



Diseño y construcción de una máquina trituradora y granuladora de plástico de baja densidad como una herramienta de reciclaje

Design and construction of a low-density plastic crushing and granulating machine as a recycling tool

Taco, Victor; Gonzales, Oscar; Bonifaz, Paola

Victor Taco

vtaco@tecnologicosucre.edu.ec

Instituto Superior Tecnológico Sucre, Ecuador

Oscar Gonzales

ogonzales@tecnologicosucre.edu.ec

Instituto Superior Tecnológico Sucre, Ecuador

Paola Bonifaz

pbonifaz@tecnologicosucre.edu.ec

Instituto Superior Tecnológico Sucre, Ecuador

Ecuadorian Science Journal

GDEON, Ecuador

ISSN-e: 2602-8077

Periodicidad: Semestral

vol. 5, núm. Esp.3, 2021

esj@gdeon.org

Recepción: 24 Junio 2021

Aprobación: 04 Octubre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/606/6062738006/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.143>

Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra sus sitios web personales o en depósitos institucionales, después de su publicación en esta revista, siempre y cuando proporcionen información bibliográfica que acredite su publicación en esta revista. Licencia de Creative Commons Las obras están bajo una <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Como citar: Taco, V., Gonzales, O., & Bonifaz, P. (2021). Diseño y construcción de una máquina trituradora y granuladora de plástico de baja densidad como una herramienta de reciclaje. Ecuadorian Science Journal, 5(3), 41-58. DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.143>

Resumen: El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el diseño y construcción de una máquina recicladora y granuladora de tereftalato de polietileno o PET en sus siglas en inglés que es un plástico de baja densidad, que servirá para la cizalladura los plásticos PET, con el fin de brindar una herramienta de buena calidad por medio de la implementación de diferentes elementos que constituirán este prototipo como son ejes de transmisión, selección de rodamientos, engranajes, cuchillas de cizalladura, selección del motor reductor, estructura de soporte, también se puede encontrar la selección de los elementos eléctricos y electrónicos para la automatización de los procesos, comprobando que todos estos parámetros cumplan con los objetivos de este trabajo. Se podrá encontrar los planos de cada elemento diseñado, los planos eléctricos con el controlador lógico programable (PLC) y el ensamble de la trituradora de plástico.

Palabras clave: PLC, PET, trituración, densidad, programación.

Abstract: The objective of this titling work is the design and construction of a low density PET plastic recycling and granulating machine, which will be used for shearing PET plastics, in order to provide a good quality tool by means of the implementation of different elements that will constitute this prototype such as transmission shafts, bearing selection, gears, shear blades, reduction motor selection, support structure, the selection of electrical and electronic elements can also be found for the automation of the processes, checking that all these parameters meet the objectives of this work. You can find the drawings of each designed element, the electrical drawings with the programmable logic controller (PLC) and the plastic crusher assembly.

Keywords: PLC, PET, crushing, density, programming.

INTRODUCCIÓN

Vivir en un mundo sin plásticos sería difícil ya que ha llegado a ser una parte integral del estilo de vida de todos con varios usos y aplicaciones. Aunque los desechos plásticos no se degradan fácilmente y conducen a problemas de contaminación en su entorno, con respecto a otros materiales como papel, madera o metales, los plásticos tienen su única ventaja en su fácil producción, su apariencia, su calidad y lo más importante su peso ligero. En el Ecuador nacen alternativas de diseño mecatrónico para solucionar problemas cotidianos (De la Cruz et al, 2017). En este sentido, en nuestro país se consume una gran cantidad de líquidos, la mayoría de ellos vienen en envases plásticos y son utilizados generalmente en la industria e incluso en la vida cotidiana; son productos con una larga duración que cumplida su función son desechadas. Por este problema el objetivo de esta investigación es diseñar y construir una máquina trituradora automatizada de envases plásticos PET, que permitirá disminuir el daño al ecosistema.

La temática de protección ambiental ha generado varias investigaciones a nivel local, que focalizan su estudio en el análisis y diseño de máquinas trituradoras PET. En el trabajo presentado por Hidalgo (2020), se realizó el diseño de una máquina trituradora PET para la localidad de Limoncocha. El autor realizó el análisis de las características deseadas por el usuario con la casa de la calidad, posteriormente se procedió con la metodología de diseño concurrente. Sin embargo, el análisis queda supeditado a la simulación de los componentes en un software de simulación comercial sin la creación de un prototipo.

Por otra parte, Contreras y Heras (2018) realizaron el diseño y construcción de una trituradora PET para plásticos de baja densidad. El sistema se caracterizó por triturar botellas de diferentes tamaños en tiempos de 15 a 45 segundos, lo que representa un buen tiempo de trabajo. En otro ámbito, el sistema fue programado con ARDUINO, lo cual representa una alternativa válida para sistemas electrónicos, pero no presenta la robustez de los controladores lógicos programables (PLCs).

La tendencia de fortalecer alternativas viables para cuidar el medioambiente ha generado trabajos como el de Neira et al (2020), donde se realiza el estudio para la implementación de una bio-recicladora de PET en miras de generar un emprendimiento en esta área. Los estudios se enfocaron en la demanda del mercado y las proyecciones de los prototipos en una población ecuatoriana con un 78.89% de aceptación de sus habitantes. El estudio no concluye con la parte técnica de la implementación de la trituradora lo cual abre camino a otros trabajos en esta temática.

De esta manera, existen otros trabajos similares a los ya nombrados: Moreno et al (2017), Luque (2019) o Vela et al (2018) que siguen esta tendencia, pero presentan características pueden ser mejoradas. En este trabajo se muestra el diseño mecánico, eléctrico y la programación un prototipo triturador de PET de baja densidad. El prototipo busca robustez en su estructura electromecánica y efectividad en el proceso de trituración. Este prototipo también desea fomentar el proceso de ingeniería para generar productos que puedan ser desarrollados en procesos de manufactura para una futura comercialización.

La estructura del presente artículo es la siguiente: en la sección 2 se presenta la metodología de análisis y diseño del prototipo, en la sección 3 los resultados obtenidos del prototipo de trituradora PET, en la sección 4 la discusión de los resultados obtenidos para terminar en la sección 5 con las conclusiones y recomendaciones respectivas del proyecto.

METODOLOGÍA

Diseño Conceptual

Casa de Calidad: En este proceso se interrelaciona y se evalúan las necesidades del cliente y los criterios de diseño ingenieril, y ver cual prevalece (Romo, 2018). Se detalla la interpretación de los valores. Se muestra en la Tabla 1.

TABLA 1
Valoración de parámetros de la casa de calidad

Tabla 1. Valoración de parámetros de la casa de calidad

Interpretación	Valoración	Estado del indicador
Excelente	5	
Bueno	3	
Sin relación	0	

Los requerimientos que debe satisfacer el módulo son detallados. Se muestra en la Tabla 2. De esta manera, se pueden ponderar las alternativas más viables que permitan que el módulo pueda cumplir con los objetivos planteados. La casa de la calidad es un criterio muy utilizado a nivel de la manufactura de diferentes equipos y dispositivos debido a que ayuda a evaluar las necesidades del usuario y con esto presentaron las posibles soluciones para la construcción de un prototipo el cual puede estar sujeto a cambios repentinos en el desarrollo de este.

TABLA 2.
Casa de calidad: Detalle de las necesidades del usuario final.

Tabla 2. Casa de calidad: Detalle de las necesidades del usuario final.

Criterios Tecnológicos Requerimientos del usuario final	Manufactura	Geometría	Diseño Mecánico	Impacto Ambiental	Control	Material	Potencia	Valores de objetivo
Durabilidad	3	0	5	0	0	3	0	11
Comodidad	3	3	5	0	3	3	0	17
Confiabilidad	3	0	5	3	3	0	0	14
Econornaciada	5	5	5	3	3	3	3	27
Liviano	3	3	3	0	3	0	0	12
Seguridad	3	5	5	3	5	5	0	26
Fácil de operar	3	3	5	5	3	3	3	25
Valores de Objetivo	23	19	33	14	20	17	6	

Los criterios más relevantes de los cuales se enfoca el diseño son:

- Económico
- Diseño mecánico

Método del diagrama morfológico: Es una técnica de diseño (Muñoz et al, 2019). Se muestra en la Tabla 3. Que da la pauta para integrar el sistema mecánico con lo eléctrico y control.

El diagrama morfológico ayuda de una manera práctica a establecer la solución más factible que pueda cubrir con las necesidades encontradas en la elaboración de la casa de la calidad. Sin embargo, no se pueden descartar plenamente las otras soluciones del diagrama morfológico el cual puede hacer que el proyecto cambie según se vaya desarrollando el mismo.

TABLA 3
Diagrama morfológico

Tabla 3. Diagrama morfológico

Alternativas Detalles	Opción 1	Opción 2
Material para la estructura	Soportes de acero	Soportes de madera
Motor	Motor monofásico	Motor trifásico
Motorreductor	Caja reductora	Variador de frecuencia
Transmisión de potencia	Engranajes	Engranajes con banda
Cuchillas de cizalladura	Juego de cuchillas desfasadas	Cuchillas de cizalladura independientes
Fijación de las cuchillas con el eje de transmisión	Eje de transmisión	Fijación por soldadura
Control de la máquina	PLC LOGO	ARDUINO MEGA
Software de control	Software Arduino	Logo Soft Comfort
Software de modelado	Autocad	Solidworks
Software de diseño eléctrico	CADe SIMU	Proteus 8

Análisis Funcional: En este análisis (Barrera, 2017) trataremos los aspectos principales y secundarios que debe tener esta máquina trituradora de plástico, en este caso será la trituración de botellas PET. Las funciones secundarias son aquellas que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente, y son las que se determinarán mediante este análisis. Una vez establecidas todas las funciones secundarias se procede a plantear posibles soluciones, que sean convenientes para desempeñar dichas funciones, para proceder a seleccionar la más viable.

Simbología: Para facilitar la representación de las funciones y de los flujos en la estructura funcional de la trituradora de plásticos, es conveniente disponer de símbolos adecuados cuya utilización sea lo suficientemente flexible. Para ello se va a utilizar la simbología propuesta por la norma VDI 2222 (Kurniawati, 2018), en la cual sin limitar las funciones a las estrictamente matemáticas y lógicas y sin forzar a precisar ni a cuantificar las variables de los flujos, permite establecer una estructura funcional suficientemente articulada que sirva de guía para fijar la estructura modular del producto o sistema. Los símbolos utilizados se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4.
Simbología de representación de funciones

Tabla 4. Simbología de representación de funciones

Función	Rectángulo de línea continua	
Flujo de material y dirección	Flecha de doble línea continua	
Flujo de energía y dirección	Flecha de línea continua	
Flujo de señal y dirección	Flecha de línea discontinua	-----
Sistema, subsistema y módulo	Polígono de línea de punto y raya.	

Las descripciones de los diferentes conceptos se realizan de la siguiente manera:

Funciones: Se sitúan dentro del rectángulo y preferentemente se definen con un verbo seguido de un predicado: transferir pieza, mover brazo, controlar posición.

Flujos: Su objeto se indica encima de las flechas correspondientes: de pieza en bruto, acabada, de alimentación eléctrica, de accionamiento de cabezal, de señal de puesta en marcha, de posición.

Sistemas, subsistemas y módulos: Se indica encima y a mano izquierda del polígono que los delimita.

Diseño Mecánico

En esta parte calcularemos los valores eficientes de los componentes mecánicos necesarios para la fabricación de nuestra máquina.

Dimensiones: El plástico PET tiene diferentes dimensiones ya que viene en envases pequeños y grandes, y como referencia tomamos las dimensiones del plástico PET grande de 3 litros. Puede verse en la Figura 1.

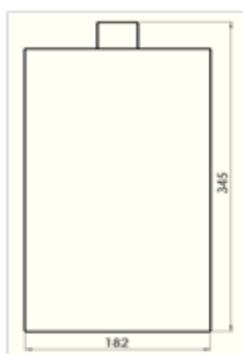


FIGURA 1
Dimensiones de una botella de plástico PET aplanado (3 Lt.)

Eje motriz y conducido.

Diámetro de los ejes motriz y conducido: Para el cálculo del toque mecánico del sistema de rotación, se toma en cuenta también el torque eléctrico que tiene relación con el proceso de diseño mecánico.

$$T = \frac{P}{\omega}$$

[1]

Dónde:

T = Torque.

P = Potencia.

W = Velocidad angular.

Los ejes deben soportar diferentes cargas como: de corte, flexión y torsión, ya que en su longitud soportan los diferentes elementos mencionados anteriormente. Es muy importante determinar el torque que necesitan las cuchillas de cizalladura, y utilizando la Ecuación (2).

$$T_c = F \times d \quad [2]$$

Dónde:

T_c = Torque necesario de las cuchillas de cizalladura

F = Fuerza de corte

d = Radio de la cuchilla de cizalladura. (2,73 in)

T_c = 2.661,6 ln. in

Para realizar el cálculo de la potencia se considera:

- Velocidad de salida = 60 [rpm].

- Torque necesario de las cuchillas

Ya con estos se utiliza la Ecuación (3) y despejando la potencia no da como resultado:

$$T = \frac{P}{W}$$

$$P = 2,5 \text{ hp}$$

[3]

Es necesario determinar las reacciones que van a necesitar los apoyos de los ejes, y se hace un diagrama de cuerpo libre para ver en donde se encuentran y a que distancia están. Puede verse en la Figura 2.



FIGURA 2.
Diagrama de cuerpo libre.

Dónde:

P1 = Peso

Determinadas las distancias y los apoyos de nuestro eje, se determinará las reacciones que van a realizar A y B mediante la sumatoria de fuerzas en el eje Y, que se muestran en la Ecuación (4) y la sumatoria de momentos como se muestra en la Ecuación (5).

$$\sum Fy = 0$$

$$RA + RB = 719,36 \text{ lb.}$$

[4]

$$\sum MA = 0$$

$$-(719,36 \text{ lb} \times 3,55 \text{ in}) + (RB \times 7,10 \text{ in}) = 0$$

$$RB = \frac{719,36 \text{ lb} \times 3,55 \text{ in}}{7,10 \text{ in}}$$

$$RB = 359,75 \text{ lb}$$

[5]

Remplazamos el valor en la Ecuación (5).

$$RA = 356,61 \text{ lb}$$

[Va 5]

Donde:

$\Sigma \#\#$ = Sumatoria de Fuerzas en el eje Y

$\Sigma \#\#$ = Sumatoria de momentos respecto A

RB = Reacción del apoyo en B

RA = Reacción del apoyo en A

Ya con los valores se realizan los diagramas del esfuerzo cortante (V) Figura 3 y de momento flector (M) Figura 4.

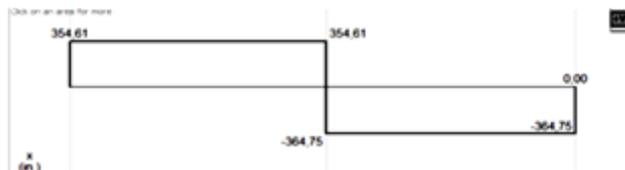


FIGURA 3
Diagrama de esfuerzo cortante.

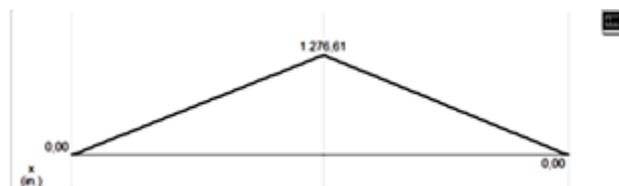


FIGURA 4
Diagrama de momento flector.

Como vemos en las figuras los resultados del esfuerzo cortante y del momento flector que son:

$$V_{\max} = 354,61 \text{ lb}$$

$$M = 1.276,61 \text{ ln. in}$$

Obtenido todos los valores se calcula el diámetro mínimo requerido con la Ecuación (6) con un factor de seguridad de 5:

$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \times \sqrt{\left[\frac{kt \times M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \times \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 1,12 \text{ in}$$

[6]

Selección de rodamiento: Para seleccionar el rodamiento que necesitamos primero hay que calcular la duración de diseño con la Ecuación (7).

$$L_d = h \times n(\text{rpm}) \times 60 \frac{\text{min}}{\text{h}}$$

$$L_d = 20000 \text{ h}$$

$$20000 \text{ h} \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{500 \text{ rev}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$L_d = 720 \times 10^6 \text{ rev}$$

Obtenido el valor la duración de diseño, se utiliza la Ecuación (8) para ver con que carga de diseño va a trabajar.

$$C = Pd \times \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}}$$

$$C = 3222,74 \text{ lb}$$

[8]

Se selecciona en el catálogo de rodamientos NSK, la carga más aproximada de la que se calculó y por facilidad de acople con el eje del motorreductor se obtiene un rodamiento de diámetro interno:

$$D = 1,38 \text{ in} \quad [8.1]$$

Simulación y verificación del factor de seguridad del eje con los rodamientos: El factor de seguridad simulado en el software tiene que superar al valor de diseño, como se observa en la Figura 5 el factor de seguridad mínimo es de 5,4 la cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

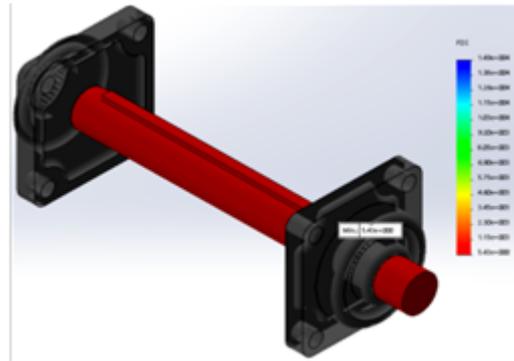


Figura 5

Cuchillas de cizalladura: El objetivo de las cuchillas de cizalladura es realizar el corte a la botella en pequeñas hojuelas la caja de chuchillas, y la fuerza necesaria de corte que va a necesitar es de 3200 Newton.

El tipo de material y recomendado para este tipo de procesos es de acero AISI D2.

Para el diseño de la cuchilla se determina:

- El momento flector
- El tipo de sección

El momento flector se obtiene mediante la Ecuación (9), que se detalla a continuación:

$$M = F \times d \quad [9]$$

Donde:

M = Momento flector

F = Fuerza aplicada

d = distancia del centro del diámetro hasta la punta de corte de la cuchilla (4.17 in).

$$M = 2,999,73 \text{ lb} \cdot \text{in} \quad [9.1]$$

Obtenido el momento flector, se determina la sección mínima, aplicando la condición de esfuerzos despejando de la Ecuación (10).

$$\sigma D = \frac{M}{S}$$

$$\sigma D \leq \sigma a$$

$$S \geq 0,05 \text{ in}$$

[10]

Con el módulo de sección, la base de la cuchilla de cizalladura que es de 1.1 in, se calcula la altura necesaria despejando de la Ecuación (11), ya que es de una sección rectangular.

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

$$h = 0,52 \text{ in}$$

[11]

Simulación y verificación del factor de seguridad de las cuchillas de cizalladura: Como se observa en la Figura 6 se puede observar que el factor de seguridad mínimo es de 3.5 la cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

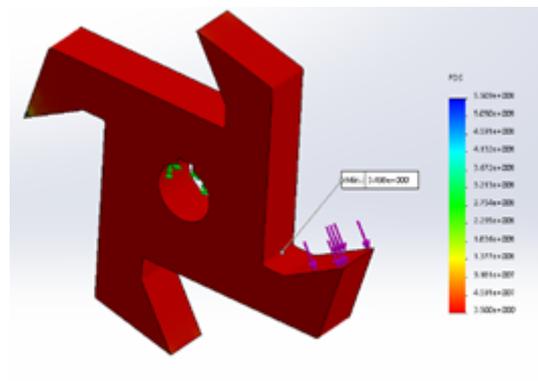


FIGURA 6
Factor de seguridad de la cuchilla con cizalladura.

Engrane Recto: El objetivo del engrane es transmitir el movimiento a las chuchillas de cizalladura. Para el diseño de la cuchilla se determina:

- La fuerza que se aplica en el diente del engrane
- El momento flector
- El tipo de sección del diente

El momento flector se obtiene mediante la Ecuación (12).

$$M = F \times d \quad [12]$$

Donde d mide 2.80 in, este valor se obtiene midiendo desde el centro del diámetro hasta la punta del diente.

$$M = 2014,21 \text{ lb. in} \quad [12.1]$$

Obtenido el momento flector se determinar la sección mínima, aplicando la condición de esfuerzos:

$$\sigma D = \frac{M}{S}$$

$$\sigma D \leq \sigma a$$

$$S \geq 0,067 \text{ in}$$

[1]

Con este módulo de sección, y la base del engrane recto que es de 0,70 in, se calcular la altura necesaria despejando de la Ecuación (14), ya que es una sección rectangular.

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

$$h = 0,76 \text{ in}$$

Simulación y verificación del factor de seguridad del engrane recto: Como se observa en la Figura 7 se puede observar que el factor de seguridad mínimo es de 9.2 la cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

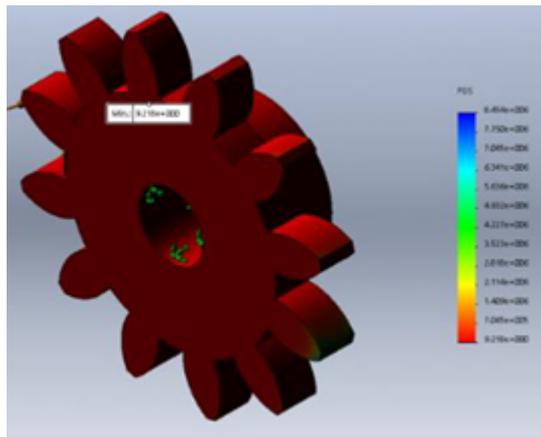


FIGURA 7.
Factor de seguridad del engrane recto.

Diseño Eléctrico/Electrónico

En base a los requerimientos y equipos que se van a utilizar se debería seleccionar un controlador lógico programable (PLC) (Marchant & Pérez, 2017), ya que trabajan con una salida a 24 - 220 V, con estos parámetros se seleccionan a los elementos eléctricos y electrónicos.

En cambio, para la selección de las protecciones del motorreductor, se basó en las características de este, con las siguientes características:

- Potencia: 2,6 HP
- Voltaje: 220 VAC
- Corriente nominal: 8,7 A

Con la siguiente operación se puede calcular cual es la corriente protección, y determinado el valor se puede seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos.

$$IF = 2 \times 8,7 A$$

$$IF = 17,4 A$$

Selección de componentes eléctricos y electrónicos.

Contactores: Se seleccionó un contactor siemens 3RT 1026 -1AN20 con las siguientes características:

- Voltaje de control: 230 VAC
- Corriente de trabajo máx.: 24 A

Breaker de circuito de control: Se seleccionó un breaker siemens 3VT1 con las siguientes características:

- Voltaje: 250 VAC
- Corriente de trabajo max: 160 A

Sensor Infrarrojo: Se seleccionó un sensor infrarrojo CNY70 que tiene las siguientes características:

- 50 mA
- 5V

Sensor de nivel: También se seleccionó un sensor infrarrojo CNY70, ya que este se puede controlar el rango de medición de censado lo cual sirve como un sensor de nivel.

Fines de carrera: Se seleccionó microswitches MK interruptor final de carrera con palanca con las siguientes características:

- Voltaje = 125 VAC
- Corriente nominal = 3A

Luces indicadoras: Se seleccionó 3 luces led indicadoras, para cumplir con los requerimientos mencionados anteriormente.

Pulsadores: Se utilizó un interruptor de llave unipolar electromecánico con seguridad que trabaja a 250V, para las necesidades mencionadas en el anterior capítulo.

Diseño del sistema de control: Se seleccionó un plc LOGO 230RC SIEMENS ya que es sumamente rápido y sencillo de manejar, la cual cumplen los requerimientos necesarios a gran cabalidad que se mencionan a continuación:

- Alimentación de 115 - 240 V
- 8 entradas digitales
- relés de 10 A de salida
- entradas analógicas
- Display

El flujograma como se detalla en la Figura 8 se observa el proceso de control del sistema, empezando con la verificación de dos condiciones, la primera, verifica la señal del I1 (botonera en estado ON) y la segunda, verifica las señales de I3 (sensor de llenado), no supere el nivel de llenado, I4 (Fin de carrera de la puerta de almacenamiento) y I5 (Fin de carrera de la puerta del motorreductor), se encuentren en contacto con las puertas y los fines de carrera. Una vez cumplida las dos condiciones, pasa por un temporizador, de 2 segundos, transcurrido el tiempo pasa a la última condición, del I2 (sensor infrarrojo), que debe censar la señal de paso de botella, cumplida la dicha condición activara a Q1 (Motorreductor).

Es importante recalcar que se colocó un temporizador por motivos de seguridad, porque pueden existir perturbaciones en las primeras condiciones dadas, así demorará el tiempo de activación del Q1.

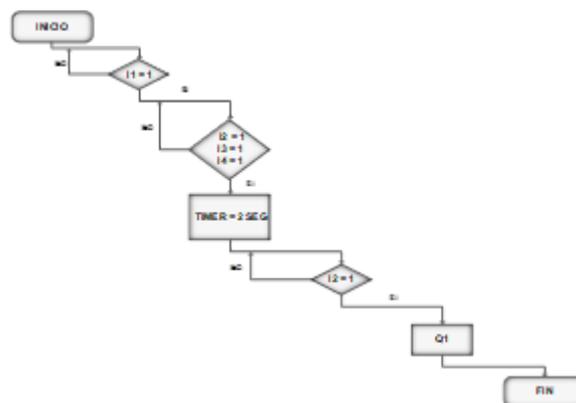


FIGURA 8
Diagrama de flujo para el algoritmo de control.

RESULTADOS

Funcionamiento de control y programación

Para el sistema de control se realizó el funcionamiento en la máquina con el controlador lógico programable (PLC) y sus elementos seleccionados como se muestra en la Figura 9 y Figura 10, la cual garantizó un correcto funcionamiento, del actuador eléctrico, los fines de carrera, el sensor de llenado, el sensor infrarrojo, los switch ON/OFF y el de paro de emergencia.

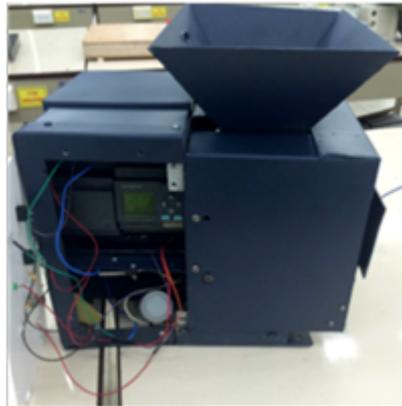


FIGURA 9.
Conexiones de los sensores con el PLC Logo.

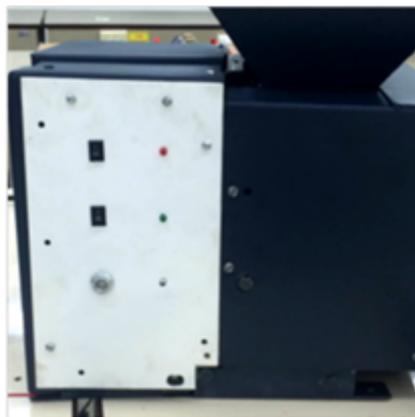


FIGURA 10.
Tablero eléctrico.

Primeramente, se realizó una encuesta a las personas encargadas del aseo en el instituto, para de esa manera determinar el flujo de botellas plásticas de PET aproximada que se generan como desecho diariamente; dato que fue de vital importancia para las especificaciones técnicas de la máquina, con estos datos nos dimos cuenta de que el 25 a 50% del contenedor metálico de basura se llena con plásticos sólidos de los cuales su gran mayoría pertenecen a las botellas PET de 500 ml.

La máquina trituradora automatizada para envases plásticos produce un mejoramiento en procesos repercutiendo en los costos. La siguiente tabla presenta una comparación entre en sistema manual y el sistema automático con sus ventajas.

TABLA 5
Comparación sistema manual y sistema automatizado

Tabla 5. Comparación sistema manual y sistema automatizado

Sistema manual	Sistema automatizado	Ventajas
Para la cizalladura del PET se realiza con un molino de condiciones caceras, aplicación de una fuerza por el brazo.	El sistema es capaz de realizar el cizallamiento a través de una manera automática.	El tiempo se reduce en un 40% y la mano de obra en un 30%.
El operario debe permanecer durante todo el proceso de cizalladura.	El operario abastece a la máquina sin necesidad de permanecer todo el tiempo del proceso.	Se reduce la mano de obra a un 50%.
Existe otro operador para el vaciado del recipiente de almacenamiento de las hojuelas.	Se necesita de un solo operario para el vaciado del recipiente.	Se reduce la mano de obra a un 50%.
El operador es el iniciador y finalizador del proceso.	El sistema es capaz de activar y desactivar el actuador.	Se reduce el tiempo de producción a un 50%.
No tiene un sistema de seguridad.	El sistema tiene un sistema de seguridad si existiera una mala manipulación de la máquina.	Garantiza la seguridad del operario y de la máquina.

El sistema necesitará lapsos de tiempo para la inspección de operación de la máquina en el vaciado del recipiente o si existiera alguna falla, incrementando un 80% de producción.

El sistema de seguridad que brinda la máquina garantiza confianza y mejora al proceso de cizalladura, protegiendo principalmente al operario y a la máquina

Discusión

Se presenta el análisis de costos:

TABLA 6
Costo de implementación del sistema.

Tabla 6. Costo de implementación del sistema.			
Costo final de la máquina			
Materiales	Cantidad	Valor unitario (\$)	Subtotal (\$)
Motorreductor	1	\$600	\$600
Sensor infrarrojo CNY70	2	\$2	\$2
Fines de carrera	2	\$1	\$1
PLC Logo 230RC siemens	1	\$180	\$180
Breaker 3 fases	1	\$55	\$55
Contactador	1	\$40	\$40
Relé térmico	1	\$50	\$50
Pulsadores	2	\$2.5	\$5
Luces indicadoras	3	\$0.15	\$0.50
Eje de transmisión	2	\$200	\$400
Matrimonio	1	\$30	\$30
Cuchillas de cizalladura	8	\$70	\$70
Chumacera	2	\$30	\$30
Fuente de alimentación	1	\$50	\$50
Engrane	2	\$65	\$130
Estructura Soporte	1	\$200	\$200
Varios	1	\$80	\$80
Mano de obra	1	\$500	\$500
		Total	\$2423.5

Con el monto total del proyecto, comparamos el salario de un operario que trabaja 8 horas completas y con un salario de \$700, para comprender mejor el beneficio a largo plazo del proyecto. El cual reducirá 4 horas aproximadamente el trabajo del operador, haciendo un ahorro de \$350 al mes. Con la siguiente operación podemos determinar cuánto tiempo podemos recuperar la inversión.

$$\frac{\text{Inversion total}}{\text{Utilidad mensual}} = \frac{\$24235}{\$350} = 7 \text{ meses} \quad [16]$$

Para realizar el análisis del consumo energético en la cuida de Quito se ha procedido a obtener el valor de Kwh en Quito que es de \$0.081, dato obtenido del comprobante de pago de la luz eléctrica.

El consumo de la maquina se calculó en base a la siguiente operación:

TABLA 7
 Datos para el análisis energético.

Tabla 7. Datos para el análisis energético.			
Potencia		Horas de uso al día	Días de uso al mes
Hp	Watts	H	Días
2.5	1865	8	22

Consumo Energético = 328.24 Kwh

Obtenido el valor de consumo energético de la máquina se procede al cálculo de costos como se observa en Tabla 8.

TABLA 8.
 Costos de consumo energético.

Tabla 8. Costos de consumo energético.		
Consumo mensual	Costo Kwh en Quito	Consumo energético
Kwh	\$	\$
328.24	0.081	26.59

CONCLUSIONES

Se realizó el diseño de cada elemento con su factor de seguridad que garantiza un correcto funcionamiento en la máquina, siempre y cuando sean empleados para los parámetros a los que fueron diseñados. En la prueba de dimensiones de las hojuelas se concluyó que las áreas obtenidas del prototipo están dentro de los parámetros de producción de hojuelas.

El tiempo promedio que se demora el prototipo en cizallar el plástico pet con las cuchillas diseñadas es de 14,6 segundos, mejorando la producción de las hojuelas. Se determinó que la producción en un lapso de 24 horas da como resultado una cantidad de 5.918 botellas.

El prototipo de acuerdo con los resultados obtenidos daría una producción anual de 19 toneladas de hojuelas de plástico PET. Se concluyó que el prototipo puede ser llevado a la industria para el mejoramiento de la producción en una empresa de alto rendimiento. La inversión realizada de la máquina se puede recuperar en un periodo de 11 meses, tiempo desde el cual se podrá comenzar a obtener réditos económicos.

Para el consumo de producción se tomó como base de costo el establecido en la ciudad de Quito, dando como resultado de \$ 26,59 sin tomar los recargos y el IVA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrera Mesa, C. E. (2017). Diseño e implementación de un ambiente de aprendizaje mediado por TIC para la enseñanza de operadores mecánicos, en el grado séptimo del Colegio Boyacá de Duitama (Doctoral dissertation, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia).

- Contreras Anchundia, J. A., & Heras Naranjo, J. H. (2018). Construcción de prototipo de máquina recuperadora de botellas PET posconsumo con sistema de trituración (Bachelor's thesis).
- De La Cruz, A., Donoso, J., Gonzales, O., & Soto, R. (2017). Implementación de una máquina didáctica clasificadora para el aprendizaje de procesos mecatrónicos. *Enfoque UTE*, 8(3), 41-55.
- Hidalgo Sánchez, D. A. (2020). Diseño de una maquina trituradora de plástico para la comunidad de Limoncocha, provincia de Sucumbíos-Ecuador.
- Kurniawati, M. (2018). The Application of Vdi 2222 Method in the Process of Designing Tools for Assembling the Four Way Entry Pallet. *Journal of Science and Applicative Technology*, 2(2), 33-44.
- Luque Mendoza, E. Y. (2019). Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET.
- Marchant Silva, F., & Pérez, O. (2017). Diseño de máquina trituradora y acumuladora de plástico PET, para lugares públicos y centros de acopio (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Ingeniería Civil Mecánica).
- Moreno, A. H. G., Paulino, Y. D. L., & Enríquez, C. A. S. (2017). Diseño de un prototipo de trituradora para mejorar el rendimiento de trituración de botellas tipo PET. *Prospectiva Universitaria*, 14(1), 41-46.
- Muñoz Montenegro, E. J., Sánchez Rosales, W., Cárdenas Pérez, C. A., & Sáenz Benavides, J. L. (2019). Diseño de una máquina herramienta de 3-ejes con tecnología CNC para operaciones de maquinado.
- Neira, M. L. N., Escandón, L. V. G., & Vázquez, J. O. Q. (2020). Maquina bio-recicladora de plástico pet: un emprendimiento viable. Caso Azogues–Ecuador. *Telos*, 22(2), 395-409.
- Romo-González, J. R., Tarango, J., & Machin-Mastromatteo, J. (2018). La voz del usuario en la planeación estratégica de bibliotecas públicas usando el Despliegue de la Función de la Calidad (QFD). *Bibliotecas*, 36(2), 1-29.
- Vela Rojas, C. C., Rey Romero, E. J., & Jaimes Rada, A. N. (2018). Diseño y construcción de prototipo de trituración para PET.