



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LÁMINAS DE PLÁSTICO PVC CON UN SISTEMA HMI PARA LA INDUSTRIA PLÁSTICA BROTHER’S”

LÓPEZ, J.  
SANTO, M.

Septiembre 2014.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## OBJETIVO GENERAL

- DISEÑAR Y CONSTRUIR UNA MÁQUINA DE CORTE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LÁMINAS DE PLÁSTICO PVC DE HASTA 250 MICRAS DE ESPESOR CON UN SISTEMA HMI PARA LA INDUSTRIA PLÁSTICA BROTHER'S.



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información necesaria acorde a los requerimientos del proyecto.
- Diseñar y seleccionar los elementos constitutivos de los sistemas de la máquina.
- Construir y montar el sistema mecánico y neumático de la máquina.
- Implementar el sistema de control del proceso con el PLC.
- Configurar la interface para implementar el sistema HMI.
- Elaborar el manual de operación y el plan de mantenimiento de la máquina.



# Planteamiento del Problema

## Utilización de la materia prima (PLÁSTICO PVC)



## Proceso para la elaboración de diferentes tipos de productos







# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

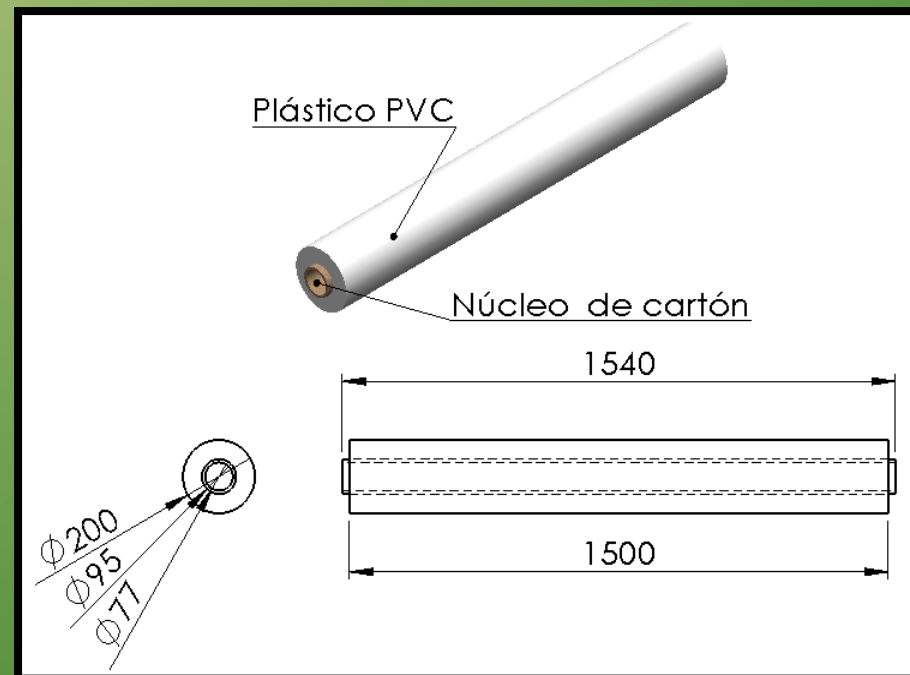
## Método de corte tradicional (Corte transversal).





# Parámetros de Diseño

- Capacidad de corte de la máquina: **400 ciclos/hora.**
- Capacidad de carga en el desbobinado: **Bobina de 45 Kg (441,5 N).**
- Espesor de corte: **Lámina de 0,120 a 0,250 mm.**
- Dimensión de corte transversal: **Variable.**
- Dimensión de corte longitudinal: **Variable.**
- Dimensiones de la máquina:
  - Longitud  $\leq$  **2,5m.**
  - Ancho  $\leq$  **1,5m.**
  - Altura  $\leq$  **1,2m.**
- Software de diseño: **SolidWorks Premium 2010.**
- Criterio de diseño: **Energía de la distorsión.**
- Factor de seguridad: **2,5 – 4.**

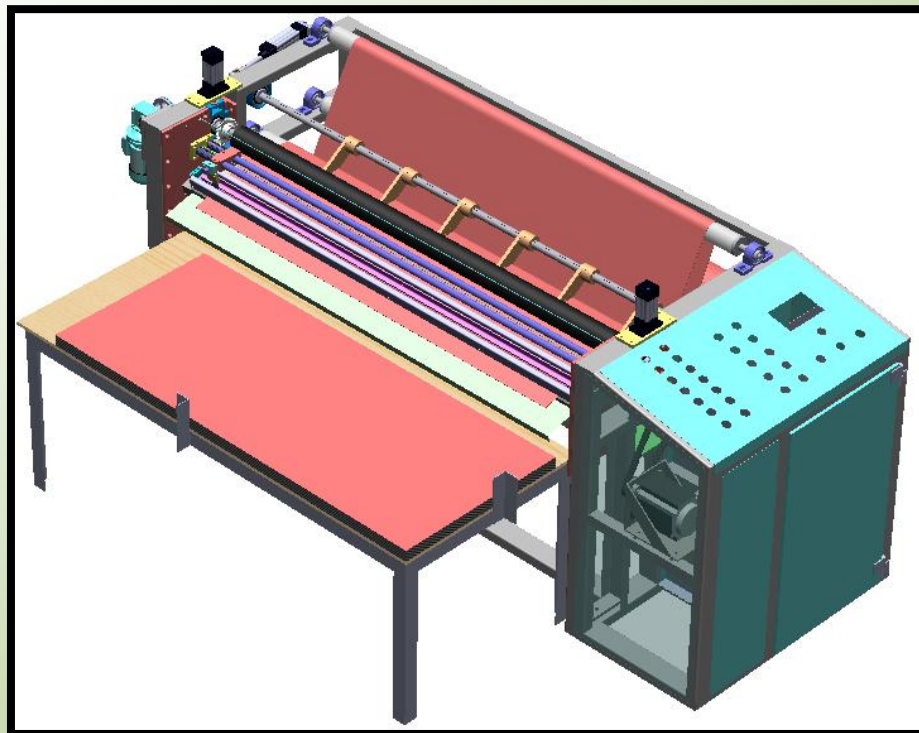




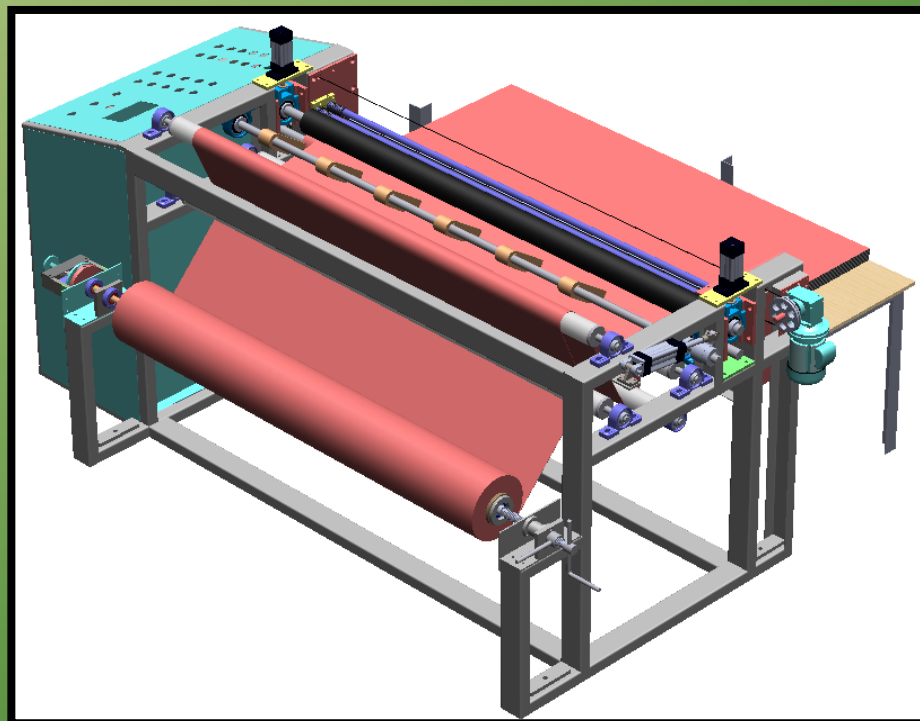
# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Sistema Mecánico



- Sistema de sujeción y desbobinado.
- Sistema de frenado de la bobina.
- Sistema de guiado de la lámina PVC.
- Sistema de corte longitudinal.
- Sistema de arrastre de la lámina PVC.
- Sistema de corte transversal.
- Estructura soporte.





# Velocidad de operación de la máquina

## Tiempos de Corte

$$TTC = TCT_T + TACC + TAR_T.$$

$TTC$ : Tiempo Total de Corte (3600 seg).

$TCT_T$ : Tiempo de Corte Transversal Total.

$$TCT_T = (TCT_p + T_f) \cdot m.$$

$TCT_p$ : Tiempo de Corte Transversal por Ciclo (1,5 seg).

$T_f$ : Tiempo de fijación del film PVC (1,5 seg).

$m$ : Número de cortes a realizarse (400 cortes).

$$TCT_T = 1200 \text{ seg.}$$

$TACC$ : Tiempo de Accesorios (600 seg).

$TAR_T$ : Tiempo de Arrastre Total.

$$TAR_T = TTC - TCT_T - TACC.$$

$$TAR_T = 1800 \text{ seg} = 30 \text{ min.}$$

## Velocidad lineal del film PVC

$$v_{PVC} = \frac{l_T}{TAR_T}.$$

$l_T$ : Longitud de Arrastre Total.

$$l_T = l_p \cdot m.$$

$l_p$ : Longitud de Arrastre por Ciclo (650 mm).

$$l_T = 260 \text{ m.}$$

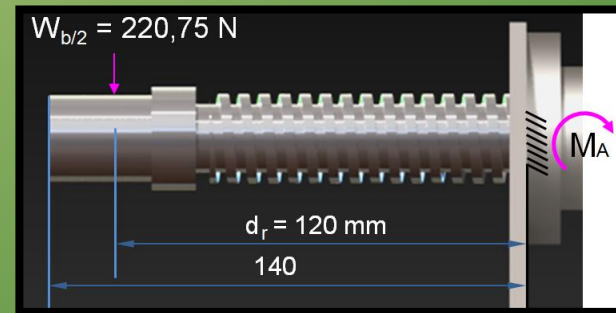
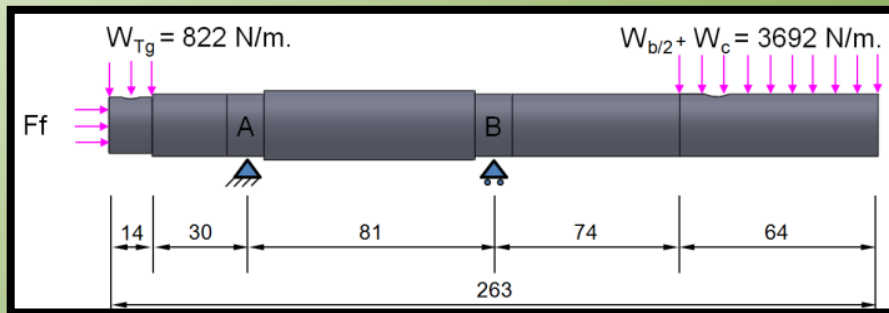
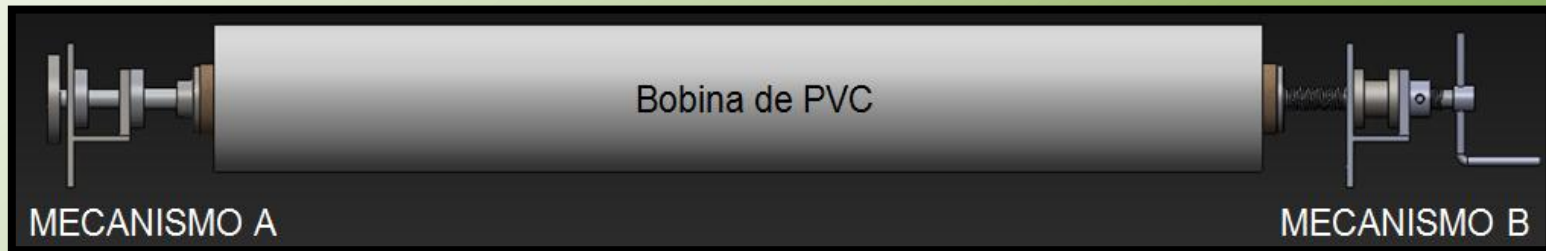
$$v_{PVC} = \frac{260 \text{ m}}{30 \text{ min}} = 8,7 \frac{\text{m}}{\text{min}}.$$

$$v_{PVC} = 10 \frac{\text{m}}{\text{min}}.$$



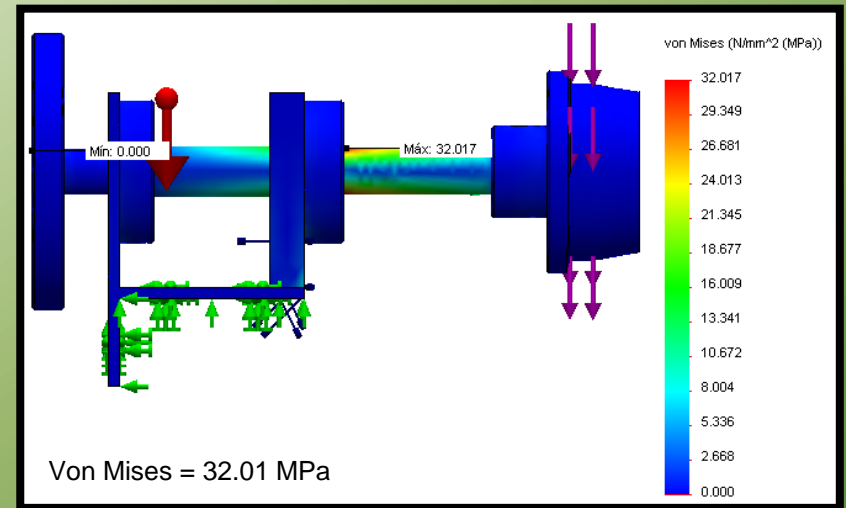
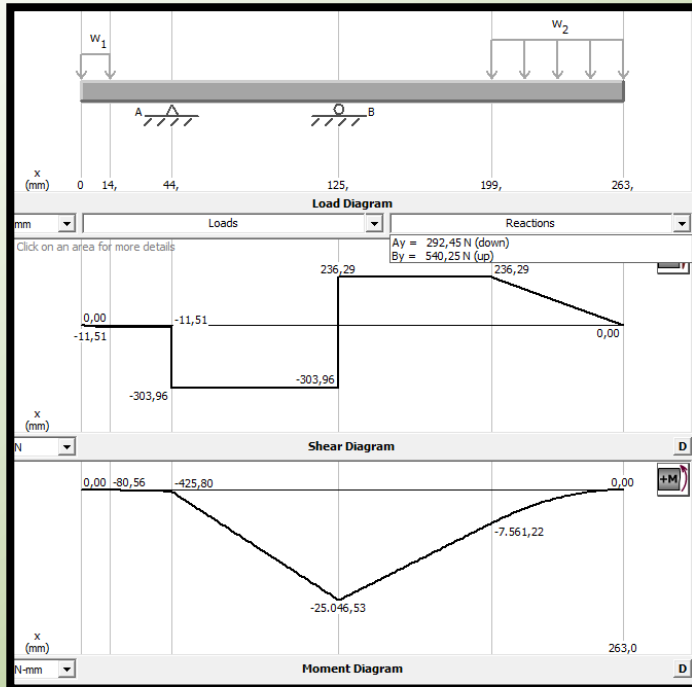


# Sistema de Desbobinado





# Sistema de Desbobinado Mecanismo A

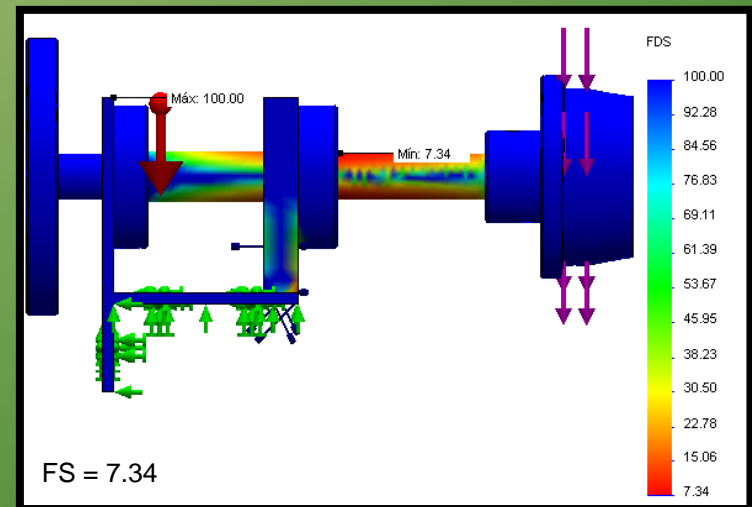


$$d_B = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot FS \cdot Mmax}{\pi \cdot S_y}}$$

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3 \cdot 25046,5}{\pi \cdot 235}} = 15,23 \text{ mm.}$$

$$d_B = 20 \text{ mm.}$$

$$FS = \frac{(d_B)^3 \cdot \pi \cdot S_y}{32 \cdot Mmax} = 7,36.$$





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Sistema de Desbobinado Mecanismo B

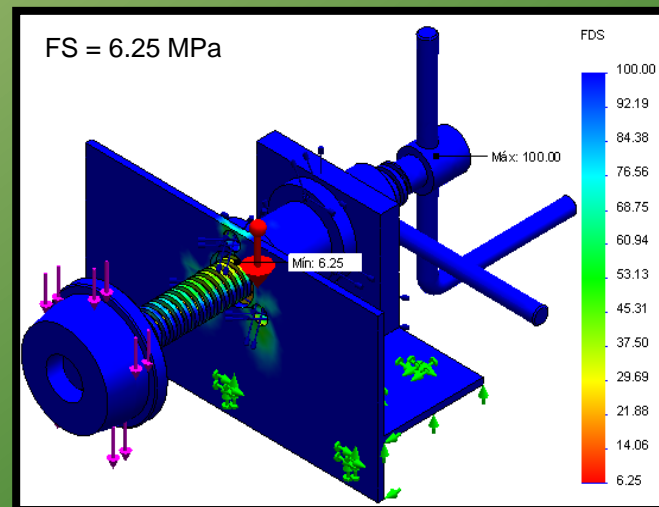
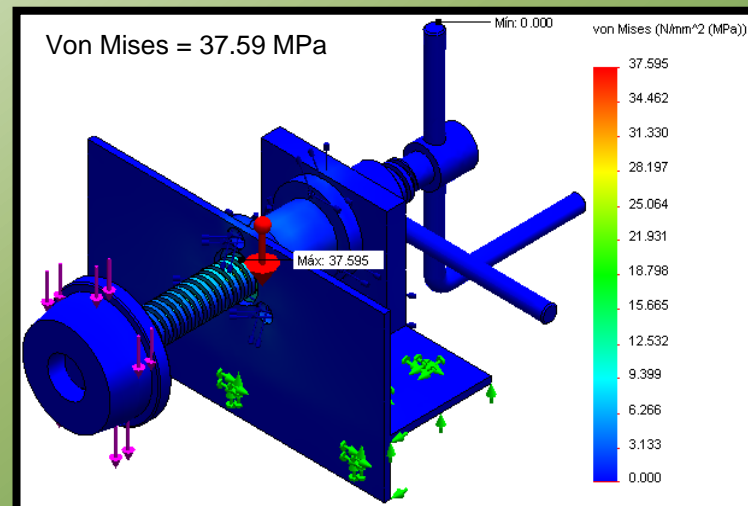
$$M_A = W_{b/2} \cdot d_r$$

$$M_A = 26490 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$d_{mT} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot FS \cdot M_A}{\pi \cdot S_y}}$$

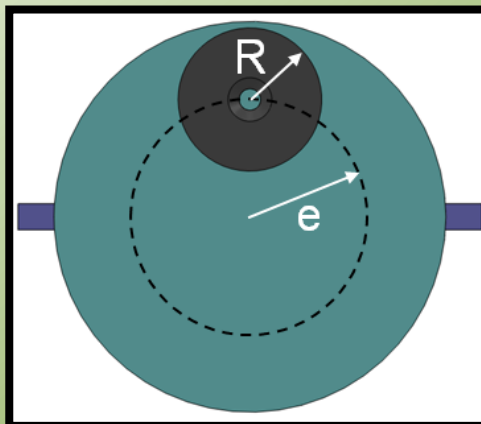
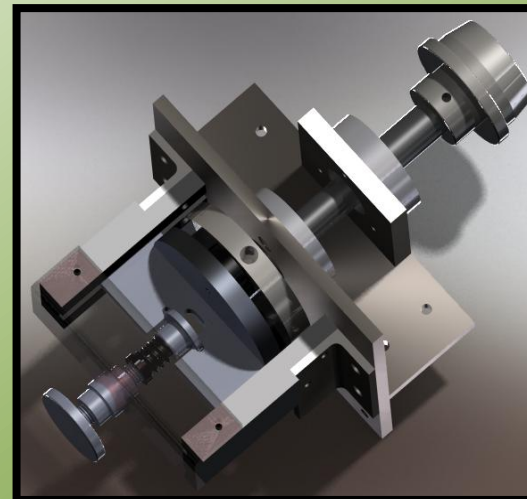
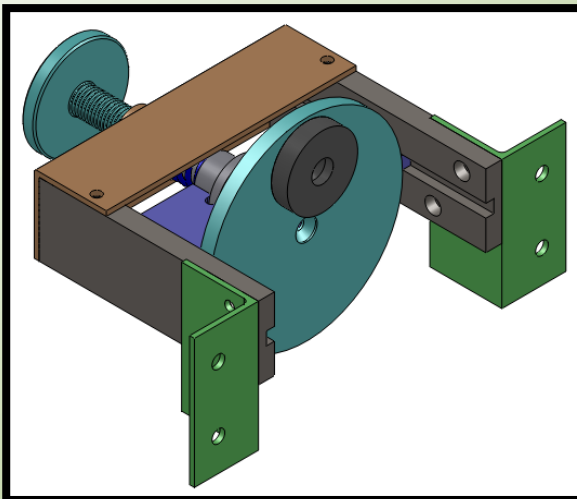
$$d_{mT} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3 \cdot 26490}{\pi \cdot 235}} = 15,1 \text{ mm}$$

$$d_{mT} = 20 \text{ mm}$$





# Sistema de Frenado



Radio de la zapata circular:  $R = 22 \text{ mm}$ .

Excentricidad:  $e = 36 \text{ mm}$ .

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Fuerza de accionamiento de la zapata circular ( $F_f$ ) necesaria para provocar un par torsional de frenado ( $T_{fT}$ ) en el tambor giratorio.

$$T_{fT} = T_{sd}$$

$$T_{sd} = I_{sd} \cdot \alpha_{sd} = 1,12 \text{ N.m.}$$

$$T_{fT} = \mu_0 \cdot F_f \cdot r_e$$

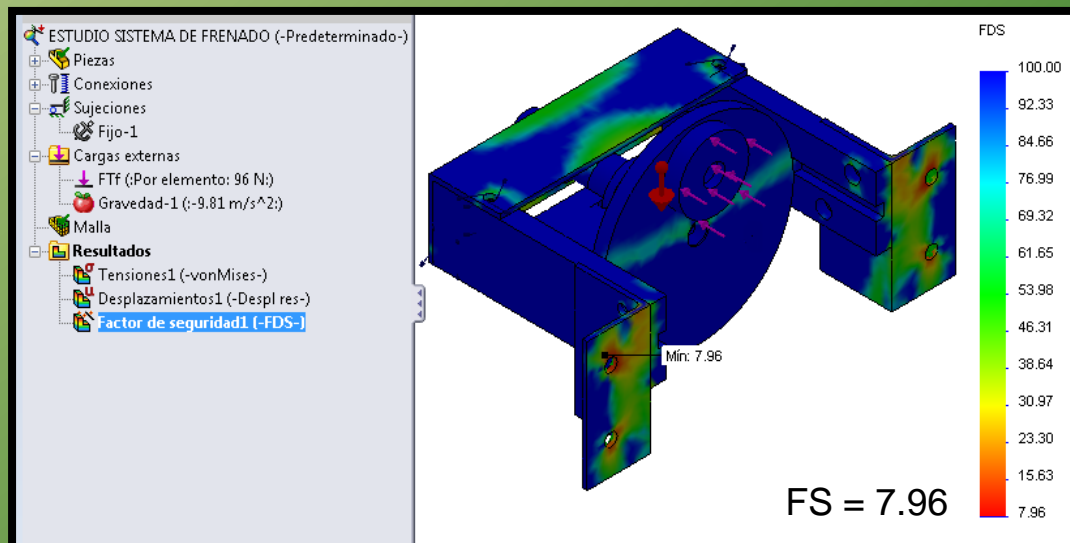
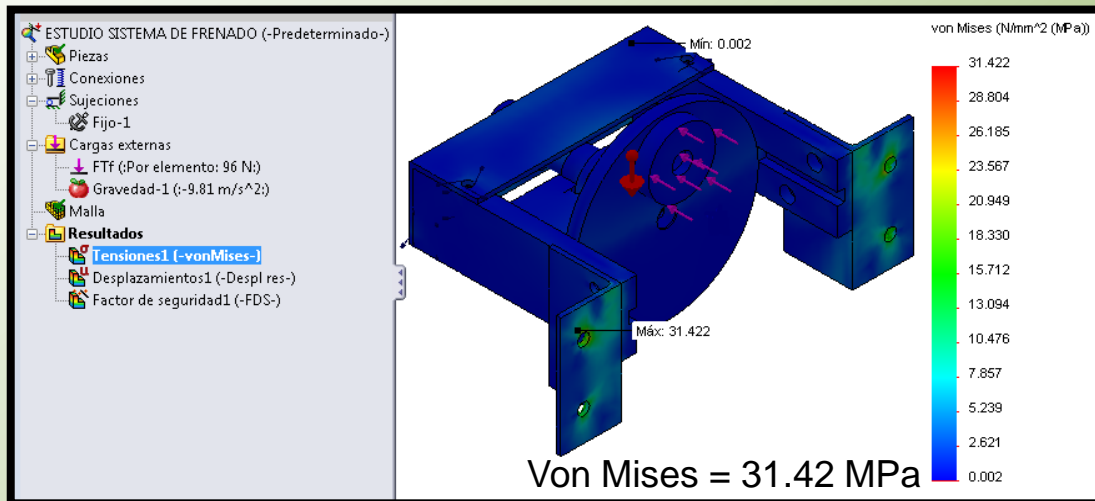
$$F_f = \frac{T_{sd}}{\mu_0 \cdot r_e}$$

$$r_e = \delta \cdot e = 0,03341 \text{ m.}$$

$$F_f = \frac{1,12 \text{ N.m}}{0,35 \cdot 0,03341 \text{ m}} = 96 \text{ N.}$$

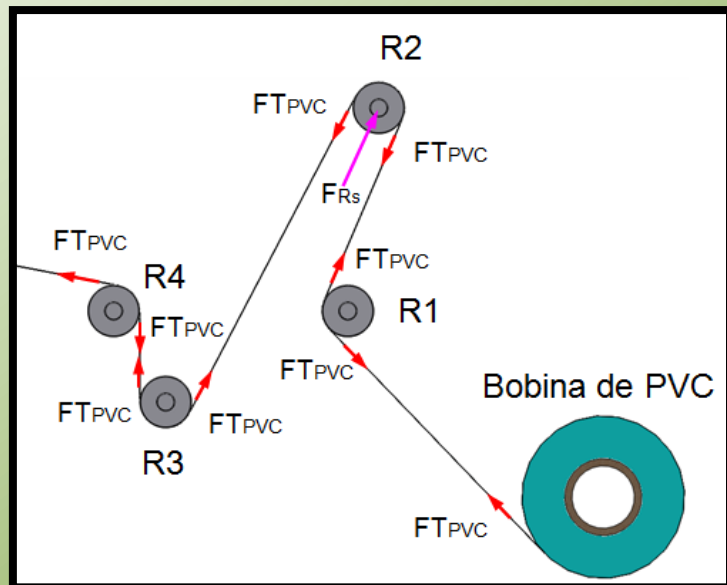
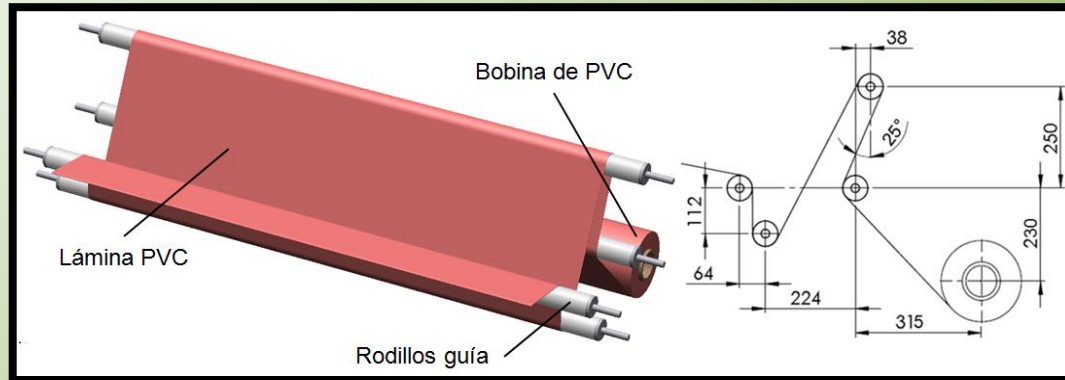


# Sistema de Frenado





## Sistema de guiado



- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Tensión total ( $FT_{PVC}$ ) generada en la lámina de PVC durante el arranque de sistema de desbobinado.

$$T_{sd} + T_f = FT_{PVC} \cdot r_b$$

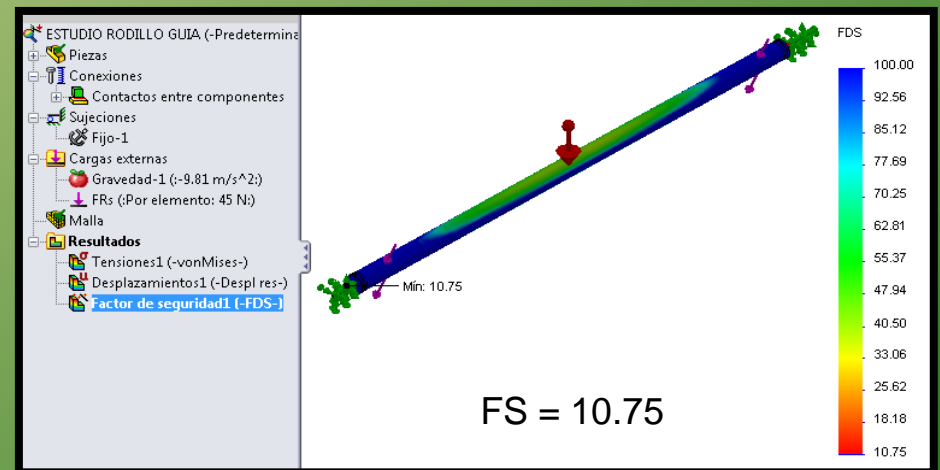
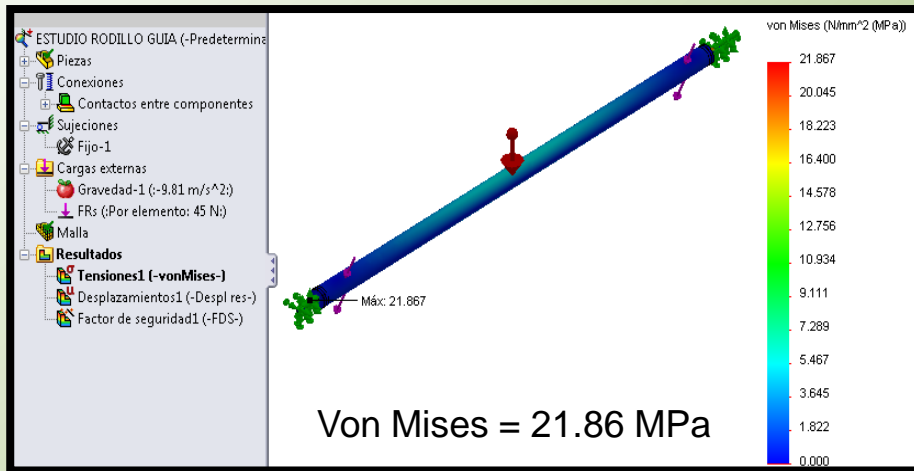
$$FT_{PVC} = \frac{T_{sd} + T_f}{r_b} = \frac{1,12 + 1,12}{0,1} = 22,4 \text{ N.}$$

$$F_{Rs} = 2FT_{PVC}$$

$$F_{Rs} = 2 \cdot 22,4 \text{ N} = 44,8 \text{ N} \approx 45 \text{ N.}$$



# Sistema de guiado

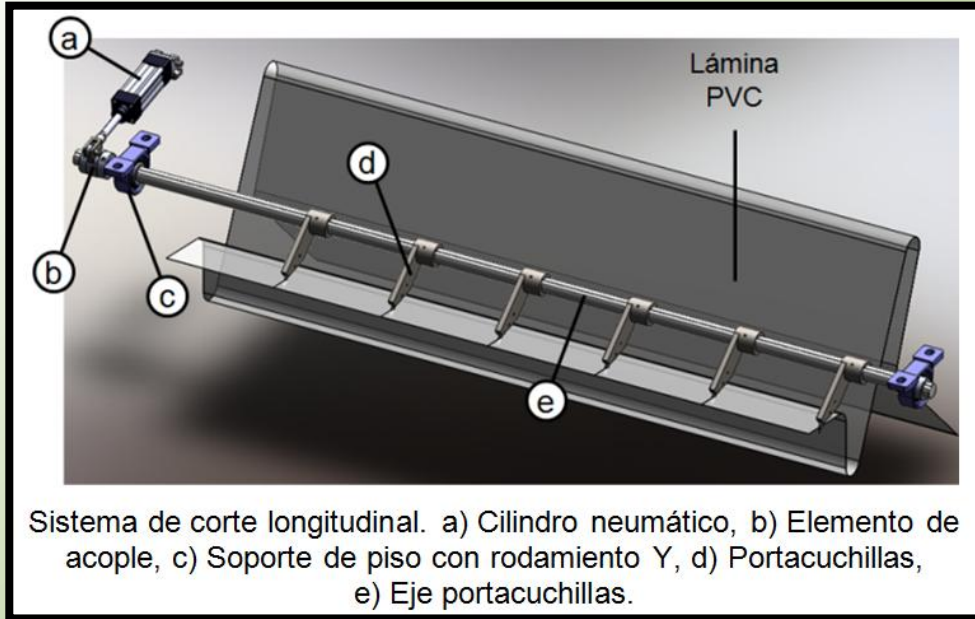




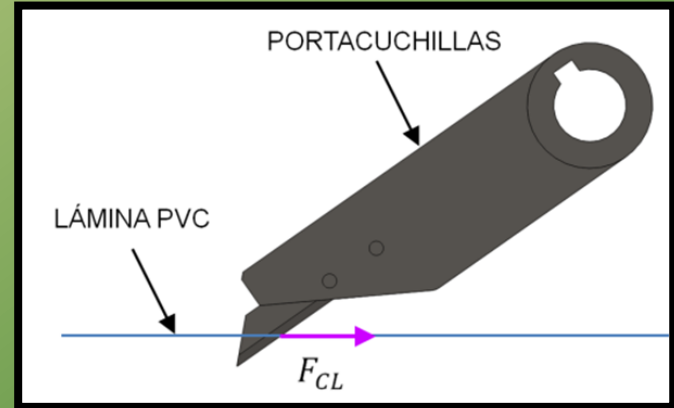
# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

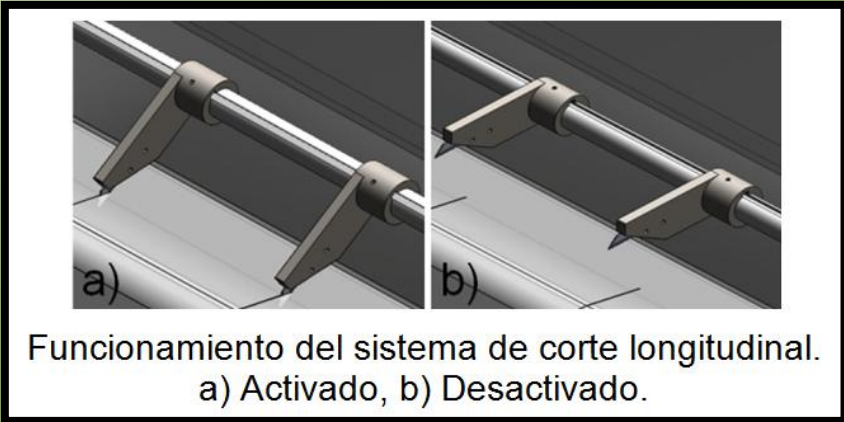
## Sistema de corte longitudinal



- Cargas muertas.

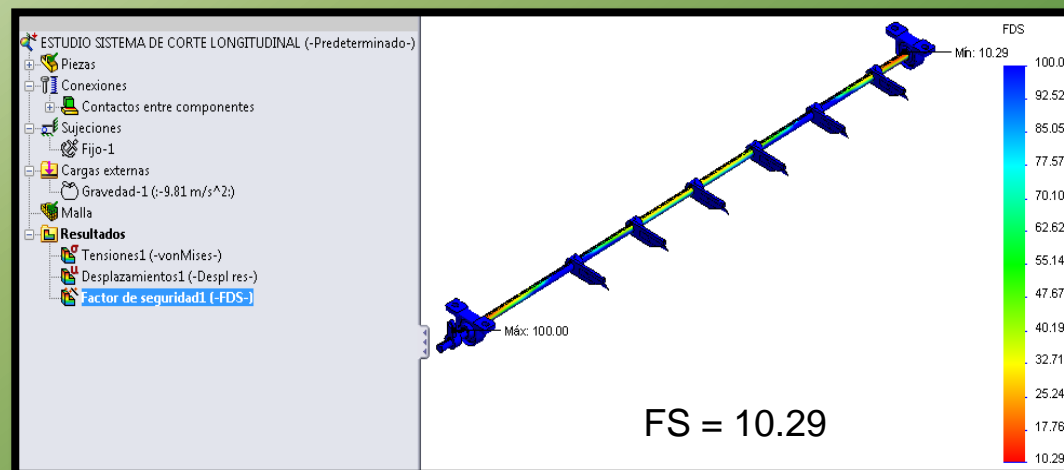
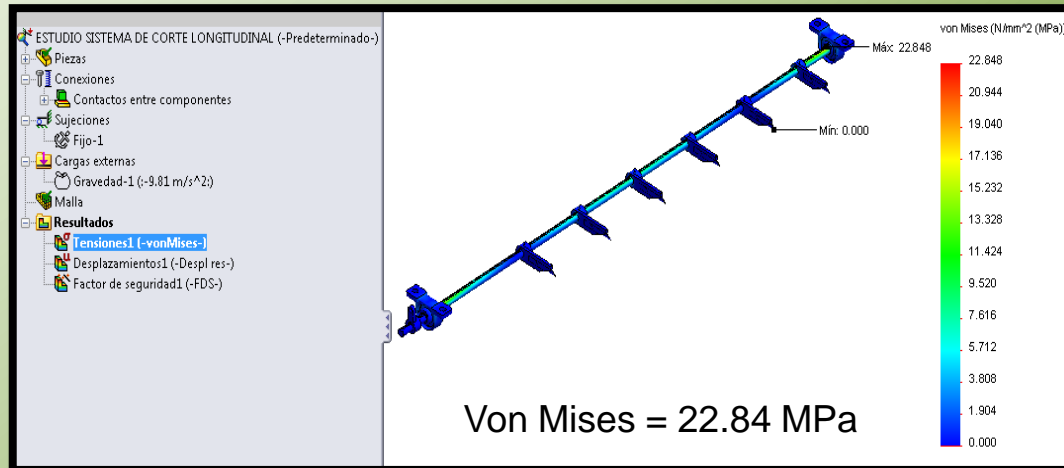


$$F_{CL} = 5 N.$$



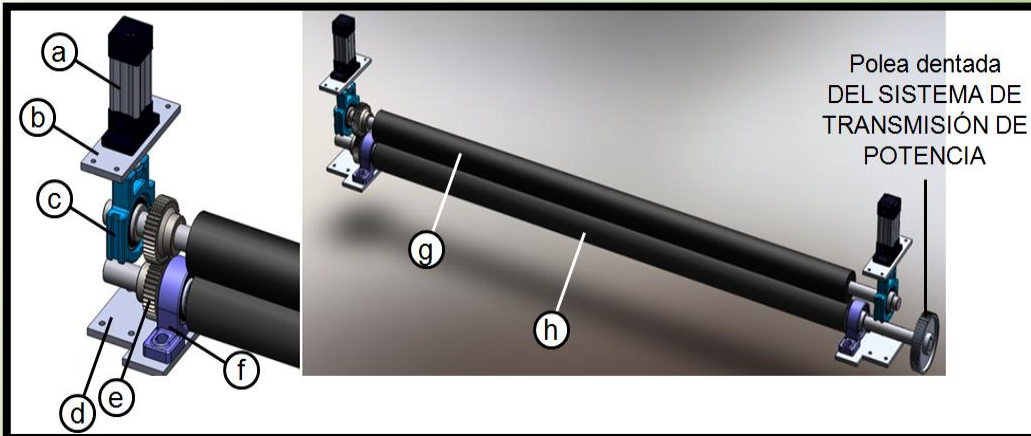


# Sistema de corte longitudinal





# Sistema de Arrastre



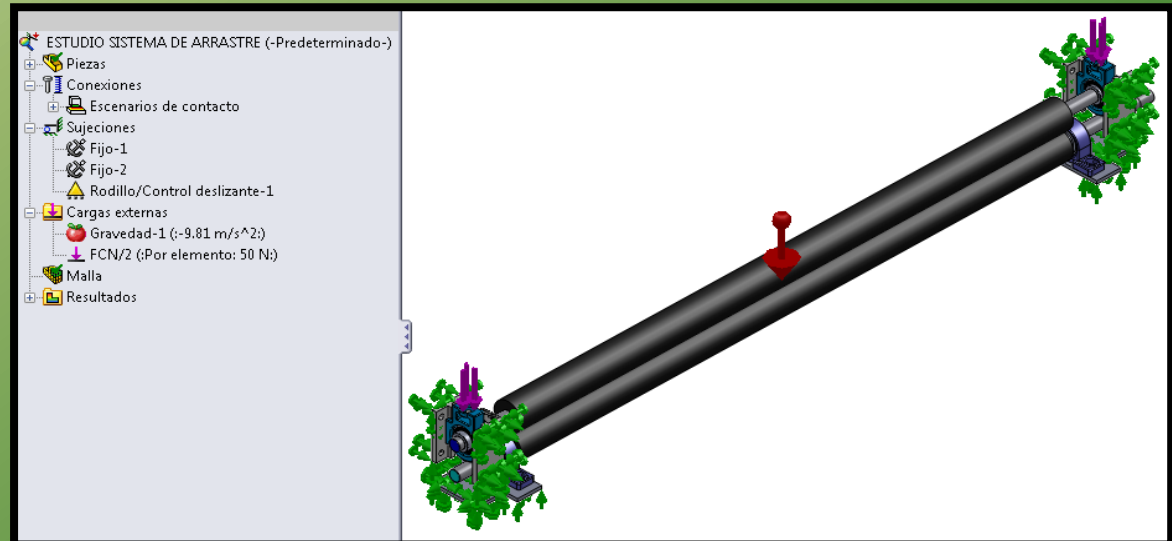
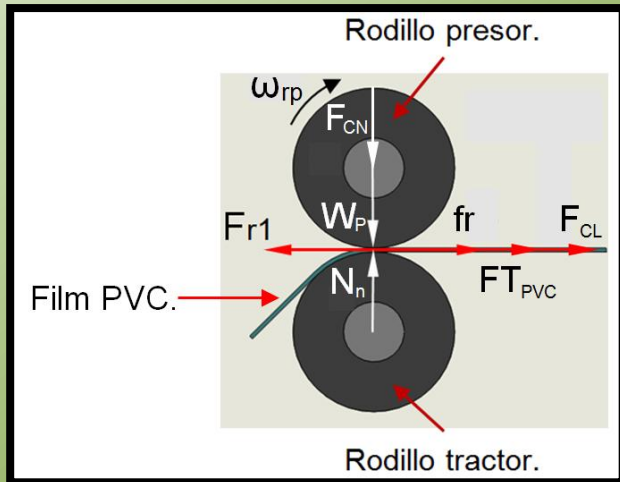
$$\sum \uparrow^+ Fy = 0.$$

$$N_n - W_P - F_{CN} = 0.$$

$$N_n = W_P + F_{CN}.$$

$$N_n = 224,3 N + 100 N \approx 325 N.$$

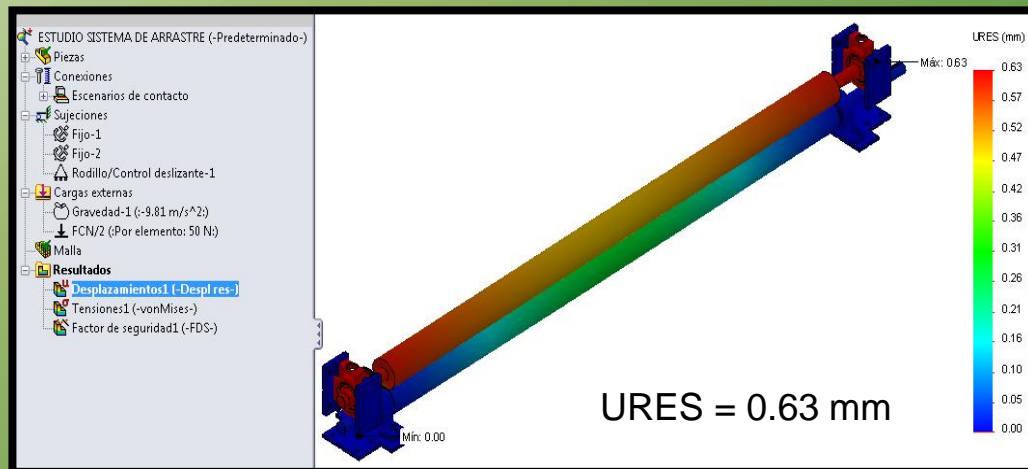
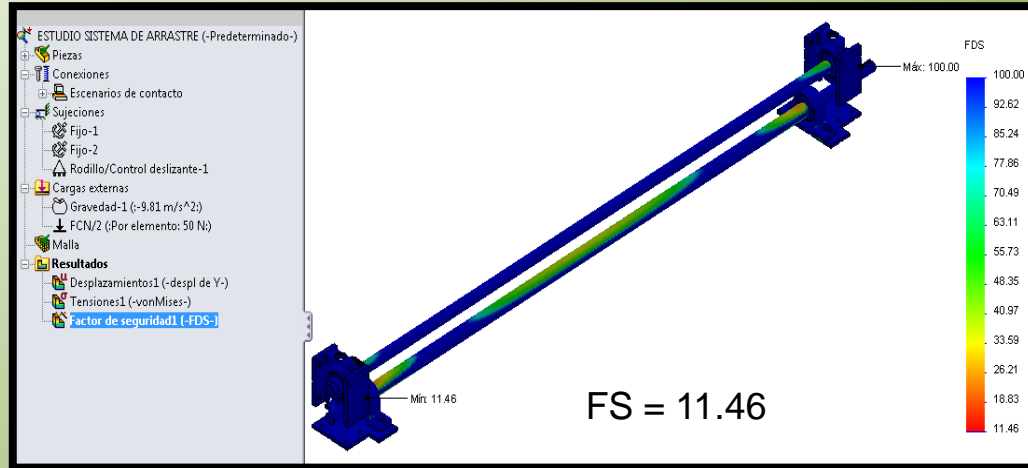
- Cargas muertas.
- Fuerza normal  $N_n$ .





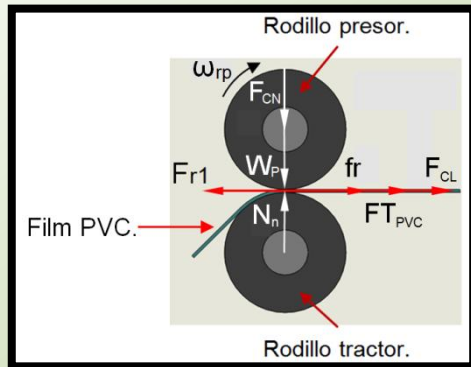


# Sistema de Arrastre





# Transmisión de potencia del Sistema de arrastre



$$\sum \leftarrow^+ Fx = 0.$$

$$F_{R1} - fr_n - FT_{PVC} - F_{CL} = 0.$$

$$F_{R1} = fr_n + FT_{PVC} + F_{CL}.$$

$$fr_n = 2\mu_1 \cdot N_n = 97,5 \text{ N.}$$

$$FT_{PVC} = 22,4 \text{ N.}$$

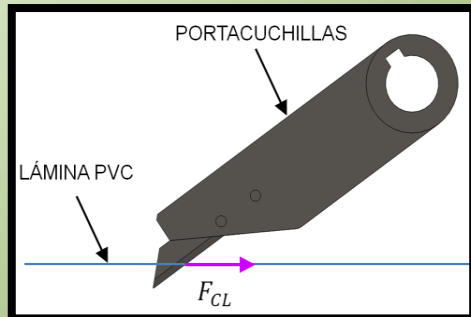
$$F_{CLT} = F_{CL} \cdot 6 = 30 \text{ N.}$$

$$\therefore F_{R1} = 149,9 \text{ N.}$$

$$P_{ARS} = F_{R1} \cdot v_{PVC} = 149,9 \text{ N} \cdot 0,167 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 25 \text{ W.}$$

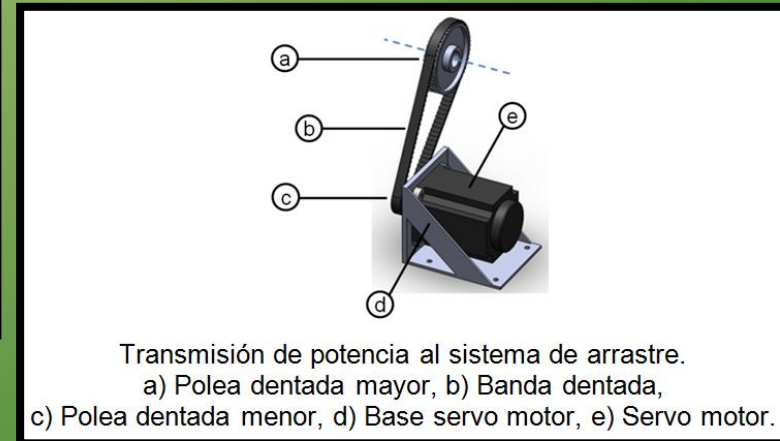
$$T_t = \frac{P_{ARS} \cdot 9550}{n_{rt}} = \frac{0,025 \cdot 9550}{40} = 5,96 \text{ N.m.}$$

$$\therefore P_{sm} = 1,5 \cdot P_{ARS} = 37,5 \text{ W.}$$



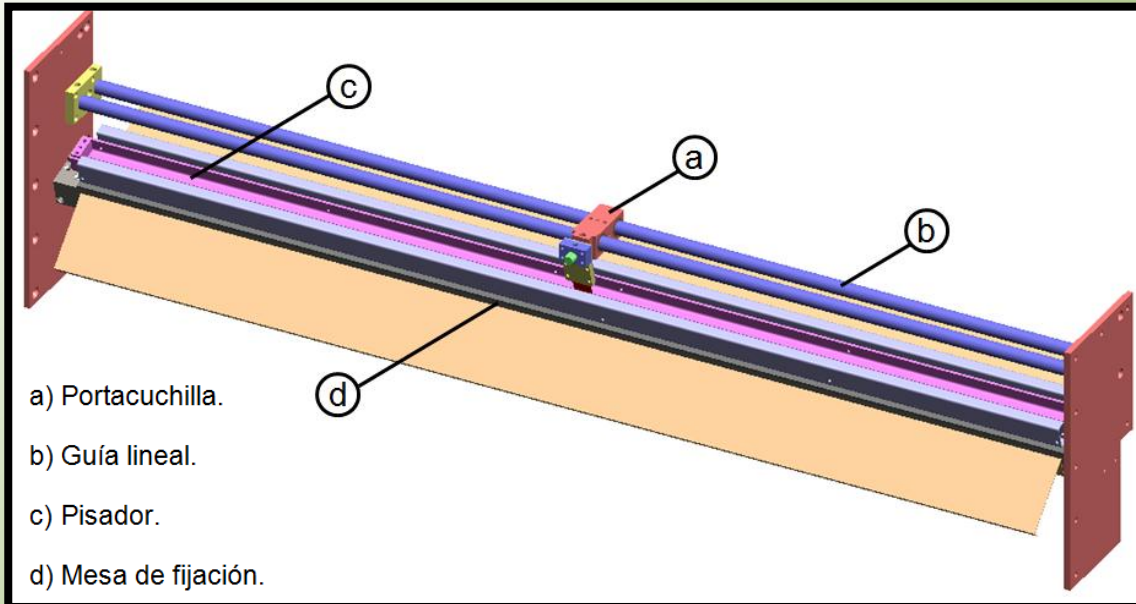
$$F_{CL} = 5 \text{ N.}$$

Specification	110SJT-M 040D	110SJT-M 060D	130SJT-M 040D	130SJT-M 050D	130SJT-M 060D
Item					
Rated power (kW)	1.0	1.5	1.0	1.3	1.5
Polar	4				
Input voltage of drive unit (V)	AC220 3-phase (or single)		AC220 3-phase		
Rated current (A)	4.5	7	4	5	6
Zero speed torque (N·m)	4	6	4	5	6
Rated torque (N·m)	4	6	4	5	6
Max. torque (N·m)	12	12	10	12.5	18
Rated speed (r/min)	2500	2500	2500	2500	2500
Max. speed (r/min)	3000	3000	3000	3000	3000
Rotational inertial (kg·m <sup>2</sup> )	0.68×10 <sup>-3</sup>	0.95×10 <sup>-3</sup>	1.1×10 <sup>-3</sup>	1.1×10 <sup>-3</sup>	1.33×10 <sup>-3</sup>
Weight (kg)	6.1	7.9	6.5	6.5	7.2
Insulation grade	B				
Vibration grade	R				
Defence grade	IP65				
Installation type	IMB5 (Flange installation)				
Working mode	S1 (Serial working mode)				
Resolution of encoder (p/r)	Incremental type 2500 (Standard configuration)				





# Sistema de Corte Transversal



- a) Portacuchilla.
- b) Guía lineal.
- c) Pisador.
- d) Mesa de fijación.



En la mesa de fijación:

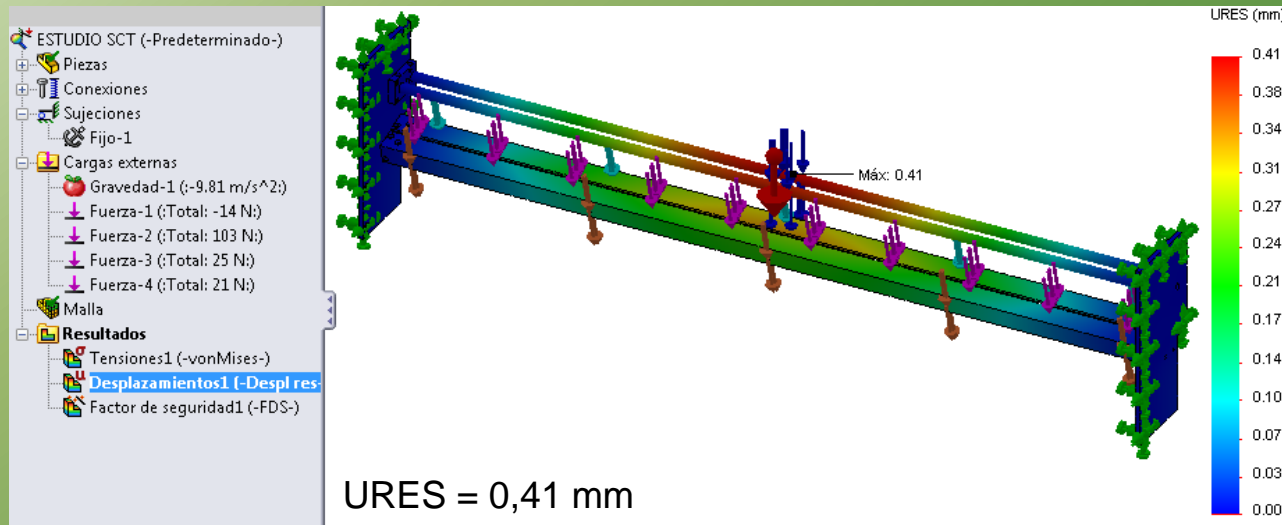
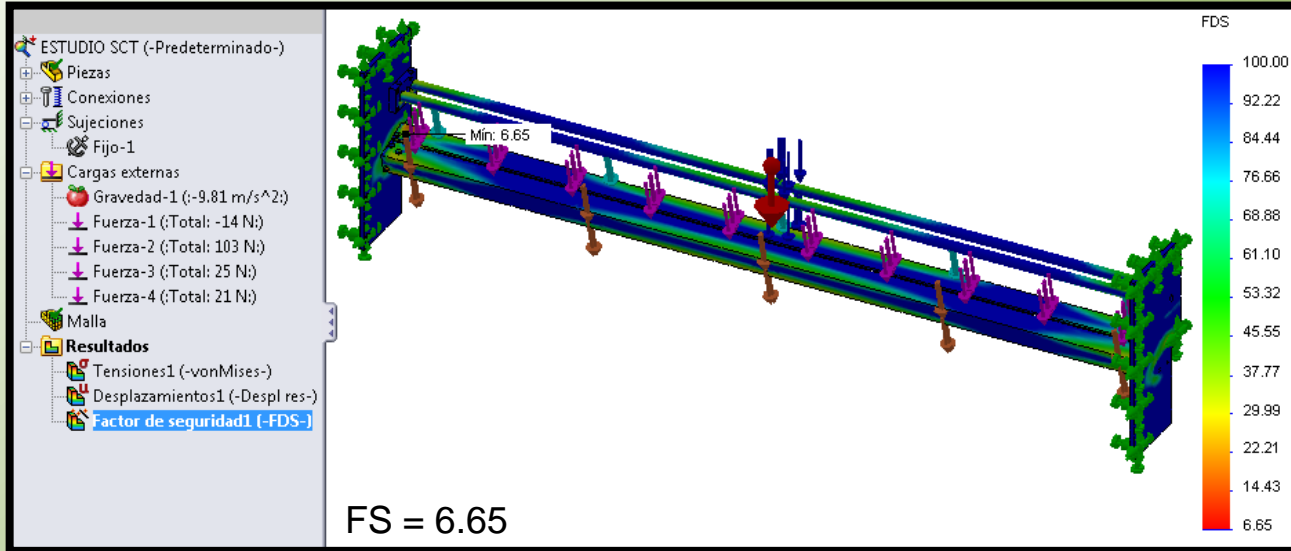
- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Peso del pisador (103 N).
- Peso de soportes de entrada y salida de material (21 N y 25 N).

En la guía lineal:

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Peso del portacuchilla (14 N).



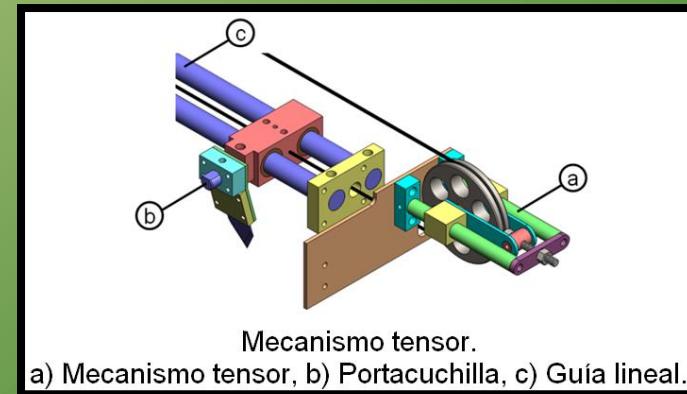
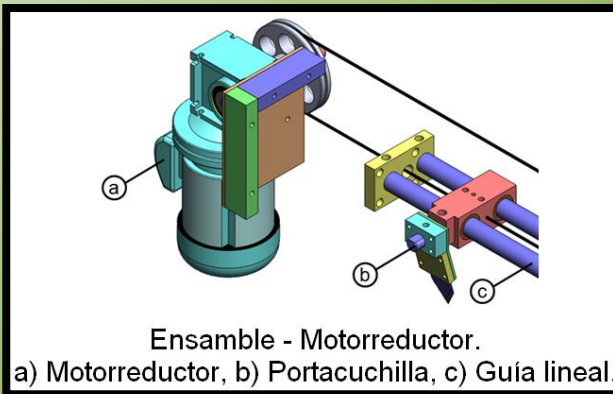
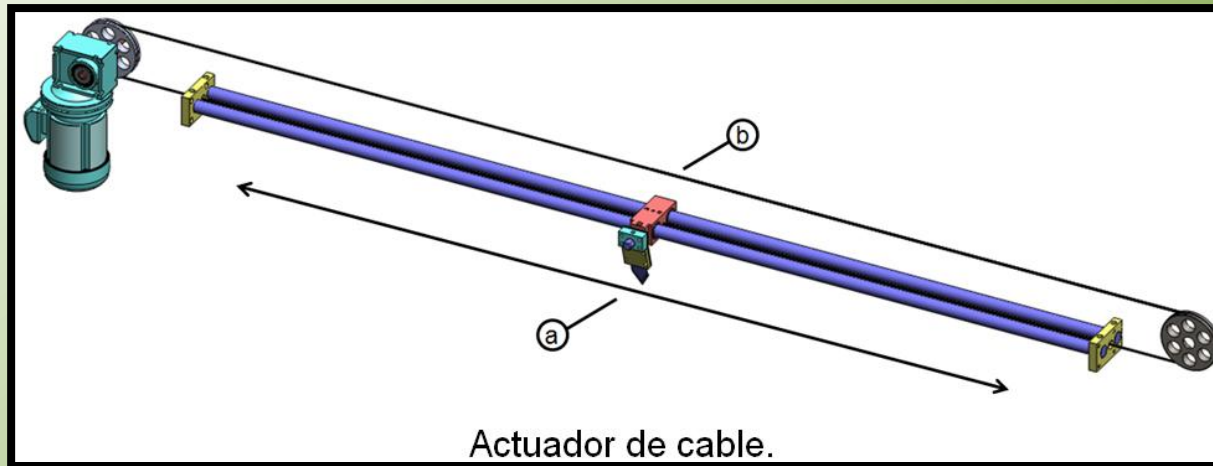
# Sistema de Corte Transversal







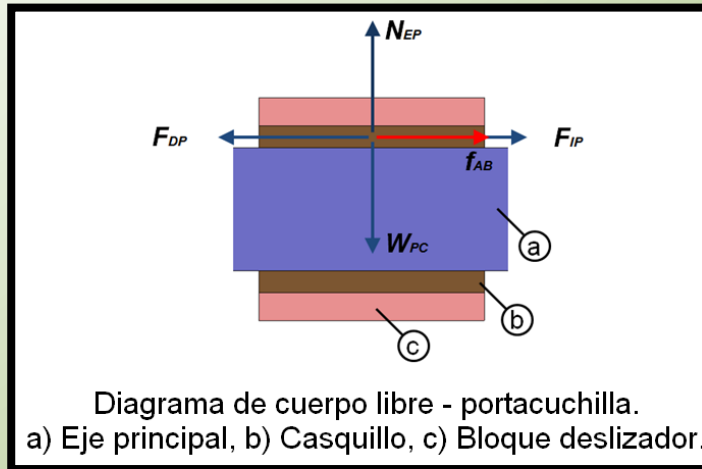
# Transmisión de potencia del Sistema de Corte Transversal







# Transmisión de potencia del Sistema de Corte Transversal



$$\sum \leftarrow^+ F_x = 0.$$

$$F_{DP} = f_{AB} + F_{IP}.$$

$$F_{DP} = 22,5 \text{ N}.$$
  

$$P_{DP} = F_{DP} \cdot v_{LP}.$$

$$P_{DP} = 22,5 \text{ W}.$$
  

$$\therefore P_{MR} = 1,5 \cdot P_{DP} = 34 \text{ W}.$$

KW	HP	Tipo	rpm	In (A)
0,09	0,12	56B-4	1346	0,33
0,13	0,18	63A-4	1355	0,40
0,18	0,25	63B-4	1393	0,56
0,25	0,35	63C-4	1380	0,72
0,25	0,35	71A-4	1400	0,69
0,37	0,5	71B-4	1366	1,04
0,55	0,75	71C-4	1400	1,47

$$T_{Cable} = F_{DP}.$$

$$T_{Cable} = 22,5 \text{ N}.$$

$$F_{rotura} \geq 6 \cdot T_{Cable}.$$

$$F_{rotura} \geq 6 \cdot 22,5 \text{ N}.$$

$$F_{rotura} \geq 135 \text{ N. (13,76 Kg)}$$

Cable de acero inoxidable AISI 304 7x19 Extra - Flexible.

Diámetro [mm]	Peso aprox. [Kg/1000 m]	AISI 304 Carga de Rotura [Kg]
2,00	16,70	295
2,50	26,00	430
3,00	37,00	540
4,00	67,00	10,89



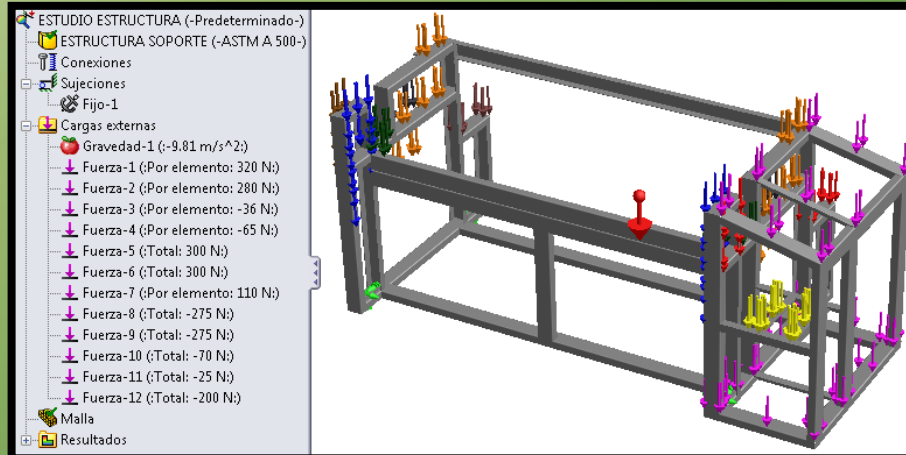
# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Estructura Soporte

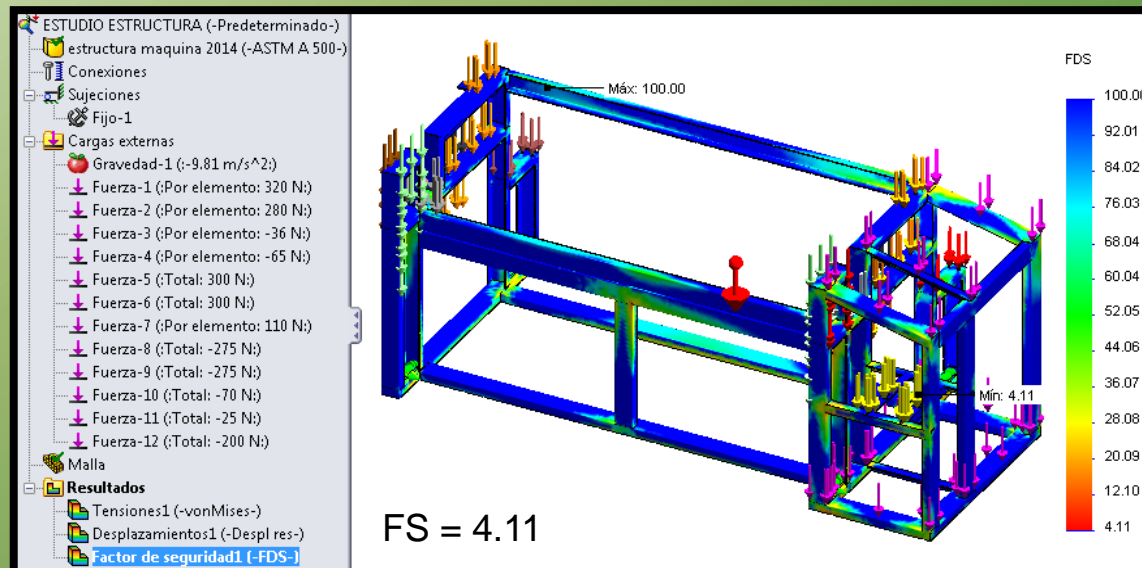
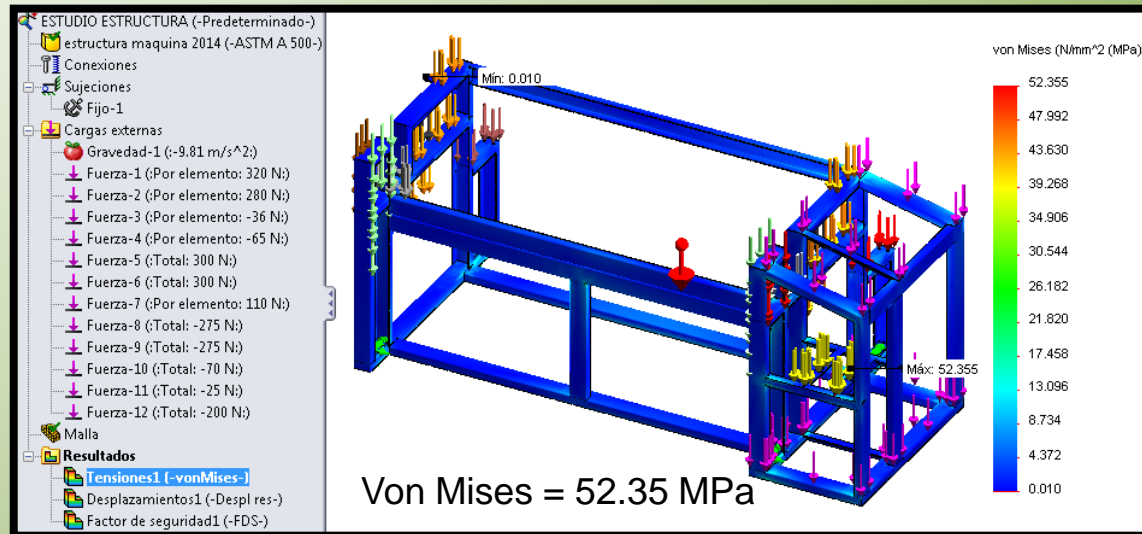
- Cargas muertas.
- Reacciones en los puntos donde cada sistema se une a la estructura.
- Peso de los componentes del tablero eléctrico y de control.

ITEM	SISTEMA	CARGAS	VALOR [N]
1	Sistema de desbobinado.	Reacción en la base del mecanismo A.	320
		Reacción en la base del mecanismo B.	280
2	Sistema de guiado.	Reacción en cada soporte de piso de los rodillos guía.	36
3	Sistema de corte longitudinal.	Reacción en cada soporte de piso del sistema de corte longitudinal.	65
4	Sistema de arrastre.	Reacción en cada placa base del sistema de arrastre.	300
		Reacción en la base del servo motor.	110
5	Sistema de corte transversal.	Reacción en cada placa lateral.	275
		Reacción en la base del motorreductor.	70
		Reacción en la placa soporte del mecanismo tensor.	25





## Estructura Soporte





# Sistema Neumático

$$F_{C1} = 22,17 N$$

$$d_{C1} = 6,86 mm \approx 7 mm.$$

CILINDRO ISO ESTÁNDAR MCQI-11-32-60M-CDB.	
Diámetro del embolo.	32 mm.
Diámetro del vástago.	12 mm.
Carrera.	60 mm.
Conexión.	PT¼.

$$F_{C2} = 110,3 N$$

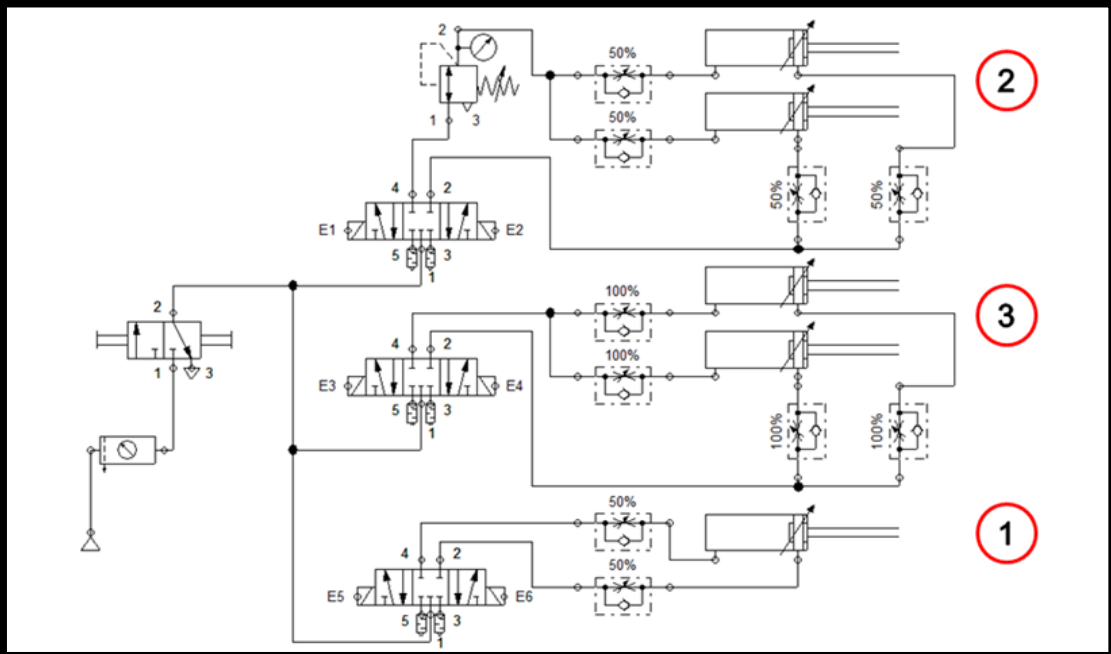
$$d_{C2} = 15,3 mm \approx 16 mm.$$

CILINDROS ISO ESTÁNDAR MCQI-11-32-30M-FAC.	
Diámetro del embolo.	32 mm.
Diámetro del vástago.	12 mm.
Carrera.	30 mm.
Conexión.	PT¼.

$$F_{C3} = 52 N.$$

$$d_{C3} = 10,5 mm \approx 11 mm.$$

CILINDROS ESTÁNDAR ISO MCMI-11-16-25	
Diámetro del émbolo.	16 mm.
Diámetro del vástago.	6 mm.
Carrera.	25 mm.
Conexión.	M5 x 0.8.

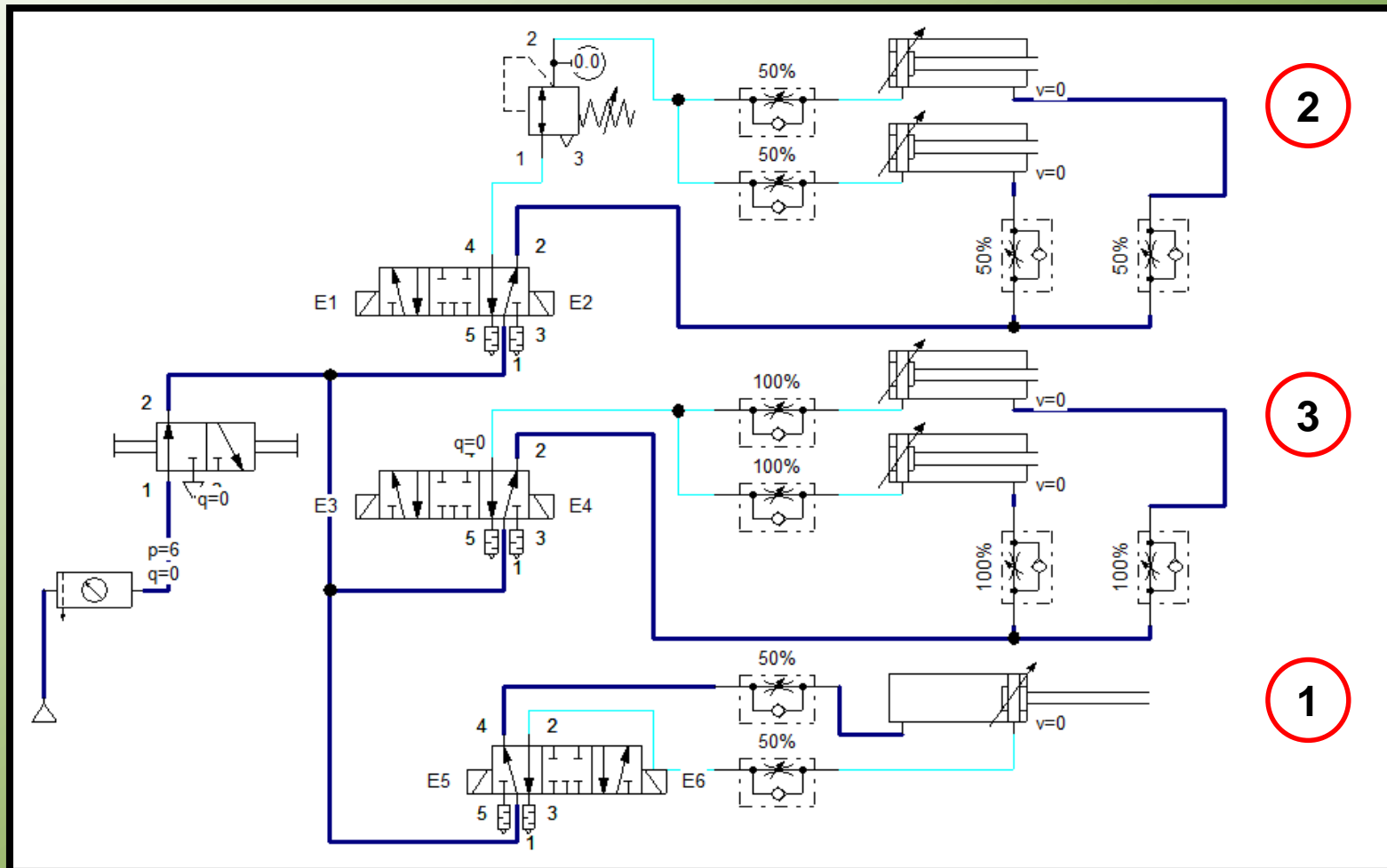


Circuito neumático de la máquina. 1) Cilindro neumático - eje portacuchillas, 2) Cilindros neumáticos - rodillo presor, 3) Cilindros neumáticos – pisador.

$$d_{Cn} = \sqrt[2]{\frac{4 \times F_{Cn}}{\pi \times P}}$$



# Sistema Neumático



Simulación en Festo Fluidsim V3.6



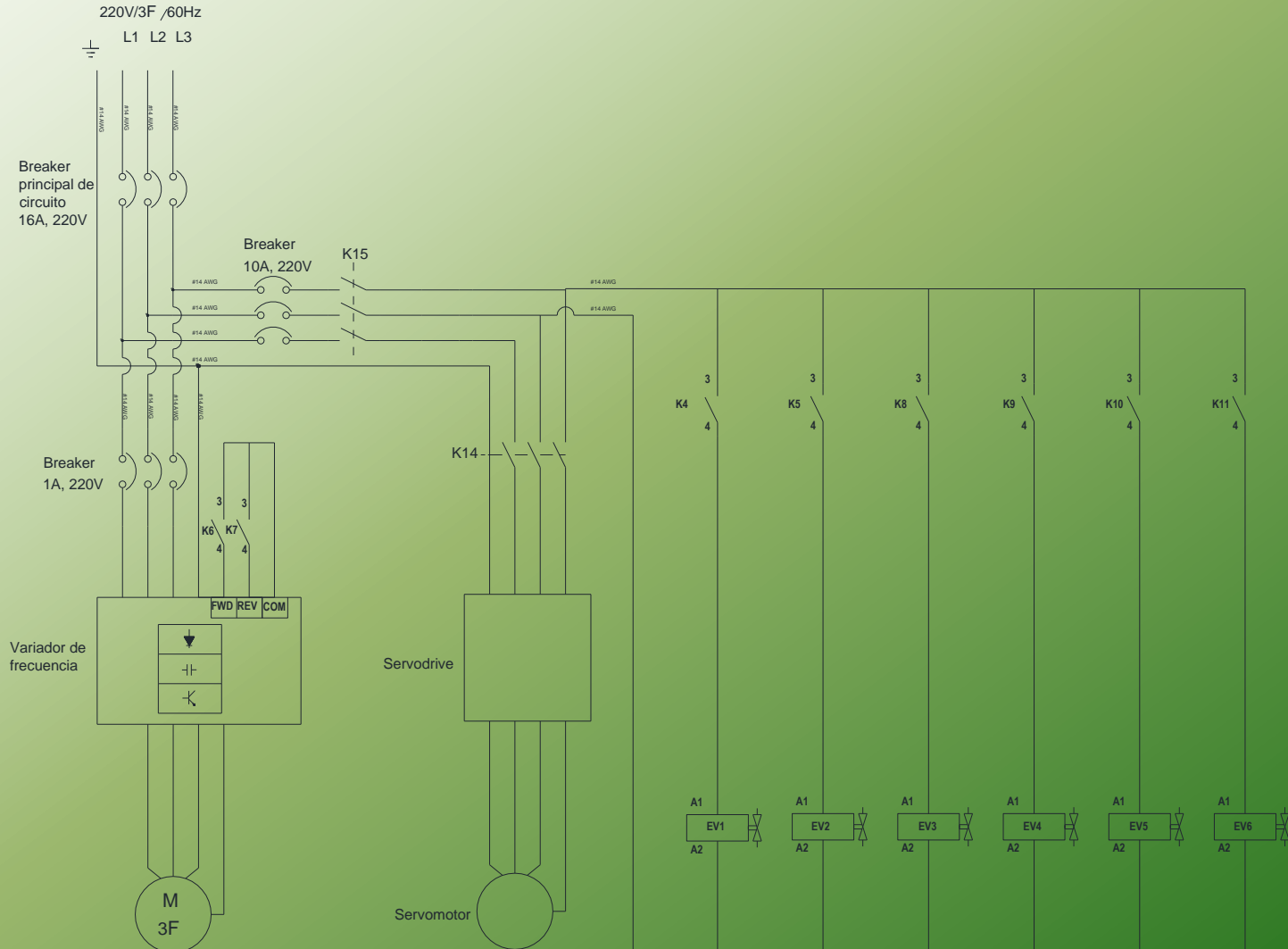




# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Sistema Eléctrico





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Tablero Eléctrico Selección de componentes

ELEMENTO	CÁLCULO	SELECCIÓN	
		CONTACTOR	CARACTERÍSTICAS
Contactor	$I_{CONT} = 1,25 \cdot I_{n_{sm}}$ $I_{CONT} = 1,25 \cdot 4 A.$ $I_{CONT} = 5 A.$	Fabricante	LS Industrial Systems
		Tipo	GMC-9
		Número de polos	3
		Voltaje de bobina	220 V
		Voltaje de trabajo	220 V
		Contactos auxiliares	2 NA / 2 NC
		Categoría de servicio	AC3

ELEMENTO	CÁLCULO	SELECCIÓN	
		BREAKER	CARACTERÍSTICAS
Protección del circuito derivado del servo motor	$I_{prot_{sm}} = 2 \cdot I_{n_{sm}}$ $I_{prot_{sm}} = 2 \cdot 4 A.$ $I_{prot_{sm}} = 8 A.$	Marca	CAMSCO
		Serie	C60N 3P 10A
		Corriente nominal	10 A
		Número de polos	3
		Capacidad de ruptura	6 KA
		Voltaje	220 V

ELEMENTO	CÁLCULO	SELECCIÓN	
		BREAKER	CARACTERÍSTICAS
Protección del circuito derivado del motorreductor	$I_{prot_{mr}} = 2 \cdot I_{n_{mr}}$ $I_{prot_{mr}} = 2 \cdot 0,33 A.$ $I_{prot_{mr}} = 0,66 A.$	Marca	CAMSCO
		Serie	C60N 3P 1A
		Corriente nominal	1 A
		Número de polos	3
		Capacidad de ruptura	6 KA
		Voltaje	220 V

ELEMENTO	CÁLCULO	SELECCIÓN	
		BREAKER	CARACT.
Protección del alimentador	$I_{prot_{Alim.}} = 2,5 \cdot I_{n_{Motor\ mayor}} + \sum I_{n_{Otras\ cargas}}$ $I_{prot_{Alim.}} = 2,5 \cdot I_{n_{sm}} + I_{n_{mr}} + I_{oc}$ $I_{prot_{Alim.}} = (2,5 \cdot 4) + 0,33 + 5 = 15,33 A.$	Marca	CAMSCO
		Serie	C60N 3P 16A
		Corriente nominal	16 A
		Número de polos	3
		Capacidad de ruptura	6 KA
		Voltaje	220 V



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Sistema de control



PLC	CARACTERÍSTICAS
Marca	XINJE
Voltaje de trabajo	100 - 240 V
Frecuencia	50 / 60 Hz
Temperatura ambiente	0 - 60 °C
Consumo de potencia	12 W
Fuente de voltaje interno	24 V DC ± 10% max 400 mA
Número de entradas	18
Número de salidas a transistor	2 (Y0, Y1)
Número de salidas a relé	12 (Y2 - Y15)
Software de programación	Gratuito
Lenguaje de programación	Ladder

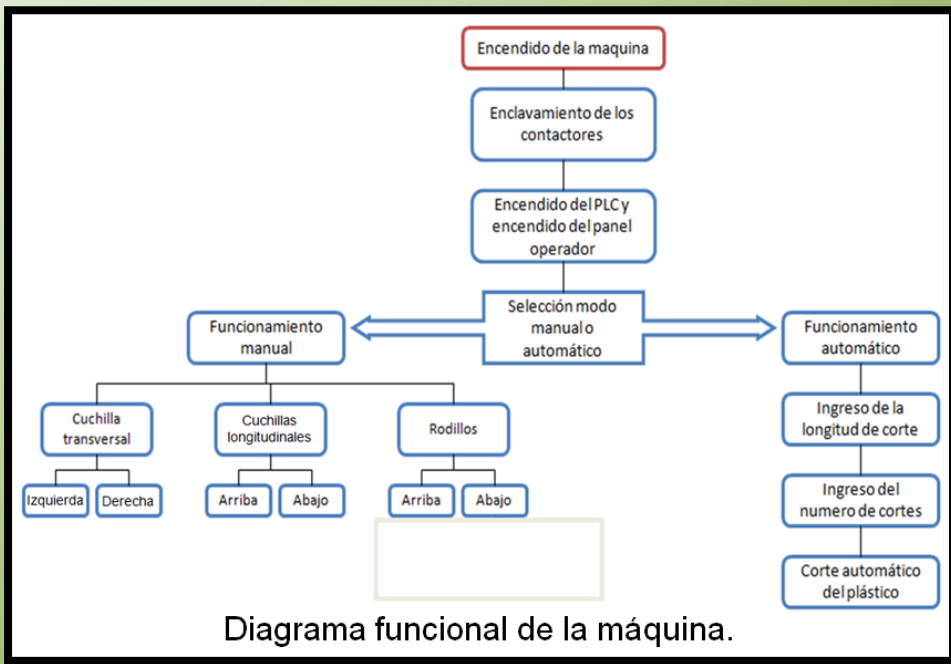
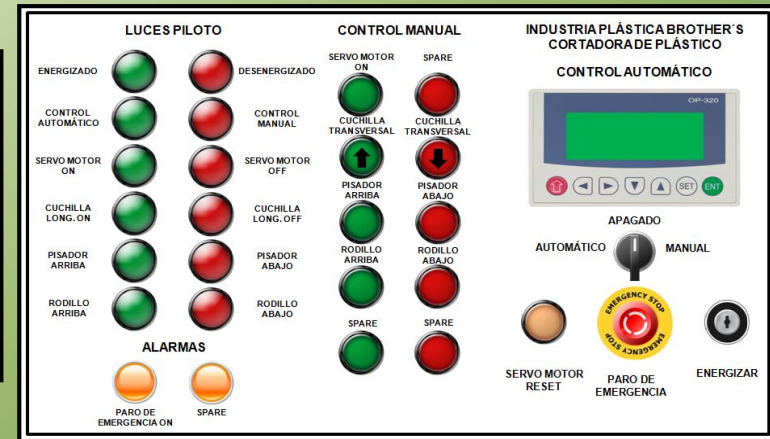
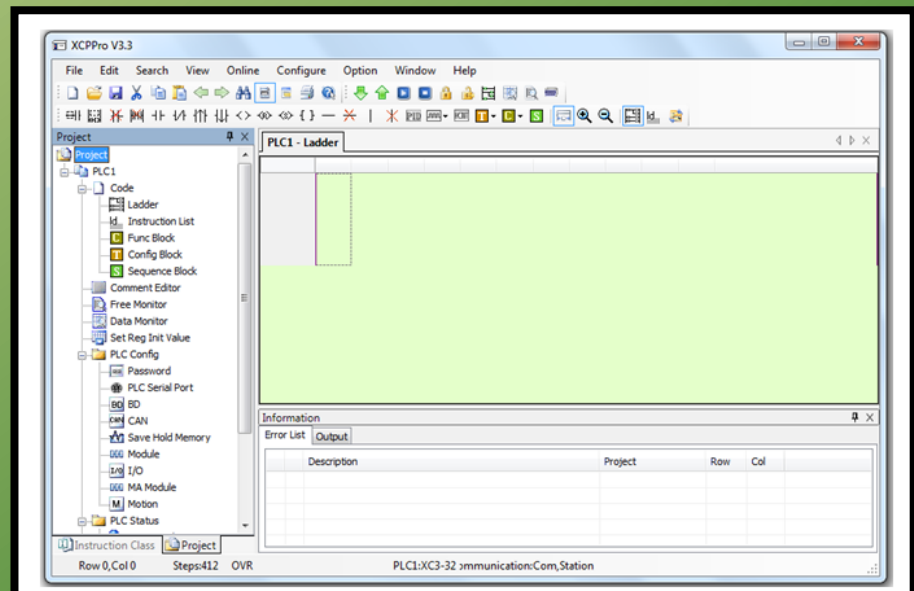


Diagrama funcional de la máquina.



Pantalla inicial del programa XCP Pro V3.3C.



# Implementación del HMI



Selección del panel de operación.



Selección del PLC.

## Características del panel operador.

PANEL OPERADOR	CARACTERÍSTICAS
Fabricante	XINJE
Modelo	OP-320
Voltaje de alimentación	24 V DC
Potencia	< 4 W
Comunicación	RS-232
Temperatura de operación	0-50 °C
Humedad	20~85 %
Color de pantalla	Monocromática Azul



Pantalla de inicio del software OP20 Edit Tool.





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

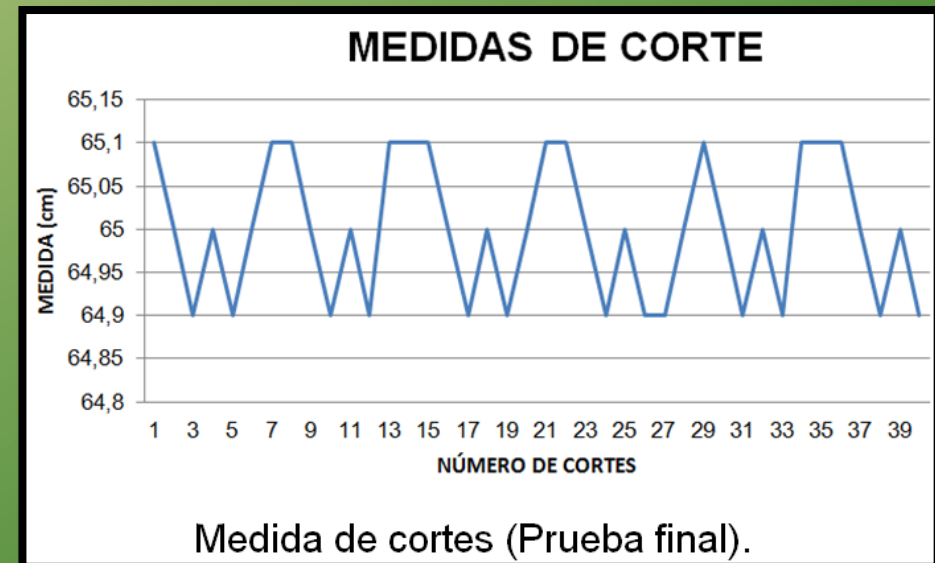
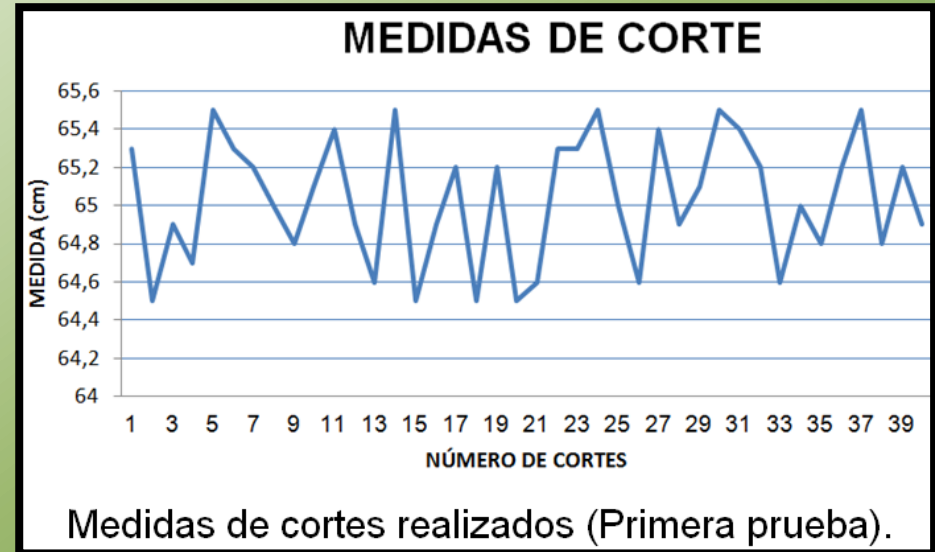
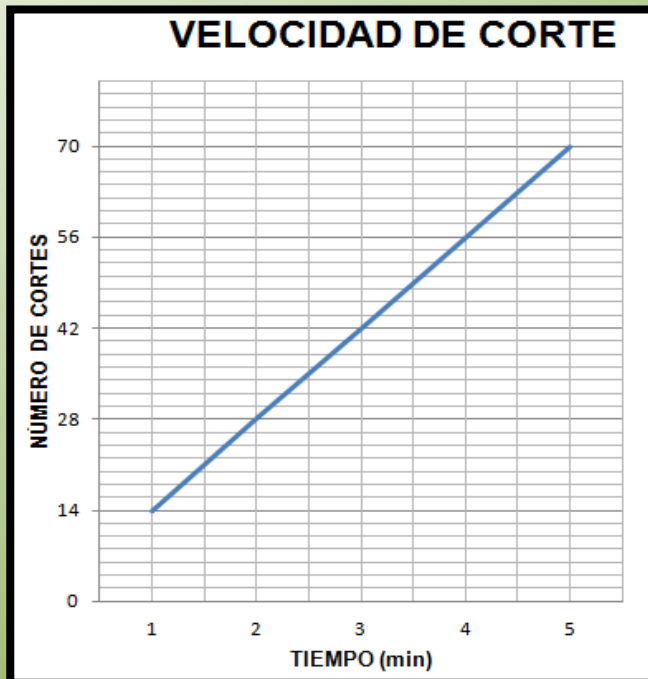
## Implementación del HMI





## Pruebas y resultados

- Velocidad del servo motor: 200 rpm.
- Tiempo de reinicio de ciclo: 2 seg.
- Tiempo de inicio de corte transversal: 1 seg.





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

## Costo total de la máquina (Inversión inicial).

ÍTEM	DENOMINACIÓN	V. TOTAL
1	Materiales directos.	6624,76
2	Mano de obra directa.	1959,71
3	Otros costos indirectos.	150,00
TOTAL (Inversión inicial).		8734,47

## Inversión año 1 proyectada de la máquina.

ÍTEM	DENOMINACIÓN	V. TOTAL
1	Materiales directos.	9240,32
2	Mano de obra directa.	4224,00
3	Otros costos indirectos.	500,00
Inversión año 1.		13964,32

INDICADORES	RESULTADO
VAN	U\$ 26176,73
TIR	79 %
PRC	1 año 8 meses
RBC	5,96

## Flujos de caja proyectados para 5 años.

DETALLE	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INVERSIÓN.	8734,47	13964,32	14243,60	14528,47	14819,04	15115,42
VENTAS.	-	18500,00	21275,00	24466,25	28136,18	32356,61
FLUJOS DE CAJA.	-8734,47	4535,68	7031,39	9937,77	13317,13	17241,18



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una máquina de corte longitudinal y transversal de láminas de plástico PVC de hasta 250  $\mu\text{m}$  de espesor con un sistema HMI, la cual cumple con los parámetros de diseño y requerimientos operacionales solicitados por la Industria Plástica Brother's.
- Se recopiló la información necesaria de acuerdo con las exigencias del proceso de corte, lo cual permitió seleccionar la alternativa más adecuada para cada sistema de la máquina en función de algunos parámetros de evaluación como: costo, mantenimiento, funcionalidad, operación, etc.
- Mediante el PLC THINGET XC3-32RT-E se consiguió el control de la velocidad y posición del servo motor alcanzando una precisión en la medida de corte de  $\pm 1$  mm, tolerancia que está dentro de los requerimientos exigidos. También se implementó un sistema HMI, el cual establece una comunicación fácil, rápida y entendible entre el operador y la máquina.
- El capital asignado para la construcción de la máquina representa una excelente inversión ya que dicha cantidad se recuperará en un tiempo estimado de 1 año 8 meses considerando que con la automatización de un proceso manual se logró realizar la labor de 5 trabajadores.
- Con la implementación de la máquina se consiguió un incremento en la cantidad de cortes de láminas PVC de 150 cortes/h a 840 cortes/h, lo cual promueve a la industria a continuar con la automatización de nuevos procesos.





**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# RECOMENDACIONES

- Para incrementar la producción de la máquina es necesario reducir el tiempo de corte transversal, por lo tanto es recomendable ampliar el diámetro de las poleas acopladas al motorreductor y al mecanismo tensor.
- Si se pretende controlar mayor número de parámetros como tensión y alineación automática de la lámina PVC, se recomienda adicionar módulos de entradas y salidas al PLC.
- Para reducir el trabajo realizado por el operador de la máquina, se recomienda diseñar y construir un sistema automático de montaje de bobinas de plástico PVC.
- Si en un futuro se requiere que la máquina sea totalmente automática, es necesario implementar un sistema automático de apilado de láminas PVC.
- Para la implementación de proyectos posteriores es recomendable utilizar equipos de la misma marca debido a la facilidad de comunicación entre dichos dispositivos.





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN