

Diseño de una lavadora de plástico reciclado

Design of a recycled plastic cleaning-machine

T. Crisanto P.

Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación
Apartado Postal 17-01-2759
Quito, Ecuador
taniacrisanto@hotmail.com

Resumen

En el presente trabajo se analiza el diseño de una alternativa para la limpieza del plástico reciclado, de la basura "sólida", es decir, comida, papel, piedras, polvo, etc., que se encuentra adherido a él. Se plantean tres alternativas de diseño, siendo escogida aquella basada en la rotación de un par de aletas que con ayuda de la presión de agua que llega al material a través de una flauta de ingreso, logran desprender del plástico reciclado la basura "sólida". El elemento crítico en este diseño es el eje motor, el cual recibe la energía del sistema motor y transmite la potencia hacia el plástico. El diseño de este elemento se realiza por dos métodos: uno basado en la evaluación experimental que arroja una fórmula experimental encontrada por Luis Pareto y el segundo basado en un análisis por fatiga. Los cálculos son comprobados mediante un análisis en el paquete SAP 2000. Un aspecto interesante del proyecto constituye el diseño de la flauta de ingreso del agua, que se realiza en fase experimental para luego aplicar la ecuación de la continuidad y así obtener el diámetro óptimo para los agujeros de la flauta.

Palabras Claves: Lavado de plástico reciclado, diseño de máquinas, reciclaje.

Abstract

This investigation demonstrates how to design an alternative cleaning machine tailor-made for recycled plastic, which uses disposable materials or common solid waste, that normally includes dust adhered to waste. Three possible designs were considered. The selected design uses two rotating flaps, which, together with water pressure that flows through the entrance chute, separates the plastic to be recycled from the rest of solid waste. The driving force is the most important part of the design, since it receives the energetic impact and channels it toward the plastic. This design is based upon two methods: One which is based on the testing formula found in Louis Pareto's Practical Manual of Machine Elements; the other is based on fatigue analysis; Calculus assessment is made based on the SAP 2000 package, which is used to confirm results. An interesting aspect of the project is the design of the water flap chute, thereby, as it was previously stated allows the water to flow toward the plastic. This is at present in an experimental stage. Continuity equation will be used to obtain the best suitable diameter for the flute holes.

Keywords: Recycled plastic cleaning, machine design, recycling.

1 Introducción

Los habitantes del mundo cada día ven con preocupación como nuestro único hogar se está muriendo por las innumerables fuentes de contaminación que el hombre ha creado en su infinita sapiencia. Sumado a esto, las condiciones actuales del mundo, en el que sufre una gran recesión económica, sobre todo los tradicionales países tercer-

mundistas, se hace necesario buscar soluciones que conjuguen tanto una línea verde de crecimiento con fuentes de trabajo que sean seguras y que perduren en el tiempo. Es así como el RECICLAJE se transforma en una actividad que vela por nuestro medioambiente, es lucrativa, de creciente demanda e inagotable materia prima.

En las microempresas verdes, el reciclaje se basa en tres pasos principales: separación, limpieza y peletización.

Estos pasos, actualmente, se desarrollan de manera manual, atentando directamente a la salud de quienes laboran en esta actividad

En el presente trabajo se propone el diseño de una máquina lavadora de plástico reciclado para el proceso de limpieza que permita a las microempresas de reciclaje optimizar su productividad (Crisanto y Miranda, 2000).

Esta máquina además de ser de diseño sencillo es de fácil construcción, mantenimiento, operación y bajo costo, que permite introducir una herramienta altamente lucrativa al proceso de producción, y fortalecer las acciones de conservación del planeta.

2 El reciclaje

El reciclaje es un proceso que, por las ventajas que ofrecen algunos desperdicios o componentes de productos fabricados de continuar brindando similares o distintos servicios luego que han cumplido la función para la que han sido originalmente elaborados, sirven para, en alguna medida, recuperar a estos componentes (Fouhy y Kim, 1993; Myers y Farrisey, 1993).

El material reciclable que se encuentra en la basura, en su mayor parte está constituido de papel, cartón y plástico. Los últimos pueden clasificarse en dos grandes categorías: termoplásticos y termofraguables.

Existen cuatro tipos de reciclaje de plásticos: Primario, secundario, terciario y cuaternario (Myers y Farrisey, 1993)

2.1 Reciclaje primario

Consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos, como el PET, HDPE, LDPE, PP, PS, PVC. Este a su vez tiene tres procesos: Separación, limpieza y peletizado

2.2 Reciclaje secundario.

Convierte al plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original. Ejemplo de plásticos recuperados por esta forma son los termoestables. Este elimina la necesidad de separar y limpiar los plásticos. La mezcla de plásticos, incluyendo tapas de aluminio, etiquetas de papel, polvo, se muelen y funden juntas dentro de un extrusor. Los plásticos pasan por un tubo con una gran abertura hacia un baño de agua, y luego son cortados a varias longitudes dependiendo de las especificaciones del cliente.

2.3 Reciclaje terciario

Degrada al polímero a compuestos químicos básicos y combustible. Este tipo de reciclaje es fundamentalmente diferente de los dos primeros mencionados anteriormente porque involucra un cambio químico no solo un cambio fi-

sico. En este reciclaje terciario las largas cadenas del polímero se rompen en pequeños hidrocarburos (monómeros) o monóxido de carbono e hidrógeno. Hoy en día el reciclaje terciario cuenta con dos métodos principales: Pirolisis y gasificación.

2.4 Reciclaje cuaternario

Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir, el plástico es usado como un combustible.

3 Diseño de la máquina.

El proceso de limpieza se hace necesario pues el plástico generalmente está contaminado de polvo, comida, papel, piedrecillas (basura sólida), pegamento, grasa, químicos, etc. En un proceso de alta tecnología los plásticos deben ser granulados, este granulado es limpiado y luego es colocado sobre pantallas móviles. También se usan hidrociclones cuando el deshecho plástico está muy contaminado (<http://www.buildnet.es/maquinaria/bmtipos.as?epigrafe=6>)

Cabe señalar que el plástico reciclado con estos pasos se lo usa para elaborar fundas de basura, mangueras para electricidad o cualquier otro producto que no sea para el uso humano.

El plástico previamente debe ser clasificado por el tamaño y luego ir a dos etapas de lavado: la limpieza de basura "sólida" y limpieza de químicos que se lo hará con detergentes, no con solventes pues la clasificación previa no está basada en densidades y características propias del plástico (Fouhy y Kim, 1993)

3.1 Selección de alternativas

La máquina que ha diseñarse debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Parámetros funcionales
 - Capacidad de lavado de 1500 Kg/día.
 - Garantizar la limpieza del plástico de la basura sólida
 - Trabajo continuo durante 8 horas
 - Costo no superior a los \$3000, pues su similar en los países europeos está en \$7600 (CIF) (<http://www.buildnet.es/maquinaria/bmtipos.as?epigrafe=6>;
<http://www.pci.com.ar/oport/prodint//prodint.htm>)
- b) Requerimientos funcionales:
 - Facilidad de montaje y desmontaje.
 - Área de trabajo de 36m²
 - Dos operadores como máximo

Tomando en cuenta lo anterior se plantearon tres alternativas: Sistema de agua a presión, sistema de tanques de

agua y sistema de aletas rotatorias.

Se analizaron los sistemas en cuanto a ventajas y desventajas, tomando en cuenta criterios como, costo de construcción, operabilidad, calidad de lavado, continuidad de trabajo, mantenimiento además de área de funcionamiento requerida.

Todos estos puntos fueron evaluados objetivamente, y los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores de comparación

Parámetro	Factor F	Alt. 1		Alt. 2		Alt. 3	
		P	St	P	St	P	St
Costo de Const.	1	3	3	3	3	2	2
Costo de Oper.	0,9	3	2,7	2	1,8	4	3,6
Continuidad Operación.	0,8	1	0,8	2	1,6	5	4
Mant.	0,8	2	1,6	1	0,8	4	3,2
Operarios	0,7	1	0,7	5	3,5	1	0,7
TOTAL			8,8		10,7		13,5

Después de comparar los resultados de la Tabla 1 observa que la alternativa más viable es la número 3.

3.2 Diseño de la alternativa seleccionada

El lavado del plástico, según este sistema, se basa en un sistema de aletas rotatorias, similar a una lavadora de ropa pero con eje horizontal, en el cual el lavado se basa en el movimiento del plástico provocado por aletas sujetadas en eje soportado en un semitambor horizontal (Crisanto y Miranda, 2000; Guamán y Cedillo, 1994)

El agua ingresa a la máquina (Figs. 1 y 2) por su parte superior a través de una flauta. La máquina posee tres sistemas principales:

- Sistema motor, que incluye el motor, bandas cadenas, poleas, piñones, y rodamientos
- Sistema de lavado, que incluye un eje (elemento crítico), flauta de ingreso del agua, paletas de lavado, canastilla y rodamientos
- Carcasa y estructura.

Se presenta un esquema de la concepción de la máquina. Para realizar el diseño del eje se consideran las siguientes cargas: plástico, agua y peso de las paletas.

Para cumplir con la capacidad de lavado impuesta en los parámetros funcionales la carga que se considera en el diseño es 6.5 kg. De plástico sucio

Se estima la carga de agua mediante una prueba donde se arma cubos de plástico sucio, se mide sus aristas, se su-

merge en agua y también se estima este volumen de agua. Por último se multiplica por un factor, pues el agua no permanece como una constante, sino que circula.

De lo anterior se tiene un volumen de agua de 125000 cm³, es decir, un peso por carga de agua P_{H2O} = 31 kg

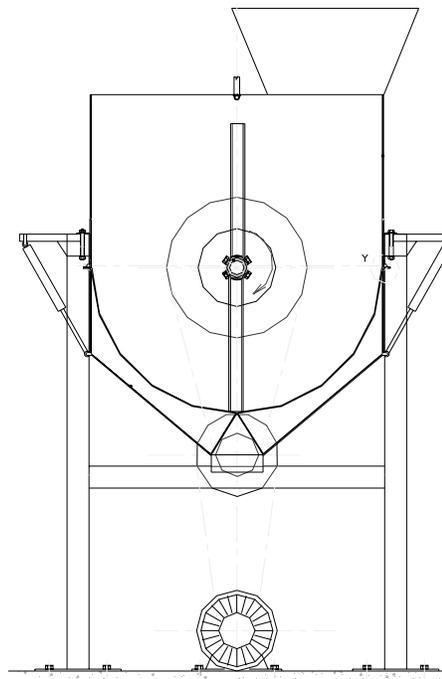


Fig. 1. Vista frontal de la alternativa seleccionada

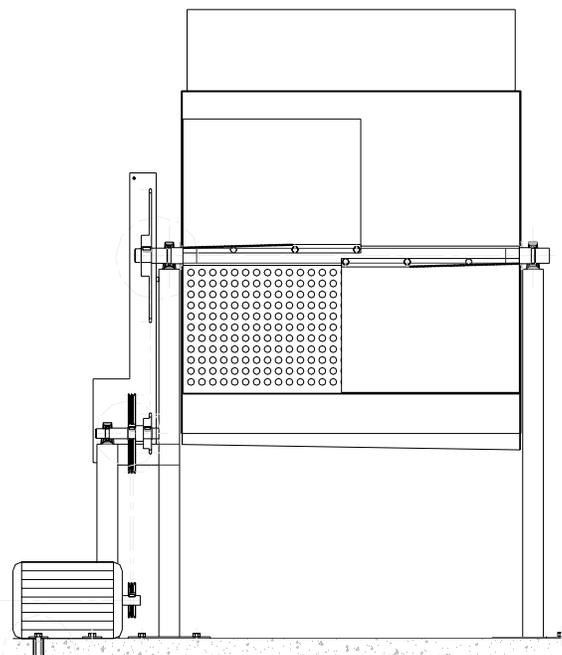


Fig. 2. Vista lateral de la alternativa seleccionada.

Las paletas de lavado son otro elemento que influye en la carga de diseño del eje. Este peso, es una fuerza que solamente actúa a flexión. Las paletas están montadas con un ángulo de hélice de 7° .

El material necesario para esta aplicación, es un acero resistente a la abrasión ya que este elemento va a estar en movimiento y en contacto directo con el plástico sucio, es decir, en contacto directo con desechos orgánicos y partículas de tierra. El acero más recomendado para esta aplicación es uno con alto contenido de manganeso (sobre el 8%).

El peso de las paletas está dado por las dimensiones básicas de la misma. También se añade un peso adicional debido al sistema de sujeción de las paletas con el eje, por lo que el peso de las dos paletas que se concibe en el diseño es: $P_{2 \text{ paleta}} = 34 \text{ kg}$

3.2.1 Sistema motor (Fig. 3)

Basándose en recomendaciones la velocidad adecuada para este tipo de aplicaciones está en el rango de 200 a 250 rpm. Se escogió el valor de 225 rpm. (Pareto, 1976)

Previo a la selección del motor se calcula la potencia necesaria de la máquina propiamente dicha, P_3 , de lo que se obtiene un valor de 5.72 HP, por lo que la potencia necesaria en el motor es: $P_1 = 7 \text{ HP}$

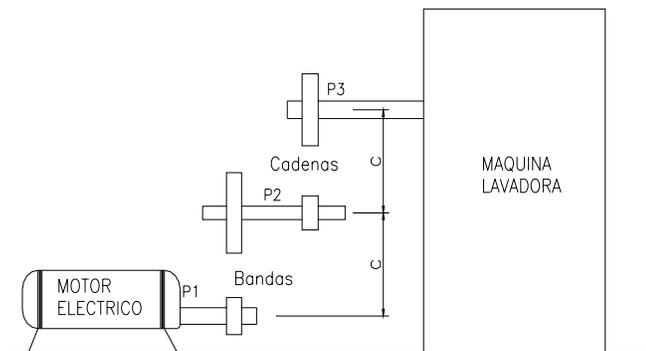


Fig.3. Esquema del sistema motor

3.2.2 Diseño del eje

El diseño del eje se lo hace mediante tres métodos: Cálculo del eje mediante análisis por fatiga (Juvinal, 1993; Shigley y Meschke, 1995), mediante una fórmula experimental y análisis por medio del paquete SAP 2000 a manera de comprobación.

La fórmula experimental hallada propuesta, que facilita un punto de partida en el diseño, se basa en el Momento torsor que actúa en el eje, las revoluciones a la que gira y la potencia requerida por el eje en ese punto, de lo que resulta un eje de 50.63 mm.

Para iniciar el cálculo de eje mediante un análisis por fatiga, se realiza las siguientes consideraciones:

- Toda la carga del plástico, en el momento crítico, se encuentra solamente en una aleta.

- La carga del plástico está situada en el centro geométrico de la aleta.
- La carga se dirige en forma perpendicular a la aleta.
- El ángulo de inclinación de la aleta es de 7° respecto a la horizontal.
- Existe una fuerza generada por la cadena, al momento de transmitir la potencia.

Ahora bien, las fuerzas que actúan sobre el eje, son:

- Fuerza generada por la cadena al transmitir la potencia.
- Fuerza de la carga del plástico
- Reacciones en los apoyos del eje
- Peso de la segunda aleta

Se toma los valores de esfuerzos, y momentos para realizar los cálculos, y basándose en el costo se selecciona el acero de transmisión 1020, cuyas propiedades son:

$S_u = 530 \text{ MPa}$

$S_y = 450 \text{ MPa}$

$BHN = 111 \text{ Brinell}$.

Las razones de D/d y r/d y la constante K_t (Shigley y Meschke, 1995), se consideran respectivamente 1.25, 0.034 y 2.2 para cargas de flexión y 1.8 para cargas torsionales. Se considera un factor de seguridad de 2.5 y se obtiene diámetro para el eje, cuyo valor para el punto crítico es: $d = 55.68 \text{ mm}$.

A manera de comprobación se utiliza el paquete SAP 2000, el cual arroja un valor de $d = 54 \text{ mm}$, lo que corrobora el valor obtenido mediante los otros dos métodos

4 Diseño del conducto de ingreso del agua

En la selección del diámetro de la tubería se toma en cuenta las pérdidas de carga en las tuberías y accesorios. Además se han realizado mediciones del volumen y tiempo en la red de distribución, para poder determinar el caudal, tal como se muestra en la Tabla 2 (Guamán-Cedillo, 1994)

Pensando en la facilidad de construcción, este elemento se concibe de la siguiente manera:

- 1) El flujo de agua ingresa por la mitad de elemento, es decir, a 625 mm, por lo que el análisis se realiza solamente en la una parte del elemento, ya que es simétrico.
- 2) Es de tubería galvanizada de 19.05 mm (3/4 ") más los accesorios necesarios.

Se construyeron varios prototipos de flauta de ingreso de agua, en los que se practicaron agujeros de determinados diámetros y se probó la eficiencia del lavado. Considerando las pruebas realizadas, se pudo observar que en diámetros de 1, 1.5 y 2 mm el lavado es de mala calidad; 2.5, 3 mm el lavado tiene una calidad buena y entre 3.5 y 4 mm el lavado es regular.

Los diámetros de 2.5 a 3 son los más recomendados pues:

- El chorro de agua golpea en el plástico y este se reparte en el área del mismo permitiendo un buen lavado.

- La velocidad y la fuerza con que llega el chorro produce movimiento en el plástico, que añadido al movimiento dado por las paletas dan como resultado un buen lavado.

5 Diseño de la canastilla

La canastilla es un elemento que permite la salida del agua de lavado, de desechos orgánicos y partículas de tierra. Por esta razón la canastilla es de un material resistente a la abrasión, es decir, con un alto contenido de manganeso.

Tabla 2 Cálculo del caudal de la red de distribución

Med. N°	Vol. (m ³)	t (s)	Q (m ³ /s)
1	0,0016	3	0,00053
2	0,0015	3	0,0005
3	0,0014	3	0,00047
4	0,0016	3	0,00053
5	0,0017	3	0,00057
6	0,0015	3	0,0005
7	0,0017	3	0,00057
8	0,0016	3	0,00053
9	0,0015	3	0,0005
10	0,0015	3	0,0005
Total			0,00052

La canastilla (Fig. 4) cubre la parte inferior de la máquina, la lámina con la que es fabricada se perfora para facilitar la descarga de los residuos de lavado. Además se la concibe con un arco de $r=0.785$ m

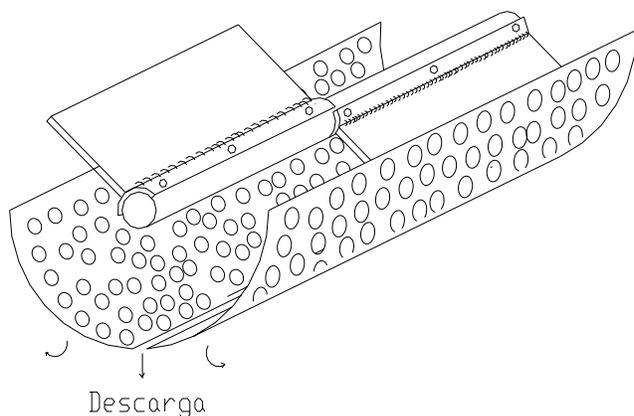


Fig. 4. Esquema de la canastilla y paletas

Después de realizado el diseño se ha obtenido una máquina de las características como se muestra en la Tabla 3.

Para constatar que los requerimientos funcionales y parámetros funcionales sean cumplidos a satisfacción, se

diseña un protocolo de pruebas.

a) Pruebas iniciales:

- La máquina trabajará a un 75% de la carga de diseño, durante un lapso de 1 hora. De esta operación se realizarán tres pruebas

Tabla 3: Especificaciones de la máquina

Variable	Capacidad nominal
Velocidad	200-250 r.p.m.
Largo	2.050 m
Ancho	1.56 m
Altura	2.3 m
Peso	185 Kg
Capacidad de lavado	6.5 kg/h
Tiempo de lavado	1 min.
Tiempo de descarga	1 min.
Volumen de agua	0,03125m ³ /carga plástico
Potencia motor	7 HP
Energía	220 V trifásica
Frecuencia	60 Hz

- Durante este lapso se verificará el trabajo de los elementos que constituyen el conjunto de carga y descarga, el consumo de potencia del motor, las r.p.m., etc. Mediante la utilización de un potenciómetro y tacómetro. Los resultados se anotarán en un formato como el indicado en la en la Tabla 4

b) Después del funcionamiento inicial, la máquina trabajará con toda la carga (100%) de diseño, verificando así por completo los resultados obtenidos en el diseño. Se realizan tres pruebas, y los resultados se anotarán en un formato como el indicado en la en la Tabla 4

Tabla 4. Formato para protocolo de pruebas

CARGA	Potencia [W]	Vel. angular [RPM]	Eficiencia de lavado [%]
A			
B			
C			

Durante la ejecución de las pruebas se debe (<http://www.builnet.es/maquinaria/bmtipos.as?epigrafe=6>
<http://www.pci.com.ar/oport/prodint//prodint.htm>
http://www.plastics-plastics.com/moreland_machinery_co.htm):

a) *Comprobar el tiempo de lavado.* El intervalo de lavado se medirá desde el momento mismo del ingreso del plástico hasta su descarga. El instrumento uti-

lizado en la medición será un cronómetro calibrado normalizado

- b) Comprobar de la *calidad del lavado del plástico*. Debido al grado de limpieza exigido para su venta, no se pretende entregar plástico libre de grasas, químicos u otras impurezas, se verificará que el plástico salga libre de tierra, papel, caucho, desecho metálico u orgánico. La verificación será visual
- c) Comprobar la *descarga*. Se verificará que las compuertas de descarga ubicadas en la parte inferior de la máquina roten y garanticen la evacuación de todo el material. La inspección será visual.

6 Conclusiones.

La lavadora de plástico reciclado, es una máquina que ofrecerá las siguientes ventajas:

- Un sistema de trabajo continuo, ya que, no se necesita parar la máquina ni para el ingreso ni para la descarga del material.
- El lavado de la máquina es eficiente porque el chorro de agua golpea directamente el objeto a lavar.
- Bajos costos, inclusive en la construcción del prototipo, que corresponde a los 2/5 del valor de unidades similares en los mercados europeos, pues sus mecanismos son bastante sencillos y es totalmente desmontable.
- Una vida útil de 2.48×10^6 Ciclos.
- Mejorar el ambiente de trabajo de las personas que laboran en esta actividad.
- Es una alternativa para los microempresarios de nuestros países Latinos, dedicados a la línea del reciclaje, debido a que incrementa la productividad.
- Cumple con los requerimientos y parámetros funcionales de diseño.
- Una posibilidad para conservar nuestro hogar, el planeta tierra, para las próximas generaciones.

7 Recomendaciones.

- Apoyar a la construcción de esta máquina, pues constituye parte de una solución técnica, social y

ecológica.

- Realizar un tratamiento para el agua, de modo que, permita reciclarla para posteriores lavados para un ahorro en el consumo de agua.

8 Agradecimientos

A la Escuela Politécnica Nacional, por respaldar el desarrollo de este diseño, y en especial al Dr. Víctor Manuel Cárdenas, Jefe del Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación, por sus acertadas opiniones y sugerencias.

Referencias

- Crisanto P, (2000), Diseño de una lavadora de plástico reciclado, Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito.
- Fouhy K and Kim I, (1993), Plastics recycling diminishing returns, Chemical Engineering.
- Guamán-Cedillo, (1994), Diseño y construcción de una máquina lavadora de tubos de ensayo, Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito.
- Hegberg BA and Gary RB, (1992), Mixed plastics recycling technology, Noyes Data Corporation, New Jersey.
- Myers JI and Farrissey WK, (1993), Energy recovery option for PIM polyurethanes. Designing for recyclability and reuse of automotive plastics, pp 37-40,
- Pareto L, (1976), Formulario de elementos de máquinas, Ediciones CEAC, Barcelona España.
- Rennie C and MacLean A, (1989), Salvaging the future: Waste-Based Production, Washington, D.C.
- Shigley J and Meschke C, (1995), Diseño en Ingeniería Mecánica. McGraw Hill. Colombia
- Warner AJ, (1970), Solid waste management of plastics, Manufacturing Chemists, Washington, D. C.
- <http://recicla.netfirms.com/principal.html>
- <http://www.recytrans.com/>
- <http://www.builnet.es/maquinaria/bmtipos.as?epigrafe=6>
- <http://www.pci.com.ar/oport/prodint/prodint.htm>
- http://www.plastics-plasticos.com/moreland_machinery_co.htm