

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA LA FABRICACIÓN DE ESCOBAS ECOLÓGICAS

Jhoanna Belén Benítez Jerez  
jhoalvahm\_sm@hotmail.com

**RESUMEN:** Actualmente existe un aumento de actividades vinculadas a la protección del medio ambiente, dando un prometedor futuro a proyectos de reciclaje de residuos sólidos en la ciudad de Quito. Las botellas elaboradas con plástico PET son un porcentaje considerable en el volumen de desechos urbanos y es necesario tratarlas para reducir, reciclar y reutilizar. Este artículo comprende el diseño y construcción de una máquina manufacturera de escobas ecológicas, reemplazando fibras de mijo o plástico rígido por plástico reciclado PET para ayudar al medio ambiente en la gestión de residuos sólidos.

**PALABRAS CLAVE:** manufactura, PET, reciclaje, escoba

**ABSTRACT:** There is currently an increase in activities related to environmental protection, giving a promising future projects recycling of solid waste in the city of Quito. The PET plastic bottles are made with a considerable percentage in the volume of municipal waste and need to be treated to reduce, recycle and reuse. This article covers the design and construction of a ecological brooms manufacturing machine, replacing millet fibers or rigid plastic by recycled plastic PET to help the environment in the management of solid waste.

**KEYWORDS:** manufacturing, PET, recycling, broom

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto cuenta con cinco fases de manufactura de cortado de botellas plásticas y ensamblaje para formar una escoba de similares características a las usadas actualmente.

El funcionamiento de estas fases es de forma automática y manual, sin dejar de lado la seguridad para el operario al manipular el equipo.



Fig 1. Escobas ecológicas.

Para la fabricación de los mecanismos se seleccionó materiales mediante un diseño mecánico, sustentable y sostenible para aumentar características ecológicas al proyecto.

La máquina puede ser controlada por el operario a través de un panel de control general de forma automática con ayuda del microcontrolador y sensores.

## 2. ESTUDIO DEL DISEÑO

### 2.1 Parámetros de diseño

El lugar donde fue instalada es un hangar de estructura con paredes de bloque y reja, y techo metálico de dimensiones 30 por 20 m y 3 m de altura. La tensión eléctrica del lugar es 110 V.

La materia prima son botellas de plástico PET de 3 litros de capacidad de cualquier marca de gaseosa, se pudo trabajar con el siguiente estándar porque la diferencia entre marcas es mínima.



Fig 2. Medidas de botella plástica.

El proceso utiliza 210 mm de superficie lisa de la botella, y desecha la base y la boca de 50 mm cada una. La figura muestra las medidas.



Fig 3. Medidas utilizadas de la botella plástica.

## 2.2 Análisis funcional

El proceso se dividió en cinco fases. Las tres primeras fases se enfocan en el tratamiento de la materia prima y las siguientes en la fabricación de la escoba.

- Fase I: Cortadora de la base de la botella.
- Fase II: Cortadora de fibra fina plástica de la botella.
- Fase III: Horneado de fibras plásticas.
- Fase IV: Cortadora de tiras plásticas.
- Fase V: Ensamblaje de la escoba.

## 2.3 Diseño Mecánico

### FASE I: CORTADORA DE LA BASE DE LA BOTELLA

#### Almacenador de botellas

Se dispone de una tolva de alimentación para 10 botellas de 3 litros.

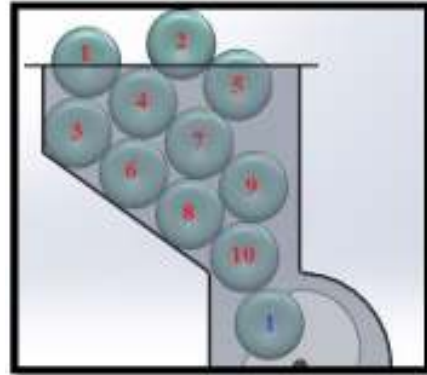


Fig 4. Alimentación de botellas.

La tolva está construida con planchas de tol negro de 1.5 mm de espesor, este material es maleable, resistente y de bajo costo. El tol negro es una lámina de acero AISI 1018 laminada en frío de bajo carbono con ambas partes recubiertas con estaño puro comercial que funciona principalmente para evitar la corrosión y el óxido.

#### Sistema de corte de botellas

Se escogió el sistema de corte en caliente con alambre de acero inoxidable con las siguientes características.

Propiedad	Valor
Composición Química	Cr 17-20%, Mn < 2%, Ni 8-11%, C < 0.08, Fe resto
Diámetro	0.5
Capacidad de resistencia eléctrica a 20°C	0.72 μΩm
Conductividad térmica	16 W/m.K
Temperatura máxima de operación	898°C

Las principales características del alambre de acero inoxidable son: soportar altas temperaturas, resistir la corrosión y con ayuda de corriente eléctrica producir calor. La corriente es suministrada por el transformador de las siguientes características.

Característica	Valor
<b>Voltaje entrada</b>	110 V alterna
<b>Voltaje salida</b>	12 V alterna
<b>Corriente de trabajo</b>	3 A

Al utilizar alambre como resistencia térmica, se debe tener en cuenta la dilatación de éste cuando se calienta. Para resolver este problema se instaló un sistema tensor similar al de las cuerdas de una guitarra que consta de un tornillo sin fin y un piñón conectados a una varilla que envuelve el alambre para tensarlo.



**Fig 5. Sistema de Tensión de Alambre de Acero Inoxidable.**

Los discos de selección son usados para sujetar la botella, para la fabricación de los discos se ha seleccionado acrílico (PMMA) de 9 mm por ser un material fácil de maquinarse, de alta durabilidad y liviano. Se descartaron materiales como fibra de carbono por su alto costo y dificultad de obtención, y acero 1020 debido a que este material es pesado.

El material para el eje del sistema de corte de la base elegido fue acero 1020, ya que presenta las propiedades mecánicas excelentes para el mecanismo, siendo a su vez el más comercial, éste tipo de acero es de transmisión y bueno para resistir cargas continuas.

A razón de la dificultad para hallar la fuerza de corte del plástico PET con alambre caliente se calculó el torque y la potencia del motor de forma experimental.

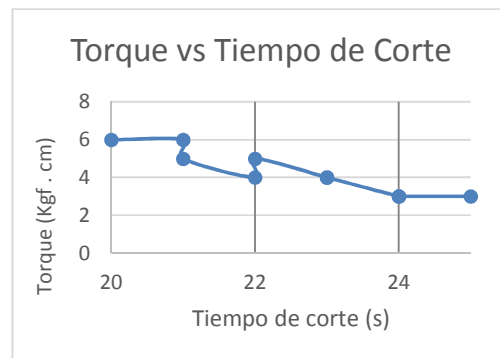
Se basó el experimento en la carga que va a mover el motor en el momento más crítico como el corte de las botellas con alambre de acero inoxidable, seguido se construyó la estructura, la tolva y el sistema de corte.

El objetivo del experimento es hallar la potencia necesaria del motor, para lo cual se utilizó un torquímetro de rango 0.2 a 1.2 kgf.m y un cronómetro para medir el tiempo que toma dicho torque en cortar la botella, se escogieron 10 botellas y se realizaron las pruebas.



**Fig 6. Torquímetro**

El rango establecido para el torque fue de 20 a 25 kgf.cm, en la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos en las 10 pruebas. Dando los resultados del torque de corte con alambre de Acero Inoxidable.



**Fig 6. Gráfico de Torque vs Tiempo de Corte de la botella.**

La gráfica anterior nos muestra la relación entre el torque necesario para cortar la botella y

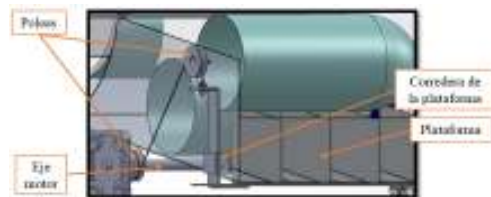
el tiempo que tarda el corte, resultando que la fuerza necesaria bordea los 24 Kgf.cm para cortar la botella en el mejor tiempo, para lo que se ha empleado un motor con caja reductora de engranes.



**Fig 6. Motor con caja de reducción de engranes**

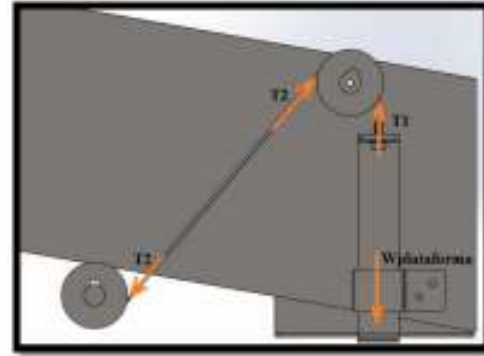
**Punto de revisión de botellas**

En este punto el operario puede evaluar por segunda oportunidad el estado de la botella, si se encuentra sucia o deforme esta debe ser retirada pero puede ser reingresada si el operario puede limpiarla o restaurarla. La botella cortada se desliza por una rampa, entra a un sistema de elevación y pasa a la siguiente fase.



**Fig 7. Mecanismo de elevación de botellas cortadas.**

La plataforma tiene dos azas de cada lado y se unen a correderas para guiar la traslación de las botellas, el final de la aza tiene una tuerca y perno para enganchar el hilo de la polea, este recorre la polea superior y se engancha en la polea inferior, con ayuda de un motor DC unido al eje de las poleas inferiores, finalmente el hilo se envuelve en éstas para provocar la elevación de la plataforma.



**Fig 8. Diagrama de fuerzas del sistema de elevación con poleas.**

El peso de la plataforma se divide para las dos azas, entonces la tensión del cable es:

$$T_{Cable} = \frac{W_{plataforma}}{2}$$

$$T_{Cable} = \frac{1.5 \text{ kg}}{2} = 0.75 \text{ kg}$$

Analizando sumatoria de fuerzas en y de la plataforma, se tiene:

$$\sum F_y = 0$$

$$T_1 - W_{plataforma} = 0$$

$$T_1 = W_{plataforma}$$

$$T_1 = 0.75 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 10.56 \text{ N}$$

Según el diagrama de fuerzas y la teoría sobre poleas se puede decir:

$$T_2 = T_1$$

$$T_2 = 10.56 \text{ N}$$

Entonces el torque que necesita transmitir el motor mediante el eje es:

$$\tau = \text{radio} \cdot T_2$$

$$\tau = 1.27 \text{ cm} \cdot 10.56 \text{ N}$$

$$\tau = 13.41 \text{ N.cm}$$

Lo que un motor DC con caja de reducción de engranes es suficiente para este sistema.

**FASE II: CORTADORA DE FIBRA FINA PLÁSTICA DE BOTELLA**

**Sistema de traslación de la botella**



**Fig 9. Sistema de traslación.**

El tornillo sin fin seleccionado es una varilla roscada de 5/8 in (15.875 mm) de acero galvanizado. Las rieles son de 1/2 in (12.7 mm) de acero de transmisión. La plataforma debe ser liviana y con la rigidez necesaria para mover la botella por lo cual se escogió plancha de acrílico de 9 mm. La sujeción entre rieles y plataforma es por medio de bocines de bronce ya que produce un mejor deslizamiento y lubricación. En el caso de la sujeción entre plataforma y tornillo sin fin es un bocín de acero de transmisión AISI 1020 el cual en el centro tiene un roscado de 5/8 in.

El sistema de traslación necesita precisión exacta en los rieles y tornillo sin fin para lo cual a los extremos de la estructura se colocó dos planchas de acero de 5 mm de espesor para soportar el sistema y el motor.

El movimiento del motor debe ser a altas revoluciones para que la plataforma dé un paso mayor y se ha seleccionado un motor DC.



**Fig 10. Motor DC.**

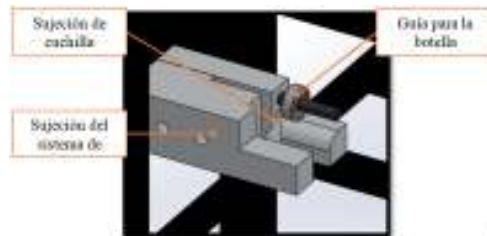
**Cortadora de fibra plástica**

Para un corte uniforme de la botella se escogió realizarlo en frío y debido a lo encontrado en el mercado se ha seleccionado cuchillas de estilete elaboradas de Acero Inoxidable INOX 4034 (HRC 56) que tienen alta resistividad al corte y son de bajo costo.



**Fig 11. Cuchilla.**

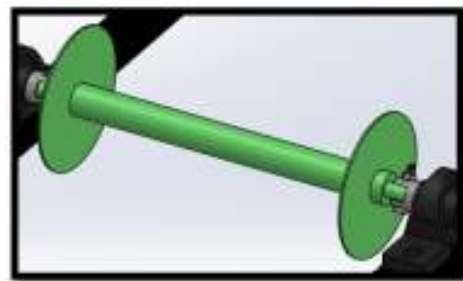
Para el soporte de la cuchilla se observó la necesidad de un material maleable, fácil de maquinar y liviano, se escogió aleación de aluminio 6063 T5 por su disponibilidad en el mercado y un rodamiento para guiar la botella.



**Fig 12. Sistema de corte.**

**Bobinado de la fibra plástica**

La bobina redonda es formada por un tubo de 32 mm de diámetro. En los extremos de este se encuentran dos piezas soldadas que ayudan a sujetarse la bobina con los ejes del motor, además tiene dos discos de lámina de acero que ayudan a mantener a la fibra plástica dentro de los límites.



**Fig 13. Bobina redonda**

La bobina plana está formada por varillas cuadradas de media pulgada (12.7 mm) de diámetro unidos para formar una estructura

rectangular, en el medio de la cual se soldó una varilla cuadrada para reforzarla.



Fig 14. Bobina plana

Según el proceso que se encuentre la máquina estas bobinas son intercambiables. Los ejes a los que se conectan tienen una abertura cuadrada donde ingresan los extremos de las bobinas y son empernadas.

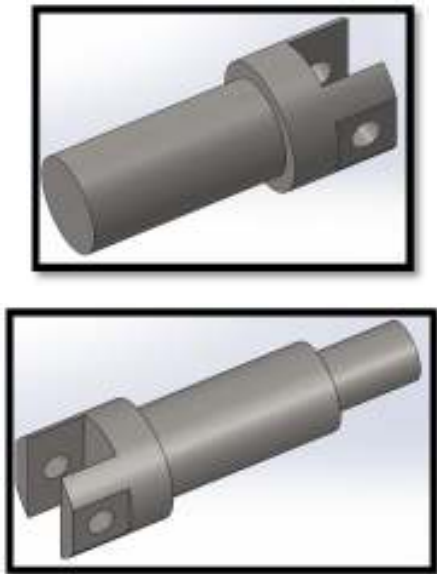


Fig 15. Ejes intercambiables de bobinas

Los dos ejes son apoyados en chumaceras y están colocadas en la estructura de la máquina. La conexión con el motor se lo realiza al eje más largo con un acople LoveJoy.

Conociendo la forma de las piezas del sistema de corte y la posición de las bobinas se procedió a calcular el torque necesario del motor.

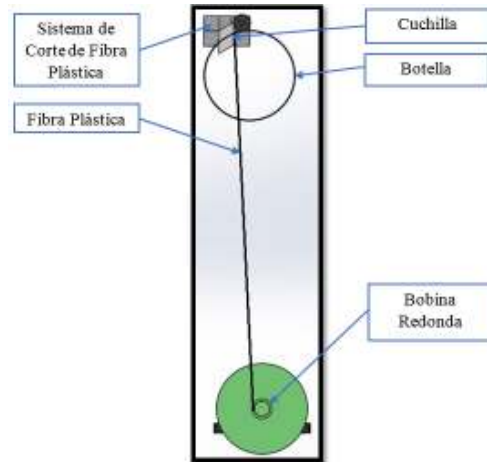


Fig 16. Sistema de bobinado de la fibra plástica.

En la botella al momento del corte se producen tres fuerzas como se muestra en la siguiente figura.

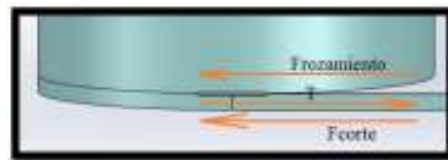


Fig 17. Fuerzas en la botella al momento del corte.

Donde la fuerza de rozamiento entre el plástico PET y el aluminio de la pieza es igual a.

$$F_{\text{rozamiento}} = \mu \cdot N$$

Según diagrama de fuerza en el sentido transversal calculamos la fuerza normal de la botella.

$$\sum F_y = N - W_{\text{botella}}$$

$$N = W_{\text{botella}}$$

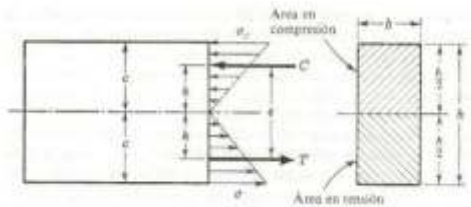
El peso de la botella es casi despreciable entonces la fuerza normal tiende a ser cero,

resultando que la fuerza de rozamiento es despreciable frente a las otras fuerzas.

Por diagrama de fuerzas en la botella plástica se tiene que:

$$T = F_{corte}$$

Se seleccionó un diferencial de plástico al momento del corte para relacionarlo con el principio de esfuerzo cortante en vigas. Según el libro “Resistencia de Materiales” de Andrew Pytel, dado el siguiente gráfico:



**Fig 18. Diagrama de fuerzas de una viga rectangular.**

**Fuente: (Pytel & Kiusalaas, 2009)**

Se observó las fuerzas y dimensiones equivalentes al caso. La fuerza T es la fuerza de tensión y la fuerza C es la fuerza de compresión del material. El ancho de la fibra es de 5 mm y el espesor de 0.3 mm, esto equivale al área transversal del corte en la sección inferior.

Entonces  $b = 0.3$  y  $h/2 = 5$ . Y se tiene que la magnitud de cada una de las fuerzas es igual al producto del esfuerzo por el área transversal:

$$Fuerza = \sigma \cdot \left( b \cdot \frac{h}{2} \right)$$

Los esfuerzos cortantes en plásticos se pueden determinar por la ecuación elástica que relaciona el módulo de corte G (t) con el módulo elástico E (t).

$$G(t) = \frac{E(t)}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

Donde  $\nu$  es el coeficiente de Poisson para poliéster PET ( $\nu = 0.33$ ) en estado vítreo, eso

quiere decir que la temperatura en la que se trabaja ( $T = 20^\circ\text{C}$ ) es menor a la temperatura de transición del polímero PET ( $T_g = 75^\circ\text{C}$ ) como se halló el esfuerzo de corte admisible del plástico, se utilizó el módulo de elasticidad como constante ( $E = 2800 \text{ MPa}$ ). Teniendo el esfuerzo cortante  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{2800 \text{ MPa}}{2 \cdot (1 + 0.33)}$$

$$\sigma = 1052.6 \text{ MPa}$$

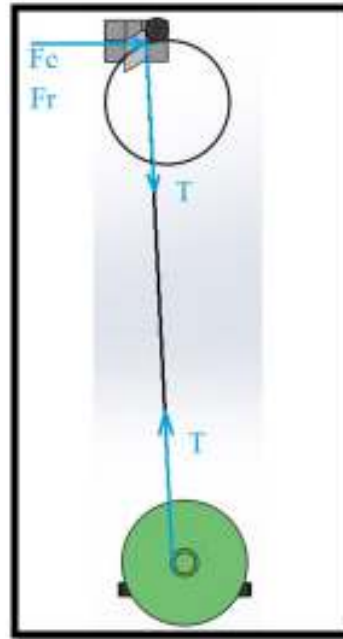
Entonces se halló la fuerza de corte:

$$F_{corte} = \sigma \cdot \left( b \cdot \frac{h}{2} \right)$$

$$F_{corte} = 1052.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot (0.3 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm})$$

$$F_{corte} = T = 1578.9 \text{ N}$$

Se muestra el diagrama de fuerzas del bobinado de la fibra plástica:



**Figura 19. Diagrama de fuerzas del bobinado de la fibra plástica.**

En la bobina se halló el torque necesario para la fuerza de corte:

$$\tau = r \cdot T$$

$$\tau = 16 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot 1578.9 \text{ N}$$

$$\tau = 25.2624 \text{ N.m}$$

Con lo cual se tiene la potencia a 120 rpm:

$$W = \tau \cdot v$$

$$W = 25.2624 \text{ N.m} \cdot 120 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$W = 50.5248 \frac{\text{N.m}}{\text{s}}$$

$$W = 50.5248 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ HP}}{745.699 \text{ W}}$$

$$W = 0.06775 \text{ HP}$$

La potencia calculada se la aproxima a una potencia existente en el mercado.

$$W = 0.06775 \text{ HP} \approx 0.0833 \text{ HP} \approx \left(\frac{1}{12} \text{ HP}\right)$$

Para producir el movimiento se ha seleccionado un motor DC de 24 V con caja de engranes.



Fig 20. Motor 24V DC

### FASE III: HORNEADO DE FIBRAS PLÁSTICAS.

Se dispone de un horno de gas, con capacidad de 3 bobinas de fibra plástica.

### FASE IV: CORTADORA DE TIRAS PLÁSTICAS.

Se utiliza una cuchilla para cortar la fibra en la bobina.

### FASE V: ENSAMBLAJE DE LA ESCOBA.

El ensamble de la escoba se lo realizó en la empresa ARTILIM y se reservan el derecho del proceso de manufactura de escobas.

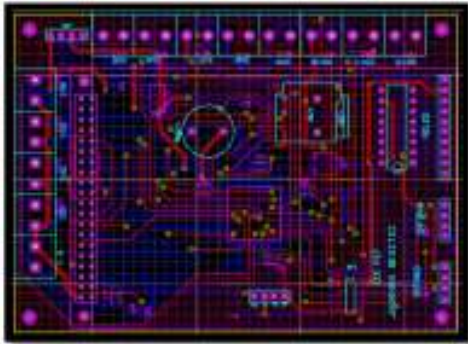
## 2.4 Diseño Electrónico, Eléctrico y de Control

### Controlador

En cuanto a microcontroladores existe un sinnúmero de opciones que pueden ser utilizadas no obstante, se optó por utilizar el Atxmega 192d3 el cual cuenta con las características necesarias para el uso de los periféricos en el área industrial. A este microcontrolador se le realizó un circuito impreso que se describe a continuación.

Propiedades	Valor
Microcontrolador	Atxmega 192d3
Tensión de operación (nivel lógico)	3.3 V
Tensión de entrada (recomendado)	5 V
Frecuencia de reloj	32 MHz
Entradas digitales con interrupción	12
Salidas digitales a tarjeta de Relés	8
Corriente máx. por cada PIN de E/S	130 mA
Memoria Flash	32 - 384 KB
SRAM	4 - 32 KB
Entradas de sensor ultrasónico	2
Salida para pantalla táctil	1
Dimensiones	77.5 mm x 108 mm





**Fig 21. Circuito Impreso**

**Sensores**

Los sensores utilizados son de proximidad y los más comunes son interruptores de posición, detectores capacitivos, inductivos y los fotoeléctricos, ya que el material a detectar es plástico y posee poca fuerza constante se ha descartado sensores interruptores e inductivos pero debido al gran costo de los sensores de capacitivos se utilizó sensores de presencia ultrasónicos e interruptores con la tentativa de ser reemplazados por sensores de plástico PET.

**Sensor fin de carrera**

Este sensor también conocido como “interruptor límite” es un dispositivo situado al final del recorrido de un elemento móvil para censarlo internamente tiene interruptores normalmente abiertos (NA) y cerrados (NC), y la palanca puede ser de diferentes formas y dimensiones utilizadas según la aplicación, la conexión de este sensor es directo a las borneras de entradas digitales.



**Fig 22. Sensor Fin de carrera.**

**Sensor Ultrasónico**

Los sensores ultrasónicos detectan proximidad de cualquier objeto y a largas distancias. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar, estas reflejan en un objeto y el sensor recibe el eco producido convirtiéndolo en señales eléctricas, trabajan solamente en el aire y pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y de diferentes materiales.



**Fig 23. Sensor Ultrasónico.**

**Caja de control**

Contiene el circuito impreso en doble cara y todos los periféricos que son: pantalla táctil, placa de relés, entradas digitales para los sensores fin de carrera, sensores ultrasónicos y un buzzer para la pantalla táctil.



**Fig 24. Caja de control.**

**3. PRUEBAS Y RESULTADOS**

Esta sección describe las pruebas realizadas en los sistemas del equipo, los resultados esperados y medidas correctivas en caso del incumplimiento de parámetros y un análisis final del producto.

**Pruebas de velocidad del motor 24V DC del bobinado de fibra plástica**

Tipo de bobinado	Bobinado redondo	Bobinado plano
Revoluciones (rev)	41	60
Tiempo de prueba (s)	30	30
Velocidad (rpm)	82	120

En los resultados se puede observar un cambio de velocidad ocurrido por el cambio de carga que tiene el motor, el bobinado redondo tiene una fuerza de resistencia en este caso la fuerza de corte de la botella plástica PET es mayor a la resistencia que tiene el bobinado plano.

**Pruebas de amperaje a la entrada de energización y potencia.**

Fase	Corriente (A)
Encendido	4
I – Corte de base de la botella	9.2
I – Elevador de botella	0.4
II – Traslado de botella	0.5
II – Bobinado de fibra plástica	0.7

Tomando la fase I – Corte de base de la botella para los cálculos de potencia por ser la mayor requerida. Se tiene el cálculo de potencia.

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi$$

Donde la máquina está conectada a la red eléctrica monofásica de 110 V y el factor de potencia ( $\cos \phi$ ) es la razón que existe entre la Potencia Real ( $P_r$ ) y Potencia Aparente (S), y siendo el caso de sistema monofásico este es 1.

$$P = 110 V \cdot 9.2 A \cdot 1$$

$$P = 1.012 kW$$



**Parámetros del producto final**

Finalmente con la máquina ensamblada e instalada se procedió a ponerla en marcha y realizar las pruebas necesarias en los sistemas mecánico, eléctrico, electrónico y de control, además analizar los resultados esperados y medidas correctivas en caso del incumplimiento de parámetros del producto final.

Los parámetros del producto final son tomados de los requerimientos que usuario de la escoba observa necesarios:

- Escoba ligera.-  
Se espera que la fibra plástica de una escoba ecológica sea de menor o igual peso que una escoba de plástico duro PE, usada en la actualidad.
- Escoba durable.-  
Se espera que la fibra plástica ecológica sea resistente al desgaste por rozamiento con suelos de diferentes rugosidades.
- Escoba ancha.-  
Se espera que el tamaño de la escoba ecológica tenga mayor o igual área de barrido que una escoba utilizada actualmente.
- Escoba barata.-  
Se espera que el uso de materiales reciclados para la manufactura de escobas reduzca el costo actual de estas.

**Análisis entre escobas manufacturadas**

Carácte r.	Escoba ecológica de cerdas PET	
		
Ligera (lb)	1.95	1.37
Ancha (mm)	400	280

Barata (Usd)	3.60	2.80
--------------	------	------

El costo de la escoba de cerdas duras PE consta de la mano de obra y materia prima usada en la escoba, el dato fue proporcionado por la Empresa ARTLIM productora de escobas. El costo de las escobas ecológicas involucra el costo de materia prima, horas de trabajo del operario al tratar la materia prima y el ensamble de la escoba sin embargo este valor se puede disminuir al desarrollar la máquina en el siguiente prototipo.

### CONCLUSIONES

- La máquina de reciclaje de botellas plásticas aplicó una metodología basada en el desarrollo sustentable y sostenible en la manufactura de escobas ecológicas al reducir, reciclar y reutilizar los residuos de botellas plásticas de material PET reduciendo pasivos ambientales en Quito.
- El resultado de eficiencia de los dos tipos de escobas mostró que las escobas ecológicas tipo campana tienen mejores características a las usadas actualmente ya que al tener mayor número de fibras su área de barrido es mayor y al tener cerdas más suaves puede recoger objetos más pequeños y polvo.
- La máquina es un sistema mecatrónico ya que integró los subsistemas mecánico, eléctrico, electrónico, informático y de control de manera sinérgica.
- El proceso de diseño concurrente determinó los parámetros en la selección de alternativas mostrando las necesidades de los clientes de las escobas ecológicas.
- El diseño y construcción del presente trabajo cumplió el alcance planteado, se construyó un prototipo de máquina manufacturera de escobas con plástico reciclado PET y automatizándola para simplificar el trabajo del operario.
- La alta resistencia frente a esfuerzos permanentes, alta rigidez y dureza del plástico PET ayuda al aumento de eficiencia de las escobas ecológicas pero dificulta la

unión de fibras en el proceso de manufactura. Se realizó varias pruebas de soldadura en frío y caliente sin resultado favorecedor por lo cual el enlace de fibras se realizó de forma manual con un nudo.

- El diseño del sistema eléctrico permitió que la máquina pueda ser utilizada en cualquier lugar ya que se estandarizó a 110 VAC.
- El diseño del sistema electrónico con pantalla táctil permitió la utilización de elementos digitales reduciendo el uso de conexiones de elementos físicos.
- El sensor fotoeléctrico para detección de botellas plásticas mejorará el proceso ya que especialmente identifica material PET pero por su alto costo se escogió utilizar sensores ultrasónicos que identifican todo tipo de material.
- Se desarrolló documentación técnica y operativa de la máquina orientada al operario como fuente de consulta al utilizarla.
- El capítulo financiero demostró que el impacto social, económico y ambiental de la máquina es favorable.

### REFERENCIAS

#### LIBROS CONSULTADOS

- Budynas, R. G., & Nisbett, K. J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw - Hill.
- Menon, U., & Syan, C. S. (1994). Concurrent Engineering. En *Concurrent Engineering* (pág. 7). Chapman & Hall.
- Norguez, M. E., Balderas, J. E., Robert, T., Ramirez, J., & Salas, G. (2002). *Propiedades mecánicas de aceros de bajo carbono con estaño y diferentes contenidos de elementos residuales*. D. F. México.
- Pytel, A., & Kiusalaas, J. (2009). *Engineering Mechanics Statics*. Pennsylvania.

#### PROGRAMAS EDUCATIVOS

- Cambridge Engineering Selector. (2009). CES - EDUPACK.

#### DIRECCIONES DE INTERNET

Empresa LUMETAL PLASTIC. (2014).

*Propiedades del Nylon*. Obtenido de Lumetal:

[http://www.lumetalplastic.com/nylon\\_plc.html](http://www.lumetalplastic.com/nylon_plc.html)

Empresa Pública Metropolitana de Aseo. (2011).

*Proyecto "Quito Patrimonio Sano"*.

Obtenido de

<http://www.emaseo.gob.ec/index.php/proyecto-3rs.html>

Irestal Group. (2014). *Tablas Técnicas del Acero*

*Inoxidable*. Obtenido de Irestal Group

Web site: [www.irestal.com](http://www.irestal.com)

Empresa TecMicro. (2014).