



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



# DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

**MODELADO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA SOPLADORA DE POLIETILENO; CON LA FINALIDAD DE INCREMENTAR LOS ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, EN LA EMPRESA INPLÁSTICO.**

**AUTORES: PANCHI AIMACAÑA, ADRIÁN DAVID**

**SOLÓRZANO RAMÍREZ, SANTIAGO CAMILO**

**DIRECTOR: ING. SÁNCHEZ OCAÑA, WILSON EDMUNDO**

**2019**





# INTRODUCCIÓN

En la última década el sector industrial del plástico ha evolucionado en cuanto a su crecimiento, este ha ido a la par con la evolución tecnológica la cual ocurre a pasos agigantados, es por esto que en el presente trabajo se busca una optimización del proceso mediante la realización de la automatización de una maquina sopladora de polietileno con la finalidad de incrementar los índices de productividad, junto a esto también se realizó el modelado del proceso de soplado, partiendo desde la toma de datos experimentales de la maquina una vez que se encuentre en operación



En la actualidad la empresa Inplástico cuenta con una máquina de soplado de polietileno de doble estación, esta cuenta con equipos de automatización obsoletos lo no permite que la máquina produzca y junto con esto se genera una reducción en la productividad, debido a esto la empresa ha decidido realizar el modelamiento de la máquina sopladora para así predecir la funcionalidad del proceso y además también se propone la implementación de un sistema de automatización para dicha máquina.

# OBJETIVO GENERAL

Modelar y automatizar una máquina sopladora de polietileno; con la finalidad de incrementar los índices de productividad, en la empresa Inplástico



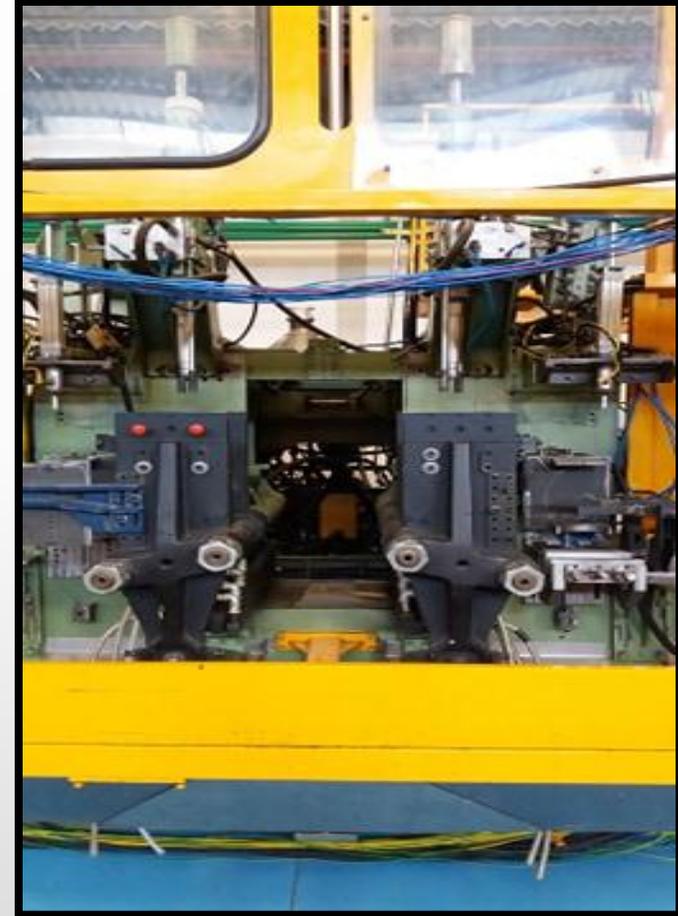
# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Modelar el proceso de soplado de polietileno.
- ✓ Diseñar el algoritmo de control para el PLC y la interfaz gráfica HMI que se implementara en la maquina sopladora.
- ✓ Diseñar el sistema de eléctrico y de control de la maquina con los respectivos elementos
- ✓ Selección de los equipos y materiales que conformaran el sistema eléctrico y de control
- ✓ Implementar el controlador lógico programables (PLC), la Interfaz Humano Maquina (HMI), las entradas y salidas requeridas y los elementos de protección necesarios.
- ✓ Realizar pruebas de funcionamiento de la maquina
- ✓ Validación de la hipótesis.



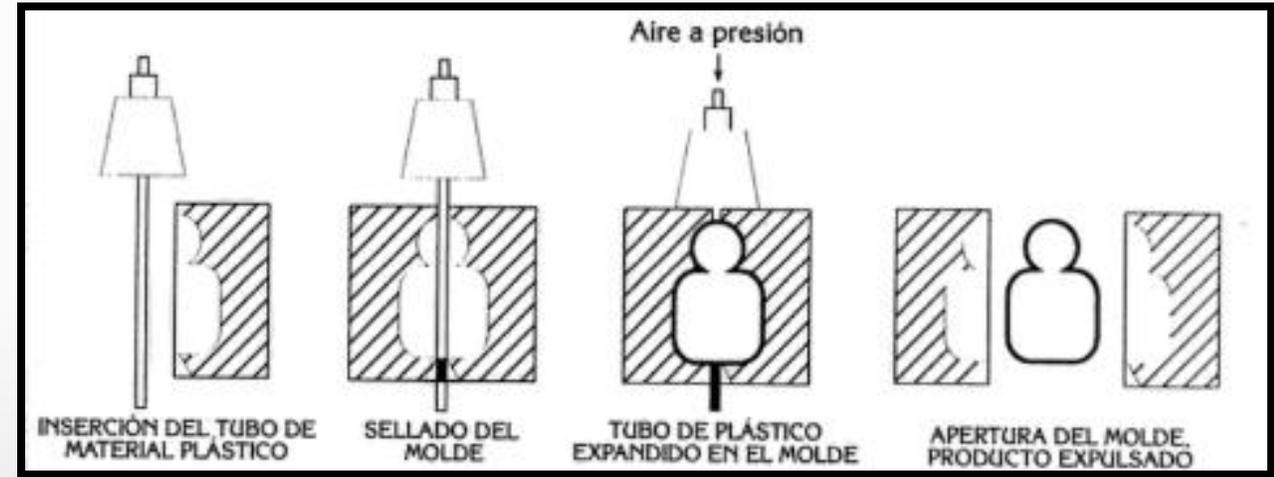
Las máquinas de soplado de plástico son equipos cuyo fin es la producción de objetos huecos de material termoplástico, con la opción de tener paredes con curvas entrantes y salientes, es decir, envases plásticos.

La producción de estos envases depende del material a utilizar, dimensiones, exactitud en las dimensiones y principalmente del proceso a utilizar.



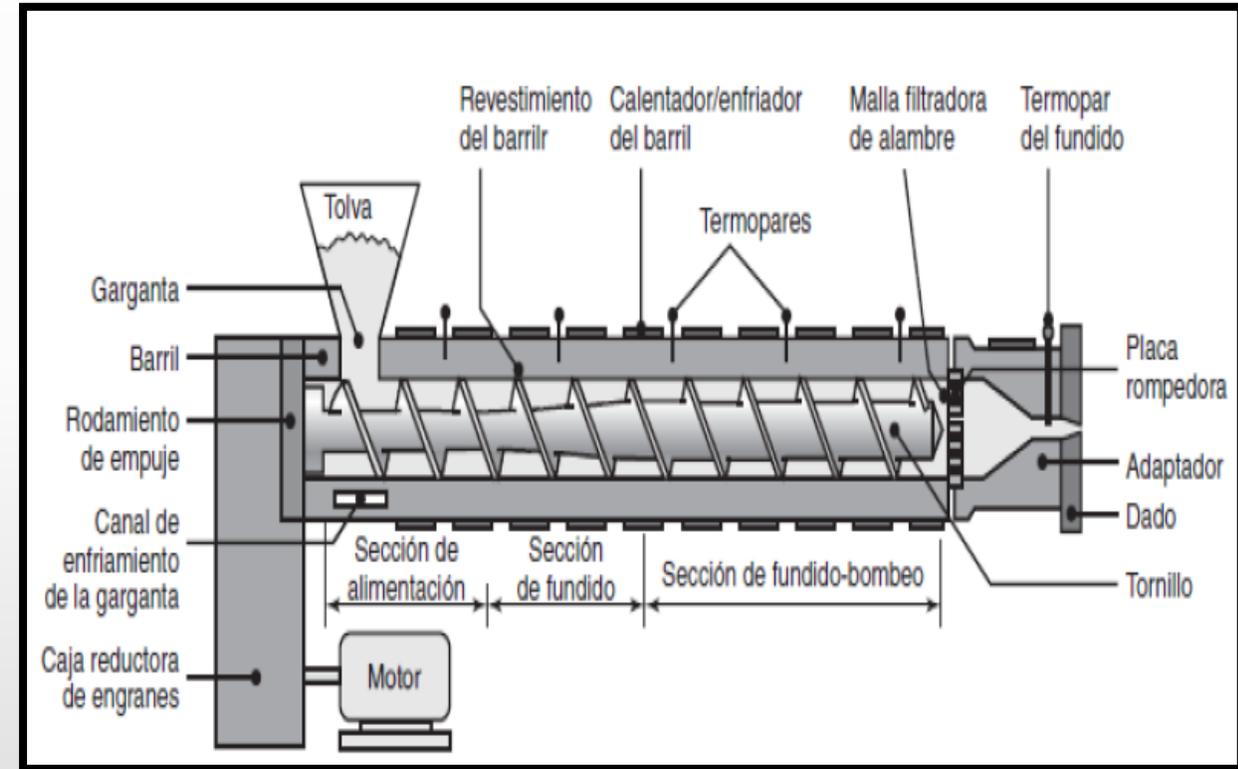
# SOPLADO DE PLÁSTICO

Este proceso consiste en la extrusión de un tubo de plástico o también conocido como preforma, hacia el interior de la cavidad de un molde, y debido a la liberación de aire a alta presión dicho tubo toma la forma del molde



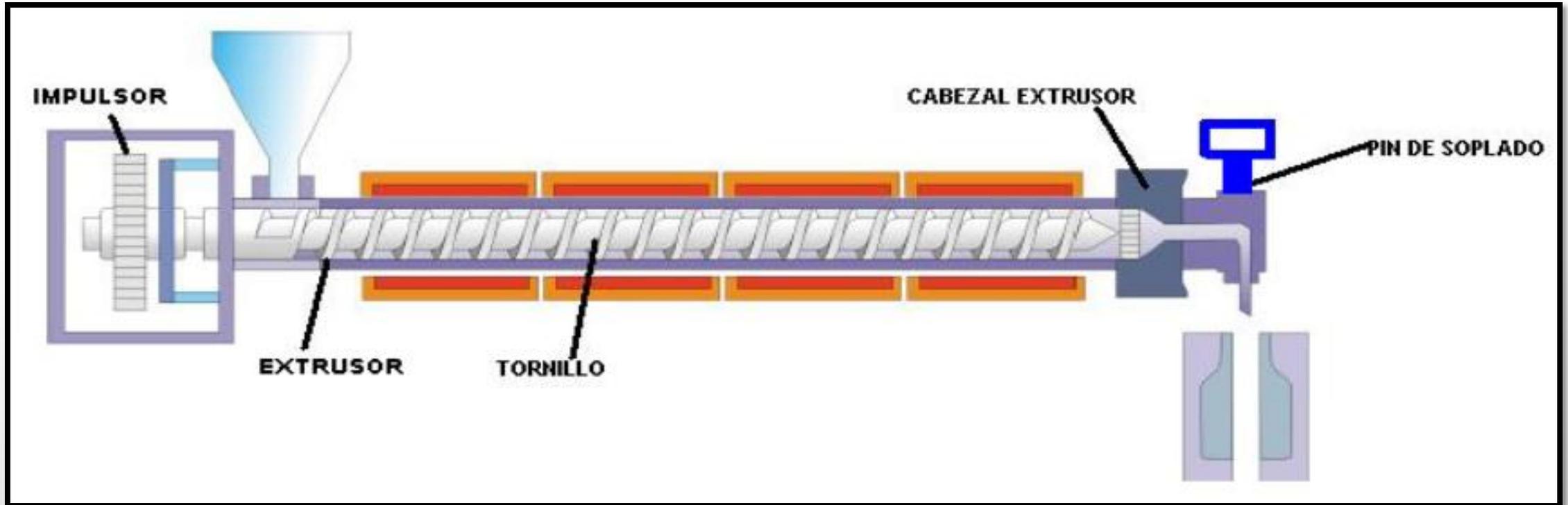
# EXTRUSIÓN - SOPLADO

Este método se utiliza para la producción de envases de boca angosta y preferentemente para materiales como PEAD, PEBD, PP y PVC.



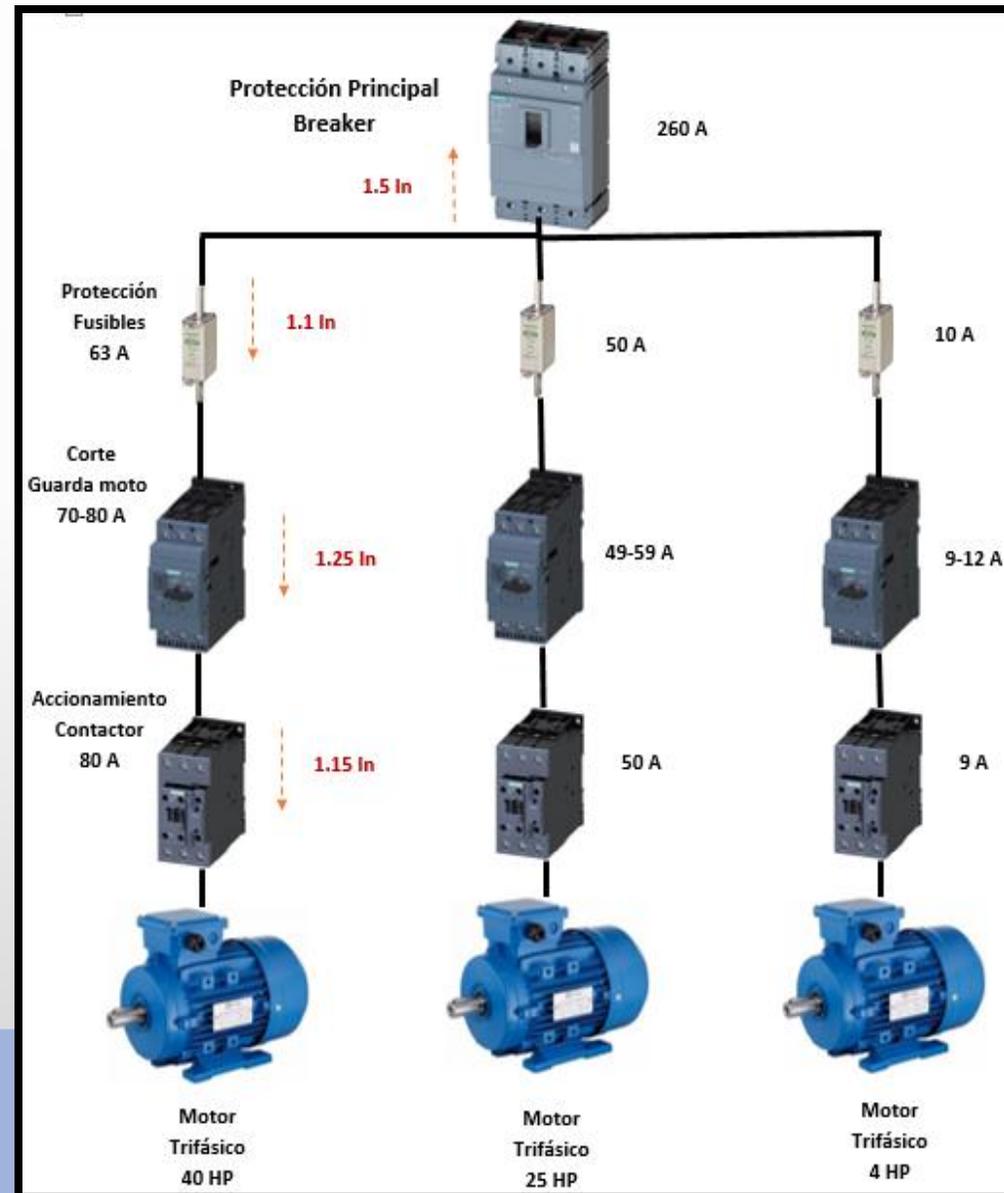


# PARTES PRINCIPALES DE LAS MÁQUINAS DE EXTRUSIÓN - SOPLADO



El modelado matemático de sistemas dinámicos es el conjunto de ecuaciones que representan la dinámica de un determinado sistema con precisión. Por lo general la dinámica de la mayoría de sistemas se representan por medio de la utilización de ecuaciones diferenciales, estas se las consigue a partir de leyes físicas que están presentes en el sistema

# ESQUEMA DE ELEMENTOS DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN





## Dimensionamiento de protecciones

DIMENSIONAMIENTO DEL FUSIBLE		
Corriente Nominal (In) (A)	Dimensionamiento Teórico $I = 1.1 * In$ (A)	Corriente Estándar del Fusible (A)
50	55	63

- Marca Siemens
- Fusible D02.
- Tipo aM, fusible de acompañamiento de motor, su actuación es muy rápida frente a cortocircuitos y más lenta frente a sobrecargas.





## Dimensionamiento del conductor

CIRCUITO DERIVADO		CONDUCTOR
$I_n (A)$	$I_{D1} = 1.25 * I_n (A)$	AWG 6
50	62,5	75 A

- Marca Electrocables, cable de cobre tipo THHW, 600 V
- Aislado con poli cloruro de vinilo (PVC)
- Temperatura de fusión 90°C
- Capacidad de corriente: 75 A





## Dimensionamiento del guarda motor

$I_n$ (A)	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL GUARDAMOTOR (A)	VOLTAJE NOMINAL (V)
50	$I_{D1} = 1.25 * I_n = 62.5$	70 - 80	110

- Guarda motor Marca Siemens
- Modelo 3RV2031-4RA10
- Tamaño S2
- Capacidad 80 A

## Dimensionamiento del contactor

$I_n$ (A)	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL CONTACTOR (A)	VOLTAJE NOMINAL (V)
50	$I_{E1} = 1.15 * I_n = 57.5$	70	110

- Contactor Marca Siemens
- Modelo 3RT2038-1AG20
- Tamaño S2
- Capacidad 80 A. Tipo AC-3

# RESUMEN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y CORTE PARA LOS MOTORES DE LA MAQUINA SOPLADORA DE PLÁSTICO

MOTOR	POTENCIA (Hp)	CORRIENTE NOMINAL (A)	CONDUCTOR	PROTECCION		CORTE	
				Fusible	Guarda motor	Contactador	Bobina (V)
Motor impulsor del tornillo	40	50	Electrocables tipo THHW 6 AWG	Siemens D02 63 A aM	Siemens 3RV2031- 4RA10 S2 70-80 A	Siemens 3RT2038- 1AG20 S2 80 A AC3	110
Motor impulsor de movimientos	25	35.5	Electrocables tipo THHW 8 AWG	Siemens D02 50 A aM	Siemens 3RV2031- 4XA10 S2 49-59 A	Siemens 3RT2036-1AG20 S2 50 A AC3	110
Motor impulsor del Parison	4	6.4	Electrocables tipo MTW/TEW 16 awg	Siemens D01 10 A aM	Siemens 3RV2011- 1KA10 S00 9-12 A	Siemens 3RT2016-1AF01 S00 9 A AC3	110

# PROTECCIONES PARA LAS NIQUELINAS DE LAS ZONAS B, C Y D

$$P = 10670 \text{ W}$$

$$I_n = \frac{10670 \text{ W}}{\sqrt{3} * 440 \text{ V}} = 14 \text{ A}$$

## DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR

CIRCUITO DERIVADO		CONDUCTOR
$I_n \text{ (A)}$	$I_d = 1.25 * I_n \text{ (A)}$	AWG 14
14	17.5	25 A

- Marca Electrocables, cable de cobre tipo XHHW-2, 600 – 1000 V
- Aislado con polietileno reticulado (XLPE)
- Temperatura de fusión 90°C
- Capacidad de corriente: 25 A

# PROTECCIONES PARA LAS NIQUELINAS DE LAS ZONAS B, C Y D

## DIMENSIONAMIENTO DEL INTERRUPTOR TERMOMÁGNETICO

$I_n$ (A)	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO		VOLTAJE NOMINAL (V)
		(A)	(A)	
14	$I_{d1} = 1.25 * I_n = 17.5$	20		440

- Marca Siemens
- Modelo 5SL3120-7MB
- 1 Polo
- Capacidad 20 A



# PROTECCIONES PARA LAS NIQUELINAS DE LAS ZONAS B, C Y D

## DIMENSIONAMIENTO DEL RELÉ DE ESTADO SÓLIDO

$I_{pc}$ (A)	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL SSR (A)	ENTRADA POR TENSION (VDC)
14	$I_{c1} = 1.15 * I_n = 16.1$	20	3-32

- Marca Gefran
- Modelo GTS 25
- Capacidad 25 A



# RESÚMEN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y CORTE PARA LAS ZONAS DE TEMPERATURA DE LA MÁQUINA SOPLADORA DE PLÁSTICO

ZONAS	POTENCIA (W)	CORRIENTE NOMINAL (A)	CONDUCTOR (AWG)	INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO	SSR (GEFRAN GTS)		
					RELÉ (A)	ENTRADA (VDC)	SALIDA (VAC)
B	10670	14	14	Siemens 5SL3120-7MB 20 A	25	6-32	440
C	10670	14	14	Siemens 5SL3120-7MB 20 A	25	6-32	440
D	10670	14	14	Siemens 5SL3120-7MB 20 A	25	6-32	440
E	19053	25	10	Siemens 5SL3132-7MB 32 A	40	6-32	440
F	6097	8	16	Siemens 5SL3110-7MB 10 A	15	6-32	440
G	6097	8	16	Siemens 5SL3110-7MB 10 A	15	6-32	440
H	2286	3	18	Siemens 5SL3104-7MB 4 A	15	6-32	440
I	2286	3	18	Siemens 5SL3104-7MB 4 A	15	6-32	440





## Consumo de la corriente a plena carga del sistema

CARGA	$I_{pc}$ (A)
Motor Impulsor del tornillo	50
Motor Impulsor de movimientos	35.5
Motor Impulsor del Parison	6.4
Zonas B, C y D	42
Zona E	25
Zonas F y G	16
Zonas H e I	6
Fuente de alimentación del sistema de control	3
<b>TOTAL</b>	<b>183.9</b>





## DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR

ALIMENTADOR		CONDUCTOR
$I_n (A)$	$I_a = 1.25 * I_n (A)$	AWG 4/0
183.9	229.87	260 A

- Marca Electrocables
- Tipo THHN
- Voltaje Máximo 600 V



## DIMENSIONAMIENTO DEL DISYUNTOR PRINCIPAL

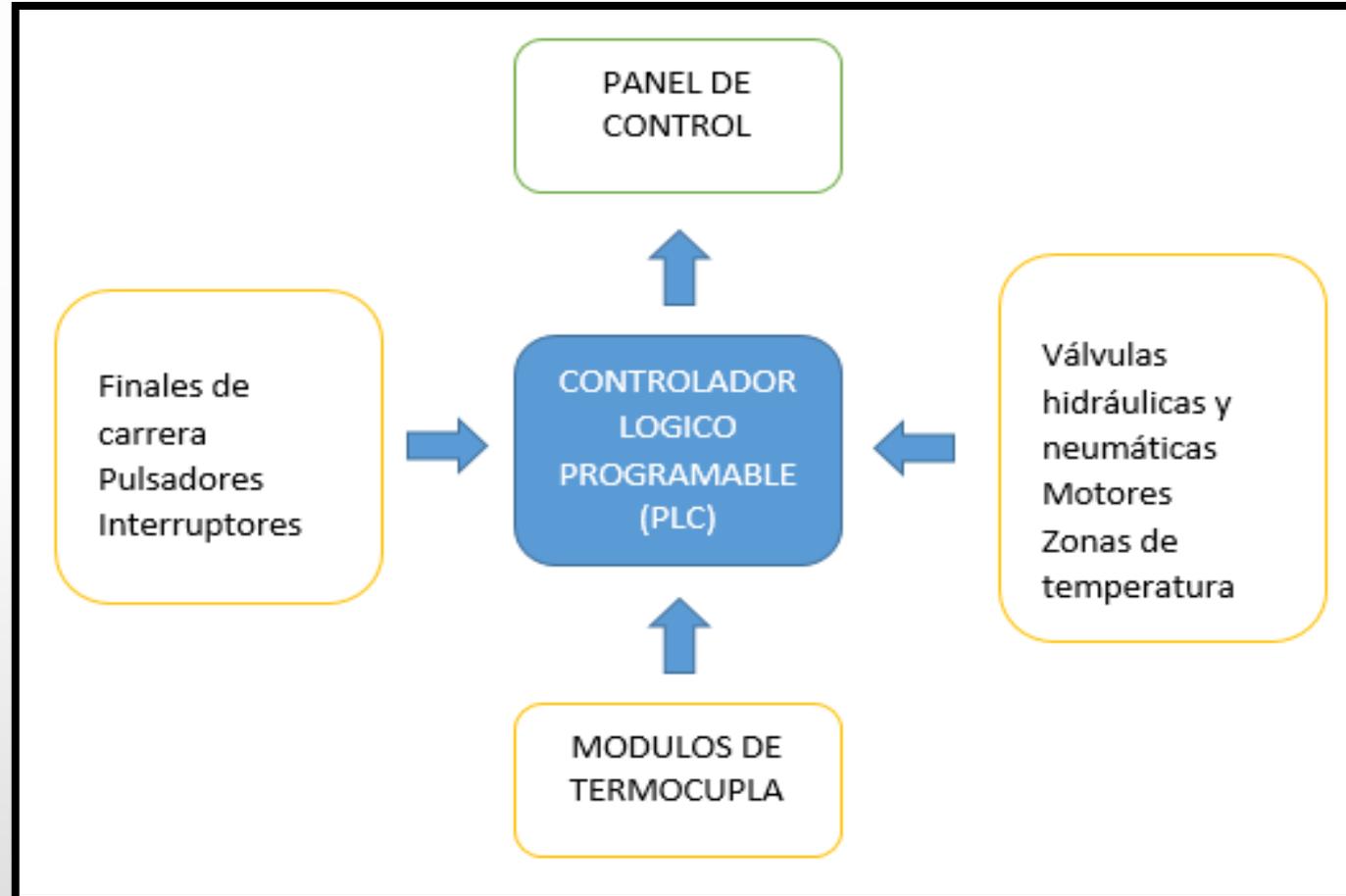
$I_{pc}$ (A)	DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO (A)	CORRIENTE ESTÁNDAR DEL DISYUNTOR (A)
183.9	$I_{c4} = 1.5 * I_n = 275.85$	400

- Marca Siemens
- Modelo 3VM1340-4ED32-0AA0
- Capacidad 400 A





# SISTEMA DE CONTROL





# CONSIDERACIONES GENERALES

- Información del sistema anterior
- Instrumentación disponible
- Número de Entradas y Salidas requeridas
- Reservas para posibles incorporaciones o modificaciones futuras

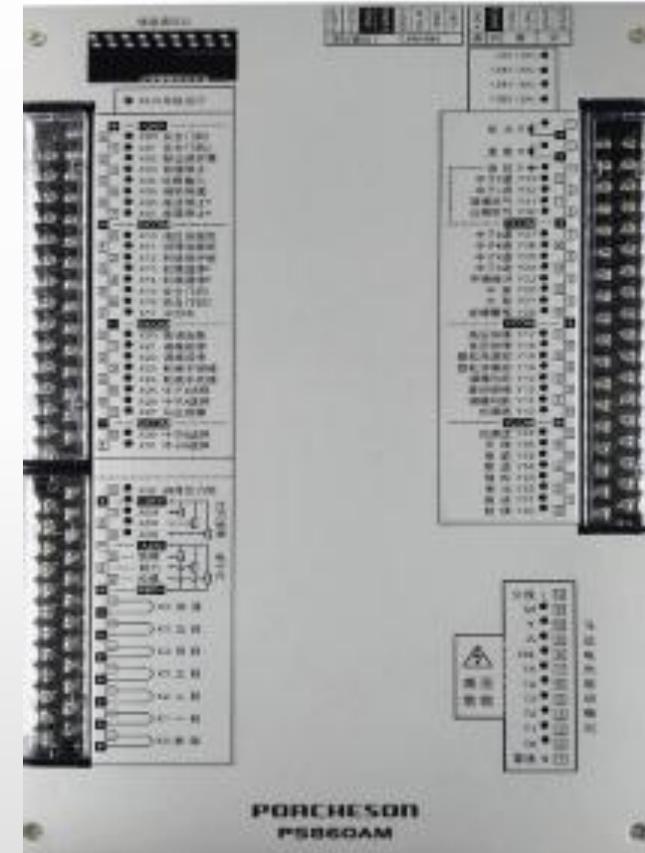
ENTRADAS DIGITALES	SALIDAS DIGITALES	ENTRADAS ANÁLOGICAS	SALIDAS ANÁLOGICAS
11	11	7	7





# SELECCIÓN DEL PLC

Debido a la exigencia de la administración se tuvo que implementar el PLC Porcheson PS860BM junto con una pantalla no táctil TB161





# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PLC

ESPECIFICACIONES	
Rendimiento de CPU	ARM; CPU de 32 bits; ciclo de escaneo de programa: 1.2ms
Entrada analógica	Transductor de posición: 0 ~ 2.5V, transductor individual de 3 canales, precisión: 12 bits, período de muestreo: 100KSPS
	Detección de presión: 3 canales 0 ~ 20MA
Control de temperatura	4 segmentos, control PID de autoaprendizaje, precisión de visualización: 0.1 °C, tipo de sensor: K (predeterminado), J
Salida de voltaje	2 canales 16bit 0 → 10v con la velocidad de aumento más rápida de 300ms
Salida de corriente	2 canales en bucle cerrado (0-1A) , 1 canales PWM (0-1A)
Entrada (Input)	27 canales de contacto húmedo (NPN), codificador diferencial de 2 canales, ( estándar de 2 canales: A \ B), protección contra cortocircuitos
Salida (Output)	28 canales transistor de alta potencia con válvula de combustible directa, capacidad de accionamiento 4.5A (prueba de carga completa)
	10 canales de salida de baja potencia de 24 V: motor, lubricación, etc.
Interfaz de comunicación	RS232, RS485, CAN
Voltaje de trabajo	Voltaje de servicio: 24 VDC

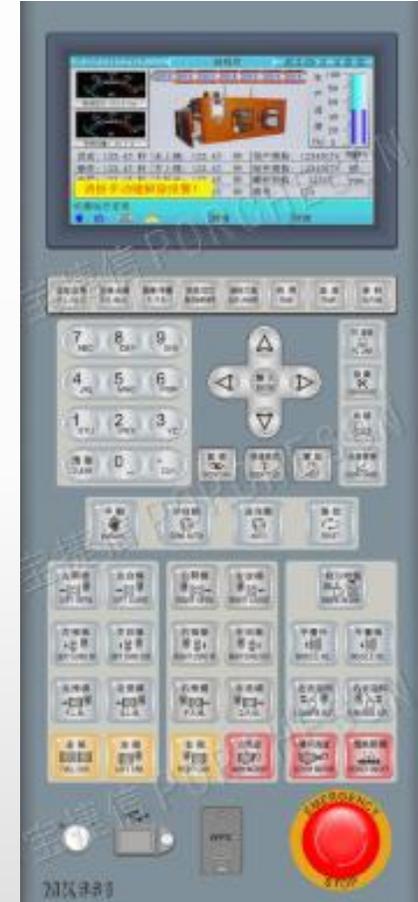




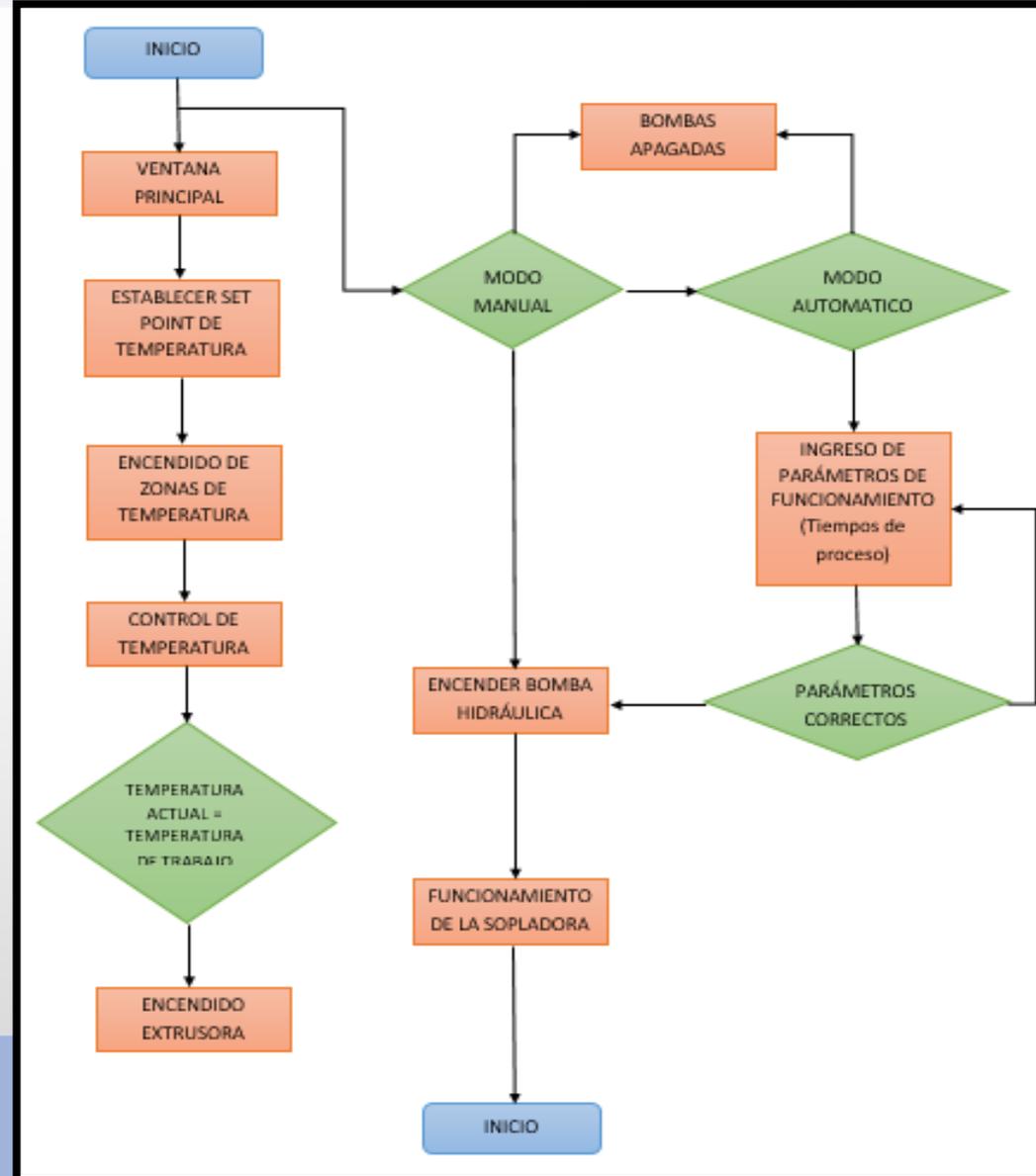
# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HMI

## ESPECIFICACIONES

<b>Sistema</b>	CPU: A8, Memoria: 2 GB
<b>Operación de la Pantalla</b>	Tamaño de la pantalla: 7" 800x480, retroiluminación LED, botones táctiles con una vida de servicio de 200000 veces.
<b>Comunicación de Interfaz</b>	RS232, Ethernet (100M); Almacenamiento: USB V2.0, micro SD card
<b>Otros</b>	Bloqueo de Información, botón de emergencia, función NFC, alarma de voz.
<b>Voltaje de trabajo</b>	18 VDC – 36 VDC
<b>Ambiente</b>	Temperatura de trabajo: -10°C-50°C; Temperatura de almacenamiento: -25°C-55°C; Humedad relativa: 15%-85%.



# DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL





# INTERFAZ HUMANO - MÁQUINA

L. mold push/quit 0.0 mm

mold push				pushDelay
pressure	Fast	Medium	Low	
0.0	0.0	0.0	0.0	
flow	0.0	0.0	0.0	0.00
position	0.0	0.0	0.0	

mold quit				quitDelay
pressure	Low	Medium	Fast	
0.0	0.0	2.0	2.0	
flow	3.0	5.0	8.0	0.00
position	0.0	0.0	0.0	

Hint:  
Movement normal      Ready      Ready

L. mold lock/open 0.0 mm

mold lock				LockDelay
pressure	Fast	Low	Lock	
0.0	0.0	0.0	0.0	
flow	0.0	0.0	0.0	0.00
position	0.0	0.0	0.0	

mold open				O/ LTimeL
pressure	Low	Medium	Fast	
9.0	9.0	10.0	1.10	
flow	80.0	0.0	0.0	Mechanich
position	0.0	0.0	0.0	0.00

Hint:  
Movement normal      Ready      Ready

VIEW

0.0 0.0 0.0 0.0 \*\*\*\* \*\*

T. Set	0.00 S	L. Mold	0.00 S	Estimate	0 M
Oper.	0.00 S	R. Mold	0.00 S	Current p	0 M
ΣTim	0.00 S	L. stuff	0.00 S	Screw rot	0 rpm
LastM	**** S	R. stuff	0.00 S	MolNz	0

Movement normal      Ready      Ready

THU 2011-12-08 11:50:01

L/R Core in

L. mold			
pressure	core in	core out	ore in tim
0.0	0.0	0.0	0.02
flow	0.0	0.0	out pos.
delay	0.00	0.00	closed

R. mold			
pressure	core in	core out	ore in tim
0.4	0.0	0.0	0.00
flow	0.0	0.0	out pos.
delay	0.00	0.00	closed

Hint:  
Movement normal      Ready      Ready

Temperature

Temp

nozzle zone1 zone2 zone3 zone4 zone5 zone6

0.0 0.0 0.0 0.0 \*\*\*\* \*\*

Set	0.0 %	0.0	0.0	0.0	****	****	****
Max	0.0	0.0	0.0	0.0	***	***	***
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	***	***	***
condi	r	r	r	r	****	****	****

Inject mode open      Screw cold sta 0.0 s

half. temp OFF      Heat condition OFF

Hint:  
Movement normal      Ready      Ready





El análisis a realizar se lo hará utilizando una señal escalón como entrada al sistema, y se tratara de obtener la función de transferencia que más se acerque a la gráfica de respuesta del sistema, la cual fue obtenida experimentalmente con datos reales de trabajo

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
0	24	15	177,9
1	26,8	16	179,4
2	39,2	17	178,7
3	58,7	18	178,2
4	83,1	19	179,3
5	107,3	20	179,1
6	132,2	21	178,7
7	154,7	22	179,5
8	170,3	23	179,6
9	174,1	24	179,8
10	175,3	25	179,9
11	175,8	26	180,1
12	176,3	27	180
13	176,9	28	180,2
14	177,2	29	180





## Método 123c

Este método de identificación de un modelo de primer orden con retardo utiliza dos puntos sobre la curva de reacción o respuesta. Inicialmente Smith determino que el 28.4% y el 63.2% del cambio total de la respuesta a una entrada escalón, como los necesarios para la identificación del modelo.

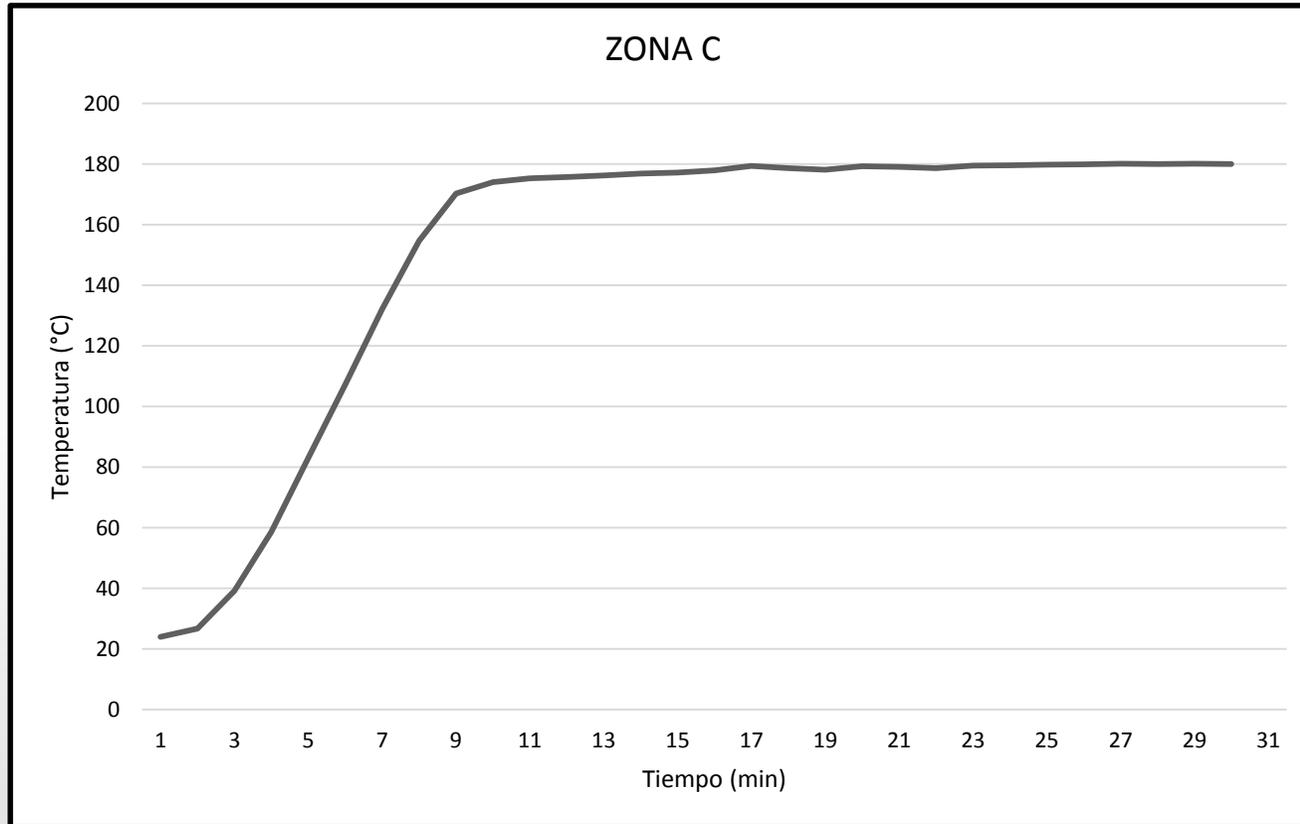
Normalmente la respuesta del modelo utilizando estos puntos deja en evidencia mayores diferencias con respecto a la respuesta del modelo real; para reducir este error, Alfaro selecciono como nuevos puntos de referencia el 25% y 75% de la respuesta.

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta U}$$

$$\tau = 0.9102(t_{75} - t_{25})$$

$$t = 1.2620 * t_{25} - 0.2620 * t_{75}$$





En base a los datos graficados se puede obtener directamente la función de transferencia de la Zona C ante una entrada de tipo escalón, asumiendo un sistema de primer orden con retardo.





Datos:

$$\Delta U = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta Y = 180 - 24 = 156 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} e^{-ts}$$

$$k = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{156}{180} = 0.8667$$

$$T_{25\%} = 24 + (\Delta Y * 25\%) = 63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{75\%} = 24 + (\Delta Y * 75\%) = 141 \text{ } ^\circ\text{C}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 25% de la respuesta:*

$$T_o = 58.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 83.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 3 \text{ min}$$

$$t_f = 4 \text{ min}$$

$$t_{25\%} = 3 + (63 - 58.7) * \left( \frac{4 - 3}{83.1 - 58.7} \right) = \mathbf{3.1762 \text{ minutos}}$$

*Cálculo del tiempo correspondiente al 75% de la respuesta:*

$$T_o = 132.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 154.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 6 \text{ min}$$

$$t_f = 7 \text{ min}$$

$$t_{75\%} = 6 + (141 - 132.2) * \left( \frac{7 - 6}{154.7 - 132.2} \right) = \mathbf{6.3911 \text{ minutos}}$$





$$\tau = 0.9102(t_{75\%} - t_{25\%}) = 0.9102(6.3911 - 3.1762) = \mathbf{2.9262 \text{ minutos}}$$

$$t = 1.2620t_{25\%} - 0.2620t_{75\%} = (1.2620 * 3.1762) - (0.2620 * 6.3911) = \mathbf{2.3338 \text{ minutos}}$$

$$G(s) = \frac{0.8667}{2.9262s + 1} e^{-2.3338s}; \text{ ZONA C}$$

# FUNCIONES DE TRANSFERENCIA DE LAS ZONAS DE TEMPERATURA

ZONAS DE TEMPERATURA	MODELO REAL	MODELO OBTENIDO EN MATLAB
Zona C	$\frac{0.8667}{2.9262s + 1} e^{-2.3338s}$	$\frac{0.8702}{2.7448s + 1} e^{-2.522s}$
Zona D	$\frac{0.8633}{2.9503s + 1} e^{-2.5251s}$	$\frac{0.8706}{2.8162s + 1} e^{-2.638s}$
Zona E	$\frac{0.8572}{4.3752s + 1} e^{-2.7771s}$	$\frac{0.9052}{4.972s + 1} e^{-2.711s}$
Zona F	$\frac{0.8572}{5.5785s + 1} e^{-2.4344s}$	$\frac{0.8803}{5.9508s + 1} e^{-2.495s}$
Zona G	$\frac{0.8633}{4.6563s + 1} e^{-2.5287s}$	$\frac{0.8854}{5.2273s + 1} e^{-2.498s}$
Zona H	$\frac{0.8638}{6.0505s + 1} e^{-2.5103s}$	$\frac{0.9074}{6.8136s + 1} e^{-2.544s}$
Zona I	$\frac{0.8594}{3.2498s + 1} e^{-0.9834s}$	$\frac{0.8311}{3.5781s + 1} e^{-0.975s}$



# ERRORES RELATIVOS PROMEDIO DE LOS MODELOS EN LA ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS

	ZONAS DE TEMPERATURA						
	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F	Zona G	Zona H	Zona I
Errores Relativos Promedios (%)	4.889	3.287	7.206	3.952	5.3456	6.333	4.749



## Hipótesis del Proyecto

Con el modelado e implementación de un sistema de automatización se podrá optimizar los parámetros que intervienen en el soplado de polietileno y demostrar una mejora en los índices de productividad.

**Variable independiente:** Modelar y automatizar una máquina de soplado de polietileno.

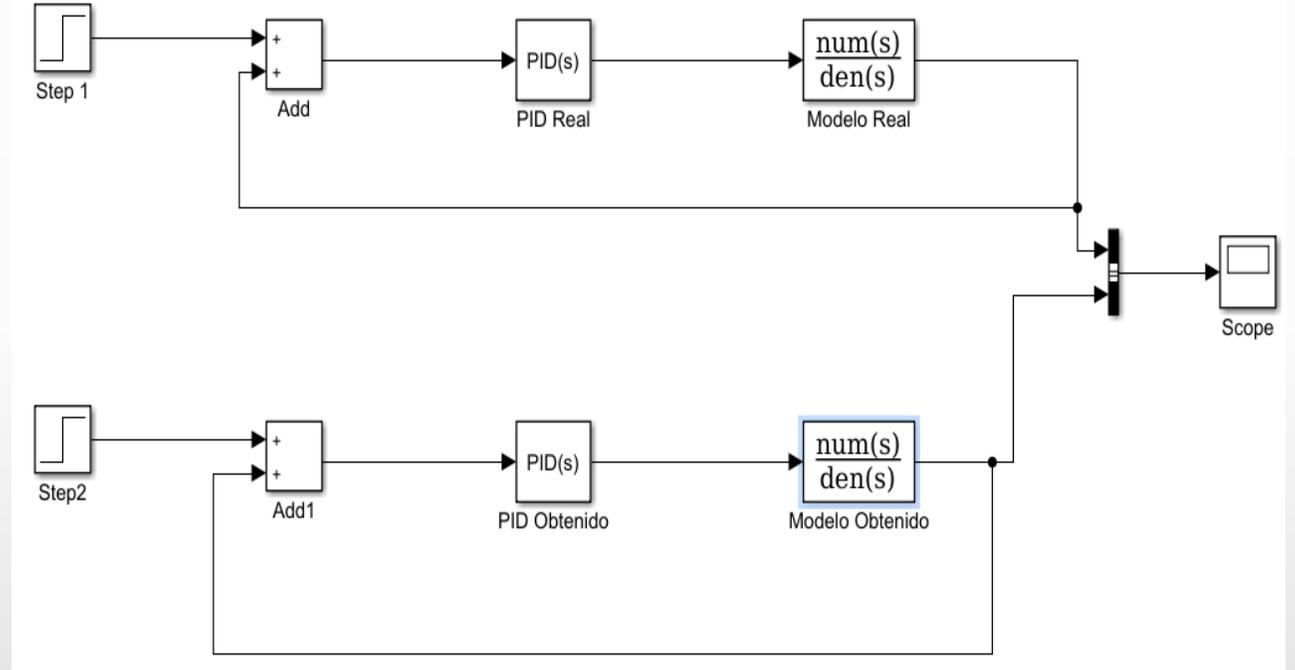
**Variable dependiente:** Optimizar los parámetros que intervienen en el proceso e incrementar los índices de productividad.





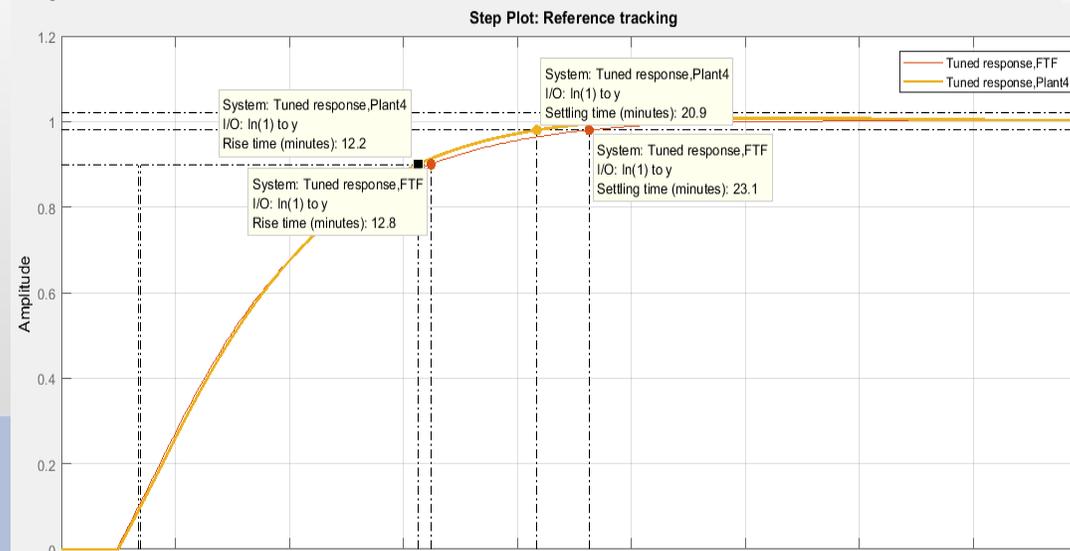
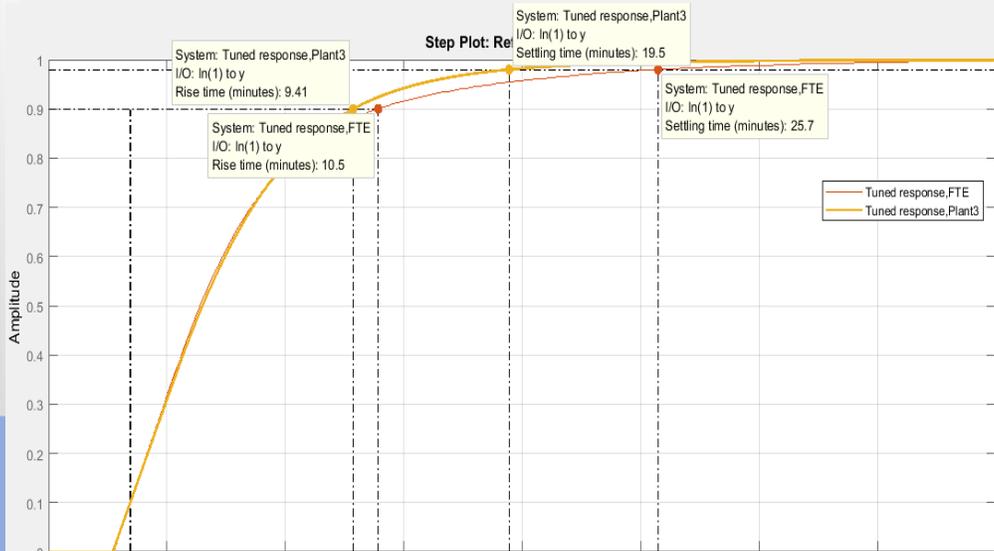
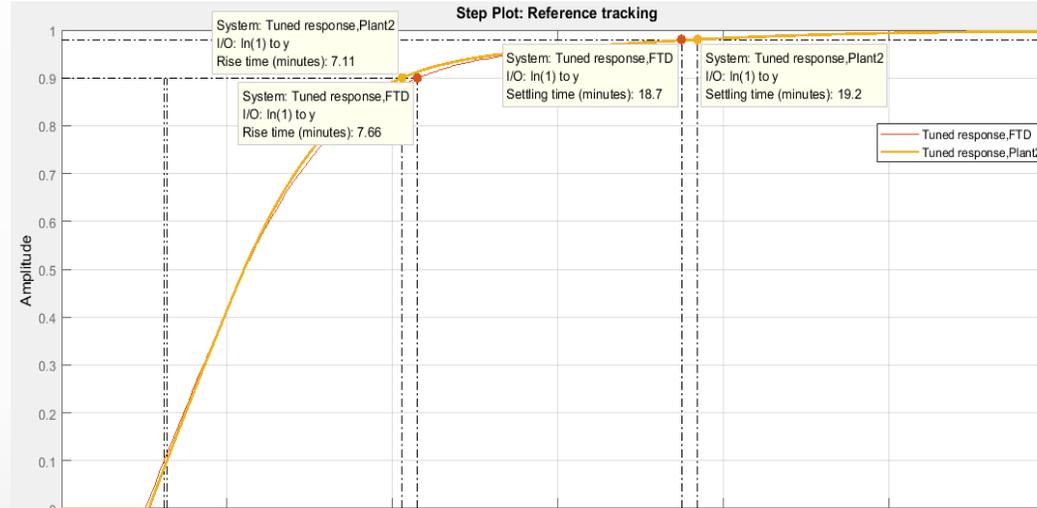
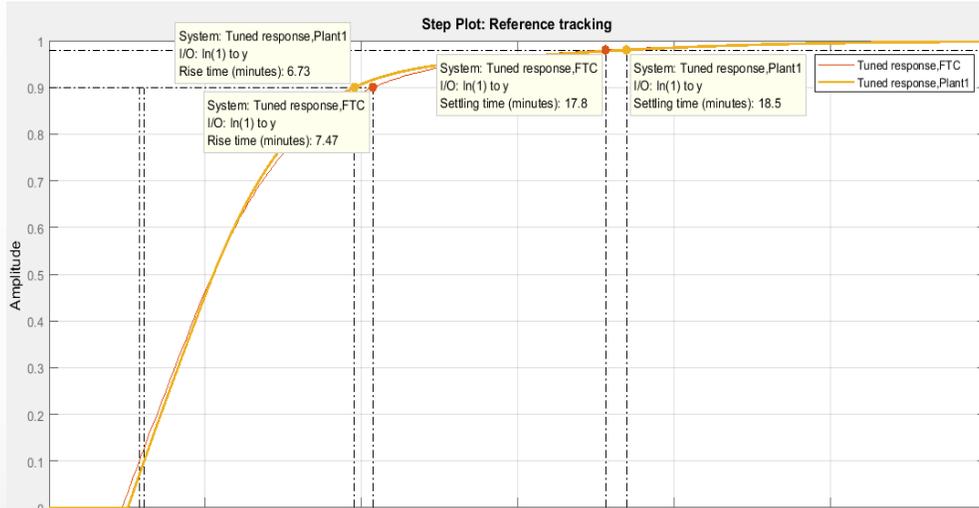
## Optimización de Parámetros

Para el análisis de este aspecto se procederá a analizar las curvas de respuesta obtenidas mediante la sintonización del controlador PID. Los parámetros en los cuales se va a tener mayor atención serán los tiempos de establecimiento y el error en estado estable de cada una de las zonas de la máquina. Estos dos parámetros permitirán concluir si el sistema aprovecha de una mejor manera el control de temperatura de tal manera que sea eficiente



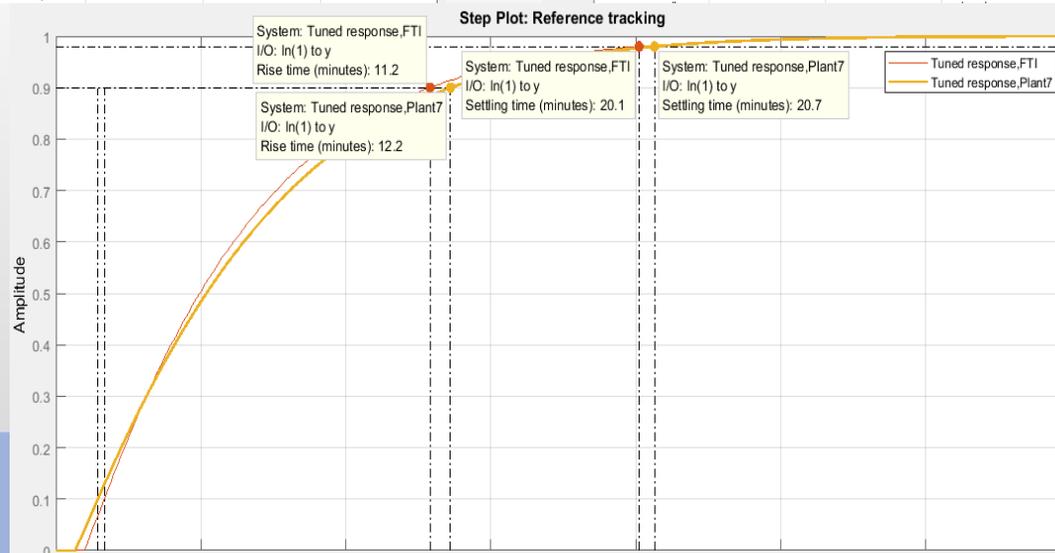
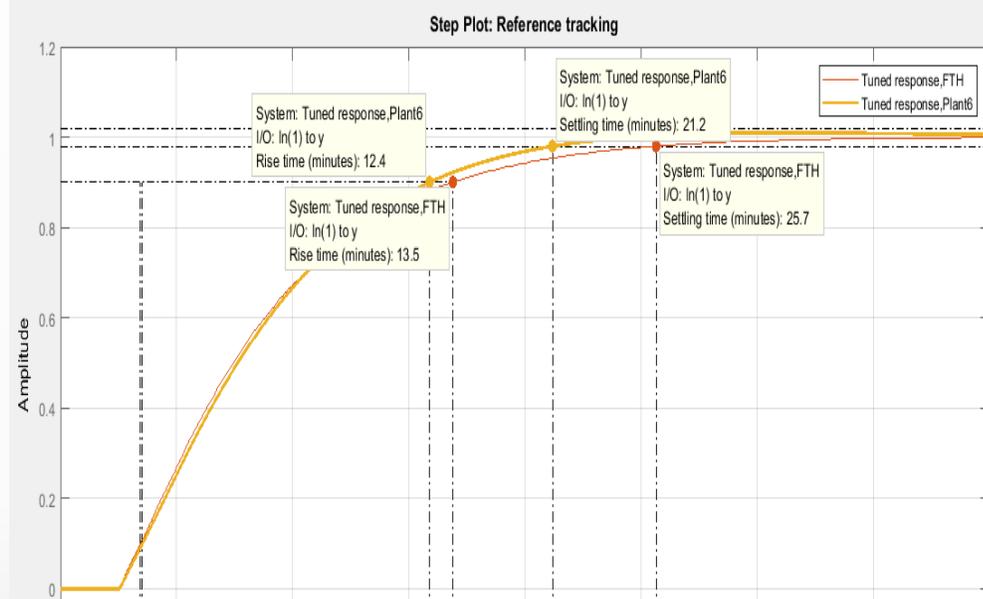
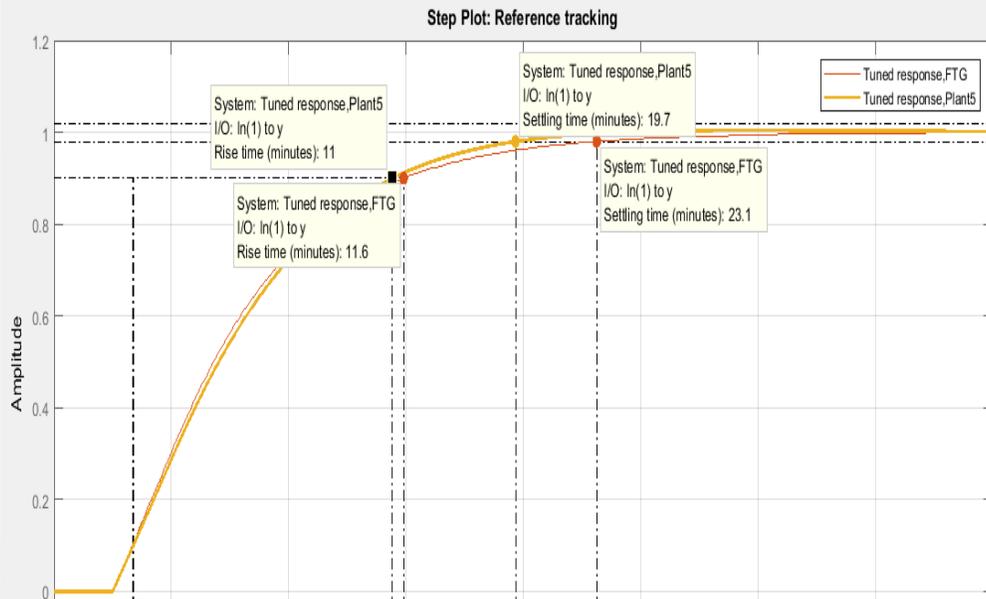


## Respuestas de los modelos





# VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS





# VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

## Comparación del tiempo de establecimiento y el error en estado estable de los modelos

De acuerdo con los resultados obtenidos, en la zonas C, D e I, el tiempo de establecimiento real es menor al tiempo de establecimiento del modelo obtenido en Matlab, la diferencia existente entre los resultados son de 42 seg, 30 seg y 36 seg , es decir, es menor a 1 minutos comparada con la diferencia existente en los tiempos de establecimiento para las zonas E, F, G y H, en las cuales los tiempos para el modelo obtenido es menor al real y cuyas diferencias son de 6.2 min, 2.2 min, 3.4 min y 4.5 min respectivamente.

Zonas de Temperatura	Tiempo de establecimiento (minutes)	Error en Estado Estable (%)	Zonas de Temperatura	Tiempo de establecimiento (minutes)	Error en Estado Estable (%)
Zona C	$T_{real} = 17.8$	$e_{ss\ real} = 0$	Zona G	$T_{real} = 23.1$	$e_{ss\ real} = 0$
	$T_{aproximado} = 18.5$	$e_{ss\ aproximado} = 0$		$T_{aproximado} = 19.7$	$e_{ss\ aproximado} = 0$
Zona D	$T_{real} = 18.7$	$e_{ss\ real} = 0$	Zona H	$T_{real} = 25.7$	$e_{ss\ real} = 0$
	$T_{aproximado} = 19.2$	$e_{ss\ aproximado} = 0$		$T_{aproximado} = 21.2$	$e_{ss\ aproximado} = 0$
Zona E	$T_{real} = 25.7$	$e_{ss\ real} = 0$	Zona I	$T_{real} = 20.1$	$e_{ss\ real} = 0$
	$T_{aproximado} = 19.5$	$e_{ss\ aproximado} = 0$		$T_{aproximado} = 20.7$	$e_{ss\ aproximado} = 0$
Zona F	$T_{real} = 23.1$	$e_{ss\ real} = 0$			
	$T_{aproximado} = 20.9$	$e_{ss\ aproximado} = 0$			



## Productividad

Productividad se define a la capacidad para presente para ofrecer más resultados, más ganancias, más dinero, etc.; sin la necesidad de incrementar los capitales implicados. La productividad se puede expresar en términos de eficiencia y efectividad como se muestra a continuación:

$$Productividad = efectividad * eficiencia$$

$$Productividad = \frac{Unidades\ producidas}{Unidades\ planificadas} * \frac{Tiempo\ real}{Tiempo\ disponible}$$

Para el análisis se comparará la productividad de una máquina sopladora de una estación es decir produce un envase por ciclo de trabajo y una máquina sopladora de dos estaciones. Los datos que se mencionan a continuación fueron proporcionados por la empresa Inplástico





Máquina de una estación

Donde:

Unidades producidas = 372 envases por hora

Unidades planificadas = 400 envases por hora

Tiempo real (Horas) = 8.74 horas diarias

Tiempo Disponible (Horas) = 10.29 horas diarias

$$Productividad = \frac{372}{400} * \frac{8.74 h}{10.29 h} = 78.99 \%$$

Máquina de dos estaciones

Donde:

Unidades producidas = 528 envases por hora

Unidades planificadas = 550 envases por hora

Tiempo real (Horas) = 9.26 horas diarias

Tiempo Disponible (Horas) = 10.29 horas diarias

$$Productividad = \frac{528}{550} * \frac{9.26 h}{10.29 h} = 86.39 \%$$





Como se puede observar en base a los cálculos, la productividad que se va a lograr con el funcionamiento de la máquina de dos estaciones en la cual se realizó la automatización equivale al 86.39% y es mayor que la productividad obtenida en una máquina de una sola estación cuyo valor es de 78.99%, es decir existirá un incremento de productividad de 7.4%.



# ANÁLISIS FINANCIERO

RUBROS	AÑOS					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	3215,92					
Materia prima		148500	148500	148500	148500	148500
Mano de obra		4954,28	4954,28	4954,28	4954,28	4954,28
Consumo eléctrico		6588	6588	6588	6588	6588
Costos Administrativos		600	600	600	600	600
Ingresos		161568	163183,68	164815,51	166463,66	168128,29
Flujo de Caja	-(3215,92)	925,72	2541,4	4173,23	5821,38	7486,01
VPN	\$ 7.692,83					
TIR	75%					

El Valor Presente Neto (VPN) obtenido es de \$7692,83, lo que justifica la factibilidad del proyecto; además de esto tenemos un TIR del 75% superando el valor del TMAR=16.67% de la inversión.

$$Recuperacion = \frac{Inversión}{Ganancia}$$

$$Recuperacion = \frac{3215,92}{925,72} \quad Recuperacion = 3.47 * 12 = 41.64 \text{ meses}$$

≅ 3 años, 5 meses

$$R^C/B = \frac{VPNB}{VPNC}$$

$$R^C/B = \frac{20947,74}{3215,92} = 6.51$$

El periodo de recuperación resultante es de 3 años y 5 meses, un tiempo menor al cual se proyectó el análisis, significando una recuperación a corto plazo.





# CONCLUSIONES

- La automatización de la maquina sopladora de polietileno de doble estación por medio del uso de un PLC y un panel de operador cumplió con los requerimientos planteados por la empresa “INPLASTICO”.
- Los modelos matemáticos obtenidos mediante el software Matlab obtuvieron un error relativo aceptable para cada una de las zonas de temperatura permitiendo así su utilización para el estudio de comportamiento del sistema establecido en este trabajo.

# CONCLUSIONES

- Se obtuvo una mejora en la velocidad de respuesta del sistema en las zonas E, F, G y H del 24,12%, 9,52%, 14,71% y 17,50% respectivamente, mientras que para las zonas C,D e I se obtuvieron respuestas mas lentas con el modelo aproximado, estas respuestas son mas lentas en un 3,98%, 2,67% y 2,98% respectivamente.
- Con la implementación del proyecto se logró obtener un aumento en la cantidad de envases a producir respecto a una máquina de una sola estación correspondiente a 550 envases/hora, así mismo el índice de productividad resultante es de 86,39% resultando en un aumento del 7,4% la productividad.

# RECOMENDACIONES

- Previo a la puesta en marcha de los sistemas implementados verificar que cada equipo y componente que conforman estos sistemas se encuentren dentro de los parámetros establecidos, esto se puede hacer mediante una prueba manual de cada elemento para asegurar su correcto funcionamiento.
- Conocer el funcionamiento básico de una maquina sopladora industrial antes de realizar cualquier trabajo sobre ella para de esta manera obtener los requerimientos establecidos.



# RECOMENDACIONES

- Capacitar tanto a operadores como personal del área de mantenimiento que se vayan a involucrar con la operación de la máquina, con el objetivo de asegurar una correcta operación y un mantenimiento acorde a la frecuencia de uso y a la duración de la jornada a la que se tenga previsto hacer funcionar a la máquina.
- Se recomienda tener un conocimiento acerca de seguridad industrial para llevar a cabo las correspondientes precauciones cuando se trabaja en un ambiente industrial ya que pueden suscitarse situaciones de riesgo durante el proceso de producción.





**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

*Por su atención,  
Muchas gracias.*

