



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



INGENIERÍA MECATRÓNICA



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PÁRISON PARA
REGULAR EL ESPESOR DE ENVASES PLÁSTICO EN UN PROCESO DE
EXTRUSIÓN CONTINUA EN LA EMPRESA INPLÁSTICO”**

AUTORES:

**Luis Eduardo Gavilanez Acosta
Alex Fernando Llerena Mena**

ÍNDICE

- 1.- Objetivos
 - a.- Objetivo General
 - b.- Objetivos Específicos
- 2.- Estado del arte
- 3.- La casa de la calidad
- 4.- Análisis funcional
- 5.- Matriz Morfológica
- 6.- Selección de elementos
- 7.- Diseño de los sistemas
- 8.- Implementación
- 9.- Pruebas y análisis de resultados
- 10.- Conclusiones y recomendaciones

1.- Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un Sistema de Párison para regular el espesor de envases plástico en un proceso de extrusión continua en la empresa Inplástico.

Objetivos Específicos

- Analizar el funcionamiento de un sistema de Párison comercial analógico existente en bodega de la empresa Inplástico.
- Diseñar un sistema de Párison digital que permita manipular el espesor de varios puntos del envase plástico.

1.- Objetivos

Objetivo Específicos

- Dimensionar la unidad hidráulica del Párison para su correcto funcionamiento.
- Implementar el sistema Párison en una máquina de soplado.
- Realizar pruebas de funcionamiento del Párison diseñado y la unidad hidráulica dimensionada.
- Diseñar un sistema para el corte automático de rebabas.
- Implementar un sistema para el corte de rebaba automáticamente.

2.- Estado del arte

Controlador/Programador de Párison

Programador de párison modelo IMI220-145B001 de la marca MOOG.

- Digital
- 6 Tipos De Interpolación
- Configurable Entre 10 Y 400 Puntos De Programa
- Configurable Para Máquina De Acumulación o Extrusión Continua
- Opera Con Transductor De Posición Dcdt o servo actuador con electrónica integrada
- Controla 4 Actuadores Independientemente
- Muestra Curva Real
- Display A Color



3.- La casa de la calidad

Requerimientos del cliente (Programador de Párison)

- Control de respuesta rápida y precisa.
- La configuración del sistema debe ser de fácil entendimiento para el operador.
- Regulación de tiempos de trabajo.
- Regulación para ajustar el espesor mínimo de la manga plástica.
- Configuración para matrices convergente o divergente.
- Sistema de seguridad que permita su completa detención ante algún inconveniente de la extrusora o del sistema párison.

3.- La casa de la calidad

Requerimientos del cliente (Cortador automático)

- Regulación de los tiempos de corte.
- Sincronización con la máquina extrusora.
- Buena sujeción de los elementos mecánicos para evitar vibraciones.
- El sistema deben ser de fácil calibración y ajuste.
- Bajo costo de implementación.
- El pin de soplado debe tener las dimensiones apropiadas para poder ingresar en la campana de la botella.

3.- La casa de la calidad

Requerimientos técnicos

- ❖ Precisión.
- ❖ Rapidez.
- ❖ Flexible.
- ❖ Fácil mantenimiento.
- ❖ Fácil operación.
- ❖ Calibración y ajuste sencillo.
- ❖ Seguridad.
- ❖ Bajo costo.

3.- La casa de la calidad

Resultados

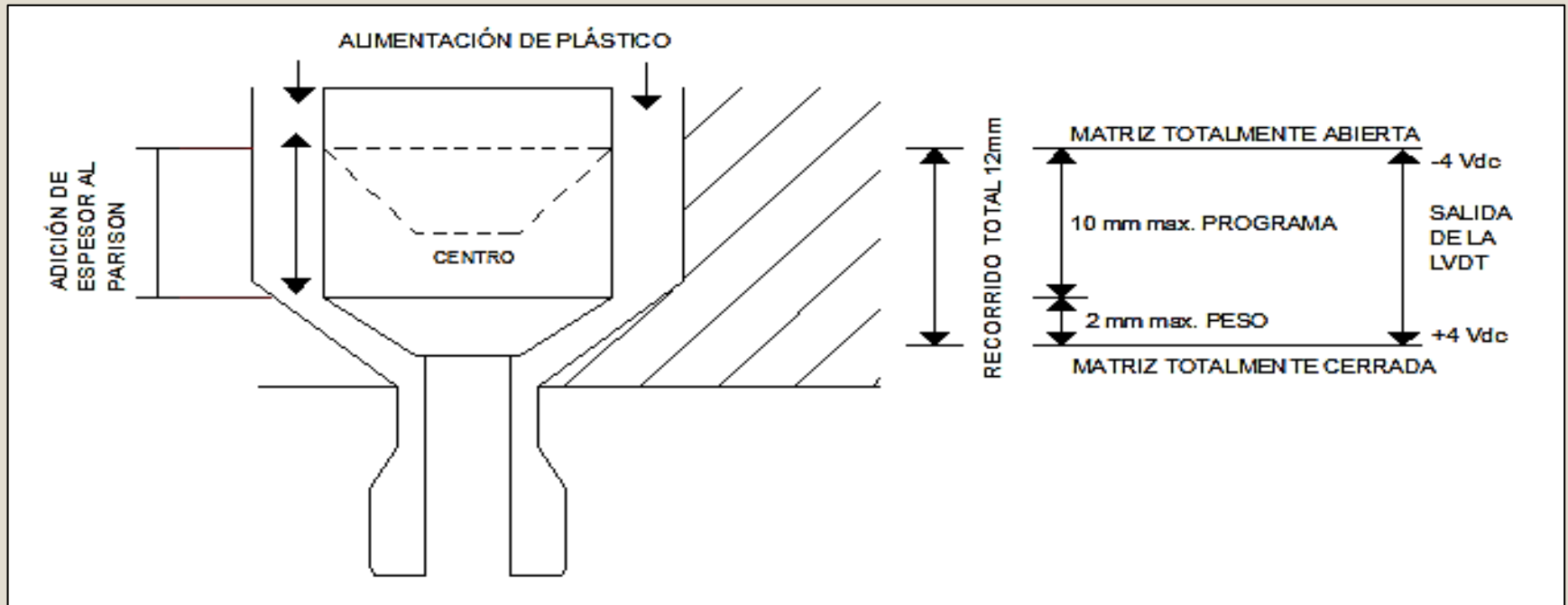
El análisis de la casa de la calidad entrega el siguiente orden jerárquico de las funciones más importantes a implementar para lograr satisfacer las demandas del cliente.

- ❖ Espesor mínimo.
- ❖ Rango de operación.
- ❖ Resolución.

4.- Análisis funcional

Programador de párison

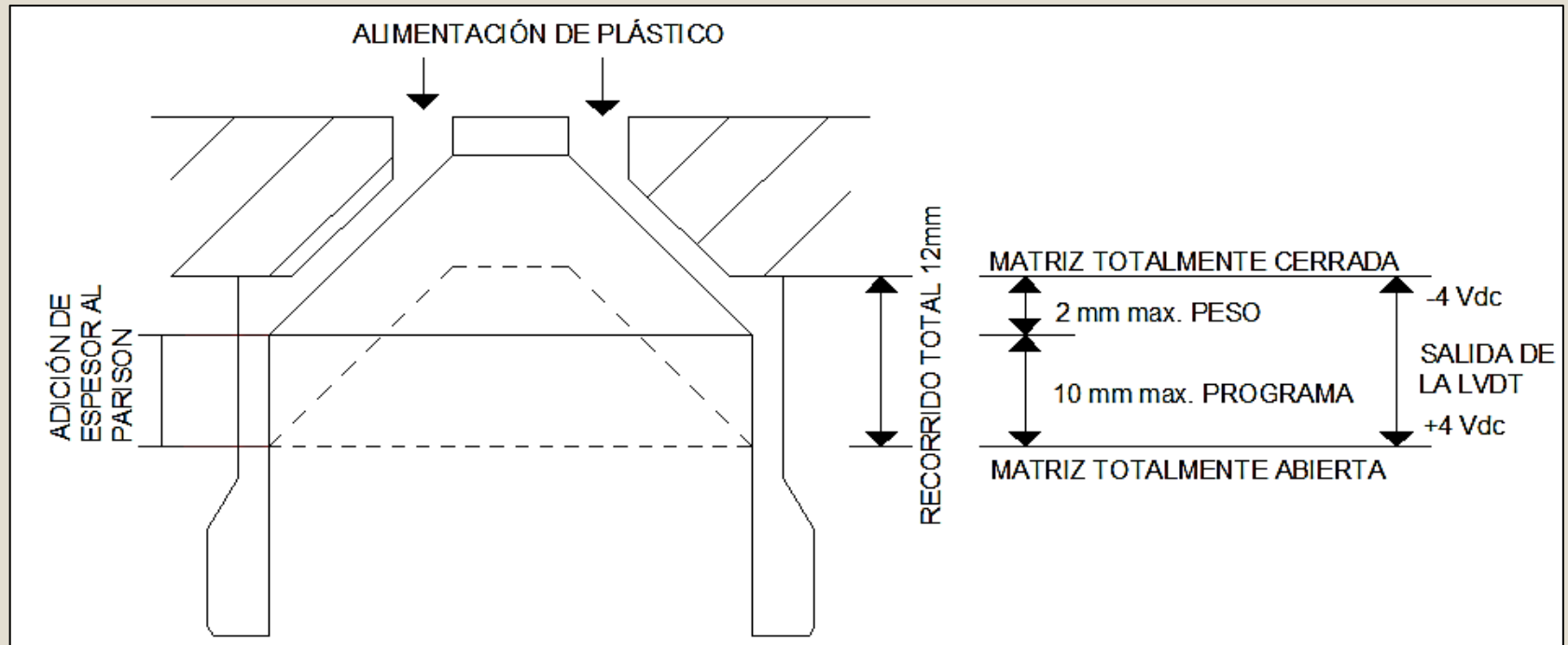
Matriz Convergente



4.- Análisis funcional

Programador de párison

Matriz Divergente



5.- Matriz Morfológica

Selección de alternativas (Programador de comparación)

Mediante a matriz de análisis se escoge la alternativa mas idóneas para un diseño de calidad.

Combinación de alternativas	Análisis
3.- Touch panel – PLC – PID – Amplificadores operacionales – Servo cilindro hidráulico – Servo válvula - LVDT	Esta opción presenta un control confiable y de respuesta rápida, los amplificadores operacionales presentan respuesta en tiempo real, fácil operación mediante touch panel y se asegura la precisión del sistema mediante el servo cilindro hidráulico y la LVDT, este diseño presenta flexibilidad. Adicionalmente todos estos componentes tienen la característica que son fabricados para ambientes exclusivamente industriales.

5.- Matriz Morfológica

Selección de alternativas (Cortador automático)

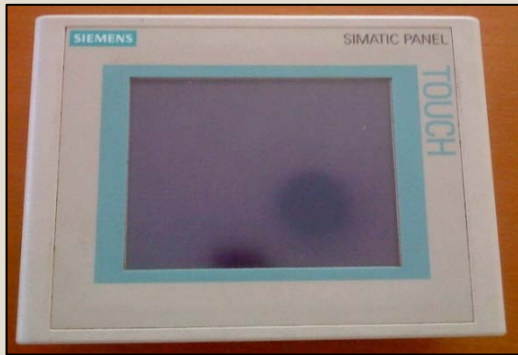
Mediante la matriz de análisis se escoge la alternativa más idónea para un diseño de calidad.

Combinación de alternativas	Análisis
1.- Contactores – Nilón – Acero – Acero – Eje de rosca cuadrada – Neumático – Electroválvulas - Inductivo.	Esta opción de diseño presenta un control sencillo, de fácil implementación y sobre todo de bajo costo. Además existe disponibilidad de todos los elementos.

6.- Selección de elementos

Programador de párison

Touch Panel S7-TP177A



PLC S7-200 CPU



Accesorios Hidráulicos



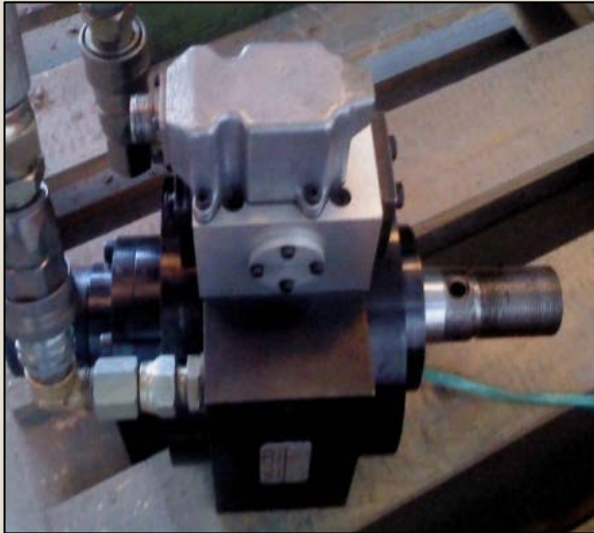
Manguera SAE-100 R2AT



6.- Selección de elementos

Programador de párison

Servo actuador hidráulico



Servo válvula
Moog D631-343C



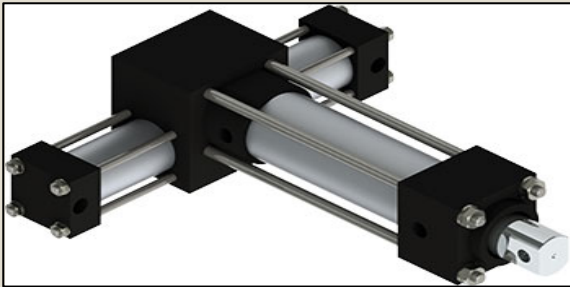
LVDT



6.- Selección de elementos

Cortador automático de rebabas

Cilindro Roto-Lineal
Doble efecto



Cilindro Doble Vástago
Doble efecto



Electroválvula
SMC VZ2150-5LZ



Sensor ferro-magnético



Eje rosca cuadrada

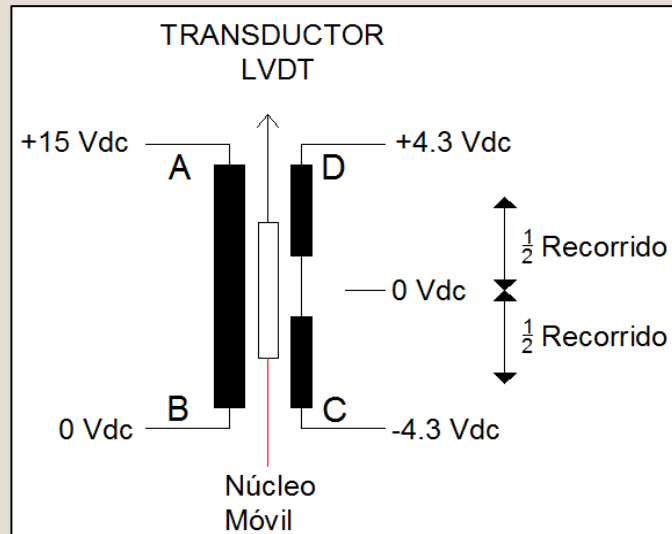


7.- Diseño de los sistemas

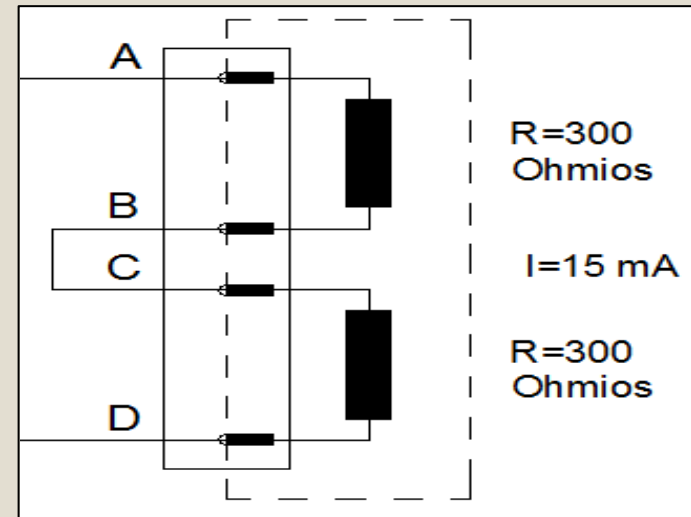
Programador de párison

Servo amplificador

LVDT



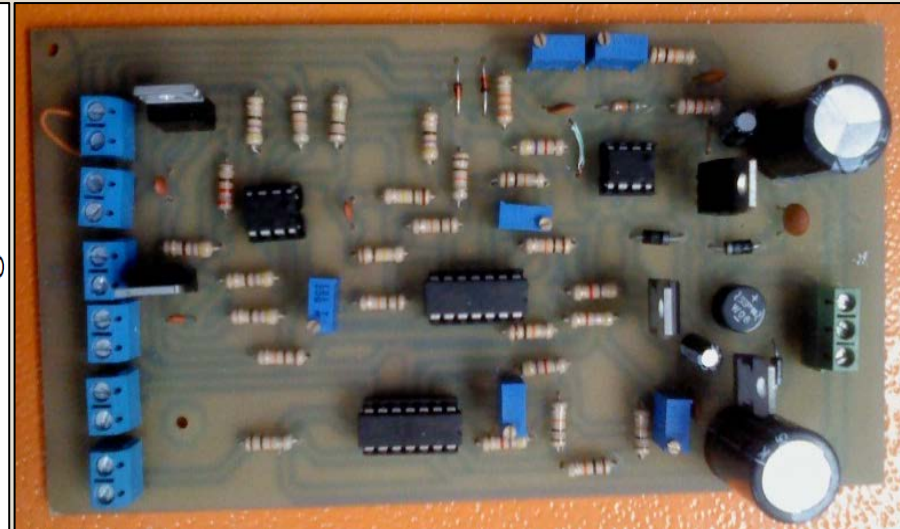
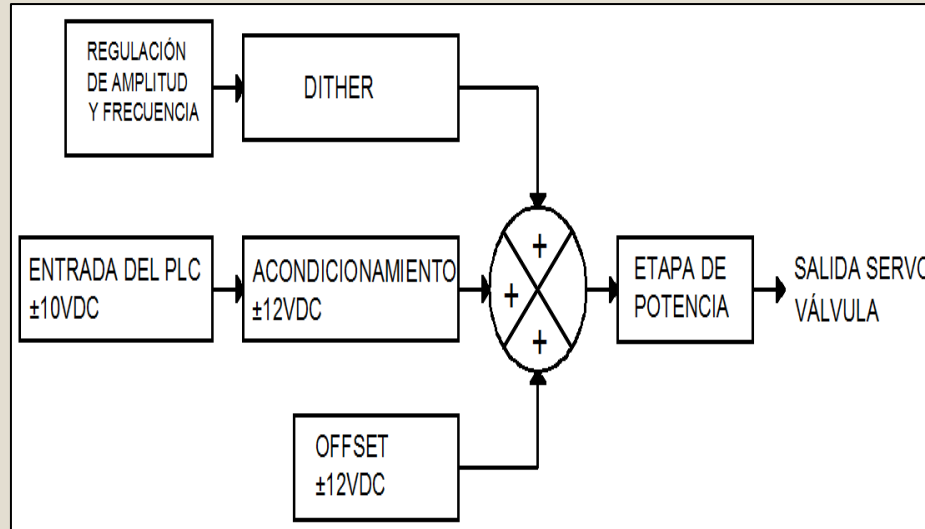
Servo válvula



7.- Diseño de los sistemas

Programador de párison

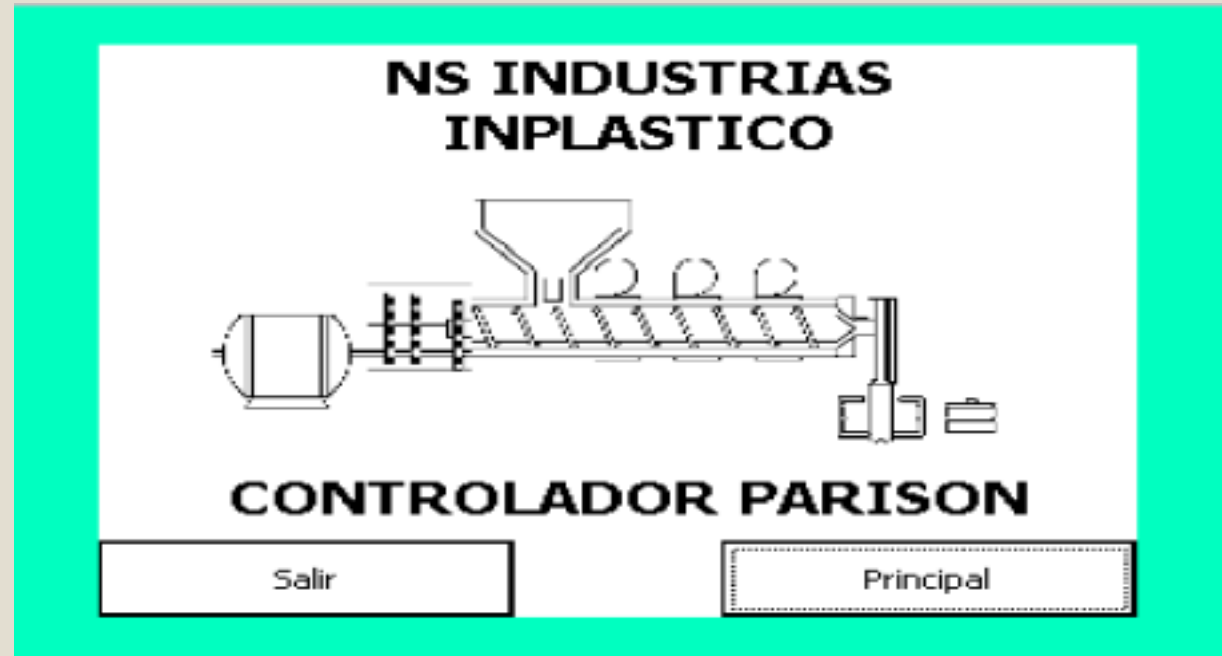
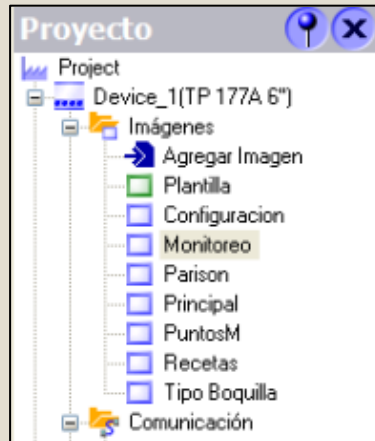
Servo amplificador



7.- Diseño de los sistemas

Programador de párison

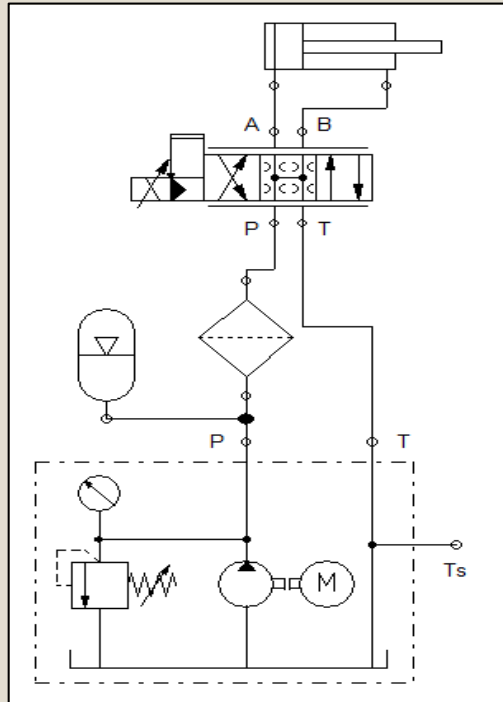
HMI



7.- Diseño de los sistemas

Programador de párison

Circuito Hidráulico



7.- Diseño de los sistemas

Programador de párison

Circuito Hidráulico

Caudal de la bomba = 22.94 *litros/min*

$$Q = V * n * n_{vol} * 10^{-3} [\text{litros/min}]$$

Presión de trabajo = 100 bar = 10 MPa = 1450 psi

Numero de Reynolds = 334.36 $Re = \frac{VL_c}{v}$

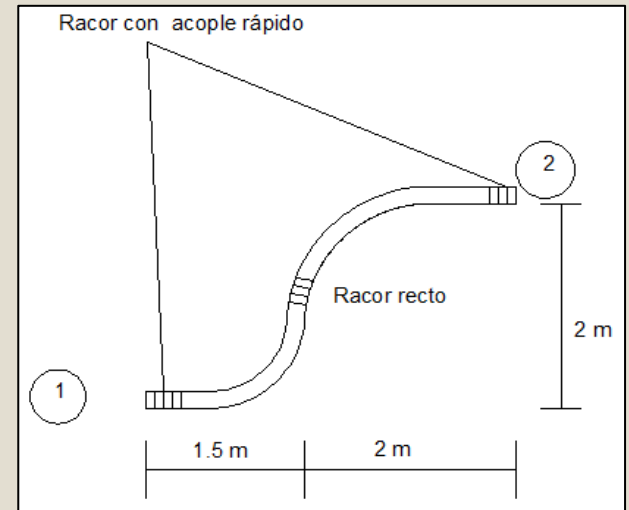
Régimen de trabajo = Laminar ($Re < 2000$)

Ecuación de Darcy Weisbach para pérdida de carga
($H_r = 2.42$ m)

$$H_r = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

$$f = \frac{64}{Re}$$

Recorrido de Mangueras



7.- Diseño de los sistemas

Programador de párison

Circuito Hidráulico

Pérdida de presión según la Ecuación de Continuidad de Bernoulli

$$P_2 = P_1 - (H_r + z_2) * \rho * g$$

Pérdidas de presión = 50.68 KPa o 7.35 psi.

Presión en el punto de trabajo= 9949.32 KPa o 9.94 MPa.

Fuerza del servo cilindro = 106.36 KN

$$F_C = P_C * A_P$$

7.- Diseño de los sistemas

Programador de párison

Circuito Hidráulico

Fuerza generada por la extrusora

$$P = \frac{6 * \pi * D * N * L * n * \cot \phi}{dc^2}$$

$$P = \frac{F}{A}$$

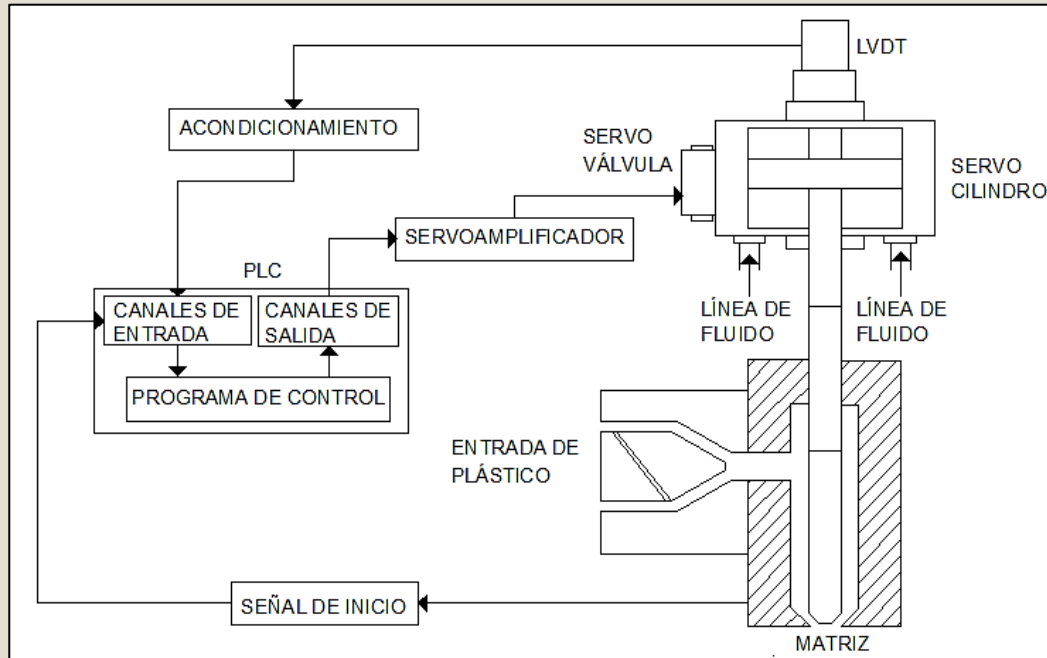
$$Q = \frac{1}{2} * \pi^2 * D^2 * N * H * \sin \phi * \cos \phi - \frac{\pi * D * H^3 * (\sin \phi)^2 * P}{12 * N * L}$$

Variable [Unidades]	Descripción	Valor
P [MPa]	Presión generada por la extrusora.	109.95
D [cm]	Diámetro del cañón.	9
N [RPM]	Revoluciones a las que gira el tornillo sinfín.	80
L [m]	Longitud del tornillo sinfín.	2.6
n [Pa. Seg]	Viscosidad del plástico fundido.	4825
Φ [rad]	Ángulo de la hélice del tornillo sinfín.	16
dc [cm]	Profundidad del hilo del tornillo sinfín.	0.3
Q [cm ³ /seg]	Caudal de salida de la extrusora.	15.69
H [cm]	Espacio entre el cañón y el tornillo sinfín.	0.2
A [cm ²]	Área de salida del plástico por la matriz.	2.36
F [kN]	Fuerza generada por la extrusora	25.9

7.- Diseño de los sistemas

Programador de párison

Lazo de control PID



Sintonización mediante el Ziegler y Nichols

Controlador	Kc	Ti	Td
P	$K_u/2$	infinito	0
PI	$K_u/2.2$	$T_u/1.2$	0
PID	$K_u/1.7$	$T_u/2$	$T_u/8$

Las constantes de sintonización obtenidas son:

Proporcional (P)=0.3851651

Integral (I)= 0 0.08.

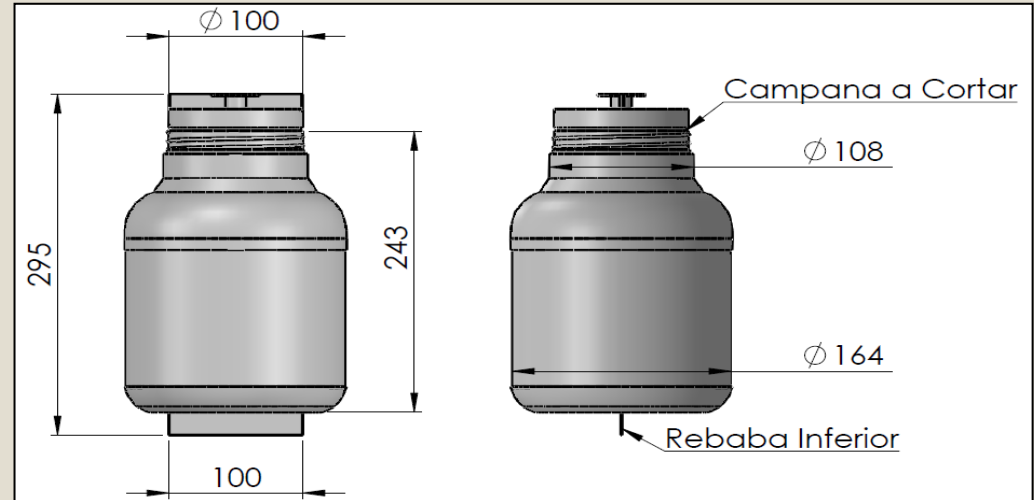
7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Parámetros: Ubicación.



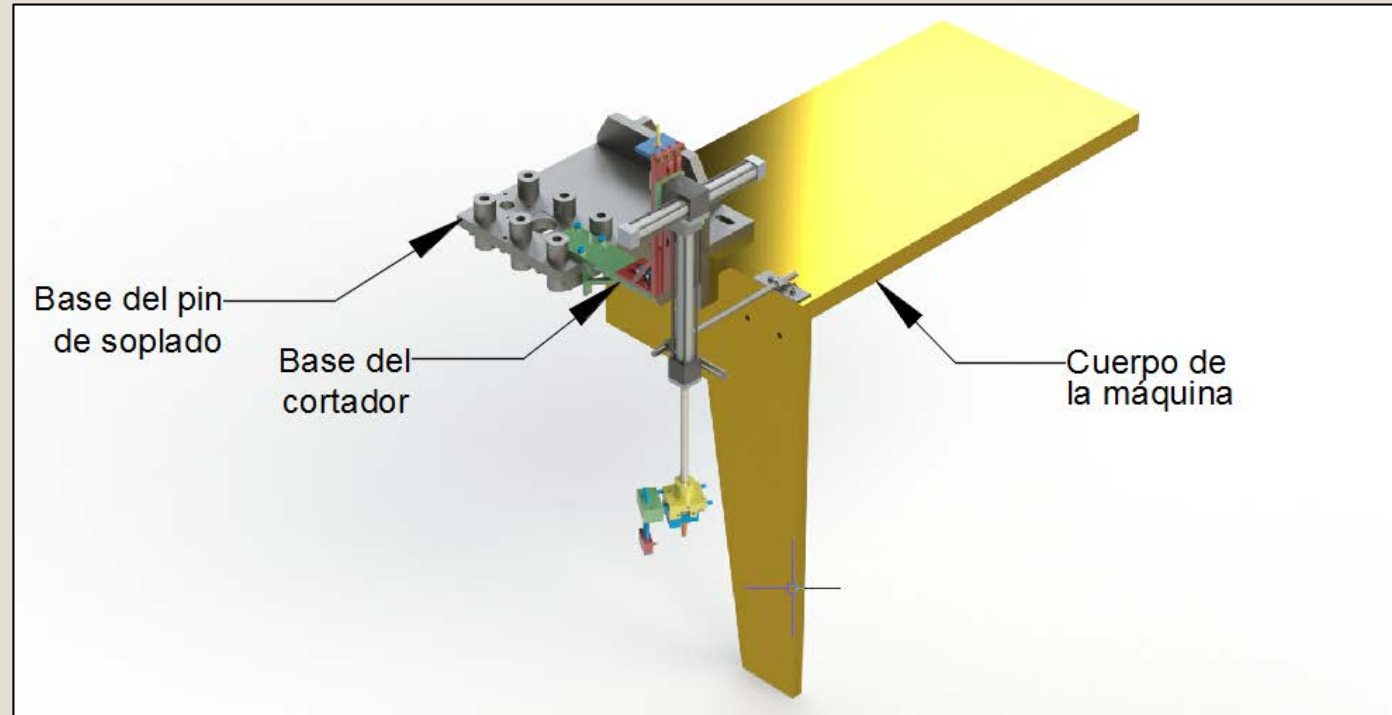
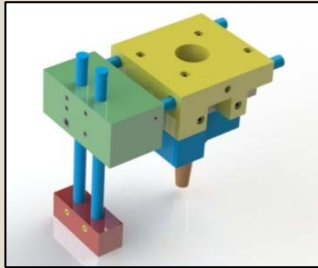
Parámetros: Dimensiones del envase.



7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Modelamiento



7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Diseño Mecánico-Cortador: Base del cortador
Análisis Estático

Material: Acero ASTM A36 $\sigma_y = 250\text{MPa}$

Carga: 110N

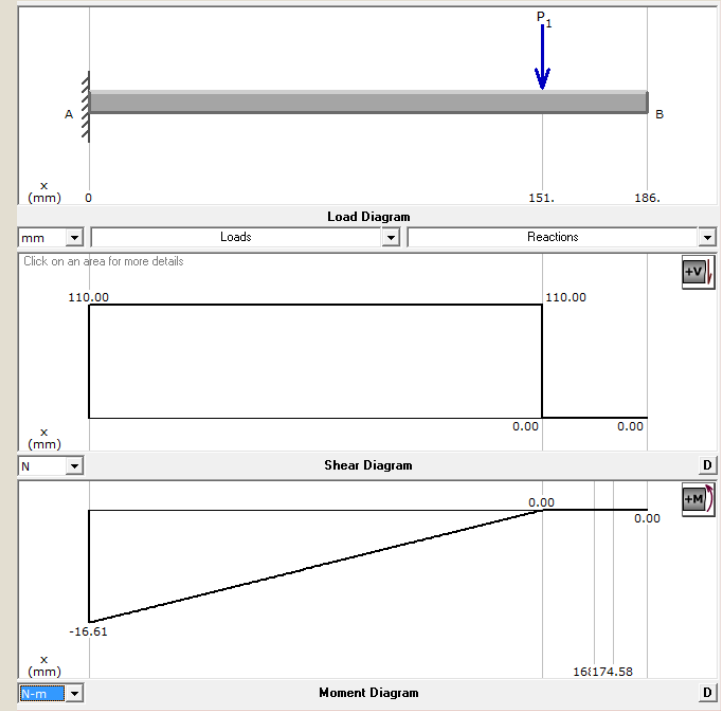
Esfuerzo(σ): 19.69Mpa

Deformación(δ): 0.079 mm

FS: 12.69

$$\sigma = \frac{M_A * c}{I}$$

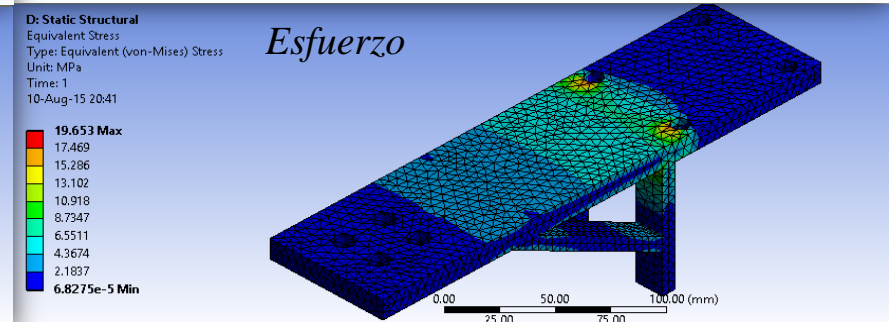
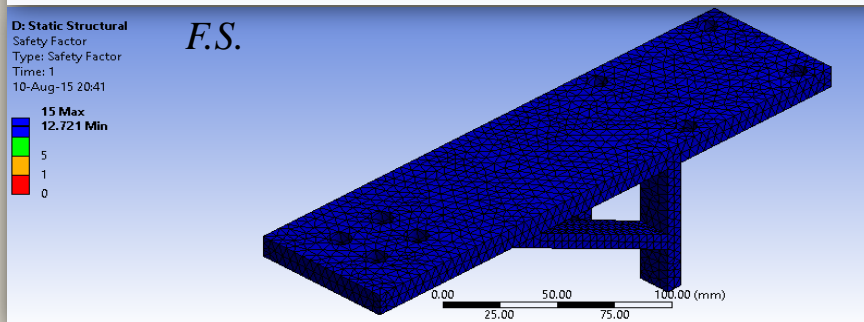
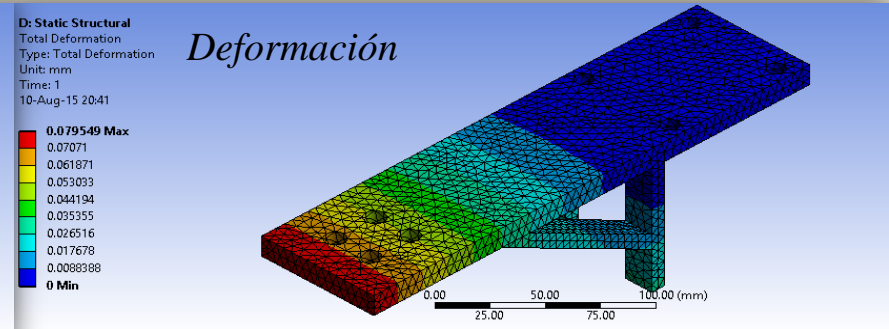
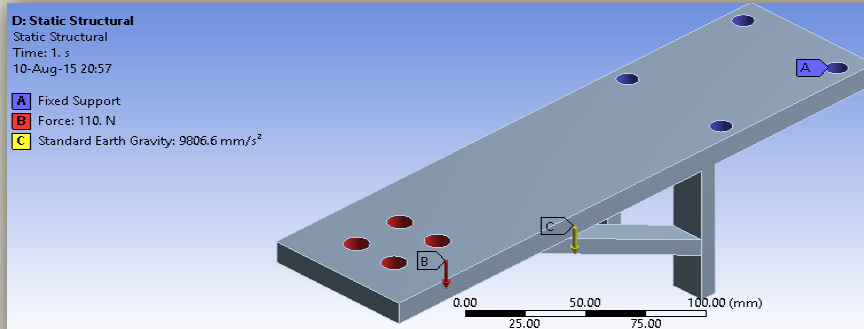
19.69MPa(σ) < 250MPa(σ_y) **OK**



7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Diseño Mecánico-Cortador: Base del cortador
Análisis Estático realizado en Ansys 16.0



7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Diseño Mecánico-Cortador: Sujeción Cilindro altura
Análisis Pandeo

Material: Acero ASTM A36

Módulo de elasticidad: 200GPa

Carga: 69.65N

Esfuerzo critico (σ_{cr}): 68.8MPa

Esfuerzo(σ): 4.8MPa

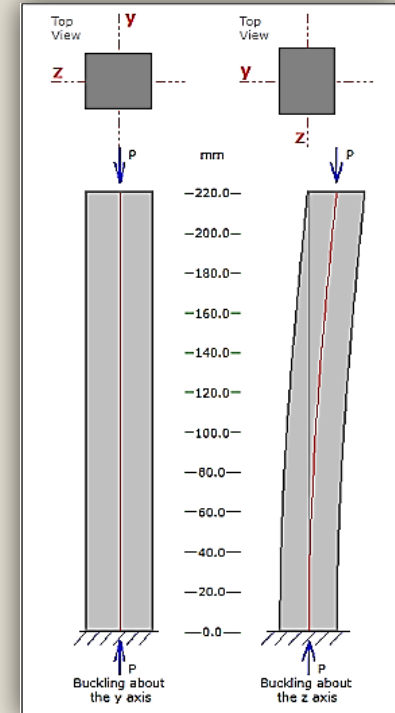
Deformación(δ): 0.01 mm

FS: 14.3

4.8MPa(σ) < 68.8MPa(σ_{cr}) **OK**

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

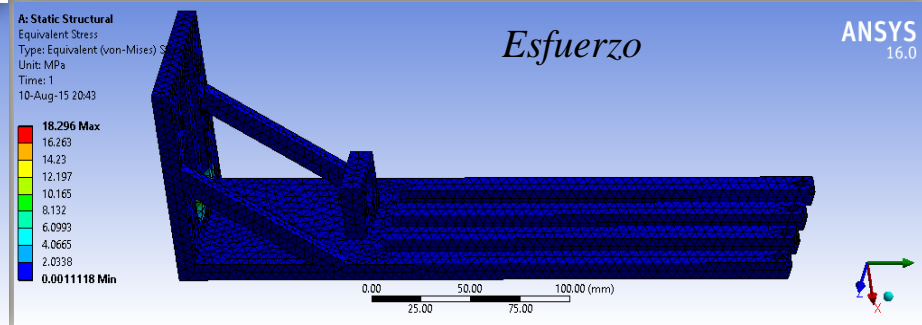
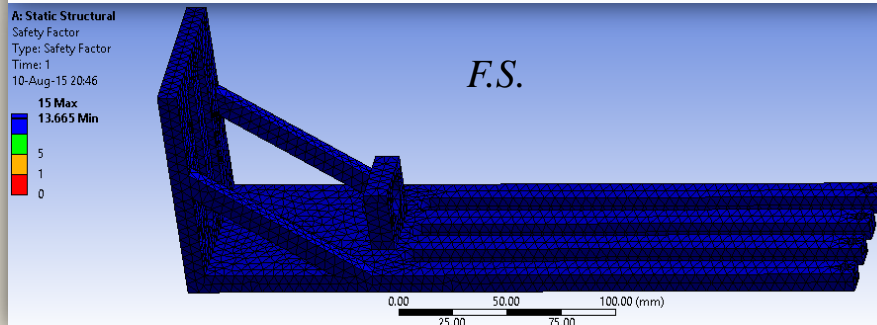
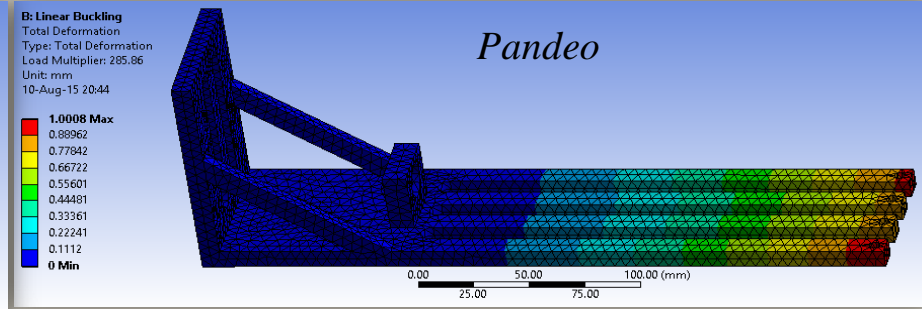
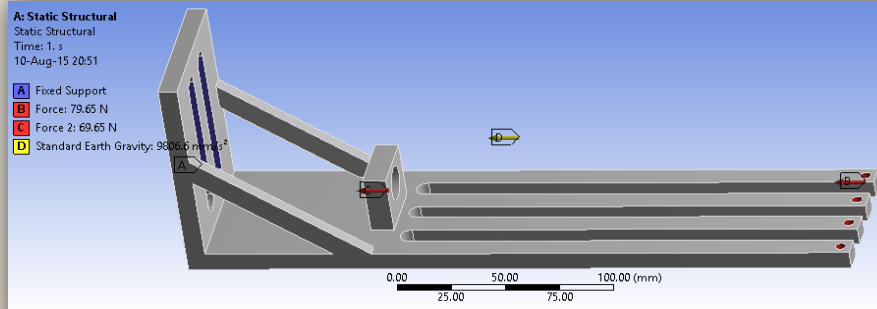
$$\sigma = \frac{P}{A}$$



7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Diseño Mecánico-Cortador: Sujeción Cilindro altura
Análisis Pandeo

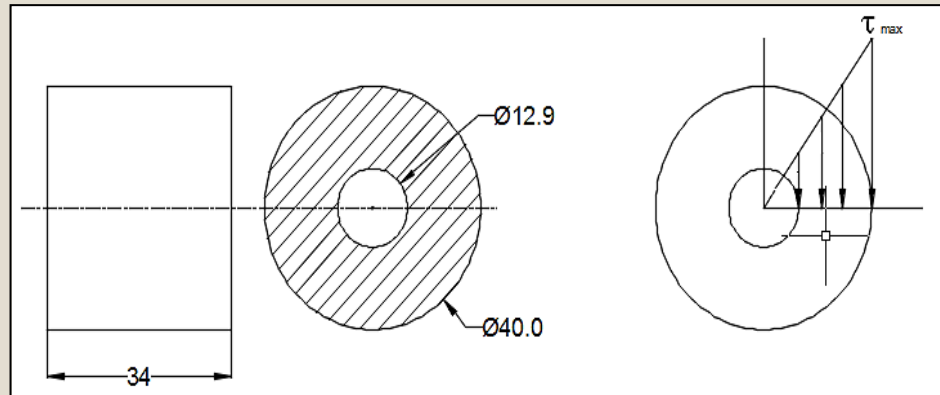


7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Diseño Mecánico-Cortador: Acople eje cilindro vástago

Análisis Estático



Material: Aluminio 6061 – σ_{sy} : 83MPa

Torque aplicado (T): 12Nm

Esfuerzo cortante (τ): 1.93MPa

Deformación (δ): 3×10^{-3} mm

FS: 41.5

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J}$$

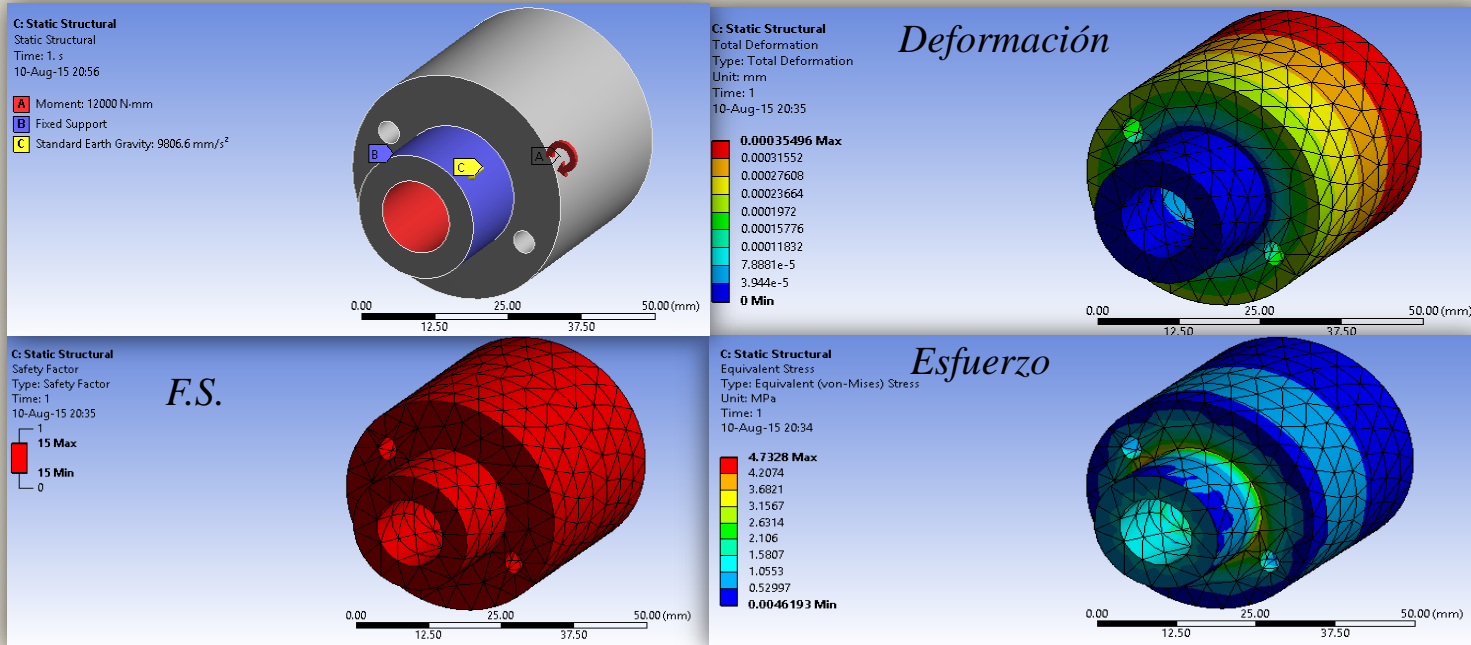
1.93MPa(τ) < 83MPa(σ_{sy}) **OK**

7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Diseño Mecánico-Cortador: Acople eje cilindro vástago

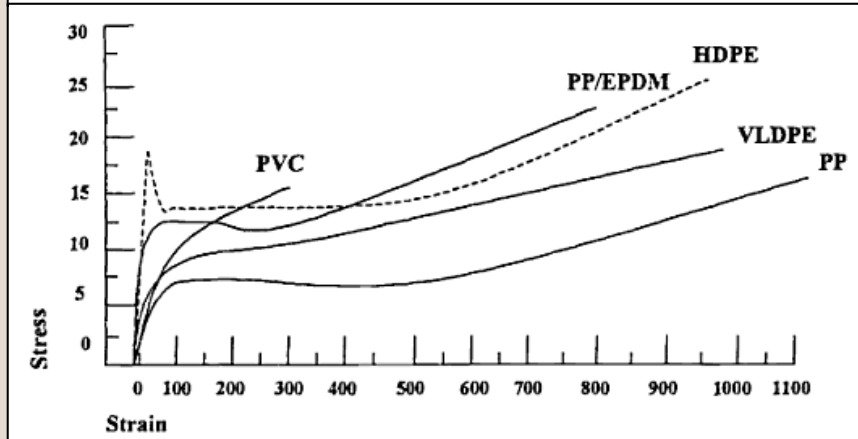
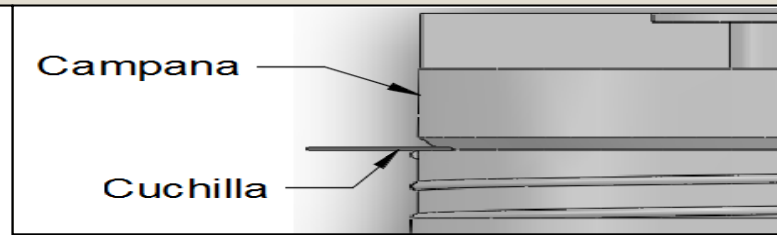
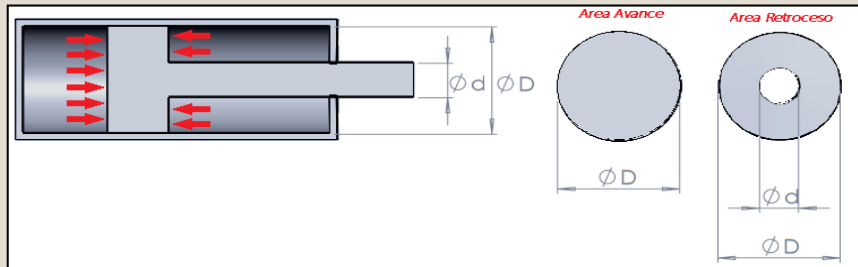
Análisis Estático



7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Fuerza necesaria para inserción de la cuchilla



$$T_{rotura-HDPE} = 30 \text{ MPa}$$

$$A_{cuchilla} = 1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F_p = T_{rotura} * A_{cuchilla}$$

Fuerza necesaria (F_p): 48N

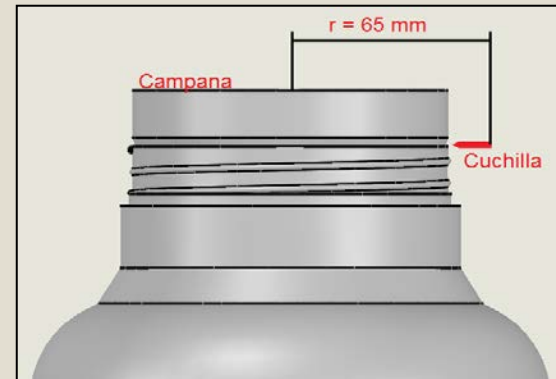
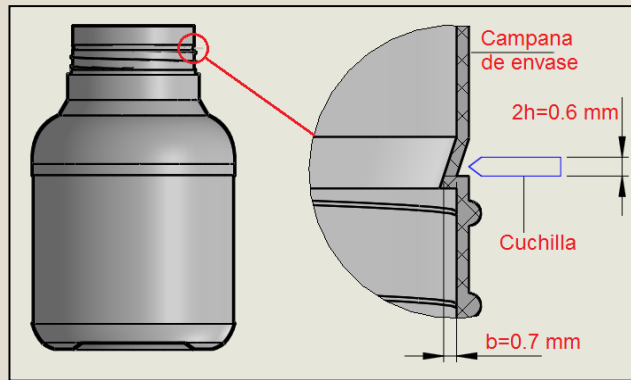
Fuerza del actuador (F): 116.8N

$$116.8N(F) > 48N(F_p) \quad \text{OK}$$

7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Fuerza necesaria para realizar el corte



$$F_{\text{corte}} = 39.95\text{N}$$

$$\tau_c = 2.33\text{Nm}$$

$$\text{Torque del actuador}(\tau_a) = 4.74\text{Nm}$$

$$\text{Torque de corte}(\tau_c) 2.33\text{Nm} < 4.74\text{Nm Torque del actuador}(\tau_a) \quad \text{OK}$$

$$\sigma = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

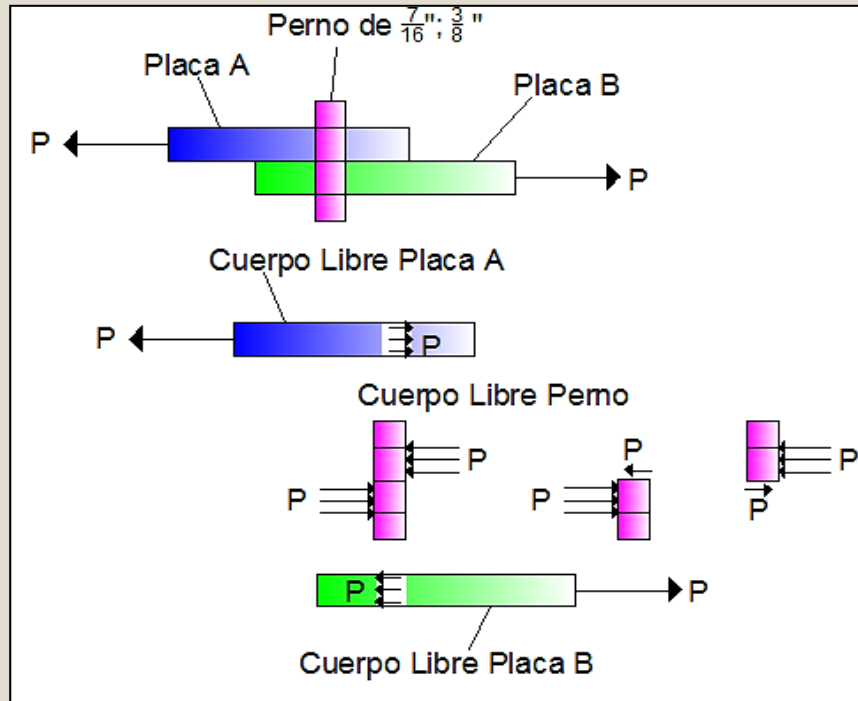
$$F_{\text{corte}} = \sigma A$$

$$\tau_c = r * F_c$$

7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

Análisis de los pernos



Pernos grado **SAE 12.9** $S_u = 1220 \text{ MPa}$

Perno 7/16": Diámetro 11.11 mm

$$A_1 = 387.07 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Perno 3/8": Diámetro 9.52 mm

$$A_2 = 284.72 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$P_1 = 69 \text{ N}, P_2 = 54 \text{ N}$

$\sigma_{prom1} = 178.26 \text{ KPa}$

$\sigma_{prom2} = 189.66 \text{ KPa}$

$$\sigma_{prom} = \frac{P}{A}$$

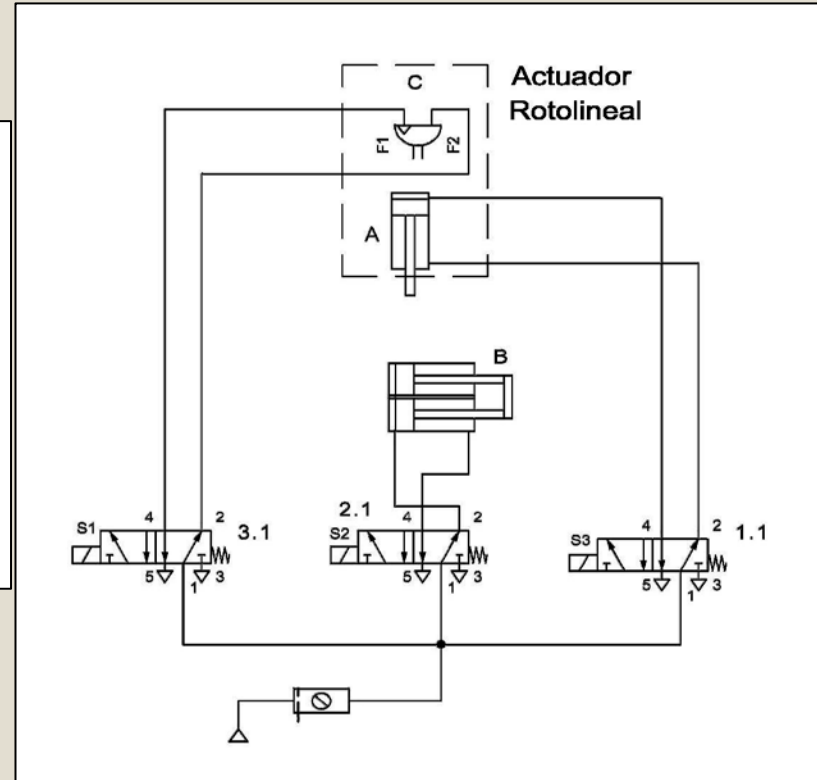
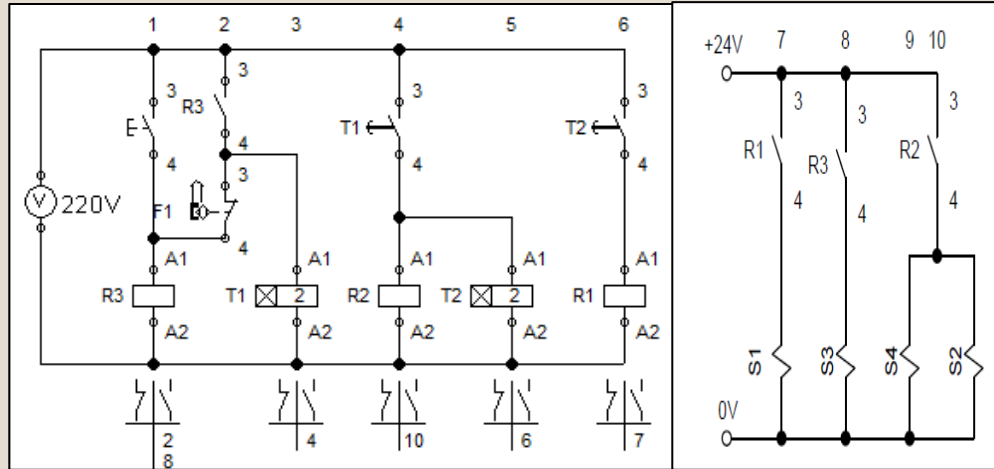
$178.26 \text{ KPa} (\sigma_{prom1}) < 1220 \text{ MPa} (S_u)$ **OK**

$189.66 \text{ KPa} (\sigma_{prom1}) < 1220 \text{ MPa} (S_u)$ **OK**

7.- Diseño de los sistemas

Cortador automático de rebabas

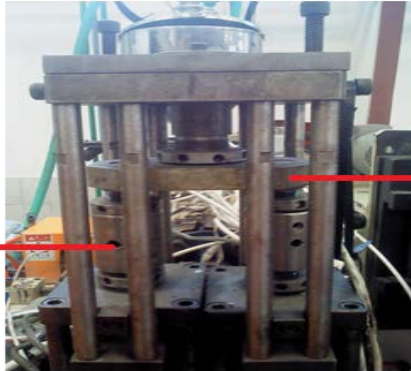
Circuito Neumático y de control



8.- Implementación

Programador de párison

Regulación
de boquilla



Acople para el
vástago del
servo cilindro



Transporte
de plástico

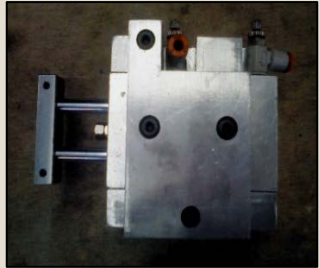
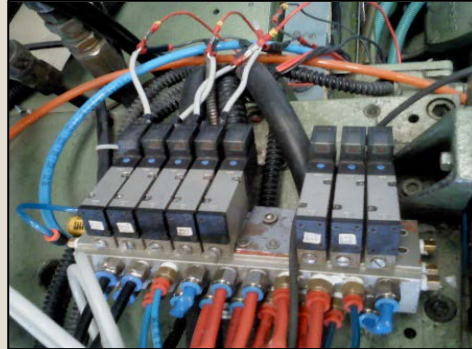
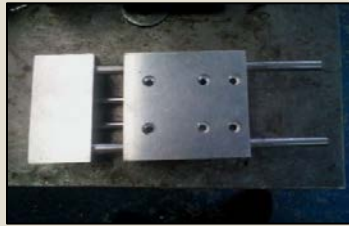
Servo cilindro
Hidráulico

Guías para el
movimiento de
la boquilla.



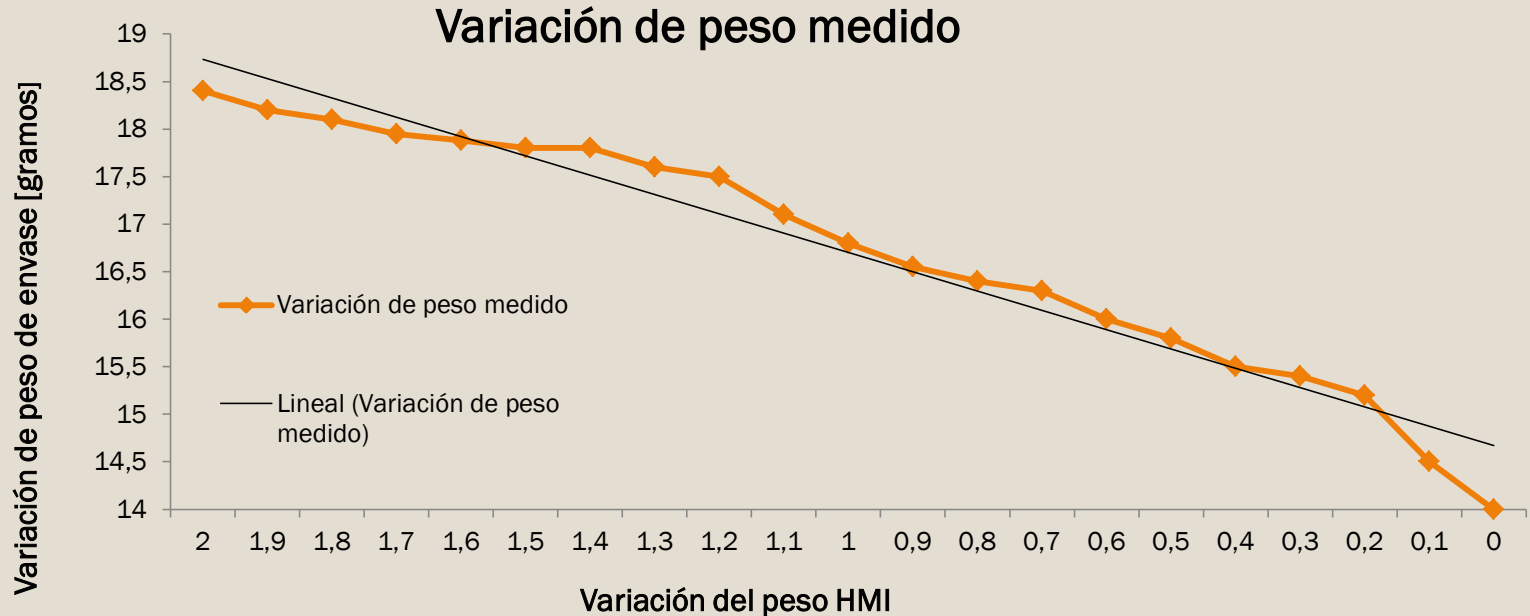
8.- Implementación

Cortador automático de rebabas



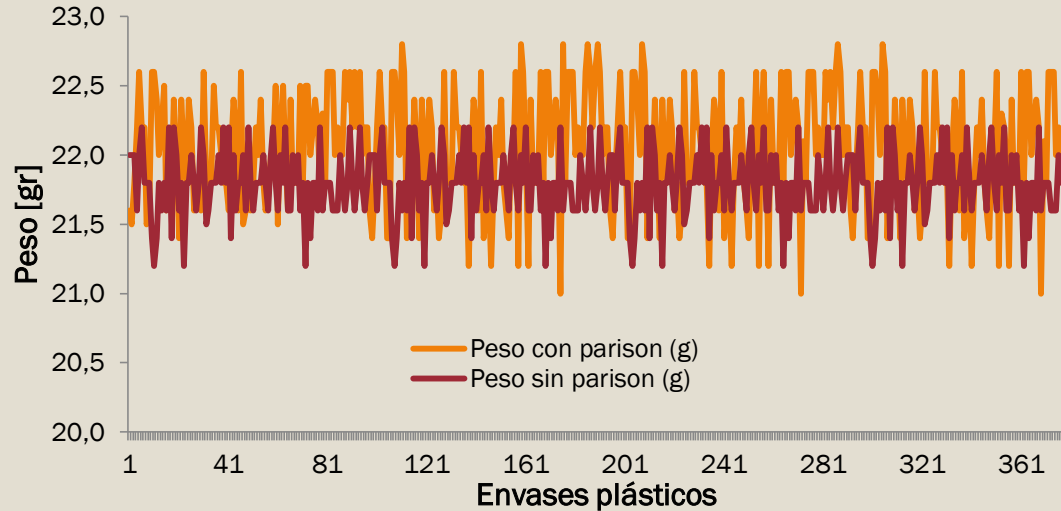
9.-Pruebas y análisis de resultados

Sistema de Párison-Variación de peso medido



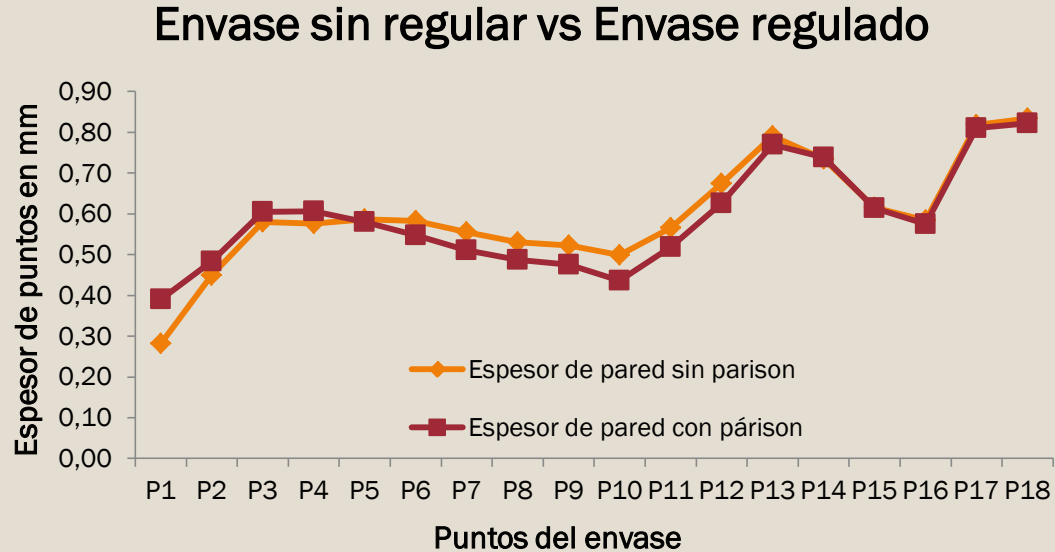
9.-Pruebas y análisis de resultados

Sistema de Párison- Variación de peso en las muestras



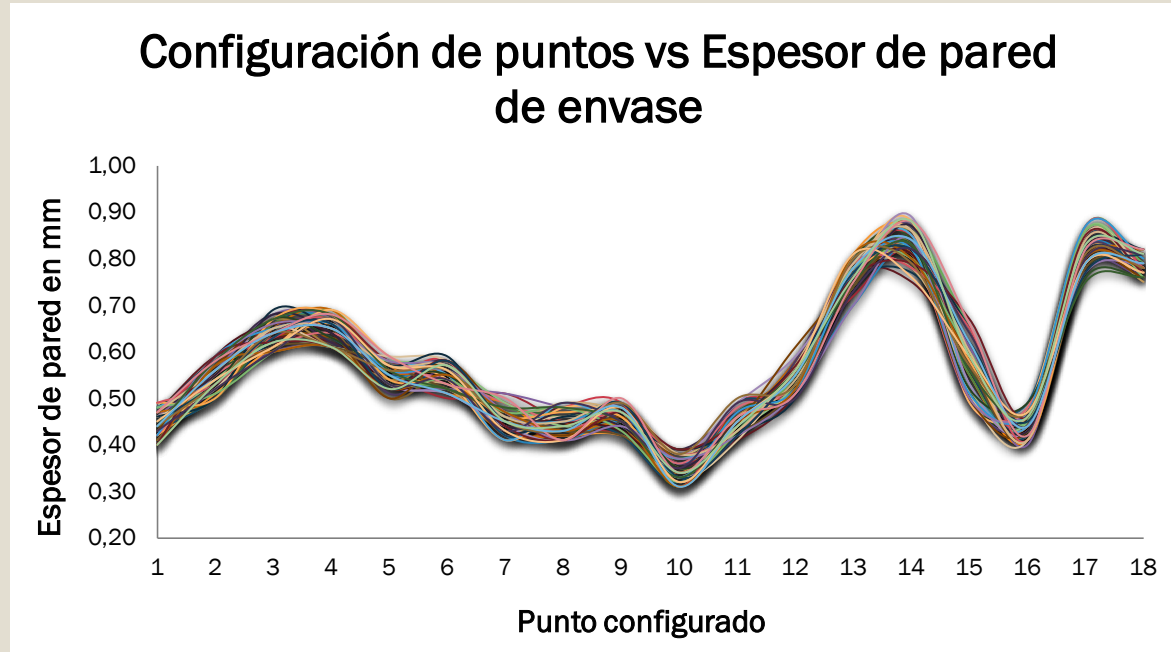
9.-Pruebas y análisis de resultados

Sistema de Párison- Envase sin regular vs Envase regulado



9.-Pruebas y análisis de resultados

Sistema de Párison- Repetibilidad



10.- Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- El sistema de párison regula el espesor de envases plásticos, con esta regulación se logra una optimización que da como resultado la disminución del consumo de materia prima en un 3.61%, resultado correspondiente a 560kg lo cual representa un ahorro económico de 950\$ mensual
- El porcentaje máximo de apertura de la boquilla de la extrusora para regular el espesor de la manga plástica es de 85%, ya que si se excede este valor se obtiene un error en los puntos de regulación.
- Los puntos de regulación que actúan directamente en el envase plástico son 18, los restantes corresponden a las rebabas.
- La inversión realizada en la implementación del sistema párison representa un ahorro económico de 55.29% frente a un sistema comercial disponible únicamente en mercados internacionales.

10.- Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La variación de peso de envases producidos con el sistema de párison es de ± 0.25 gr mientras que el espesor de pared se encuentra en ± 0.1 mm, estos valores se encuentran dentro del rango permisible y asegurando que se cumplen los estándares de calidad de la empresa.
- El valor de ciclo de trabajo se encuentra entre los 3000 y 10000 mili segundos. Produciendo un espacio entre puntos de 4 y 9.5 mm.
- La presión hidráulica mínima que se necesita para el funcionamiento del sistema de párison es de 1450 psi, con esta presión se garantiza que el servo cilindro va a superar en 4.11 veces la fuerza generada por la extrusora.
- El cortador automático de rebabas de la parte superior tiene una operación correcta durante aproximadamente 5 envases, en el resto existe fallas por el calentamiento del molde y el pin de soplado de la extrusora, con este calentamiento se deforma la campana o rebaba superior dando paso a la falla al momento del corte.

10.- Conclusiones y recomendaciones

Recomendaciones

- Realizar adaptaciones en el sistema de corte para poder cortar otro tipo de envase con similares características del Galón Lechero.
- En el sistema de párison se puede implementar el monitoreo del sistema mediante indicadores luminosos para que el operario pueda constatar el correcto funcionamiento de manera fácil y rápida.
- Probar con otro tipo de control como es el de lógica difusa, redes neuronales o controladores inteligentes para mejorar su funcionamiento.
- Desarrollar un sistema de párison centralizado que permita la regulación de espesor de la manga plástica en dos máquinas extrusoras.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN