacto por fricción entre una plancha y el producto a pulverizar.

En la tabla 2.2 se muestran la composición química del material utilizado en el diseño del martillo.

Tabla. 2.2. Composición química del acero AISI 1020

C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe
0,20 %	0,48 %	0,60 %	0,05 %	0,02 %	Balance

La justificación del material está fundamentada en que este es un material de bajo contenido de carbono, de fácil maquinabilidad y buena soldabilidad, cumple con los requisitos establecidos para la fabricación de los martillos, además debe cumplir el requisito de ser el elemento intercambiable dentro de los componentes del molino por su fácil fabricación y sustitución.

Para el análisis de esfuerzos en los martillos, por efecto de la fuerza necesaria para cortar el maíz, se utiliza los parámetros detallados en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Parámetros de los martillos

Parámetro	Detalle
Carga	18,18 lb
Material del martillo	AISI 1020
Espesor	6 mm

Para esta simulación se tuvo en cuenta los parámetros que se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Parámetros de estudio en el diseño de los martillos

Tipo de malla	Malla con elementos sólidos tetraédicos
Mallado utilizado	Estándar
Verificación Jacobiana	4 puntos
Tamaño de elementos	27 592 mm
Tolerancia	0,13796 mm
Números de elementos	8 364
Números de nodos	13 874

La asignación de cargas, será en el área de trabajo (sujeta a compresión) del martillo, como se muestra en la figura 2.6.

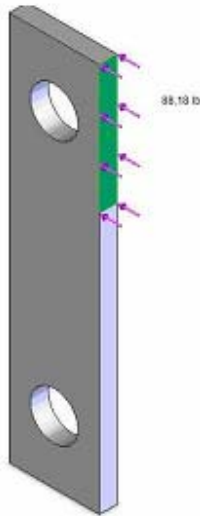


Figura 2.6. Asignación de las cargas en el martillo.

2.7. Cálculo de pesos del eje del molino de martillos

El peso del eje del molino se considera teniendo en cuenta sus dimensiones y la potencia del motor, el mismo debe ser capaz de resistir el peso del rotor.

En el peso del rotor están contemplado lo siguiente:

- Peso de los volantes.
- Peso de los martillos.
- Peso de arandela y espaciadores

2.7.1. Cálculo del peso de los volantes

Los volantes son las piezas que permiten la sujeción de los martillos como se muestra en la figura 2.7.

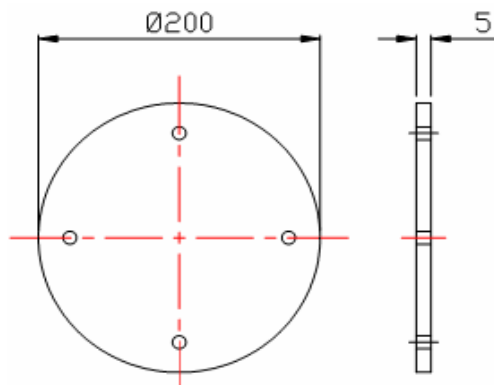


Figura 2.7. Dimensiones de los volantes del molino.

El volumen del volante se determina como:

$$V_{\text{volante}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot e \quad (2.20)$$

Donde:

d = diámetro del volante; mm

e = espesor del volante; 5 mm

Aplicando la ecuación 2.7 y teniendo en cuenta que son cuatro volantes y la densidad del acero AISI 1030 es 7 750 kg/m³

Se despeja la ecuación 2.7 y se tiene que:

$$m_{\text{Volante}} = \delta \cdot V \cdot 4 \quad (2.21)$$

2.7.2. Cálculo del peso de los espaciadores y arandelas

En el peso de los espaciadores y arandelas se tiene en cuenta el material de fabricación y la cantidad de estos elementos. Según Larburu (2003) en molinos de martillos se considera según las dimensiones, en nuestro caso, el peso de los mismos es aproximadamente:

$$W_{\text{espyarandela}} = 5,44 \text{ kg}$$

El peso final del rotor es:

$$W_{\text{rotor}} = W_{\text{volante}} + W_{\text{martillos}} + W_{\text{espyaran}} \quad (2.22)$$

2.7.3. Cálculo del peso del árbol

Para el cálculo del peso del árbol se parte de la forma geométrica del mismo y su configuración geométrica. La figura 2.8 muestra las dimensiones del mismo.

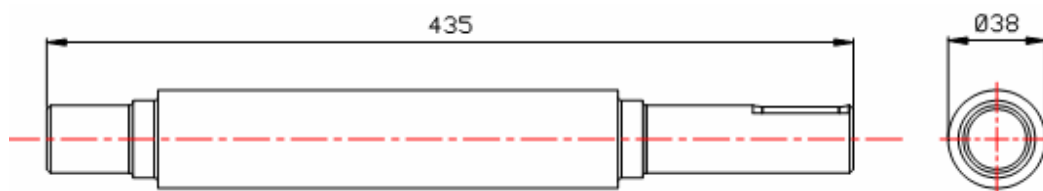


Figura 2.8. Dimensiones del árbol del molino.

Entonces el volumen del árbol se determina como:

$$V_{\text{árbol}} = \pi \cdot r^2 \cdot l \quad (2.23)$$



Donde:

l - longitud del árbol; mm

r - radio del árbol; mm

Aplicando la ecuación 2.7, se obtiene:

$$m_{\text{árbol}} = \delta_{\text{acero}} \cdot V_{\text{árbol}} \quad (2.24)$$



2.8. Conclusiones del capítulo 2

- Los métodos y procedimientos utilizados están fundamentados a partir de la necesidad de la descripción y caracterización de las propiedades de los materiales empleados para la fabricación del molino de martillo.
- Se establece la metodología para el diseño del molino, considerando cada uno de los elementos que integran el molino de martillo.
- El parámetro área de trabajo (sujeta a compresión) del martillo para la simulación por el Método de Elementos Finitos constituye el factor principal para establecer el comportamiento de la distribución de las tensiones en el proceso de trituración de los productos.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO 3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

En el mundo competitivo donde nos encontramos inmersos, es frecuente exigir al profesional de la ingeniería que sea capaz de encontrar la mejor solución a un problema planteado. Esto le exige tener que escoger un diseño particular frente al amplio abanico de soluciones posibles. El concepto de mejor, suele ir asociado a la capacidad de definir una forma estructural, unos materiales, unas secciones con un comportamiento adecuado.

El objetivo del capítulo es

1. Realizar la valoración de los resultados derivados de la propuesta del sistema de beneficio para el proceso de producción del cieno carbonatado en la Empresa Pedro soto alba.

3.2. Análisis de la metodología de cálculo

El motor eléctrico opera primordialmente en base a dos principios: El de inducción de Faraday; que señala, que si un conductor se mueve a través de un campo magnético o está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. Y el principio de Ampère, que establece: que si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica o f.e.m. (fuerza electromotriz), sobre el conductor. Integrando en las ecuaciones 2.1; 2.2; 2.3 y sustituyendo en la ecuación 2.4 se tiene que el cálculo del motor del molino de martillos es:

$$P = \sqrt{3 \cdot 220 \cdot 22 \cdot 0,94}$$

$$P = 7,880 \text{ kW}$$

La potencia útil del motor será de 7,880 kW

3.3. Análisis del consumo de potencia reactiva de los motores a plena carga

Para el análisis del consumo de potencia del motor del molino de martillo se sustituye en la ecuación 2.5.

$$Q = \sqrt{3 \cdot 220 \cdot 22 \cdot 0,341}$$

$$Q = 2,858 \text{ kVAR}$$

3.4. Análisis de la capacidad de producción del martillo

A partir de las condiciones de producción de la planta de balanceados de la granja avícola de Centeno en función de la cantidad a procesar y sustituyendo en la ecuación 2.6 se tiene que:

$$CP = 2 \frac{\text{ton}}{\text{semana}} \cdot \frac{1\,000\text{ kg}}{1\text{ ton}} \cdot \frac{1\text{ semana}}{5\text{ días}} \cdot \frac{1\text{ día}}{8\text{ h}}$$

$$CP = 50\text{ kg/h}$$

El diseño del molino tendrá una capacidad de producción de 50 kg/h

3.5. Análisis del cálculo de la tolva de alimentación

El cálculo de la tolva de alimentación se realizó sustituyendo en la ecuación 2.8, donde se tiene que para una capacidad de producción de 50 kg/h y una densidad del grano de 800 kg/m³, el volumen requerido es el siguiente:

$$V_{req} = \frac{50\text{ kg}}{800\text{ kg/m}^3}$$

$$V_{req} = 0,0625\text{ m}^3$$

3.6. Determinación del volumen de la tolva de alimentación

El volumen que satisface la producción mínima requerida, se calcula utilizando las ecuaciones 2.8; 2.0 y 2.10. Haciendo un corte de las secciones se tiene en la figura 3.1 la vista lateral para el cálculo.

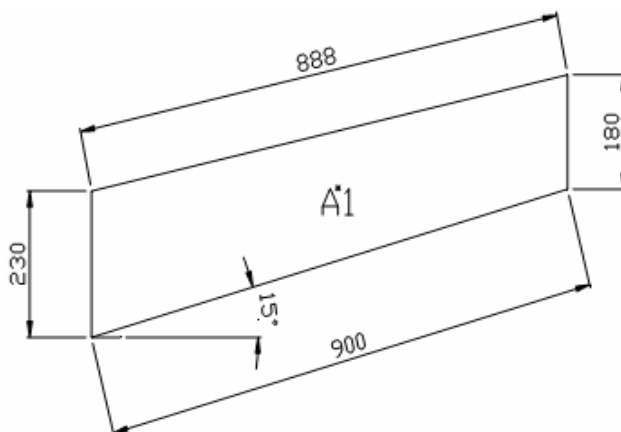


Figura 3.1. Vista lateral de las dimensiones de la tolva de alimentación.



Si se tiene en cuenta la figura 2.3 del capítulo 2 epígrafe 2.4.2, relacionada con el área A1, se tiene los siguientes resultados de las áreas:

$$A_a = 78\,210\,mm^2$$

$$A_b = 1\,333,32\,mm^2$$

$$A_c = 98\,670\,mm^2$$

$$A_1 = 178\,213,32\,mm^2$$

Sustituyendo en las ecuaciones 2.8 y 2.9, se tiene:

$$V_1 = 178\,213,32 \cdot mm^2 \cdot 260\,mm$$

$$V_1 = 46\,335\,461,9\,mm^3$$

$$V_2 = V_3 = \frac{178\,213,32\,mm^2 \cdot 170\,mm}{2}$$

$$V_2 = V_3 = 15\,148\,133,1\,mm^3$$

El volumen total de la tolva se calcula con la ecuación 2.12:

$$V_{Total} = 76\,809\,938,77\,mm^3 = 0,077\,m^3$$

Comparando los volúmenes requerido y calculado de la tolva del molino:

$$V_{Tolv} > V_{req}$$

$$0,077\,m^3 > 0,0625\,m^3$$

Según los resultados obtenidos de los volúmenes calculados, se observa que es suficiente para la capacidad de producción requerida.

3.7. Análisis de la selección de las cribas

Se necesita 2 cribas de Ø 3 y 5 mm, para el molido del maíz, el material será de acero inoxidable AISI 316 por la humedad existente en el ambiente, las medidas son dadas por la configuración geométrica del molino.

Con lo expuesto anteriormente y con ayuda de la tabla 1 del anexo 1, se tiene que para diámetros de 3 y 5 mm, se requiere lámina de acero de 3,2 mm de espesor, con separaciones entre centros de 6 y 9 mm, respectivamente. En las figuras 3.2 y 3.3 se muestran las dimensiones de la criba que debe emplearse en el molino de martillo.

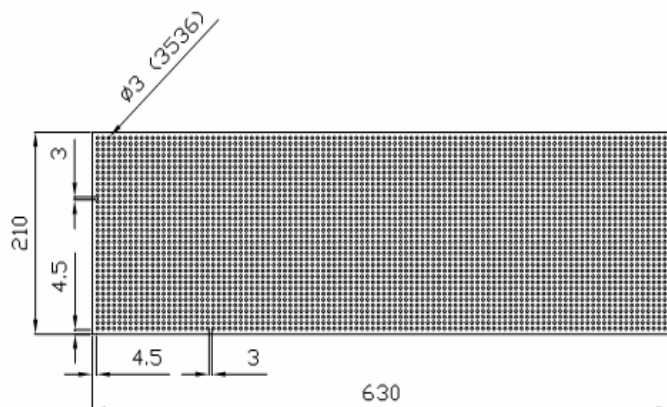


Figura 3.2. Criba con agujeros de Ø 3 mm.

La figura 3.3 es la criba con agujeros de Ø 5 mm

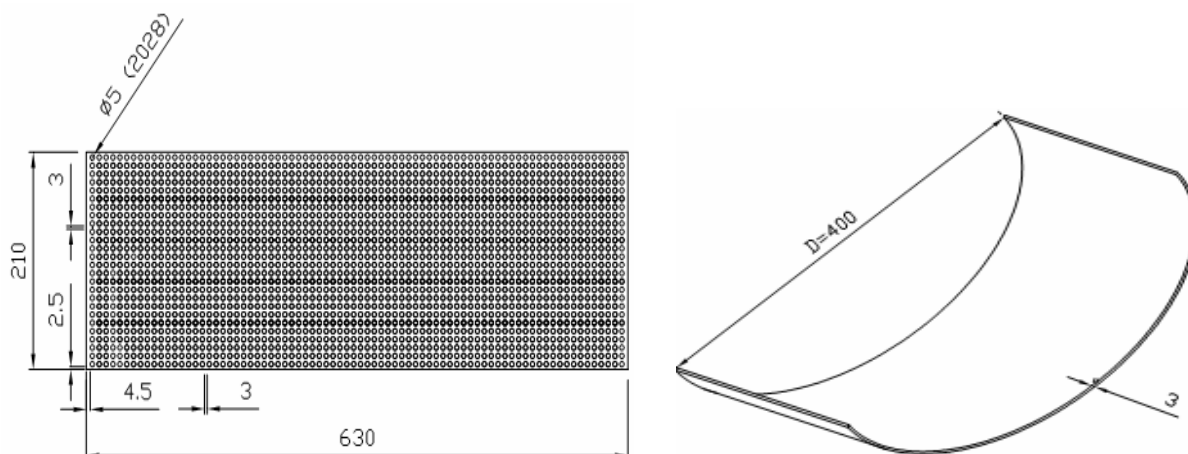


Figura 3.3. Criba con agujeros de Ø 5 mm.

3.8. Comportamiento del número de trenes en el rotor del molino de martillos

Para determinar el volumen de granos disponemos de los siguientes datos:

- Capacidad (Q); 50 kg/h
- Densidad de los granos (δ); 800 kg/m³
- Número de revoluciones en el eje (WR); 1 548 rev/min
- Diámetro del grano (dg); 0,0043 m
- Longitud del grano (Lf); 0,005 m

De la ecuación 2.13 se obtiene el volumen de granos:

$$V_g = \frac{3.14(0,0064 \text{ m})^2 \cdot (0,005 \text{ m})}{4}$$



$$Vg = 1,61 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación 2.14 se determina la masa de alimentación:

$$Mg = (800 \text{ kg} / \text{m}^3) \cdot (1,6 \times 10^{-7} \text{ m}^3)$$

$$Mg = 1,29 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

Con la ecuación 2.15 se obtiene el número de granos a ser molidos:

$$Ng = \frac{0,0139 \text{ kg} / \text{s}}{1,29 \times 10^{-4} \text{ kg}}$$

$$Ng = 108 \text{ granos} / \text{s}$$

Resultando por la ecuación 2.16 que el número de trenes de martillos es:

$$Nt = \frac{108 \text{ granos} / \text{s}}{1548 \text{ rev} / \text{min} \cdot 1 \text{ mi} / 60 \text{ s}}$$

$$Nt = 4 \text{ trenes}$$

Realizando los cálculos correspondientes para los diferentes tamaños de diámetros, tenemos la siguiente tabla 3.1 resumen.

Tabla 3.1. Cálculo del número de trenes.

Ø grano	Q (kg/s)	WR rev/min)	Vg (m ³)	Mg (kg)	Ng (gran/s)	Nt (tren/re
0,0064	0,0139	25,8	1,61E-07	1,29E-04	108	4
0,0067	0,0139	25,8	1,76E-07	1,41E-04	98	4
0,007	0,0139	25,8	1,92E-07	1,54E-04	90	3
0,0075	0,0139	25,8	2,21E-07	1,77E-04	79	3
0,008	0,0139	25,8	2,51E-07	2,01E-04	69	3
0,01	0,0139	25,8	3,93E-07	3,14E-04	44	4

En la tabla 3.1 se observa la variación del número de trenes al incrementar el diámetro de grano a moler; se consideró un diámetro promedio de grano de 0,0064 m ó 6,4 mm, para el maíz. Lo anterior justifica la utilización de 4 trenes existentes en el rotor del molino de martillos, la disposición de los mismos se observa en la figura 3.4.

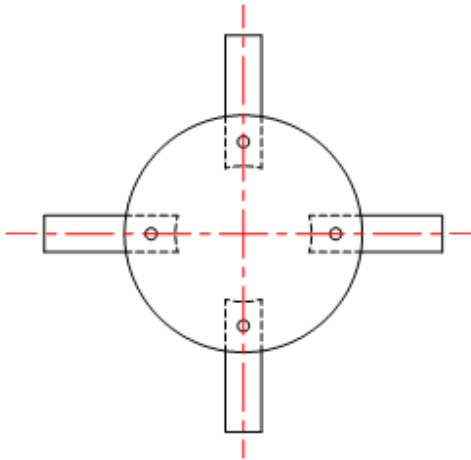


Figura 3.4. Número de trenes en el rotor del molino.

3.9. Análisis del cálculo de la resistencia a la compresión de los martillos

Para el cálculo de la resistencia a la compresión se dispone de los siguientes datos:

F_t = fuerza de trituración de maíz de 40 kg

$[\sigma_c]$ - resistencia a la compresión, 28,13 MPa

La longitud de trabajo en cada martillo de impacto es igual a 1/3 de la longitud total.

En la figura 2.5 del capítulo epígrafe 2.5, se detalla el área sujeta a compresión en cada martillo; se tendrá en cuenta que son 48 martillos para el cálculo de n ,

Utilizando 2.17 se tiene:

$$\sigma_c = \frac{F_t}{A_c}$$

El área sujeta a compresión se determina como:

$$A_c = 6 \cdot 33 = 198 \text{ mm}$$

El volumen de los martillos se determina por la ecuación 2.19 como:

$$V_{\text{martillo}} = 6 \cdot 130 \cdot 30 = 23\,400 \text{ mm}^3$$

La masa de los martillos sería:

$$m_{\text{martillo}} = V_{\text{mart}} \cdot \delta$$



$$m_{\text{martillo}} = \frac{23\,400 \text{ mm}^3 \cdot 7\,800 \text{ kg / mm}^3}{1\,000 \text{ mm}^3} = 0,182 \text{ kg}$$

El peso de 0,182 kg es por martillo.

Entonces el esfuerzo de compresión por la ecuación 2.17 sería:

$$\sigma_c = \frac{1\,920 \text{ kg}}{198 \text{ mm}} = 96,96 \text{ MPa}$$

Utilizando la ecuación 2.18 y tomando en cuenta que inicialmente se tuvieron 48 martillos:

$$n = \frac{28,13}{96,96} = 0,29$$

3.10. Comportamiento del peso de los volantes

Sustituyendo los valores indicados en la ecuación 2.20 se tiene que para:

Un diámetro del volante de 200 mm y un espesor del volante; 5 mm, el volumen sería:

$$V_{\text{volante}} = 157\,079, \text{ mm}^3 = 1,57 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Entonces por la ecuación 2.21 se determina la masa del volante:

$$m_{\text{Volante}} = 7\,750 \text{ kg / m}^3 \cdot 1,57 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 4 = 4,88 \text{ kg}$$

La masa de los martillos sería:

$$m_{\text{martillos}} = \delta \cdot V_{\text{martillo}} \cdot 48 = 9,6 \text{ kg}$$

Entonces el peso final del rotor se calculó por la ecuación 2.22:

$$W_{\text{rotor}} = W_{\text{volante}} + W_{\text{martillos}} + W_{\text{espyaran}}$$

$$W_{\text{rotor}} = 19,09 \text{ kg} = 42,1 \text{ lb}$$

3.11. Análisis del cálculo para el peso del árbol

Se hizo necesario realizar el chequeo del árbol del molino de martillos para comprobar si este va a resistir al trabajo expuesto, ya que la vida útil de esta maquinas se encuentra en las partes expuestas a movimiento rotacional.

Sustituyendo en la ecuación 2.23 se tiene que el volumen del árbol es:

$$V_{\text{árbol}} = 3,14 \cdot 19 \text{ mm}^2 \cdot 435 \text{ mm} = 493\,300 \text{ mm}^3$$

Aplicando la ecuación 2.24, se obtiene:

$$m_{\text{árbol}} = \delta \cdot V_{\text{árbol}} = 3,6 \text{ kg} = 7,9 \text{ lb}$$

3.12. Análisis de la simulación por el MEF

La resistencia de las piezas de las máquinas a diferentes tipos de destrucción depende no sólo del grado de endurecimiento, sino de la presencia en la superficie de la pieza de tensiones. En la figura 3.5 se muestra la distribución de las tensiones obtenidas en el martillo en la superficie de trabajo.

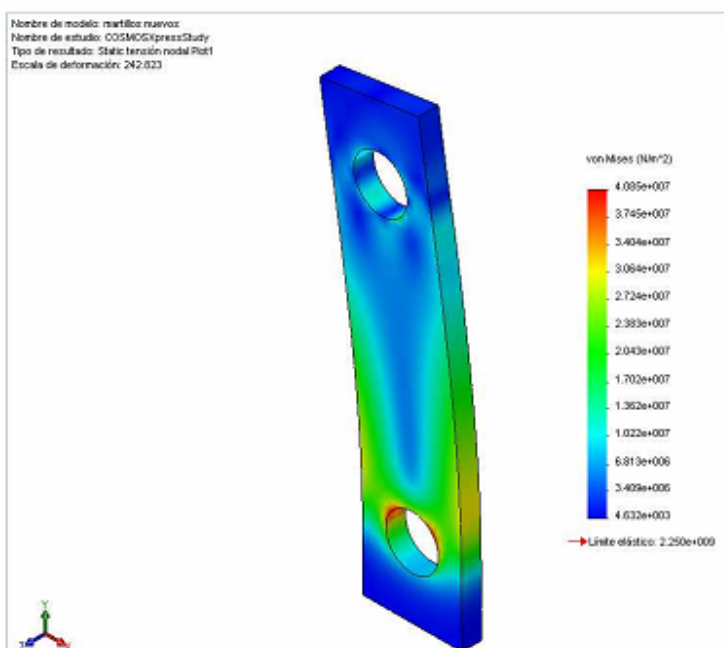


Figura 3.5. Tensiones de Von Mises en el martillo.

Al comparar el $S_y = 2,25 \text{ e } 009 \text{ N/m}^2$ del acero AISI 1020, con el esfuerzo máximo de Von Mises $\sigma_{\text{máx}} = 4,0852 \text{ e } 007 \text{ N/m}$ en el martillo, se obtiene un factor de seguridad de 55. Los valores obtenidos precisan el área de presión necesaria que entra en contacto con el producto a moler, además es también el área más susceptible al desgaste durante el período de trabajo del molino.

Al determinar las tensiones de aplastamiento considerada uniformemente distribuida sobre el área de aplastamiento, por la condición de resistencia que ofrece el producto a ser molido, el cual no se considera de gran dureza, las tensiones máximas surgen en el área

del agujero, por esta razón es recomendable realizar un agujero en cada extremo y que permita el fácil intercambio.

Las tensiones obtenidas aparecen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Resultado de las tensiones en el martillo

Tipo	Mín	Máx
Tensión de Von Mises	4 631,67 N/m ²	4,08524e+007 N/m ²

3.13. Análisis económico

El análisis económico tiene como objetivo fundamental evaluar y justificar económicamente la inversión propuesta, de modo tal que se adopte una posición de juicio sobre la necesidad y conveniencia de la instalación propuesta.

- Costos directos

Para que estos costos sean justificados claramente se deben analizar los rubros que afectan directamente la realización del proyecto estos valores son:

- Materiales.
- Equipos y herramientas.
- Mano de obra directa.
- Transporte

El costo de materiales ha emplear en la fabricación del molino de martillo se muestra en la tabla 3.3. La misma recoge los costos de materiales empleados, así como los costos de elementos que han de seleccionar y comprar, para luego ser utilizados.

La primera columna indica la cantidad de cada de elementos, la segunda el tipo de material, la tercera la especificación de cada material, la cuarta la cantidad de material a utilizar, la quinta el costo unitario y la última indica el costo total.

Tabla 3.3. Materiales necesarios para la construcción del molino

No	Material	Especificac	Cantidad	Costo unit	Costo total
1	Acero inoxidable	3x1220x2240	0,25	212,5	53,125
2	Acero AISI 1020	2x1220x2240	0,5	75,13	37,56
3	Chumacera	Ø 28,5	1	48,04	48,04
4	Polea doble	Ø 102	2	4	8
5	Correa en V	A 49	2	3	6
6	Perno	12 X 2	1	0,16	0,16
7	Arandela plana	Ø 12,5	1	0,2	0,2
8	Arandela presión	Ø 12,5	1	0,2	0,2
9	Bisagra	80 x 40 x 2	2	0,5	1
10	Motor eléctrico	WEG 3,7 kW	1	450	450,00
11	Pintura final	Poliuretano	1	30	30
12	Pintura Base	corrosivo	1	15	15
13	Diluyente	Diluyente	1	5,5	5,5
Total CUP					204,785
Total CUC					450,00

3.13.1. Costos de la mano de obra

Para determinar el costo de mano de obra, se multiplica el número de horas que emplea un obrero en realizar la maquinaria, por el valor de una hora de trabajo.

Si se considera un soldador, un ayudante, el tiempo de ejecución de la máquina es de 80 horas, esto incurre en un gasto de \$ 544.00

Costo total de CUP 748,785

Costo total de CUC 450,00

3.14. Valoración del impacto medio ambiental

El medio ambiente global manifiesta, cada vez más, un mayor deterioro debido al uso indiscriminado de los recursos naturales y a la insuficiente atención, en general, que se da a la solución de los efectos negativos que esto produce sobre los seres vivos, incluidas las poblaciones humanas.

En este sentido, se reconoce que los problemas de la protección del medio ambiente, que gradualmente surgieron en los siglos anteriores, se agudizaron bruscamente en la segunda mitad del siglo XX a causa de la Revolución Científico-Técnica, llevada a cabo en muchas partes del mundo, en las condiciones de las relaciones de producción capitalistas y socialistas que no lograron compatibilizar la triada: economía-producción-protección ambiental.



La Revolución Científico-Técnica, que es necesaria para el progreso humano, con los avances logrados en la industria, la agricultura y la medicina, entre otros, provocó cambios en las condiciones de vida y salud de las personas, manifestadas en el aumento de la población de la tierra, en diversas regiones del planeta. Debemos reconocer que nuestro planeta posee alternativas para aumentar la producción de alimentos, pero estas posibilidades no son ilimitadas, y en determinadas regiones geográficas, son muy restringidas. Esta es una de las causas de la agudización de los problemas de la protección del medio ambiente.

El objetivo principal es contribuir a la reducción de los impactos ambientales inherentes a las instalaciones y a las acciones productivas que realiza y mejorar la protección del medio ambiente circundante.

La Resolución No. 77, establece que los Estudios Ambientales sólo podrán ser ejecutados por entidades debidamente avaladas ante el Estado Cubano, previo registro documental técnico y aprobada por el Centro de Gestión e Inspección Ambiental del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

La contaminación acústica es considerada por la mayoría de la población como un factor medioambiental muy importante, que incide de forma principal en su calidad de vida. La contaminación ambiental es una consecuencia directa no deseada de las propias actividades que se desarrollan en las industrias.

El término contaminación acústica hace referencia al ruido cuando éste se considera como un contaminante, es decir, un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos nocivos para una persona o grupo de personas. La causa principal de la contaminación acústica es la actividad humana; el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, la industria, entre otras.

Los efectos producidos por el ruido pueden ser fisiológicos, como la pérdida de audición, y psicológicos, como la irritabilidad exagerada. El ruido se mide en decibelios (dB); los equipos de medida más utilizados son los sonómetros. Un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera los 50 dB como el límite superior deseable.

Técnicamente, el ruido es un tipo de energía secundaria de los procesos o actividades que se propaga en el ambiente en forma de ondulatoria compleja desde el foco productor



hasta el receptor a una velocidad determinada y disminuyendo su intensidad con la distancia y el entorno físico.

Como es conocido, el proceso de molienda es a ciclo cerrado, por lo que las emanaciones de polvo en estas instalaciones son mínimas. Todos los sistemas que intervienen en este proceso llevan implícito un sistema de aspiración de gases y polvo que limitan las emanaciones. Estos gases y polvos fluyen a las instalaciones de limpieza de gases de molienda.

Relacionando los resultados obtenidos por ahorro de consumo de combustible en generar electricidad para accionar los molinos, implicaría menos gases contaminantes a la atmósfera por la disminución de producción energía, manifestándose en una mejora al medio ambiente.



3.15. Conclusiones del capítulo 3

- Se realizó el procedimiento de cálculo de la instalación considerando la metodología propuesta para el diseño del molino de martillo y lo descrito en la literatura especializada.
- Los cálculos realizados de los componentes del molino de martillo para comprobar si se corresponden con la condición de resistencia, los mismos son aceptables para las condiciones de molienda que se desea en la granja de Centeno.
- Si se considera la propuesta del diseño del molino, se puede comprobar que la fabricación del mismo es técnica y económicamente factible si se tiene en cuenta los gastos en lo que incurre el mismo.



Conclusiones generales

- Se determinó que para que exista un adecuado de balanceado debe existir un proceso de molienda con una trituración adecuada para un mezclado con la homogeneidad requerida en el producto.
- El diseño del molino de martillo propuesto permite una capacidad máxima de producción de la planta de 12,7 ton/sem, operando 8 horas al día.
- Al realizar la simulación por el Método de los Elementos Finitos se pudo determinar que las máximas tensiones surgen en el agujero que permite el movimiento circunferencial del martillo.
- La propuesta del diseño del molino de martillo, por concepto de CUP incurre en un costo total de 748,785 y por concepto de CUC en un costo de 450,00.
- La molienda es una contaminación acústica considerada como un factor medioambiental muy importante por el nivel de ruido que se propaga en el ambiente en forma de ondulatoria compleja.



Recomendaciones

- No realizar el arranque del motor del molino con carga, para evitar daños en los mismos, de esta forma se garantiza su normal operación y vida útil.
- En la obtención del producto hay que preparar adecuadamente la materia prima mediante un presecado final con la finalidad de eliminar la humedad y utilizar los martillos de impacto.
- Regular la distancia entre martillos para evitar choques o un mal troceado.



BIBLIOGRAFÍAS

1. Abd el-Rahman, M.; Mishra, B.; Rajamani, R., Mineral Engineering. 2001, Vol. 14, No. 10, 1321-1328
2. Andréiev, S., Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial pueblo y educación, 1987.
3. Avilov, B.; Karnaujov y Ziubroski., Ahorro electroenergético en las plantas beneficiadoras de mineral. Niedra. 1987.
4. Botero, F.; Sánchez, N.; Jaramillo, H., Diseño de un Molino de bolas tipo atritor. Santiago de Cali, 2004. 56 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de ingeniería.
5. Bugeda, G., Utilización de técnicas de estimación de error y generación automática de mallas en procesos de optimización estructural" Tesis doctoral. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports. Barcelona, 1990.
6. Brunet, P., Diseño gráfico y modelado geométrico, pp. 55 - 66. Sistemas CAD/CAM/CAE. Diseño y fabricación por computador. Serie Mundo electrónico. Marcombo Boixareu editores, 1986.
7. Cajas, L.; Romero, V., Diseño y Construcción Molino para Granos. Tesis de Grado. Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 1989.
8. Flores, V., Refinamiento De Tamaño De Partículas Metálicas Por Molienda En Húmedo" tesis de ingeniería CIMyM en la UAEH (2004).
9. Gaudin, A.; Meloy, T., Model and comminution distribution equation for repeated fracture. Trans. AIME. Vol. 223. pág 43-50. 1991.
10. Gavrilov, D.; Vinogradov, O.; William, J., Powder Technology. 1999, 101, 63 – 72.
11. <http://www.climaxmolybdenum.com/>
12. Koch, C.; Hershberger, R., ASM Handbook Powder Metal Technologies and Applications, Milling of Brittle and Ductile Materials, volume 7, pp. 53 - 63, editorial Advisory Board, 1998.



13. Koch, C.; Hershberger, R., ASM Handbook Powder Metal Technologies and Applications, Ultrafine and Nanophase Powders, volume 7, pp. 72-79, editorial Advisory Board, 1998.
14. Lynch, A., Circuitos de Trituración y Molienda de minerales. Optimización, Diseño y Control. Madrid. Editorial Rocas y Minerales. 1980.
15. Milfelner M., Robotics and Computer Integrated Manufacturing. 2003, 19, 99 – 106.
16. Oriol, G.; Aguilar, P., Máquinas de transporte continuo. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1988, 235.
17. Ramírez, R., Efecto Del Tamaño De Bola En La Molienda Y Aleado Mecánico” Tesis en revisión en el CIMyM, UAEH, (2005).
18. Randall, M., Powder metallurgy Science”, Capitulo III, pp. 84-87, 2 ed. Editorial MPIF, 1994.
19. Romero, J., Maquinas transportadoras. Madrid. C 2108, 2004.
20. Sahoo, A.; Roy, G., Correlations of grindability of the ball mill as a measure of its performance. Chemical Engineering. Volumen 3, No.2 pp.230 - 235, 2008.
21. Shubin, U., Diseño de maquinas industriales. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1975, Tomo III, 275.
22. Valderrama, W.; Magne, J., Efecto del diseño de revestimientos sobre el consumo de potencia de molienda”. Cenin. Revista de Metalurgia. Vol 16, 61, 1996.



ANEXO

Tabla 1. Distancia entre centro y espesores de láminas de acero para criba

Diámetro (mm)	Distancia entre centros	Area abierta %	Espesores (mm)
1.50	3.00	22.68	1.60
2.00	4.00	22.68	2.00
2.50	5.00	22.68	2.00
3.25	6.00	26.61	3.20
3.50	7.00	22.68	3.20
4.00	7.00	29.62	3.20
4.75	8.00	31.97	3.20
5.50	9.00	33.87	3.20
6.25	9.00	43.74	3.20
6.50	10.00	38.32	3.20 - 4.75
7.00	11.00	36.73	3.20 - 4.75
8.00	15.00	25.80	4.75 - 6.35
9.00	15.00	32.65	4.75 - 6.35
9.50	15.00	36.38	4.75 - 6.35
11.00	18.00	33.87	4.75 - 6.35
12.00	18.00	40.31	4.75 - 6.35
13.00	19.00	42.46	4.75 - 6.35
14.00	20.00	44.44	4.75 - 6.35
16.00	22.00	47.97	4.75 - 6.35
19.00	26.00	48.44	4.75 - 6.35
25.00	34.00	49.04	4.75 - 6.35
32.00	44.00	47.97	4.75 - 6.35
38.00	50.00	52.39	4.75 - 6.35
50.00	62.00	58.99	4.75 - 6.35
75.00	96.00	55.36	4.75 - 6.35