

«DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA  
ENFUNDADORA AUTOMÁTICA DE  
DOBLE CONDUCTO PARA LÍQUIDOS  
CON LÁMINA DE POLIPROPILENO  
PARA LA EMPRESA MECATEC DEL  
CANTÓN SALCEDO.»

Ingeniería Mecatrónica

ISRAEL FIERRO– DIEGO CURICHO

Latacunga, 2015

# AGENDA:

1. TEMA.
2. OBJETIVOS.
3. HIPÓTESIS.
4. INTRODUCCIÓN.
5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.
6. DISEÑO CONCEPTUAL.
7. DISEÑO MECÁNICO.
8. DISEÑO ELÉCTRICO.
9. IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA Y ELÉCTRICA.
10. PRUEBAS Y RESULTADOS.
11. ANÁLISIS ECONOMICO.
12. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.
13. CONCLUSIONES.
14. RECOMENDACIONES.

# Objetivos Planteados

- Diseñar y construir una enfundadora semiautomática de doble conducto para líquidos con lámina de polipropileno para la empresa MECATEC del cantón Salcedo.
- Investigar las características mecánicas, eléctricas, neumáticas y de control necesarias para implementarse en la máquina enfundadora.
- Diseñar y seleccionar las partes mecánicas, eléctricas y de control de la máquina enfundadora.
- Diseñar y seleccionar la interface HMI.
- Construir e implementar las partes mecánicas, eléctricas y de control de la maquina enfundadora.

# Hipótesis

- ¿El diseño y construcción del proyecto mejorara el tiempo y la productividad del sistema de enfundado del producto terminado?

# INTRODUCCIÓN



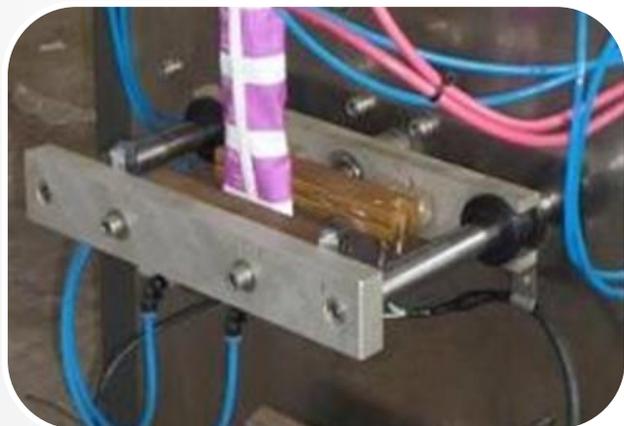
Formado



Sellado vertical



Arrastre



Sellado horizontal



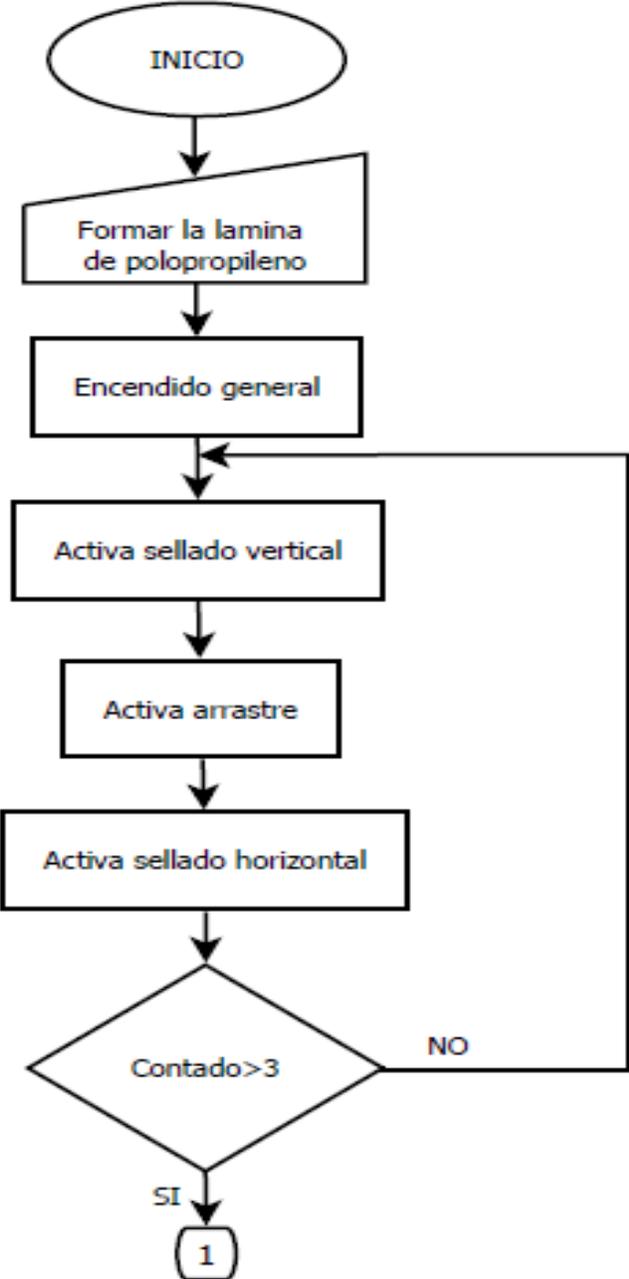
Dosificado



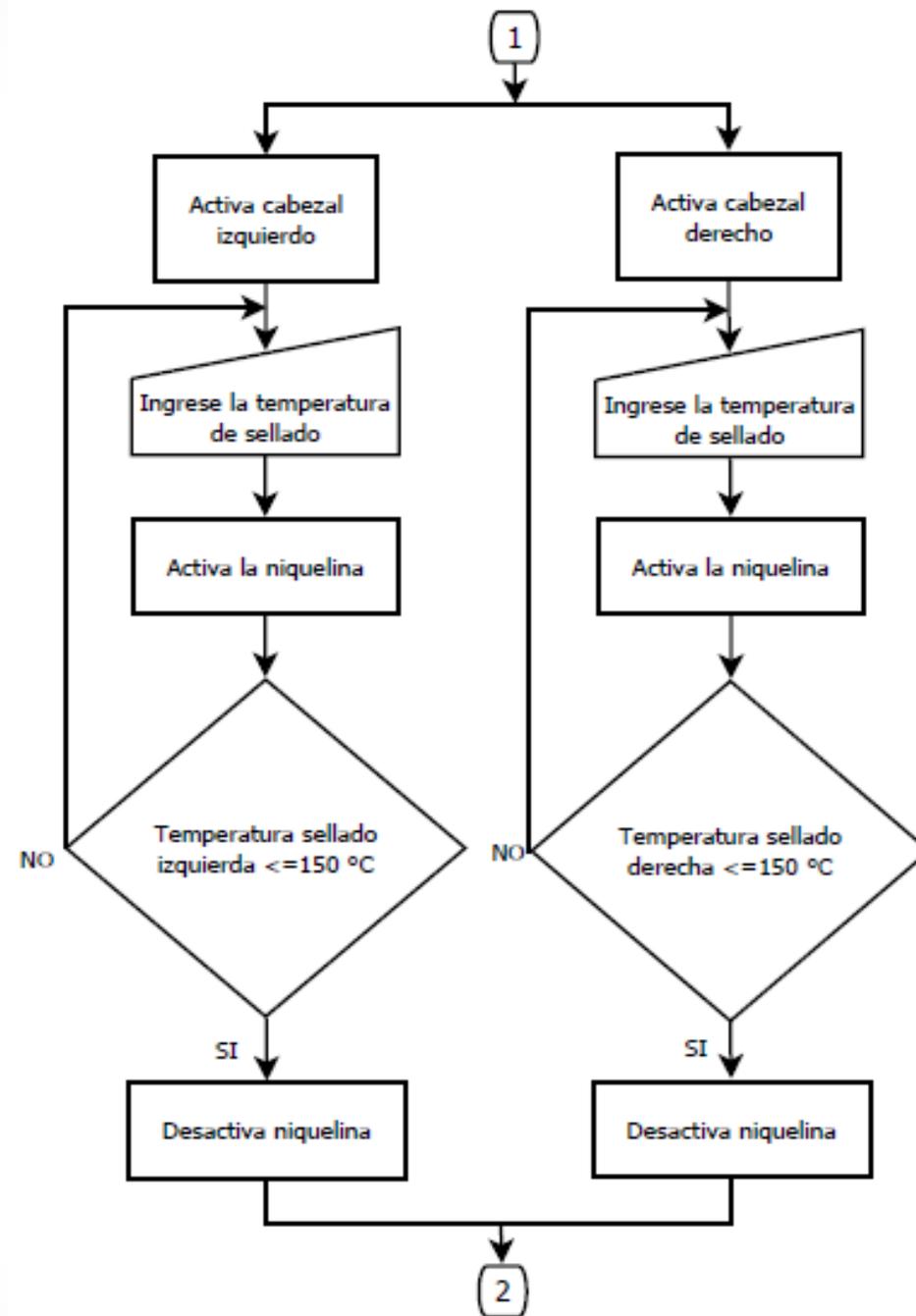
Corte

# DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

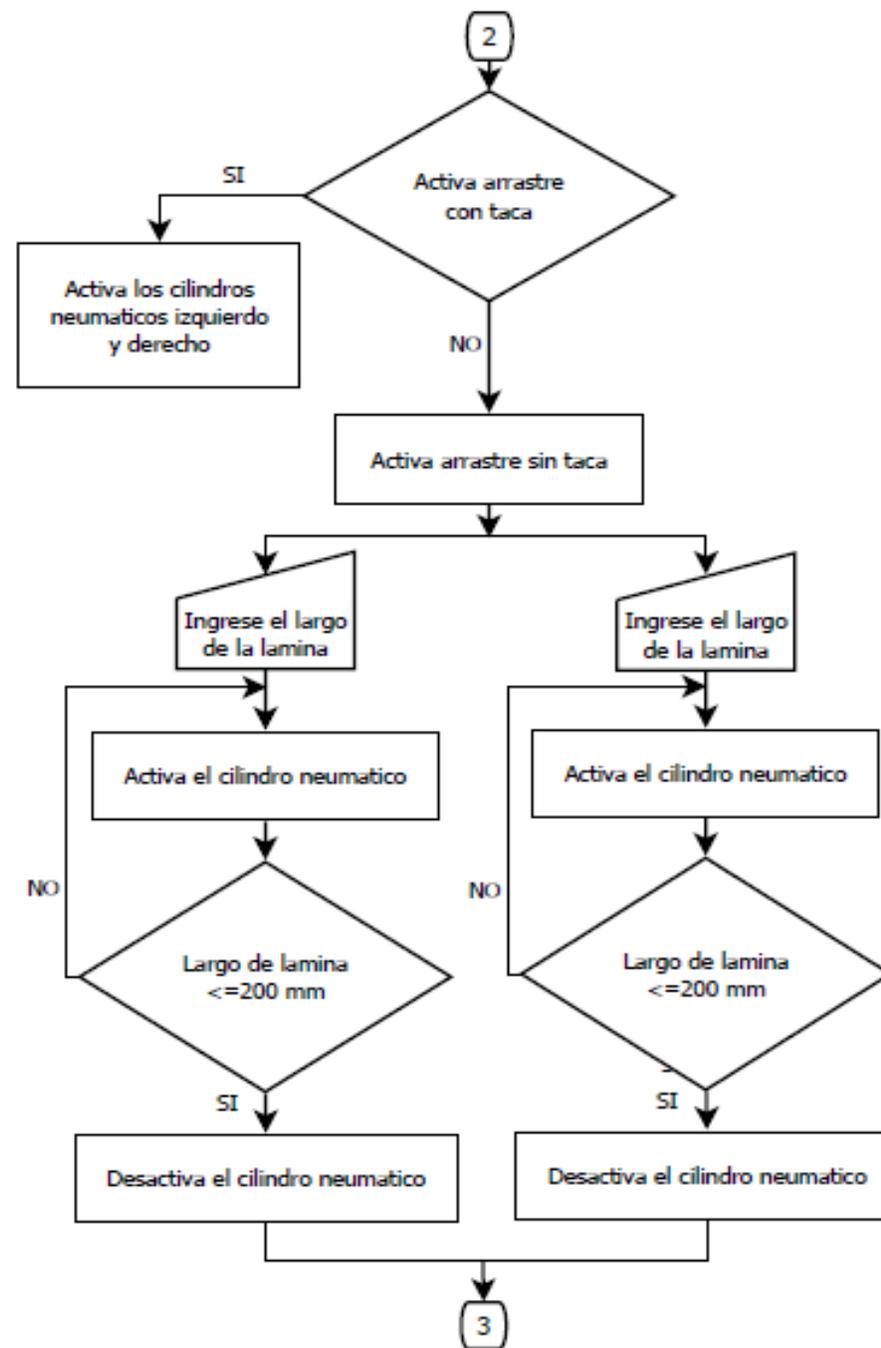
# INICIO



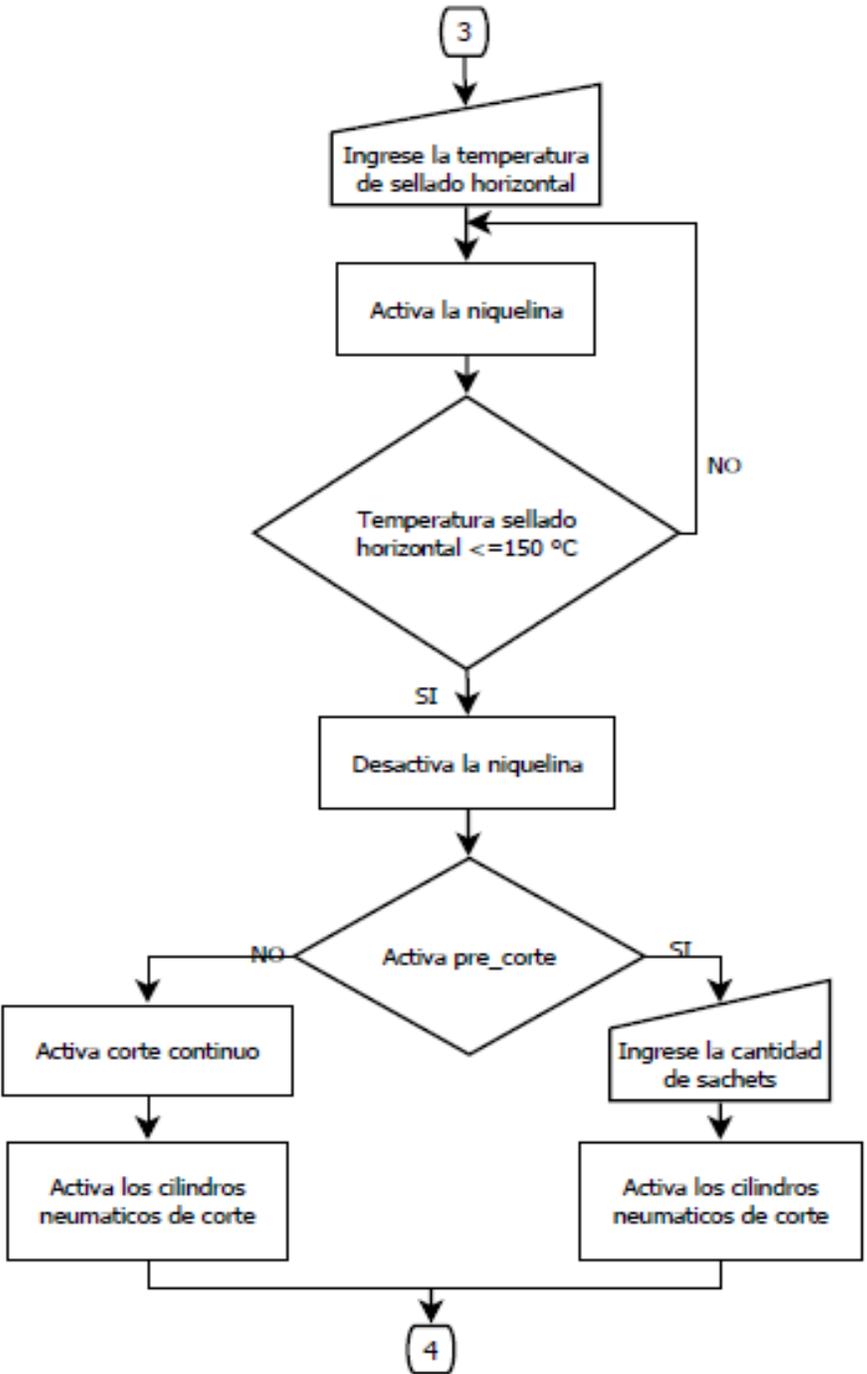
# SELLADO HORIZONTAL



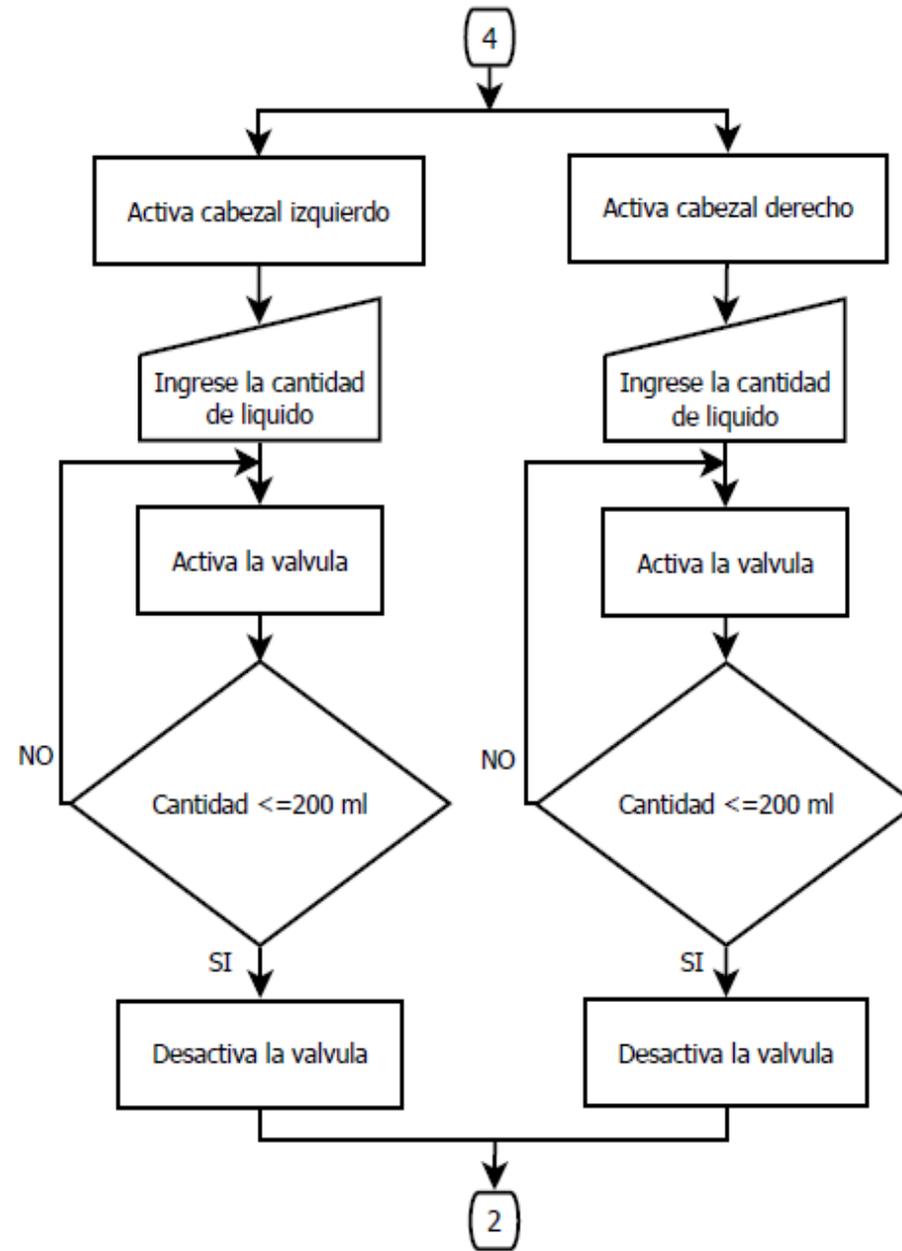
# ARRASTRE



# SELLADO HORIZONTAL PRE-CORTE Y CORTE CONTINUO



# DOSIFICADO



# DISEÑO CONCEPTUAL

## PARAMETROS DE DISEÑO

Factor de seguridad y peso de la enfundadora de doble conducto:	14      330.3Kg
Materiales comunes	AISI 304, AISI 1040, AISI 1018, AL 1060, Fundición gris, Nylon y Caucho
Presión neumática:	100psi (7 bar)
Fuente de alimentación:	220 VAC
Velocidad de giro nominal:	45 rpm
Numero de fundas por minuto:	35
Cantidad de liquido:	150-250ml
Largo de la lamina máxima:	200mm
Protección de la maquina:	IP 51
Accionamiento	Electromecánico neumático
Modo de operación	Automático y manual

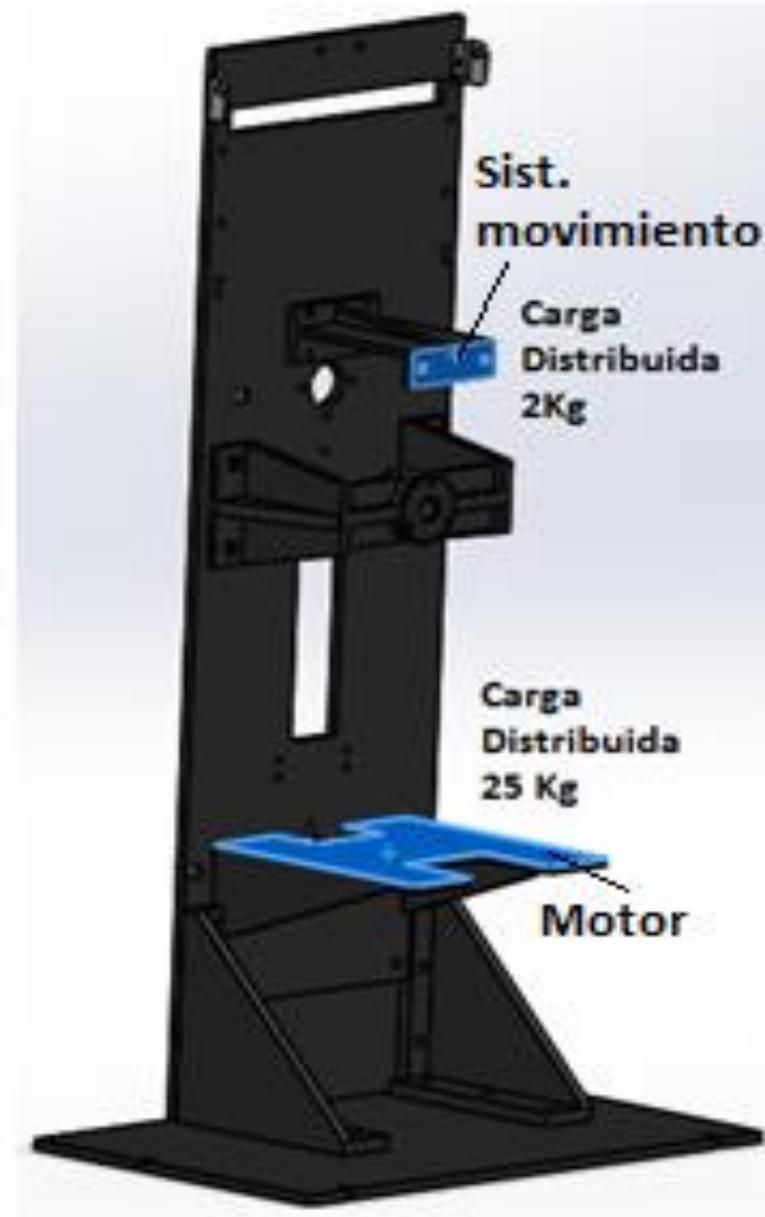
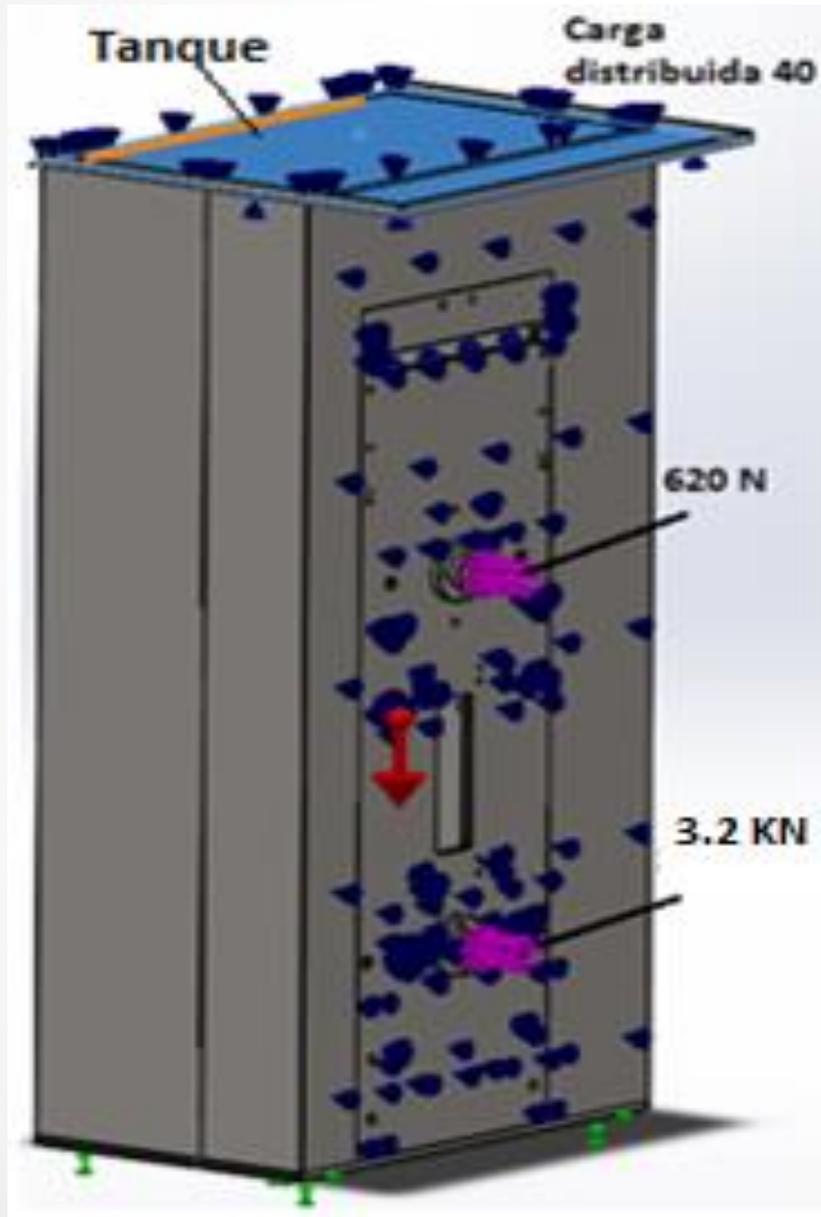
# Normas y reglamentos del Ecuador

- Tolerancias del contenido real de los paquetes indicadas en la norma NTE INEN 0482:80.
- Los elementos mecánicos que están en contacto con los alimentos deben acogerse al reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 131 “SEGURIDAD E HIGIENE DE MAQUINARIA PARA PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS” donde especifica el material de fabricación que debe cumplir lo contemplado en la norma UNE-EN 1672-2, donde exige el uso de materiales anticorrosivos como el aluminio, el acero inoxidable y diferentes polímeros.

# DISEÑO MECÁNICO

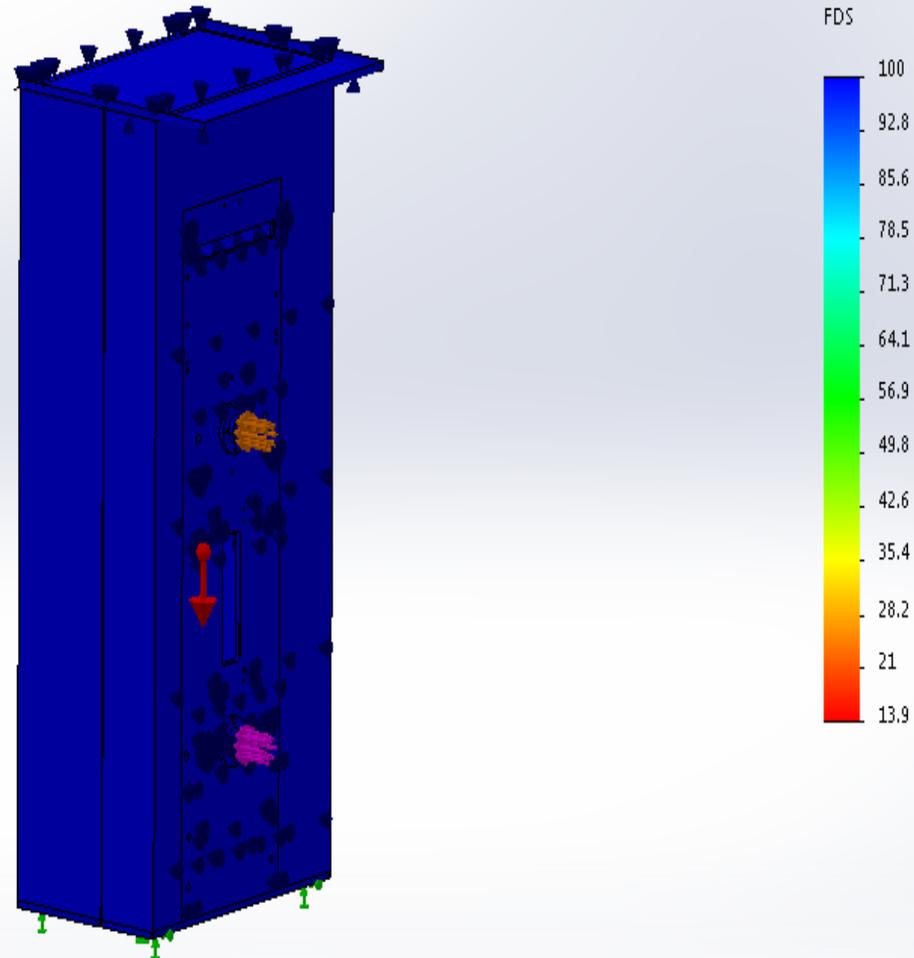
1. Chasis y Estructura.
2. Prensa de sellado vertical.
3. Prensa de sellado horizontal.
4. Mecanismo de arrastre
5. Desenrollador.
6. Dosificador.

# Análisis estático del chasis y la estructura

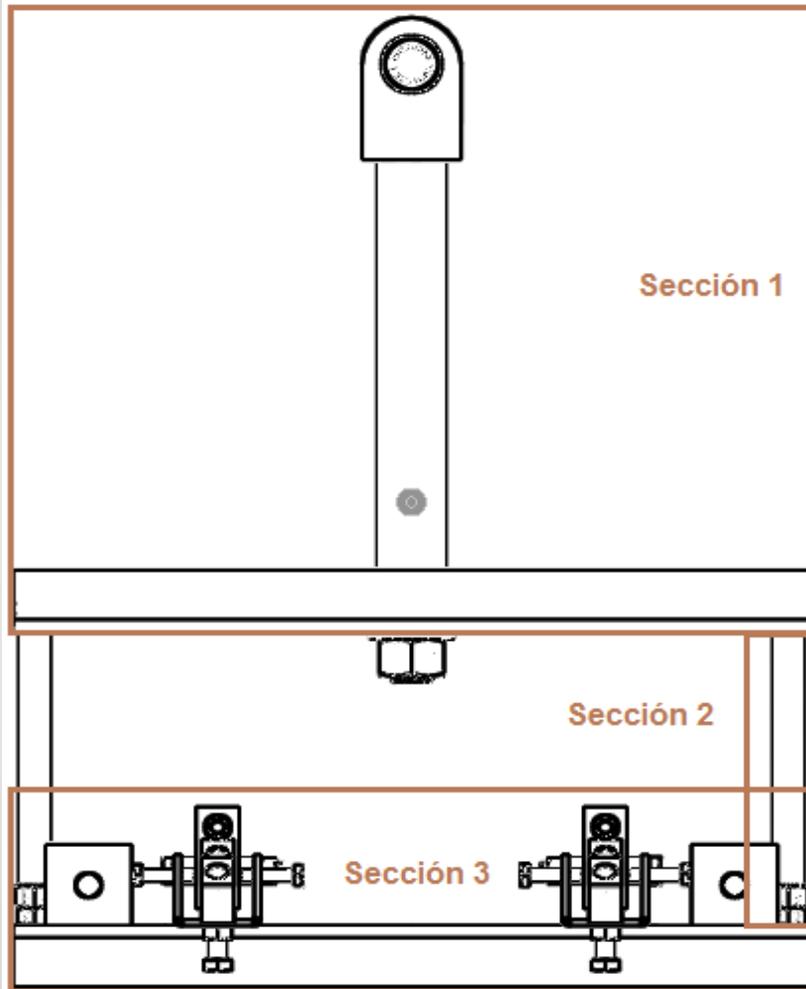


# Factor de seguridad del chasis

Nombre de modelo: Ensamble Armario  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 14



# Prensa de sellado vertical

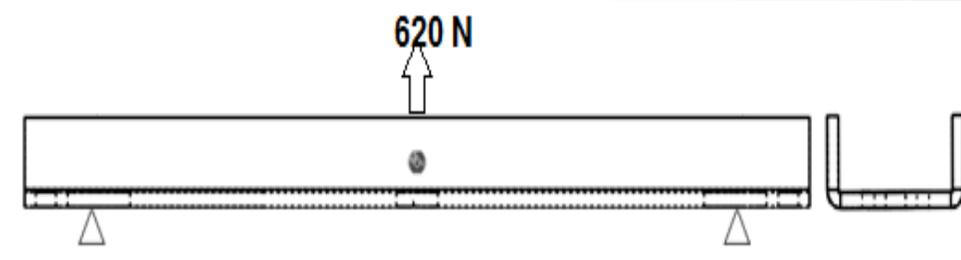
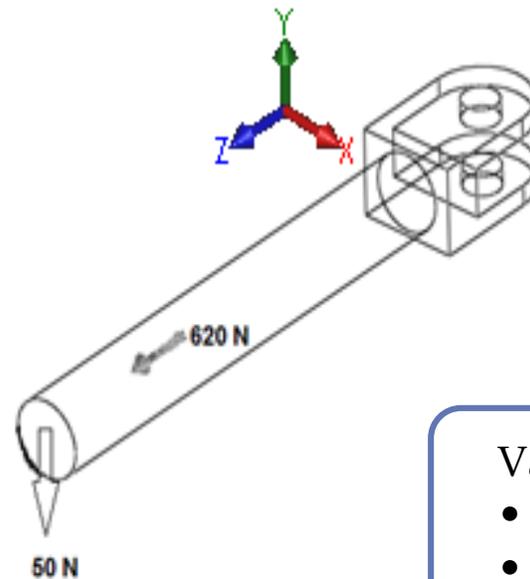


Vástago

- $N = 8$
- Combinados
- $\sigma_{max} = 34.5 \text{ Mpa}$

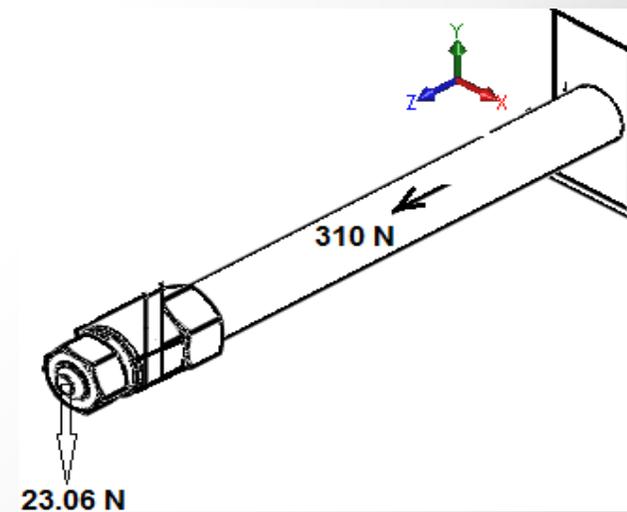
Placa de soporte

- $N = 8$
- Flexión
- $\sigma_{max} = 11.40 \text{ Mpa}$



Vástago

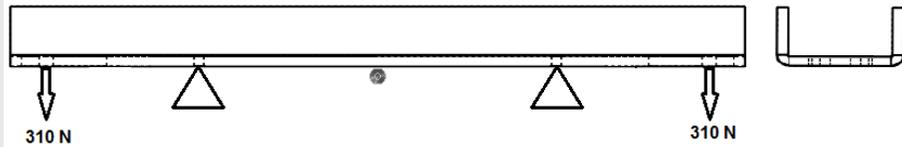
- $N = 8$
- Combinados
- $\sigma_{comb} = 11.85 \text{ Mpa}$



# Prensa de sellado vertical

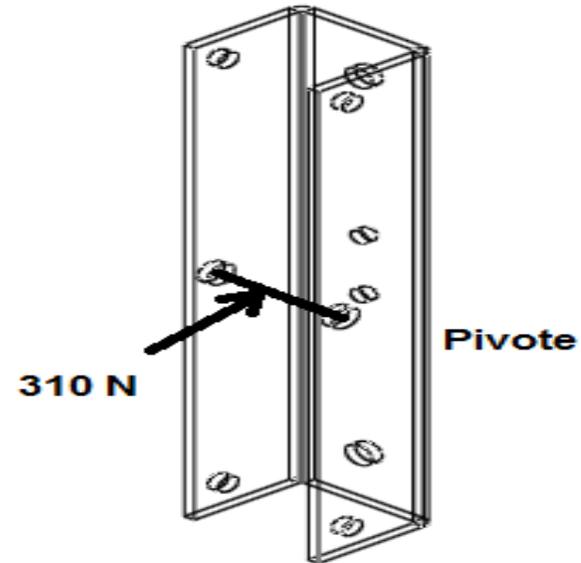
Placa soporte del  
enfriador

- $N = 8$
- Combinados
- $\sigma_{max} = 5.33 \text{ Mpa}$



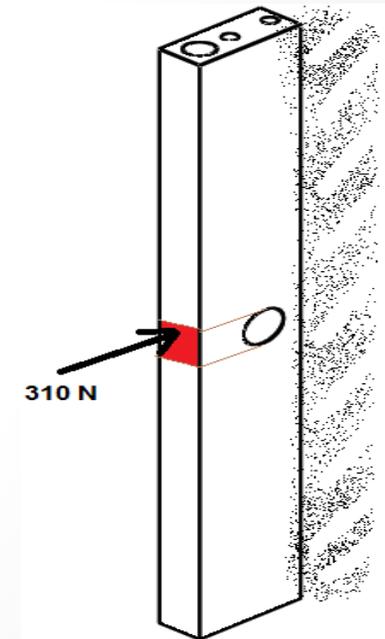
Soporte regulador  
del enfriador

- $N = 8$
- Cortante
- $\tau_{max} = 3.08 \text{ Mpa}$

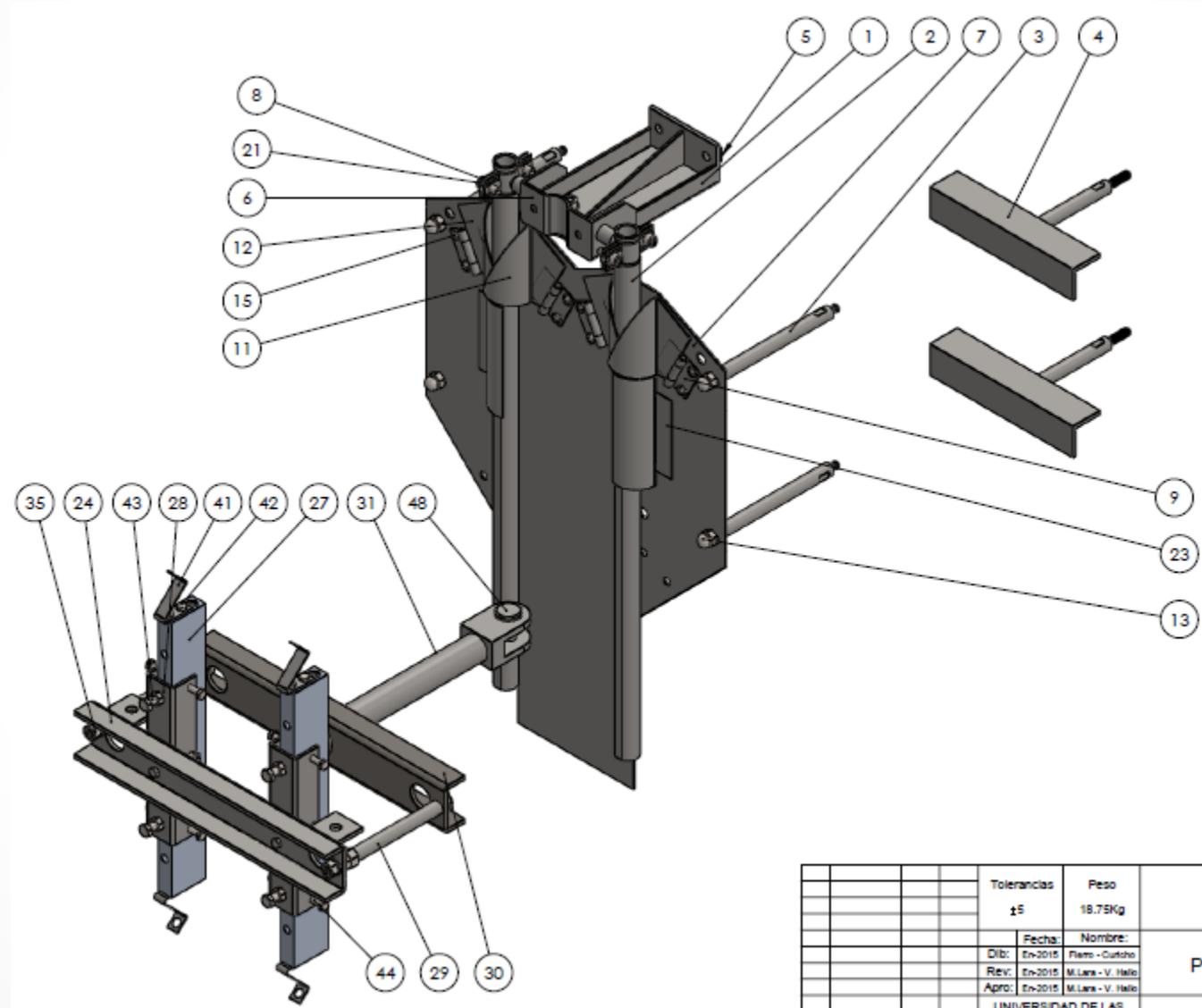


Enfriador

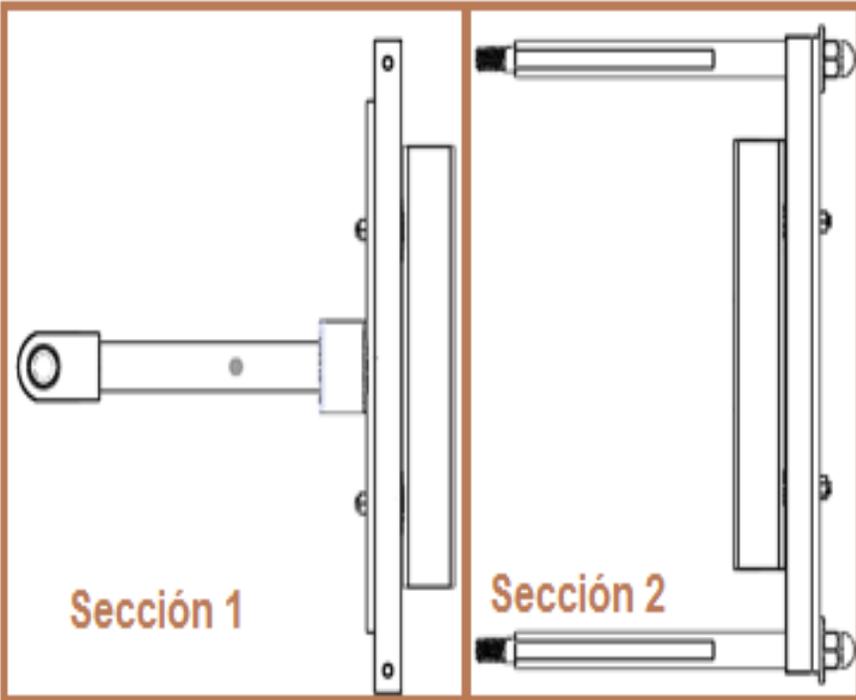
- $N = 8$
- Cortante
- $\tau_{max} = 1.55 \text{ Mpa}$



# Prensa de sellado vertical

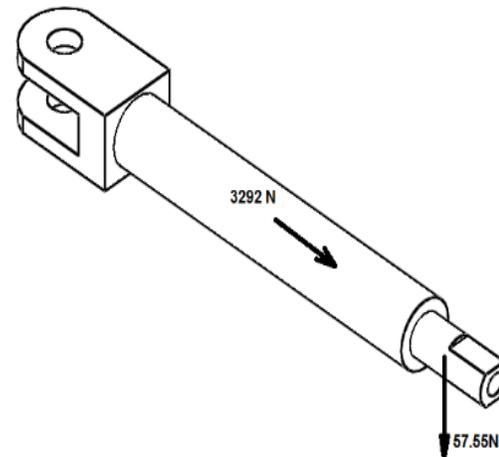


# Prensa de sellado horizontal



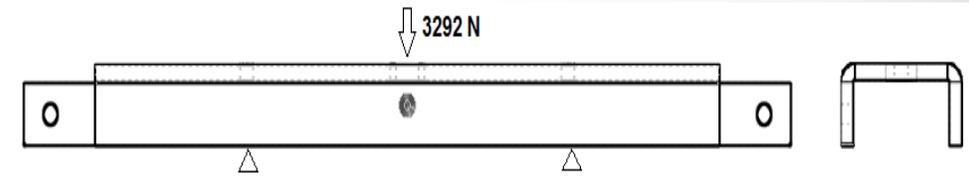
Vástago

- $N = 8$
- Combinados
- $\sigma_{comb} = 7.17 \text{ Mpa}$



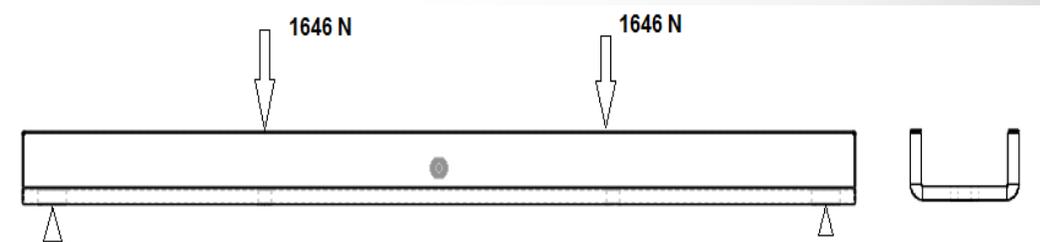
Placa de soporte de la prensa móvil

- $N = 2$
- Flexión
- $\sigma_{max} = 59.17 \text{ Mpa}$



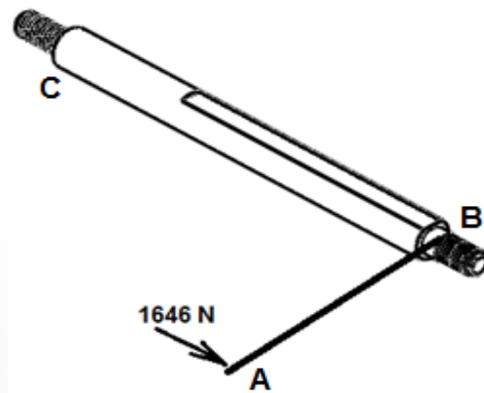
Soporte frontal

- $N = 2$
- Combinados
- $\sigma_{comb} = 34.38 \text{ Mpa}$

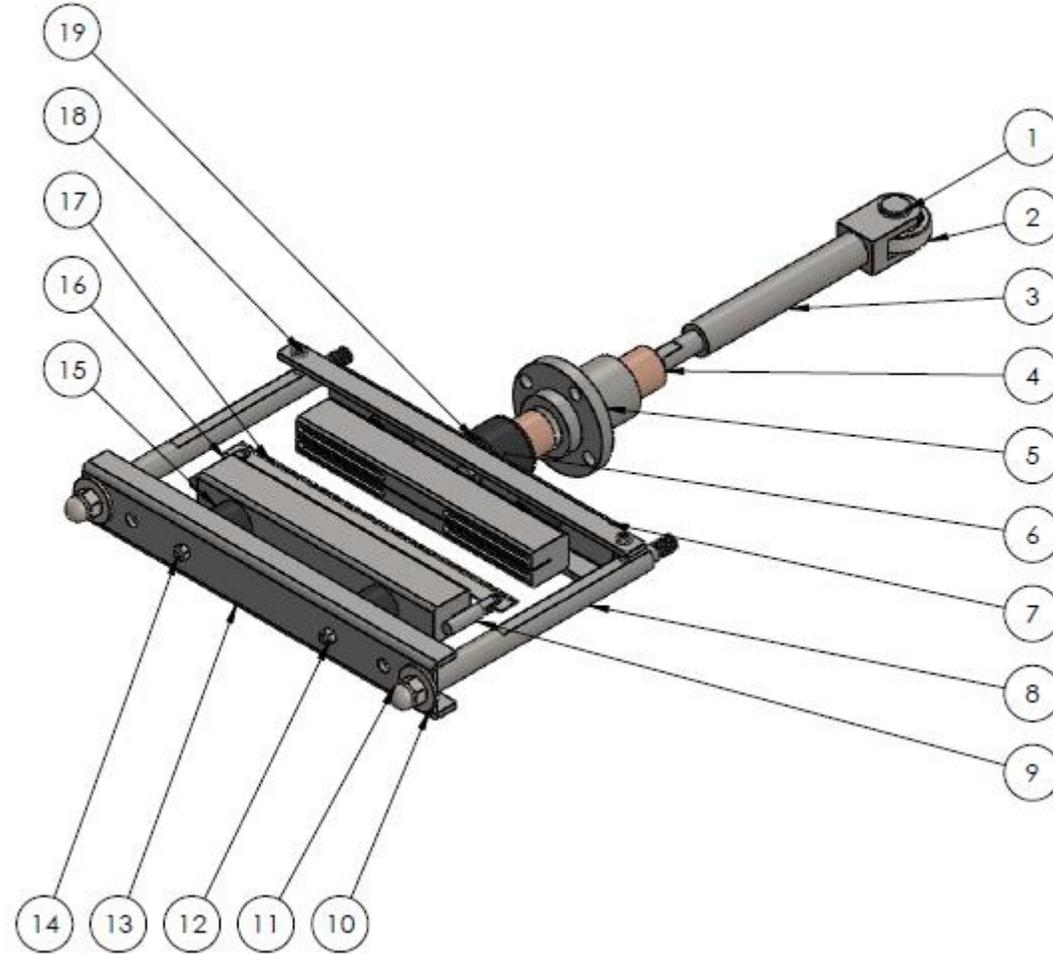


Separador de la base de la prensa horizontal

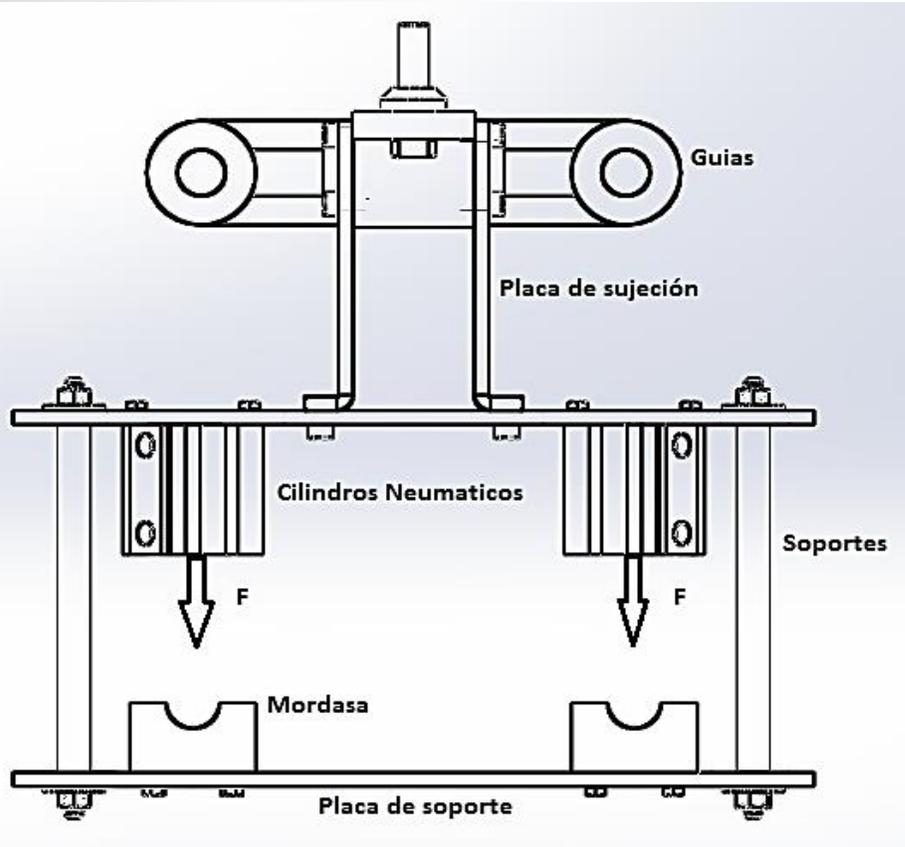
- $N = 2$
- Combinados
- $\sigma_{comb} = 137.04 \text{ Mpa}$



# Prensa de sellado horizontal



# Mecanismo de arrastre



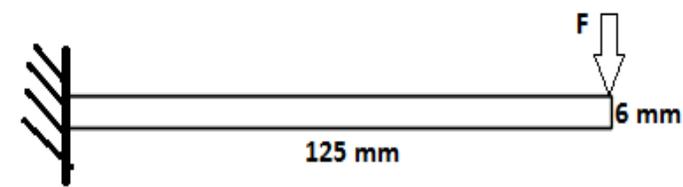
Placas de soporte  
( $P = 1453 \text{ N}$ )

- $N = 6$
- Flexión
- $\tau_{max} = 44.5 \text{ Mpa}$



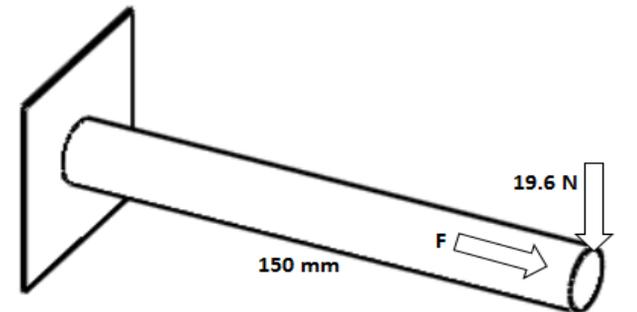
Placa de sujeción

- $N = 8$
- Flexión
- $\sigma_{max} = 8.76 \text{ Mpa}$

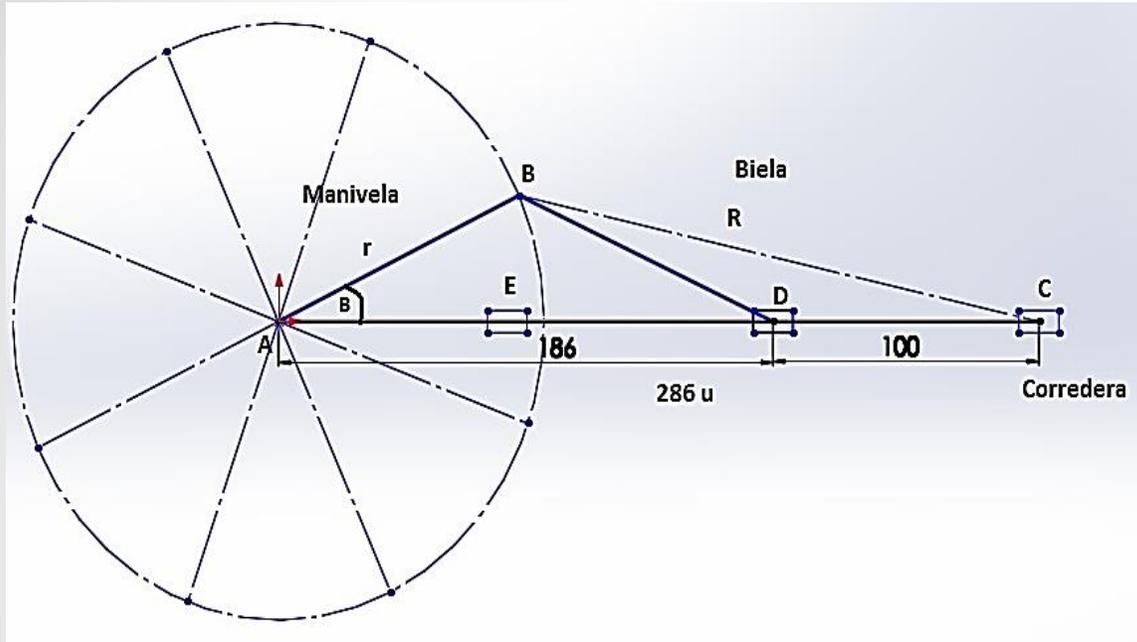


Separador principal

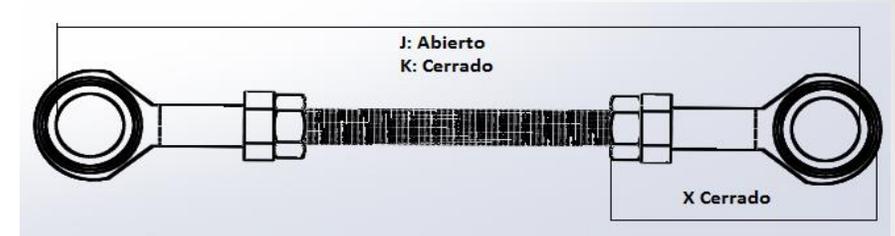
- $N = 8$
- Combinados
- $\tau_{max} = 24.57 \text{ Mpa}$



# Mecanismo de accionamiento de arrastre

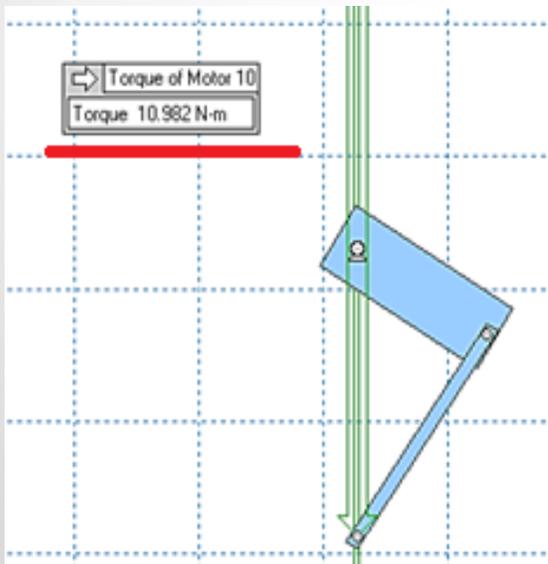


Biela  
226 Kg

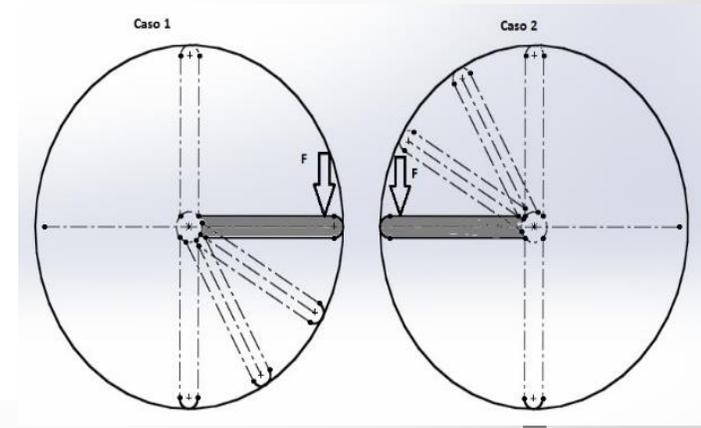


Placas de soporte ( $P = 1453$  N)

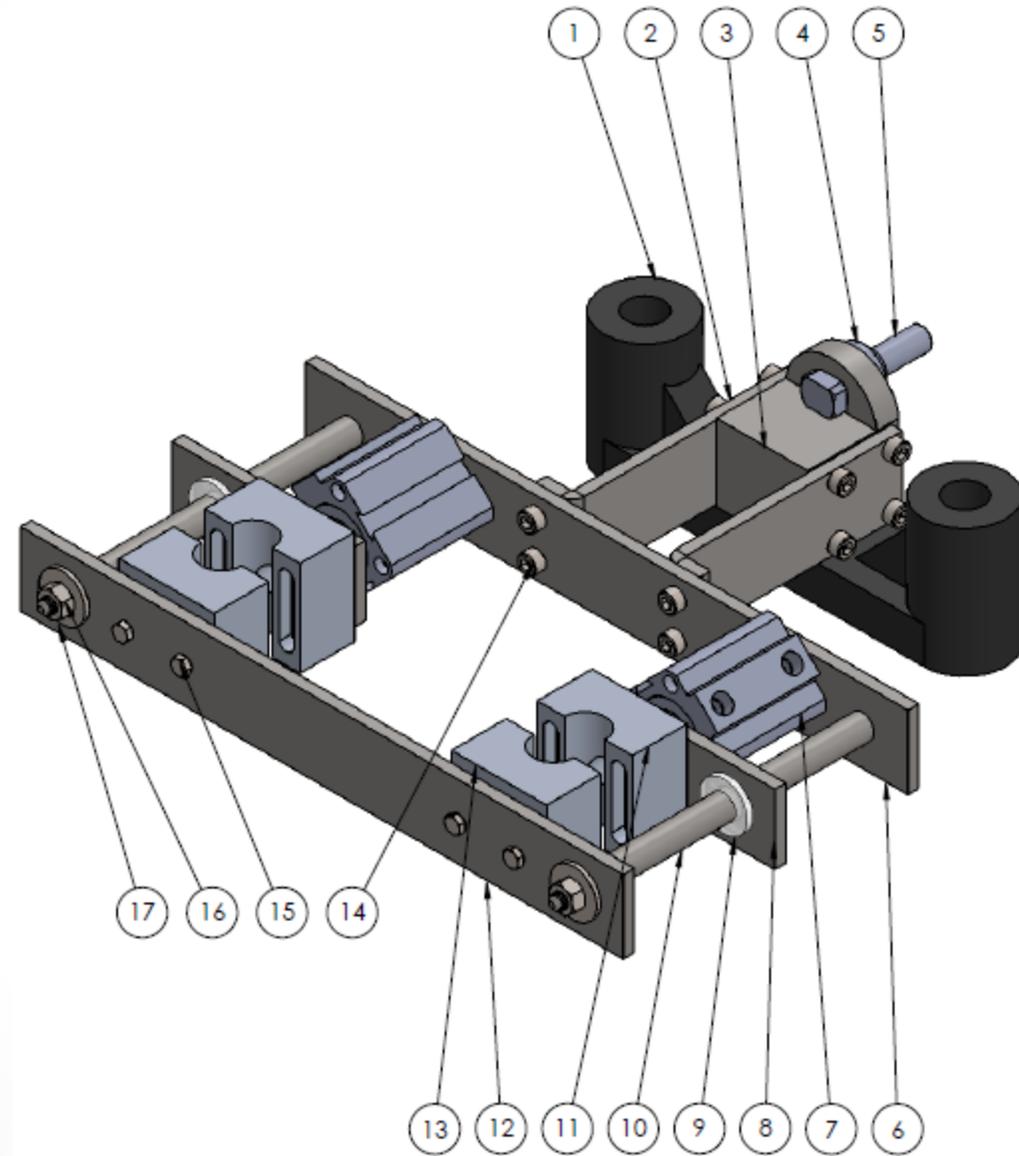
- $N = 8$
- Flexión
- $t = 10$  mm,  $h = 25$  mm
- $\sigma_{max} = 26.9$  Mpa



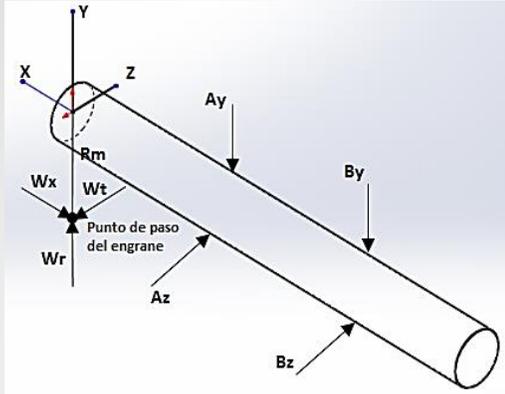
Torque  
10.9 N.m



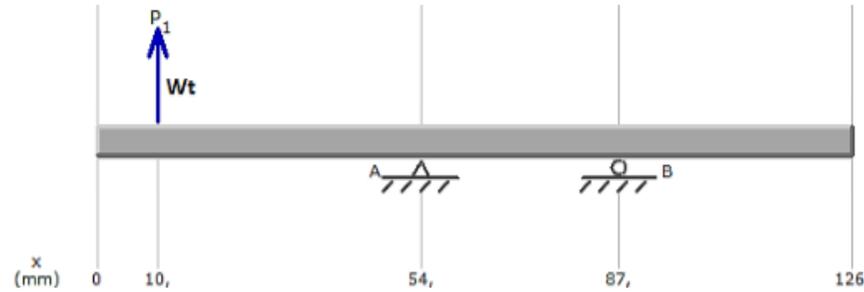
# Mecanismo de accionamiento de arrastre



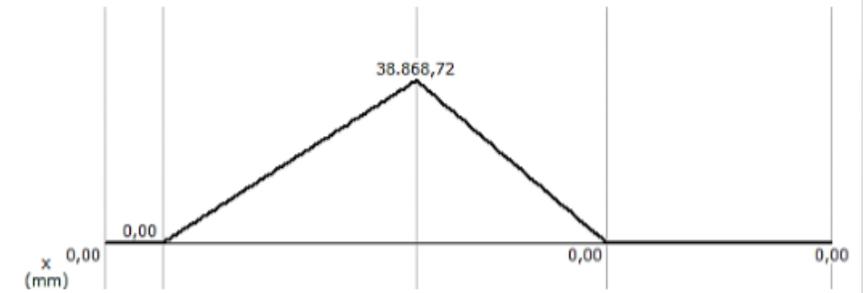
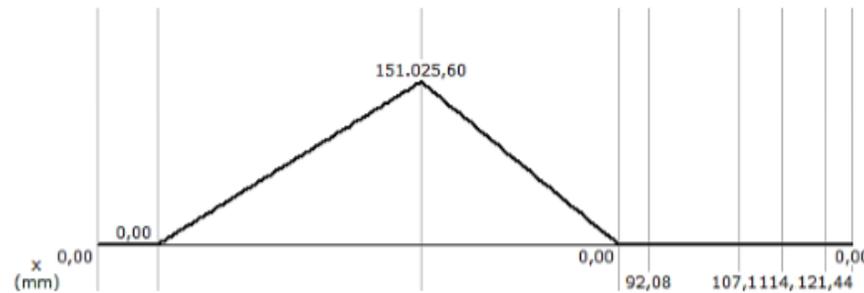
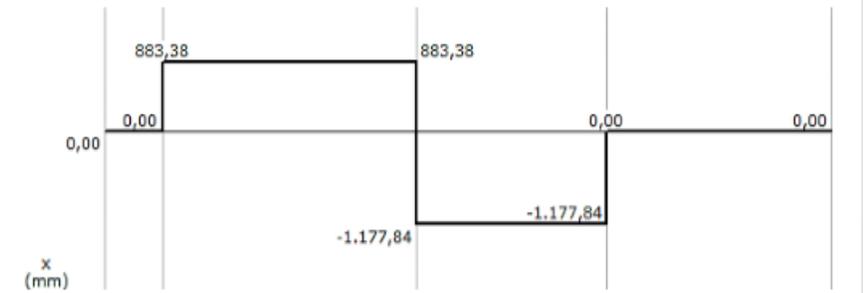
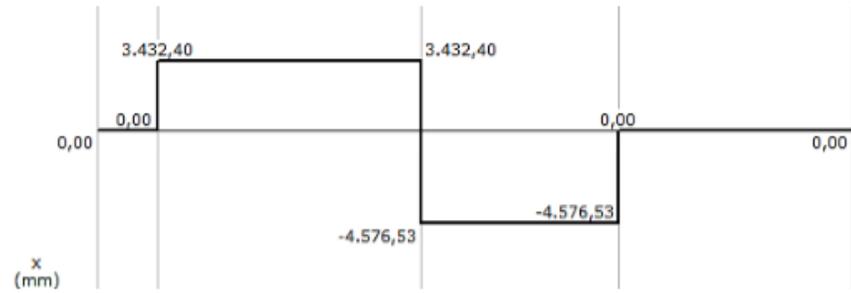
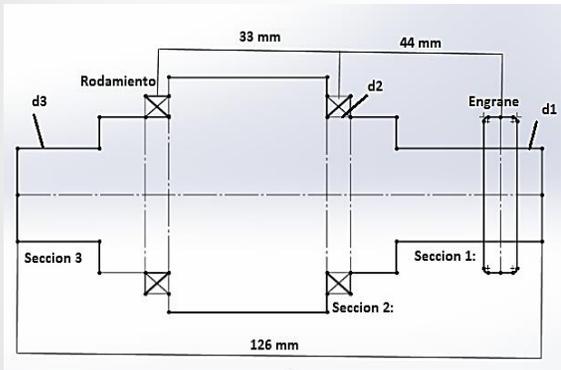
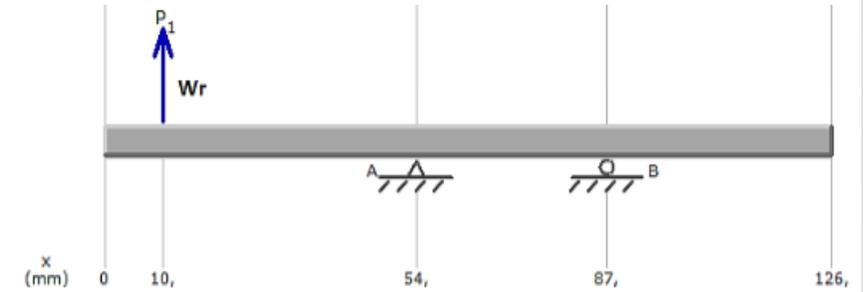
# Tren motriz



Plano XZ



Plano XY

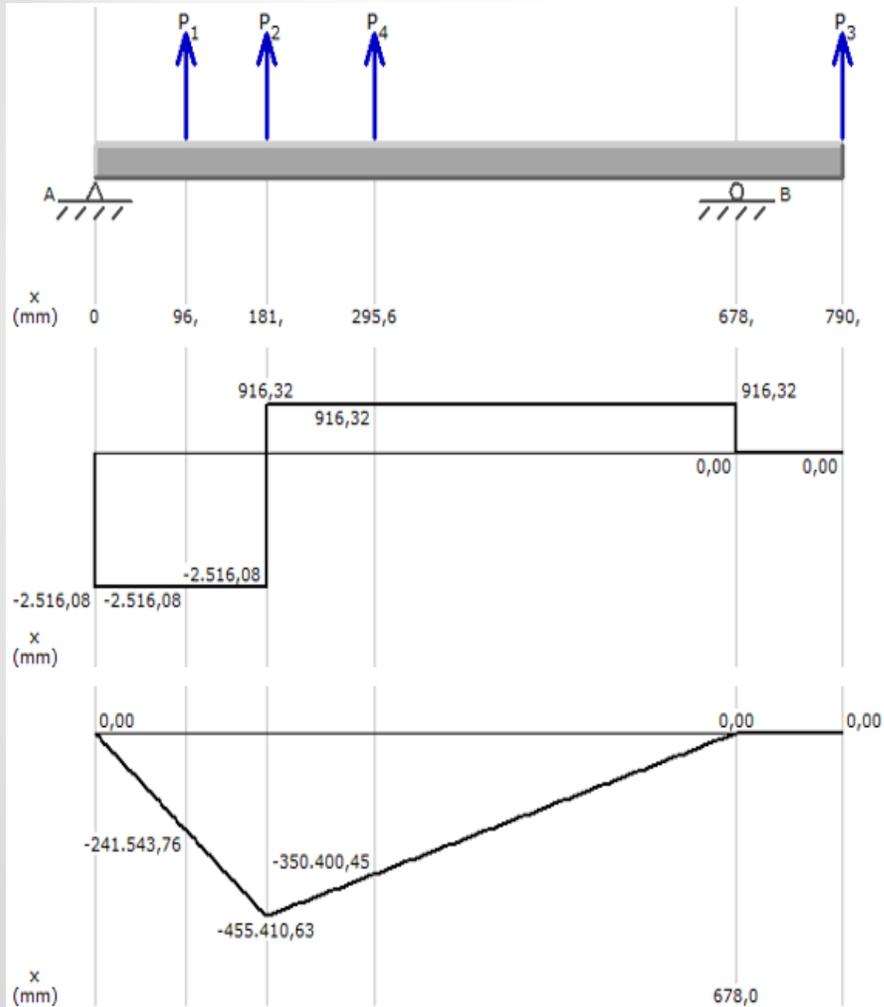


Eje impulsado

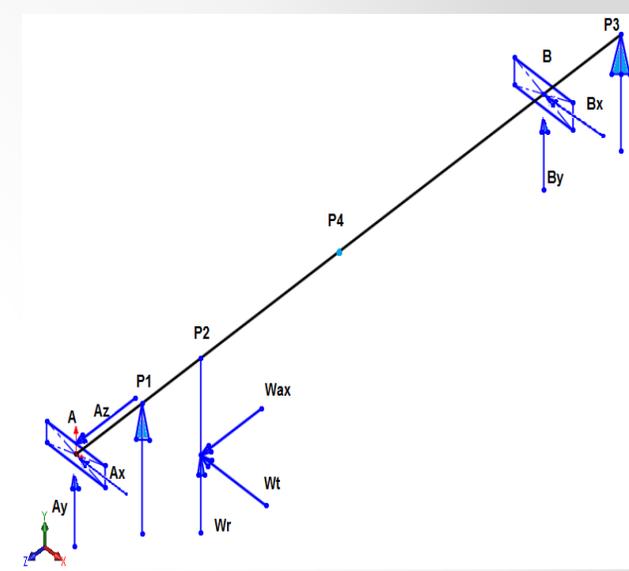
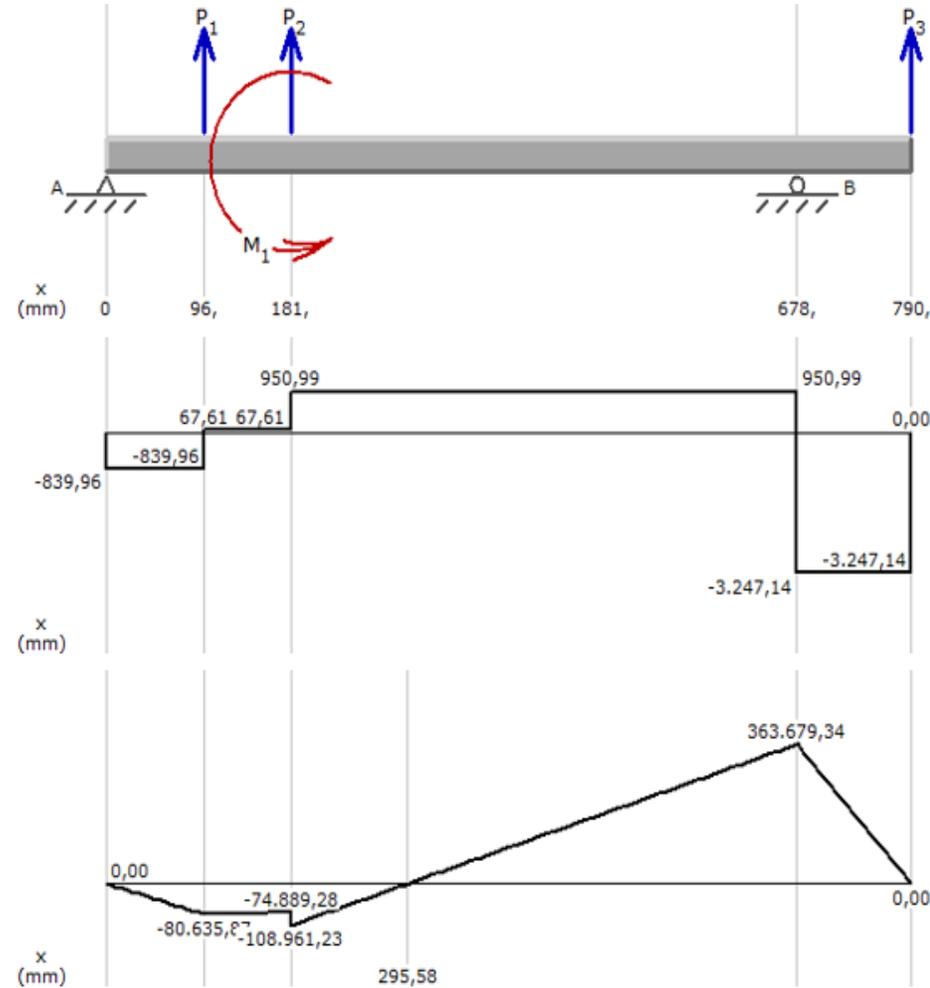
- Flexión
- $M_{max} = 155.46 \text{ KN}$
- $d1 = 25 \text{ mm}$
- $d2 = 30 \text{ mm}$
- $d3 = 25 \text{ mm}$
- $N = 2$

# Tren motriz

Plano YX



Plano YZ

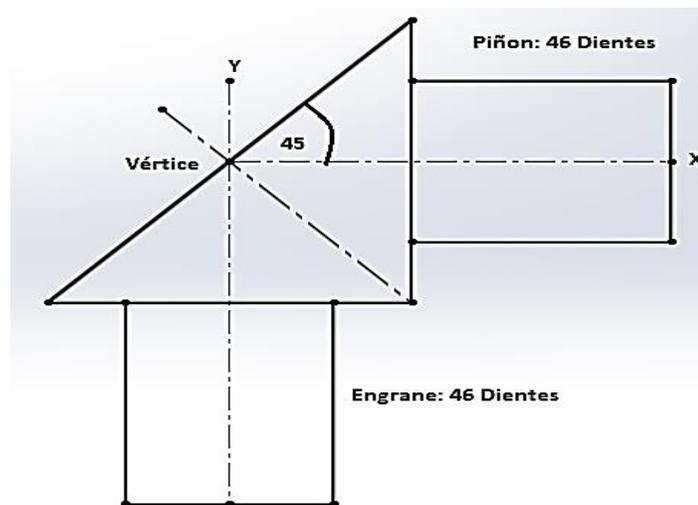


- Eje impulsor
- Flexión
  - $M_{max} = KN$
  - $d1 = 32 \text{ mm}$
  - $d2 = 32 \text{ mm}$
  - $d3 = 25 \text{ mm}$
  - $d4 = 31 \text{ mm}$
  - $N = 2$

# Tren motriz

## Engranajes cónicos

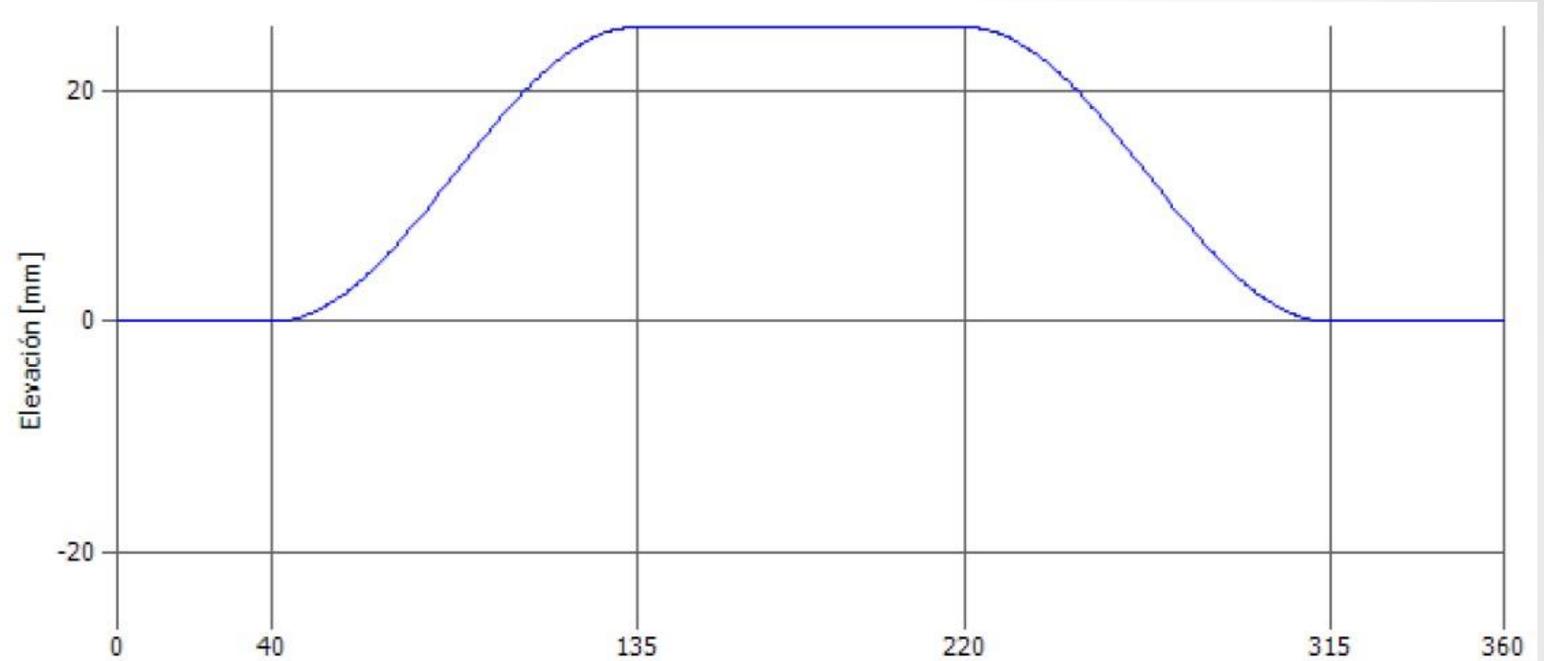
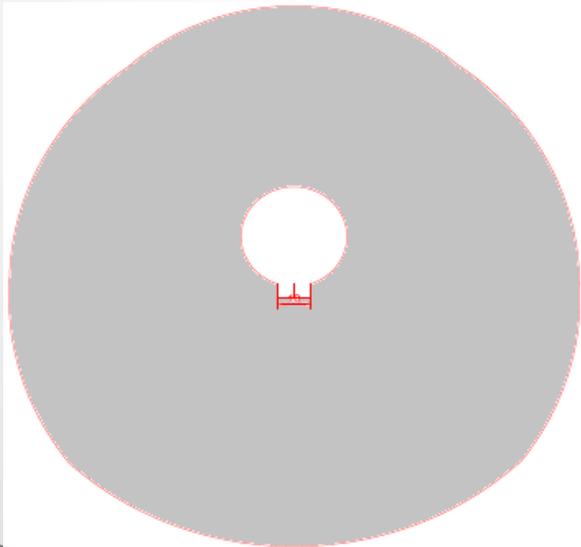
PARÁMETROS	VALOR
Diámetro exterior.	96 mm
Angulo de presión.	20°
Modulo.	2
Numero de dientes.	46
Paso diametral.	12 dientes/in
Relación de transmisión.	1
Forman 90 grados.	Inglete



# Tren motriz

Excéntrica vertical

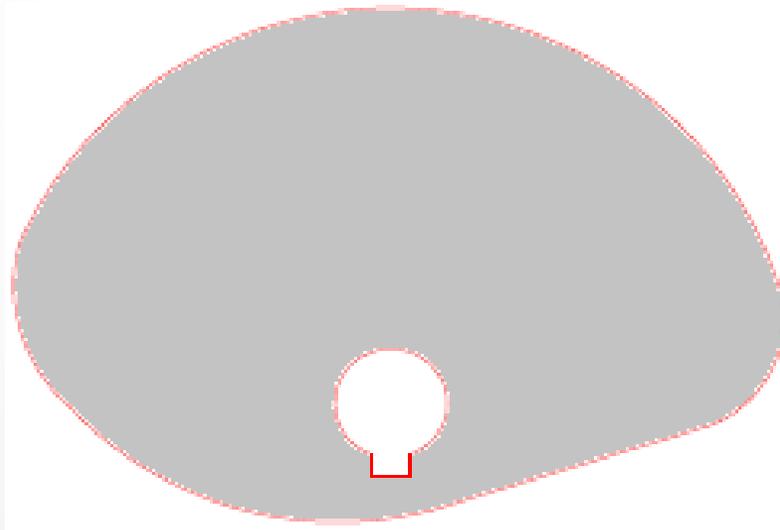
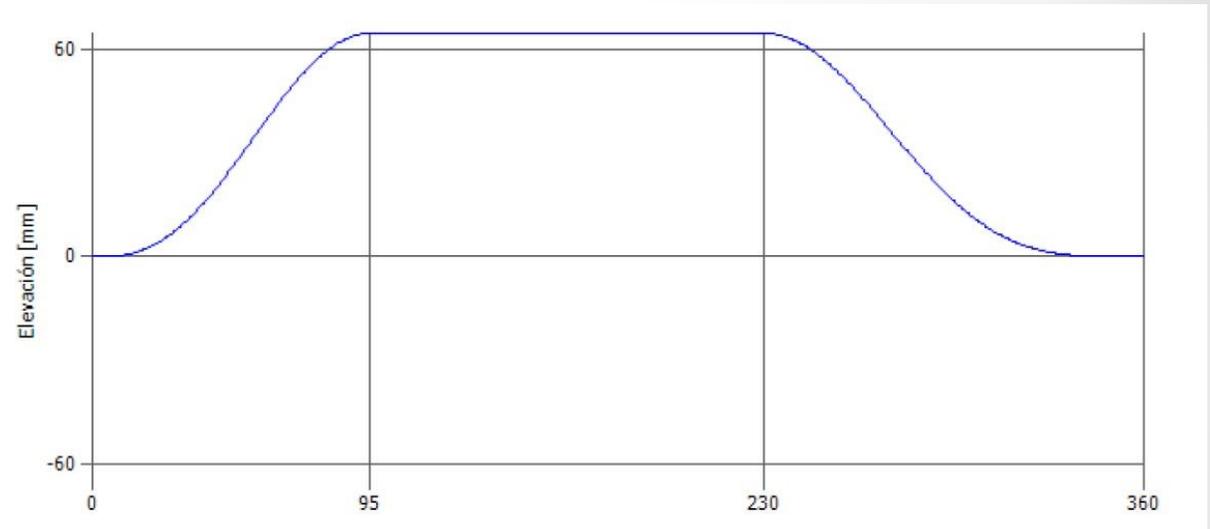
PARÁMETROS	VALOR
Velocidad máx.	0,114 mps
Ángulo de presión máx.	11,66 gr
Aceleración máx.	1,016 m/s <sup>2</sup>
Impulso máx.	9,076 m/s <sup>3</sup>
Fuerza de seguidor máx.	907,564 N
Par de torsión máx.	14,040 N m



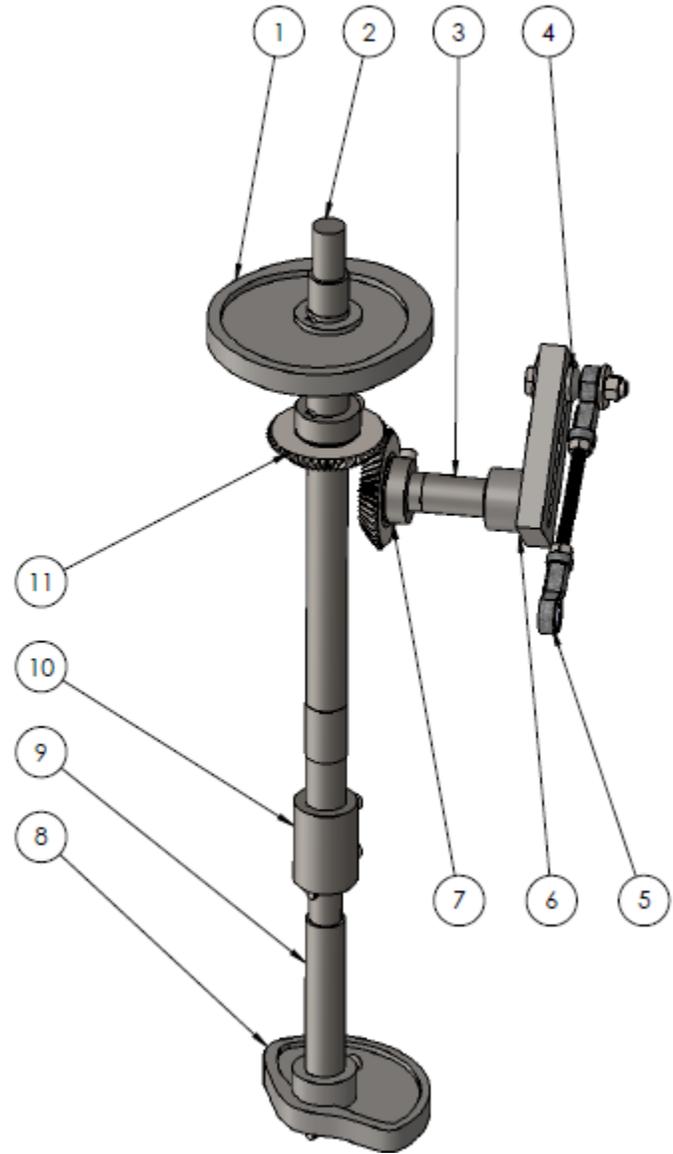
# Tren motriz

Excéntrica horizontal

PARÁMETROS	VALOR
Velocidad máx.	0,318 mps
Ángulo de presión máx.	38,25 gr
Aceleración máx.	2,388 m/s <sup>2</sup>
Impulso máx.	33,317 m/s <sup>3</sup>
Fuerza de seguidor máx.	2629,710 N
Par de torsión máx.	130,820 N m



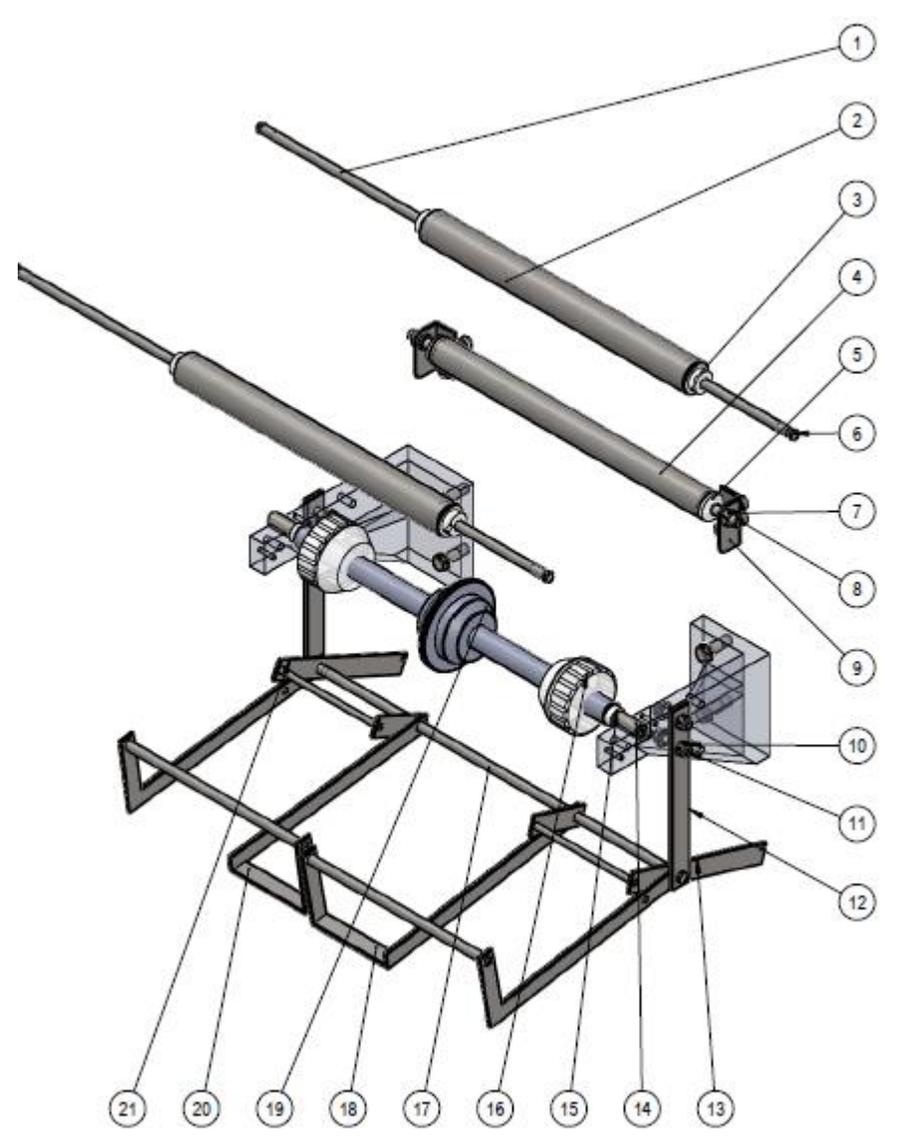
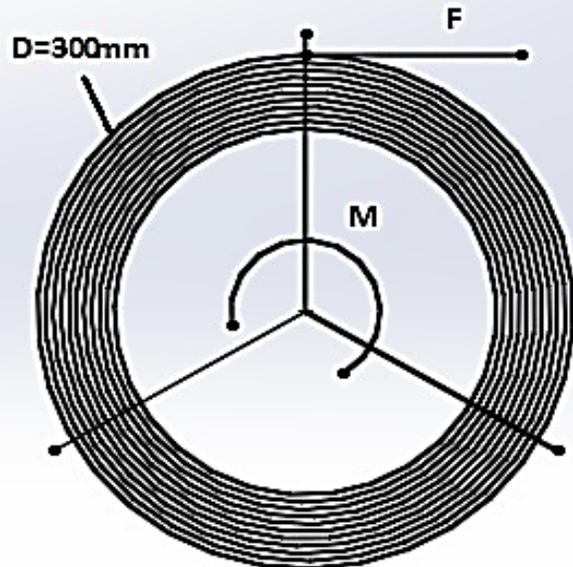
# Tren motriz



# Desenrollador

Fuerza para mover el rollo

- $M = 12 \text{ Kg}$
- $D = 300 \text{ mm}$
- $t = 0.3 \text{ s}$
- $F_r = 19.33 \text{ N}$
- $I_M = 900 \text{ Kg. mm}^2$
- $r_g = 75 \text{ mm}$
- $\alpha = 2.93 \text{ rad/s}^2$



# Sistema Neumático

## Cilindro de arrastre

- Carrera 40 mm
- D = 50 mm
- Presión 1 Mpa
- Doble efecto



## Cilindro de corte

- Carrera 23mm
- D = 20 mm
- Presión 1 Mpa
- Doble efecto

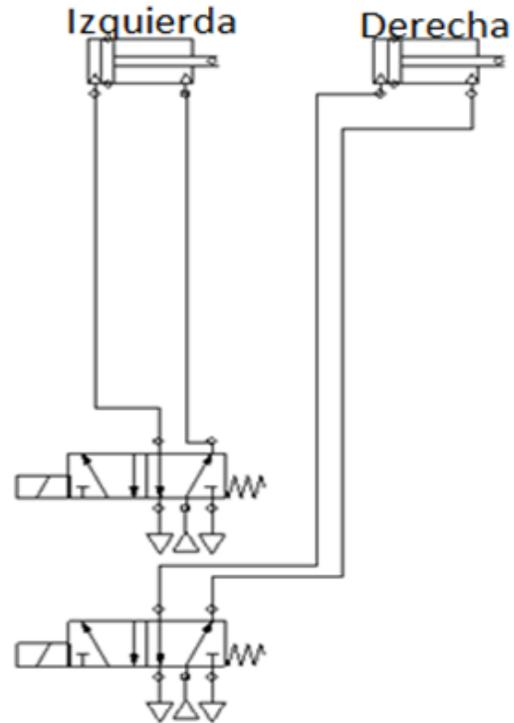


## Cilindro de dosificado

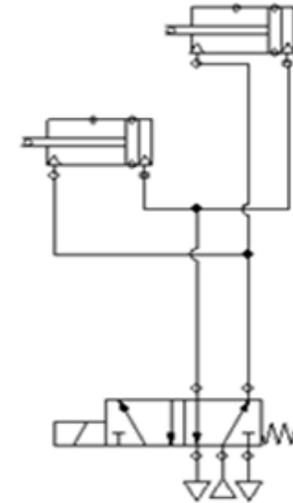
- Carrera 20mm
- D = 20 mm
- Presión 1 Mpa
- Doble efecto



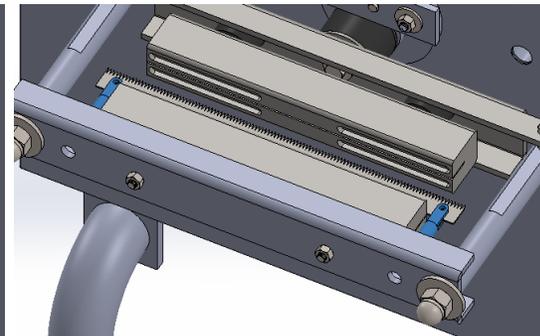
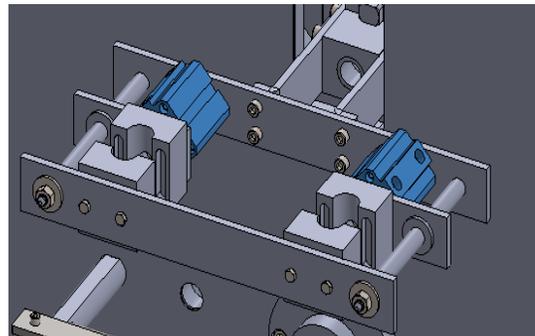
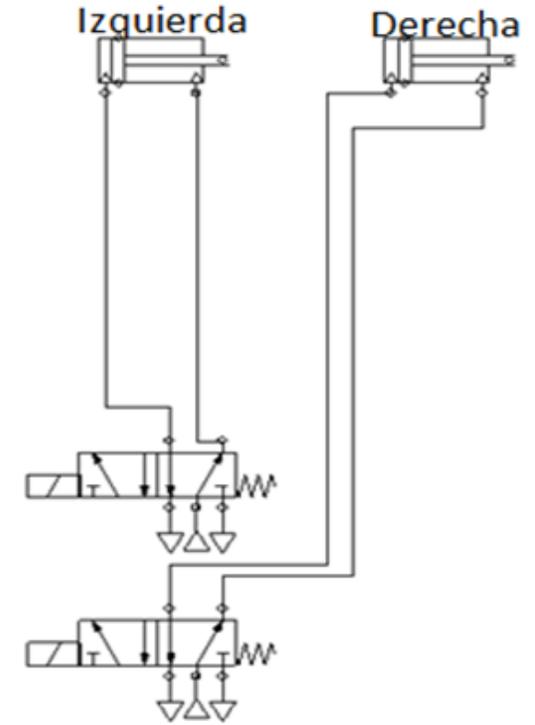
## ARRASTRE



## CORTE



## DOSIFICADO



# Dosificación

ECUACION DE BERNOULLI

$$\underbrace{\frac{p_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1}_{\text{tubo}} = \underbrace{\frac{p_2}{\rho_2 g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2}_{\text{contracción}}$$

CAUDAL DE SALIDA

Q=0,42 L/S



# REDUCTOR

- Torque de la leva de sellado vertical:  $T_v = 14.040 \text{ N} - \text{m}$
- Torque del mecanismo de arrastre:  $T_a = 10.982 \text{ N} - \text{m}$
- Torque de la leva de sellado y corte horizontal:  $T_h = 130.820 \text{ N} - \text{m}$ .
- El torque necesario que debe entregar al sistema de transmisión es la suma de los tres torques dando como torque total  $T_t = 155.842 \text{ N} - \text{m}$ .

$$P = T * n$$

$$P = 155.842 * 45 * \frac{2\pi}{60}$$

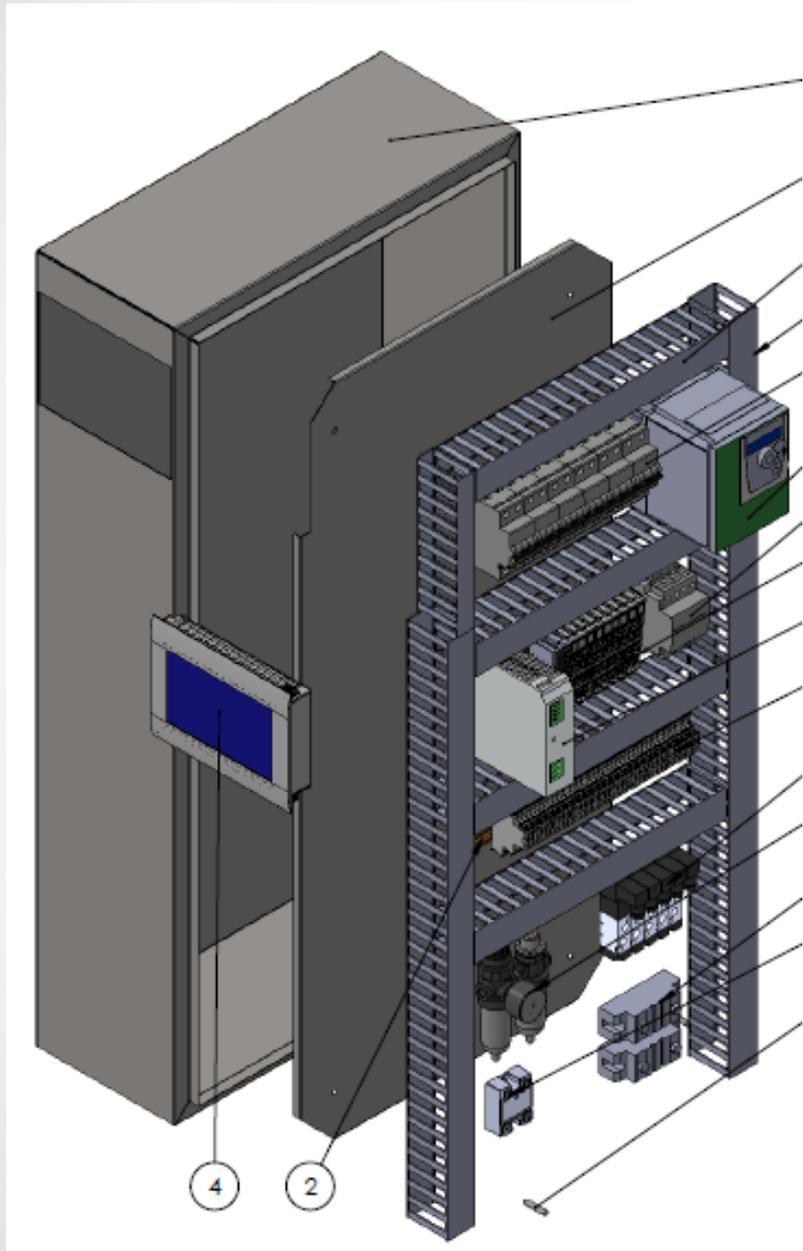
$$P = 734.39 \text{ W} \left( \frac{1\text{HP}}{746\text{W}} \right)$$

$$P = 0.98 \text{ HP}$$



- El sistema tiene cargas medianas el factor de servicio a utilizar es de 1.25 dando la nueva potencia del sistema de transmisión de 1.23 HP; este valor es útil para la selección del reductor mecánico de velocidad.

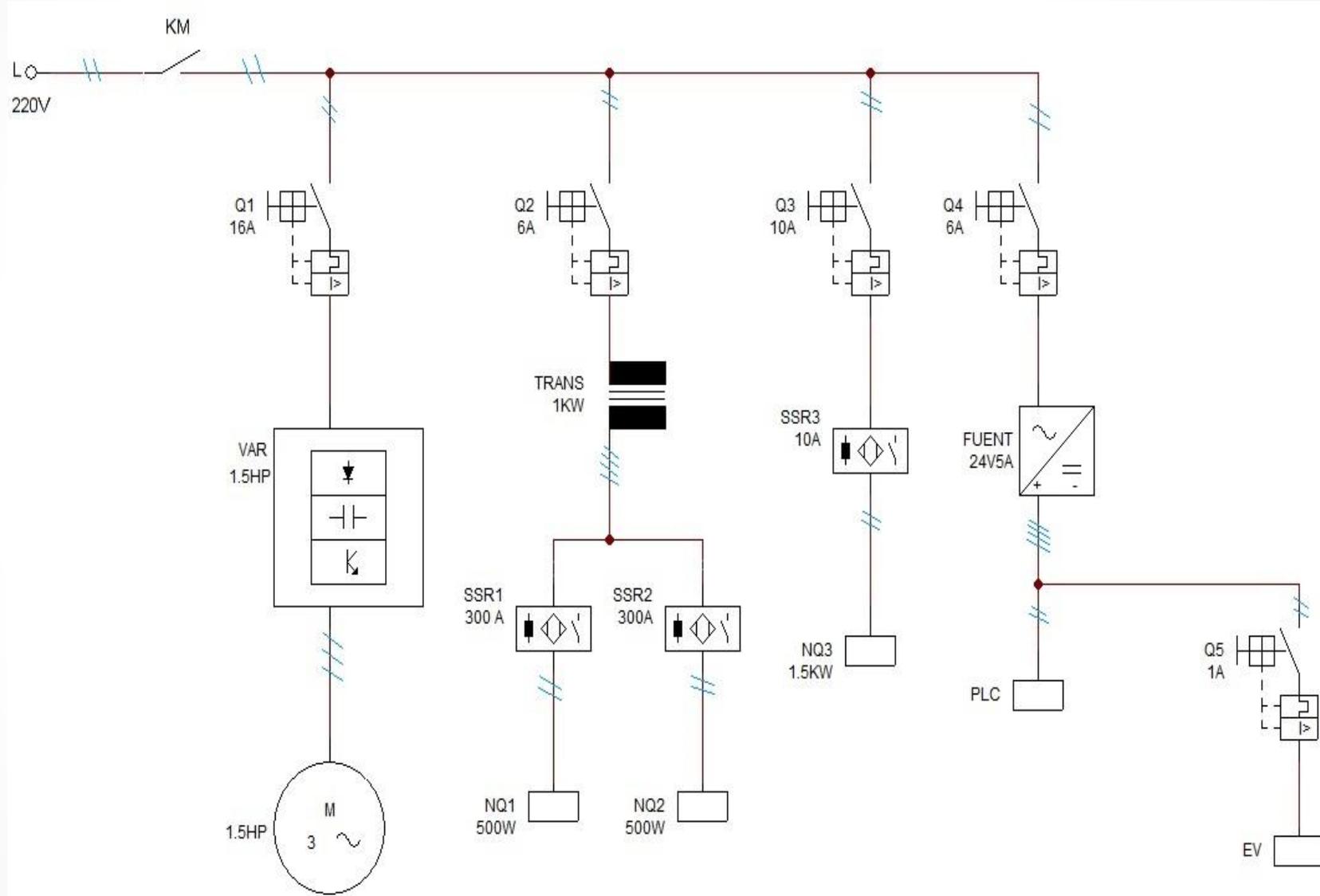
# DISEÑO ELÉCTRICO



1. Sistema Eléctrico.
2. Sistema de Control.

# Sistema Eléctrico

Diagrama de fuerza



# Sistema Eléctrico

Motor

Contactor

- **T vertical = 14.04 N.m**
- **T arrastre = 10.98 N.m**
- **T horizontal = 14.04 N.m**
- **T total = 155.84 N.m**
- **n = 45 rpm**
- **P0.98 Hp**
- **Factor de servicio: esta tomado en cuenta en la selección del reductor**



Motor 1LA7083-4YA60	
Velocidad	1650 Rpm
Polos	4
Alimentación	Trifásica, 220YY 440 Y
Potencia	1.5 Hp
n	65.9 %
Fs	1.15
In	5 A
IP	55
Frecuencia	60hz
Factor de potencia	0.89
Peso	9.3 Kg
Temperatura	-15° a 40° C
Torque	11.5 N-m

# Sistema Eléctrico

Variador de frecuencia

Datos del motor

- **P motor = 1.5 HP**
- **I motor = 5A**

Protección

- **Interruptor electromagnético 16 A**



Variador de frecuencia				
Tipo	Potencia del motor		Corriente de entrada (A)	Corriente de salida (A)
	HP	KW		
	1.5	1.1	14.7	6
Frecuencia de salida	Tensión de alimentación	Tipo de protección	Temperatura de operación	Factor de sobrecarga
0-650 Hz	220 V	IP 20	Máxima 40 °C	150% - 60 seg
Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas analógicas		
3	1 (24 VDC)	1 (0-10 VDC utilizable como 4 <sup>ta</sup> entrada digital)		

# Sistema Eléctrico

Transformador



Transformador	
Superficie a soldar longitud 200 mm y ancho 45 mm	
Area	1800 mm <sup>2</sup>
Potencia calculada	900 W
Potencia escalada	1 KW

Protección

- **I = 4.5 A**
- **Dimensiona con 125%**
- **I = 5.62 A**
- **Interruptor electromagnético 10 A**

# Sistema Eléctrico

Fuente de poder



Protección

- **I = 5A**
- **Interruptor electromagnético 6 A**

## Datos de entrada Fuente

Tensión nominal de entrada	100 VAC...240 VAC
Tensión de entrada	85 VAC...264 VAC
Gama de frecuencias AC	45 Hz...65 Hz
Extracorrente de cierre	<15 A
Corriente de salida nominal	5 A ( $U_{OUT} = 24 \text{ VDC}$ )
Factor de potencia	0,72
Circuito de protección	Varistor

## Datos de salida Fuente

Tensión nominal de salida	24 VDC $\pm 1\%$
Tensión ajustable de salida	22,5 VDC...29,5 VDC
Corriente de salida nominal	5 A ( $U_{OUT} = 24 \text{ VDC}$ )

# Sistema Control

SSR de sellado vertical

- Bobinado secundario
- $P = 1KW$
- $I$  arranque = 43.6 A
- $I$  ideal = 304 A
- SSR disponible 300 A



SSR de sellado horizontal

- Bobinado secundario
- $P = 1500KW$
- $I$  arranque = 6.8 A
- No se escala
- SSR disponible 10 A



Niquelina eléctrica de sellado vertical

- Niquelina (Ni-Cromo)
- Longitud 470 mm
- $R = 0.526 \Omega$
- $R = 43.6 A$
- $V = 23 V$

Contactor

- Bobinado secundario
- $P$  nominal= 9Kw
- $I$  inductiva = 39 A
- $I$  disponible = 40<sup>a</sup>
- 3 polos 1NA 1NC
- Trifásico 220 V



SOLENOIDES

- Tipo 5/2
- Monoestable
- Voltaje 220 VAC
- Conexión NPT
- Presión mínima 100 psi



Resistencia térmica de sellado horizontal

- Longitud 140 mm
- $P$  calc = 1400
- $P$  escalada = 1.5 Kw

Protección

- Interruptor electromagnético 6 A

# Sistema Control

Entradas y salidas



Protección

- **Interruptor electromagnético 1 A**

	Entradas digitales	Entradas analógicas	Salidas digitales	Salidas analógicas
Dosificación	2		2	
Arrastre	1		2	
Sellado vertical	1		2	
Sellado horizontal		1	1	
Corte horizontal	2		1	
Inicio	1			
Emergencia	1			
Taca	2			
Fin de rollo	2			
Variador	1			
Total	13	1	8	

# Sistema Control

Panel PC



## DATOS DE PLACA DE PANEL PC

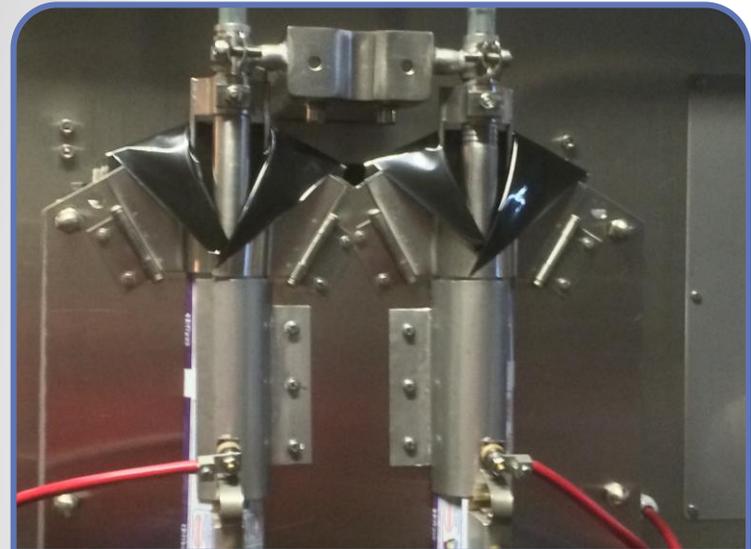
Microsoft Windows Embedded Compact 7 English

Temperatura de funcionamiento 55 °C

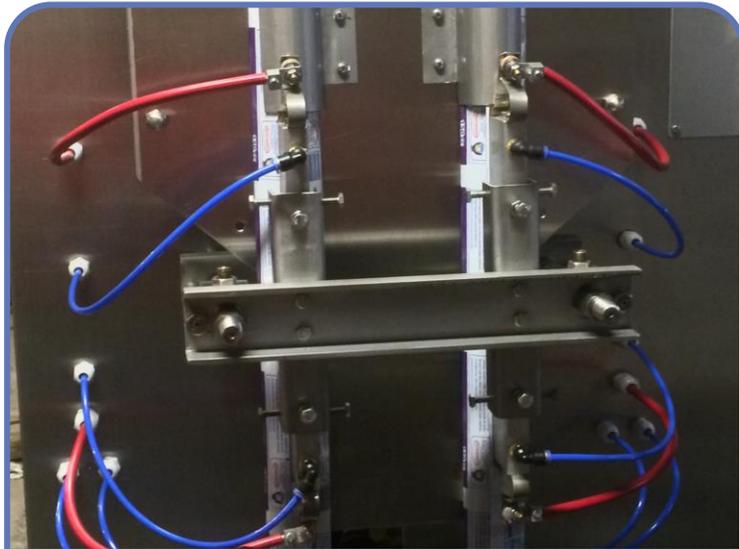
Clase de protección IP 54 lado frontal, IP 20 lado trasero

CPU	ARM Cortex™-A8, 1GHz (TC3:30)
Alimentación	24 V DC
ON-Board RAM	4x256 MB DDR3
Touchscreen	7"
Puertos	1 RS232 de serie y 2 USB 2.0
Software	TwinCAT
Comunicación	1 on-board Adaptador Ethernet 10 / 100BASE-T con conector RJ45
Módulos especiales	2 módulos de 1 entradas análogas Termocupla tipo J 2 módulos de 8 entradas digitales 3 módulos de 4 salidas digitales Coupler EtherCAT para tarjetas

# Implementación mecánica



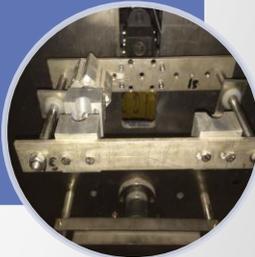
Formado



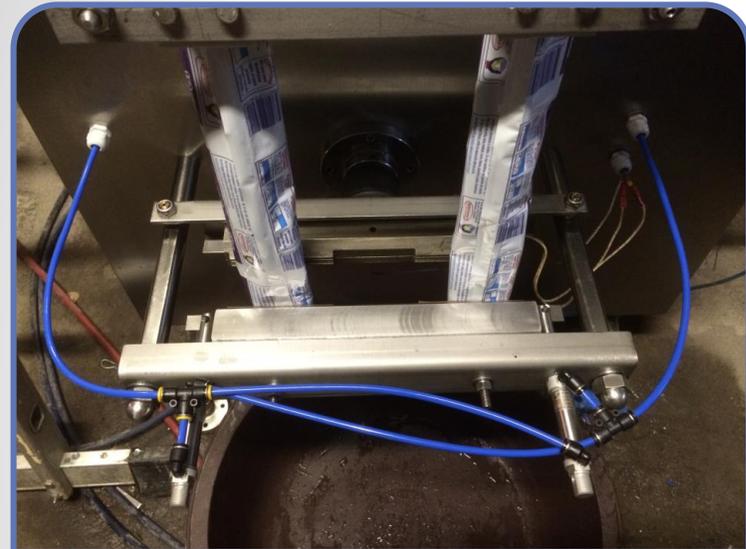
Prensa Vertical



Mecanismo de Arrastre



# Implementación mecánica



Prensa  
Horizontal



Corte



Desenrollador



# Implementación mecánica



Dosificado



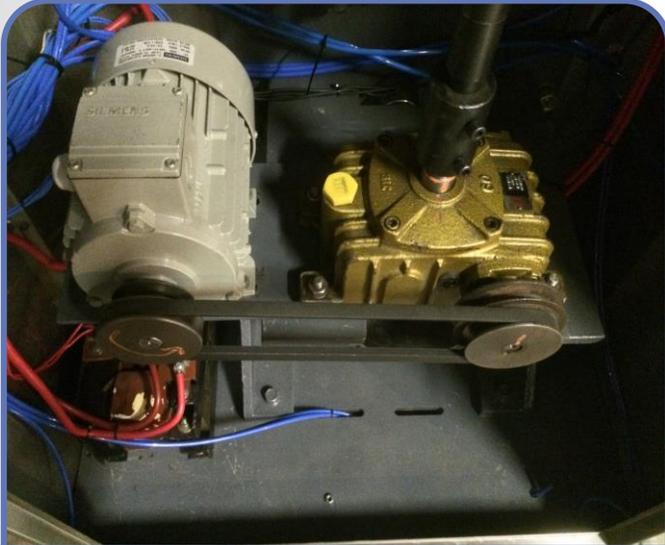
Tren  
motriz



Producto  
terminado



# Implementación eléctrica



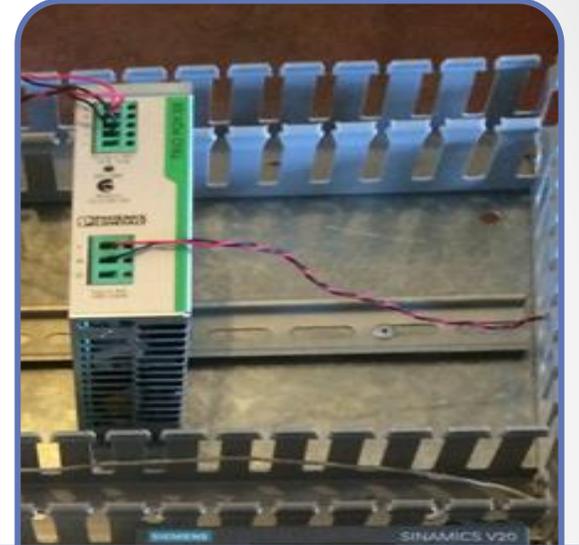
Motor



Variador



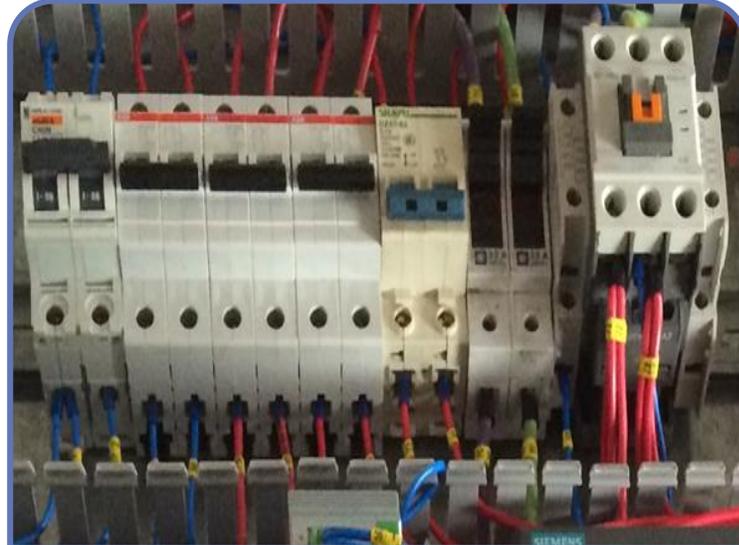
Fuente 24  
DC



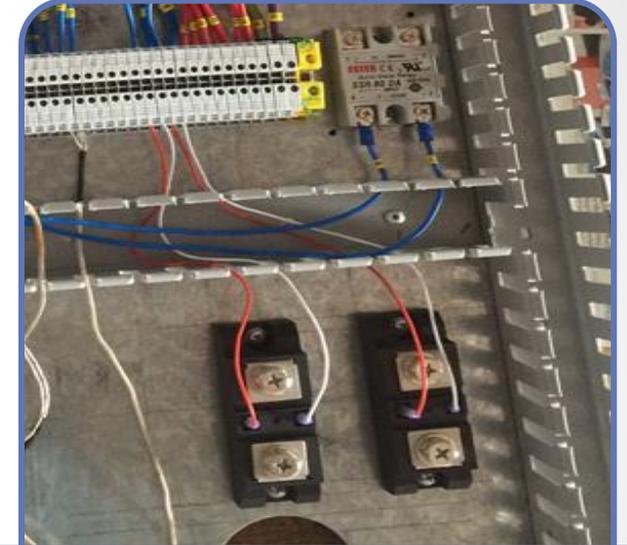
# Implementación eléctrica



Módulos de  
entradas y  
salidas



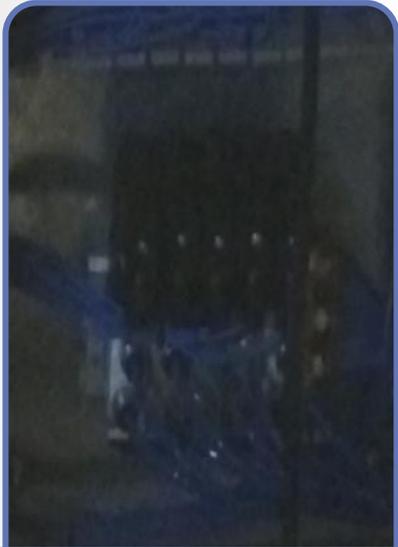
Protecciones



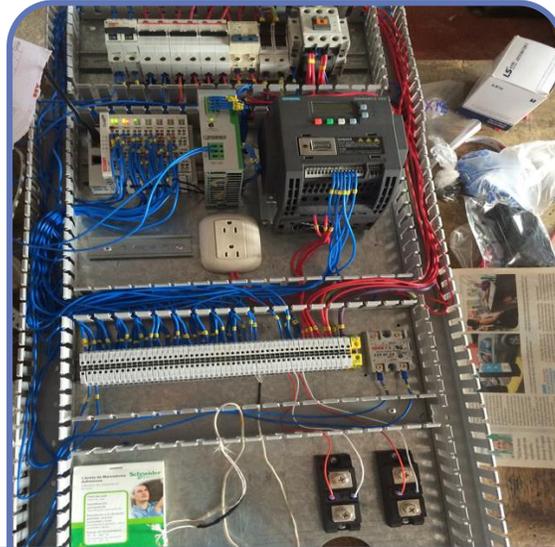
SSR



# Implementación eléctrica



Solenoides



Cableado



Tablero funcional

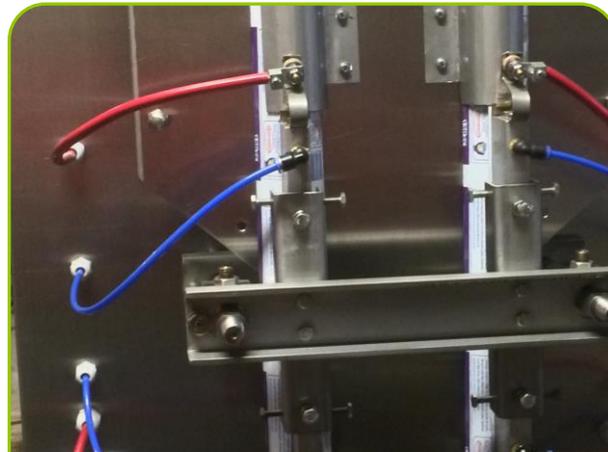


# PRUEBAS Y RESULTADOS

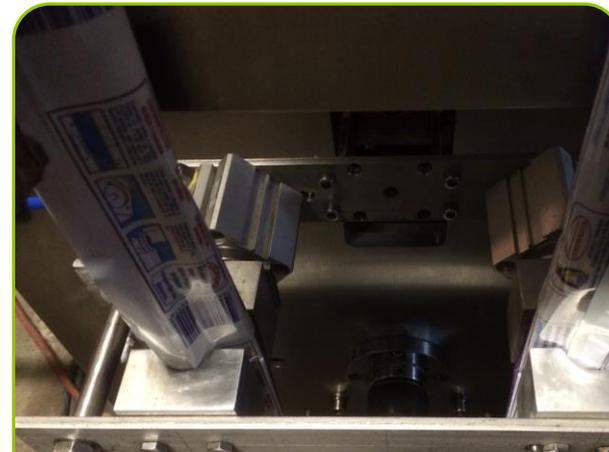
# Pruebas



Formado

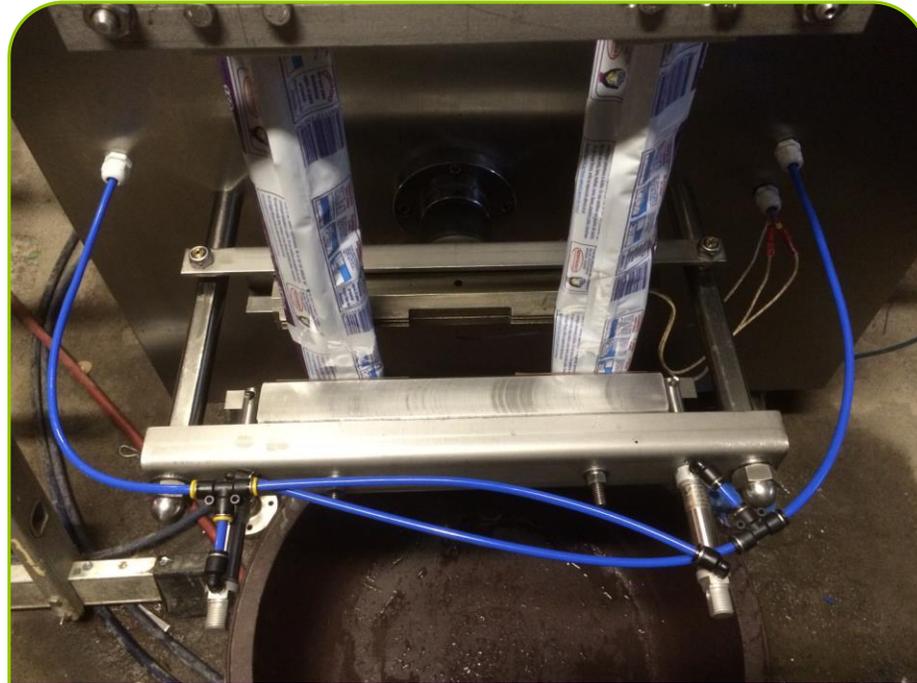


Prensa  
Vertical



Mecanismo  
de Arrastre

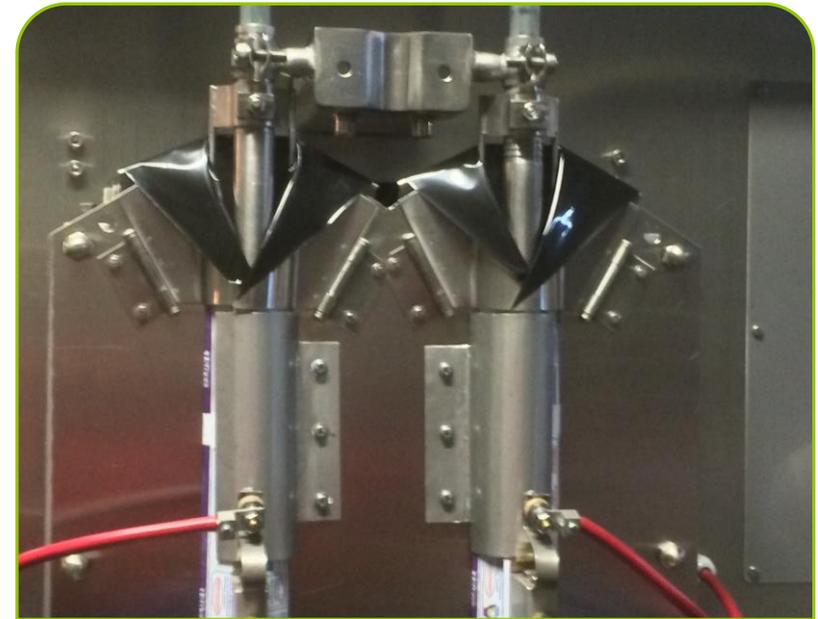




Dosificado

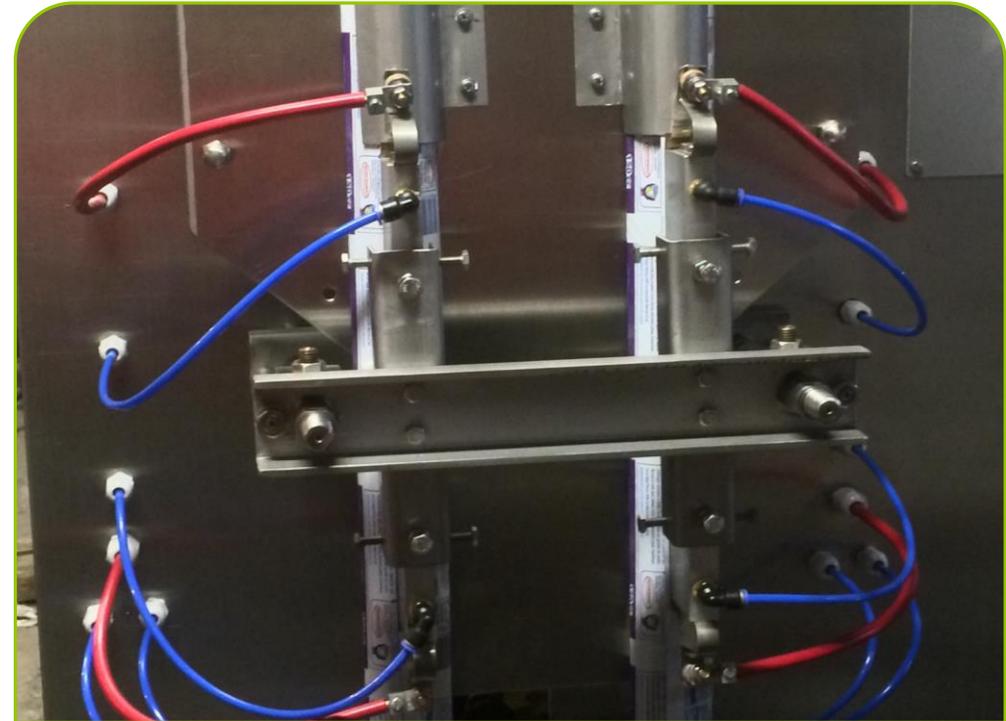


FORMADOR		
FUNDAS POR MINUTO	CORRECCIÓN	ESTADO DE LA FUNDA
50	Ajustar	Traslape excedente
	Centrar	OK
	Liberar	Traslape deficiente
45	Ajustar	Traslape excedente
	Centrar	OK
	Liberar	Traslape deficiente
40	Ajustar	Traslape excedente
	Centrar	OK
	Liberar	Traslape deficiente
35	Ajustar	Traslape excedente
	Centrar	OK
	Liberar	Traslape deficiente
30	Ajustar	Traslape excedente
	Centrar	OK
	Liberar	Traslape deficiente
25	Ajustar	Traslape excedente
	Centrar	OK
	Liberar	Traslape deficiente
20	Ajustar	Traslape excedente
	Centrar	OK
	Liberar	Traslape deficiente

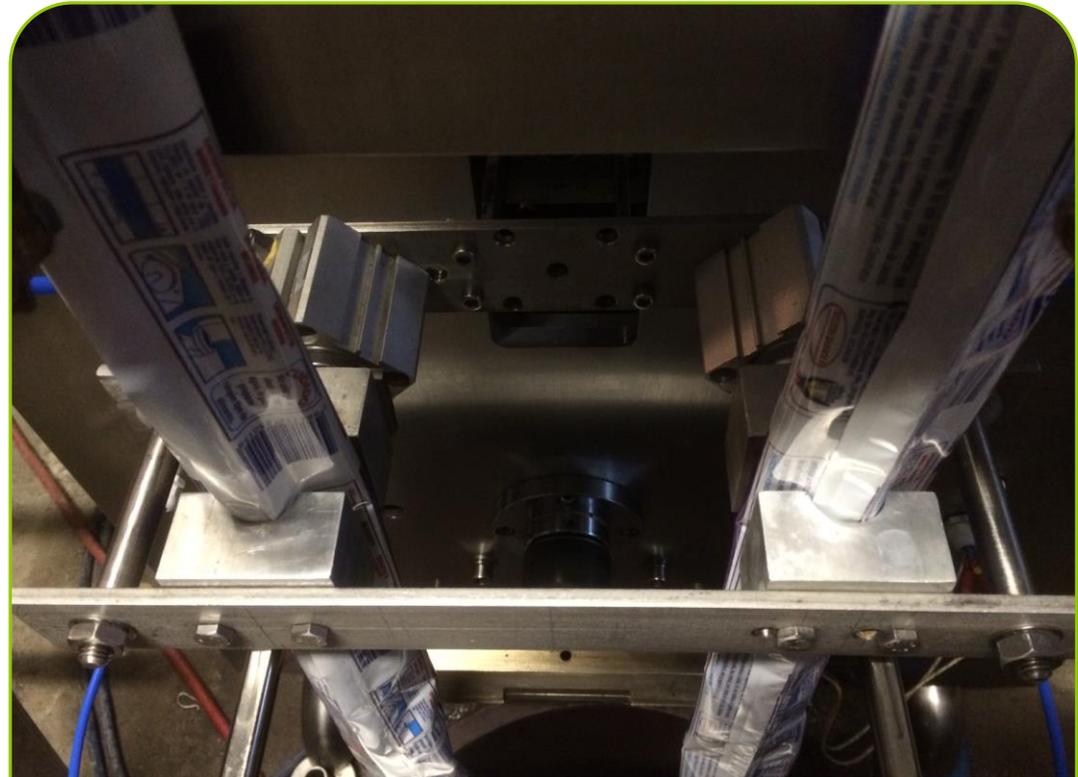


## SELLADO VERTICAL

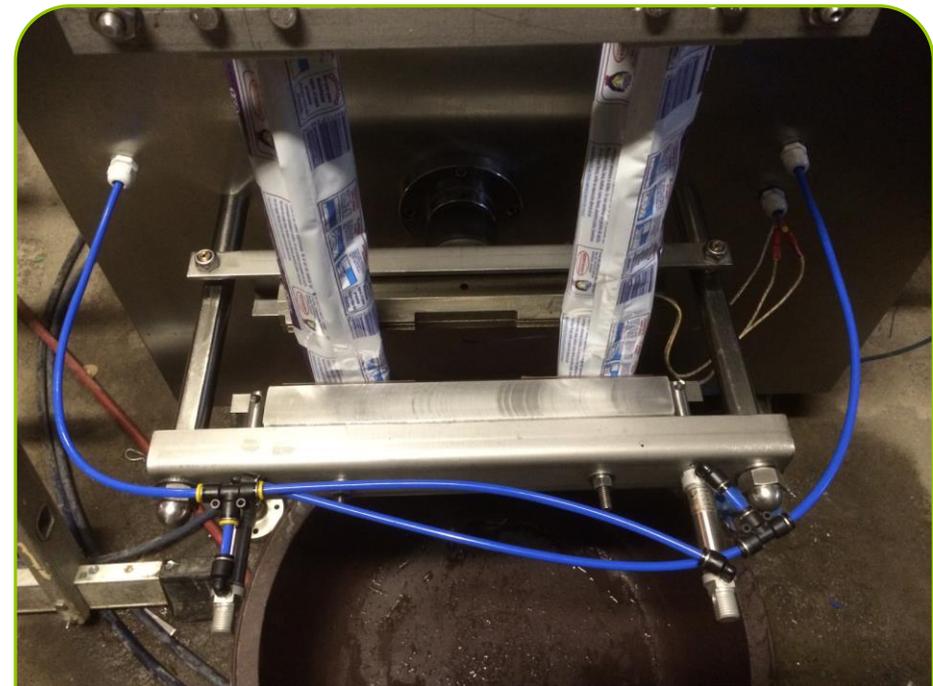
FUNDAS POR MINUTO	TIEMPO (ms)	ESTADO DE LA FUNDA
50	175	OK
	150	NO SELLADA
	200	QUEMADA
45	200	OK
	140	NO SELLADA
	256	QUEMADA
40	256	OK
	200	NO SELLADA
	319	QUEMADA
35	319	OK
	309	NO SELLADA
	380	QUEMADA
30	319	OK
	270	NO SELLADA
	380	QUEMADA
25	309	OK
	250	NO SELLADA
	380	QUEMADA
20	175	OK
	150	NO SELLADA
	200	QUEMADA



ARRASTRE		
FUNDAS POR MINUTO	TIEMPO (ms)	ESTADO DE LA FUNDA
50	75	CENTRADO
	99	ARRIBA
	63	ABAJO
45	99	CENTRADO
	113	ARRIBA
	91	ABAJO
40	113	CENTRADO
	150	ARRIBA
	106	ABAJO
35	150	CENTRADO
	175	ARRIBA
	125	ABAJO
30	175	CENTRADO
	225	ARRIBA
	163	ABAJO
25	238	CENTRADO
	313	ARRIBA
	225	ABAJO
20	313	CENTRADO
	269	ARRIBA
	350	ABAJO



DOSIFICADO		
FUNDAS POR MINUTO	TIEMPO (ms)	DOSIFICADO (ml)
50	75	100
	99	148
	63	151
45	99	184
	113	125
	91	149
40	113	149
	150	158
	106	151
35	150	150
	175	160
	125	149
30	175	149
	225	168
	163	142
25	238	151
	313	180
	225	168
20	313	180
	269	150
	350	199



# ANÁLISIS ECONOMICO

# Costos

RUBRO	TOTAL
Estructura metálica de la máquina	6.500,00
Sensores y actuadores	400,00
Componentes de automatización	300,00
Niquelinas	25,00
Sistema eléctrico y de control	3500,00
Acero Inoxidable	1000,00
Motor y variador	1000,00
Accesorios varios	400,00
Total	13.125,00

# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- El diseño y construcción del proyecto mejorara el tiempo y la productividad del sistema de enfundado del producto terminado.
- Se valida la hipótesis debido a que la maquina enfundadora al tener dos cabezales se logra 70 fundas por minuto alcanzando una productividad promedio del 233% respecto a la enfundadora sencilla de un cabezal.
- El proyecto cumple con todos los objetivos planteados, además el sistema es amigable y funcional debido a sus modos de operación que puede acoplarse a cualquier requerimiento del usuario.?

# Conclusiones

- Los estudios de acuerdo a datos preliminares y a la investigación de los diferentes mecanismos que conforman las enfundadoras manuales comunes , tuvo como objetivo final el diseño y construcción de una enfundadora automática de doble conducto con lamina de polipropileno.
- Se construye la enfundadora para aumentar la producción y tener un control automatizado de toda la maquina, tomando en cuenta normas de diseño y cumpliendo con estándares alimenticios.
- En el diseño mecánico de cada uno de los mecanismos que conforman la enfundadora se emplea factores de seguridad de acuerdo a las diferentes cargas aplicadas que permitan obtener un diseño aceptable.
- Al implementar un sistema de control a la par con una panel pc se tiene un control minucioso de los mecanismos de accionamiento, sensores, actuadores, niveles de liquido, grados de temperatura y velocidades de funcionamiento de la maquina.
- Tiene un sistema de alarmas las cuales detectan imperfecciones que impiden el correcto funcionamiento de la enfundadora, y detiene los proceso para evitar desperdicios.
- El mecanismo de dosificado disminuye la producción final de la maquina ya que no se tiene buenos resultados a altas velocidades.
- El control PID del sellado vertical tiene una respuesta inmediata con una variación de vuelo de 6 grados, y manteniéndose estable en el set point.

# Recomendaciones

- Emplear software tanto de diseño mecánico como de diseño eléctrico para comprobar factores de seguridad, análisis de esfuerzos, así como también en la parte eléctrica evitar caídas de tensión y sobredimensionamiento de componentes eléctricos.
- Evitar poner objetos, herramientas, etc. puesto que podría causar atascamientos y movimientos bruscos en la maquina que pueden fatigar los engranes, las levas y por lo tanto desgastar el eje impulsor e impulsado.
- Parar la maquina para efectuar las respectivas calibraciones tanto para el formado como para el prensado horizontal, vertical y corte ya que debido a la rápida respuesta de los mecanismo se pueden producir accidentes.
- Es importante mencionar que la panel PC es una computadora industrial de gama baja la cual posee un sistema operativo en bebido que no permite incluir funciones especiales, visualizar gráficos de alta resolución de igual forma tiene un numero limitado de módulos de expansión para entradas y salidas.
- Debido al retardo del dosificado realizar un estudio profundo de posibles nuevos sistemas.
- El acero inoxidable no es un buen conductor de energía térmica por consiguiente,
  - realizar ensayos con diversos aceros hasta obtener el ideal