Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Diseño y fabricación de un molino funcional para Poliestireno Expandido (EPS)

Design and manufacturing of mill for expanded polystyrene (EPS)

***Mira-Segura, L.L., Dorantes-Benavidez, F.D., Nájera-Segovia, J.L., Trejo-Martínez, A.**

División de Ingeniería Industrial. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México, La Paz, Estado de México. 56495.
*laulemi0107@hotmail.com; felipe.dorantes@tesoem.edu.mx; josé.nájera@tesoem.edu.mx; alfredo.martínez@tesoem.edu.mx

Innovación tecnológica: Diseño de nueva máquina tipo molino que permitirá la reutilización del material (EPS) e incorporarlo a otros procesos de fabricación de plásticos como la inyección.

Área de aplicación industrial: Manufactura de productos como rodajas, placas, envases u otros, reutilizando EPS reciclado como fuente de materia prima.

Enviado: 13 Febrero 2019.
Aceptado: 19 Mayo 2019.

Abstract

This project proposes a new design and construction of a densifying machine (mill) for the expanded polystyrene recycling process (unicel-EPS) and to be incorporated into an injection process. This material know in Mexico as unicel, is widely used througouth the country for its low price and easy access, however, it is a material that is not recycled in a potential way, because of its properties, it is difficult to do it in conventional mills. Taking advantage of the area in which the research is carried out, in the eastern part of the state of Mexico, a mill is manufactured that allows the grinding of the EPS material. To get to a new design of the machine, computer-assisted sketches were made in order to generate the prototype, and with the help of a 3D printer the parts of the blades were checked. The proposed mill is based on a three-phase motor with a power of 5Hp and a speed of 1750 rpm. A 177.88 mm pulley was adapted and the parts of the blades that will cut the material are made of steel. The novelty of these blades is that they rotate in an inverse direction to cause the same air that they emit to attract the material to be ground. Finally, tests were carried out with the grinding, obtaining the EPS cut into small particles (less than 0.5 cm) and mixed with virgin material (Polystyrene) it was used in the process of slice injection, being demonstrated that it's possible to reuse it as raw material for the manufacture of injected pieces,

modifying the consumption cycle of these recycled making it more attractive in the plastics sector at lower costs, in addition to reducing the degree of contamination in the confined spaces for waste in the area.

Key words: Computer aided design, EPS, manufactured by injection, recycling and mill.

Resumen

En este proyecto se propone un nuevo diseño y construcción de una máquina densificadora (molino) para el proceso de reciclaje de poliestireno expandido (unicel-EPS) y que sea incorporado a un proceso de inyección. Este material conocido en México como unicel, es muy utilizado en todo el país por su bajo precio y fácil acceso, sin embargo, es un material que no se recicla de manera potencial, ya que por sus propiedades, resulta difícil hacerlo en molinos convencionales. Aprovechando la zona en la que se desarrolla la investigación, zona oriente del estado de México, se fabricó un molino que permitiera la molienda del material EPS. Para llegar al nuevo diseño de la máquina, se realizaron bosquejos asistidos por computadora cuya finalidad fue generar el prototipo, y que con la ayuda de una impresora 3D se revisaran las partes de las cuchillas. El molino propuesto basa su mecanismo en un motor trifásico de 5 Hp de fuerza y una velocidad de 1750 rpm. Se adaptó una polea de 177.88 mm y las partes de las cuchillas que cortarán el material son de acero, lo novedoso de éstas, es que giran en sentido inverso para provocar que el mismo aire que emanan atraigan el material a moler. Finalmente, se realizaron pruebas con la molienda, logrando obtener el EPS cortado en partículas pequeñas (menos de 0.5 cm) y que mezclado con material virgen (Poliestireno) se utilizó en el proceso de inyección de rodajas, quedando demostrado que es posible reutilizarlo como materia prima para la fabricación de piezas inyectadas, modificando el ciclo de consumo de estos reciclados haciéndolo más atractivo en el sector de los plásticos a costos más bajos, además de disminuir el grado de contaminación en los espacios confinados para los residuos de la zona.

Palabras clave: Diseño asistido por computadora, EPS, manufactura por inyección, molino, reciclaje.

I. Introducción

Hoy en día, el reciclaje está presente de manera cotidiana, se presenta en campañas, propagandas, incluso como argot publicitario de muchos productos, y es tal la presencia de este verbo que le restamos importancia y se cree muchas veces que se da de manera habitual, suponemos que llevamos a cabo acciones de reciclaje, sin embargo, el reciclaje de materiales a los que es posible recuperarlos y darles vida útil en una segunda etapa es más complejo, como son: el papel, el plástico, el vidrio, las pilas, entre otros. Se recupera y se recicla principalmente por personas que tiene un beneficio monetario, el procesamiento de todo este tipo de materiales para su recuperación tiene un alto costo, donde necesariamente la infraestructura tiene un rol de vital importancia en el ciclo de recuperación de estos materiales.

El poliestireno expandido (EPS), conocido en México como unicel, es un material muy utilizado en todo el país por su bajo precio y su fácil acceso, sin embargo, es un material que no se recicla de manera potencial, ya que su proceso de reutilización es extenso y

costoso, esto ocasiona que lo lleven a tiraderos a cielo abierto donde se cubre con otros residuos, sin importar que existan normas, las cuales establecen la necesidad de un trato especial para este material, ya que su degradación lleva décadas. En los últimos años, algunas empresas y estudiantes han estado buscando distintas maneras de reciclar este material. Por ejemplo, la empresa Dart de México [1], dedicada a la fabricación de vasos de unicel, junto con un proyecto realizado en la UNAM comenzaron una campaña de reciclaje, la cual obtuvo gran difusión en los medios electrónicos, sin embargo este material pasa a manos extranjeras, ya que después de ser recolectados y triturado, lo exportan a Estados Unidos, donde le dan el trato final, el cual es convertido en artículos de diferente índole.

Los molinos actuales de tipo convencional, están diseñados para utilizarse en la molienda de materiales plásticos con densidad alta, su funcionamiento está basado en un sistema de cuchillas que giran en sentido del reloj, provocando que el material por gravedad, caiga y se efectúe la molida. Al ser los materiales de densidad alta, se provoca el granulado de menos de 0.5 cm ninguno de estos propios para el EPS. También cabe señalar, que existen en el mercado algunos molinos de rodillos, sin embargo son para grandes capacidades de material (de toneladas), por lo que su costo y adquisición para los productores/recicladores es exorbitante el costo.

Así entonces, surge la necesidad de proveer maquinaria que resulte atractiva en costo para empresarios o dependencias gubernamentales, de tecnología actual y acorde a las necesidades propias del entorno de la zona oriente del estado de México y a las capacidades de operación, por ello la meta de esta investigación es proporcionar una máquina (molino) para el tratamiento de material con capacidades de reciclaje en particular para el EPS.

El poliestireno expandible (EPS) es un material copolímero con olor a benceno, proveniente del monómero de estireno. Para su fabricación, durante la polimerización se incorpora un agente expansor como el n-pentano, con el cual se logra obtener un producto con apariencia espumosa cuando se somete a un procesamiento que involucra el uso de vapor saturado [2].

Los productos elaborados con este material son expuestos en confinamientos abiertos (basureros) y quedan ahí degradándose o son utilizados como relleno sanitario. En el año de 2008 en España, se realizó un estudio para poder reincorporar al proceso productivo el EPS, el ensayo consistió en proponer una desgasificación (quitarle el volumen espumante al material) por medio de dos rodillos giratorios a 110°C, posterior a este proceso se pasa a un molino convencional para obtener el granulado en forma de pellets para ser reincorporado con cierta cantidad de material virgen de Poliestireno (PS) en procesos de inyección y extrusión [3]. Sin embargo, esta propuesta obliga a los productores a tener doble equipo en sus procesos, el de rodillos y aparte el molino convencional, por lo que el tiempo invertido para su recuperación es alto.

Con el objetivo de encontrar soluciones para los desechos plásticos, se han desarrollado métodos que incluyen los cambios físicos y los químicos. Los métodos físicos consisten en sistemas para lavado y separación, molienda, fusión y granulado. Los métodos químicos no han prosperado fuera de laboratorio, ya que el costo es muy alto [4]. Por ejemplo, se ha buscado la disolución del material EPS con un disolvente natural “limoneno”, donde se utilizaron dos tipos: limoneno de naranja y de limón, el primero por ser menos ácido y de menor capacidad de

ataque al EPS que el segundo, logrando apenas una disolución en escamas, sin llegar a un granulado [5]. Las razones más importantes para reciclar plásticos son, por ecología, por economía y por escasez. La ecología es tal vez, la razón más importante, el conservar el medio ambiente sin afectaciones por resinas plásticas es un compromiso para preservar especies y hábitat.

También se justifica el uso de este material reciclado para procesos como el de inyección, aunque ya se ha utilizado esta molienda mezclada con yeso o escayola y agua para construir pastas que contienen residuos de EPS que se moldean como placas y paneles para la construcción [6]. En general, se ha encontrado una gran utilidad en el ramo de la construcción, ya que no es necesario contar con un EPS con granulado fino para utilizarlo como complemento en la mezcla de cemento para pavimentación de avenidas. Este proyecto, propone realizar un molino que sea de fácil acceso a los productores de piezas que no necesitan un material 100% virgen y que por las propiedades del EPS, sea viable incorporar material reciclado en el proceso de inyección de plásticos.

II. Materiales y equipos

Para proponer una máquina que pueda triturar el EPS, se buscó primeramente entre los proveedores existentes los modelos que pudieran granular el material, sin embargo entre los fabricantes nacionales de este tipo de equipos, existen solo en tamaños grandes, es decir, molinos de altas capacidades que muelen entre 300 a 500 kg, sus dimensiones son extremadamente grandes y de costos elevados. Además, se debe considerar que en su gran mayoría, son de fabricación extranjera, por lo que los costos se elevan para el traslado y pago de importación. Otro inconveniente encontrado, es que existen pocos fabricantes de molinos para material EPS, de hecho, una condición para poderlo granular, es que sea combinado en la carga con otro tipo de estireno, ya que por sí solo, no se puede realizar la molienda por tener una densidad baja (entre 10 y 25 kg/m^3).

Con esta información recabada, se inició con analizar modelos de molinos de fabricación nacional pero para otros materiales, es decir, de distintas propiedades a las del EPS, particularmente se toma por referencia un molino para material poliestireno (PS). El PS es un material hasta cierto punto más comercial y de mayor reutilización.

Para el nuevo molino propuesto, se utilizó el software Solid Works, ya que es muy amigable para el diseño de componentes o partes de maquinaria, además que permite visualizar los ensambles en el molino para simular el comportamiento del material EPS dentro de la máquina propuesta. Para las cuatro cuchillas se utilizó un Acero SISA D2, es un acero al alto carbón y alto cromo, dimensionalmente es estable de excelente rendimiento al corte y resistente al desgaste, especialmente apto para temple al aire. Las cuchillas fueron maquinadas en un CNC (control numérico por computadora) de 5 ejes, es decir, la herramienta de corte se mueve a través de los ejes lineales X, Y y Z y gira sobre los ejes A y B. La ventaja de este equipo es que se puede maquinar las cinco caras de una pieza en un solo montaje. Se propone el uso de un motor trifásico de 10 HP marca Siemens, es de alta velocidad, de inducción cerrada y una tensión de 460 V. Se utilizaron dos poleas en hierro, de 177.88 mm y de 127 mm. Se utilizaron engranes cónicos rectos para ángulo normal de 90°.

III. Método experimental

Se realizó el modelo virtual (Solid Works) de las cuchillas para montarlas en el sistema del

molino y hacerlo girar para medir el impacto del aire, el software proporcionó una base de datos que permitió visualizar el comportamiento del material dentro del molino. El sistema de cuchillas consta de cuatro piezas con acero para corte, el cual tiene un tratamiento térmico para poder ser utilizado al máximo que se montó en un plato de acero para sujetarlas. Se logró visualizar, que invirtiendo el giro de las cuchillas, el aire en vez de expulsar el EPS a las paredes de la carcasa del motor, lo atrae, con lo que se determina que el giro de las cuchillas debe ser inverso a los modelos tradicionales.

El paso siguiente fue determinar la capacidad y tipo del motor. Como se busca que el molino sea económico y de fácil manipulación, se tomó la decisión de usar uno tipo trifásico de 10 HP de marca comercial. En seguida para hacer funcionar el motor, se hizo el cálculo de la fuerza y la velocidad en relación a una polea de 177.88 mm.

Un sistema de poleas en estas máquinas, son importantes porque tienen la función de aumentar o disminuir la velocidad de giro de la polea respecto al eje del motor, lo que al final se traduce en aire. Se analizó el giro de cada uno de los engranes para modificar la velocidad y fuese más lento. Se realizó una simulación de este mecanismo, donde la muestra fue un diferencia de automóvil con engranes cónicos rectos. Los engranajes son sistemas mecánicos utilizados para transmitir potencia en diferentes configuraciones espaciales. Los engranajes cónicos rectos se caracterizan porque la directriz de los dientes pertenece a un plano axial que también contiene el eje de rotación de la rueda dentada [7]. Se decidió utilizar engranajes tipo cónico-recto por su eficiencia, para mayor referencia se muestra el rango de eficiencias según el tipo de engranaje en la tabla 1.

Tabla 1. Eficiencia de engranajes.

Tipo de engranaje	Rango de eficiencias (%)
Cilíndrico recto	97-99
Cilíndrico helicoidal	90-99
Cónico recto	**97-99**
Cónico espiral	90-99
Hipoidal	90-98
Sin fin	60-99

Fuente: Mantenimiento mecánico de máquinas [12].

También se realizó el cálculo del engrane de reducción, éste se forma por el piñón que está conectado al sistema de poleas provenientes del motor. Este engrane tiene la función de cambiar la dirección de la fuerza de 90° y adaptar el giro del motor a la velocidad de rotación de las poleas. El cálculo de la velocidad y fuerza del engrane está dado por la Ecuación 1:

$$(Z_1)(n_1) = (Z_2)(n_2) \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:
Z_1 es el número de dientes del engrane no.2
Z_2 es el número de dientes del engrane no.3
n_1 es el número de revoluciones por minuto (r.p.m.) del engrane 2
n_2 es la incógnita, la cual corresponde a la velocidad del engranaje 3

Lo que se calculó, es el número de revoluciones para lograr granular el EPS, si se sustituyen los valores, se tiene lo siguiente:

Datos reales:
Z_1 = 30 dientes (especificaciones del proveedor)
Z_2 = 60 dientes (especificaciones del proveedor)
n_1 = 2450 r.p.m.

Sustituyendo, se tiene:

$$n_2 = \frac{30\,(2450)}{60} = 1225 \text{ rpm}$$

Para que estos engranes pudieran controlar la velocidad y generar menos aire de expulsión, se montaron en un motor diferencial, obteniéndose una velocidad de 1,225 r.p.m. y

una fuerza de 10 Hp, con lo que se calculó que estos parámetros eran los ideales para poder triturar y extraer el aire del EPS mediante la fricción, esto aumenta la temperatura del EPS, logrando su granulación.

El sistema eléctrico de la máquina fue sencillo, el motor trifásico con un botón de paro y uno de encendido, cuenta con tres líneas de corriente, cuando se acciona el encendido las tres líneas se energizan y comienza a funcionar. Al presionar el botón de paro, el sistema deja de tener energía, entonces el motor se apaga.

Según el software utilizado, con estos diseños de las poleas y el montaje simulado, se logra realizar la molienda del material EPS. Sin embargo, también se consideró realizar la prueba con 20 kg de material EPS recolectado de confinamientos (basureros) de la zona, obviamente el material recolectado presentaba residuos de otros materiales, como papel, comida, grasa, entre otros, y lo que se utilizó para la molienda se trató de limpiar lo más posible.

IV. Resultados

Este prototipo de molino fue montándose según las especificaciones detalladas en el apartado III, primeramente se determinó el sistema de cuchillas. El posicionamiento de estas cuchillas fue clave para la funcionalidad del molino, dos de ellas se acomodaron en forma horizontal (180°) y las otras dos de manera cruzada inclinadas a 30°, figura 1.

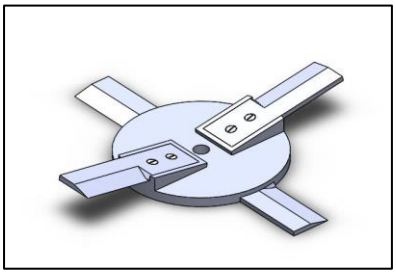


Figura 1. Acomodo de cuchillas.

Posteriormente, con el motor trifásico se colocaron las poleas, a la grande (de 177.88 mm) se le denominó “polea motriz”. El movimiento del eje del motor suele transmitirse a la polea que tiene conectada, y ésta a su vez está conectada con una correa transmisora a una polea de 127 mm, conocida como polea conducida. A este conjunto de partes se le conoce como sistema de poleas, como se ilustra en la figura 2.

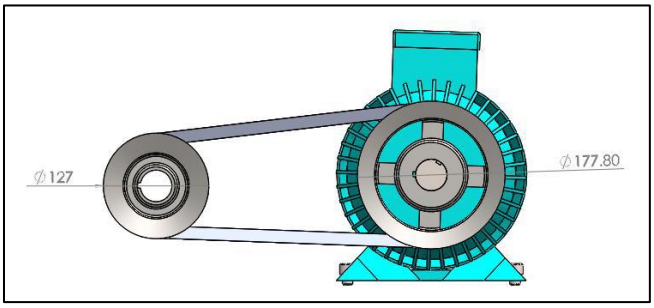


Figura 2. Sistema de poleas conectado al motor.

Posteriormente se ensamblaron los engranes en el sistema diferencial, logrando así el giro inverso de las cuchillas para provocar la molienda. Cabe señalar que este sistema “inverso” hace la diferencia con los molinos tradicionales del mercado. El ensamble de los engranes se aprecia en la figura 3.

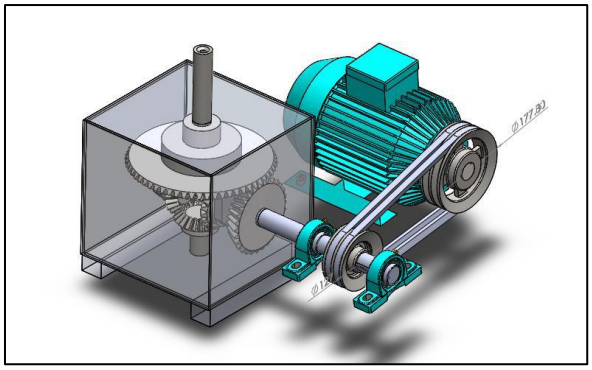


Figura 3. Conexión del sistema completo (motor y poleas).

Una vez determinados los tres sistemas modificados, se conjuntaron las partes en un cuerpo convencional de molino, en la base se montó todo el sistema mecánico modificado y ensamblado que va del motor al sistema de poleas y éste a su vez, va conectado con el engranaje diferencial que tiene una flecha en forma vertical, la cual sostiene al sistema de cuchillas. Las cuchillas se encuentran dentro de un contenedor, que es donde se depositarán los residuos del material EPS, también cuenta con un contenedor que está a un costado de la base, que sirve como depósito del material ya molido, tal y como se observa en la figura 4.

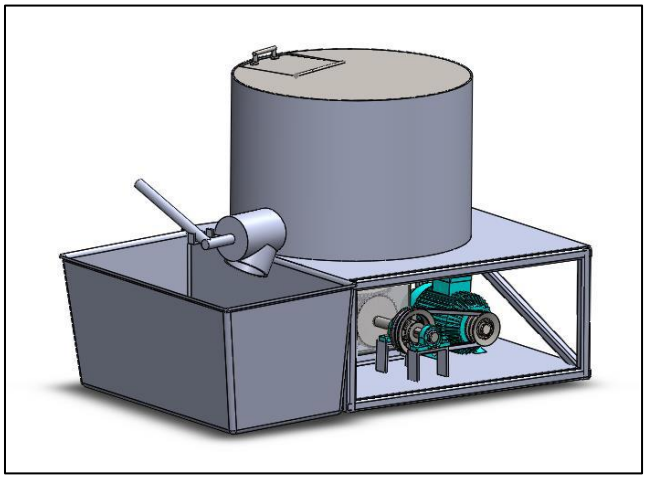


Figura 4. Diseño del molino.

Para validar el funcionamiento de la nueva máquina, se tomó la decisión de hacer pruebas con material real, es decir, se buscó en los centros de acopio de la región residuos de productos fabricados en EPS, encontrando recipientes de comida, molduras de construcción, embalajes, etc.

Al colocar el material a moler dentro del espacio correspondiente, las cuchillas hicieron los cortes correspondientes, en partículas diminutas, el tiempo de molienda de 15 kg fue de aproximadamente 30 minutos. Se observó el comportamiento de la máquina, y se determinó que al tener un movimiento constante girando sobre el eje, los desechos provocan una fricción con la pared del contenedor, esto provoca que los materiales triturados vayan aumentando su temperatura, como se muestra en la figura 5. Al estar

triturados los desechos y aumentando su temperatura de manera constante, el material comienza a perder su volumen, ya que el calor que provoca la fricción tiene como resultado extracción del aire que tiene el EPS hasta dejarlo en forma de granos de arena rugosa, como en la figura 6.



Figura 5. Trituración del EPS.



Figura 6. Material EPS molido.

V. Conclusiones

El prototipo del molino realizado funcionó según el diseño simulado, la novedad del acomodo de las cuchillas hacen que la molienda resulte satisfactoria, comparativamente con los molinos convencionales, el aire hace que el EPS sea expulsado a las paredes de la carcasa del molino, lo que resulta en riesgos para los usuarios al meter las manos para empujarlo hacia las cuchillas. Este molino, será de bajo costo y de dimensiones convencionales, además de que no se necesita ningún tratamiento previo del material a reciclar para su utilización. Se estima el consumo de energía eléctrica similar a los tradicionales de su tipo de motor.

Se molieron cerca de 20 kg de EPS confirmando que sí se puede reciclar e incorporar a otros proceso como la inyección o extrusión, ya que al tenerlo granulado se combina con material virgen en baja proporción de carga y fabricar diversos productos. Las dos grandes aportaciones de este proyecto consisten en triturar el EPS de manera económica y al alcance de muchos recicladores y la otra, la extracción de aire del propio material, ya que aunque se tenga el EPS semitriturado, no es posible incorporarlo a otros procesos, si no previamente se le extrae lo “expandido” al material.

Con este dispositivo se concluye que es viable reutilizar el EPS para fabricar productos del tipo industrial, como rodajas, placas, u otros, donde la pureza del material es un segundo término. Es importante mencionar, que los productos que se fabriquen con este material recuperado, no deben ser productos de contacto directo con alimentos o productos farmacéuticos, ya que no serían inocuos o de grado alimenticio.

VI. Bibliografía

[1] Chávez, H.A. (2014). Estudio de la interacción entre el proceso de extrusión y el EPS. México.

[2] Brydson., J., 2009. *Plastics materials.*. 5ta. Edición ed. Great Britain: Butterworths.

[3] Samper, M.D. 2008. *Reducción y caracterización del residuo de poliestireno expandido.* I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Universidad Politécnica de Valencia, España.

[4] Verlag, N., 2009. *Dinamic Plastics.* 1a. Edición. ed. Alemania: Deutsches Kunststoff Museum.

[5] Baeza, J. C., 2014. Aprovechamiento de nuevos productos en base a poliestireno expandido recuperado.. *Revista Colombiana de Materiales,* Issue 5, pp. 15-20.

[6] Francisco J. González, J. L., 2008. Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para uso en la construcción. *Informes de la construcción,* 60(509), pp. 35-43.

[7] Sánchez., M., 2006. *Mantenimiento mecánico de máquinas.* 1a. Edición ed. España: Universidad Jaumed.