

DISEÑO DE UN MOLINO DE MARTILLOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PEGAMENTO CERÁMICO

HAMMERS MILL DESIGN FOR THE CERAMICS GLUE PRODUCTION

MSc. Eder Flórez Solano^a, Ing. Nairo Cardona Duarte^b, Ing. Carlos Clavijo Ovalle^c

^a Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Grupo de Investigación INGAP. Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Norte de Santander, Colombia. enflorezs@ufpso.edu.co

^b Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Grupo de Investigación INGAP. Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Norte de Santander, Colombia. ncardonad@ufpso.edu.co

^c Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Grupo de Investigación INGAP. Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Norte de Santander, Colombia. caclavijoo@ufpso.edu.co

Fecha de recepción: 07-09-2014

Fecha de aprobación: 20-11-2014

Resumen: La arcilla es el material principal utilizado en los diferentes procesos de fabricación para productos cerámicos, en el caso de pegamentos, existe gran variedad de arcillas utilizadas en la fabricación de este producto, las diferencias se reflejan en su composición química que afecta directamente en las propiedades físico-químicas de los productos obtenidos. La empresa Ragraquímicos tenía la necesidad de un equipo para la fabricación de pegante a base de arcilla, por medio de la trituración del material, el cual se realizaba de manera rustica por medio de la trituración manual generado por el trabajo de varios obreros, buscando la reducción final del grano. Para tal fin se realizó un diseño de un molino de martillos, el cual reduce el material en partículas finas que atraviesan una malla, dejando el material triturado para obtener la materia primaria en la fabricación del pegante en un menor tiempo.

Palabras clave: Arcilla, cerámicos, molino de martillos, pegante.

Abstract: Clay is the main material used in the different manufacturing processes for ceramics products, in the case of glue, there are a wide variety of clays used in the manufacturing of this product, the differences are reflected in its chemical composition that directly affects the physical and chemical properties of the obtained products. RAGRACHEMICALS enterprise had the necessity of an equipment for the elaboration of glue based on clay, through the crushing of the

material, which was developed in a rustic way through the manual crushing generated by the labor of several workers, in search of the final reduction of the grain. For this purpose a hammers mill design was developed, which reduces the material into fine particles that break through a net, leaving the crushed material to obtain the main material for the glue fabrication in less time.

Keywords: Clay, ceramic, hammer mill, glue.

1. INTRODUCCIÓN

La industria colombiana dedicada a la transformación de materia prima se encuentra en desventaja con respecto a los demás países. Con las nuevas políticas del estado se crea la necesidad de mejorar la calidad de los productos buscando con esto que sean más competitivos en el mercado mundial y así obtener un mejor posicionamiento de la industria colombiana.

Las pequeñas empresas colombianas y en especial las de nuestra región no cuentan con la tecnología ni los recursos necesarios para implementar las estrategias y compra de equipos necesarios para mejorar sus procesos, y de esta manera poder brindar a la región productos de buena calidad a menor costo.

En la actualidad las pequeñas empresas de Ocaña buscan posicionarse a nivel nacional con la meta de ser competitivas, y a un futuro no muy lejano participar y competir en el mercado extranjero exportando sus productos.

La empresa Ragraquímicos decide incluir en su portafolio de productos pegante de tableta cerámica, Para elaborar este producto la empresa requiere de un molino de arcilla que sea eficiente, de bajo costo y que permita trabajar ininterrumpidamente de acuerdo con la necesidad de producción generando mayor rentabilidad.

Este documento muestra el diseño y cálculo de elementos de máquinas, para la posible construcción de una máquina para moler

material arcilloso, con el cual la empresa pueda satisfacer las necesidades requeridas del producto.

2. METODOLOGÍA

La molienda es una operación de reducción de tamaño de rocas y minerales de manera similar a la trituración. Los productos obtenidos por molienda son más pequeños y de forma más regular que los surgidos de trituración. Generalmente se habla de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1" (2.54 cm) siendo el grado de desintegración mayor al de trituración. Pascual García, J. M. (2010).

Se utiliza fundamentalmente en la fabricación de cemento, en la preparación de combustibles sólidos pulverizados, molienda de escorias, fabricación de harinas, alimentos balanceados, molienda de arcillas etc.

El molino de martillos actúa por efecto de impacto sobre el material a desintegrar. El molino cuenta con una cámara de desintegración, una boca de entrada del material en la parte superior y una boca de descarga cerrada por una rejilla. En el interior de la cámara hay un eje, que gira a gran velocidad y perpendicularmente a él van montados articuladamente los elementos de percusión (martillos) los cuales por la fuerza centrífuga que se genera al girar el eje, se posicionan perpendicularmente en posición de trabajo. Fiuba. (Facultad De

Ingenierías Universidad De Buenos Aires). (2011)

El material a moler ingresa por la boca de entrada y por gravedad cae al interior de la cámara de desintegración, donde es golpeado por los martillos. Seguidamente choca contra la cámara de desintegración y nuevamente es golpeado por los martillos. Esto ocurre sucesivamente hasta que alcanza un tamaño tal que puede pasar por la rejilla de la descarga. El tamaño de salida de los materiales triturados puede variarse cambiando la rejilla de salida. Pennsylvania Crusher. (1995).

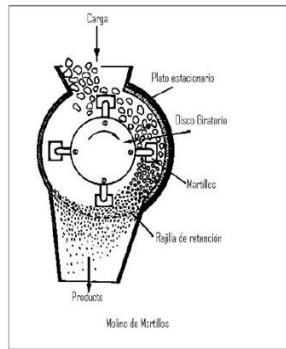


Figura. 1. Molino de martillos tipo de funcionamiento.

Fuente: MOLINOPENDULAR DE 8000 Francesc Xavier Angulo García.

Martillos. Son los elementos principales de un molino, pues son los que realizan el proceso de desgarramiento. También llamados batidores o percutores, pueden ser fijos u oscilantes (martillos locos). Los martillos fijos son más efectivos que los oscilantes, pero el daño producido en el molino, cuando se introduce algún hierro con la arcilla es mayor. Universidad Del Atlántico. (2011). Ahorro De Energía En La Industria Cerámica.

Los martillos se fabrican en una gran variedad de formas y tamaños, Con el fin de obtener la máxima fuerza eficaz con un espacio mínimo, y que ofrezcan la mayor resistencia al desgaste. Ladrillera Los Angeles. (2005).

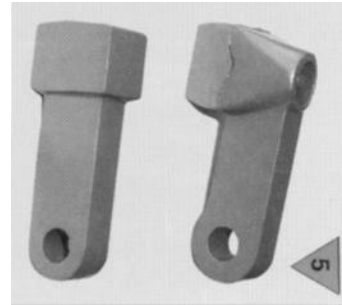


Figura. 2: Martillos

Fuente: Laboratorio Técnico Cerámico S.L.

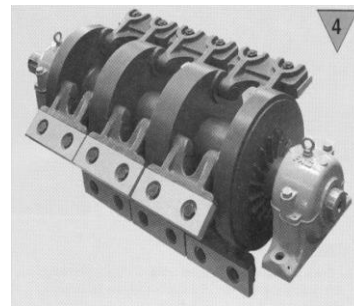


Figura. 3: Rotor De Un Molino De Martillos.

Fuente: Laboratorio Técnico Cerámico S.L.

Para compensar las variaciones citadas, algunos fabricantes cambian solo la mitad de los martillos y luego la otra mitad; otros trabajando con rotor pequeño y martillos fijos, ponen solo la mitad de ellos, uno si otro no; dejando espacios vacíos que aumentan la producción.

Ciertos constructores de molinos, suministran martillos con un suplemento atornillado de acero anti desgaste, en la cabeza de impacto, tal como puede verse en la figura 5, también puede dar buen

resultado el recubrimiento de las caras de impacto del martillo con tungsteno aplicado mediante soplete, la producción y la granulometría obtenida con un molino de martillos varían además con la humedad contenida en la arcilla, al aumentar el contenido de humedad del polvo, las partículas más finas se adhieren a la criba cegando poco a poco la abertura de malla. Austin, L.G., Trass O. (1997).

El control de la humedad del material que entra en el molino debería ser constante. Un contenido de humedad en la arcilla a la salida de molino de un 5 – 7 %, puede considerarse ideal; más alto dará lugar a una granulometría más fina y una menor producción del molino.

La empresa requiere un molino con Capacidad 1000 kg/h de producción para satisfacer la demanda del nuevo producto, se tiene que un 1 grano de arcilla de la muestra tiene un peso promedio de 4,5 gr, con la siguiente conversión tendremos aproximadamente cuantos granos por minuto son necesarios golpear para cumplir con la capacidad requerida:

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ grano}}{4,5 \text{ gr}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 3703,7037 \frac{\text{granos}}{\text{min}}$$

Considerando que el valor recomendado para la velocidad angular de un molino de martillos para molienda de arcilla oscila entre 800 y 3200 rpm según catálogos de fabricantes brasileños, Con base en lo anterior se escoge un velocidad de 1600 rpm como velocidad del rotor que es un valor intermedio, con la velocidad del rotor y los granos por minutos se hace la siguiente operación:

$$\frac{3703,7037 \frac{\text{granos}}{\text{min}}}{1600 \text{ rpm}} = 2,3148 \text{ grano/rev} \cong 3 \text{ granos/ rev}$$

Como se evidencia del cálculo anterior se obtiene aproximadamente el número de granos que deberá golpear cada martillo por revolución, dado que estos cálculos se hacen con base de suposiciones se debe multiplicar este valor por un factor de seguridad que garantice evitar futuros atascamientos y bajo rendimiento de la máquina, para este caso en específico se le da un valor de n = 2 como factor de seguridad. Jean Louis Salager. (2007).

Con la prueba que se realizó para determinar la energía de ruptura del grano de arcilla se evidencio que el material tenía que ser golpeado de 2 a 4 veces para dar el tamaño granulométrico deseado, el número de martillos es igual al número de granos por revolución este valor sede multiplica por 3, valor intermedio seleccionado de la experiencia realizada de la cual se obtiene:

$$N_{\text{martillos}} = \left(3 \frac{\text{granos}}{\text{revolucion}} \times 3 \right) n$$

$$N_{\text{martillos}} = \left(3 \frac{\text{granos}}{\text{revolucion}} \times 3 \right) 2$$

$$N_{\text{martillos}} = 18 \text{ martillos}$$

Tamaño inicial de alimentación: 15 mm (Diámetro promedio del grano de arcilla de la muestra). Tamaño final del producto entre mallas: # 50 y # 100 que son respectivamente 297µm 149 µm aproximado

0,5mm teniendo el ensayo de granulometría realizado según la norma NTC 1522.

El espesor de martillos tiene que ser mayor o igual al diámetro del grano de arcilla.



Figura. 4: Cernido De La Arcilla Prueba De Laboratorio

Fuente: Autores Del Proyecto

Energía necesaria para romper la arcilla.

Se dejó caer una masa de 543 gr de una altura de 50 cm sobre grano de arcilla de 4,5 gr de masa y una humedad del 4%, para determinar la energía necesaria para fracturar el grano de arcilla. González Sánchez Hugo Alberto. (2012).



Figura. 5: Muestra De Arcilla

Fuente: Autores Del Proyecto



Figura. 6: masas para la prueba de ruptura.

Fuente: Autores Del Proyecto



Figura. 7: Maquina Para Prueba De Ruptura.

Fuente: Autores Del Proyecto

Energía Potencial. Es la energía que debe tener el martillo cuando gira y choca con el grano de arcilla.

$$E_p = mgh \quad (1)$$

$$E_p = 0.543\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,3\text{m}$$

$$E_p = 2,6634 \text{ Nm}$$

La E_p es igual a la energía de ruptura (E_r) del grano de arcilla.

Energía Cinética. Es la energía del grano al momento de chocar con el martillo.

$$E_c = \frac{1}{2} m v_v^2 \quad (2)$$

Velocidad tangencial del martillo. La velocidad tangencial es igual a la velocidad al vacío o sin carga (v_v), cuando el molino entra en funcionamiento y el grano impacta el martillo se produce una disminución de la velocidad, a esta velocidad se le conoce como velocidad de carga. Robuste, Eloy. (2001).

Se igualan la energía potencial y la cinética y se despeja la velocidad de vacío.

$$E_p = E_c$$

$$mgh = \frac{1}{2} m v_v^2$$

$$v_v = \sqrt{\frac{mgh}{0.5m_A}} \quad (3)$$

Donde:

m_A = masa de la arcilla

v_v = Velocidad de vacío del martillo.

$$v_v = \sqrt{\frac{(543\text{gr}) \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0,5\text{m})}{(0.5)4,5\text{gr}}} = 34,38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Las velocidades recomendadas para molinos de arcilla están entre 30m/s y 45 m/s

Para el cálculo de la velocidad de carga se analiza el conjunto moedor como un volante y para analizar volantes se debe tener en cuenta el coeficiente de fluctuación. Warren L. McCabe; Julián C. Smith; Peter Harriott. (2009).

v_c = velocidad de carga.

c_s = coeficiente de fluctuación.

Coeficiente de fluctuación para trituradores: 0,2 para maquinas trituradoras:

$$c_s = \frac{v_v - v_c}{v} \quad (4)$$

$$v = \frac{v_v + v_c}{2} \quad (5)$$

Se Reemplaza (4) en (5):

$$v_c = -v_v \frac{c_s - 2}{c_s + 2} \quad (6)$$

$$v_c = -34,378 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{0,2 - 2}{0,2 + 2} = 28,1274 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Radio De Giro

$$w = \frac{v_c * 60}{2\pi r_g} \quad (7)$$

Despejamos r_g = radio de giro

$$r_g = \frac{v_c * 60}{w} = \frac{28,1274 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 60}{2\pi * 1600 \text{ rpm}} = 0,1679\text{m} \cong 0,17\text{m}$$

Hallamos w_c = velocidad angular del rotor

$$w_c = \frac{v_c}{r_g} \quad (8)$$

$$w_c = \frac{28,1274 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,17\text{m}}$$

$$w_c = 165,4573 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1579,94 \text{ rpm} \cong 1600 \text{ rpm}$$

$$= 167,5516 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Como en cada disco van tres ejes porta martillos, el ángulo de separación entre ellos será de: 120° grados.

$$\theta = 120^\circ = 2,0944 \text{ rad}$$

Aceleración Angular

$$\alpha = \frac{w_v^2 - w_c^2}{2\theta} \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{167,5516^2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} - 165,45^2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{2(2,0944 \text{ rad})} = 159,7719 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

3. RESULTADOS

3.1 Diseño Geométrico

3.1.1 Martillos.

Peso unitario acero al carbono (γ)
0,0765kg/mm²s²

Radio de perforaciones: r = 10 mm

Espesar del martillo tiene que ser mayor o igual que el diámetro del grano de arcilla: t = 5/8 pulg = (15,87mm)

Se asume un ancho de cara C = 50 mm

Largo del martillo: L = 110 mm (el largo de los martillos se escoge desde 100mm hasta 120mm según recomendación de fabricantes)

Cantidad de martillos: 18 unidades

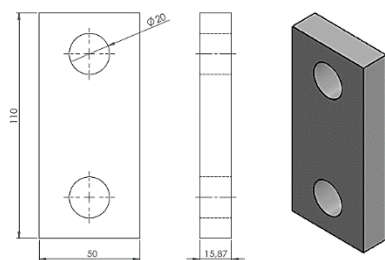


Figura. 8. Martillo

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Discos Porta Martillos

Cantidad de discos separadores: 3 unidades.

Teniendo en cuenta el largo asumido de los martillos y el radio de giro se tiene que el radio exterior del disco es: r_e=105 mm.

Espesor: t = 20 mm

Se tomara el eje principal de 1 pulgada con un hombro de 2 mm

Radio interior: r_i= 15,7mm

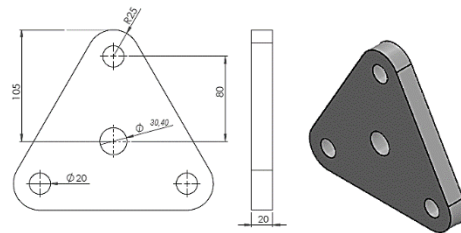


Figura. 9. Disco Porta Martillos

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Trasmisión De Potencia

H = Potencia Nominal (15 HP)

n = Velocidad polea Impulsora. (1800 rpm)

N= Velocidad polea Impulsada. (1600 rpm)

Horas de Servicio. 8^h/Dia

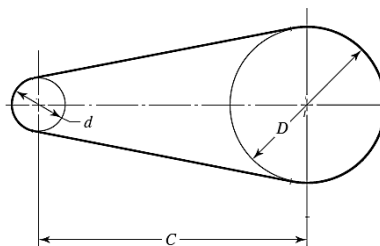


Figura. 10. Sistema De Trasmisión De Potencia.

Fuente: Diseño de elementos de máquinas shigley 8 edicion.

4. CONCLUSIONES

La selección de materiales aplicadas en el diseño y cálculo se encuentra fácilmente en el mercado de nuestra región, por lo tanto se garantiza su adquisición para la construcción y puesta en marcha de la máquina, además el reemplazo y reparación de algunas piezas mecánicas del sistema.

De acuerdo con las teorías de diseño mecánico y análisis por elementos finitos se pudo evidenciar la eficiencia de los materiales seleccionados para el diseño ya que los factores de seguridad mayores que 1.

Con los resultados obtenidos en el análisis mediante el software “solidWorks” de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña se pudo determinar que el diseño realizado es el óptimo para el trabajo requerido.

Este Diseño es de gran importancia teniendo en cuenta que con la optimización del mismo se puede exponer en un mercado que tenga necesidad de triturar o moler facilitando el trabajo y mejorando la producción.

5. BIBLIOGRAFÍA

Austin, L.G., Trass O. (1997). Size Reduction of Solids Crushing and Grinding Equipment, Capítulo 12 en Handbook of Powder Science & Technology, edited for Fayed, M. E., Otten, L., Chapman & Hall, N.Y.

Fiuba. (Facultad De Ingenierías Universidad De Buenos Aires). (2011) Industrias I - Trituración.

González Sánchez Hugo Alberto. (2012). Universidad Nacional de Colombia. Desarrollo de un modelo para determinación de abrasividad de suelos con características vérticas.

Jean Louis Salager. (2007). Granulometría teoría. Universidad de los Andes. Merida Venezuela.

Ladrillera Los Angeles. (2005). Información técnica y Catálogos. Cúcuta: Ladrillera los Ángeles.

Pascual García, J. M. (2010). El Molino. Obtenido de <http://olmo.pntic.mec.es/~jpgag0004/resena.htm>

Pennsylvania Crusher. (1995). Catalogo métodos de trituración.

Robuste, Eloy. (2001). Técnica y Practica de la Industria Ladrillera. España: s.n. 148 p.

Universidad Del Atlántico. (2011). Ahorro De Energía En La Industria Cerámica. UPME, Colciencias Colombia.

Universidad Politécnica De Cartagena. (2011). Tecnología Mineralúrgica: <http://ocw.bib.upct.es/course/view.php?id=88&topic=3>

Warren L. McCabe; Julián C. Smith; Peter Harriott. (2009). Operaciones Unitarias En Ingeniería Química Cuarta Edición McGraw-Hill.