

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO DE MÁQUINA SOPLADORA DE PLÁSTICO NEUMÁTICA PARA EL LABORATORIO DE NEURÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS EXTENSIÓN LATACUNGA

Xavier Masapanta A. / e-mail: masapanta86@gmail.com
Esteban Gavilanes V. / e-mail: esteban_d12@hotmail.com
Director: Ing. Ernesto Santillán / ersantillan@espe.edu.ec
Codirector: Ing. Mario Jiménez/ mpjimenez@espe.edu.ec

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad diseñar un prototipo didáctico para ensayos del laboratorio de neutrónica, para mejorar las habilidades laborales en el ámbito industrial y obtener pequeños recipientes de polietileno de alta densidad que se formarán por el soplado en matrices. Utilizando la herramienta de la casa de la calidad se adquiere las especificaciones de la máquina, con ayuda del análisis modular se determina las funciones que tendrá el prototipo obteniendo varias alternativas de solución para cada función y realizando un análisis cuantitativo comparando entre si las diferentes alternativas con los criterios que se establece según el nivel de importancia de la casa de la calidad, se llegó a la mejor alternativa de solución mediante el método ponderado. Una vez establecido las especificaciones y el tipo de máquina se diseña los principales elementos, con ayuda de softwares se realiza estudios térmicos, estáticos y vibratorios para determinar el material adecuado para cada elemento. Se selecciona los elementos eléctricos, electrónicos, neumáticos que se utilizará en la máquina sopladora y finalmente se efectúa las pruebas para el correcto funcionamiento.

PALABRAS CLAVE: POLIETILENO, LABORATORIO DE NEURÓNICA – PROTOTIPO DIDÁCTICO, PLÁSTICOS – INDUSTRIA Y COMERCIO

ABSTRACT

This project aims to design a didactic prototype neutron laboratory tests to improve job skills in industry and get small containers of high density polyethylene to be formed by the blown matrices. Using the house quality specifications of the machine is acquired, using the modular analysis functions that have the prototype is determined by obtaining several alternative solutions for each function and performing a quantitative analysis comparing each different alternatives the criteria established by the level of importance of quality house, reached the best alternative solution by the weighted method. Having established the specifications and type of machine the main elements is designed with the help of software thermal, static and vibratory studies are performed to determine the right material for each item. Electrical, electronics, tires to be used in the blowing machine and finally tested for proper operation is performed is selected.

KEY WORDS: POLYETHYLENE, NEURÓNICA LABORATORY - DIDACTIC PROTOTYPE, PLASTIC - INDUSTRY AND COMMERCE

I. INTRODUCCIÓN

Dada la importancia del tema de máquinas sopladoras de plástico y la influencia que tiene en la zona central del país, se busca emprender una campaña de información, inicialmente entre estudiantes interesados en el tema y posteriormente se hará extensiva a los empresarios. Este trabajo servirá como apoyo de esta campaña cuyo propósito es, además de instruir en el tema de este tipo de maquinaria, brindar la posibilidad de realizar trabajos prácticos a través de ensayos de laboratorio y fortalecer los procesos académicos, extensión e investigación.

El proyecto tiene como fin poner a disposición de los interesados (estudiantes, académicos e industriales), la base teórica y la posibilidad de abordar estudios prácticos en un tema que día a día cobra mayor importancia en la industria.

En el presente artículo se utiliza como metodología el diseño concurrente utilizando la casa de calidad que considera las especificaciones técnicas del prototipo, el análisis funcional y la solución más adecuada de entre varias alternativas para el diseño de la máquina. Se realiza el diseño mecánico del tornillo extrusor; utilizando softwares se obtuvo estudios térmicos, estáticos de los elementos más críticos de la máquina: tornillo extrusor, eje del cabezal y además un estudio vibratorio de la base de la extrusora. Se selecciona los dispositivos eléctricos, electrónicos, neumáticos que conforman la máquina y el tablero de control.

II. DESARROLLO

A. Proceso de moldeo por soplado

Consiste en adquirir una manga tubular de polietileno plastificado que se produce en la extrusora después de pasar por la boquilla. La pieza tubular recibe el nombre de párison, la cual se concentra entre las caras huecas que forman el molde y al suministrar aire a presión obliga al material plastificado a tomar la forma del molde.

La temperatura con la que sale el material de la boquilla se le conoce como temperatura de plastificación, de ésta depende el tiempo necesario para enfriar la pieza antes de salir del molde.

El llenado correcto de las cavidades del molde depende mucho de la presión de soplado. La presión se ajusta según el tamaño de la pieza y del diseño del molde.

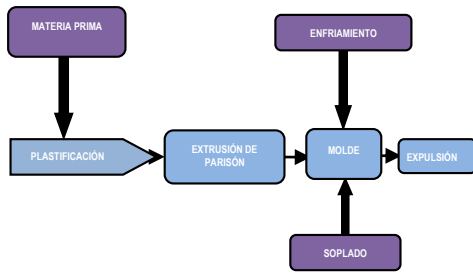


Figura 1: Proceso de molde por soplado

B. Determinación de las especificaciones de la máquina

Las especificaciones técnicas de la máquina son determinadas por medio de la casa de la calidad, que es una herramienta del QFD (Quality function deployment) cuyo fin principal es plasmar los requerimientos, deseos del cliente en el producto y permitir la planificación de la calidad durante todo el ciclo de vida, las mismas que aparecen en la siguiente tabla, empleando el formato de [Riba, 2002].

Tabla 1.

Especificaciones Técnicas de la Máquina

Empresa Cliente: Universidad de las Fuerzas Armadas		Fecha Inicial: 15/02/2014	
Diseñadores: Esteban Gavilanes Vásquez Xavier Masapanta Ayala		Ultima revisión:	
Producto Prototipo de máquina sopladora de plástico por molde		Página 1	
Especificaciones			
Concepto	Fecha	Propone	R/D
Función		C	R
Presión mínima y máxima de cilindros		D	R
Presión de soplado mínima y máxima		D	R
Dimensiones		D	R
Material a procesar		D	R
Velocidad del motor /tornillo		D	R
Velocidad del párison		D	R
Temperatura de trabajo		D	R
Tiempos de soplado y calentamiento		D	R
Automatización		C	R
Fuente de operación		C	R
Mantenimiento		C	R

Propone: C= Cliente, R/D: R= Requerimiento; D= Deseo

Fuente: Casa de la Calidad

C. Análisis Funcional

“Los diagramas de flujo se presentan en diferentes niveles, comenzando con el nivel 0 o función global, y continuando hasta el nivel que se estime conveniente” [Corozo P & Cuatín E., 2011]

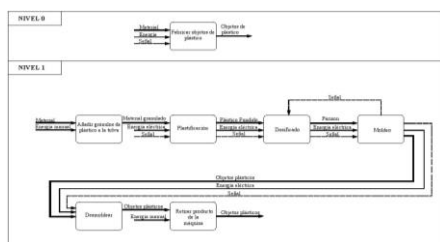


Figura 2: Diagrama Funcional Nivel 0 y 1

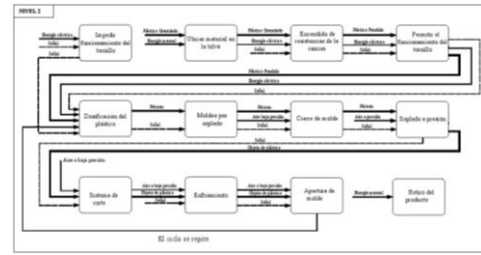


Figura 3: Diagrama Funcional Nivel 2

Se desarrolló el diagrama funcional hasta el nivel 2. En los niveles 0 hasta el 2, se despliega varias acciones implícitas que en los niveles anteriores no se especificaron como se observa en las figuras 2 y 3 que permitirá especificar las funciones que tendrá la máquina.

D. Definición modular

Al observar el diagrama funcional de nivel 2 (figura 4), cumple una función principal fácilmente identificables: fundición del plástico, dosificado y moldeado, por lo que se establece un módulo que realice las funciones correspondientes.

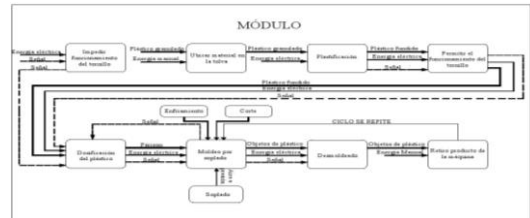


Figura 4: Módulo Funcional Nivel 2

E. Alternativa del módulo y selección del Módulo

Utilizando el diagrama modular se obtuvo varias alternativas de solución para cada función, se realizó un análisis cuantitativo comparando entre si las diferentes alternativas con los criterios que se establece según el nivel de importancia de la casa de la calidad y mediante el método de los promedios ponderados se llegó a la mejor alternativa de solución: **llenado de tolva**: recipiente, **plastificación y dosificado**: husillo único, **moldeo**: soplado y **desmoldeo**: neumáticamente.

F. Parámetros de Diseño

Los parámetros de diseño para la extrusora de plástico se establecen de acuerdo a los requerimientos de Laboratorio de Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga al espacio disponible y a las dimensiones típicas para extrusoras de plástico recomendado por [Lafleur Pierre & Vergnes, 2014] mostrados en la tabla 2.

Tabla 2

Dimensiones típicas de una extrusora de plástico convencional

DESCRIPCION	MINIMO	MAXIMO	VALOR TIPICO
Longitud total (L)	20 D	30 D	24 D
Diámetro del tornillo (D)	2 cm	90 cm	
Paso del tornillo (p)			1 D
Longitud de la zona de alimentación (La)	4 D	8 D	4 D
Longitud de la zona de transición (Lt)	6 D	10 D	10 D
Longitud de la zona de dosificación (Ld)	6 D	10 D	10 D
Ancho del filete del tornillo (t)	0.1 D	0.15 D	0.1 D
Angulo del filete con la vertical (φ)	15°	30°	
Profundidad zona de alimentación (h1)	0.1 D	0.2 D	
Profundidad zona de dosificación (h2)	0.05 D	0.1 D	
Relación de compresión (h1/h2)	2	4	
Holgura entre el cañón y el filete (δ)	0.0025 D	0.0035 D	
Revoluciones del tornillo RPM (N)	50	150	
Flujo máscico de producción (m _p)	10 Kg/h	1000 Kg/h	

Fuente: (Lafleur Pierre & Vergnes, 2014)

Según la tabla 2 se determinan los parámetros que influyen directamente en el diseño de la extrusora, que se describen

a continuación de acuerdo con la nomenclatura mostrada en las figuras 6 y 7:

Tabla 3

Parámetros de diseño

> Temperatura ambiente T_{amb}	15 °C
> Material para extruir	Poliuretano de alta densidad (HDPE)
> Viscosidad cinemática del HDPE fundido (η)	800 N s/m ²
> Longitud total del tornillo (L)	0.732 m
> Diámetro del cañón (D_c)	0.0307 m
> Diámetro del tornillo (D)	0.0305 m
> Paso del tornillo (p)	0.0305 m
> Longitud de la zona de alimentación (L_A)	0.1220 m
> Longitud de la zona de transición (L_T)	0.3050 m
> Longitud de la zona de dosificación (L_D)	0.3050 m
> Ancho del filete del tornillo (t)	0.0040 m
> Profundidad zona de alimentación (h_1)	0.0060 m
> Profundidad zona de dosificación (h_2)	0.00175 m
> Holgura entre el cañón y el filete (δ)	0.0001 m
> Velocidad de giro del tornillo (N)	105 rpm (1.75 rps)
> Factor de seguridad recomendado	2,0

➤ Geometría del tornillo

Como se muestra en la figura 5, el proceso que sufre el polietileno de alta densidad (HDPE) dentro de la extrusora consta de tres etapas llamadas: Alimentación, Transición y Dosificado.

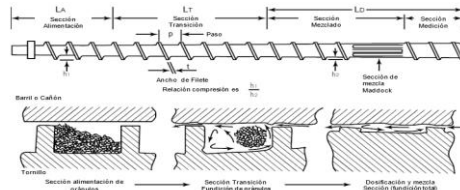


Figura 5: Diferentes zonas de una extrusora
Fuente: (Lafleur Pierre & Vergnes, 2014)

Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son su longitud (L), diámetro (D), ángulo del filete (φ) y paso de rosca (p).

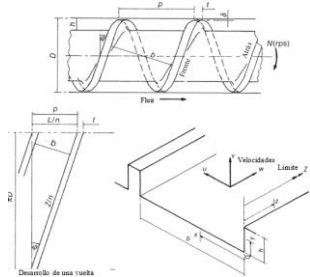


Figura 6: Nomenclatura y sistema de coordenadas
Fuente: (Stevens & Covas, 1995)

De acuerdo con la figura 6, se determina que el ángulo del filete de la hélice del tornillo con la vertical (φ) [Stevens & Covas, 1995], se obtiene a partir de:

$$\tan \varphi = \frac{p}{\pi \cdot D} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{0.0305 \text{ m}}{\pi \cdot 0.0305 \text{ m}} \right)$$

$$\varphi = 17.65^\circ$$

El ancho del canal (b) en dirección normal al filete del tornillo, viene dado por:

$$b = (p - t) \cdot \cos \varphi \quad \text{Ec. 2}$$

$$b = (0.0305 - 0.004) \cdot \cos 17.65^\circ$$

$$b = 0.02525 \text{ m}$$

La longitud total del canal Z:

$$Z = \frac{L}{\sin \varphi} \quad \text{Ec. 3}$$

$$Z = \frac{0.732 \text{ m}}{\sin 17.65^\circ} = 2.41 \text{ m}$$

➤ Análisis del movimiento del polímero en la extrusora

Para el estudio se considera las características geométricas y los componentes de las velocidades [Stevens & Covas, 1995].

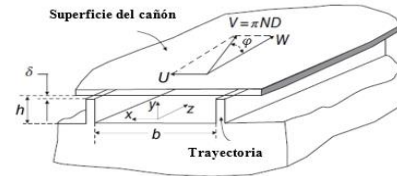


Figura 7: Características geométricas y componentes de la velocidad
Fuente: (Lafleur Pierre & Vergnes, 2014)

La componente longitudinal de la velocidad (W) es la que provoca un flujo neto de material en la superficie interna del cañón a lo largo de la extrusora.

$$W = \pi \cdot D \cdot N \cdot \cos \varphi \quad \text{Ec. 4}$$

$$W = \pi \cdot 0.0305 \cdot 1.75 \cdot \cos 17.65^\circ$$

$$W = 0.160 \text{ m/s}$$

La componente transversal de la velocidad (U) genera el movimiento lateral del flujo de HDPE.

$$U = \pi \cdot D \cdot N \cdot \sin \varphi \quad \text{Ec. 5}$$

$$U = \pi \cdot 0.0305 \cdot 1.75 \cdot \sin 17.65^\circ$$

$$U = 0.051 \text{ m/s}$$

➤ Cantidad de polímero extruido

El mecanismo de transporte de sólidos deja de estar controlado por la gravedad y se transforma en un transporte inducido por arrastre.

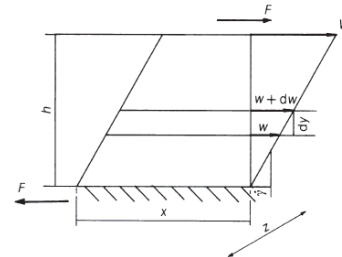


Figura 8: Flujo de corte
Fuente: (Lafleur Pierre & Vergnes, 2014)

Cuando una capa de polímero a temperatura uniforme y espesor h_1 , es cortado por una fuerza F que actúa en las caras opuestas (figura 8), se genera un movimiento relativo que produce en el polímero un flujo de corte ($\dot{\gamma}$).

Tabla 4

Flujo de corte en las zonas del tornillo

Alimentación	Transición	Dosificación
$\dot{\gamma}_A = \frac{W}{h_1}$	$\dot{\gamma}_T = \frac{W}{h_2}$	$\dot{\gamma}_D = \frac{W}{h_2}$
Ec. 6	Ec. 7	Ec. 8
	$h_2 = \frac{h_1 + h_2}{2}$	
$\dot{\gamma}_A = \frac{0.160 \text{ m/s}}{0.006 \text{ m}} = 26.63 \text{ s}^{-1}$	$h_2 = \frac{0.006 + 0.00175}{2} = 0.003875 \text{ m}$	$\dot{\gamma}_D = \frac{0.160 \text{ m/s}}{0.00175 \text{ m}} = 91.30 \text{ s}^{-1}$
	$\dot{\gamma} = \frac{0.160 \text{ m/s}}{0.003875 \text{ m}} = 41.23 \text{ s}^{-1}$	

El flujo volumétrico de polímero debido al movimiento relativo del cañón y el tornillo, llamado flujo de arrastre (Q_D), es el principal responsable del movimiento del

material desde la tolva de alimentación hasta la zona de transición:

$$Q_D = \frac{W}{2} \cdot b \cdot h_1 \quad \text{Ec. 9}$$

$$Q_D = \frac{0.160 \text{ m/s}}{2} \cdot 0.02525 \text{ m} \cdot 0.006 \text{ m}$$

$$Q_D = 12.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo tanto, el flujo másico de polímero extruido por el tornillo de la extrusora donde ρ es la densidad del HDPE [Stevens & Covas, 1995]:

$$m_D = \rho \cdot Q_D \quad \text{Ec. 10}$$

$$m_D = 965 \text{ kg/m}^3 \cdot 12.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_D = 0.012 \text{ kg/s} = 42.05 \text{ kg/h}$$

➤ Flujo de presión

El flujo de presión o de retroceso (Q_P) es opuesto al flujo de arrastre (Q_D) y se genera debido a la diferencia de presión entre la tolva y el cabezal de la máquina, esta última presión es originada por la restricción que impone la boquilla [Stevens & Covas, 1995].

Considerando los tornillos con un diseño óptimo cumple la relación se igualan las ecuaciones 11 y 12 y se obtiene la presión.

$$Q_P = \frac{b \cdot h_1^3}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{P}{Z} \quad \text{Ec. 11}$$

$$\frac{Q_P}{W \cdot b \cdot h_1} = \frac{1}{3} \quad \text{Ec. 12}$$

$$\frac{b \cdot h_1^3}{12 \cdot \eta \cdot Z} \cdot P = \frac{W \cdot b \cdot h_1}{3}$$

$$P = \frac{4 \cdot W \cdot \eta \cdot Z}{h_1^2}$$

$$P = \frac{4 \cdot 0.160 \text{ m/s} \cdot 800 \text{ N s/m}^2 \cdot 2.41 \text{ m}}{0.006^2 \text{ m}^2}$$

$$P = 34.28 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 34.28 \text{ MPa}$$

h_1 =profundidad zona alimentación
 η =viscosidad HDPE
 P =Presión

Por lo tanto, el flujo volumétrico de presión (Q_P) es

$$Q_P = \frac{b \cdot h_1^3}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{P}{Z} \quad \text{Ec. 11}$$

$$Q_P = \frac{0.02525 \text{ m} \cdot 0.006^3 \text{ m}^3}{12 \cdot 800 \text{ N s/m}^2} \cdot \frac{34.28 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}{2.41 \text{ m}}$$

$$Q_P = 8.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ Flujo másico de presión m_P

Donde ρ = Densidad del HDPE [kg/m^3]

$$m_P = \rho \cdot Q_P \quad \text{Ec. 13}$$

$$m_P = 965 \text{ kg/m}^3 \cdot 8.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_P = 0.0078 \text{ kg/s} = 28.03 \text{ kg/h}$$

➤ Flujo másico total m_{Tot}

El flujo másico total es igual a la diferencia del flujo másico de polímero extruido m_D y el flujo másico de presión m_P .

$$m_{Tot} = m_D - m_P \quad \text{Ec. 14}$$

$$m_{Tot} = 42.05 \text{ kg/h} - 28.03 \text{ kg/h}$$

$$m_{Tot} = 14.02 \text{ kg/h}$$

➤ Presión máxima del polímero

Un caso extremo se tiene cuando se obstruye el extremo de la extrusora y no hay salida de polímero ($Q_P = 0$), generando una presión máxima (P_{max}) en el cañón de la extrusora (Crawford R., 1998). Por lo tanto, el diseño debe tener en cuenta este caso extremo durante la obstrucción. Donde h_3 = profundidad promedio de la zona de transición.

$$P_{max} = \frac{6 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot N \cdot \eta}{h_3^2 \cdot \tan \varphi} \quad \text{Ec. 15}$$

$$P_{max} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 0.0305 \text{ m} \cdot 0.732 \text{ m} \cdot 1.75 \text{ rev/s} \cdot 800 \text{ N s/m}^2}{0.003875^2 \text{ m}^2 \cdot \tan 17.65^\circ}$$

$$P_{max} = 123.3 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 123.3 \text{ MPa}$$

➤ Potencia requerida por el tornillo extrusor

La potencia mecánica absorbida por el tornillo de extrusión por cada vuelta de la hélice se determina en cada zona del tornillo.

➤ Potencia en la zona de alimentación

La potencia total en la zona de alimentación viene dado por la suma de la potencia absorbida por el canal E_{dzA} más la potencia de arrastre E_{stA} . [Stevens & Covas, 1995].

$$E_A = 4 \cdot (E_{dzA} + E_{stA}) W/\text{vuelta} \quad \text{Ec. 16}$$

$$E_{dzA} = \frac{\eta \cdot W^2 \cdot b \cdot z}{h_1} \left[4(1 + \tan^2 \varphi) - \frac{6 \cdot Q_P}{W \cdot b \cdot h_1} \right] + \frac{\eta \cdot W^2 \cdot t \cdot z}{\delta \cdot \cos \varphi}$$

$$E_{dzA} = 107.0 \text{ W/vuelta}$$

$$E_{stA} = 800 \text{ N s/m}^2 \cdot 26.63^2 \text{ s}^{-2} \cdot \pi \cdot 0.0305 \text{ m} \cdot 0.02525 \text{ m} \cdot 0.006 \text{ m}$$

$$E_{stA} = 8.23 \text{ W/vuelta}$$

$$E_A = 4 \cdot (107.0 + 8.23) W/\text{vuelta}$$

$$E_A = 460.9 \text{ W}$$

➤ Potencia en la zona de transición

La potencia total en la zona de transición viene dado por la suma de la potencia absorbida por el canal E_{dzT} más la potencia de arrastre E_{stT} . [Stevens & Covas, 1995].

$$E_T = 10 \cdot (E_{dzT} + E_{stT}) W/\text{vuelta} \quad \text{Ec. 17}$$

$$E_{dzT} = \frac{\eta \cdot W^2 \cdot b \cdot z}{h_3} \left[4(1 + \tan^2 \varphi) - \frac{6 \cdot Q_P}{W \cdot b \cdot h_3} \right] + \frac{\eta \cdot W^2 \cdot t \cdot z}{\delta \cdot \cos \varphi}$$

$$E_{dzT} = 103.73 \text{ W/vuelta}$$

$$E_{stA} = 800 \text{ N s/m}^2 \cdot 41.23^2 \text{ s}^{-2} \cdot \pi \cdot 0.0305 \text{ m} \cdot 0.02525 \text{ m} \cdot 0.003875 \text{ m}$$

$$E_{stT} = 12.75 \text{ W/vuelta}$$

$$E_T = 10 \cdot (103.73 + 12.75) W/\text{vuelta}$$

$$E_T = 1164.8 \text{ W}$$

➤ Potencia en la zona de dosificación

La potencia total en la zona de dosificación viene dado por la suma de la potencia absorbida por el canal E_{dzD} más la potencia de arrastre E_{stD} . [Stevens & Covas, 1995].

$$E_D = 10 \cdot (E_{dzD} + E_{stD}) W/\text{vuelta} \quad \text{Ec. 18}$$

$$E_{dzD} = \frac{\eta \cdot W^2 \cdot b \cdot z}{h_2} \left[4(1 + \tan^2 \varphi) - \frac{6 \cdot Q_P}{W \cdot b \cdot h_2} \right] + \frac{\eta \cdot W^2 \cdot t \cdot z}{\delta \cdot \cos \varphi}$$

$$E_{dzD} = 13.56 \text{ W/vuelta}$$

$$E_{stD} = 800 \text{ N s/m}^2 \cdot 26.63^2 \text{ s}^{-2} \cdot \pi \cdot 0.0305 \text{ m} \cdot 0.02525 \text{ m} \cdot 0.00175 \text{ m}$$

$$E_{stD} = 28.24 \text{ W/vuelta}$$

$$E_D = 10 \cdot (13.56 + 28.24) W/\text{vuelta}$$

$$E_D = 418.0 \text{ W}$$

➤ Potencia total absorbida en el tornillo

Viene dado por la suma de la potencia en cada zona del tornillo. [Stevens & Covas, 1995].

$$E_{Tot} = E_A + E_T + E_D \quad \text{Ec. 19}$$

$$E_{Tot} = 460.9 \text{ W} + 1164.8 \text{ W} + 418.0 \text{ W}$$

$$E_{Tot} = 2043.7 \text{ W}$$

➤ Selección del motor

La potencia mínima requerida para accionar el movimiento de giro del tornillo extrusor es 2043.7 W, se selecciona un motor eléctrico de torque normal con una velocidad de giro nominal de 1750 rpm. El torque mínimo requerido en el eje del motor se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Pot = T_{mot} \cdot \omega_{mot} \quad \text{Ec. 20}$$

$$T_{mot} = \frac{2043.7 \text{ Nm/s}}{1750 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$T_{mot} = 11.2 \text{ Nm}$$

Debido que los 2043.7 W es solamente la potencia requerida por la extrusora para procesar el HDPE, sin tomar en cuenta las pérdidas en el motor, la transmisión y el reductor de velocidad, se considera una eficiencia del sistema del 70% con el objeto de contemplar situaciones particulares adversas, así como la eficiencia eléctrica del motor y la eficiencia mecánica del reductor de velocidad, la potencia del motor es:

$$Pot_{mot} = \frac{2043.7 \text{ W}}{0.7} = 2920 \text{ W}$$

Por lo tanto, se selecciona un motor eléctrico de corriente alterna de 3 kW (4 hp), 1750 rpm con 11.2 Nm de torque mínimo.

➤ Calor requerido para fundir el polietileno de alta densidad (HDPE)

El flujo de calor máximo requerido para calentar el HDPE desde la temperatura ambiente (15°C) hasta la máxima temperatura del intervalo de procesamiento (260°C), se calcula en función del flujo máximo total de polímero a ser extruido. [Holman, 1986] y [Cengel, 2007].

$$\dot{Q}_{req} = m_{Tot} \cdot c_{pHDPE} \cdot (T_{proc} - T_{amb}) \quad \text{Ec. 21}$$

$$\dot{Q}_{req} = 14.02 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (533 - 288) \text{K}$$

$$\dot{Q}_{req} = 7556.8 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_{req} = 2.1 \text{ kW}$$

➤ Flujo de calor a través del cañón de la extrusora

El flujo de calor se transmite por conducción a través de las paredes del cañón desde los calentadores eléctricos ubicados en el exterior hasta el flujo de HDPE en contacto con el tornillo extrusor. El cálculo del flujo de calor en la extrusora se realiza mediante el análisis de las paredes cilíndricas compuesta mostrada en la figura 9.

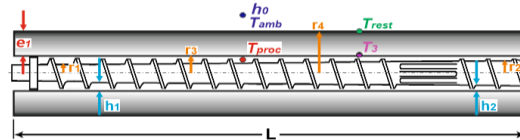


Figura 9: Secciones cilíndricas compuestas del cañón de la extrusora

A partir de los parámetros de diseño y el análisis de las figuras 7 y 9. Donde r_3 =radio parte final, r_2 =radio zona transición, r_1 =radio zona alimentación, r_4 =radio zona dosificación, D_c = diámetro del cañón, r_m =radio medio del tornillo y e_1 = espesor del cañón 0,0195 m

Tabla 5
Diferentes radios de la figura 9

$r_3 = \frac{D_c}{2}$	$r_1 = r_3 - h_1$
$r_3 = \frac{0.031 \text{ m}}{2} = 0.0155 \text{ m}$	$r_1 = 0.0155 - 0.006 = 0.0095 \text{ m}$
$r_2 = r_3 - h_2$	$r_4 = r_3 + e_1$
$r_2 = 0.0155 - 0.00175 = 0.01375 \text{ m}$	$r_4 = 0.0155 + 0.0195 = 0.035 \text{ m}$
$r_m = \frac{r_1 + r_2}{2}$	
$r_m = \frac{0.0095 + 0.01375}{2} = 0.011625 \text{ m}$	

El proceso de transferencia de calor a través de las paredes compuestas de la extrusora (figura 9) puede expresarse en forma análoga a un circuito eléctrico mediante la serie de resistencias térmicas mostradas en la figura 10.

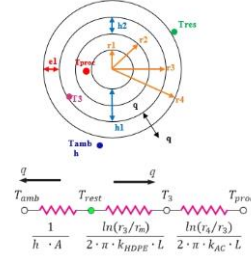


Figura 10: Flujo de calor unidimensional a través de las secciones cilíndricas
Fuente: (Holman, 1986)

El flujo de calor total del sistema se calcula como la razón de la diferencia de temperatura total a la suma de las resistencias térmicas [Holman, 1986]. Donde k_{HDPE} = conductividad térmica del HDPE (0,25 W/m°C), k_{AC} = conductividad térmica del acero (45 W/m °C), T_{rest} = temperatura resistencias, T_{proc} = temperatura de procesamiento.

$$q = \frac{T_{rest} - T_{proc}}{\frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{\ln(r_3/r_m)}{2 \cdot \pi \cdot k_{HDPE} \cdot L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2 \cdot \pi \cdot k_{AC} \cdot L}} \quad \text{Ec. 22}$$

$$q = \frac{(T_{rest} - 260)}{0.2541}$$

$$q = 3,935 \cdot T_{rest} - 1023,09 \quad \text{Ec. 23}$$

➤ Pérdidas de calor en la extrusora

Estas pérdidas se producen como resultado del movimiento del flujo de aire sobre las resistencias eléctricas. La velocidad de circulación del aire contenido entre el cañón y la cubierta es mínima, por lo que se toma el valor más bajo del rango de coeficientes de transferencia de calor por convección para gases en convección libre (Cengel, 2007), es decir:

$$h = 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

En base a la figura 10, se determina que las pérdidas de calor por convección $q_{convección}$ en la superficie exterior del cañón de la extrusora. Donde T_{amb} = temperatura ambiente, A = área

$$q_{convección} = \frac{T_{rest} - T_{amb}}{\frac{1}{h \cdot A}} \quad \text{Ec. 24}$$

$$q_{convección} = h \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_4 \cdot L \cdot (T_{rest} - T_{amb})$$

$$q_{convección} = 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,035 \text{ m} \cdot 0,732 \text{ m} \cdot (T_{rest} - 15) \text{°C}$$

$$q_{convección} = 0,322 \cdot T_{rest} - 4,83 \quad \text{Ec. 25}$$

La temperatura requerida en los calentadores eléctricos se obtiene igualando las ecuaciones 23 y 25 debido a la cantidad de calor que entra, igual a la cantidad de calor que sale:

$$3,935 \cdot T_{rest} - 1023,09 = 0,322 \cdot T_{rest} - 4,83$$

$$3,935 \cdot T_{rest} - 0,322 \cdot T_{rest} = 1023,09 - 4,83$$

$$T_{rest} = 281,8 \text{°C}$$

Por lo tanto, a partir de la ecuación 25 se obtienen las pérdidas por convección extrusora:

$$q_{\text{convección}} = 0,322 \cdot 281,8 - 4,83$$

$$q_{\text{convección}} = 86,0 \text{ W} = 0,086 \text{ kW}$$

➤ Cálculo de la potencia de calentamiento

La potencia total requerida para mantener el HDPE a la temperatura máxima de procesamiento de 260°C, se obtiene sumando al calor requerido para fundir el HDPE, las pérdidas de calor en la extrusora, por lo tanto se tiene:

$$Pot_{\text{ter}} = \dot{Q}_{\text{req}} + q_{\text{convección}} \quad \text{Ec. 26}$$

$$Pot_{\text{ter}} = (2,10 + 0,086) \text{ kW}$$

$$Pot_{\text{ter}} = 2,19 \text{ kW}$$

El valor de referencia del sobredimensionamiento fue tomado de (Cifuentes, 2011). Con el objeto de contemplar situaciones particulares adversas así como la unión entre los calentadores y el cañón, se considera un factor de sobredimensionamiento entre 1,2 y 1,4 por el tiempo de envejecimiento de los mismos

$$Pot_{\text{cal}} = 1,3 \cdot 2,19 \text{ kW} \quad Pot_{\text{cal}} = 2,85 \text{ kW} \approx 3,0 \text{ kW}$$

G. Análisis estático del tornillo extrusor

Determinar el comportamiento del tornillo extrusor con un torque = 186, Nm que estará sometido. Con la ayuda del software CES Selector EduPack 2013 (versión estudiantil) se seleccionó el material AISI 4140 que resistirá las cargas que estará sometido el tornillo.

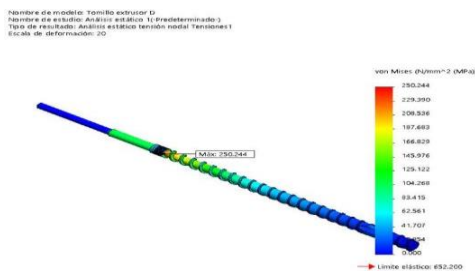


Figura 11: Tensión de Von Mises del tornillo extrusor

Al culminar el análisis se obtiene un factor de seguridad en el tornillo de 2,61 como se observa en la figura 12.

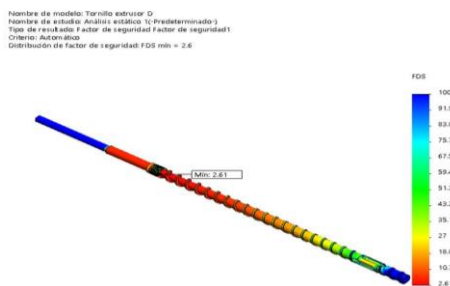


Figura 12: Factor de seguridad del tornillo extrusor

I. Análisis térmico del tornillo extrusor

Con ayuda del software ANSYS se realizó el estudio térmico del tornillo extrusor. Para saber la temperatura que esta el tornillo se realizó un análisis 2D del cañón dando una temperatura de 154,51 °C como se observa en la figura 13.

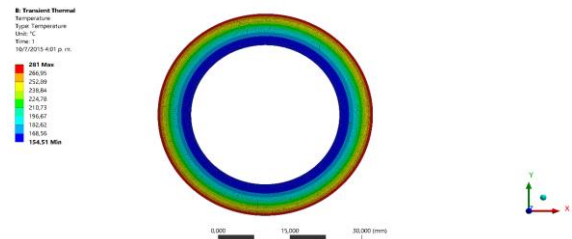


Figura 13: Transferencia de calor de la sección del cañón

De esta manera se ha calculado la temperatura que actúa en el tornillo extrusor, así se procede a la simulación del estado térmico. Dando como resultado una deformación de 0,157 mm como se observa en la figura 14

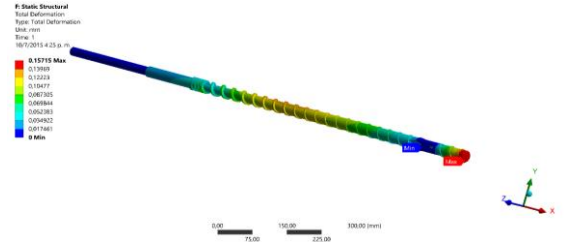


Figura 14: Deformación total del tornillo por temperatura y carga

El resultado obtenido por ANSYS al análisis térmico dio como resultado un factor de seguridad de mínimo 1.3 en la parte final del tornillo que es el más crítico como se observa en la figura 15.

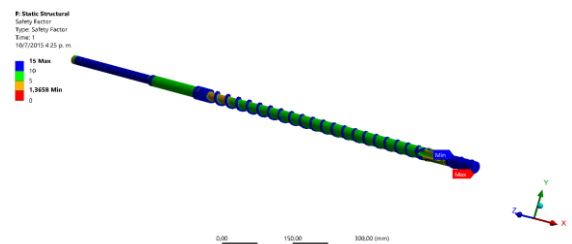


Figura 15: Factor de seguridad del tornillo por cargas y temperatura

H. Análisis estático del eje del cabezal

Las cargas que está expuesto es la presión de obstrucción $P = 123,3 \text{ MPa}$. Las soluciones que se han obtenido al realizar el análisis estático son la tensión de Von Mises y el factor de seguridad.

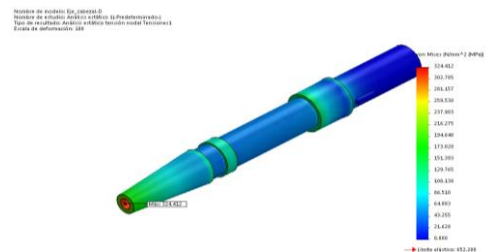


Figura 16: Tensión de Von Mises del eje del cabezal

Al culminar el análisis se obtiene un factor de seguridad en el eje del cabezal de 2,01 como se observa en la figura 17.

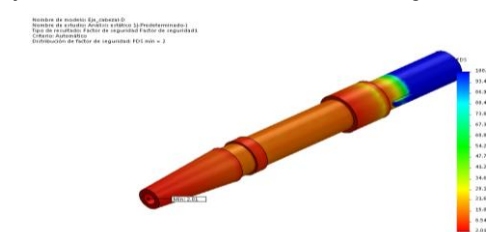


Figura 17: Factor de seguridad del eje del cabezal

K. Análisis térmico del eje de cabezal

Con ayuda del software ANSYS se realizó el análisis térmico del eje del cabezal tomando como dato la temperatura de 199 °C que llegara las resistencias. Las soluciones que se han obtenido son la deformación por la temperatura y la tensión de Von Mises.

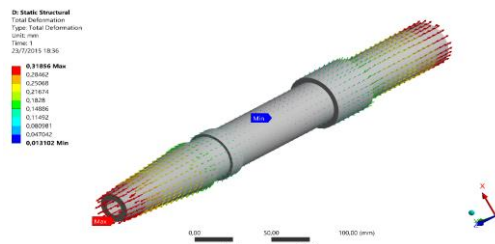


Figura 18: Deformación del eje del cabezal por la temperatura

El resultado obtenido por ANSYS al Análisis térmico dio como resultado una deformación de 0,31 mm como se ve en la figura 19.

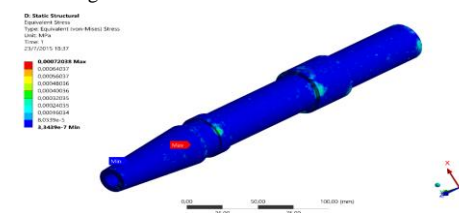


Figura 19: Tensión de Von Mises del eje del cabezal con temperatura

El resultado obtenido por ANSYS al análisis térmico dio como resultado una tensión de Von Mises de 0,0072 MPa, como se ve en la figura 19.

L. Análisis estático del soporte de la extrusora

La carga que está sometida es de 2394 N. Las soluciones que se han obtenido al realizar el análisis estático son la tensión de Von Mises y el factor de seguridad.

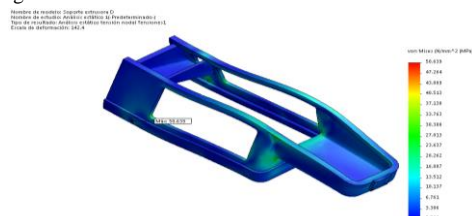


Figura 20: Tensión de Von Mises del soporte de la extrusora

Al culminar el análisis se obtiene un factor de seguridad en el eje del cabezal de 2,44 como se observa en la figura 20.

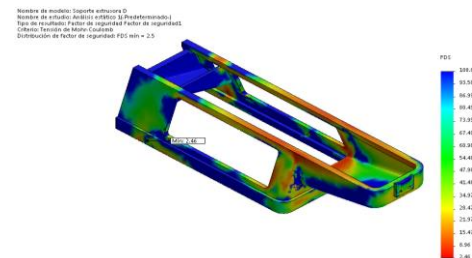


Figura 21: Factor de seguridad del soporte de la extrusora

M. Análisis vibratorio del soporte de la extrusora

Con ayuda del software ANSYS se realizó el estudio modal que permite ver las diferentes formas de deformación a una frecuencia máxima de 500 Hz como se observa en la figura 22.

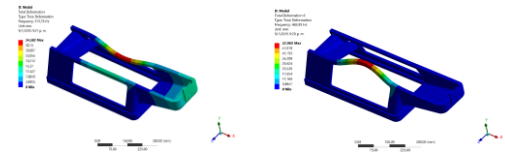


Figura 22: Deformaciones en el análisis modal

El resultado obtenido por ANSYS a la respuesta transitoria a una frecuencia de 500 Hz y la carga sometida de 2394 N dio como resultado una tensión de Von Mises y una deformación.

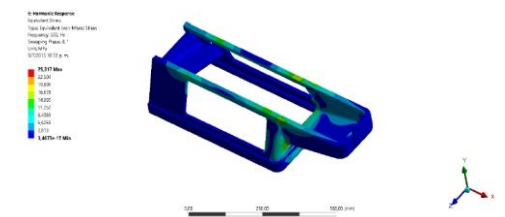


Figura 23: Tensión de Von Mises de la base a una frecuencia de 500 Hz

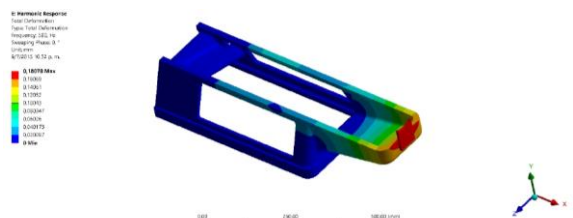


Figura 24: Deformación de la base a una frecuencia de 500 Hz

El resultado obtenido por ANSYS al Análisis transitorio dio como resultado un factor de seguridad de:

$$n = \frac{\sigma_{ut}}{\sigma_1} = \frac{213 \text{ MPa}}{25,31 \text{ MPa}} = 8.41$$

III. Selección de elementos Eléctricos y Neumáticos

➤ Selección del motor

El motor que se necesita es de 3kWatts, su dimensionamiento se muestra en los cálculos del tornillo. Según la norma NEMA se seleccionó un motor clase B con un factor de servicio de 1.15.

Tabla 6
Características del motor SIEMENS


Característica	Valor
Voltaje	220 V trifásico (alterna)
Potencia	3 Kw
Corriente	13 A
Eficiencia	74,4 %
Velocidad	1750 rpm
Torque	16,35 Nm
Cos φ	0.81

➤ Selección del variador

Para seleccionar el variador de frecuencia hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- La potencia del motor.
- La corriente nominal del motor.
- El voltaje de alimentación.

Tabla 7
Selección del variador de frecuencia

Potencia motor	3 KWatts	Variador Siemens G110
Corriente	13 A	
Voltaje	220 V	
Fase	Trifásico	

➤ **Selección de las resistencias calefactoras**

En la siguiente tabla se muestran las resistencias calefactoras para la extrusora de plástico.

Tabla 8
Selección de las resistencias para cada zona

Descripción	# Resistencias	Potencia	Díametro mm	Ancho mm	Voltaje
Cañón	Zona 1= 6 Zona 2= 6	275 Watts	70	35	220 V
Cabezal	Zona 3= 2	1000 y 500 Watts	110	100	220 V
Boquilla	Zona 4=1	300 Watts	130	40	220 V

Nota: Todas las resistencias son tipo suucho

➤ **Selección de cilindros neumáticos**

En la siguiente tabla se indica las fuerzas, presión, la longitud y el tipo de cilindro que se eligió para cada operación.

Tabla 9
Selección de cilindros neumáticos

Descripción	Cilindro molde	Cilindro corte	Cilindro pin soplado
Presión	8 bares	8 bares	8 bares
Fuerza	656 N	1030 N	960 N
Longitud carrera	75 mm	100 mm	15 mm
Díametro	32 mm	40 mm	40 mm
Tipo de cilindro	Doble efecto	Doble efecto	Doble efecto

➤ **Selección de electroválvulas**

En la tabla 10 se muestra detalladamente la selección de las electroválvulas según su aplicación

Tabla 10
Selección de electroválvulas y su aplicación

Descripción	Selección	Tipo
Cierre y apertura del molde	Electroválvula 5/2 biestable	Neumático
Subir y Bajar pin de soplado	Electroválvula 5/2 biestable	Neumático
Activar aire de soplado	Electroválvula 3/2 monoestable	Neumático
Salida y retorno de cuchilla de corte	Electroválvula 5/2 biestable	Neumático

Nota: Todas las electroválvulas funcionarán a un voltaje de 220V, 60 Hz y a una presión de 8 bares.

➤ **Selección del PLC**

La selección adecuada del PLC es uno de los aspectos fundamentales en el proceso de automatización, que se ajusta a parámetros técnicos y económicos con disponibilidad en el mercado. El PLC a más de controlar todas las operaciones del proceso de la máquina sopladora de plástico, le dará mayor robustez al sistema de control frente a entornos industriales. Se seleccionó el PLC CLICK KOYO.

Tabla 11
Entradas digitales

Entradas	Descripción
1	Paro de Emergencia
2	Mando Manual
3	Mando Automático
4	Final de carrera corte 1
5	Final de carrera corte 2
6	Disponible
7	Disponible
8	Disponible

Tabla 12
Salidas Digitales

Salidas	Descripción
1	Cierre molde manual
2	Abre molde manual
3	Subir soplado manual
4	Baja soplado manual
5	Salida corte manual
6	Retorno corte manual
7	Soplado a presión manual
8	Encendido de cuchilla manual
9	Cerrar molde automático
10	Subir cilindro automático
11	Soplado a presión automático
12	Bajar cilindro automático
13	Abrir molde automático
14	Abre corte 1 automático
15	Cierra corte 2 automático
16	Encendido chuchilla automático

➤ **Placa Electrónica**

Se diseñó la siguiente placa electrónica con optotriacs que aislar el control con el circuito de potencia, que permitirá a más protección del PLC una mayor velocidad en el control de los distintos dispositivos de la máquina.



Figura 25: Placa electrónica con optotriacs

III. Funcionamiento Lógico del proceso

En la siguiente figura se muestra la representación del funcionamiento lógico del proceso de la máquina sopladora de plástico incorporando el mando manual y automático.

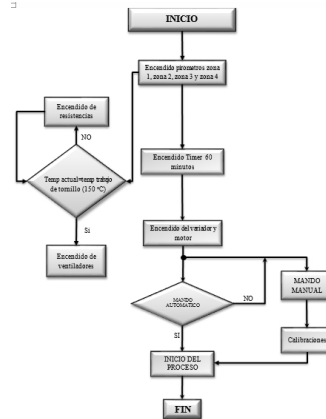


Figura 26: Diagrama de flujo del proceso de moldeo

IV. CONTROL DE LA MÁQUINA

La máquina consta de un armario eléctrico donde constan todos los elementos de potencia y un tablero de control que permite controlar la velocidad, temperatura y los dispositivos neumáticos del proceso de moldeo como se observa en la figura 27.

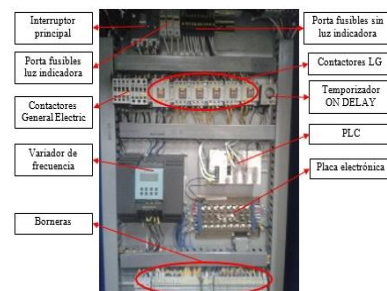


Figura 27: Armario eléctrico

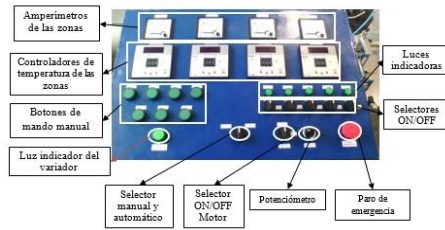


Figura 28: Tablero de control

Con el empleo de herramientas CAD se ha realizado el modelado de cada una de las piezas que conforman la máquina sopladora de plástico. Se ha realizado el ensamble para obtener el modelo de todo el conjunto como se representa en la siguiente figura:

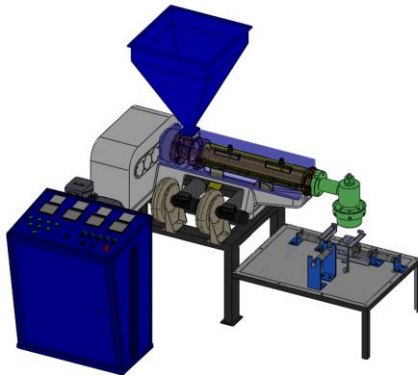


Figura 29: Modelado de la máquina sopladora de plástico

➤ **Apariencia Final de la sopladora de Plástico**



Figura 30: Apariencia final de la máquina

V. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Para obtener las temperaturas mínimas en cada zona y tener como resultado un párison excelente para el moldeo y soplado con una velocidad mínima constante (24.6 RPM) con una frecuencia de 30 Hz

Tabla 12
Apariencia del párison según la temperatura

Velocidad	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Apariencia_párison
30 Hz	150 °C	150 °C	150 °C	150 °C	poco blando
30 Hz	150 °C	170 °C	170 °C	170 °C	Muy Blando
30 Hz	160 °C	155 °C	155 °C	155 °C	Excelente
30 Hz	160 °C	175 °C	175 °C	180 °C	Acuoso

Para obtener la presión de soplado adecuado y tener como resultado un envase bien formado con una velocidad mínima constante y las temperaturas de cada zona ya establecidas anteriormente.

Tabla 13
Presión de Soplado

Presión de soplado	Observaciones
0.5 Bares	Producto no terminado, expansión del párison mínima
1 Bar	70% producto no terminado
1.5 Bares	35% producto no terminado
2 Bares	Producto terminado, en buenas condiciones
3 Bares	Producto terminado, adhesión en las paredes del molde

Para obtener los tiempos de soplado adecuados y tener como resultado un envase bien formado con una velocidad mínima y tiempo de soplado constante y las temperaturas de cada zona ya establecidas anteriormente. Se variará la presión de soplado ajustando el regulador de presión.

Tabla 14
Tiempo de Soplado

Tiempo de soplado (seg)	Observaciones
0.5	Formación incompleta de la uva
1	Formación casi completa de la uva
1.2	Formación completa, con menor enfriamiento
2	Formación completa y enfriamiento óptimo
2.5	Formación completa, se empieza a pegar al molde
3	Formación completa, se pega al molde y existe acumulación del plástico en la parte superior del molde
4	Formación completa, mayor acumulación de plástico en la parte superior del molde

Para establecer la velocidad máxima tornillo extrusor, que puede trabajar el sistema de moldeo-corte y soplado utilizando los datos recomendados encontrados anteriormente encontrados. Se gira el potenciómetro variando la frecuencia del variador a diferentes valores que se observa en la pantalla del variador.

Tabla 15
Tiempo de Soplado

Velocidad Rpm	Frecuencia (Hz)	Corriente entrada I _e (A)	Potencia entrada P _e (KW)	Potencia aparente S _a (KVA)	Factor potencia Fp	Corriente motor I _m (A)	Voltaje (V)	Velocidad Párison (cm/seg)	T _{total} (Seg)	Observaciones
24.6	30	4.86	0.5	1.1	0.5	8.10	110	0.36	52	Se obtiene un envase por minuto
32.8	40	7.0	0.8	1.5	0.51	8.20	146	0.48	39	Se obtiene un envase en 54 segundos con mínimo desperdicio de material
41	50	8.0	1	1.8	0.53	8.28	183	0.57	33	Se obtiene un envase en 30 segundos con mayor desperdicio de material
49.2	60	9.7	1.2	2.1	0.54	8.20	220	0.63	30	Se obtiene un envase en 47 segundos con excesivo desperdicio de material

VI. CONCLUSIONES

- Se realizó la investigación de algunos tipos de máquinas sopladoras de plástico, donde se obtuvo conocimiento amplio del funcionamiento de cada uno de los componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos que conforman la sopladora. Lo que permitió llegar a la selección de la máquina de moldeo por soplado de extrusión continua.
- Para obtener una velocidad adecuada en la producción de envases de polietileno se acopló al tornillo extrusor un motor de 1750 RPM, un reductor de velocidades conjuntamente con un sistema de bandas y poleas, un variador de frecuencia para alcanzar una velocidad de 105 RPM.
- Para el diseño del tornillo extrusor se realizó el análisis estático y térmico en estado crítico con la ayuda de los programas especializados; se concluyó que los resultados obtenidos en el tornillo extrusor de material AISI 4140 resistirá las cargas estáticas y térmicas a las que estará expuesto durante las condiciones de trabajo.

- En el estudio modal realizando a la base de la extrusora en el programa Ansys simulando una frecuencia máxima de 500 Hz, en estado crítico se concluyó que los parámetros del material fundición gris de la base resistirá las cargas a esa frecuencia.
- En las pruebas realizadas a diferentes valores de temperatura, presión, tiempo de soplado y frecuencia, se obtuvo como resultado que a mayor temperatura la manga (párison) de plástico se vuelve muy blando, a una presión de soplado inferior de 1 Bar y un tiempo inferior a 2 segundos el envase (racimo de uva) no obtendrá la forma deseada y finalmente al aumentar la frecuencia del variador mayor a 40Hz se obtendrá el producto con mayor desperdicio.

VII. RECOMENDACIONES

- Investigar y analizar nuevas alternativas para mejorar la eficiencia de los elementos de la máquina sopladora de plástico y optimizar el proceso de producción.
- Para iniciar el proceso de extrusión revisar el manual de operación que indica los parámetros de temperatura, restricciones y el procedimiento para el buen manejo de la máquina sopladora de plástico y evitar daños mecánicos en el tornillo.
- Para una mejor producción se deberá realizar un estudio para modificar las dimensiones y la forma de la matriz para obtener un producto con menor desperdicio debido a que el diámetro de la manga (párison) de plástico es mayor que la forma de la matriz (racimo de uva).
- Si se requiere aumentar la velocidad de producción en serie, se deberá optimizar el sistema de corte y moldeo, integrando un sistema de desplazamiento de la matriz para que el sistema de soplado sea individual y así el párison pueda desplazarse sin obstrucciones eliminando los desperdicios de plástico

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2010). The Science and Engineering of Materials. Australia: Sexta Edición.
- Cengel, Y. (2007). Transferencia de Calor y Masa. México D. F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Crawford, R. (1998). Plastics Engineering. London: 3ra Edición.
- Creus, A. (2007). Neumática e Hidráulica. Barcelona -España: Alfaomega Grupo
- Harper, E. G. (2002). Elementos de diseño de las instalaciones eléctricas. México, D.F.: Limusa segunda Edición.
- Holman, J. (1986). Transferencia de Calor. México, D. F.: Continental.
- Holman, J. (2010). Heat Transfer. New York: McGraw-Hill.
- Lafleur Pierre, G., & Vergnes, B. (2014). Polymer Extrusion. Great Britain and the United States.
- Mott, R. L. (2006). Diseño de Elementos de Máquinas. México, D.F. : Prentice-Hall.
- Mott, R. L. (1996). Resistencia de Materiales. México, D.F. : Prentice-Hall, 3ra Edición.
- Riba, C. (2002). Diseño Concurrente. Barcelona: Centro de Publicaciones del Campus Nord.

- Stevens, M. J., & Covas, J. (1995). Extruder Principles and Operation 2da Edición. Braga, Portugal: Chapman & Hall.

BIOGRAFÍAS



Xavier Masapanta A. Nació en Latacunga el 18 de Diciembre de 1986. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Particular Técnico Industrial “Hermano Miguel” obteniendo título de Bachiller en Ciencias Especialidad Químico Biólogo. Sus estudios Superiores los realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga donde obtuvo el título de Ingeniero en Electromecánica en el 2015.



Esteban Gavilanes V. Nació en Ambato el 18 de agosto de 1985. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Docente Guayaquil obteniendo título de Bachiller Técnico en Electrónica. Sus estudios Superiores los realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga donde obtuvo el título de Ingeniero en Electromecánica en el 2015.



Ernesto Santillán M. nació en Riobamba. Se graduó como Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo - Ecuador, cuenta con una Maestría en Dirección de Empresas Mención Proyectos, Egresado en el programa de Maestría de Diseño Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional, Docente tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde el 2010. Consultor Individual en proyectos de desarrollo e inversión. 2015.



Mario Jiménez L, nació en Salcedo. Se graduó como Ingeniero en Electromecánica en la Escuela Politécnica del Ejército - Ecuador, cuenta con una Maestría en Energías Renovables en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Docente tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga desde 1987.