

ARTÍCULO CIENTÍFICO ESPE-2014

Molino Automático Triturador de
Plástico.



**OPERACIONES TÉCNICAS
NAVALES E INDUSTRIALES S.A.**

Universidad De Las Fuerzas
Armadas ESPE
Departamento de Ciencias de la
Energía y Mecánica
Ingeniería Mecatrónica

Marco A. Godoy

MOLINO AUTOMÁTICO TRITURADOR DE PLÁSTICO CON SISTEMA DE CONTROL DE PESO PARA LA EMPRESA OTNISA S.A.

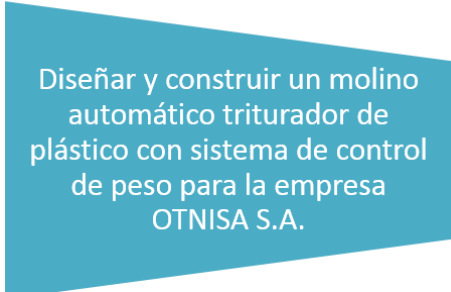
Marco Antonio Godoy Campos

INTRODUCCIÓN

La constante necesidad de reducir los índices de contaminación en todo el mundo ha permitido el desarrollo de varias iniciativas de reciclaje de desechos plásticos, la mayor parte de la afectación el territorio ecuatoriano está en el medio ambiente, la biodiversidad de las especies que habitan en el mar y la extinción de especies animales de las Islas Galápagos. En muchos casos esta contaminación en el mar es causada por la excesiva acumulación de desechos plásticos a bordo de las navieras nacionales e internacionales, el crecimiento poblacional, el consumismo, etc. El presente proyecto hace referencia al diseño y construcción de un molino automático triturador de plástico que permita reducir el tamaño de los desechos plásticos producidos en las navieras, de 5 metros cúbicos de botellas plásticas hasta 2 metros cúbicos en hojuelas de PET triturado con dimensiones promedio de 8.76x8.03mm. La implementación de un sistema de control de peso permitirá mantener un registro del PET triturado, un dato importante para los informes de

tratamiento adecuado de desechos sólidos abordado de las embarcaciones. Para la Empresa OTNISA S.A. representa una gran iniciativa y un proyecto de preservación ambiental para evitar la contaminación de plásticos en el mar y brinda grandes beneficios de optimización de espacios a bordo de las navieras así también incentiva las buenas prácticas ambientales.

OBJETIVOS:



Diseñar y construir un molino automático triturador de plástico con sistema de control de peso para la empresa OTNISA S.A.

Fig. 1 Objetivo General

- Construir un molino automático triturador de plástico basado en la investigación de molinos existentes en el mercado y la información

técnica proporcionada por la empresa auspiciante.

- Proveer de una tentativa solución al problema de espacio que se presenta actualmente a bordo de las navieras y a su vez se enfocará en prevenir la contaminación marina.
- Implementar un sistema de control de peso que permita el registro adecuado de la cantidad de plástico PET triturado, necesario para el posterior análisis de desechos plásticos responsabilidad ambiental que realizan las embarcaciones.

HIPÓTESIS

El adecuado diseño de un molino automático triturador de plástico con sistema de control de peso destinado para el uso en embarcaciones, es motivado por un interés genuino ante las posibles consecuencias o efectos adversos de la contaminación marina, además permitirá alcanzar un sistema de gestión de desechos plásticos con resultados eficientes y eficaces.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA



Fig. 2 Análisis del problema

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

CARACTERÍSTICAS	DETALLE
Dimensiones máximas de botellas a triturar. [mm]	Desde 500ml [115 diám. 237 alto] hasta 2000 ml
Tipo de material a triturar	PET
Capacidad de producción necesaria del equipo [Kg/h]	40
Tamaño necesario del material triturado. [mm]	10
Destino del material triturado.	entrega a centros de acopio
Las dimensiones de la cámara de molienda [mm]	280 x 390

Fig. 3 Especificaciones de diseño

La fuerza de Impacto es la energía absorbida por unidad de área, el PET tiene una resistencia al impacto de $16 \left[\frac{kJ}{m^2} \right]$ a la temperatura de $23^{\circ}C$ de acuerdo a los catálogos de materiales plásticos más comunes. (Europec, 2013)

De acuerdo al tipo de geometría que tienen las botellas PET se puede establecer un balance de energía al momento del corte, partiendo del análisis de fractura rápida o fractura por impacto (Ashby & Jones, 2012)

$$\delta W \geq \delta U^{el} + G_c t \delta a \quad \text{Pag. 183 ASHBY}$$

Ecuación 3.1.

Donde:

δW : Trabajo realizado por la cuchilla

δU^{el} : Cambio de energía elástica

G_c : Energía absorbida para generar la unidad de área (tenacidad)

$t\delta a$: Área del plástico cortado

El valor de δU^{el} se puede despreciar comparado al trabajo realizado por la cuchilla.

Entonces: $\delta W = G_c t \delta a$

$$\int \delta W = G_c t \int_0^e \delta a$$

$$W = G_c t a \Big|_0^e$$

$$W = G_c t e;$$

Si: $G_c = 16 \left[\frac{KJ}{m^2} \right]$ y $t e = \text{área de corte}$

El área representada por la longitud de la cuchilla y el espesor de las botellas plásticas, se ha considerado un espesor de 0.002m entre los envases de PET más comunes y a las diferentes formas rígidas para la boquilla roscada y rugosidades de diseños de botellas.

$$W = \left(16000 \frac{J}{m^2} \right) \cdot (0.25m) \cdot (0.002m)$$

$$W = 8 J$$

Este trabajo representa el par de rotación necesario para el corte.

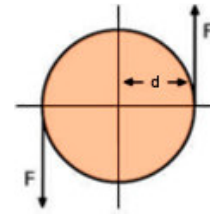


Fig. 4 Diagrama de par de rotación.

$d = (\text{radio porta cuchilla})$
 $\cdot (\text{filo de cuchilla móvil})$

$$d = (0.1m) \cdot (0.01m)$$

$$F \cdot d = 8 Nm$$

$$F = \frac{8 Nm}{0.11 m}$$

$$F = 72.72 N$$

Para determinar las cargas efectuadas en el eje rotor se utilizó el software SolidWorks 2013, en opciones de propiedades mecánicas y de masa de los elementos del sistema de molienda.

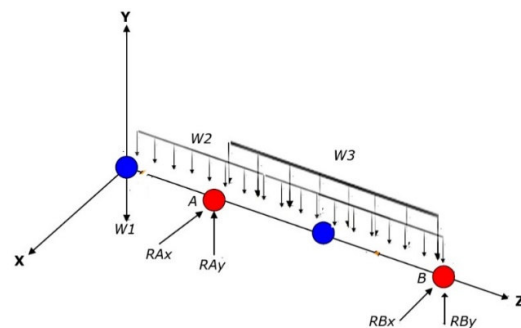


Fig. 5 Diagrama de cuerpo libre del sistema de cuchillas

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

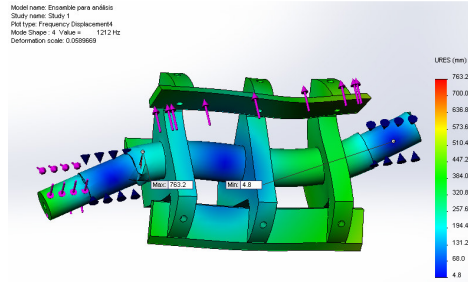


Fig. 6 Desplazamientos por la influencia de las cargas en el eje rotor

No. Modo	Frecuencia (Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	617.59	0.20156	0.39426	0.014467
2	595.21	0.34628	0.26494	0.024968
3	778.52	0.0025637	0.0010639	3.54E-06
4	1212	0.021069	0.1203	0.0016305
5	1388.4	0.0029699	0.00045483	0.015915
		Sum X =	Sum Y =	Sum Z =
		0.57444	0.78102	0.056984

De la simulación realizada se obtuvieron los siguientes resultados para el análisis de desplazamientos en cada caso de frecuencia natural aplicada.

No. Modelo	Frecuencia de resonancia	Frecuencia (Hertz)	Periodo (Segundos)	Frecuencia de resonancia Wn (Rpm)	Velocidad máxima Wn-0.25*Wn (Rpm)
1	3880.4	617.59	0.0016192	37055	27791.25
2	3739.8	595.21	0.0016801	35712.38	26784.285
3	4891.6	778.52	0.0012845	48711.23	35033.4225
4	7615.1	1212	0.0008251	72718.68	54539.01
5	8723.5	1388.4	0.00072026	83303.09	62477.3175

Los sistemas de seguridad son requisito fundamental en el diseño de maquinaria, establecer parámetros de operación y prever todas las posibilidades en las cuales el operador puede sufrir riesgos a la salud, es por esto que se pretende que el molino para plásticos funcione únicamente cuando este colocada la tolva de alimentación en la posición correcta

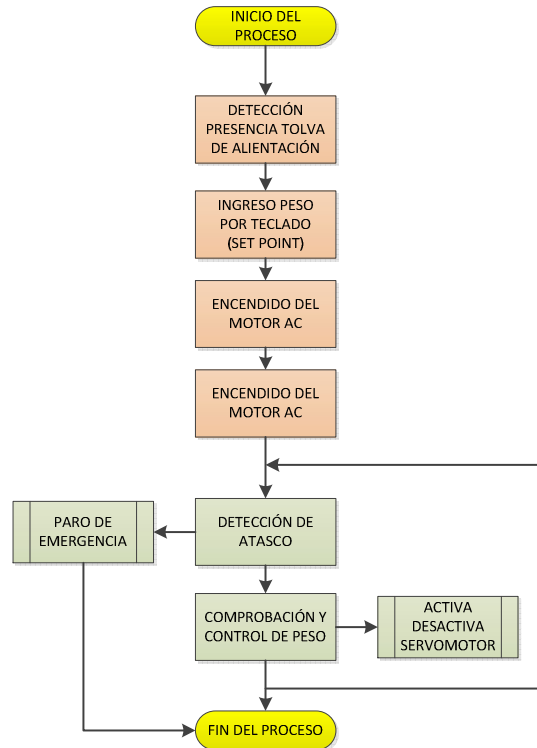


Fig. 7 Diagrama general del sistema del proceso

Si no se realizaría esta verificación para el funcionamiento del equipo, el molino seguirá funcionando si usuario quita el seguro y levanta la tolva de alimentación representando un alto grado de inseguridad en la operación del equipo y puede sufrir riesgo de corte o riesgo de atrapamiento.



Fig.1 Interruptor de presencia. Fuente (Tamiya USA, 2014)

Los interruptores de final de carrera se usan en aplicaciones de seguridad sirven para determinar la posición de un objeto o de una pieza móvil: Cuando el objeto o la pieza alcanza el extremo de su carrera, actúan sobre una palanca, émbolo o varilla. Están diseñados para utilizarse en ambientes industriales, y garantizan la apertura de los contactos normalmente cerrados cuando se acciona el interruptor.

a) Detección de atasco

El material plástico presente en la cámara de molienda se tritura de manera constante por el sistema de cuchillas implementado, incluso con la tolva de alimentación llena de botellas plásticas no existirá problemas de atascamiento.

Se supone un evento fortuito en el que el material ingresado al equipo no corresponde a PET, o a su vez exija un mayor esfuerzo de corte, consecuentemente una sobrecarga para el motor eléctrico de corriente alterna. Para esto se pretende implementar un sistema de control de atascos, que permita generar una parada de emergencia, asegurando la vida útil del molino.

Se identificó que de suceder un atasco en la cámara de molienda, las revoluciones del eje rotor serán menores que la velocidad de rotación normal; es decir que si las revoluciones del eje rotor

son menores a 450 RPM, será considerado como atasco. Para efectos de pruebas se estableció un rango de velocidades normales del molino entre 445 RPM y 450 RPM debido al corte de espesores mayores de las botellas PET.

Sistema de control

Un sistema de control es una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema que proporcionará una respuesta deseada. Un componente o proceso que vaya a ser controlado puede representarse mediante un bloque. La relación de entrada y salida representa la relación entre causa y efecto del proceso, que a la vez representa un procesamiento de la señal de entrada para proporcionar una señal de salida. (DORF & BISHOP, 2005)

Se establece un sistema de control de lazo abierto, la señal de salida en el proceso (desactivación de energía), no es de influencia directa para el control de las revoluciones del eje rotor por lo tanto no se realimenta el sistema con este valor.

b) Sistema de control de peso

Al iniciar el encendido del molino, se presentará una pantalla indicadora del proceso, indicando también el momento en el cual el operador deberá ingresar por teclado, el valor deseado para controlar (SET POINT).

El plástico triturado sale de la cámara de molienda y pasa a través del tamiz que regula su tamaño, a continuación cae sobre la tolva de descarga hasta ser conducido a la bandeja de descarga colocada sobre la bandeja de peso.

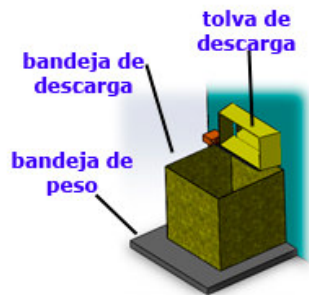


Fig. 8 Interruptor de presencia. Fuente (Tamiya USA, 2014)

La variable de control será el peso del plástico triturado presente en la bandeja de descarga, el peso aumentará a medida que el material continúe siendo descargado en la bandeja, para esto se controlará la cantidad de material mediante de una compuerta ubicada en la tolva de descarga, misma que será accionada por un servomotor.

De acuerdo al tamaño de la tolva de salida, se colocará una compuerta de 22mm de longitud y 5mm de alto, para esto se determinó el volumen de plástico que será acumulado de 10mm hacia dentro de la tolva.

$$V_p = (22 \cdot 5 \cdot 10) \text{ mm}$$

$$V_p = 0.0011 \text{ m}^3$$

A componente en x del peso del plástico triturado será la fuerza que actúe directamente en la compuerta.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = 1400 \text{ g}$$

ste proceso será un sistema de control de lazo cerrado por su relación entre la señal de entrada y la señal de salida del sistema.

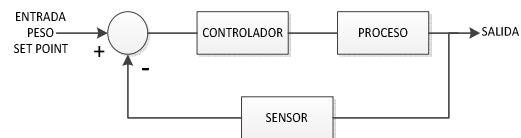


Figura 8 Diagrama general del control de peso.

La señal de salida será enviada desde el controlador hacia el proceso de control mediante la activación del actuador, permitiendo o impidiendo el paso del PET triturado. Esta señal de salida será medida por un sensor peso para retroalimentar al sistema y el controlador realice la comparación para emitir nuevamente la señal de control.

CONCLUSIONES

El uso de este equipo permitirá involucrar a las embarcaciones en las primeras etapas del reciclaje de plásticos abordo, atacando al problema de la contaminación ambiental en el mar, desde la producción misma del desecho y

mediante la implementación de un control de peso para este molino provee a la embarcación de insumo importante para el análisis de responsabilidad ambiental y gestión adecuada de desechos sólidos que periódicamente realizan las embarcaciones y a su vez brinda una solución al problema de espacio.

Finalmente se puede concluir que el presente proyecto logra promover la política pública y privada en materia de responsabilidad ambiental, así como el desarrollo de planes y proyectos guiados por la normativa nacional e internacional para prevenir y disminuir los impactos nocivos de la contaminación ambiental.

RECOMENDACIONES

Se recomienda optimizar los materiales en la construcción del molino, esto permitirá un ahorro económico y energético, considerando que el sobredimensionamiento de las partes y piezas del sistema de cuchillas generó un consumo adicional de corriente medido en vacío de 3 amperios.

Se recomienda un ángulo de cuña para cuchilla fija entre 65° y 80°; y

un ángulo de cuña para cuchilla giratoria entre 30° y 45°, esto permitirá obtener los mejores resultados en el corte del plástico.

Se recomienda para futuros trabajos diseñar y construir un sistema de alimentación automática del molino, esto permitirá una alimentación de botellas plásticas de forma continua y controlada de acuerdo a la cantidad de plástico triturado y el material presente en la tolva de alimentación.