

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN MECATRÓNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ENVASADORA AUTOMÁTICA  
VERTICAL DE GRANOS SECOS.”**

**AUTORES:            CUVI MANTILLA ANDRÉ ALEXANDER  
                             RAMÍREZ FIALLOS PAÚL SEBASTIÁN**

**DIRECTOR: ING. HERNÁN VINICIO LARA PADILLA PhD**

**15-11- 2022**





## Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Antecedentes

El sector agropecuario en Ecuador está compuesto por pequeños y medianos productores que no han dado el salto a la industrialización

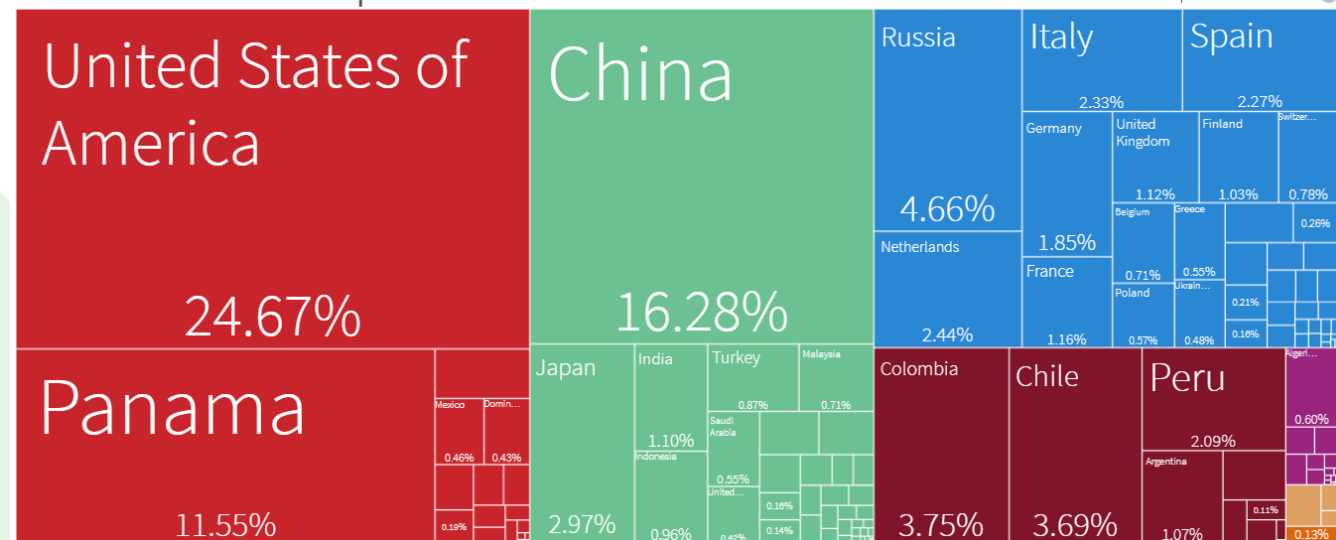
Convenio para el Fortalecimiento del Bachillerato Técnico Agropecuario, firmado el 12 de enero de 2021

Inexistencia de maquinaria de operación simple, económica y de fácil mantenimiento

El sector agropecuario cubre un porcentaje del 44.49% de las exportaciones

Where did Ecuador export to in 2020?

Shown: \$21.0B | Total: \$21.0B



Nota. Adaptado de (*The Atlas of Economic Complexity*, 2020)



# Justificación e Importancia

## Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

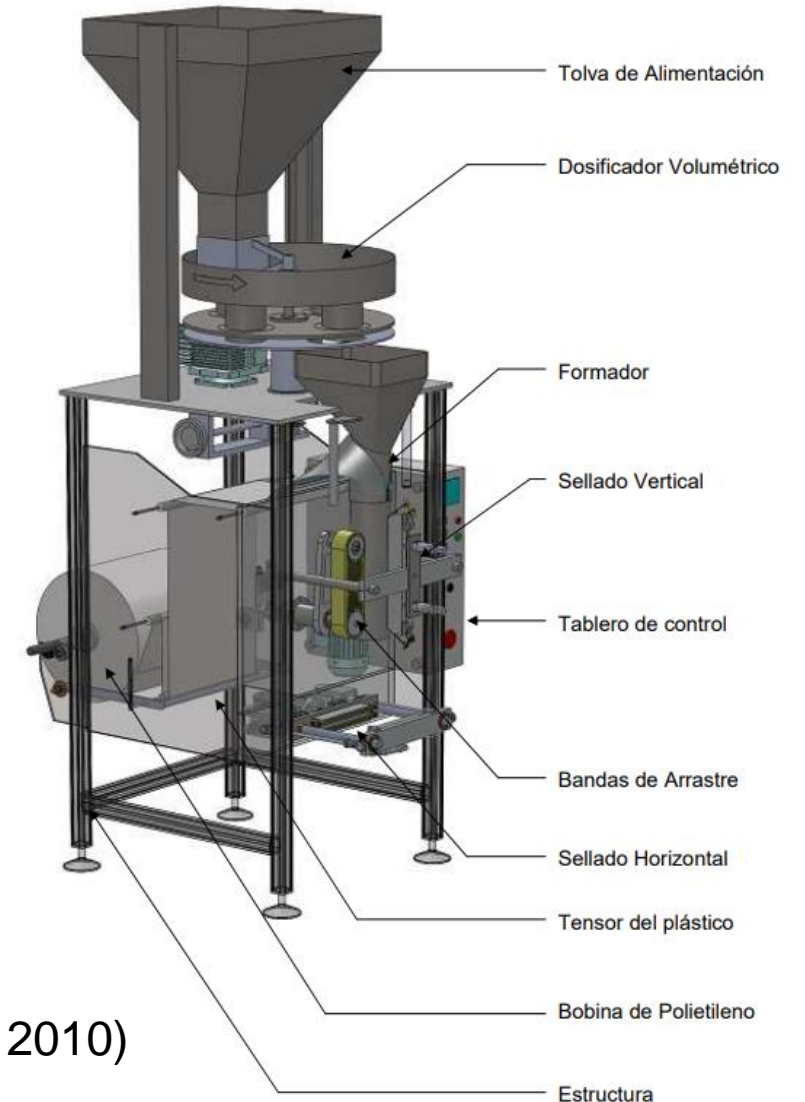
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

- Apoyar al proyecto de vinculación "Desarrollo de competencias en niños y jóvenes para ciudades del futuro", que busca fomentar la educación técnica en el sector agropecuario del Ecuador por medio de una máquina automatizada de bajo costo, un prototipo para la demostración del envasado industrial



*Nota. Adaptado de (Moreno, 2010)*



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Objetivos

## GENERAL

- Diseñar y construir una envasadora vertical de granos secos con capacidad de diez bolsas por minuto con flexibilidad para dosificar distintos pesos.

## ESPECÍFICOS

Realizar el diseño mecánico de los mecanismos de arrastre, sellado y dosificación, así como su soporte estructural.

Seleccionar actuadores que puedan efectuar los movimientos de los mecanismos dentro de los parámetros cinemáticos y dinámicos adecuados para el proceso.

Seleccionar sensores, circuitos de amplificación para los actuadores, controladores y otros dispositivos electrónicos necesarios para monitorear y controlar los mecanismos.

Diseñar e implementar el sistema de control secuencial de la envasadora un PLC.

Diseñar y programar HMI para uso de comandos, control del peso y cantidad de bolsas producidas.

Realizar pruebas para la evaluación del sistema empleando un protocolo experimental y análisis estadístico de capacidad de proceso y confiabilidad.



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

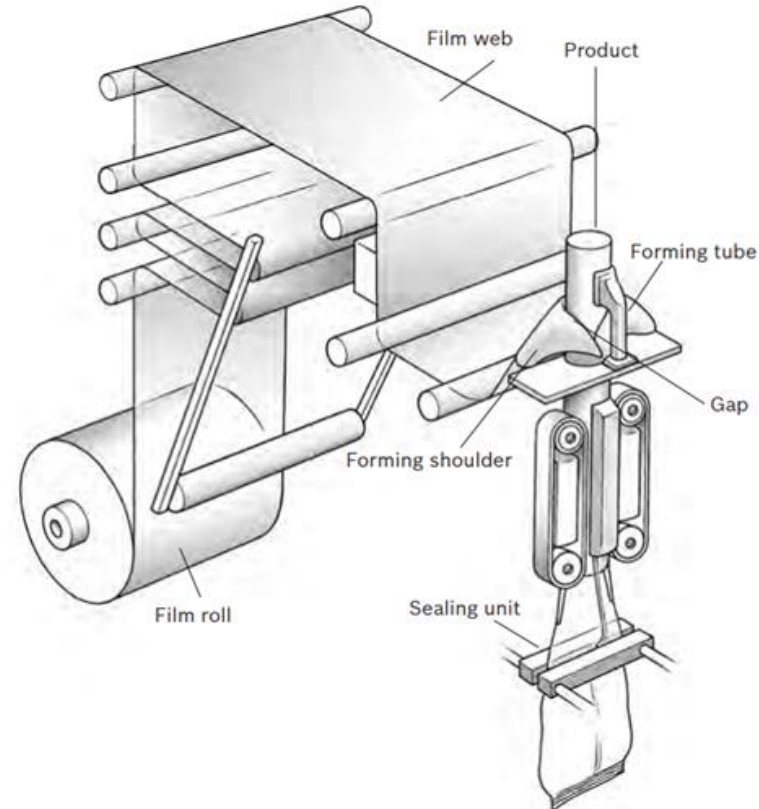
Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Máquina VFFS



*Nota. Adaptado de (A Guide to Vertical Form*

*Fill Seal | WePack, 2022)*



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

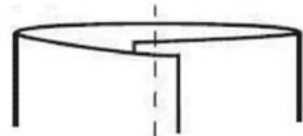
Pruebas y Resultados

Conclusiones

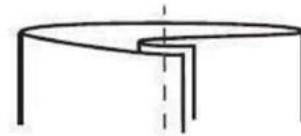
Recomendaciones

Trabajos futuros

# Empaque



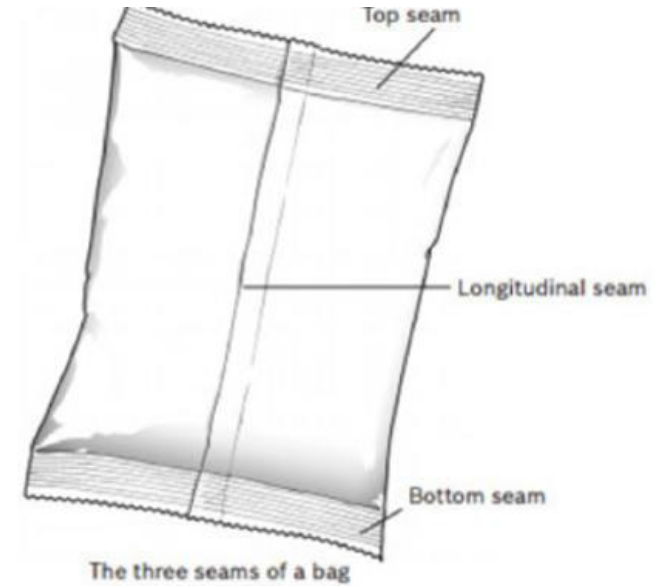
Costura en traslape



Costura de aleta

Material
Polietileno de baja densidad (LDPE)
Polietileno de alta densidad (HDPE)
Poliéster (PET)
Polipropileno (PP)

*Nota. Adaptado de (At What Temperature Does Plastic Melt?, 2022)*



*Nota. Adaptado de (Bosch, 2014)*



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

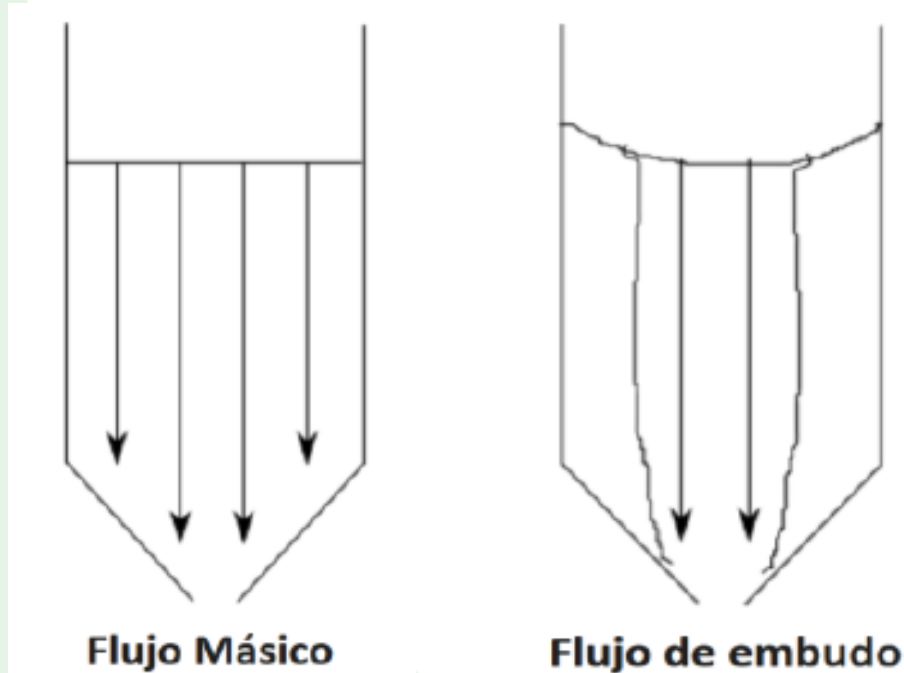
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Tolva

La tolva es un depósito para canalizar materiales granulares o pulverizados



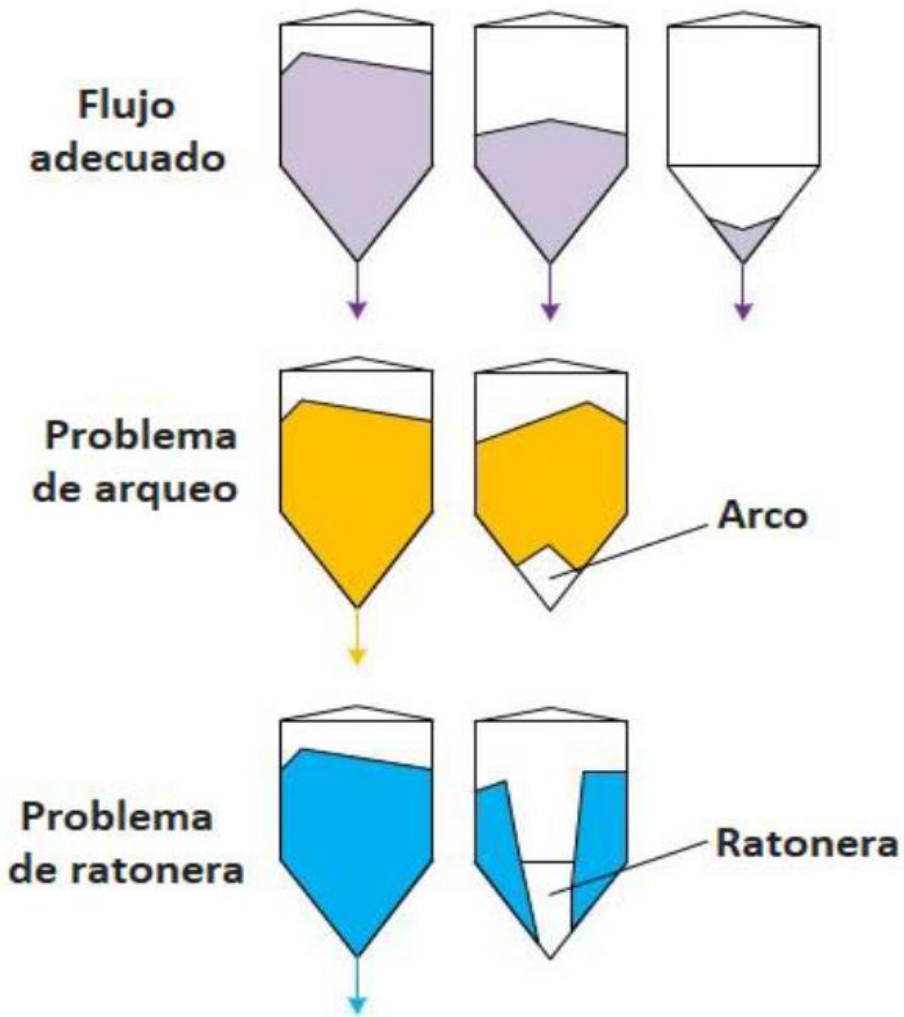
-**Tolva de flujo másico:** Su forma habitual es la de una cuña. Toda la masa del producto se desplaza al mismo tiempo por la salida.

- **Tolva de flujo de embudo:** Este tipo posee una salida cónica o circular. El producto es desplazado hacia el centro del contenedor.

*Nota. Adaptado de (Hopper design - Flow of powder, 2017)*



# Problemas de flujo en tolvas



**-Problema de arqueo:** Producido por una incorrecta selección en la salida.

**- Problema de ratonera:** Producido por un incorrecto ángulo de tolva.

*Nota. Adaptado de (Hopper design - Flow of powder, 2017)*

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Tipos de sellado

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



**Sellado  
Calor Constante**

- Está encendido de forma continua
- Utiliza resistencias de tipo cartucho
- Se utiliza en filmes de tipo metalizado



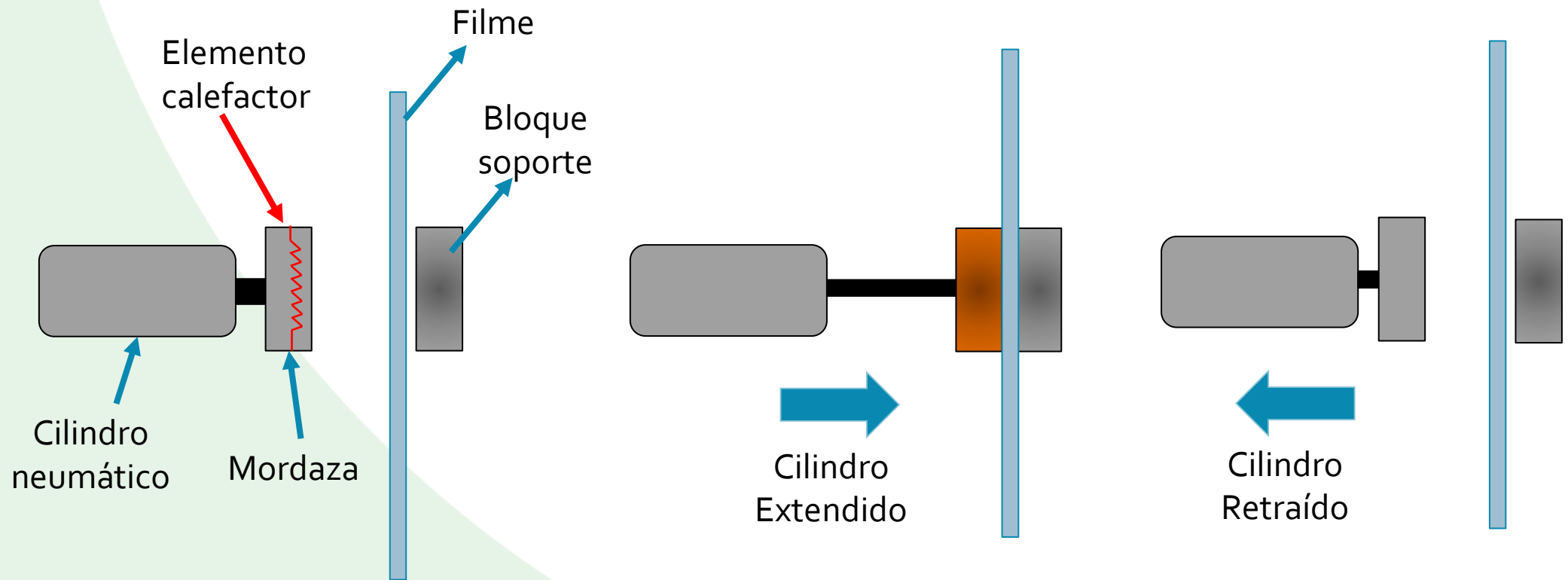
**Sellado por  
Impulso**

- Está encendido solo durante un pulso
- Utiliza resistencias planas
- Se utiliza en filmes de polietileno



# Sistema de sellado

Los sistemas de sellado consisten en mordazas accionadas neumáticamente, las cuales albergan algún elemento calefactor para realizar la soldadura del empaque o sellado. Se ejerce calor y presión, aprisionando el filme para generar la costura



Proceso de sellado

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

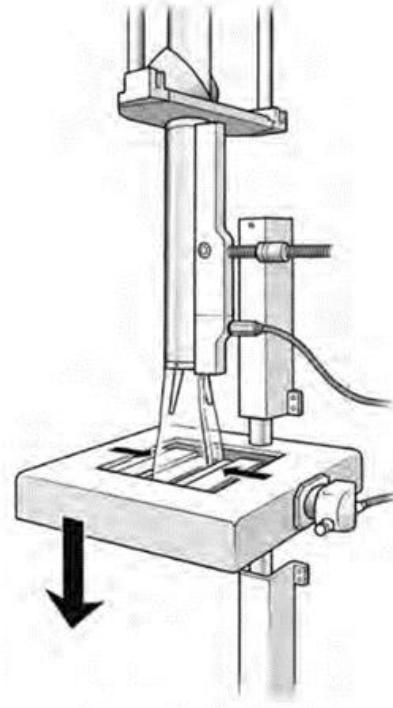
Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

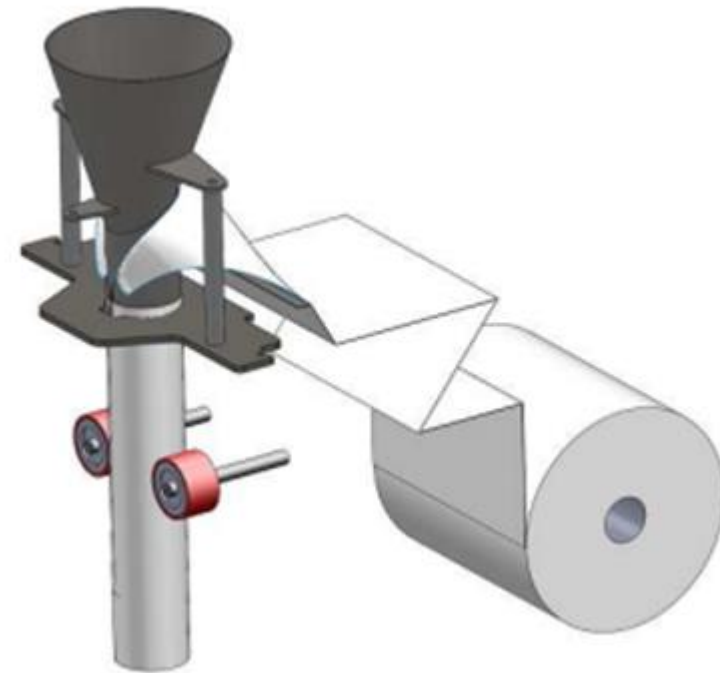
Recomendaciones

Trabajos futuros

# Arrastre



*Nota. Adaptado de (Bosch, 2014)*



*Nota. Adaptado de (Zapata, 2010)*



# Dosificación

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

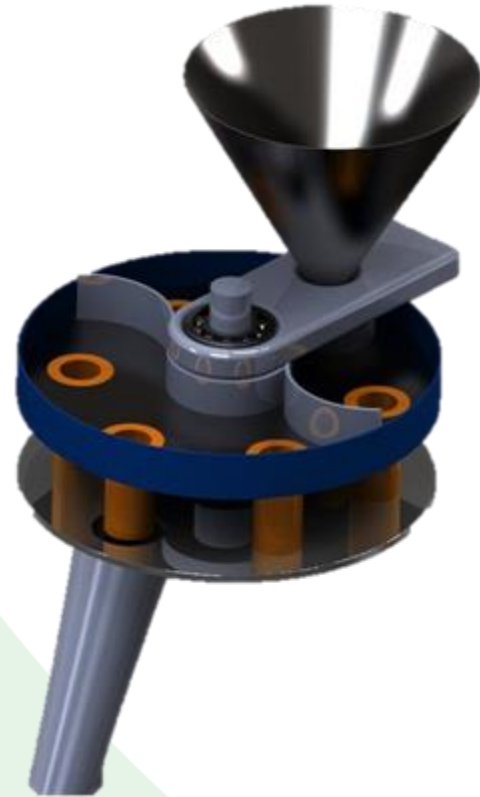
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

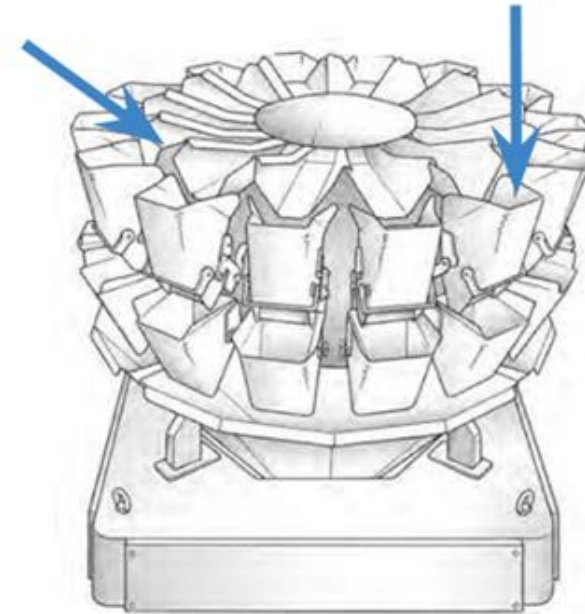
Trabajos futuros



*Nota. Adaptado de (Zapata, 2010)*

Alimentador vibratorio

Tolva de pesado



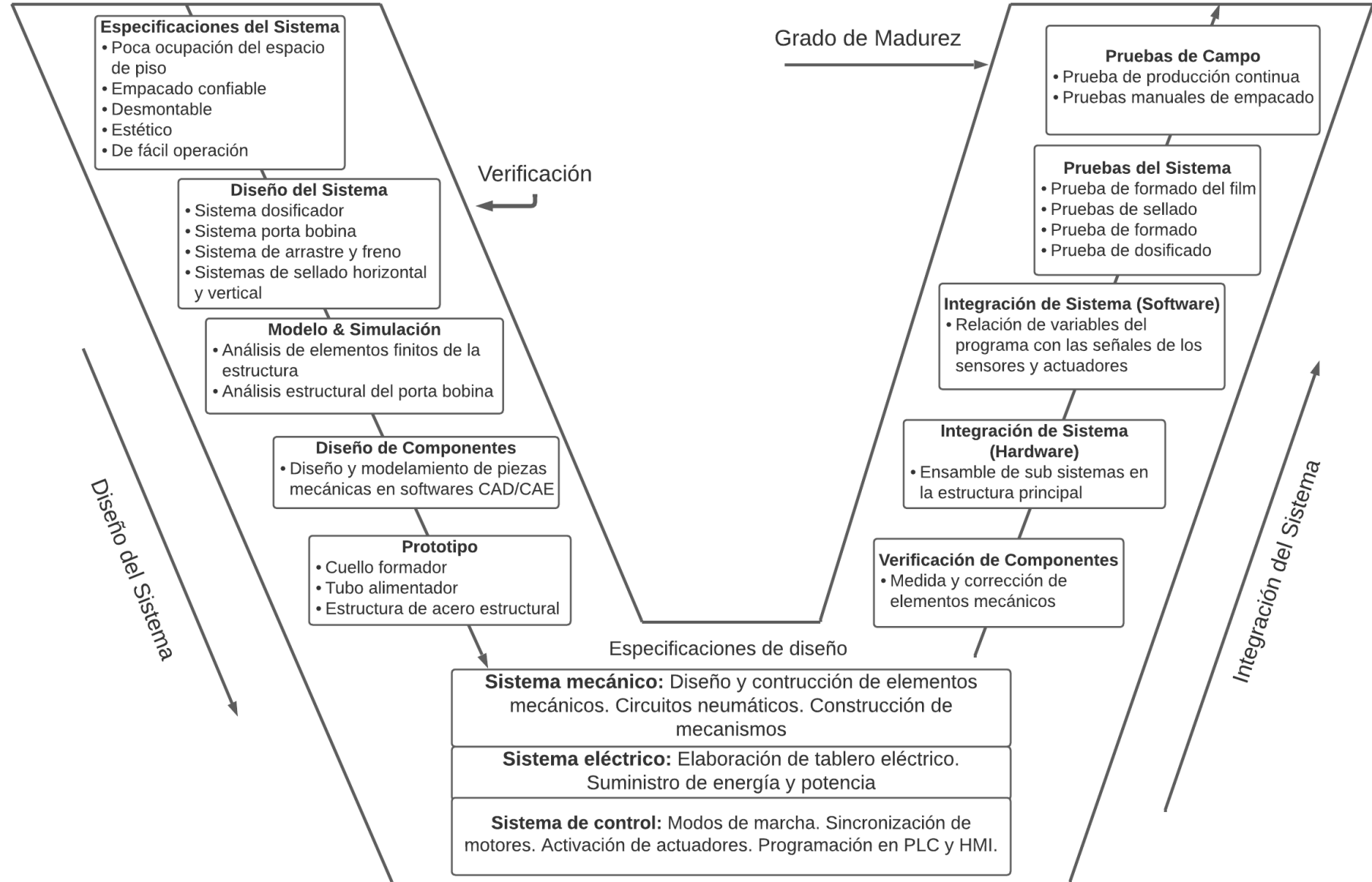
*Nota. Adaptado de (Bosch, 2014)*



# Metodología

**Requerimientos:** Empacar granos secos de forma automática (y manual)

**Producto:** Máquina envasadora vertical automática para granos secos



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

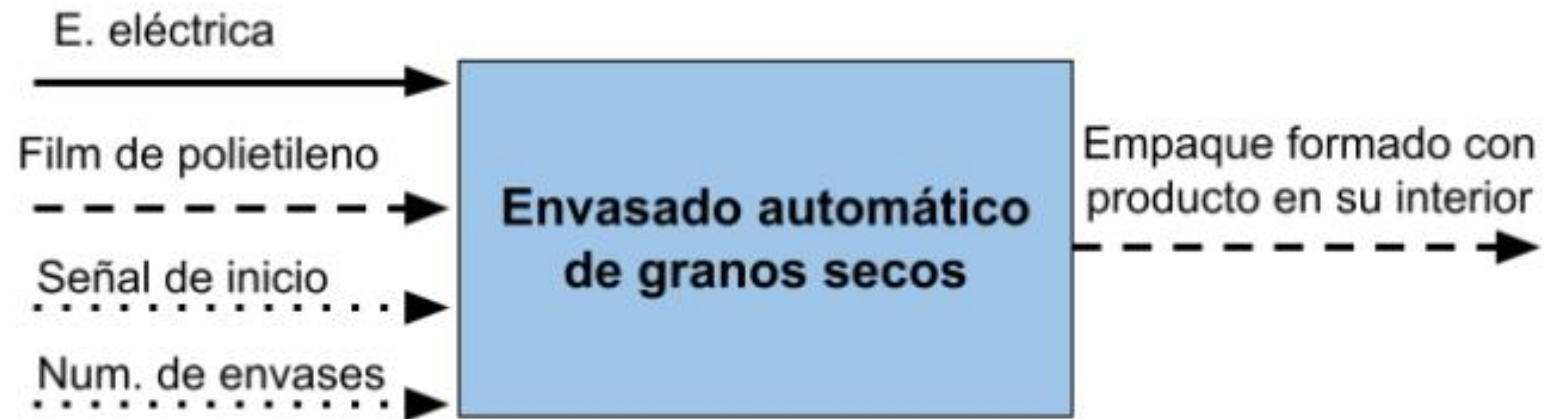
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Diagrama Funcional

## Nivel 0





Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

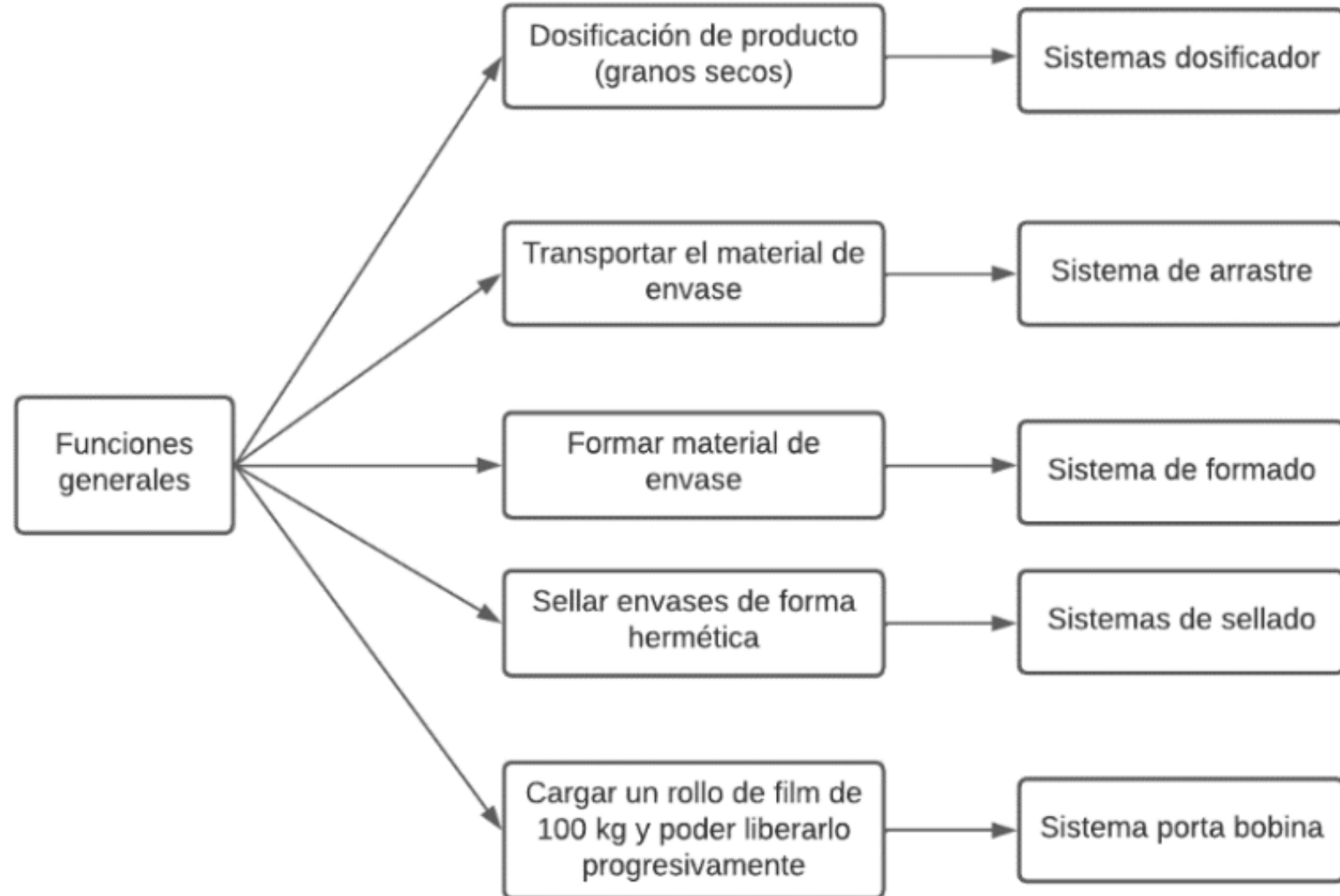
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Especificación





# Límites

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

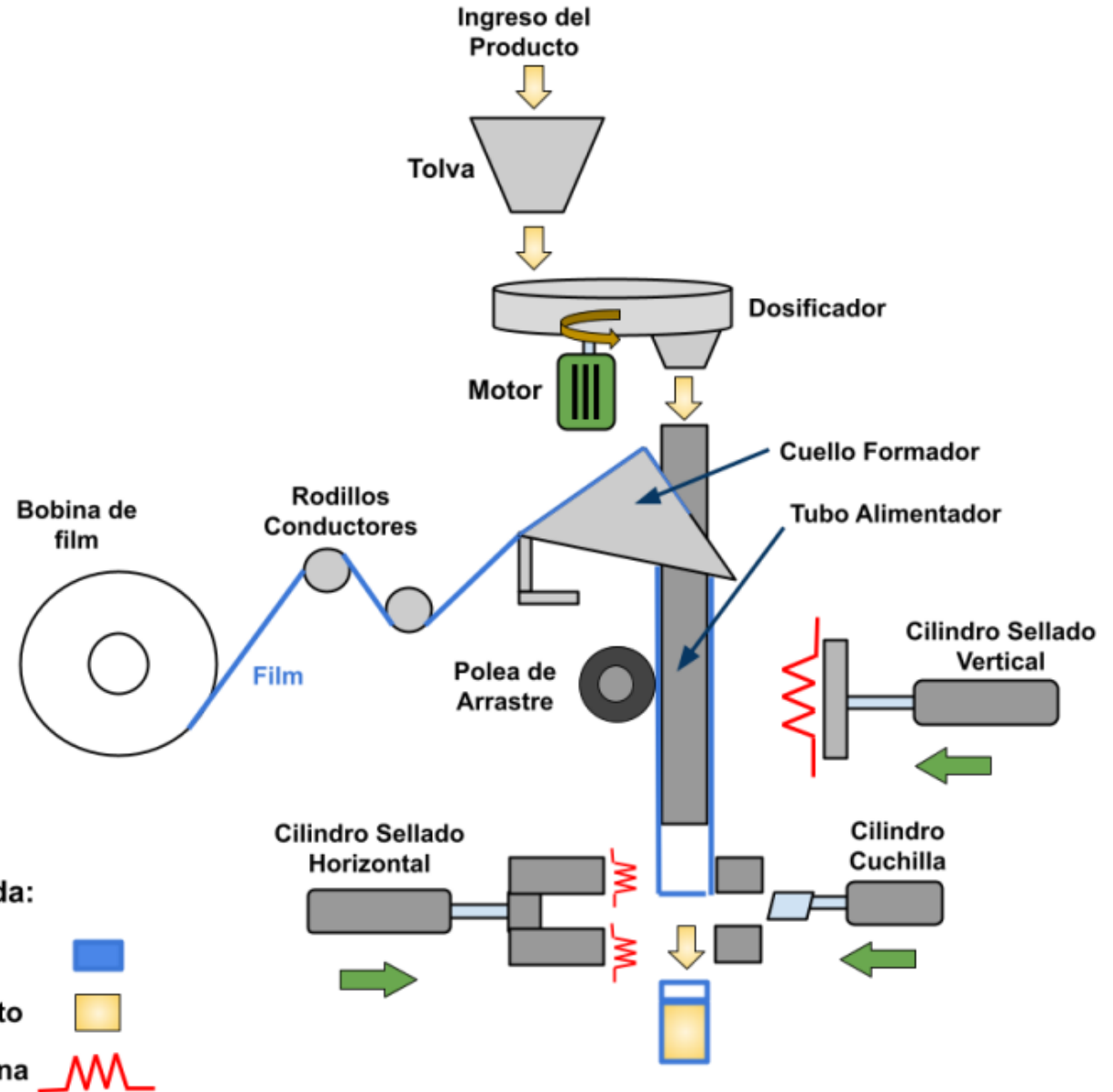
Nº	Característica Técnica	Observaciones
1	Espesor de film	60 um
2	Material de film	Polietileno de baja densidad
3	Ancho de rollo de film	230 mm
4	Peso máximo de rollo de film	100 kg
5	Altura del envase	120 mm
6	Lado de tubo alimentador cuadrado	52,5 mm
7	Carrera de cilindro de sellado horizontal	80 mm
8	Carrera de cilindro de sellado vertical	25 mm
9	Carrera de cilindro para cuchilla	30 mm
10	Rodillos de arrastre	De alta fricción
11	Motores a pasos	Par nominal 18 kg cm
12	Producción	10 bolsas por minuto
13	Peso producto	50-100 g





# Solución

## Máquina envasadora vertical



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

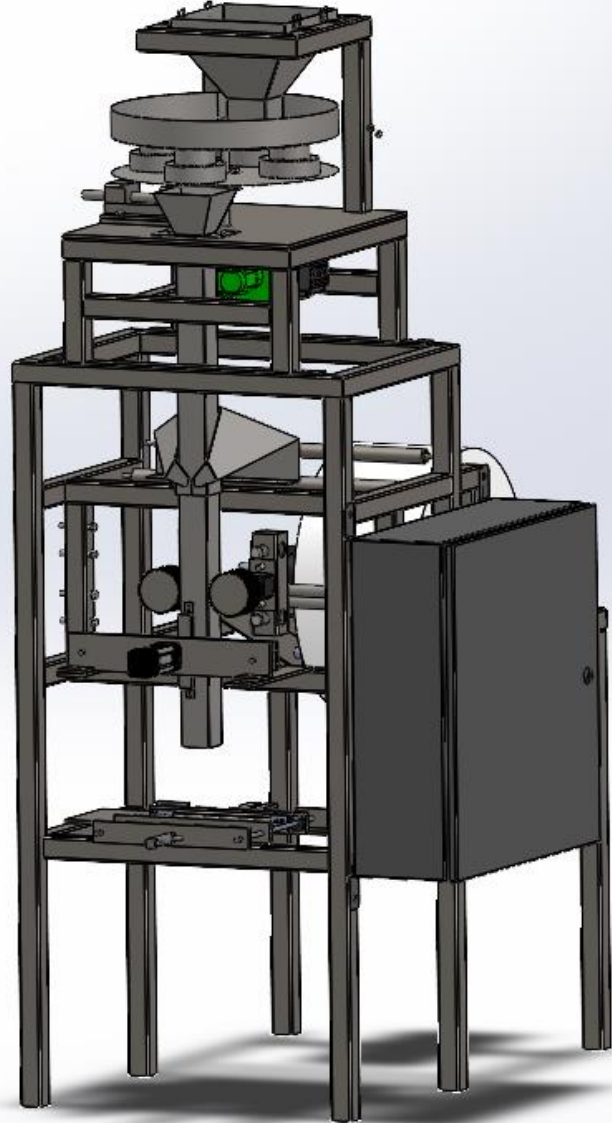
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Diseño del sistema

## Subsistema de Dosificación

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

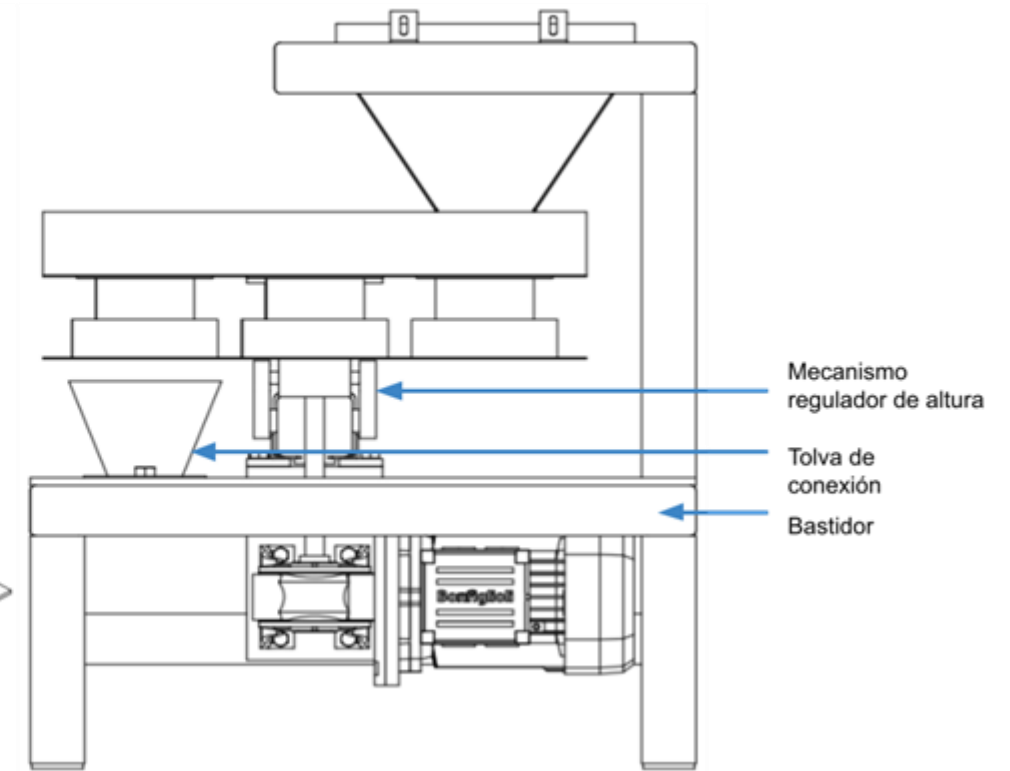
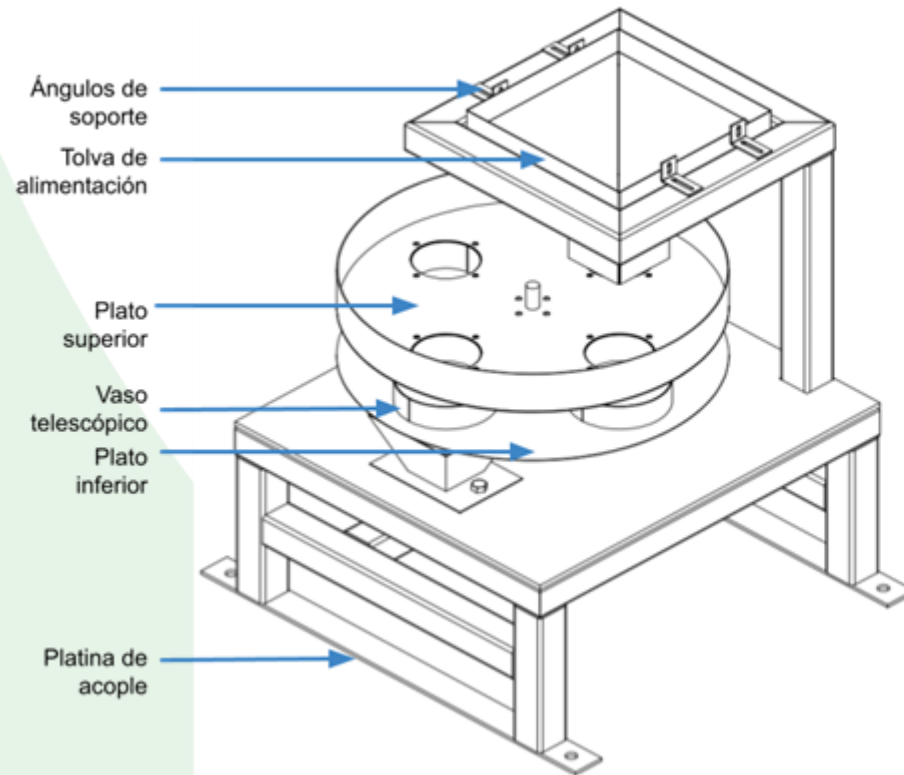
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

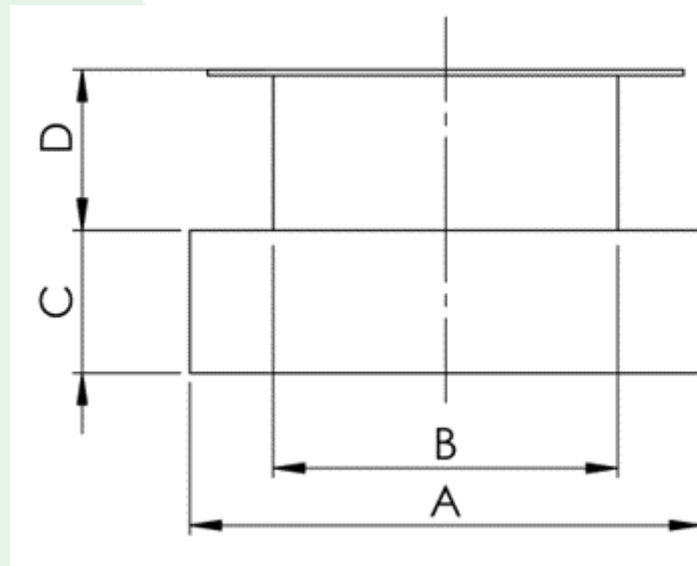
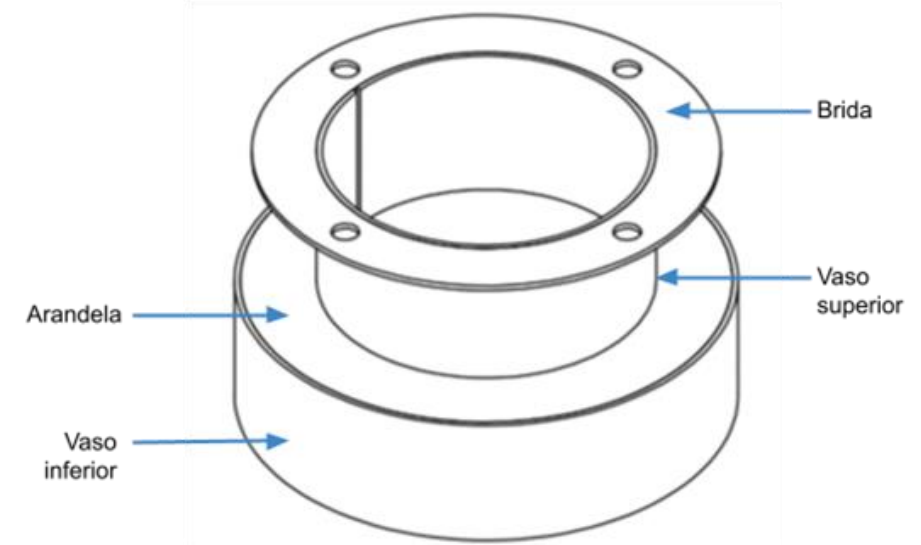
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Vaso telescópico

- Densidad aparente Nuez:  $250 \text{ kg/cm}^3$ .
- Un vaso superior para dosificar  $135 \text{ cm}^3$  equivalente a  $35 \text{ g}$  de producto.
- Vaso inferior dosifica el volumen restante. Dimensiones 1.5 veces mayor al vaso superior.



A: 105 mm

B: 70 mm

C: 30 mm

D: 35 mm

$$h_{vs} = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{135 \text{ [cm}^3\text{]}}{\pi}} = 3.5 \text{ [cm]}$$

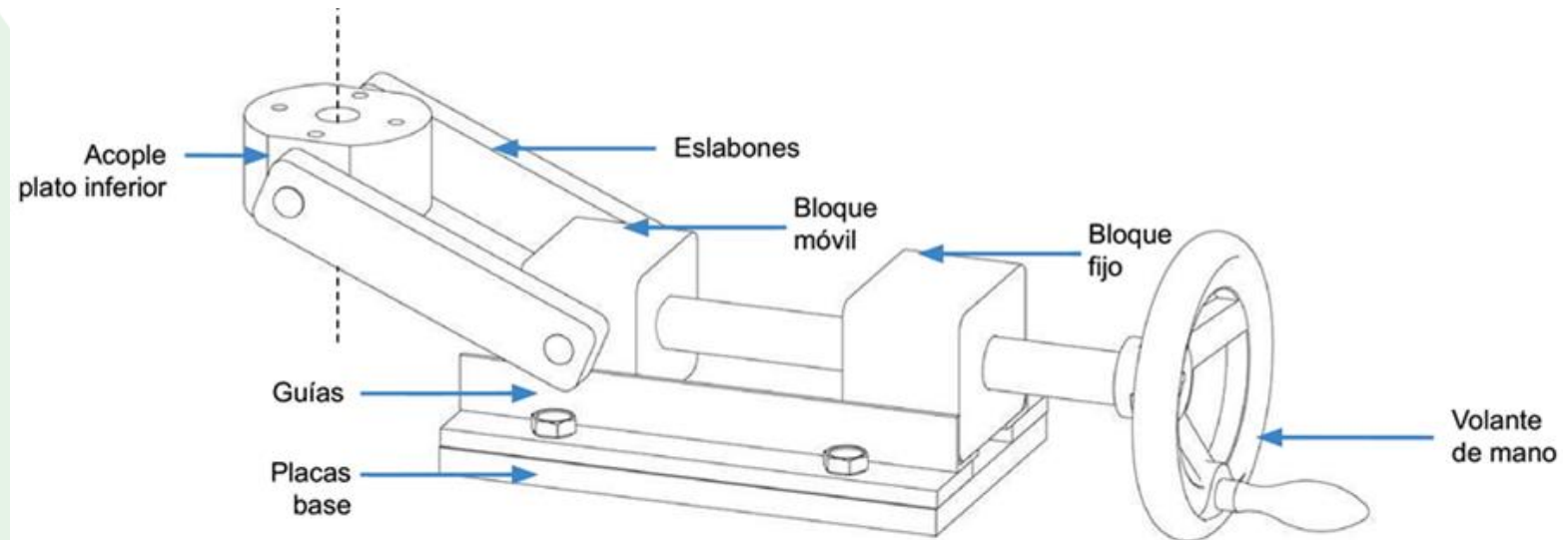
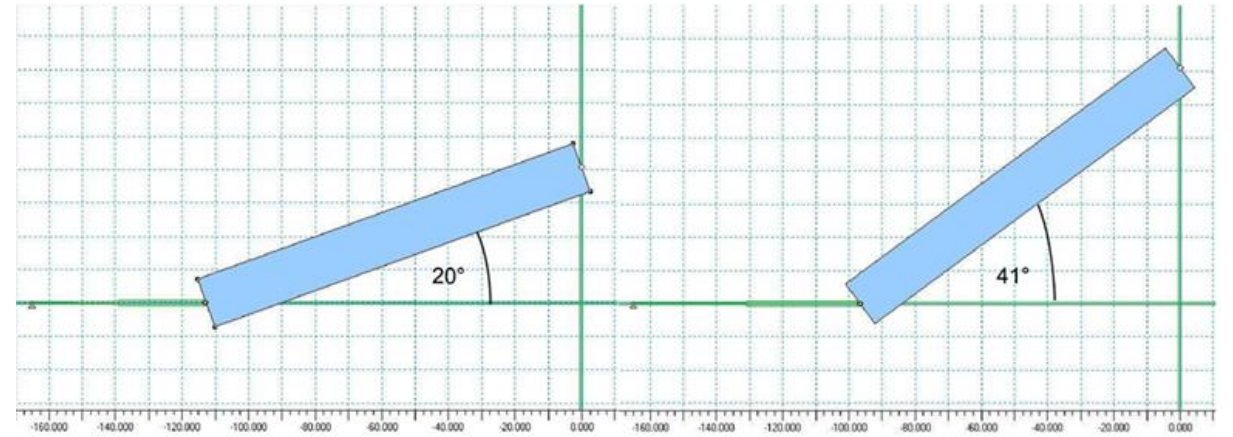
$$d_{vs} = 70 \text{ [cm]}$$

$$h_{vi} = \frac{4 \cdot V_{vi}}{\pi d_{vi}^2} = \frac{265 \text{ [cm}^3\text{]} \cdot 4}{\pi \cdot 10.5^2 \text{ [cm}^2\text{]}} = 3 \text{ [cm]}$$



# Mecanismo Regulación Altura

- Ángulo inicial de  $20^\circ$ .
- Se establece una longitud de eslabón de 120 mm
- Mediante simulación se estima la longitud que se debe desplazar el tornillo para completar la altura de 30 mm



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Mecanismo Regulación Altura

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

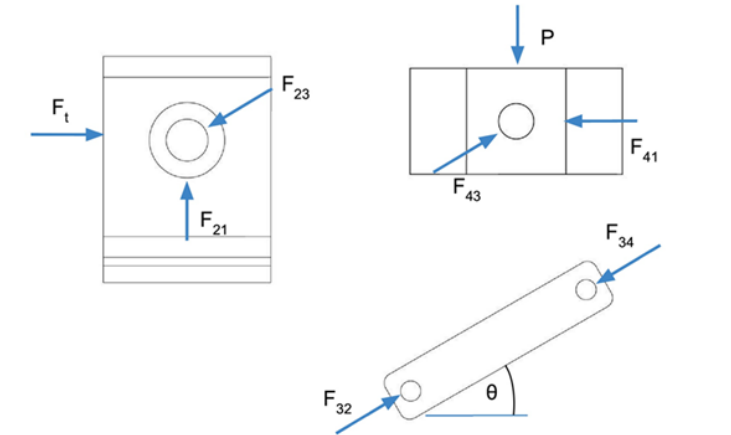
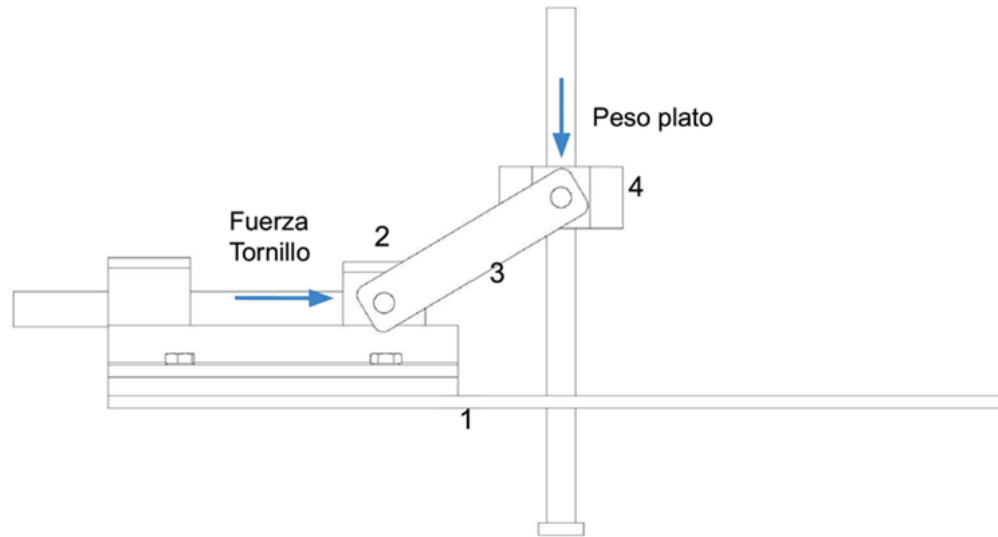
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Bloque móvil

$$F_{43y} - P = 0, \quad -F_{41} + F_{43x} = 0$$

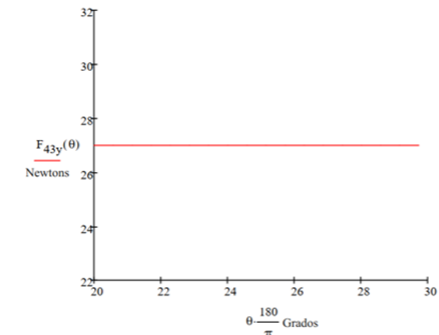
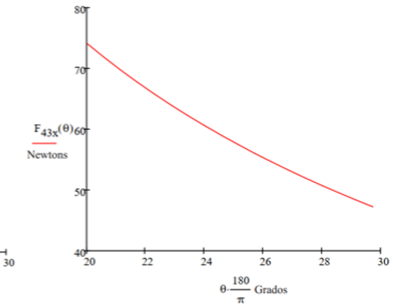
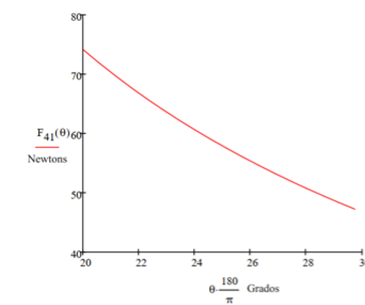
$$-F_{43y} + F_{32y} = 0, \quad -F_{43x} + F_{32x} = 0,$$

Brazo biela

$$F_{43x} \cdot L \sin \theta - F_{43y} \cdot L \cos \theta = 0$$

Acople plato

$$\text{inferior (corredera)} \quad F_T - F_{32x} = 0, \quad F_{21} - F_{32y} = 0$$





# Mecanismo Regulación Altura

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

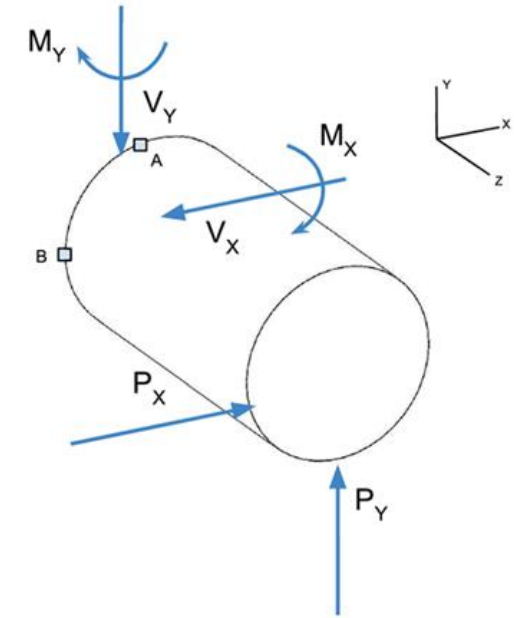
Recomendaciones

Trabajos futuros

Debido a necesidades geométricas, se requiere que el pin tenga una longitud de 18.5 mm.

Para facilidad de mecanizado y soldadura, se elige un diámetro mínimo de 10 mm.

$$V_y = 27 [N], \quad V_x = [75 N], \quad M_x = 0.5 [Nm], \quad M_z = 1.39 [Nm]$$
$$A_p = 78.54 [mm^2], \quad I_z = 490.87 [mm^4]$$



Punto A

Punto B

$$\tau_{zy} = 0, \quad \sigma_z(M_y) = 0,$$

$$\tau_{zx} = 0, \quad \sigma_z(M_x) = 0$$

$$\tau_{zx} = \frac{4V_x}{3A} = \frac{4 \cdot 75 [N]}{3 \cdot 78.54 [mm^2]} = 1.27 [MPa]$$

$$\tau_{zy} = \frac{4V_y}{3A} = \frac{4 \cdot 27 [N]}{3 \cdot 78.54 [mm^2]} = 0.46 [MPa]$$

$$\sigma_z(M_x) = \frac{M_x y}{I_z} = \frac{5 [mm] \cdot 0.5 [Nm] \cdot 10^3}{490.87 [mm^4]} = 5.1 [MPa]$$

$$\sigma_z(M_y) = \frac{M_y y}{I_z} = \frac{5 [mm] \cdot 1.39 [Nm] \cdot 10^3}{490.87 [mm^4]} = 14.2 [MPa]$$



# Mecanismo Regulación Altura

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

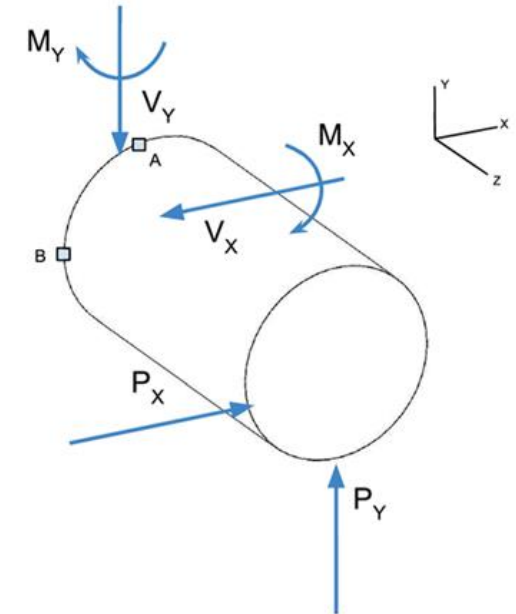
Trabajos futuros

Punto A

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{2\sigma_z^2 + 6\tau_{zy}^2}{2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5.1^2 [MPa^2] + 6 \cdot 1.27^2 [MPa^2]}{2}} = 14.18 [MPa]$$

Punto B

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{2\sigma_z^2 + 6\tau_{zx}^2}{2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 14.2^2 [MPa^2] + 6 \cdot 0.46^2 [MPa^2]}{2}} = 5.6 [MPa]$$



La carga es soportada por dos pines, de lo cual se estima como resultado final un factor de seguridad de 28, para un punto de fluencia de 200 MPa del acero al carbono.





# Diseño de tolva

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

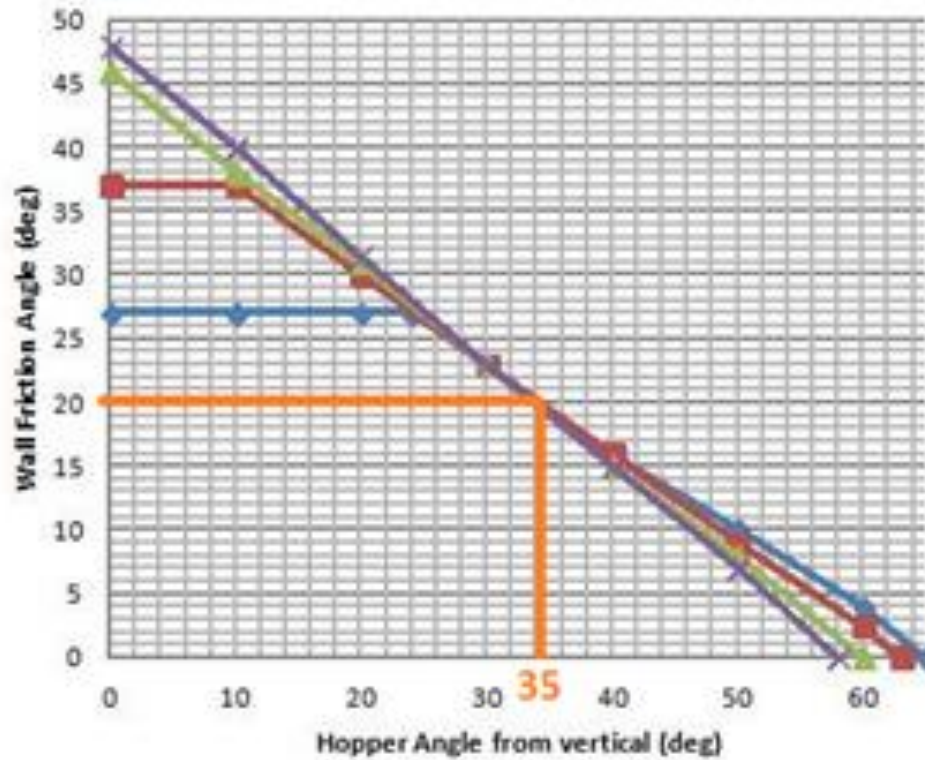
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

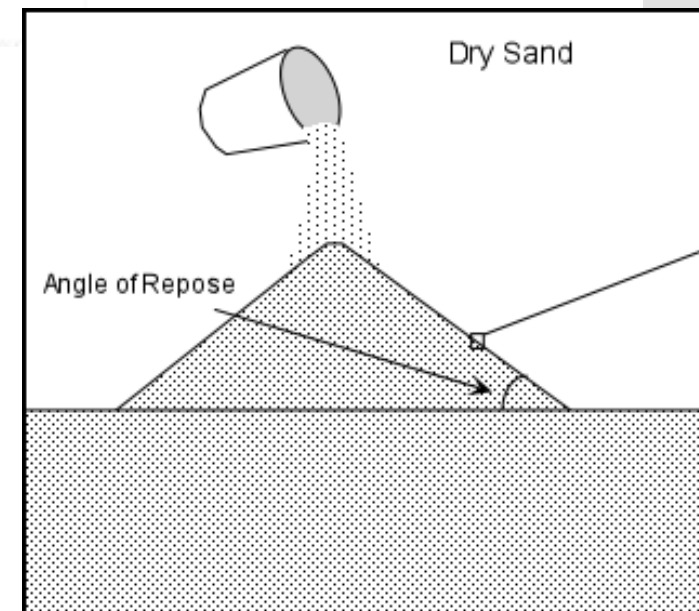
Trabajos futuros



- 30 deg
- 40 deg
- 50 deg
- 60 deg

Ángulo de reposo

El método utilizado para el diseño de la Tolva, es según el estudio de Silos, Bins, & Hoppers - Jenike & Johanson (1969).



$$\theta_t = 32^\circ$$

$\theta_t$ : Ángulo de tolva con respecto a la vertical



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

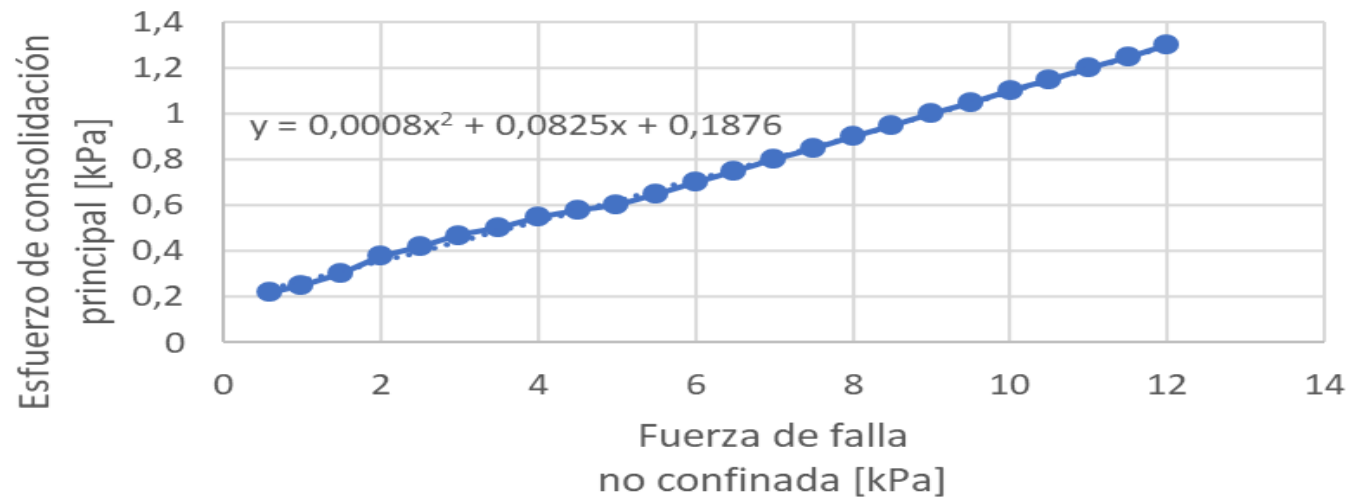
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

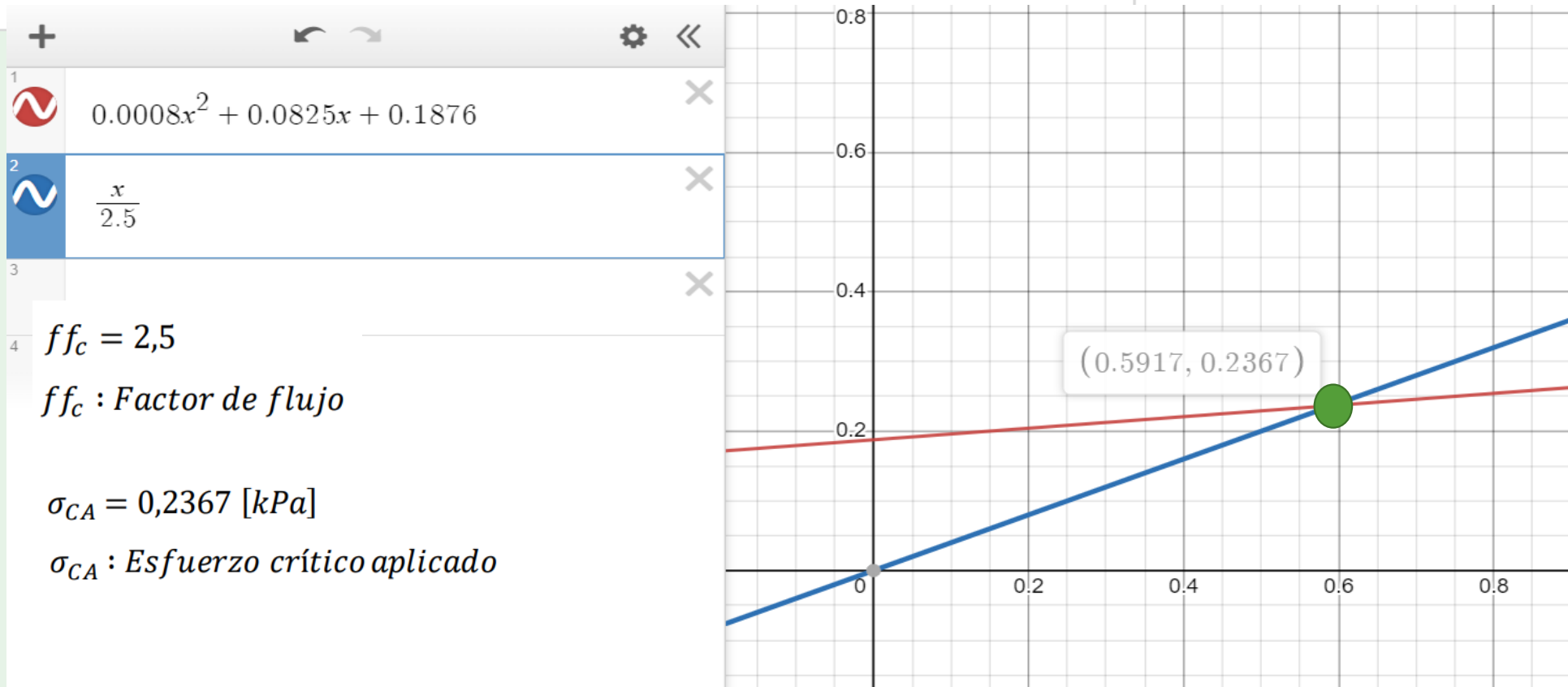
Recomendaciones

Trabajos futuros



Se interseca la **función de flujo del grano** con la **función inversa del factor de flujo obtenido,  $x/2,5$**

De esta forma se obtiene el **esfuerzo crítico aplicado**





Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

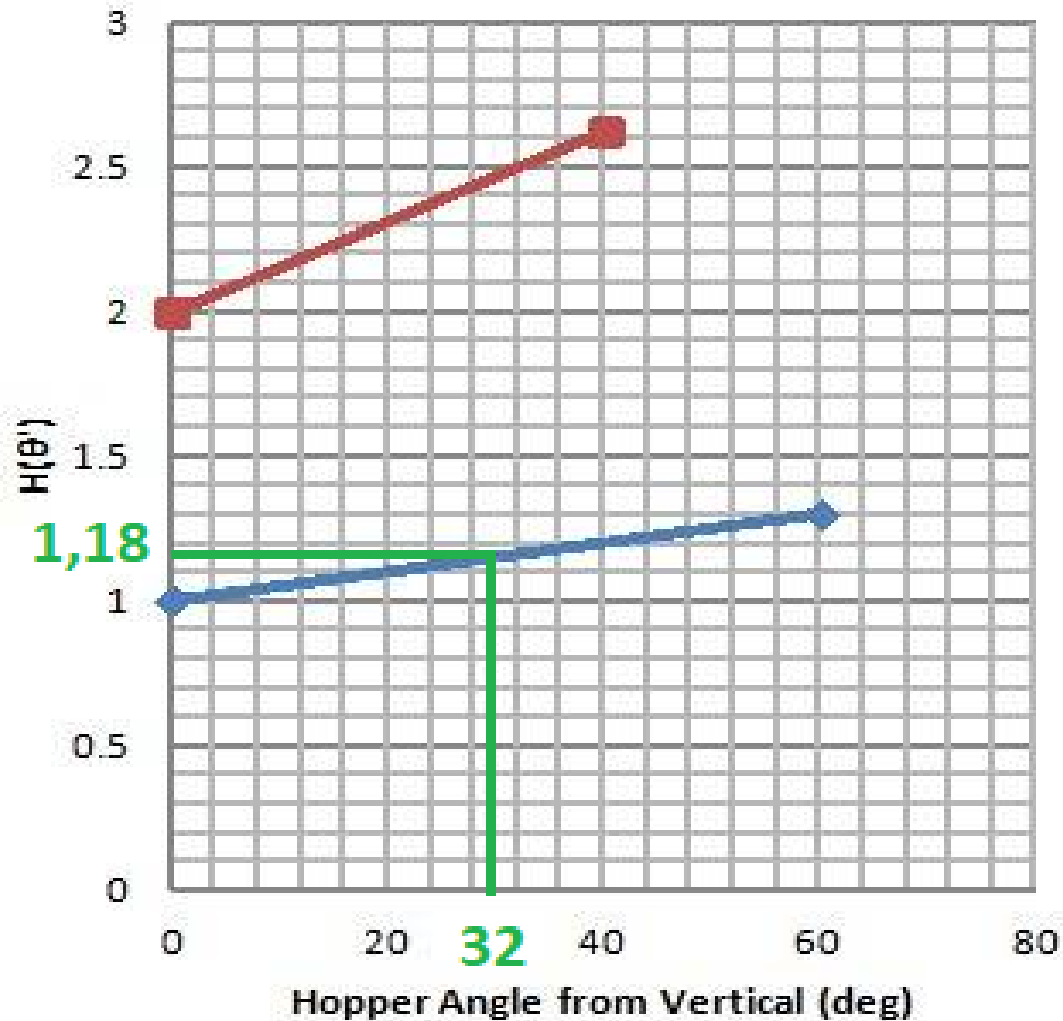
Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

## Calculation of H



Finalmente se interseca el valor del parámetro de salida de la tolva H, con la recta para tolvas de tipo cuña

◆ Wedge Shape

■ Cone Shape

$$H(\theta') = 1,18$$

$H(\theta')$ : Parámetro de salida de la tolva

$$d_{ct} = \frac{H(\theta') \cdot \sigma_{CA}}{g \cdot DG_c}$$

$$d_{ct} = 65,91 [mm]$$



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

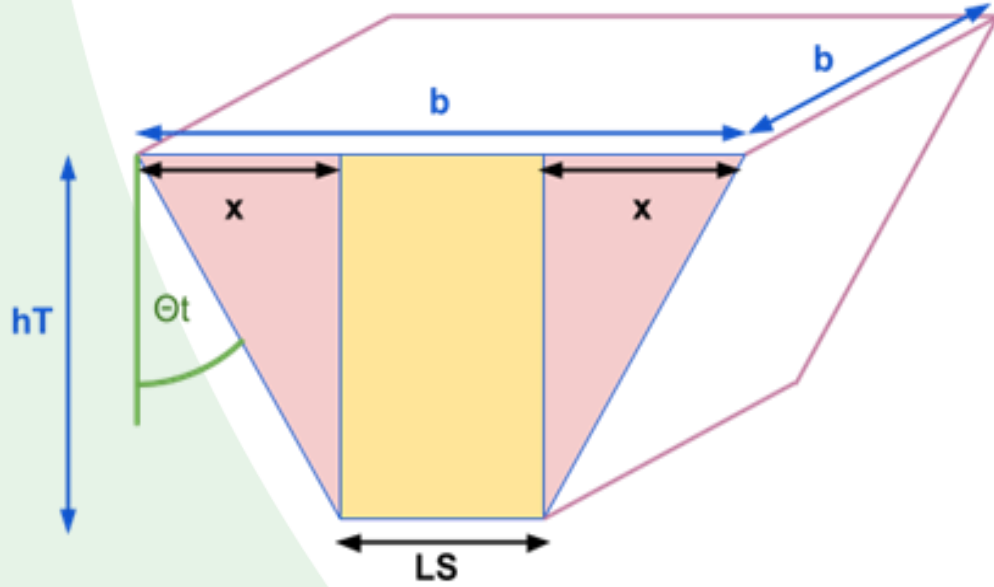
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

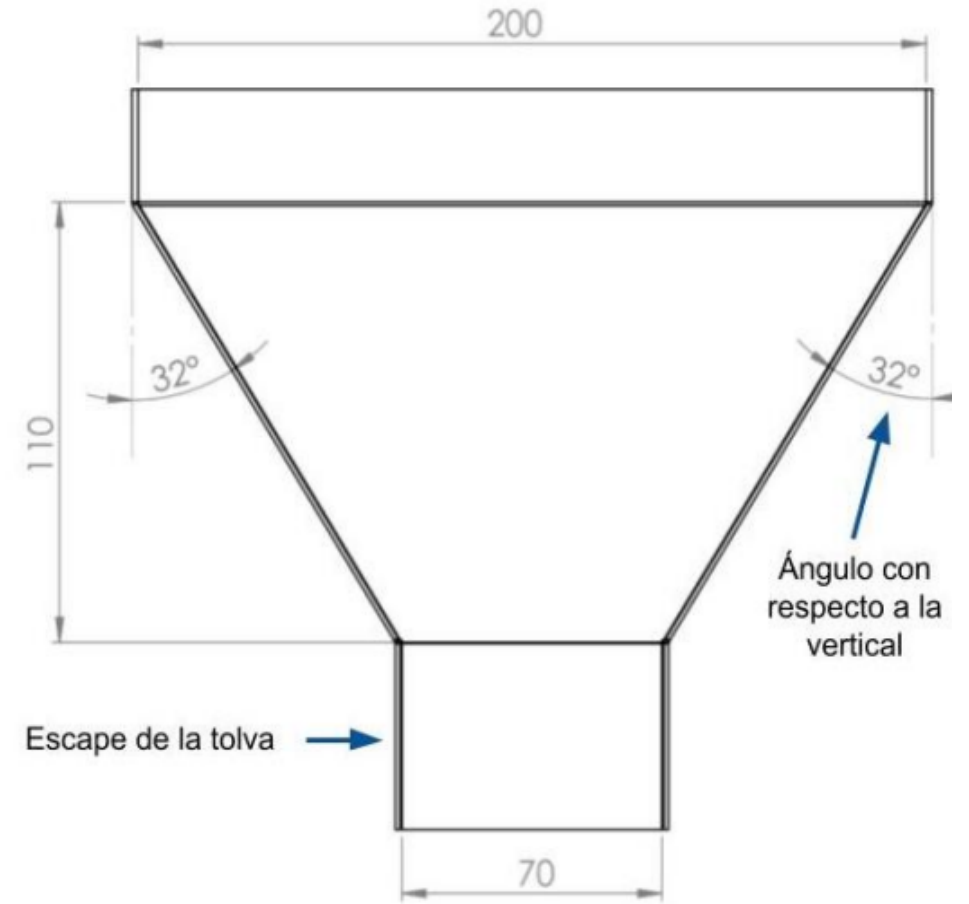
Trabajos futuros



$$LS = 70 [mm]$$

$$\theta_t = 32^\circ$$

$\theta_t$ : Ángulo de tolva con respecto a la vertical



Capacidad de volumen: 4140 cm<sup>3</sup>



# Subsistema Formado

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

El cuello formador es la parte esencial de una VFFS ya que permite el correcto formado de la funda de manera que sea provoque un flujo constante de plástico alrededor del tubo de alimentación.

Diseño y construcción

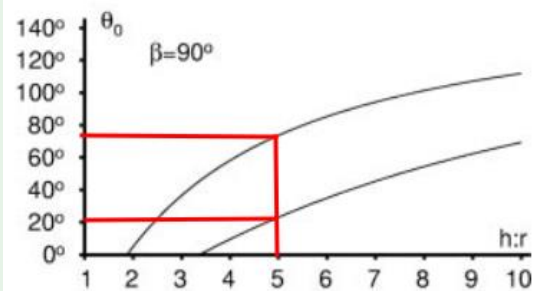
Pruebas y Resultados

Conclusiones

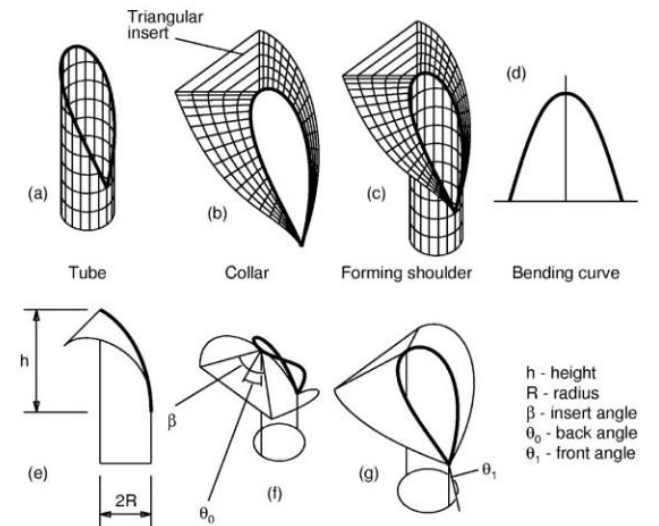
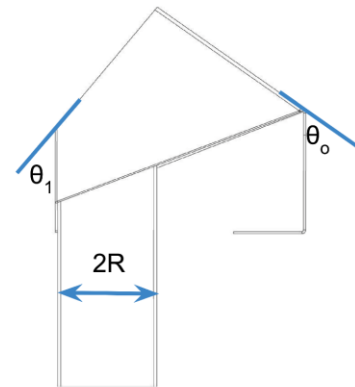
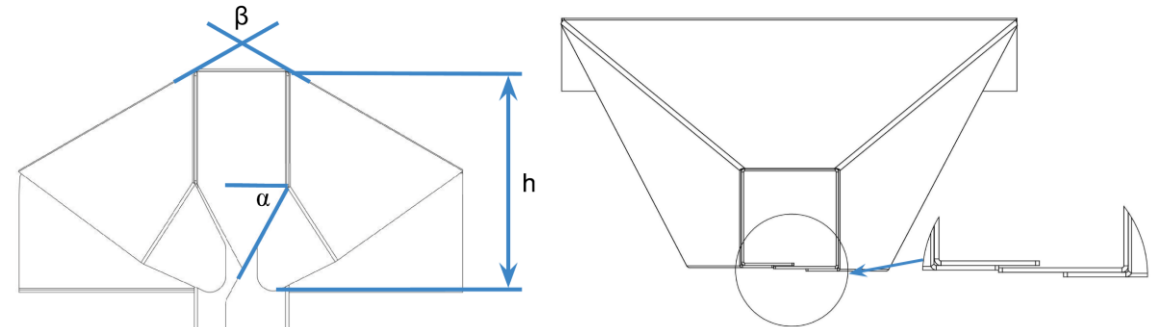
Recomendaciones

Trabajos futuros

Ángulo de apertura $\beta$	Ángulo frontal $\theta_1$	Altura $h$ [mm]	Relación $h/R$	Ancho cuello [mm]	Ángulo de manga $\alpha$
$90^\circ$	$40^\circ$	146	4.9	280.75	$62^\circ$



(b) Upper and lower bounds of back angle  $\theta_0$  for front angle  $\theta_1 = 30^\circ$  and various opening angles  $\beta$





Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

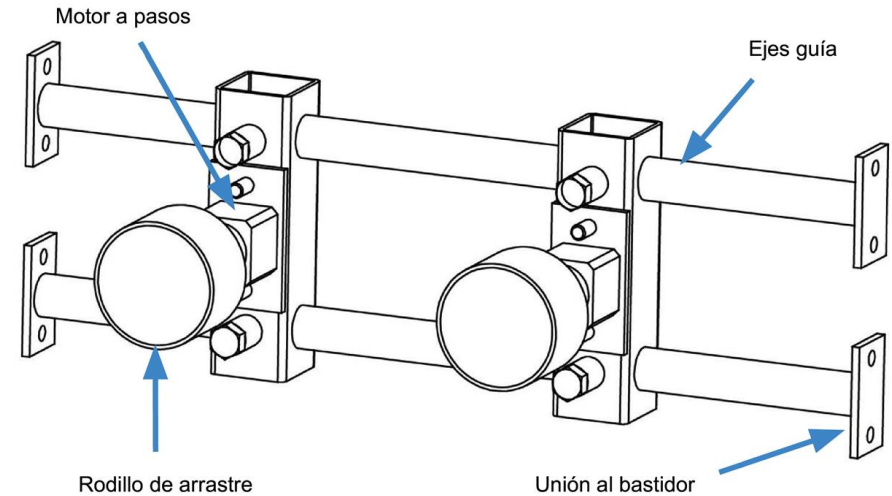
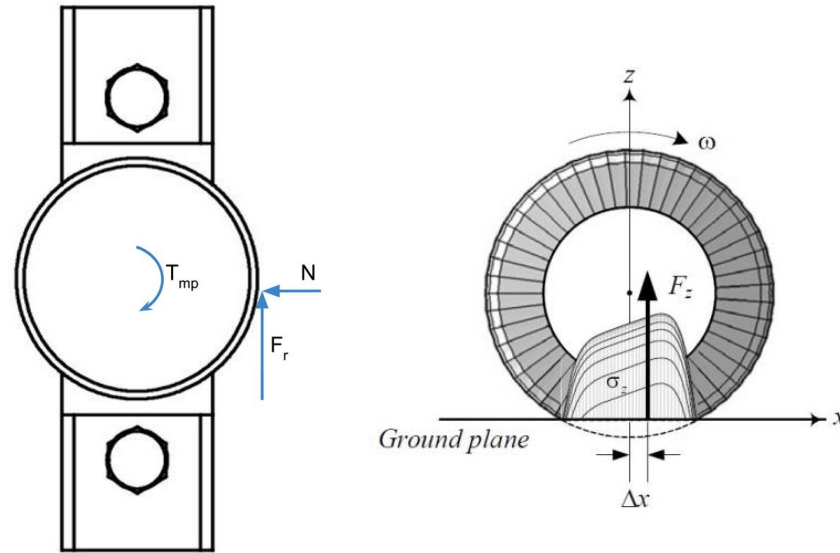
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Subsistema Arrastre



$$\sum M = I_{ra} \alpha_{ra}$$

$$a_t = \alpha_{ra} R_{ra}$$

$$T_{mp} - F_r R_{ra} = \frac{a_t}{R_{ra}}$$

Para simplificar el diseño, se escogió el uso de rodillos de arrastre adaptados a partir de bases antivibratorias apernadas prefabricadas a través de un cuerpo de acero inoxidable y recubrimiento de neopreno



# Características del filme usado

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



**Ancho: 23 cm**

**Diámetro: 47 cm**

**Material: Polietileno de baja  
densidad LDPE**

**Peso: 36 kg**

**Densidad: 40 um**



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

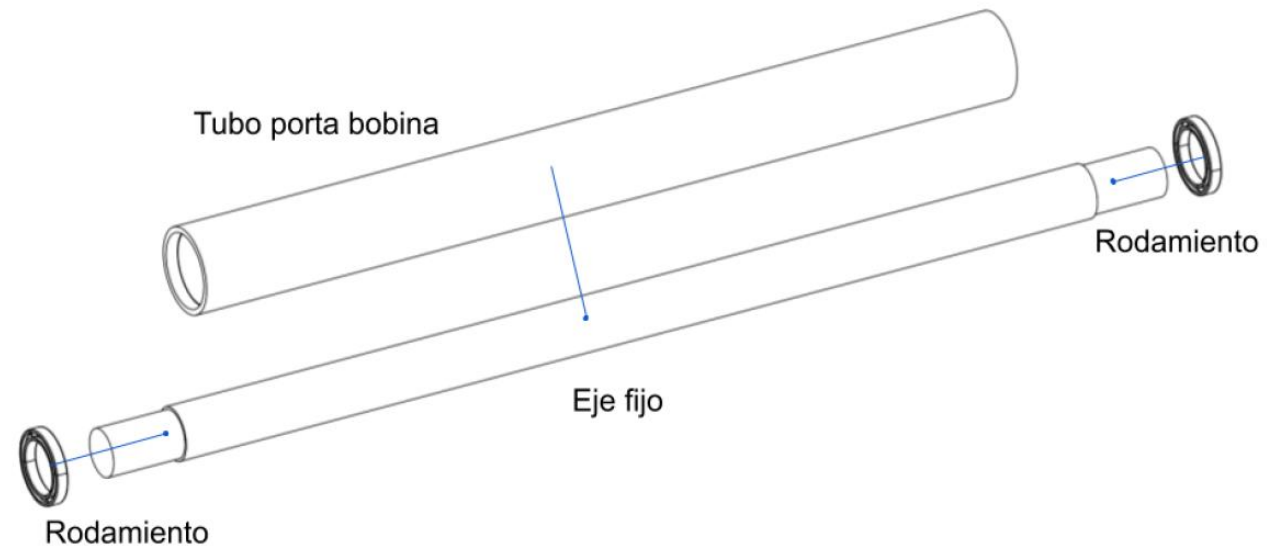
Recomendaciones

Trabajos futuros

# Diseño de porta bobina



El porta bobina es un componente mecánico que da soporte a la bobina del filme y permite liberar el mismo a través del giro sobre su propio eje.



## Requerimiento:

Soportar un peso de bobina de filme de 150 kg

**Tubo porta bobina:** Tubo de vapor de 1 ½" cédula 40

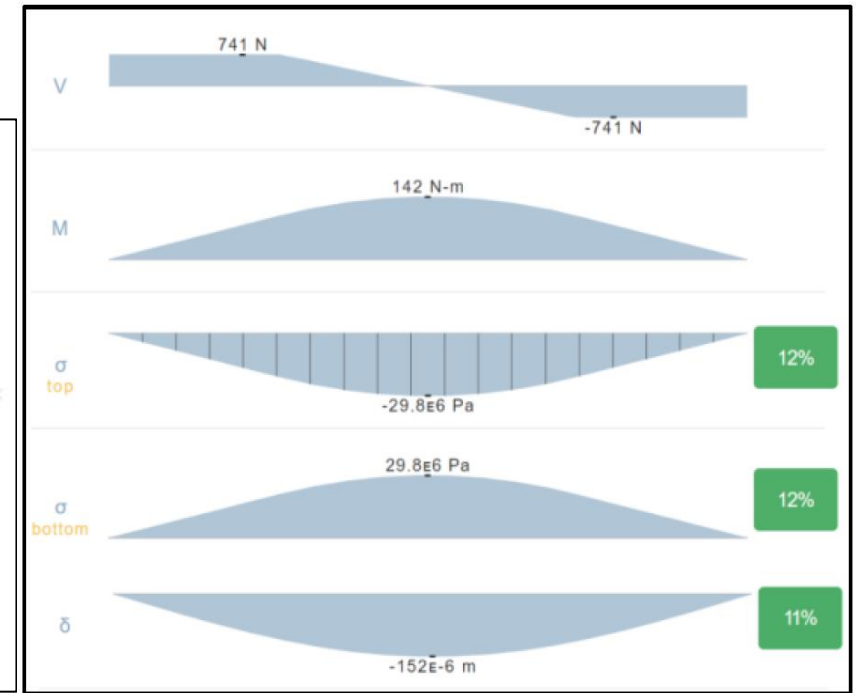
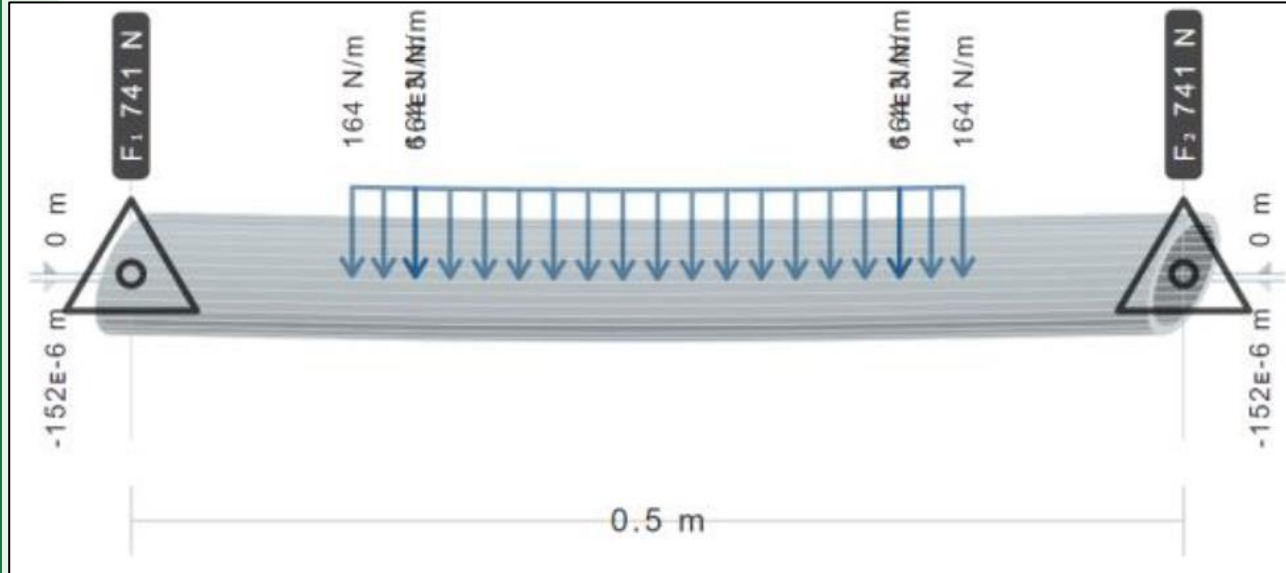
**Eje fijo:** Acero estructural, diámetro 30 mm

**Rodamientos:** SKF 61806

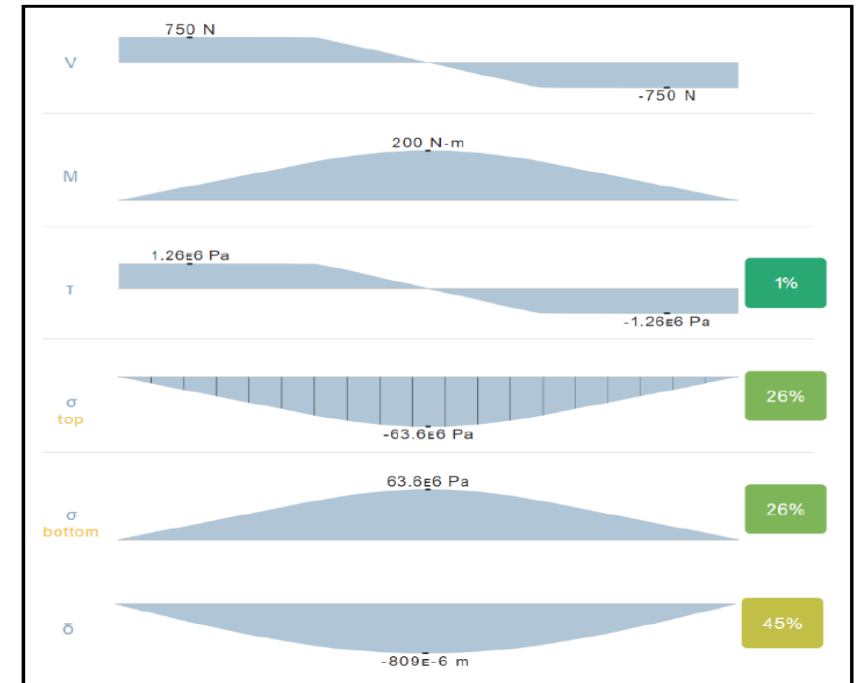
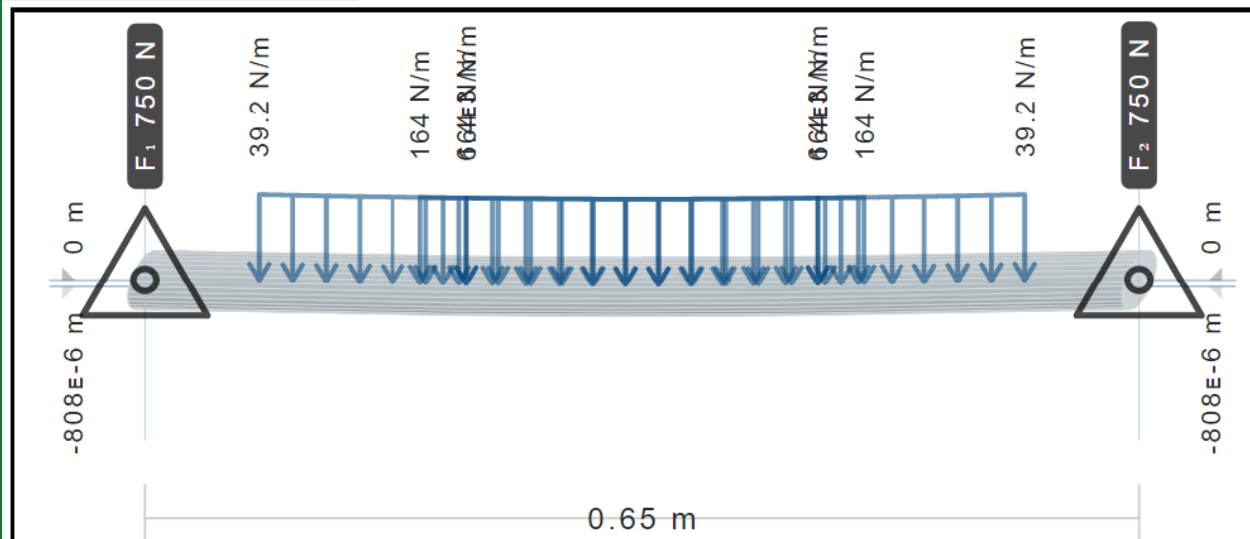




## Análisis: Tubo porta bobina



## Análisis: Eje porta bobina



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Simulación FEM porta bobina

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

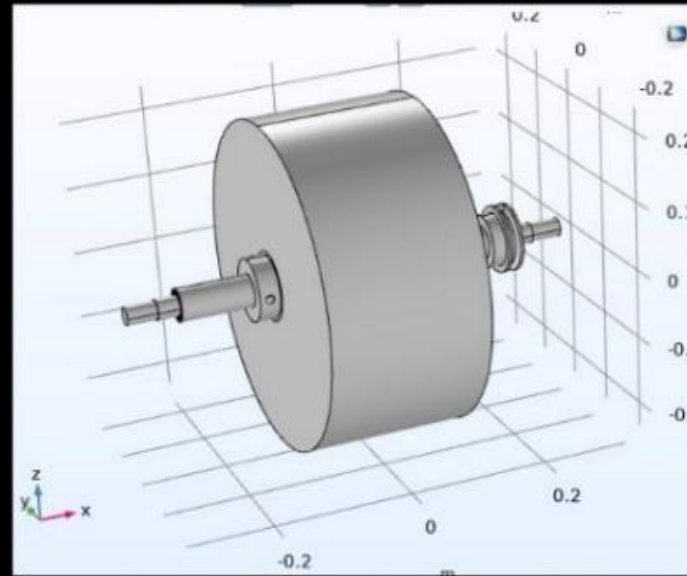
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

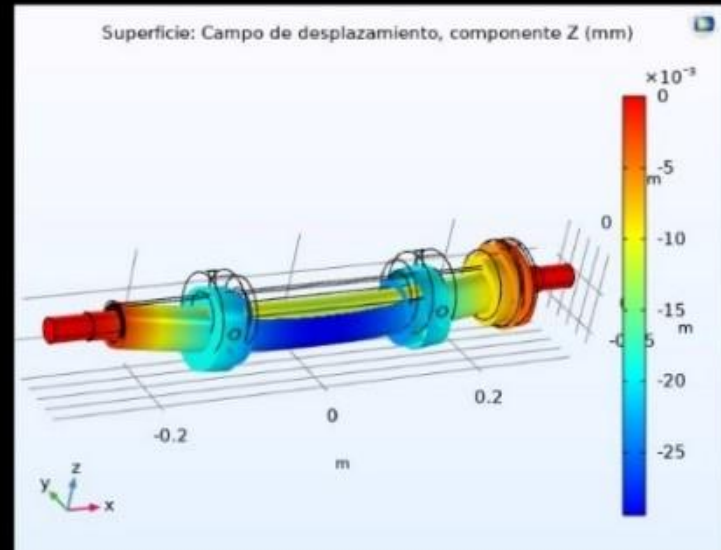
Conclusiones

Recomendaciones

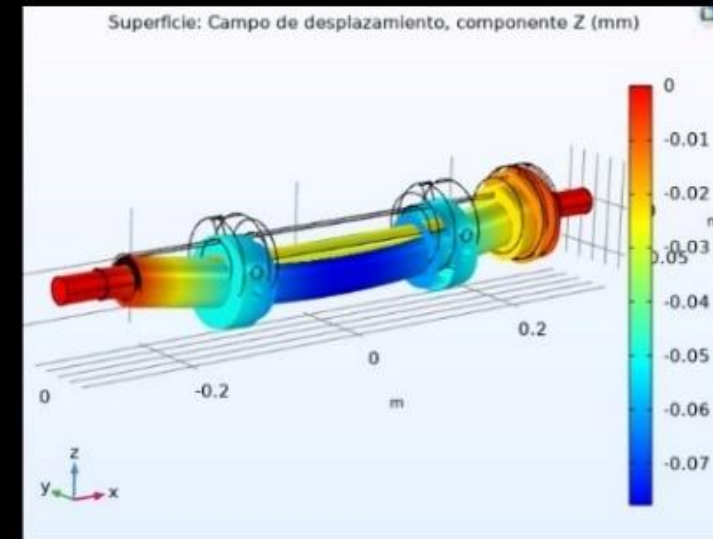
Trabajos futuros



Factor de seguridad: 3



40 kg



150 kg



# Circuito neumático

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

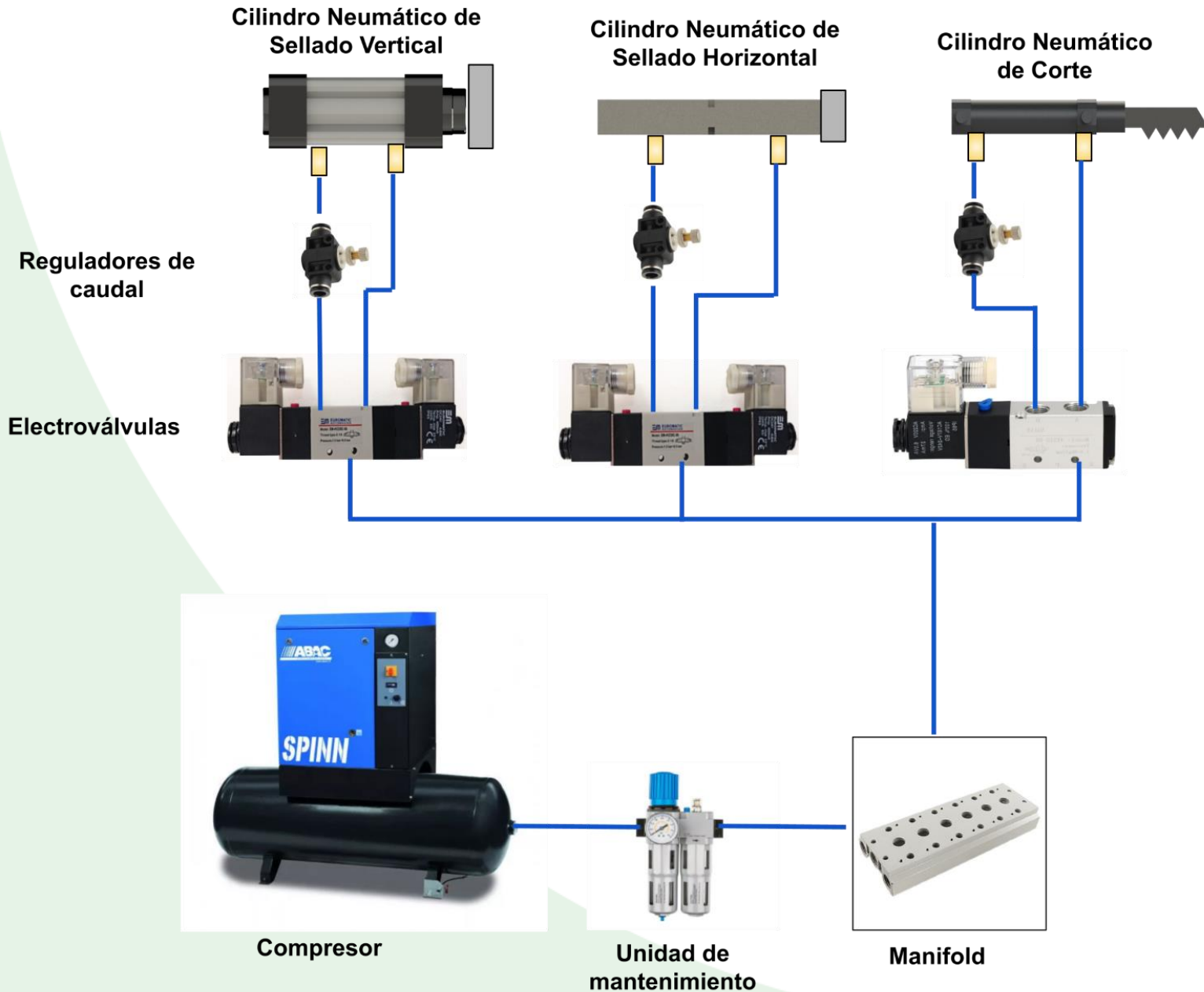
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



**Manguera neumática:  
6mm diámetro**

Las características que debe poseer el compresor son las siguientes:

**Presión [bar]**

6

**Caudal [CFM]**

3

**Potencia [Hp]**

0,75



# Sist. Sellado Vertical

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

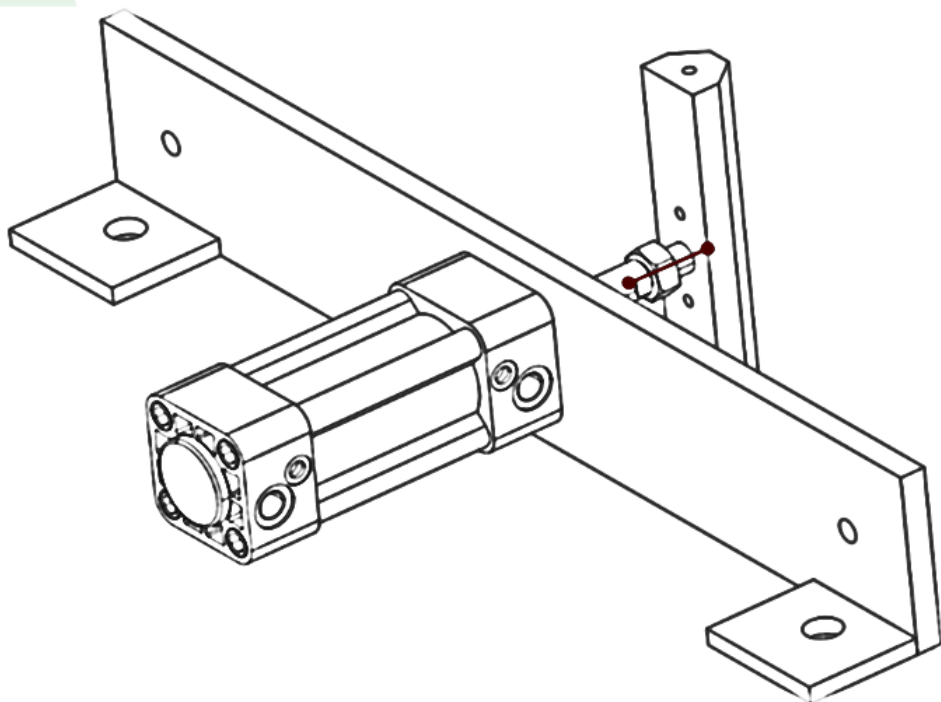
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

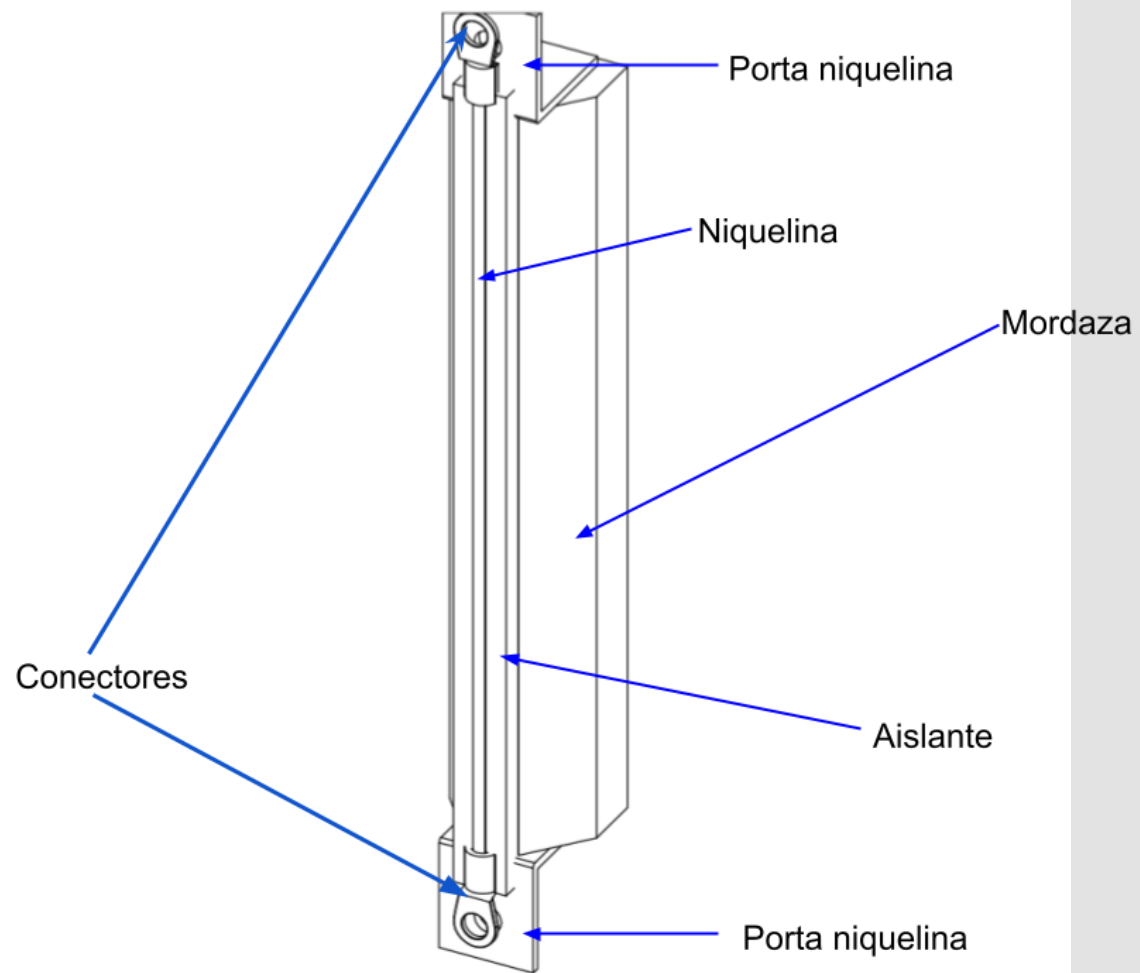
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Acople mordaza de sellado vertical y cilindro neumático



Componentes de mordaza vertical



# Sist. Sellado Horizontal

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

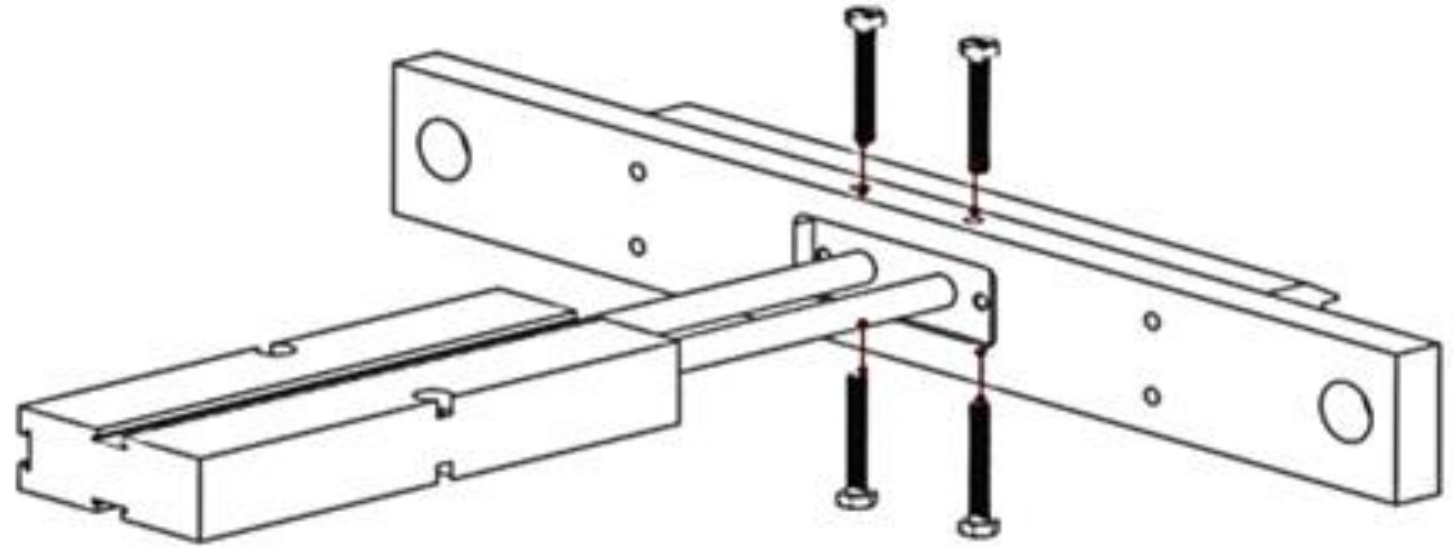
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

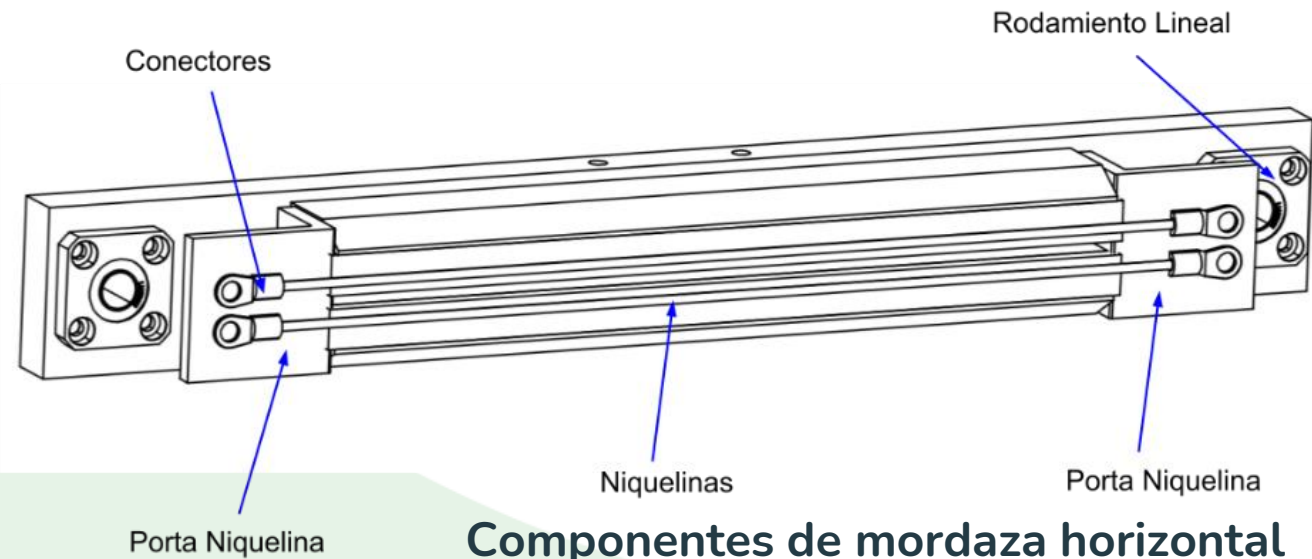
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Acople mordaza de sellado horizontal y cilindro neumático



Componentes de mordaza horizontal



# Sist. de Corte

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

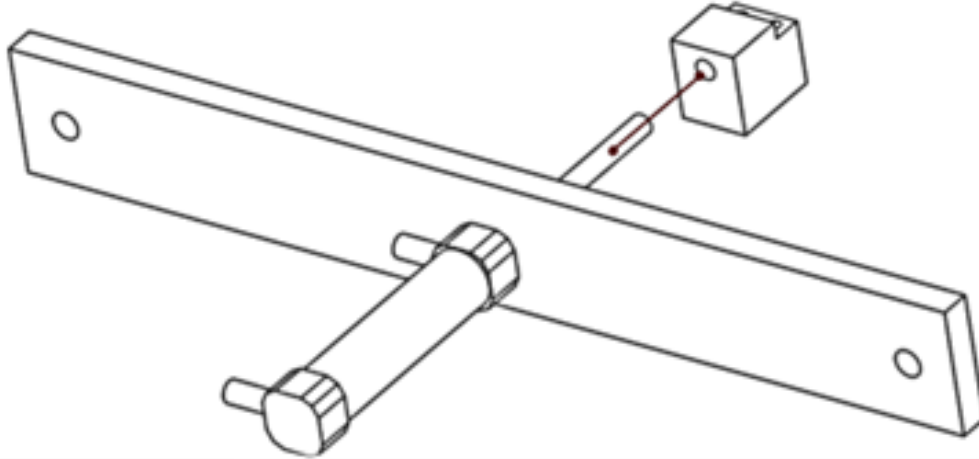
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

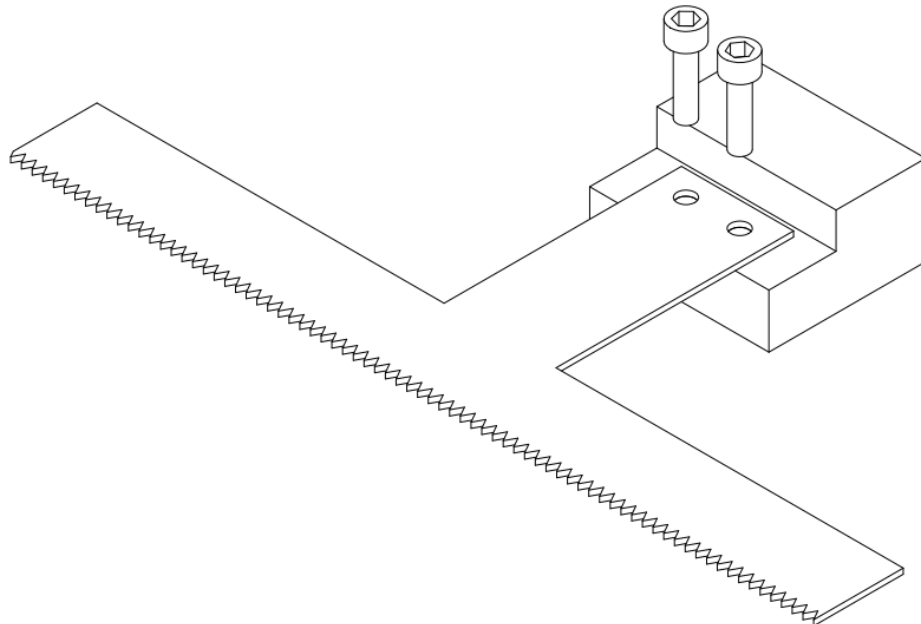
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



**Acople bloque conductor  
y cilindro neumático**



**Acople bloque conductor y  
cuchilla industrial**



# Simulación FEM de placas de sellado

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

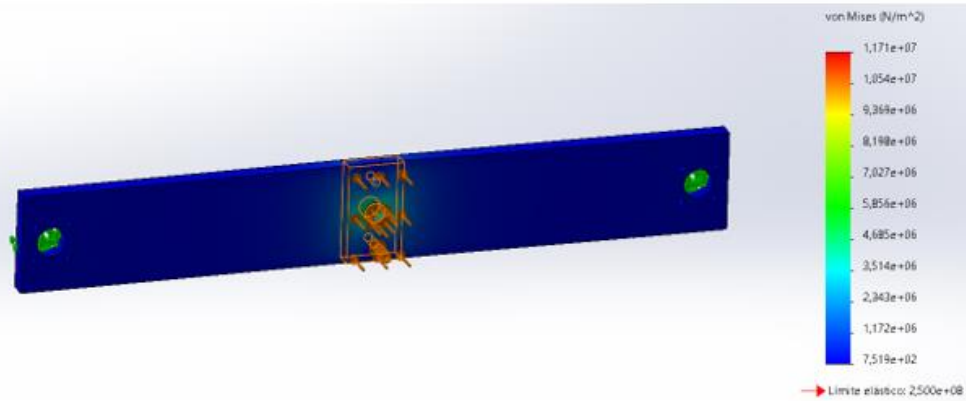
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

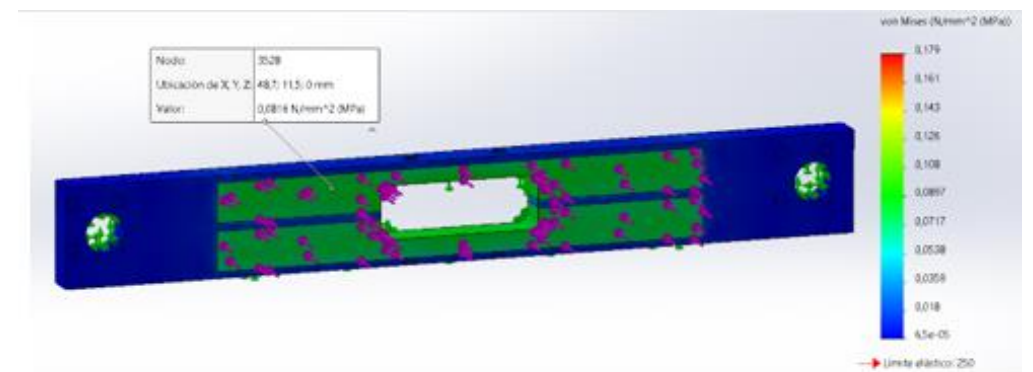
Conclusiones

Recomendaciones

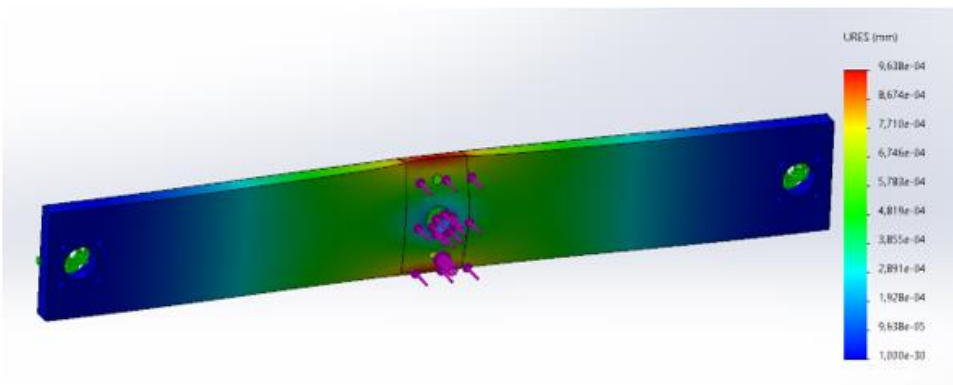
Trabajos futuros



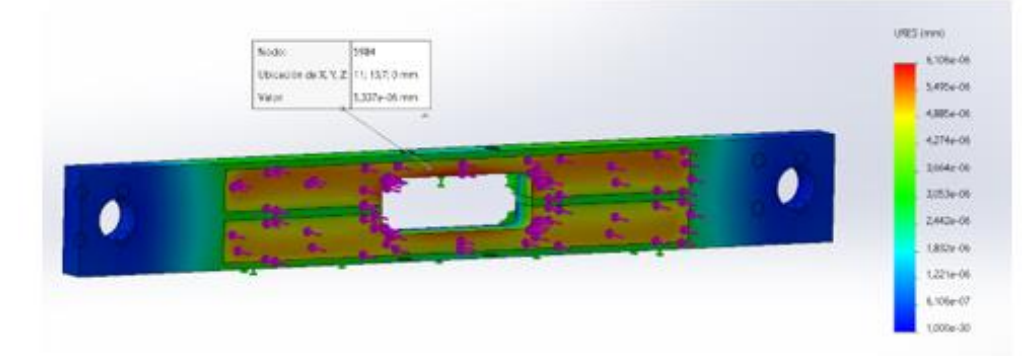
Factor de seguridad: 5



Factor de seguridad: 5



Análisis FEM placa sellado vertical



Análisis FEM placa sellado horizontal



# Diseño del bastidor

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

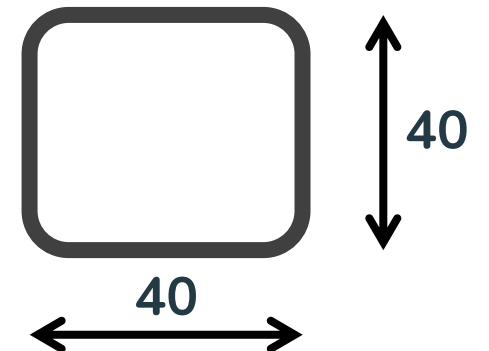
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



- Estructura que da el soporte de los sistemas de la máquina.
- El bastidor fue adaptado a los sistemas
- Consta de 7 niveles donde se encuentran distribuidos los sistemas de la máquina
- El bastidor está conformado de tubo cuadrado 40x40x2







# Diseño del bastidor

## Estructura A



## Inferior

## Estructura B



## Superior

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

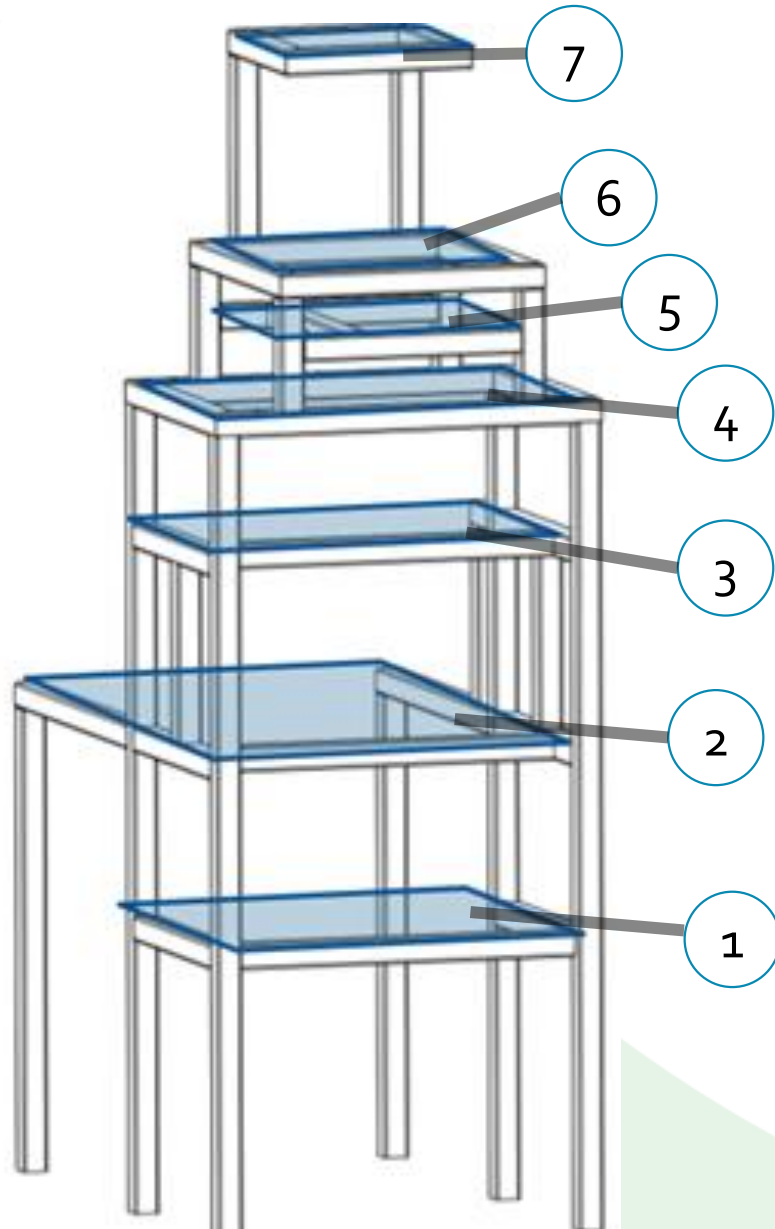
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del bastidor



Nivel 1: Sellado horizontal

Nivel 2: Sellado vertical y porta bobina

Nivel 3: Cuello formador

Nivel 4: Acople de bastidores

Nivel 5: Motor

Nivel 6: Dosificador

Nivel 7: Tolva principal

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del bastidor

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

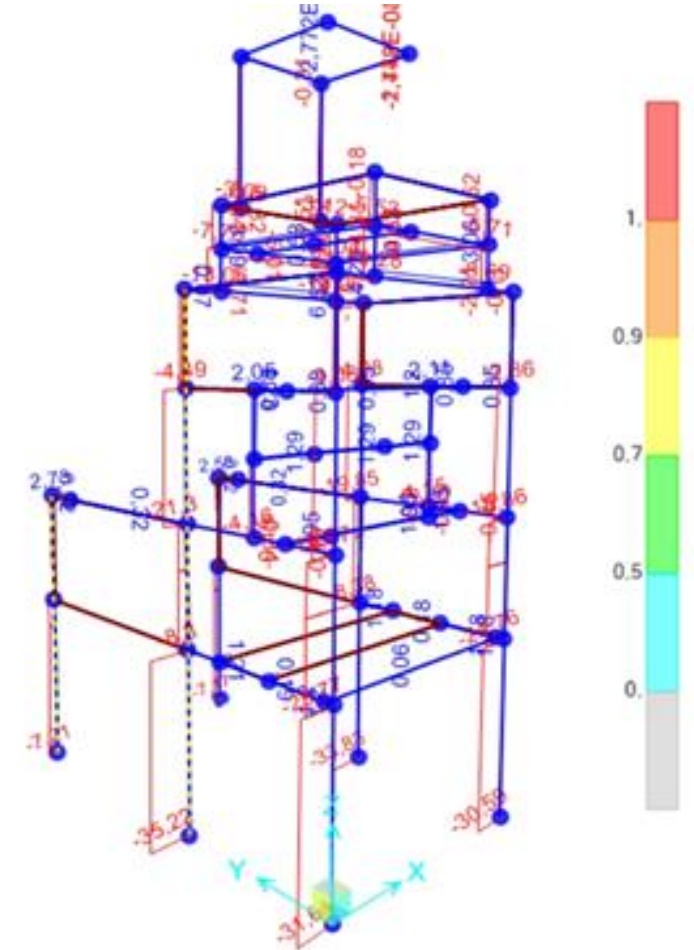
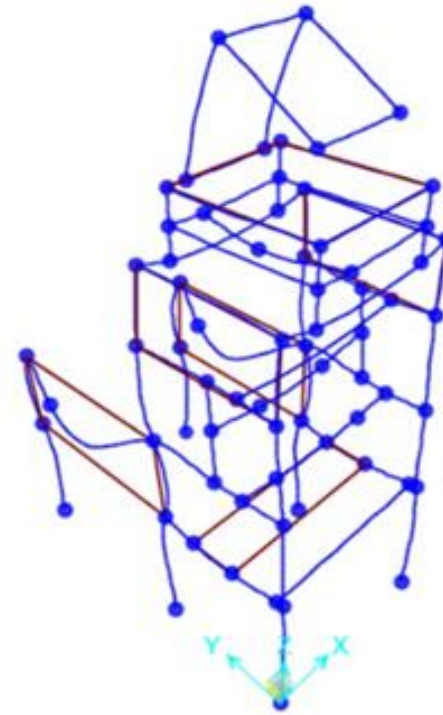
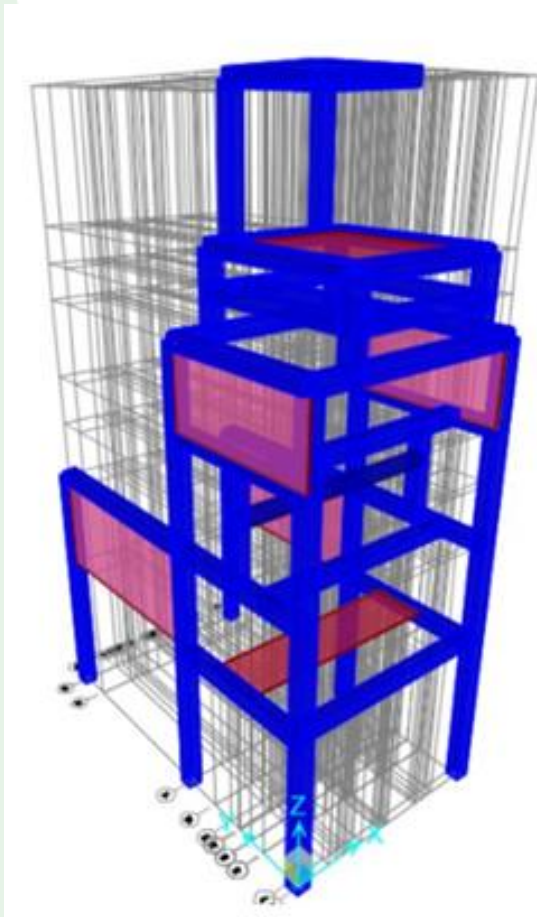
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Simulación de cargas en el bastidor

Carga máxima: 35.22 lbf



# Diseño Eléctrico

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

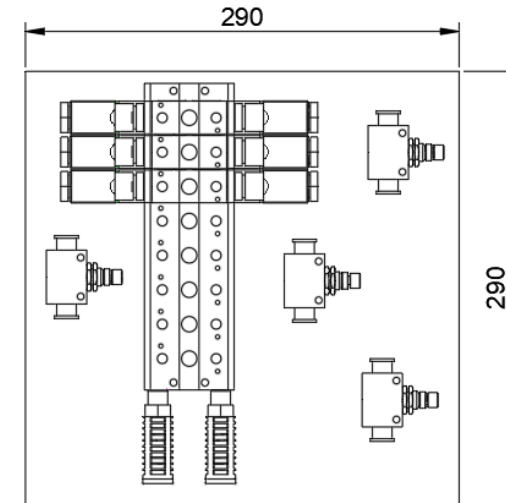
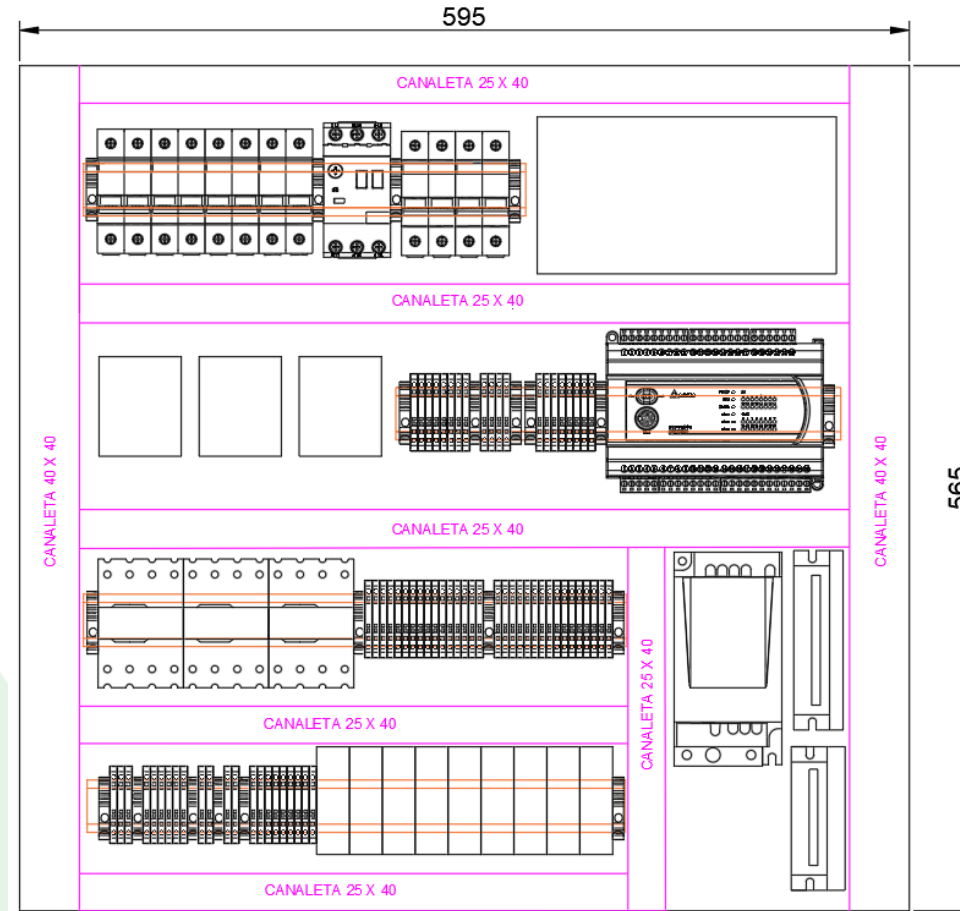
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Según la normativa NEC/NFPA 70B, cuyas líneas sirven de base para estructurar el código eléctrico ecuatoriano, los interruptores con protección térmica se dimensionan en 130%

## Especificaciones técnicas

Alimentación eléctrica	220V bifásico + Neutro
Frecuencia	60 Hz
Corriente pico	50 A
Potencia pico	5,5 kW
Potencia media	0,3 kW



# Interfaz humano - máquina (HMI)

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

PROCESO HISTORICOS 1

## EMPACADORA AUTOMÁTICA

ESTADO:

2

SIST. DOSIFICADOR

SIST. ARRASTRE

SIST. SELLADO HORIZONTAL

SIST. SELLADO VERTICAL

3

### CONTROL

ARRANQUE

PARO

RESET

4

### CONTROL MANUAL

DOSIFICADO

SELL. VERTICAL

ARRASTRE

SELL. HORIZONTAL

5

### SETPOINTS

NUM. BOLSAS

PRODUCCION

TIME ON S. HORIZONTAL [s]

TIME ON S. VERTICAL [s]

stop

1 Pestañas de navegación

2 Sinóptico del proceso

3 Botones de control

4 Botones de control manual

5 Panel de setpoints



# Construcción

## Cuello formador

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

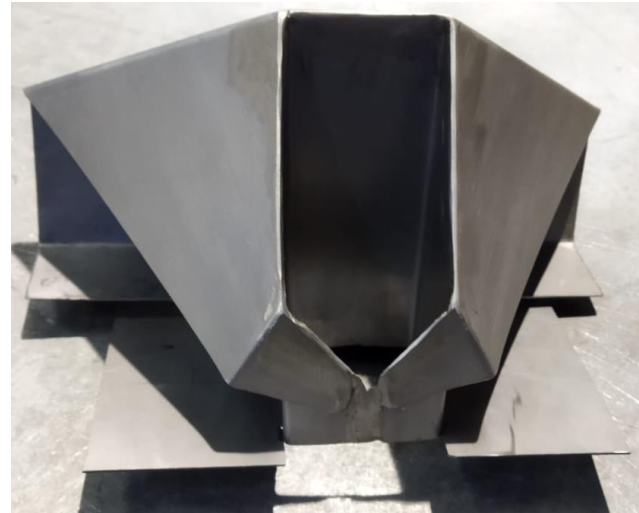
Conclusiones

Recomendaciones

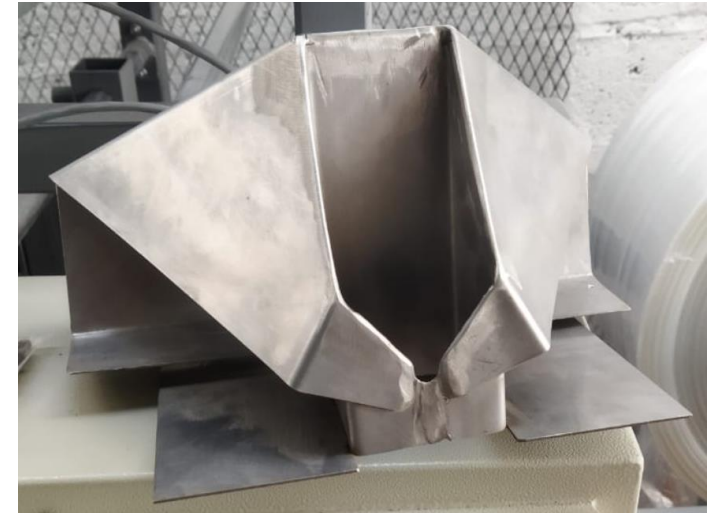
Trabajos futuros



**Iteración 1**



**Iteración 3**



**Iteración 6**

El cuello formador requirió un total de 6 iteraciones para obtener un diseño óptimo que permitiera un flujo natural del filme cuando es arrastrado



# Construcción Tablero eléctrico

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

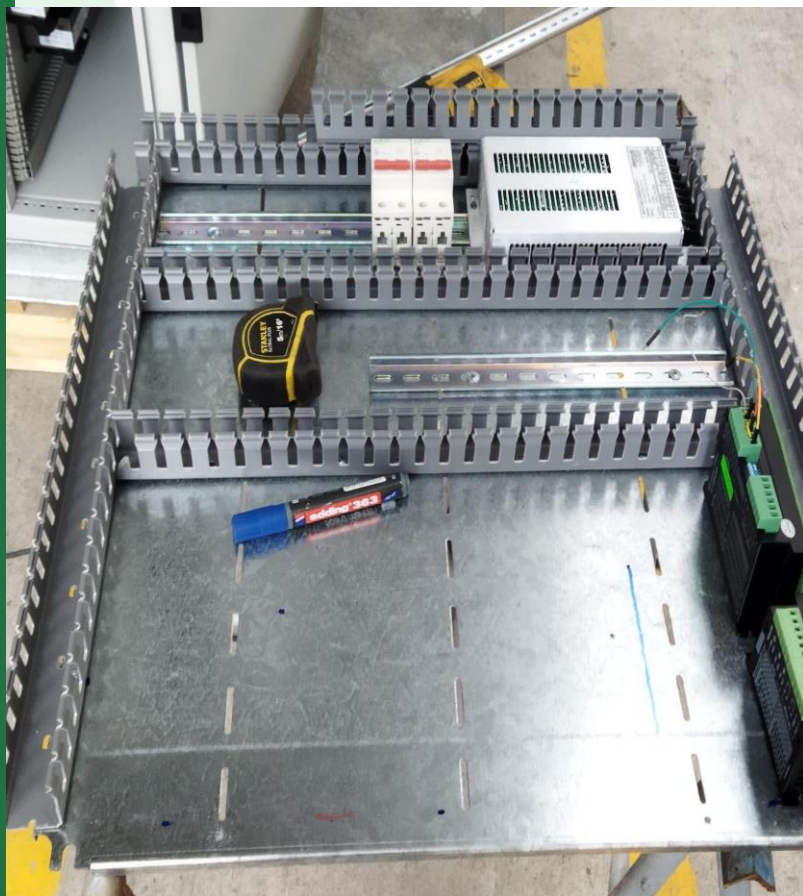
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



## Conexiones del tablero eléctrico



# Construcción

## Estructura y montaje de tablero eléctrico

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Montaje de los sistemas en el bastidor, y el tablero eléctrico





# Pruebas

## Parámetros de funcionamiento

El sistema dosificador requiere la calibración de tiempo entre arranque y parada, para generar un movimiento angular de  $90^\circ$  que dio como resultado de 520 ms.



A través de varios ensayos, se determinó que se requiere un tiempo de sellado de 1,5 s para observar una costura de sellado completo



Frecuencia [Hz]	Pulsos	Aceleración [ms]	Producción
1500	8000	1500	6 bolsas/min

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Análisis de resultados

## Análisis Cualitativo

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Producto Final



Costura Vertical



Costuras Horizontales





# Análisis de resultados

## Diseño experimental: Estudio de robustez de las costuras producidas

El ensayo sigue el estándar ASTM F88 que establece el procedimiento para medir la fuerza del sellado en materiales flexibles de protección. Se entiende por fuerza de sellado al valor registrado de fuerza cuando se produce una falla en la costura de la probeta, ya sea por pelado o por corte. Se usó un diseño experimental Taguchi L8 con cinco repeticiones por combinación

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

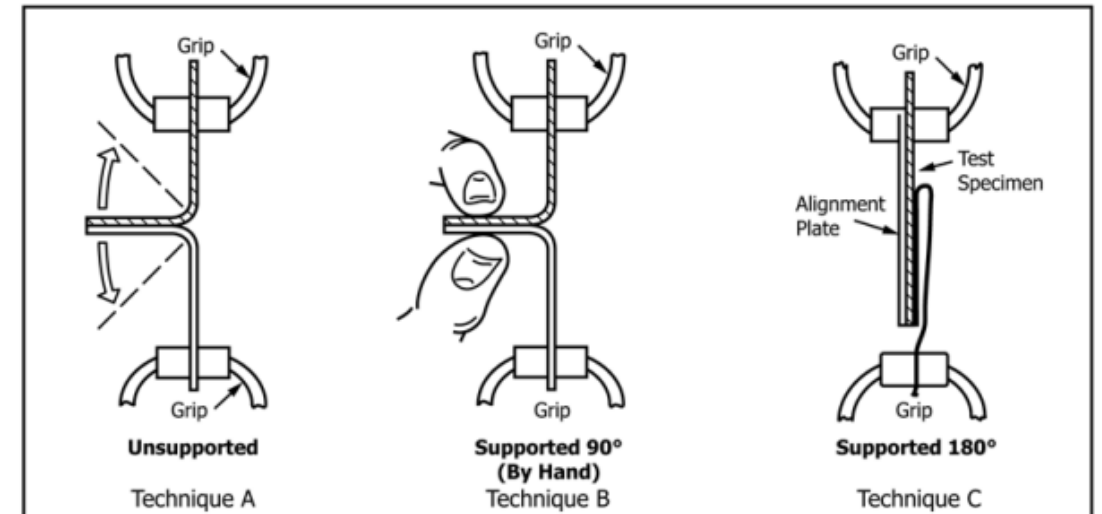
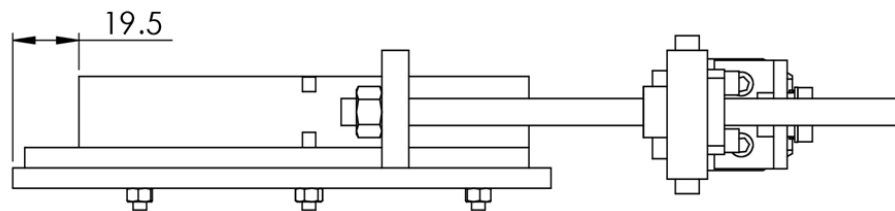
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Factor	Unidad	Nivel	
		1	2
A: Desviación del valor nominal de montaje del cilindro horizontal	[mm]	0	2
B: Presión del sistema neumático	[bar]	4	6
C: Tiempo de sellado	[s]	1.5	2.5





# Análisis de resultados

## Diseño experimental: Estudio de robustez de las costuras producidas

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

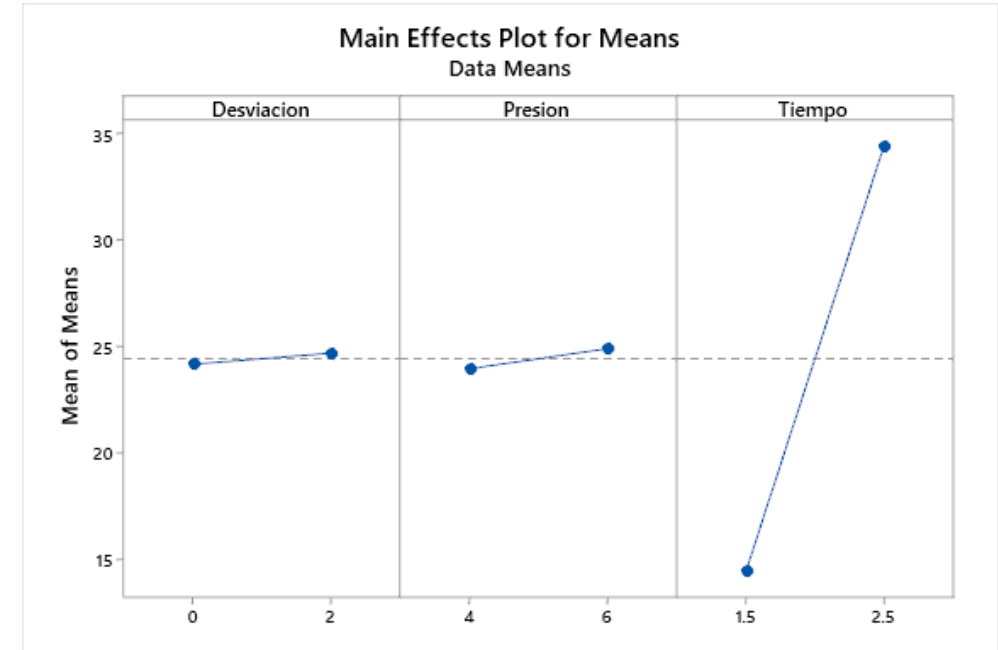
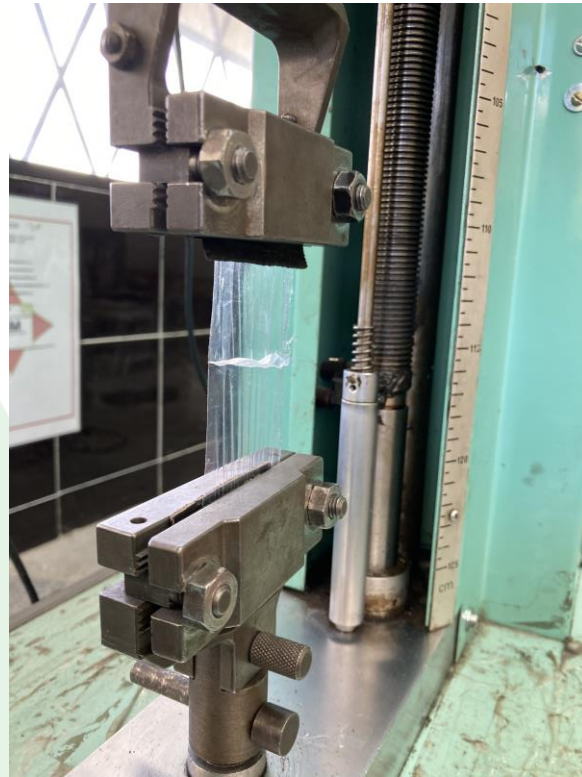
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Desviacion	1	0.549	0.549	0.549	0.05	0.839
Presion	1	1.800	1.800	1.800	0.15	0.714
Tiempo	1	800.700	800.700	800.700	68.78	0.001
Residual Error	4	46.566	46.566	11.642		
Total	7	849.615				

### Prediction

S/N Ratio	Mean	StDev	Ln(StDev)
30.7890	34.65	4.37733	1.08991

Desde el punto de vista de HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos) se requiere un valor mínimo de resistencia de sellado de 23 N/15 mm (23 N registrados para una probeta de 15 mm de ancho). Se estima que para los parámetros A1B2C2 se obtendrá una fuerza media de sellado de 34.65 N.



# Análisis de resultados

## Capacidad del proceso

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

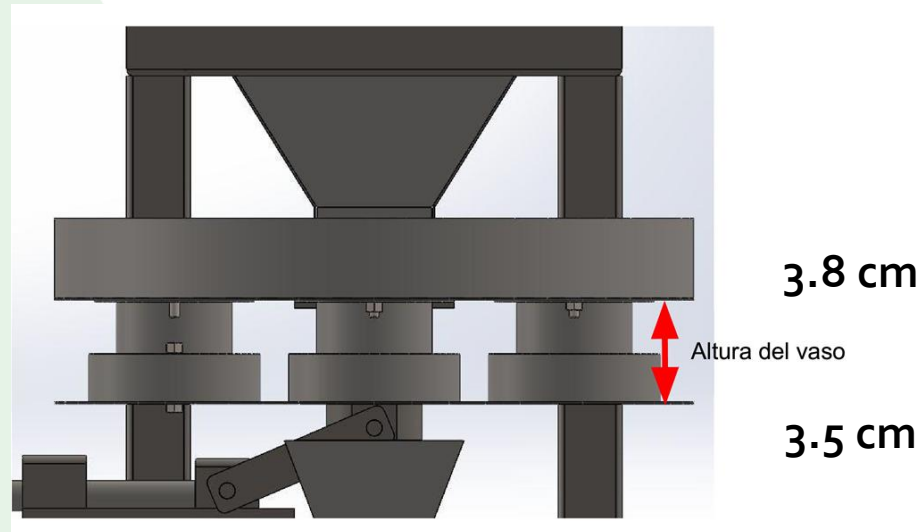
Recomendaciones

Trabajos futuros

El producto empacado debe cumplir con las especificaciones de calidad. Esto se puede conocer a través del análisis de la capacidad de proceso que consiste en analizar la variación natural del proceso mediante un parámetro de calidad.

Para realizar el análisis se registró el peso de 100 bolsas llenadas con maní crocante con dos distintos ajustes de volumen.

Se establece como peso nominal al valor de 85 y 100 g según el promedio de bolsas producidas con los dos volúmenes antes descritos, que deberán estar bajo unos límites de tolerancia de  $\pm 6$  g, esto tomado de las tolerancias encontradas empaques comerciales.





# Análisis de resultados

## Capacidad del proceso

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

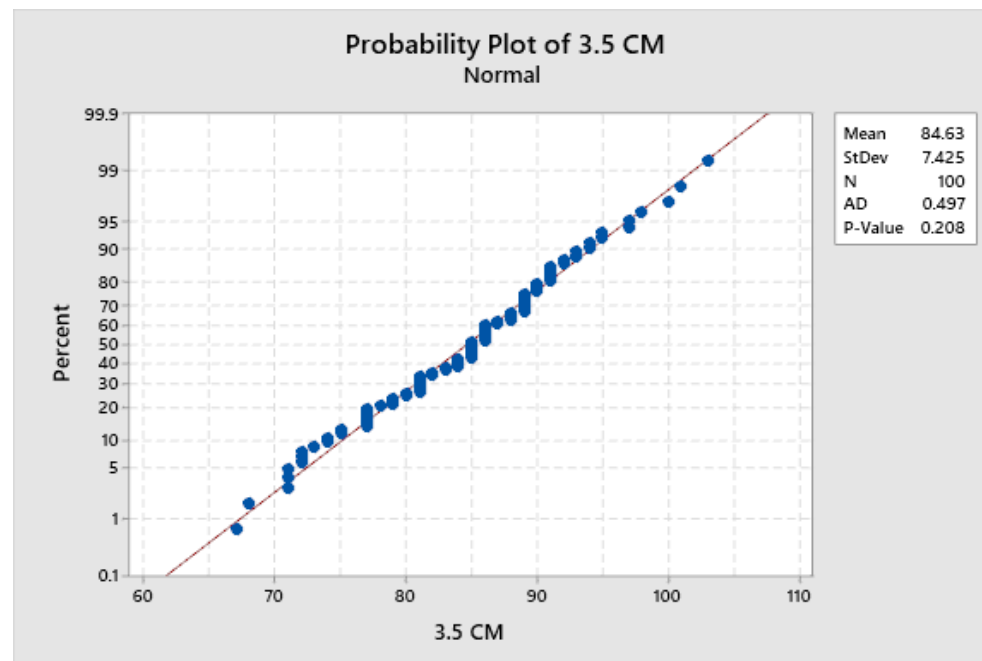
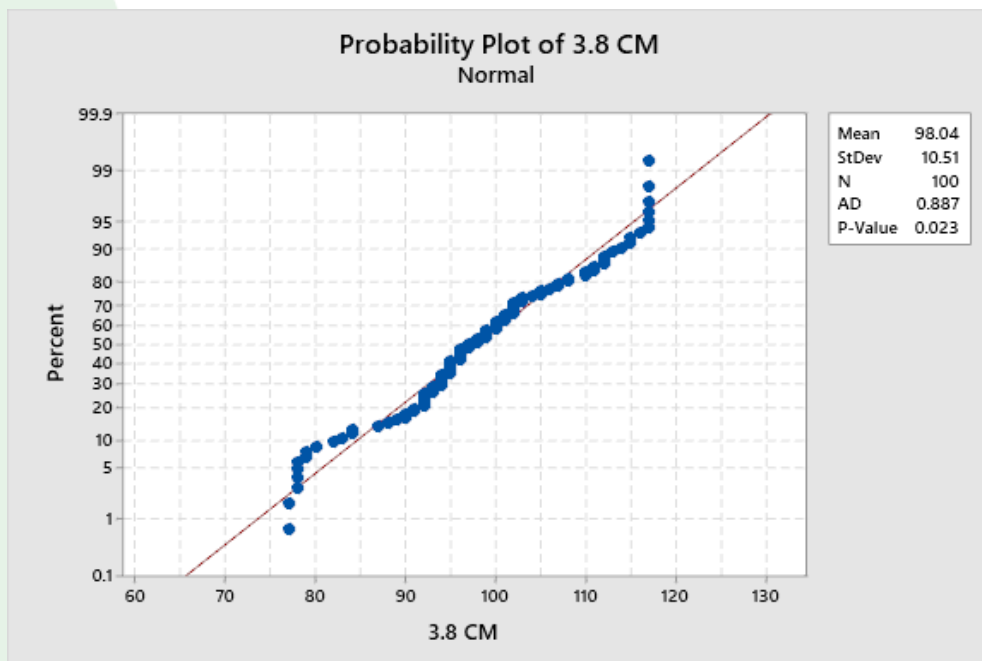
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Análisis de resultados

## Capacidad del proceso

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

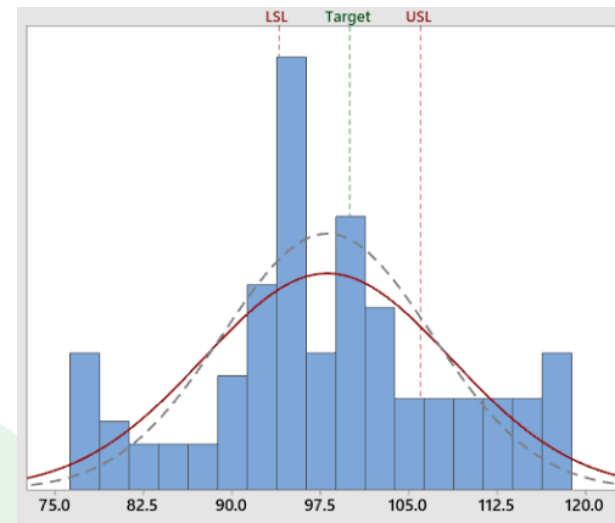
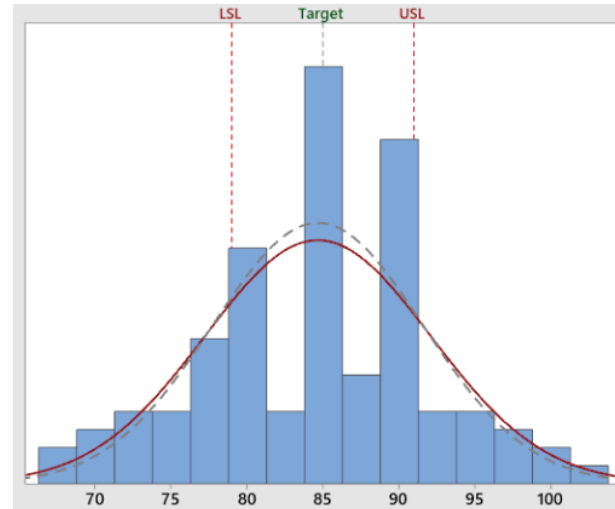
Recomendaciones

Trabajos futuros

El análisis cuantitativo de los índices de capacidad de proceso a largo plazo arroja valores de 0.27 y 0.19 para la altura de vaso de 3.5 y 3.8 cm respectivamente.

Los datos recogidos presentan una desviación estándar hasta de 10 g para el caso más agresivo.

Según los análisis dentro del marco de Lean Six Sigma, se requiere un valor de 0.99 para considerarse un proceso aceptable o parcialmente adecuado.



### Process Characterization

Total N	100
Mean	84.63
Mean off target	No
P-value	0.619
Standard deviation	7.4246
Capability statistics	
Pp	0.27
Ppk	0.25
Z.Bench	0.20
% Out of spec (observed)	35.00
% Out of spec (expected)	41.96
PPM (DPMO) (observed)	350000
PPM (DPMO) (expected)	419595

### Process Characterization

Total N	100
Mean	98.04
Mean off target	No
P-value	0.065
Standard deviation	10.505
Capability statistics	
Pp	0.19
Ppk	0.13
Z.Bench	-0.19
% Out of spec (observed)	51.00
% Out of spec (expected)	57.46
PPM (DPMO) (observed)	510000
PPM (DPMO) (expected)	574591



# Análisis de resultados

## Análisis de Confiabilidad

Confiabilidad al buen desempeño de productos durante un periodo de tiempo suficientemente largo sin que se produzca una falla. Para el análisis, durante la producción de 116 bolsas de 50 g se contó el número de paquetes producidos al momento de producirse una falla.

### Tasa de falla constante

Fallas encontradas durante la producción continua de bolsas:

- Desalineación del filme de plástico a través del rollo
- Temperatura residual en la niquelina

$$h(t) = \lambda = \frac{\text{Fallas}}{\text{Número de bolsas producidas}} = \frac{13}{116}$$

$$h(t) = \lambda = 0.1121$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0.1121t}$$

Para la tasa de producción obtenida de seis bolsas por minuto se obtiene una confiabilidad de 51% y una probabilidad de riesgo del 49%.

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Análisis de resultados

## Análisis de Confiabilidad

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

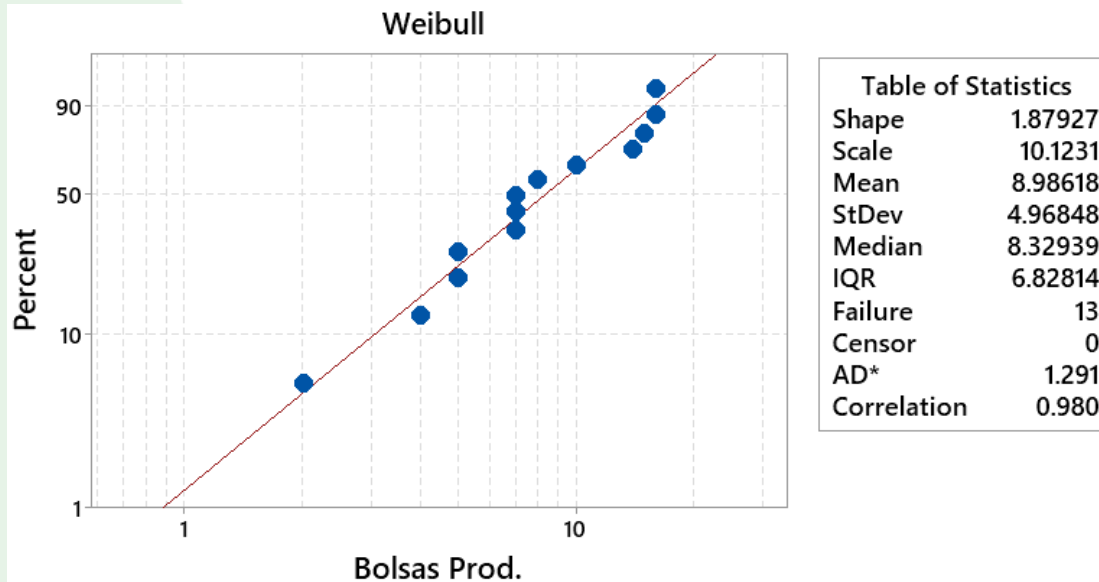
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

### Weibull

La distribución de frecuencias de Weibull permite ajustarse a una distribución no simétrica que describe la vida de un componente cuyos valores son positivos.



$$R(t) = e^{-(t/\theta)^m} = e^{-(t/10.123)^{1.879}}$$

Se puede estimar que, para la tasa de producción nominal de seis bolsas por minuto, la probabilidad de supervivencia es de 68.7%.



# Video Funcional

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- Se diseñó y se construyó un prototipo de máquina envasadora automática vertical de granos secos, siguiendo la clasificación de maquinaria VFFS (vertical form fill sealing machine), con una producción de seis bolsas por minuto, con un rango de dosificación de 200 a 400 cm<sup>3</sup>, y una longitud efectiva máxima de 100 mm.
- Se diseñaron y se construyeron las piezas mecánicas que integran los diferentes sistemas de la máquina, siendo desmontables los sistemas de: dosificación, sellado y formación, de modo que se pueda adaptar a otros tipos de envasado, e incluir mejoras futuras.



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- Se diseñó y se construyó un sistema dosificador volumétrico, cuyo volumen puede ser regulado mediante la variación de altura en 3 cm, gracias a un mecanismo de biela acoplado a un tornillo de avance para transformar el movimiento por medio de un volante, el cual facilita la operación del mecanismo.
- Se diseñaron y se construyeron los sistemas de sellado horizontal y vertical, de modo que se pueda regular la distancia de montaje de las mordazas, con el objetivo de poder alcanzar un ajuste óptimo en la fuerza de sellado.



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- El seguimiento del comportamiento (tracking behavior) de la red de plástico se ve directamente influenciado por el rendimiento del cuello formador cuadrado. La maquinaria comercial y más costosa tiene un mejor tracking behavior lo que permite la producción continua sin la intervención un operador debido al uso de un cuello formador redondo y un sistema de desbobinado sincronizado por un actuador lo que permite una mayor confiabilidad. Se concluye por lo tanto que la máquina diseñada requiere supervisión de un operador para evitar comportamientos indebidos y pueda observarse el correcto arrastre y formado de funda, aspectos donde se produce las fallas comúnmente.



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- La capacidad de arrastre de la máquina es variable dependiente de la tensión de la red de filme. De las pruebas realizadas, se concluye que un diseño de cuello cuadrado incrementa la tensión a la salida del cuello formador, por lo que un sistema de arrastre por fricción puede sufrir de deslizamiento. El deslizamiento influye directamente en la confiabilidad del sistema, ya que puede producir una falla al no arrastrar la cantidad correcta de plástico.
- Se elaboró un diseño experimental tipo Taguchi L8 mixto de 3 factores de 2 niveles, donde los resultados indican que el tiempo de sellado es la variable que influye directamente dejando a la presión y posición de la mordaza sin efecto sobre el resultado de sellado en la costura.



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- El índice de capacidad de proceso de largo plazo obtenido es de 0.22, lo que indica que se requiere intervenir en la máquina antes de entrar a un proceso productivo para poder ajustarse a las tolerancias que se encuentran en el mercado. Se recomienda analizar la posible mejora en la variación del peso del empaque final al incluir un sistema de control de posición de lazo cerrado.
- Se realizó un análisis de confiabilidad mediante el cual se estimó un valor de 68.7% de confiabilidad para la producción de seis bolsas continuas mediante un modelo de distribución de Weibull. Esto nos indica que la máquina requiere mejoras antes de someterse a una producción continua que no requiera la intervención continua de un operario y guarda relación con lo dicho anteriormente, sin embargo, la máquina cumple su función de prototipo y de material didáctico para lo cual está destinada.



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Recomendaciones

Una vez concluida la tesis, se propone:

- Se recomienda realizar un estudio comparativo de la influencia de los parámetros compartidos entre ambos tipos del cuello formador para entender mejor las diferencias en el resultado final.
- Se observó que, durante un largo período de trabajo, el uso de un sistema de sellado por impulso puede provocar calentamiento excesivo en la mordaza, de modo que el filme de plástico se puede llegar a pegar a la superficie. Por lo tanto, es recomendable que para una producción continua se utilice el sistema de sellado por calor constante, debido a que este permite un mejor control de la temperatura





Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Recomendaciones

- Se recomienda estudiar la influencia del ancho del espesor del material del filme, ya que existe un límite máximo en la temperatura de fusión que no se debe sobrepasar para no sobrecalentar el material y obtener un envase de mala calidad.
- Se recomienda reevaluar el análisis de confiabilidad cuando se hayan tratado los aspectos expuestos sobre los puntos claves en el desempeño de la máquina.
- Se debe tomar en consideración los parámetros establecidos del compresor a utilizar para el funcionamiento neumático de la máquina, tales como: caudal, presión y potencia. Sin embargo, también es importante revisar la tipología instalada de la línea de aire, en este caso lo más recomendable es utilizar una del tipo anillo (circuito neumático cerrado), para evitar pérdidas de presión, y que esta se ajuste al valor nominal calculado.



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN