



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Tema: Diseño e implementación de un sistema automatizado para el control de una máquina de inyección directa de suela al corte de 2 estaciones, con el fin de optimizar tiempos de producción en comparación a métodos convencionales, en la empresa ACSIMB CIA. LTDA., de la ciudad de Ambato.

Autores: Cáceres Lamar, Diego Armando y Soria Espín, Jhordy Xavier

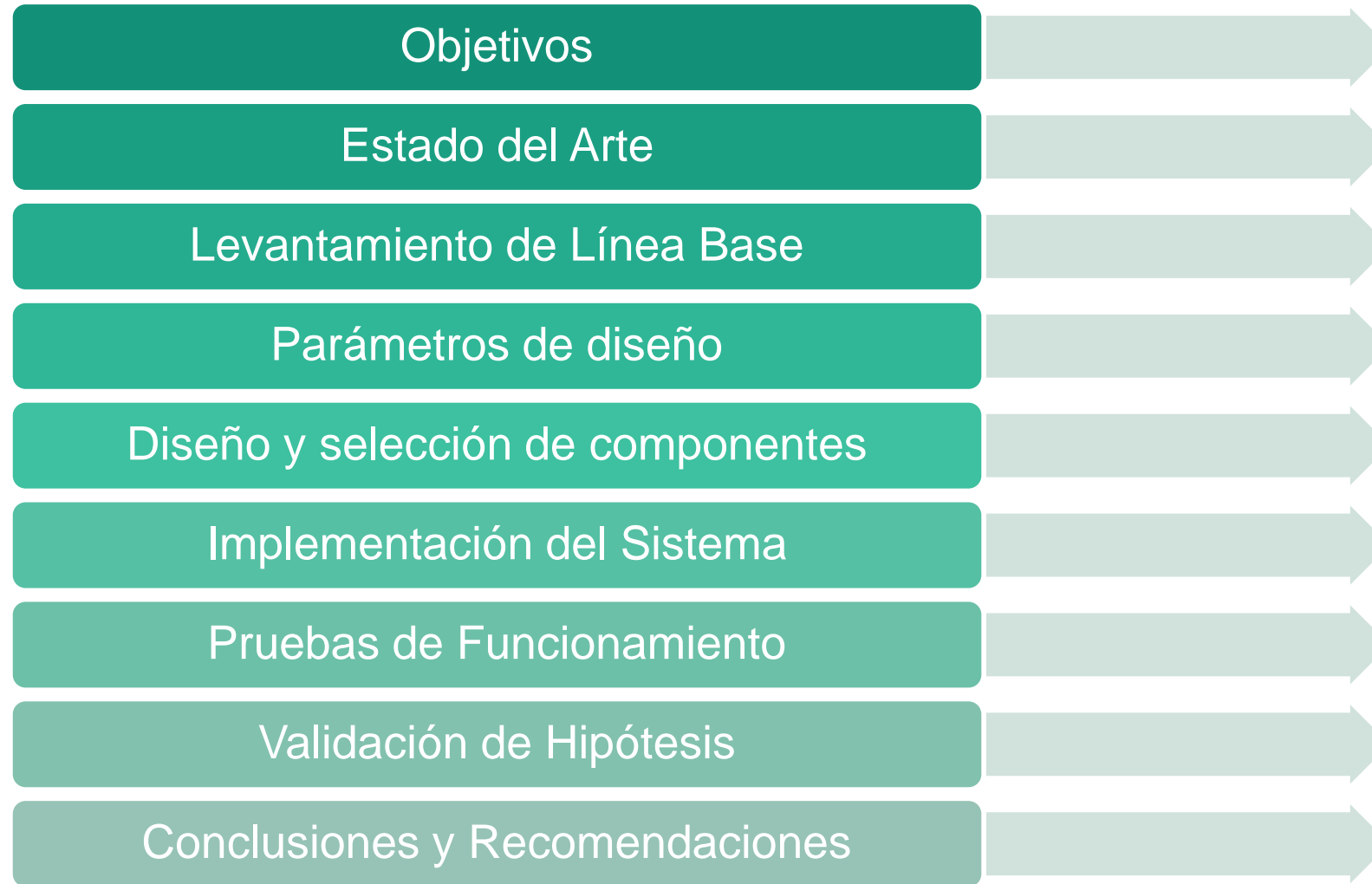
Tutor: Ing. Singaña Amaguaña, Marco Adolfo

Latacunga

2023



Contenido



Objetivos

General

Diseñar e implementar un sistema automatizado para el control de una máquina de inyección directa de suela al corte de 2 estaciones, con el fin de optimizar tiempos de producción en comparación a métodos convencionales, en la empresa ACSIMB Cía. Ltda., de la ciudad de Ambato.

Específicos

1

- Analizar el estado del arte en relación con la inyección directa de suela al corte y establecer la línea base del proyecto.

2

- Definir los parámetros de diseño del sistema.

3

- Rediseñar el sistema mecatrónico del proceso y seleccionar los componentes.

4

- Implementar el sistema mecatrónico.

5

- Diseñar e implementar el sistema de control.

6

- Realizar pruebas parciales de configuración y funcionalidad de dispositivos, y ejecutar pruebas totales de funcionamiento de la máquina.

7

- Validar la hipótesis

8

- Elaborar el manual de operación y establecer un plan de mantenimiento preventivo del sistema.



Estado del Arte

De acuerdo a Campaña Pulupa (2021), en el 2018 la industria ecuatoriana del calzado fabricó una media de 31 millones de pares de zapatos, por lo que es considerada una de las manufacturas más influyentes del país.

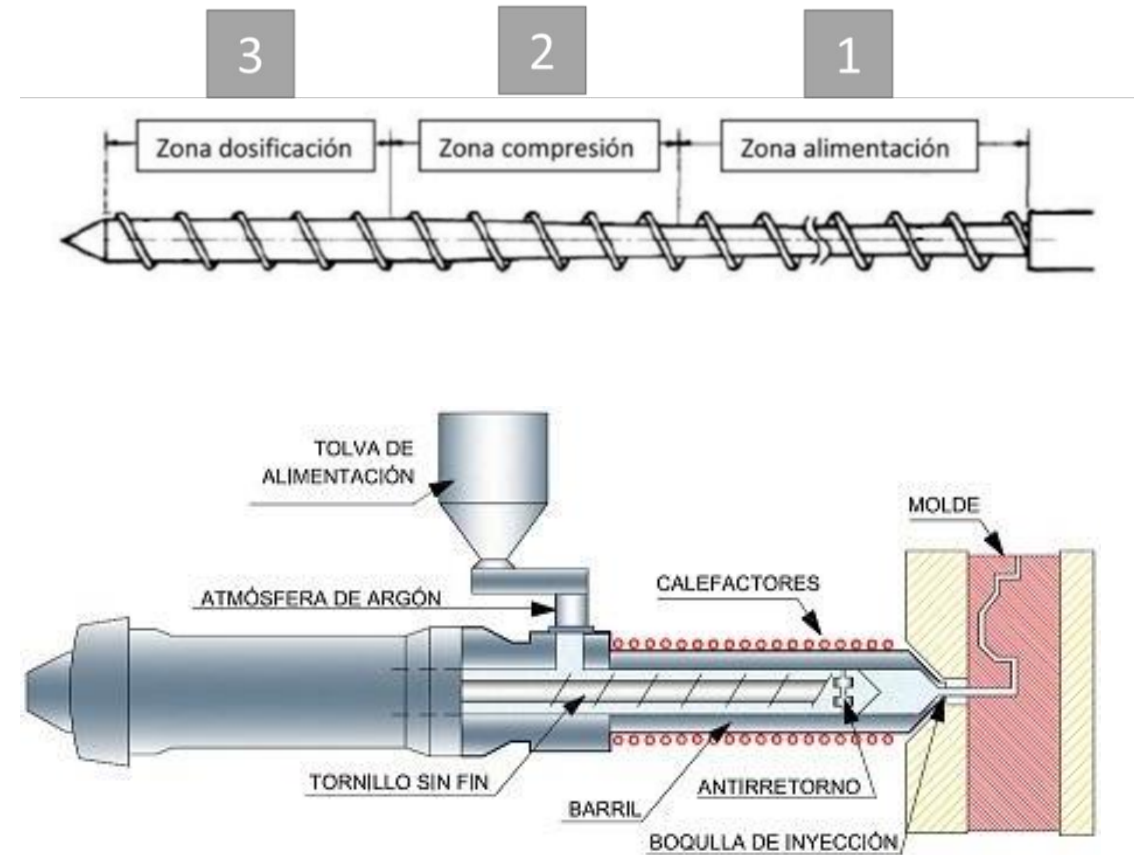
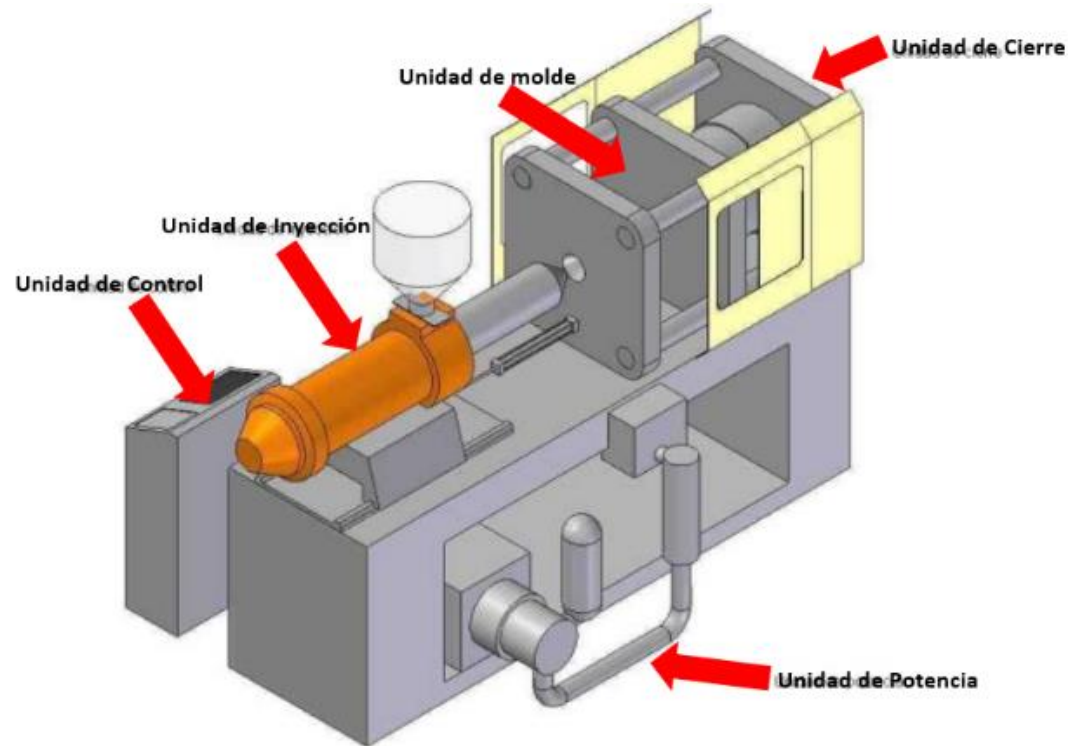
Según Lilia Villavicencio (2018, como se citó en Cevallos, 2018), presidenta de la Cámara Nacional de Calzado en Ecuador, la industria del calzado está compuesta por 5,800 empresas, en su mayoría de origen familiar, varias de ellas artesanales.

La “Inyección directa al corte” es un proceso de alta tecnología e innovador que consiste en la fusión del corte con la suela mediante inyección de material termoplástico con contacto directo a la parte superior del calzado, obteniendo una unión hermética, resistente y duradera.

Estado del Arte

Inyección Directa de Suela al Corte

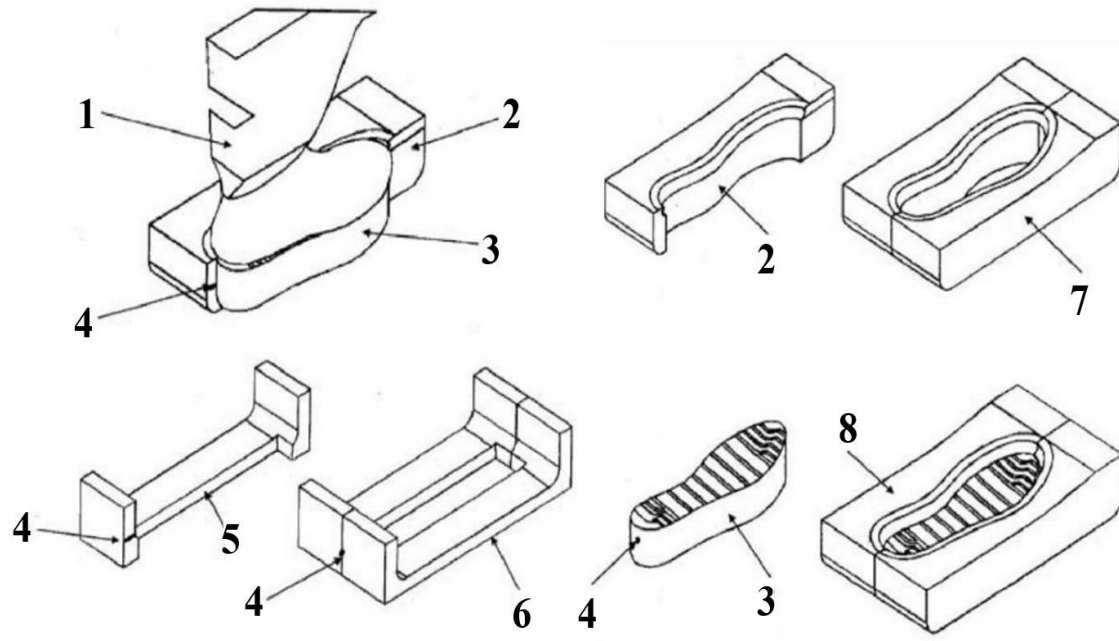
Principio de Funcionamiento



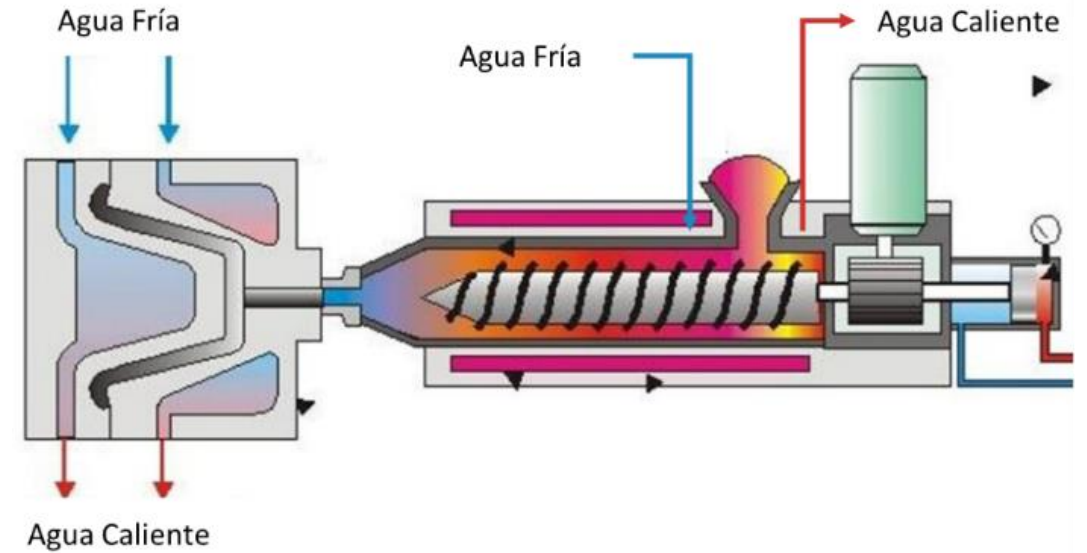
Estado del Arte

Máquina Inyectora

Componentes de Moldeo

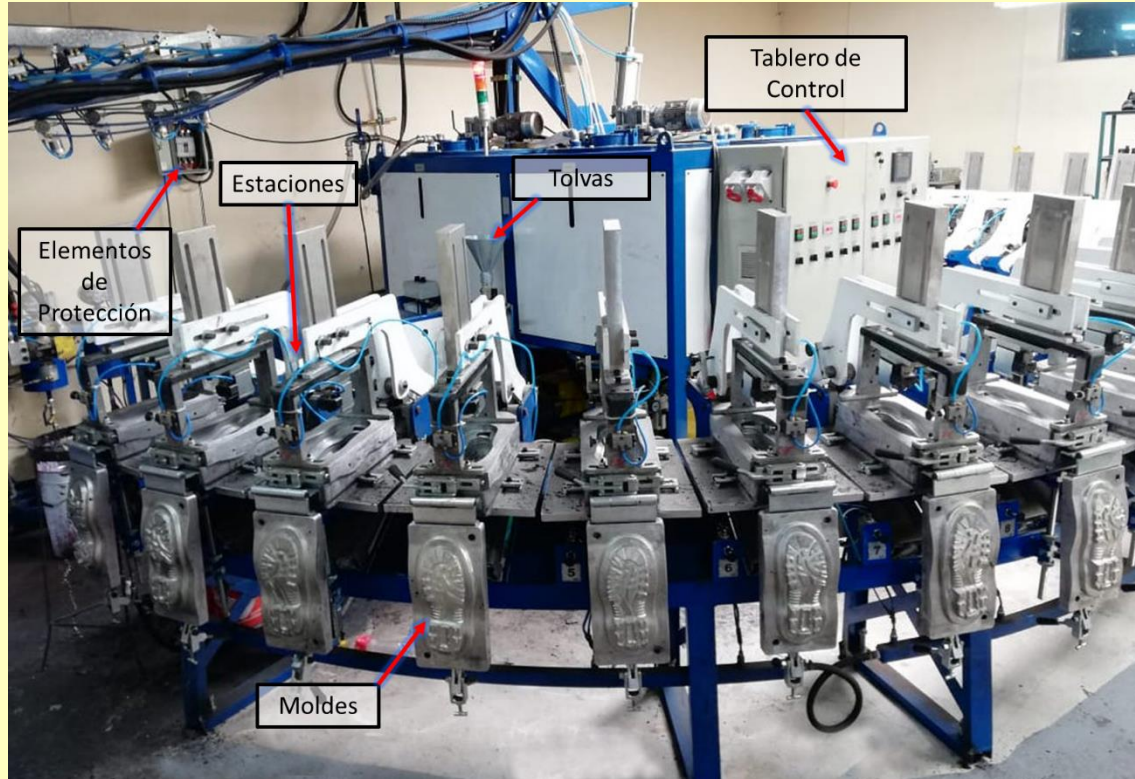


Sistema de Refrigeración

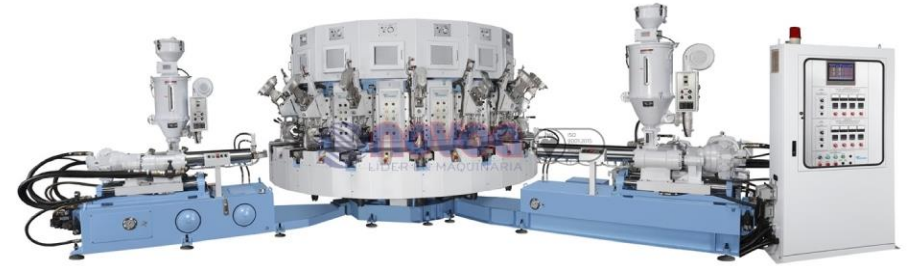


Estado del Arte

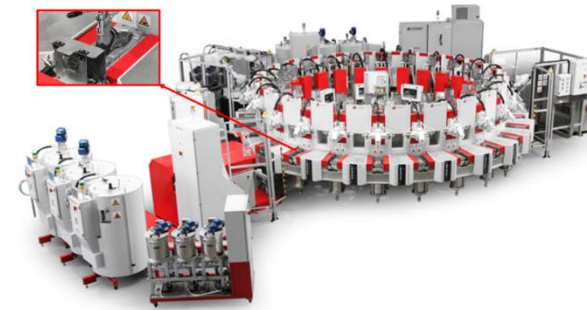
MOYOLSA



Novoa



STEMMA

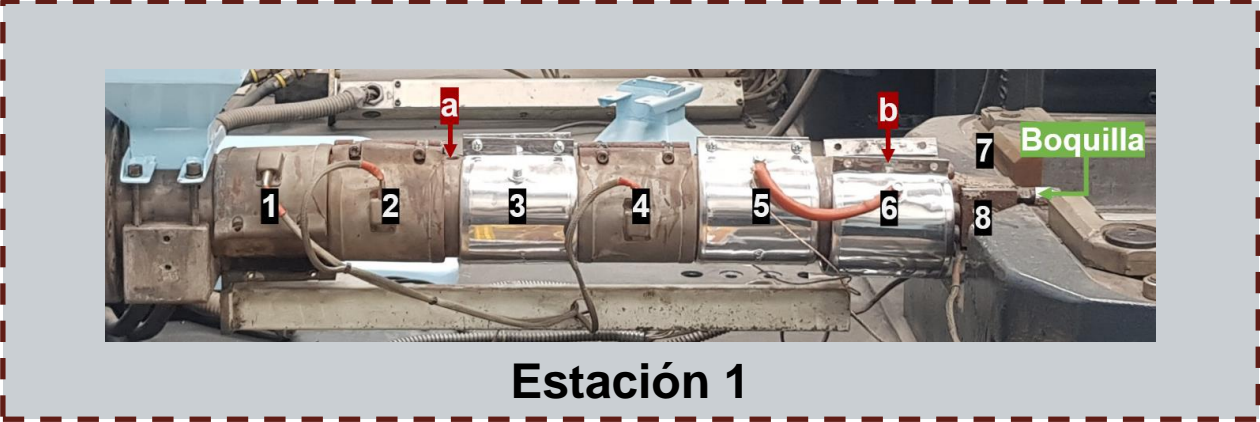


GUMAR



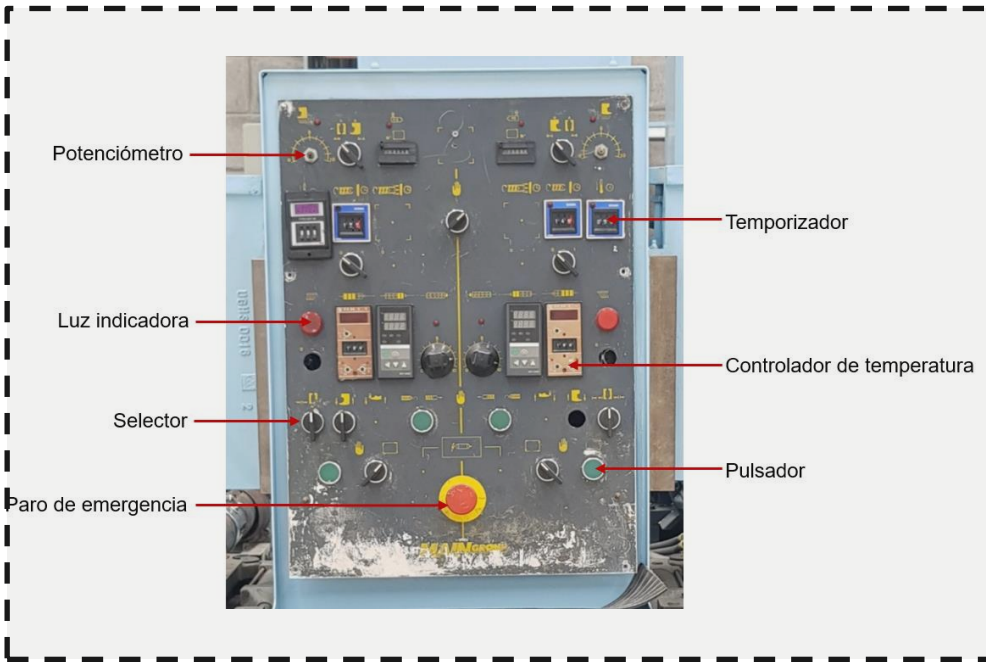
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Levantamiento de Línea Base

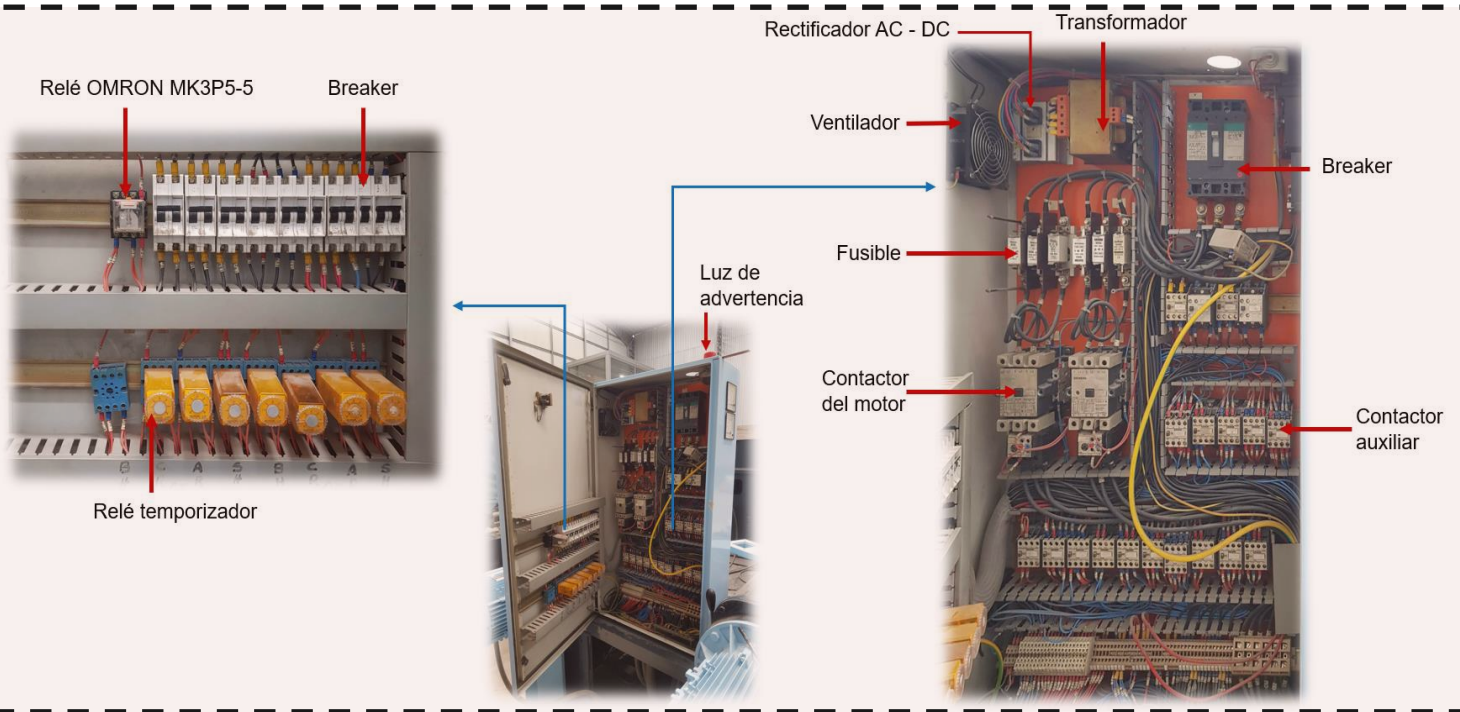


Levantamiento de la Línea Base

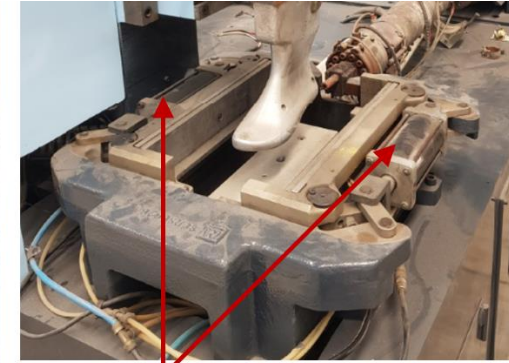
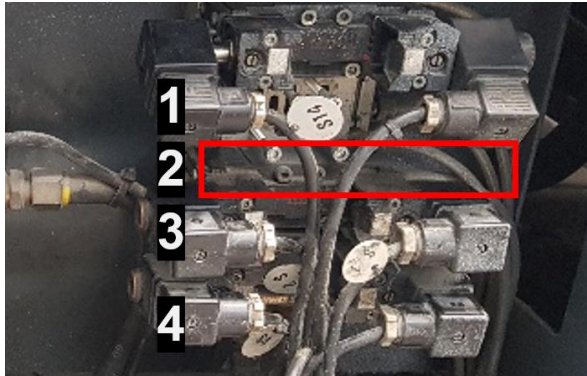
Panel de Control



Tablero Eléctrico

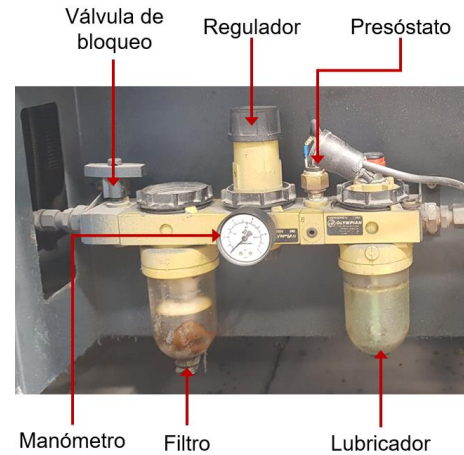
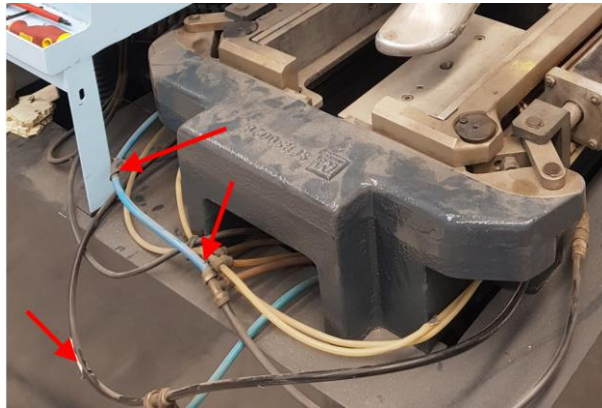


Levantamiento de la Línea Base

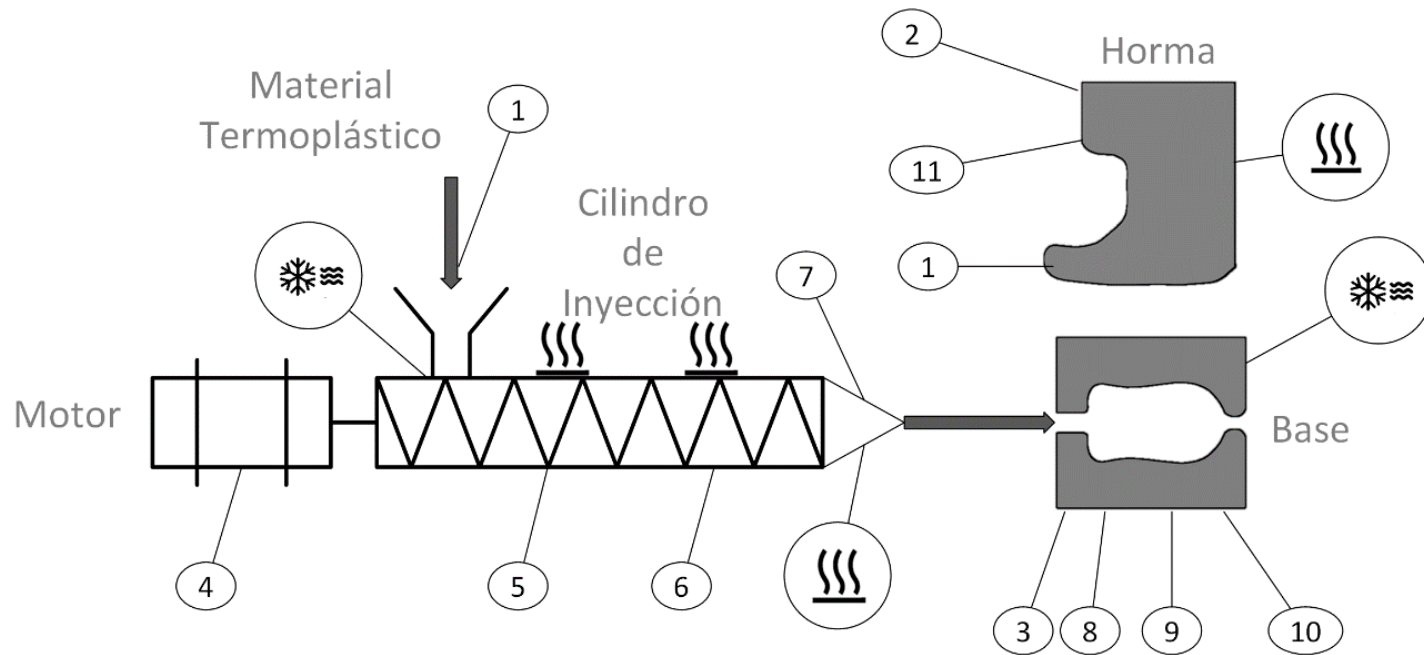


Cilindros de Abrir/Cerrar la base de la estación 1

Cilindros de Abrir/Cerrar la base de la estación 2



Parámetros de Diseño



Criterios de Diseño

Secuencia de operación

Control de temperatura

Interfaz de usuario

Comunicación entre dispositivos

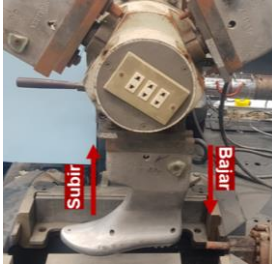


Parámetros de Diseño

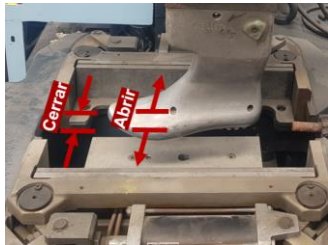
Secuencia de Operación

Manual

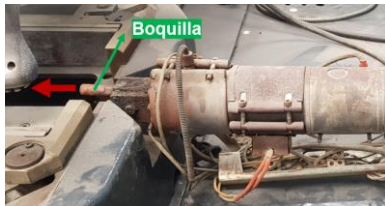
Subir / bajar la horma



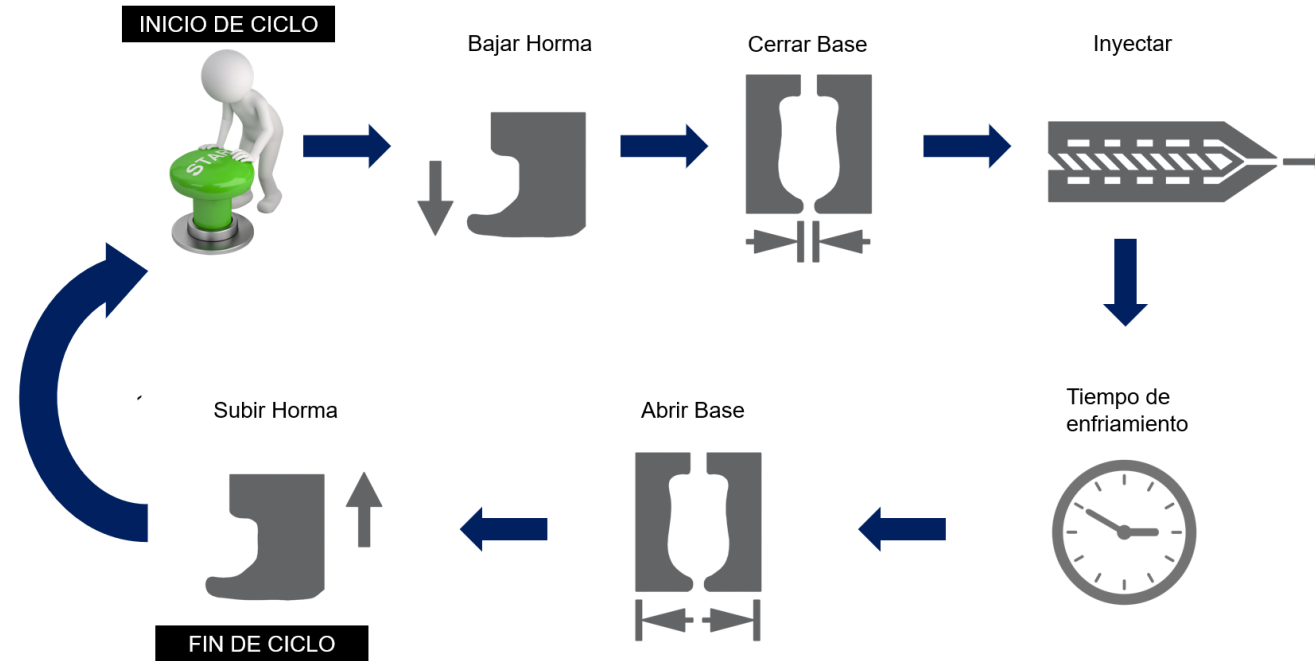
Abrir / cerrar la base



Inyectar, cargar y purgar.



Automático



Entradas

Pulsador NA	2
Microswitch	2
Selector	2
Paro de emergencia	1
Relé térmico	2
Presóstato	1

TOTAL 10

Salidas

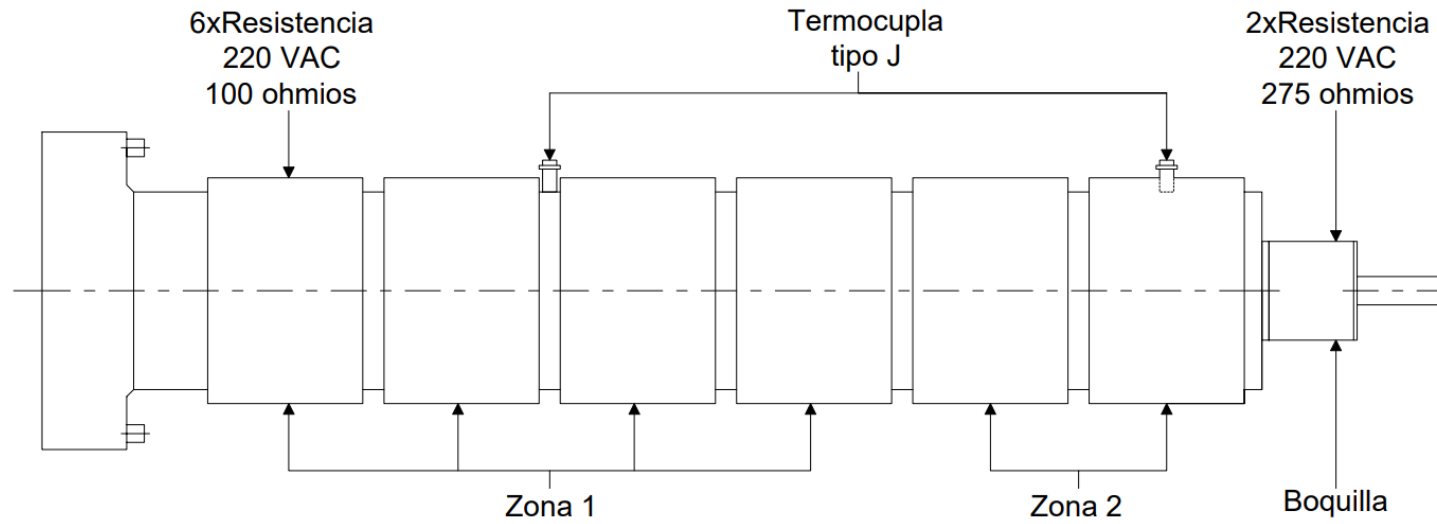
Bobina del contactor (motor)	2
Electroválvulas	8
Resistencias de la boquilla	2
Horma	2
Buzzer	1

TOTAL 15



Parámetros de Diseño

Control de Temperatura



Tipo	Cantidad
Entrada	4
Salidas	8



Diseño y Selección de Componentes

Interfaz de Usuario

Visualización y Control en Tiempo Real.

Alarmas y Notificaciones.

Personalización de Parámetros.

Comunicación entre Dispositivos

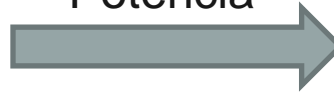


Diseño y Selección de Componentes

Adecuación del Sistema Eléctrico

Elemento	Cantidad
Interruptor automático magnetotérmico	15
Fusible	6
Contactor del motor	2
Guardamotor	2
Fuente de alimentación 24V DC	1
Relé de estado sólido	8
Transformador 220V AC – 24V AC	1
Módulo de 4 SSR	1
Niquelinas para tubo de inyección	12
Niquelinas para boquilla de inyección	2
Hormas	6
Motor trifásico	2
Tomacorriente 110V	1
PLC	1
Pantalla táctil HMI	1
Controlador de Temperatura	1
Elementos del tablero	varios
Indicador de voltaje	1
Indicador de intensidad	1
Termocuplas	4
Electroválvulas	4

Potencia



Elementos de Circuito de Arranque del Motor

Conductores

Guardamotores

Contactores

Fusibles

Elementos de Circuito de Activación de Niquelinas

SSR

Breaker



Diseño y Selección de Componentes

Dimensionamiento de Conductores

$$I_L = K_D \cdot I_n$$

$$I_L = 1.25 \cdot 39.8 \text{ [A]}$$

$$I_L = 49.75 \text{ [A]}$$

$$S_C = \frac{L \cdot P}{C \cdot u \cdot V}$$

Instalación de referencia		Tabla y columna Intensidad admisible para los circuitos simples				
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE-EPR		
		Número de conductores				
		2	3	2	3	
	Conductores aislados en un conducto en una pared térmicamente aislante	A1	columna 4	columna 3	columna 7	columna 6
	Cable multiconductor en un conducto en una pared térmicamente aislante	A2	columna 3	columna 2	columna 6	columna 5
	Conductores aislados en un conducto sobre una pared de madera/ mamp.	B1	columna 6	columna 5	columna 10	columna 8
	Cable multiconductor en un conducto sobre una pared de madera/map.	B2	columna 5	columna 4	columna 8	columna 7

	TEMPERATURA DEL CONDUCTOR		
	20 °C	TERMOPLÁSTICOS 70 °C	TERMOESTABLES 90 °C
Cu	58,00	48,47	45,49
Al	35,71	29,67	27,8

$$S_C \cong 0.53 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Método de instalación	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
A1		PVC3	PVC2	PVC2	XLPE3	XLPE2						
A2	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
B1				PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2			
B2				PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2				
C							PVC3	PVC2	XLPE3		XLPE2	
E							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2
F								PVC3		PVC2	XLPE3	XLPE2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S (mm ²)												
Cobre												
1.5	11	11.5	13	13.5	15	16	16.5	19	20	21	24	
2.5	15	16	17.5	18.5	21	22	23	26	26.5	29	33	
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	
35	-	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	
50	-	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	

	Columna 1a	Columna 1b	Columna 2	Columna 3
Indicación de sección norteamericana buscada	AWG	kcmil	mm ²	mm ²
	4		21,15	25
	5		16,77	
	6		13,30	16
	7		10,55	
	8		8,37	10

Diseño y Selección de Componentes


Dimensionamiento del Guardamotor

$$I_T = \sum I_i$$

$$I_T = 500[\text{mA}] + 80[\text{mA}] + 160[\text{mA}] + 8 \cdot 15[\text{mA}] + 8 \cdot 60[\text{mA}] + 2[\text{A}]$$

$$I_T = 5.34 [\text{A}]$$



Característica	Descripción	Gráfico
Marca	Siemens	
Modelo	3UA58-00-2E	
Frecuencia	50/60 Hz	
Capacidad Normal	25A – 40A	


Dimensionamiento del Contactor


Hp	Service Factor							
	Synchronous Speed, Rpm							
	3600	1800	1200	900	720	600	514	
1/20	1.4	1.4	1.4	1.4	Small Motors
1/12	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...	...
1/8	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...	...
1/6	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...	...
1/4	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...	...
1/3	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...	...
1/2	1.25	1.25	1.25	1.15*	Medium Motors
3/4	1.25	1.25	1.15*	1.15*	...	...	...
1	1.25	1.15*	1.15*	1.15*	...	...	...
1-1/2-125	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	
150	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	...	
200	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	...	...
250	1.0	1.15*	1.15*	1.15*	...	...	...
300	1.0	1.15*	1.15*	...	...	...	...
350	1.0	1.15*	1.15*	...	...	...	...

$$I_C = K_S \cdot I_n$$

$$I_C = 1.15 \cdot 39.8 [\text{A}]$$

$$I_C = 45.77 [\text{A}]$$

Característica	Descripción	Gráfico
Marca	Siemens	
Modelo	3TF46	
Potencia	20HP a 230V 40HP a 460V	
Categoría de Empleo	AC-3	
Alimentación Bobina	24V AC 50/60 Hz	
Capacidad normal	45A en AC-3 80A en AC-1	

Característica	Descripción	Gráfico
Marca	Schneider	
Modelo	LC1D95B7	
Potencia	30HP a 230/240V AC 60Hz Trifásico	
Categoría de Empleo	AC-3 AC-3e AC-4 AC-1	
Alimentación Bobina	24V AC 50/60 Hz	
Capacidad normal	95A en AC-3 125A en AC-1	

Diseño y Selección de Componentes

Dimensionamiento de los Fusibles

Tipo de motor	En porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo ¹	Fusible de dos elementos ¹ (con retardo de tiempo)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso ²
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores polifásicos de corriente alterna distintos a los de rotor devanado	300	175	800	250
De jaula de ardilla: diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes	300	175	800	250
De diseño B energéticamente eficientes	300	175	1100	250
Sincrónicos ³	300	175	800	250



$$I_{F_{\text{máx}}} = K_S \cdot I_n$$

$$I_{F_{\text{máx}}} = 3 \cdot 39.8 \text{ [A]}$$

$$I_{F_{\text{máx}}} = 119.4 \text{ [A]}$$

$$I_n \leq I_F \leq I_{F_{\text{máx}}} \wedge I_n \leq I_F \leq 1.5 \cdot I_L$$

$$39.8 \text{ [A]} \leq I_F \leq 119.4 \text{ [A]} \wedge 39.8 \text{ [A]} \leq I_F \leq 1.5 \cdot 59 \text{ [A]}$$

$$39.8 \text{ [A]} \leq I_F \leq 88.5 \text{ [A]}$$

Característica	Descripción	Gráfico
Marca	SASSIN	
Tipo	NH00	
Serie	RT16	
Categoría	gG	
Capacidad normal	80A	



Diseño y Selección de Componentes

Dimensionamiento de los SSR

$$I_{N_n} = \frac{V}{R}$$

$$I_{N_n} = \frac{220 [V]}{100 [\Omega]}$$

$$I_{N_n} = 2.2 [A]$$

Zona 1	Zona 2
--------	--------

$$I_{Z1_n} = 4 \cdot I_{N_n}$$

$$I_{Z2_n} = 2 \cdot I_{N_n}$$

$$I_{Z1_n} = 4 \cdot 2.2 [A]$$

$$I_{Z2_n} = 2 \cdot 2.2 [A]$$

$$I_{Z1_n} = 8.8 [A]$$

$$I_{Z2_n} = 4.4 [A]$$

Intensidad Total de Boquillas

Intensidad Total de Hormas

$$I_{B_T} = 2 \cdot I_{B_n}$$


$$I_{H_T} = 3 \cdot I_{H_n}$$

$$I_{B_T} = 2 \cdot 0.8 [A]$$

$$I_{H_T} = 3 \cdot 0.8 [A]$$

$$I_{B_T} = 1.6 [A]$$

$$I_{H_T} = 2.4 [A]$$

Característica	Descripción	Gráfico
Marca	FOTEK	
Tipo	SSR-15 DA	
Corriente de conmutación	15A	
Control	3 a 32V DC	
Carga	24 a 380V AC	

Dimensionamiento de los Interruptores

$$I_Q = K_D \cdot I_Z$$

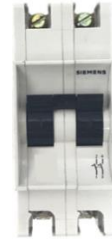
$$I_Q = K_S \cdot (I_{E1_n} + I_{E2_n})$$

$$I_Q = 1.15 \cdot 13.2 [A]$$

$$I_Q = 1.15 \cdot (4[A] + 4[A])$$

$$I_Q = 15.18 [A]$$

$$I_Q = 9.2 [A]$$

Característica	Descripción	Gráfico
Marca	SIEMENS	
Modelo	5 SQ 12	
Capacidad normal	1: 16 A 2: 10 A	



Diseño y Selección de Componentes


Selección de la Fuente DC

Cantidad	Elemento	Carga Individual
1	PLC (Eopus)	500mA
1	Pantalla HMI	80mA
1	Módulo de relés de estado sólido	160mA
8	Relés de estado sólido (accionamientos)	15mA
8	Solenoides para electroválvulas	60mA

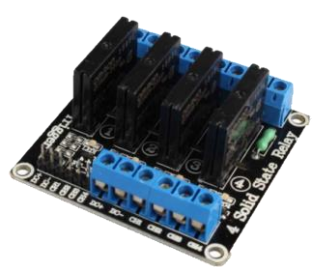
$$I_T = \sum I_i$$

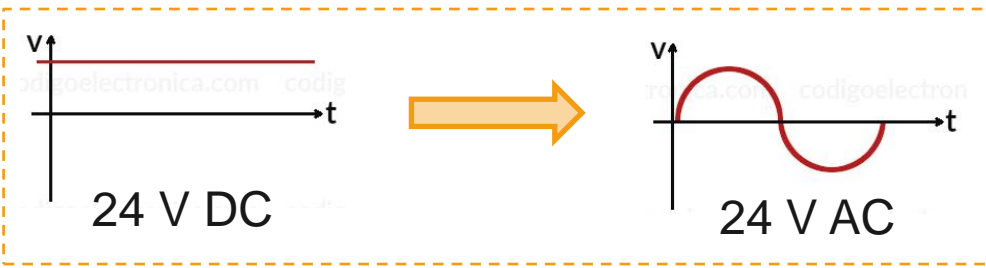
$$I_T = 500[mA] + 80[mA] + 160[mA] + 8 \cdot 15[mA] + 8 \cdot 60[mA] + 2[A]$$

$$I_T = 5.34 [A]$$

Característica	Descripción	Gráfico
Marca	Mean Well	
Modelo	EDR-150-24	
Voltaje de Entrada	110 – 230V AC	
Voltaje de Salida	24V DC	
Corriente de Salida	6.5A	
Potencia de Salida	150W	

Módulo SSR 4

Característica	Descripción	Gráfico
Marca	HakkaDeal	
Canales	4	
Max. Voltaje (Potencia)	240V	
Max. Intensidad (Potencia)	2A	
Voltaje de suministro	5V DC	
Consumo	160 mA	



Diseño y Selección de Componentes

Selección del PLC

- Disponibilidad
- Fiabilidad

- Software de programación
- Precio



PLC EOPUS CP07



PLC Mitsubishi
FX5U-32MR/DS

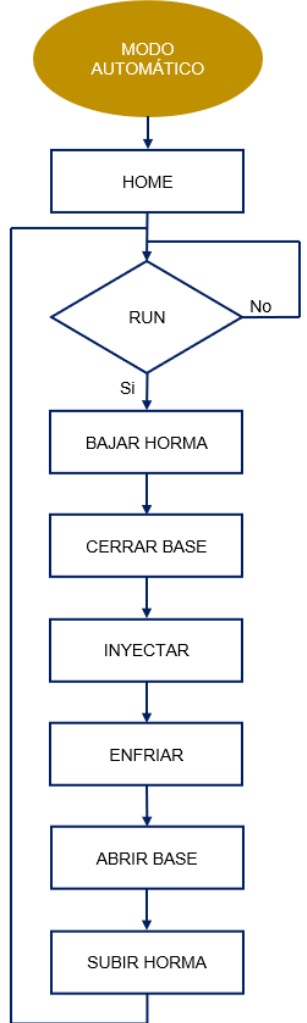
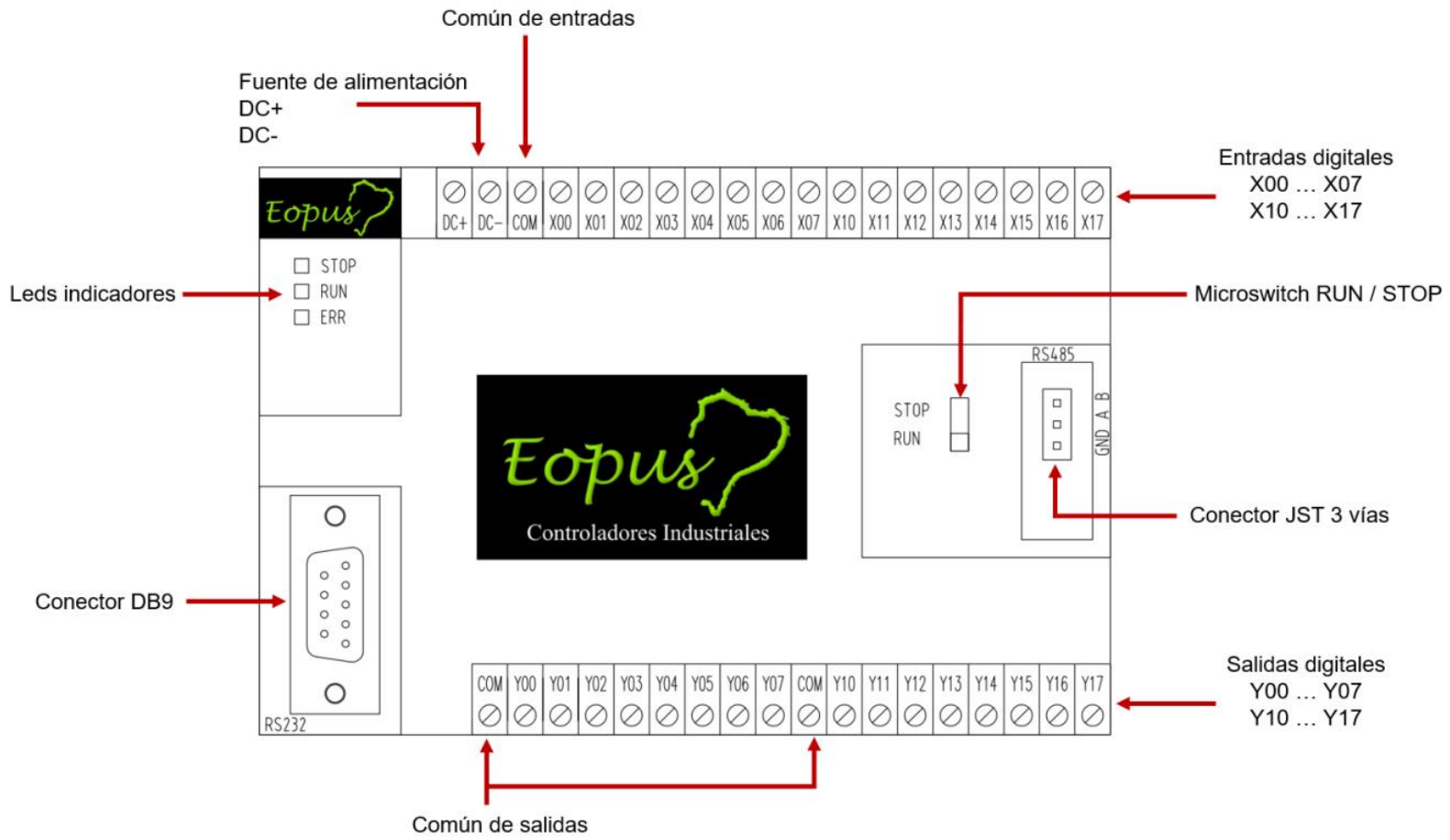


PLC Modicon M221



Diseño y Selección de Componentes

Control del PLC



Diseño y Selección de Componentes

Selección de la Pantalla Táctil

Calidad del táctil

Durabilidad

Calidad de visualización

Precio

DWIN DMG80480T070_09W



NEXTION NX8048T070



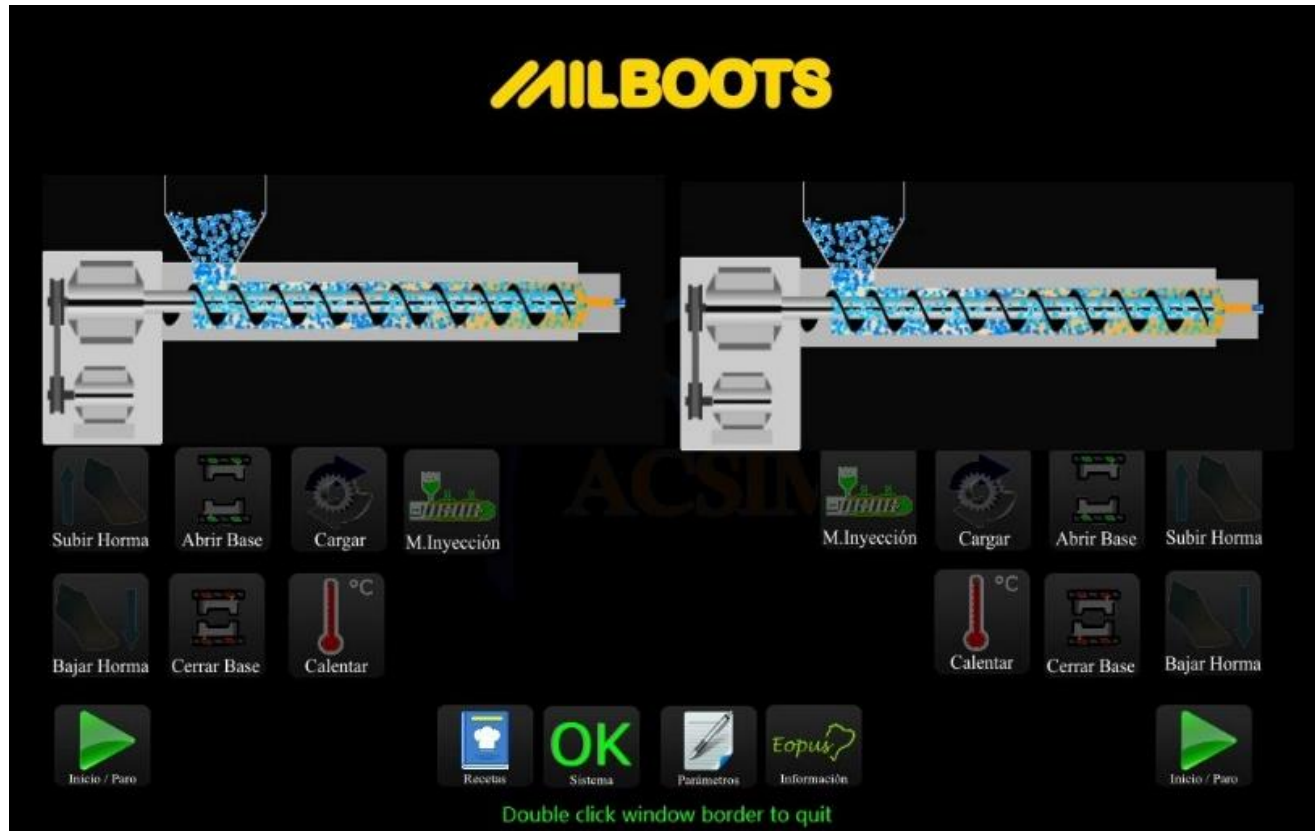
XINJE TG765-MT



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño y Selección de Componentes

Diseño del HMI



Ventana Principal

Ventana de Recetas

Ventana de Sistema

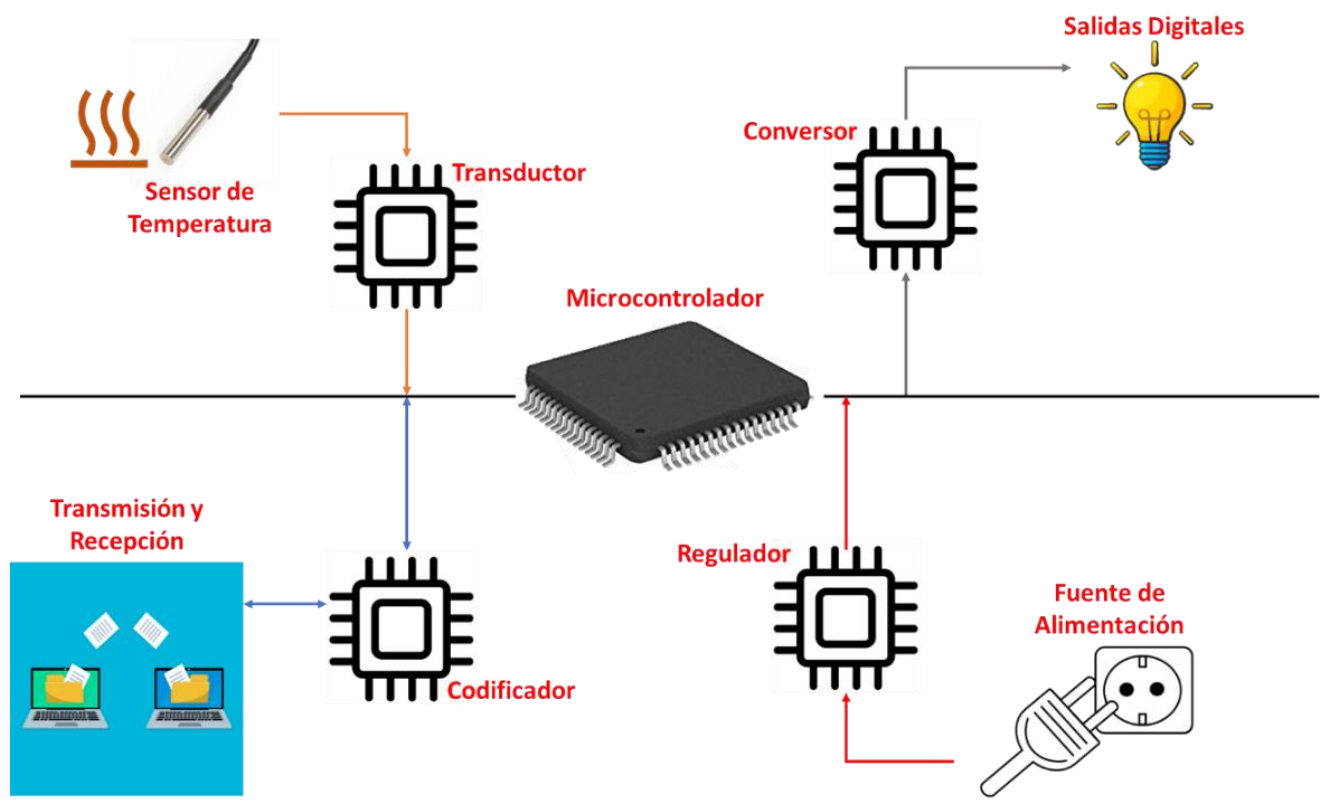
Ventana de Parámetros

Ventana de Información



Diseño y Selección de Componentes

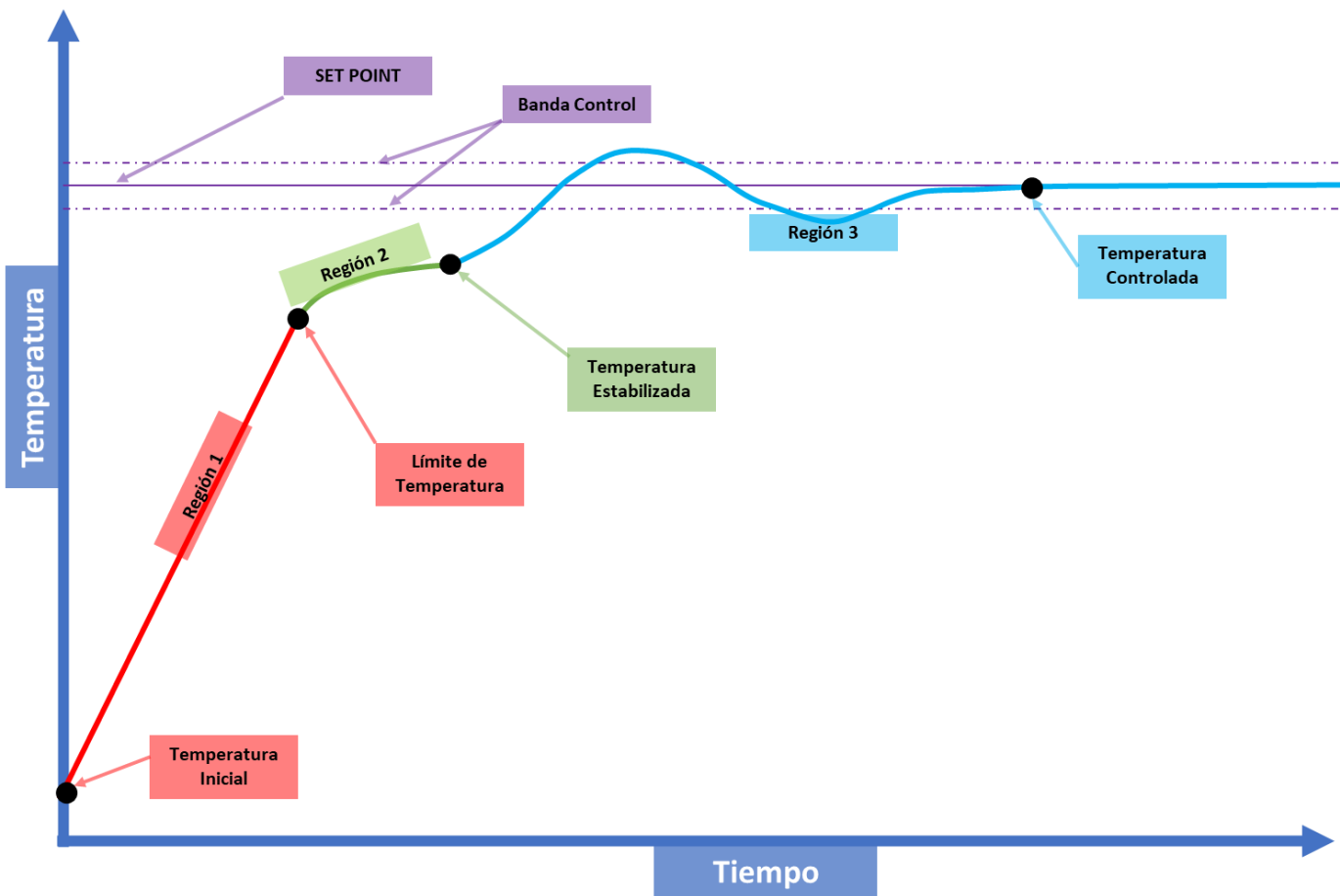
Módulo de Temperatura



- Transductor
 - MAX6675
- Sensor de Temperatura
 - Termocupla J
- Convertor
 - ULN2803AG
- Codificador
 - ADM2483
- Regulador
 - Fuente 24 V DC

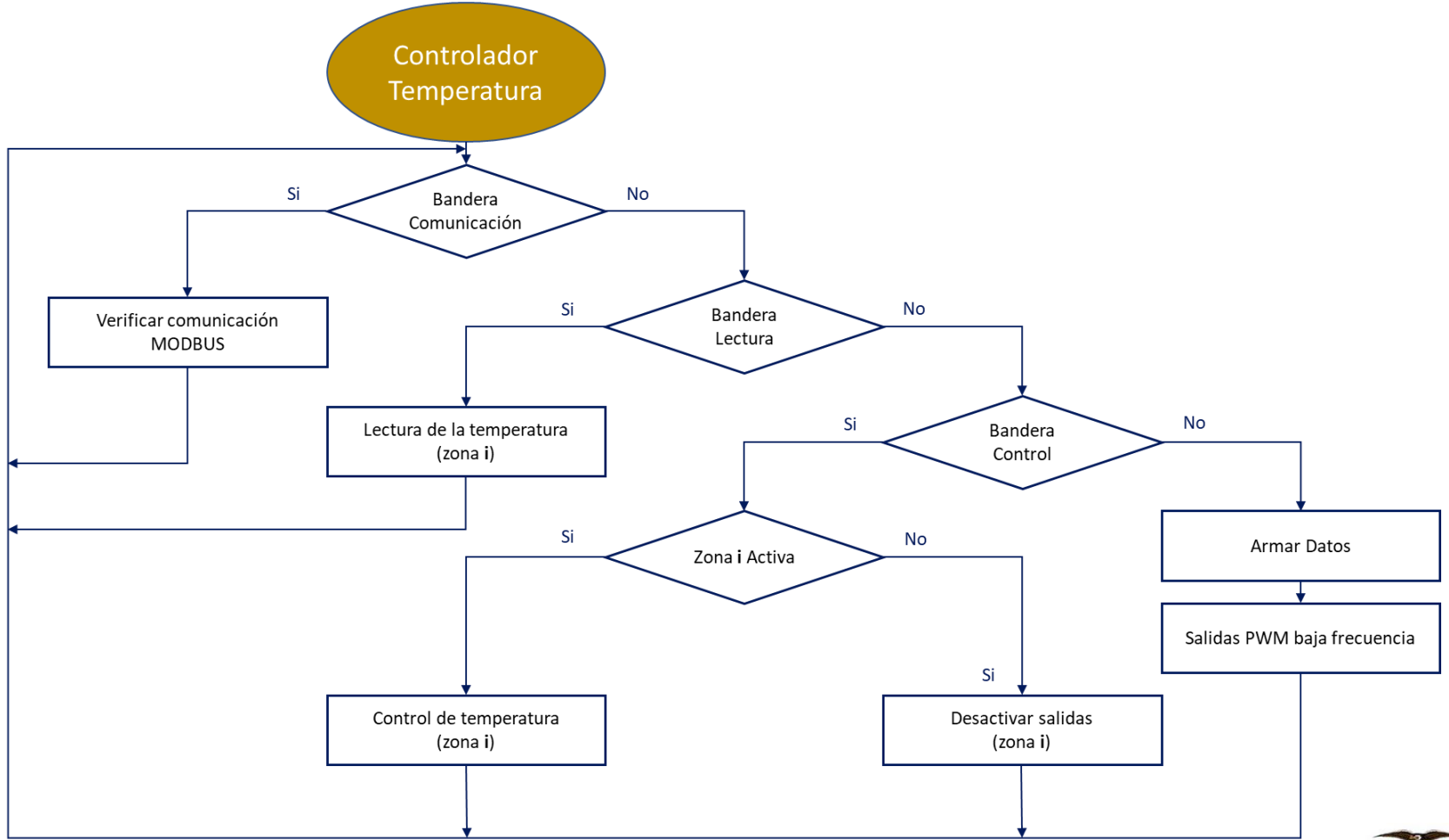
Diseño y Selección de Componentes

Control de Temperatura




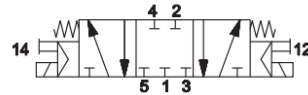
Diseño y Selección de Componentes

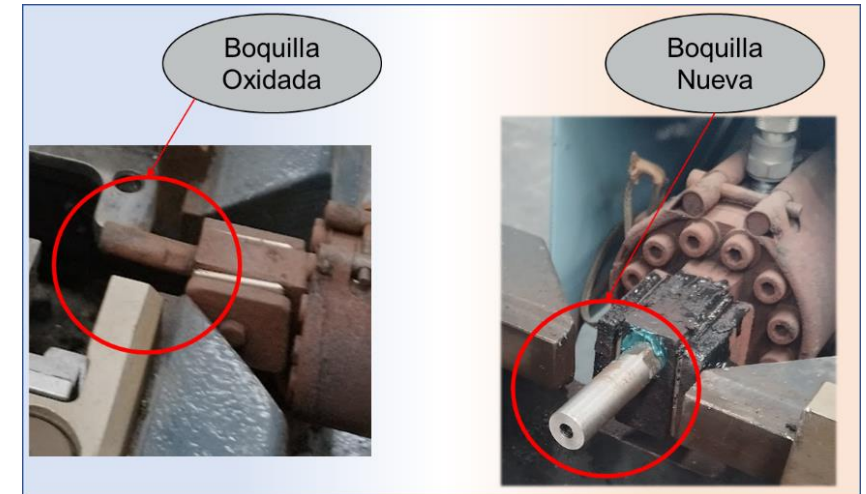
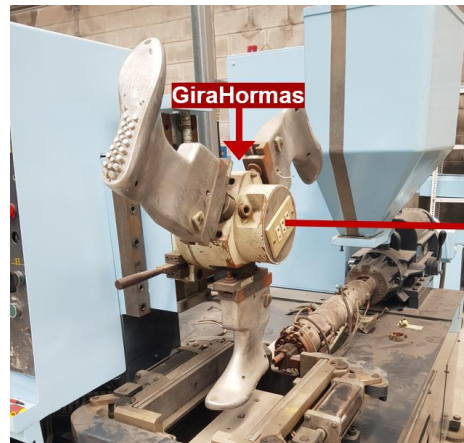
Control de Temperatura



Implementación del Sistema

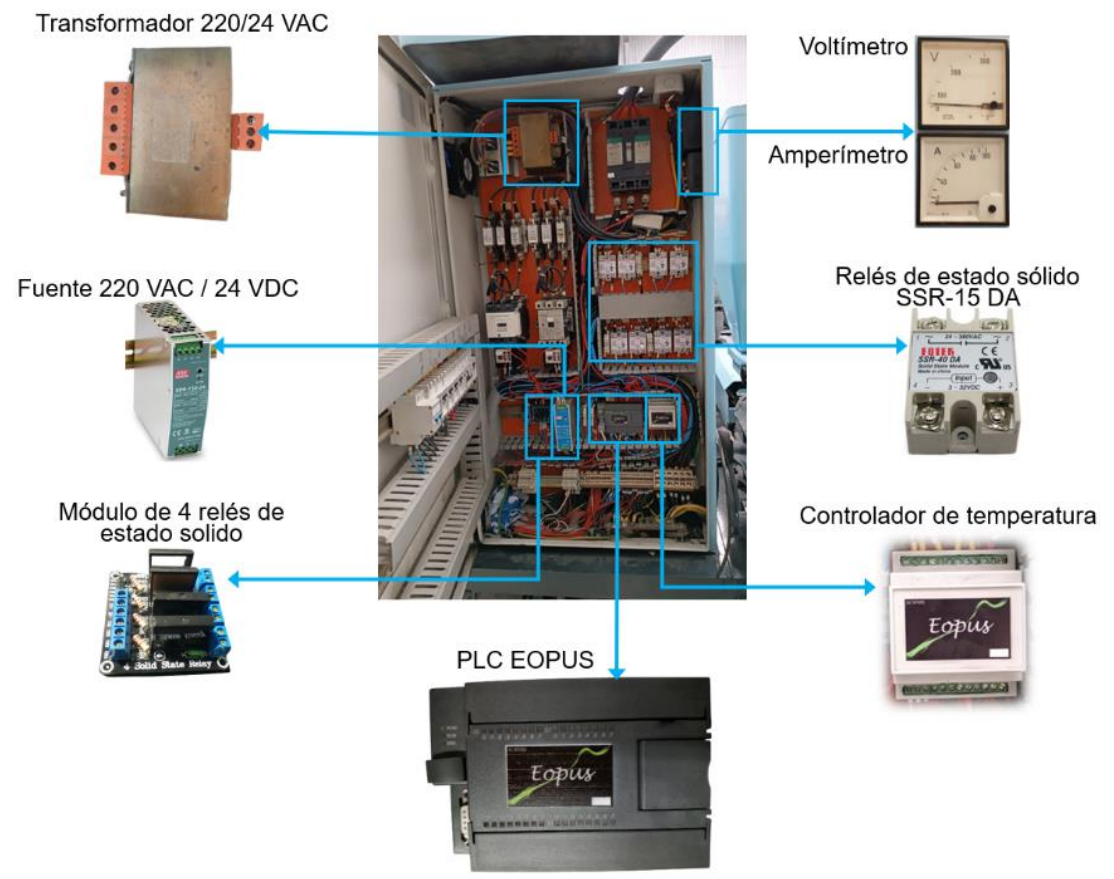
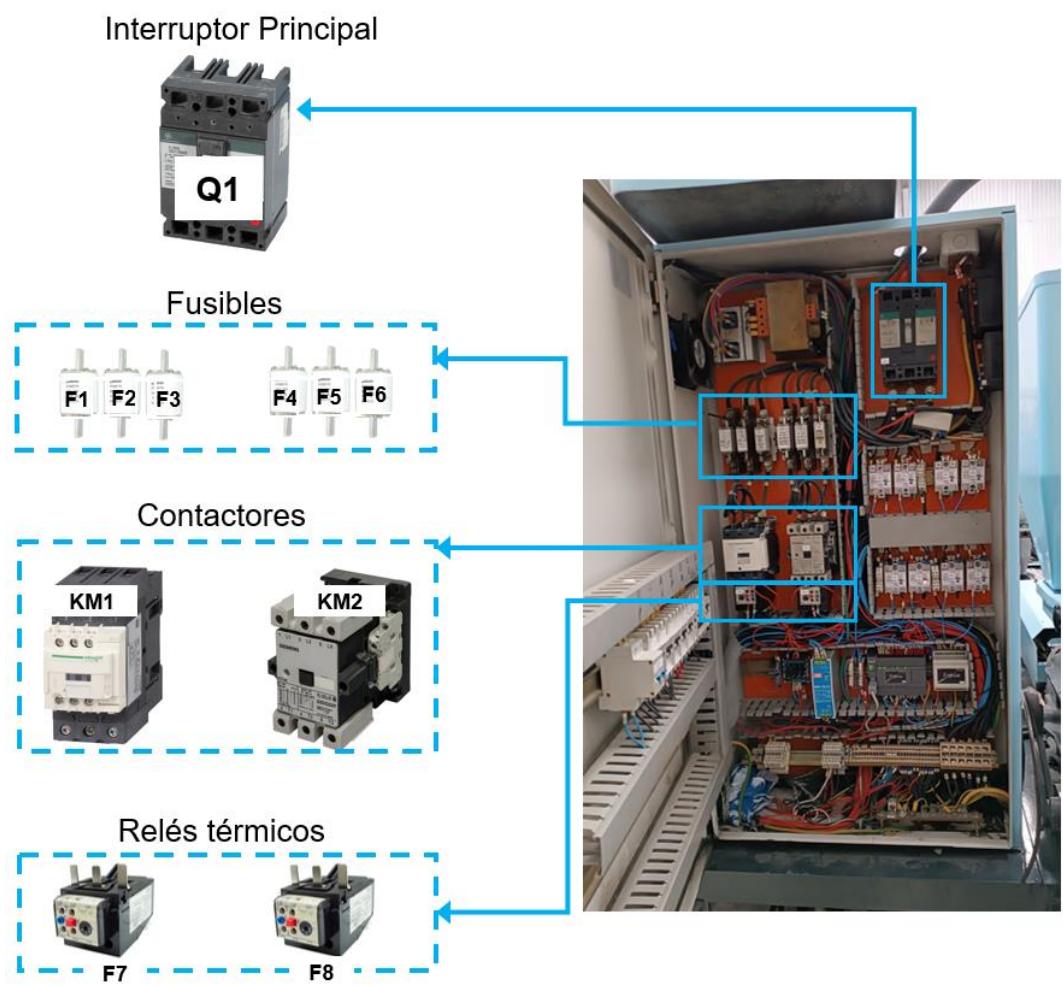
Rehabilitación del Sistema Mecánico

Característica	Descripción	Gráfico
Temperatura ambiente	-10 – 50 °C	
Presión	2.3 – 10 bar	
Voltaje	24V DC	
Energía de consumo	2.5 W	
Símbolo		
Control	12: eléctrico 14: eléctrico	
Peso	0.39 kg	



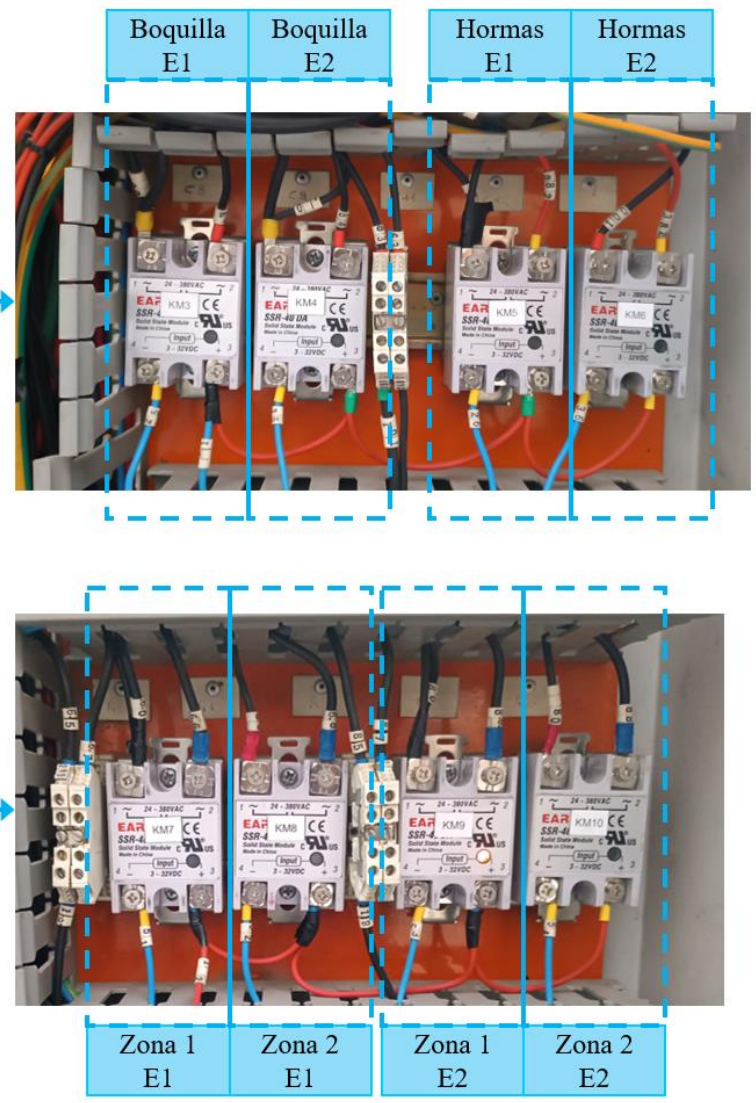
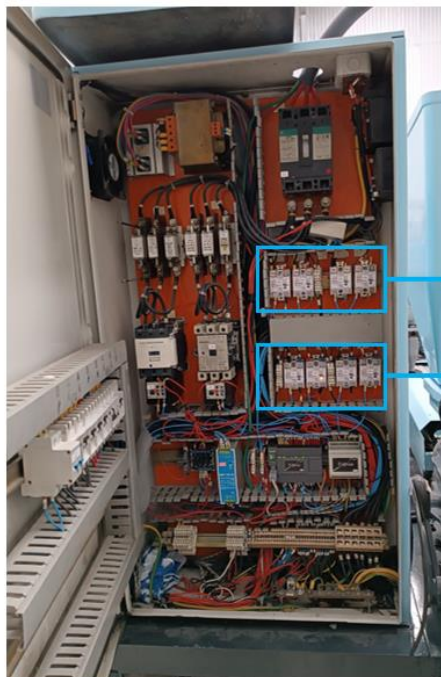
Implementación del Sistema

Tablera de Fuerza y Control



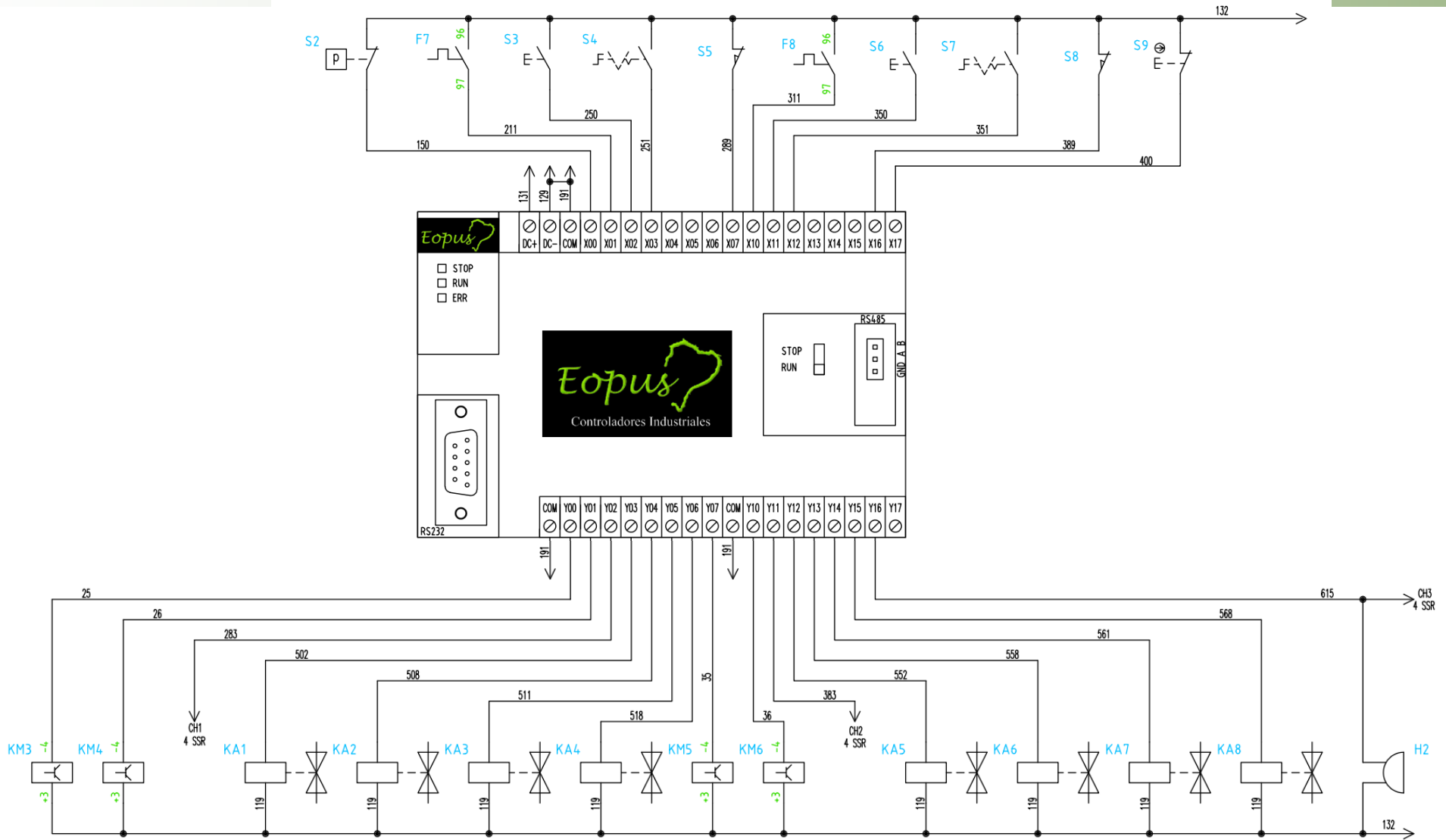
Implementación del Sistema

Tablera de Fuerza y Control



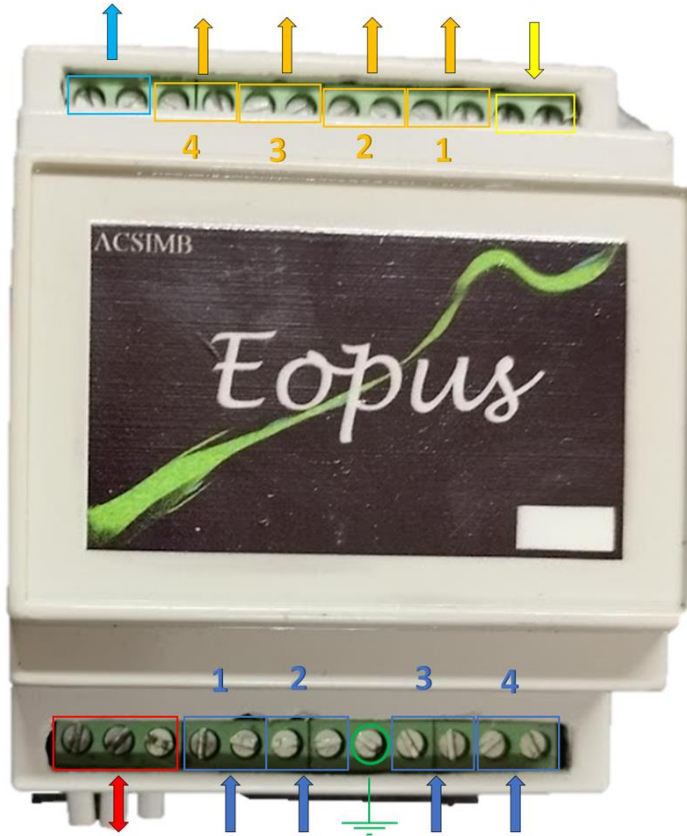
Implementación del Sistema

PLC

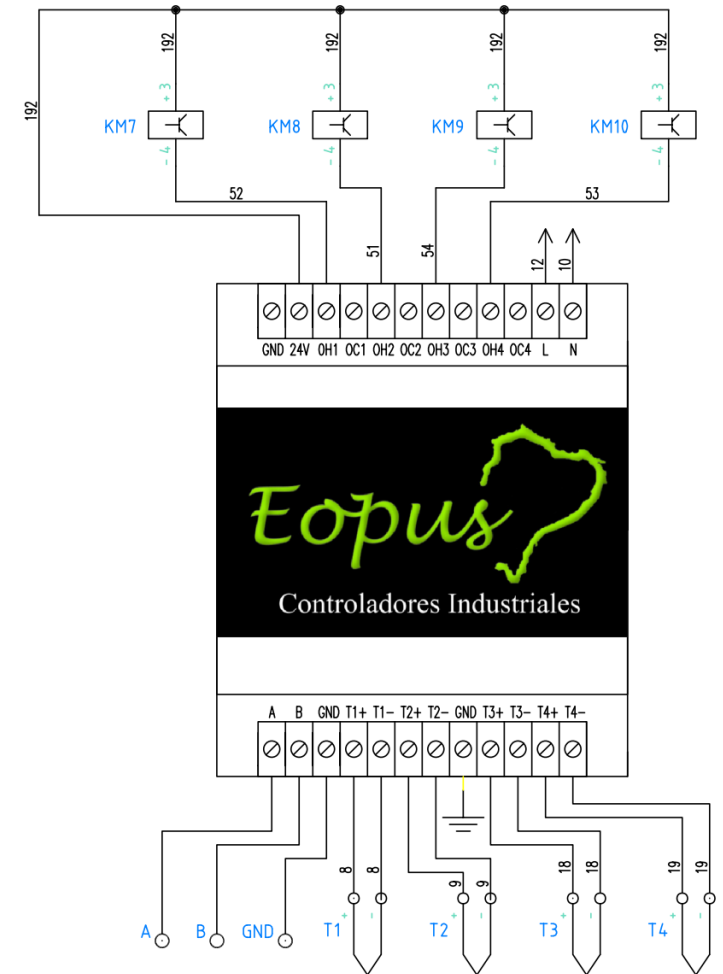


Implementación del Sistema

Controlador de Temperatura

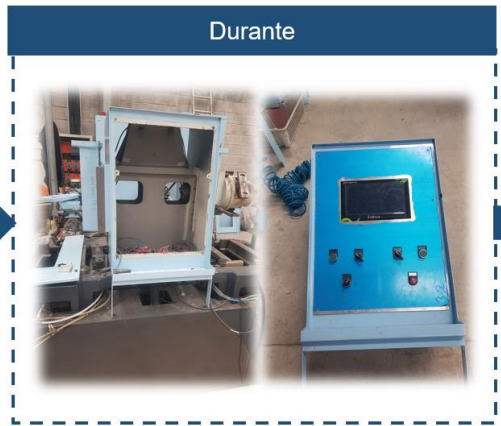


Pines	Descripción
Comunicación	Pin 1: A Pin 2: B Pin 3: GND
Termocuplas	Pin 1: + Pin 2: -
Tierra	Conectar al chasis
Alimentación	Pin 1: Línea (L1) Pin 2: Neutro /Línea (L2)
Salidas Digitales	Pin 1: Salida para calentar Pin 2: Salida para enfriar
Voltaje de Salida	Pin 1: 0V Pin 2: 24V



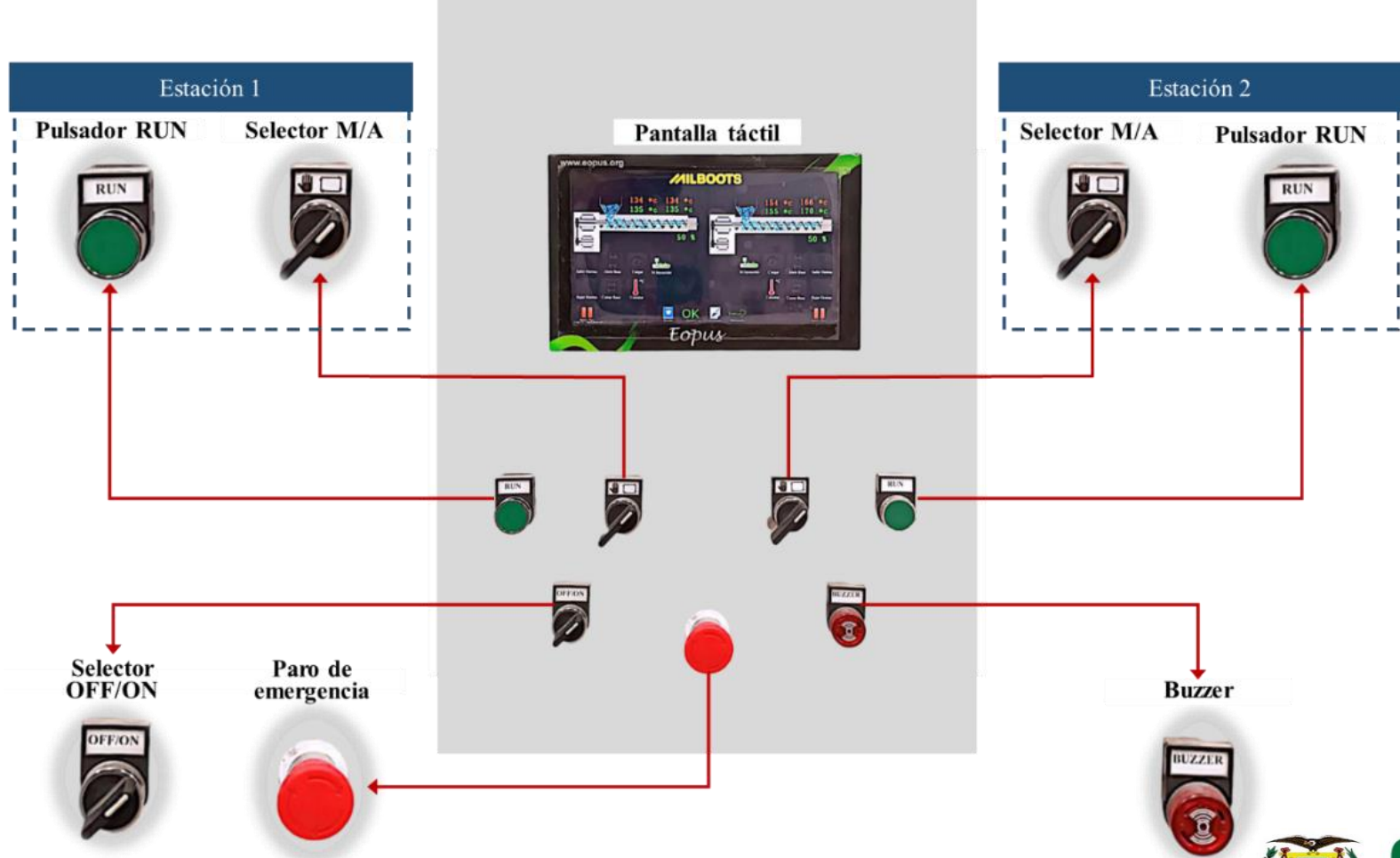
Implementación del Sistema

Panel de Control



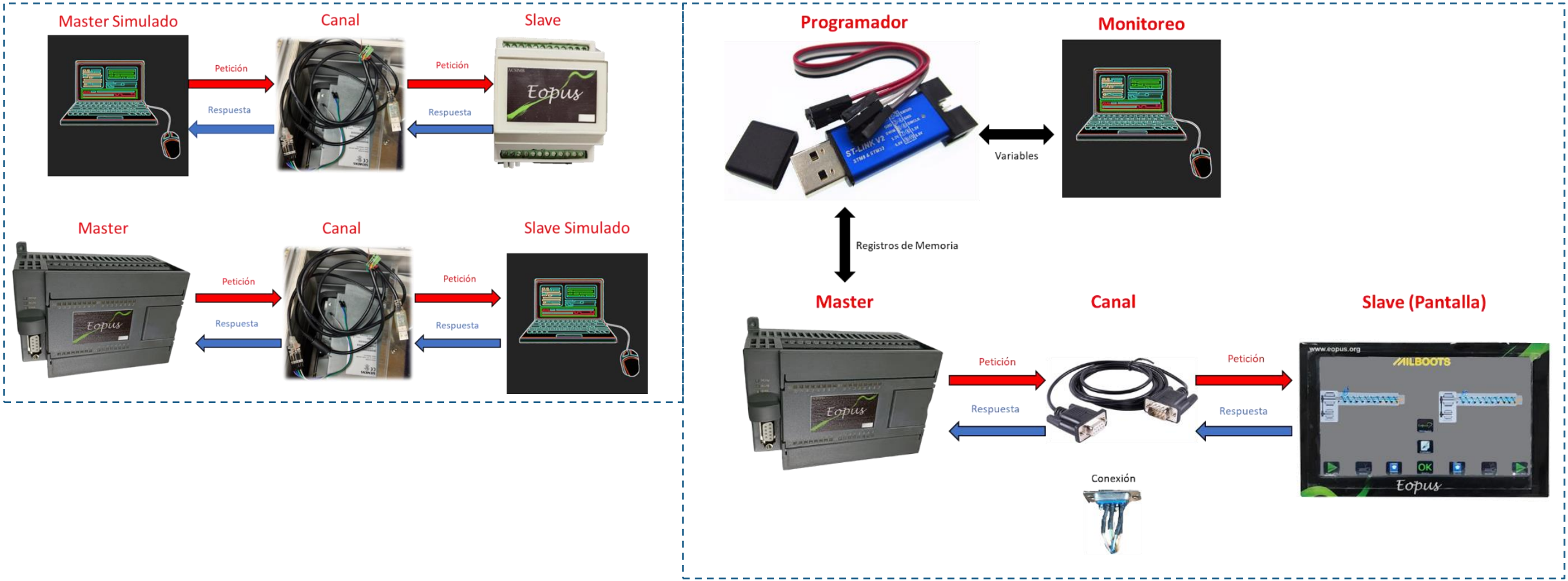
Implementación del Sistema

Panel de Control



Pruebas de Funcionamiento

Comunicación entre dispositivos



Pruebas de Funcionamiento

Comunicación PLC – Módulo

Lectura

Dirección				Descripción
0	5	10	15	Temperatura medida
1	6	11	16	Porcentaje Activo
2	7	12	17	Información
3	8	13	18	-
4	9	14	19	-

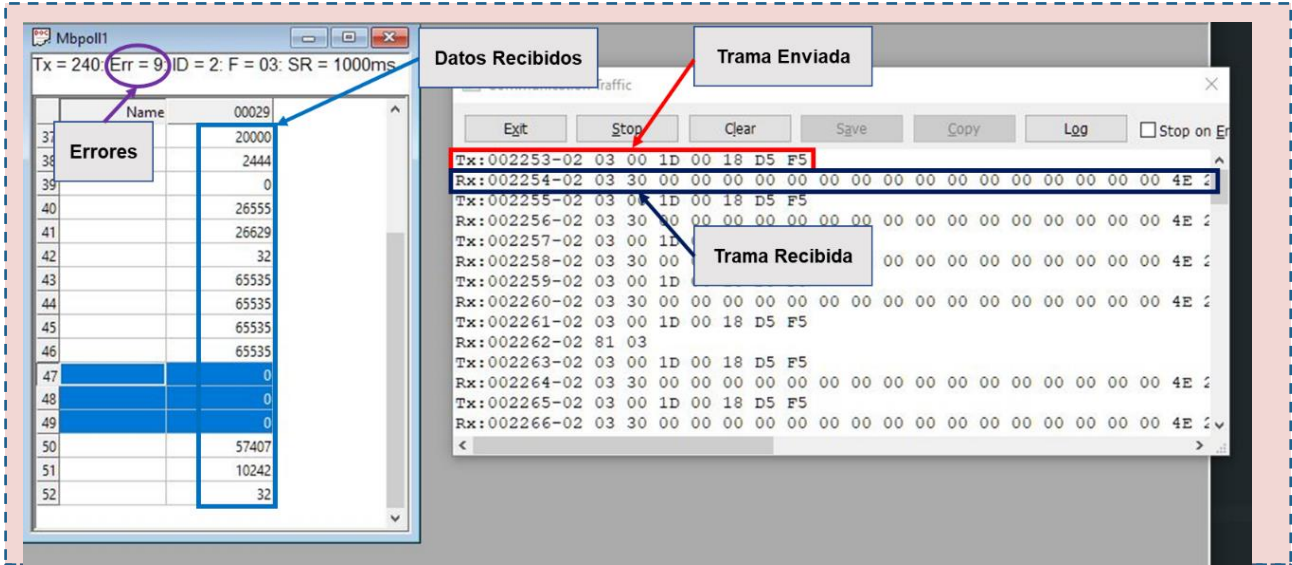
Escritura

Dirección				Descripción
39				Zonas Activas
40	41	42	43	Set Point Temperatura
44				Tiempo de Ciclo
60	71	82	93	KP
61	72	83	94	KI
62	73	84	95	KD
63	74	85	96	Histéresis
64	75	86	97	Tiempo de Seguridad
65	76	87	98	Gradiente de Temperatura
66	77	88	99	Porcentaje Inicial
67	78	89	100	Compensación Temperatura +
68	79	90	101	Compensación Temperatura -
69	80	91	102	Porcentaje Calentador
70	81	92	103	Porcentaje Enfriador



Pruebas de Funcionamiento

Comunicación entre dispositivos

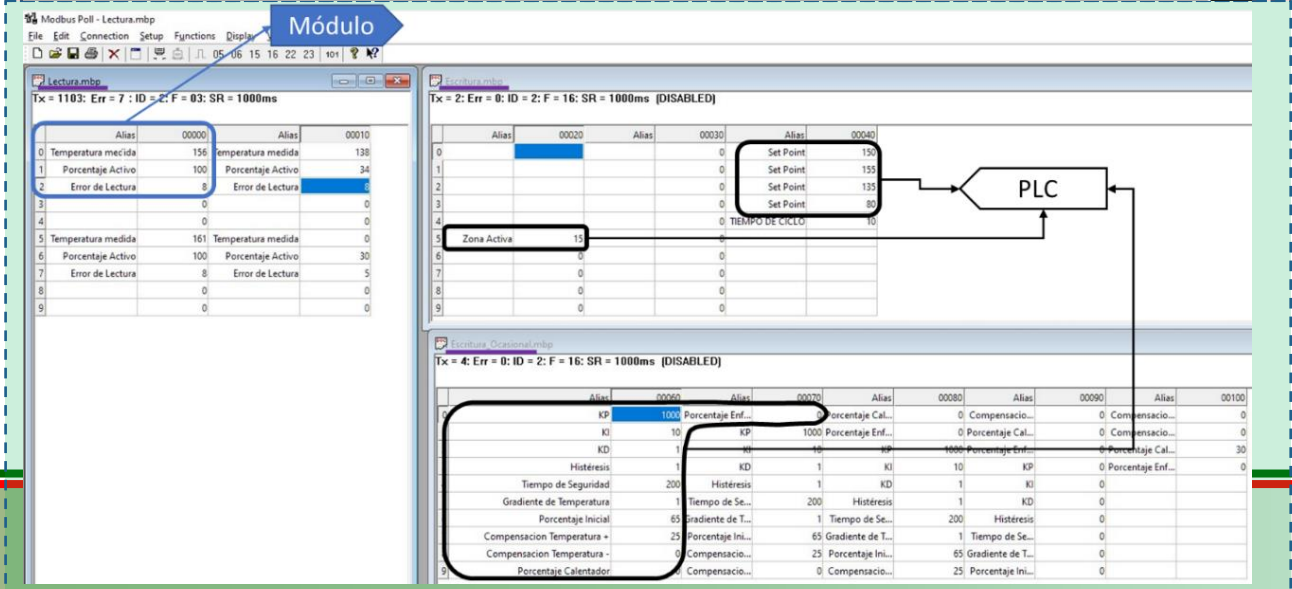


Modbus Poll interface showing error logs and traffic analysis. The left window displays error details: Tx = 240, Err = 9, ID = 2, F = 03, SR = 1000ms. Below it is a table of errors:

	Name	00029
37		20000
38		2444
39		0
40		26555
41		26629
42		32
43		65535
44		65535
45		65535
46		65535
47		0
48		0
49		0
50		57407
51		10242
52		32

The right window shows traffic analysis with buttons: Exit, Stop, Clear, Save, Copy, Log, and Stop on Error. It lists received and sent frames:

- Datos Recibidos** (Received Data): Tx: 002253-02 03 00 1D 00 18 D5 F5
- Trama Enviada** (Sent Frame): Rx: 002254-02 03 30 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 4E 2
- Trama Recibida** (Received Frame): Rx: 002255-02 03 00 1D 00 18 D5 F5



Modbus Poll interface showing a PLC configuration screen. The top window displays error logs: Tx = 1103, Err = 7, ID = 2, F = 03, SR = 1000ms. Below it is a table of aliases:

Alias	00000	Alias	00010
0	Temperatura medida	156	temperatura medida
1	Porcentaje Activo	100	Porcentaje Activo
2	Error de Lectura	0	Error de Lectura
3		0	0
4		0	0
5	Temperatura medida	161	Temperatura medida
6	Porcentaje Activo	100	Porcentaje Activo
7	Error de Lectura	8	Error de Lectura
8		0	0
9		0	0

The bottom window shows a PLC configuration screen with a diagram of a PLC and various parameters like Zona Activa, Set Point, and Tiempo de Ciclo.



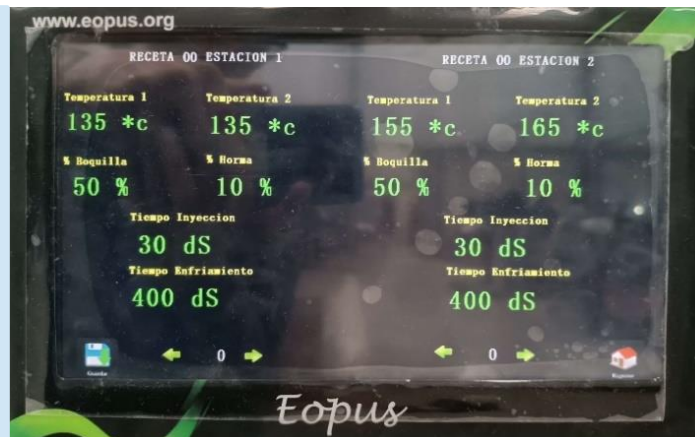
Pruebas de Funcionamiento

Pantalla Táctil HMI

Principal



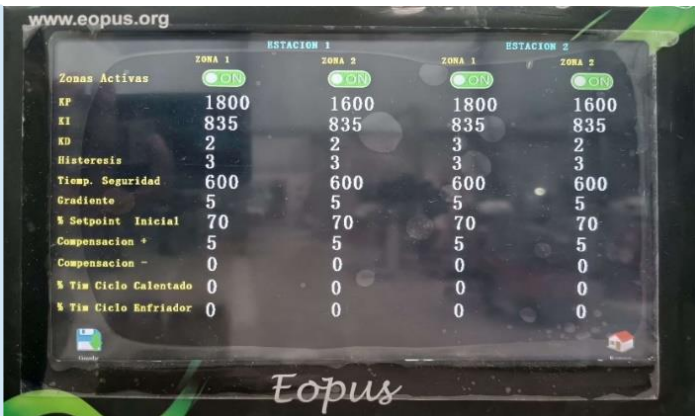
Recetas



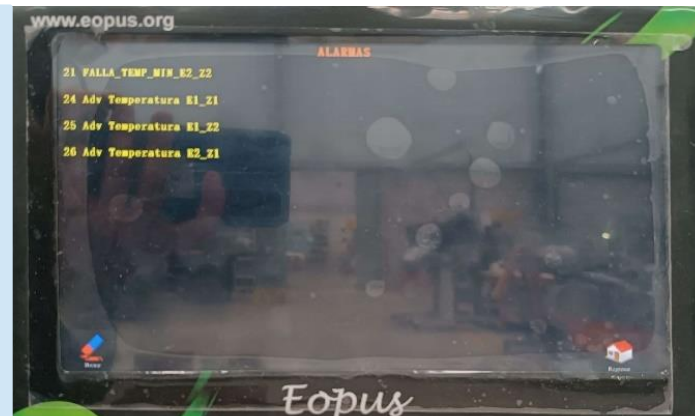
Parámetros P.



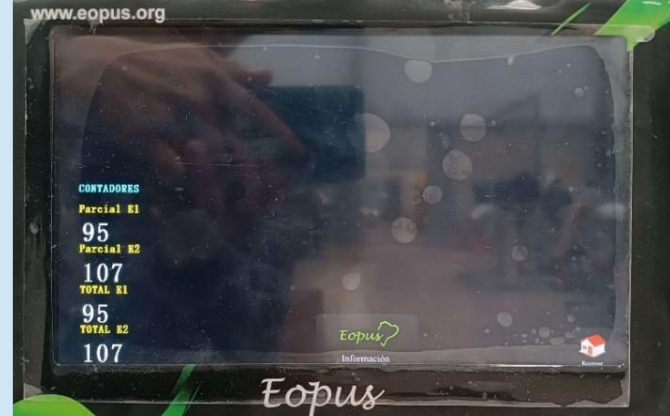
Parámetros T.



Sistema



Información



Pruebas de Funcionamiento

Comportamiento de la Temperatura

Parámetro de control	Estación 1		Estación 2	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
KP	1.8	1.6	1.8	1.6
KI	0.835	0.835	0.835	0.835
KD	0.002	0.002	0.002	0.002
Histéresis [%]	3	3	3	3
Tiempo de ciclo [s]	8	8	8	8
Gradiente [°C/min]	5	5	5	5
Porcentaje inicial [%]	70	70	70	70

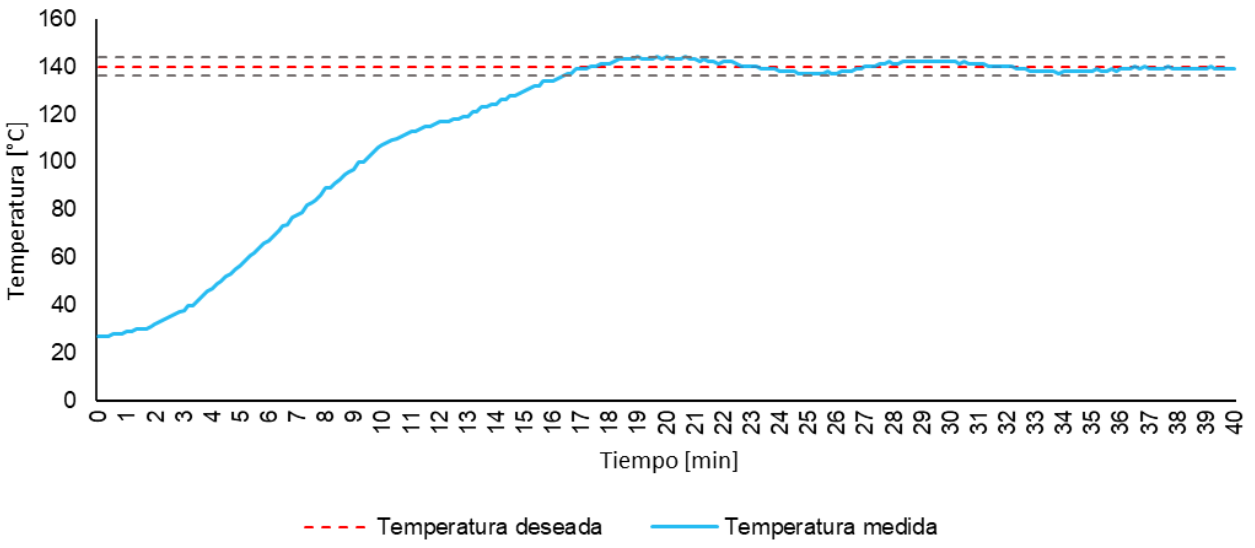
Estación	Zona	Temperatura deseada [°C]
1	1	140
	2	150
2	1	145
	2	155



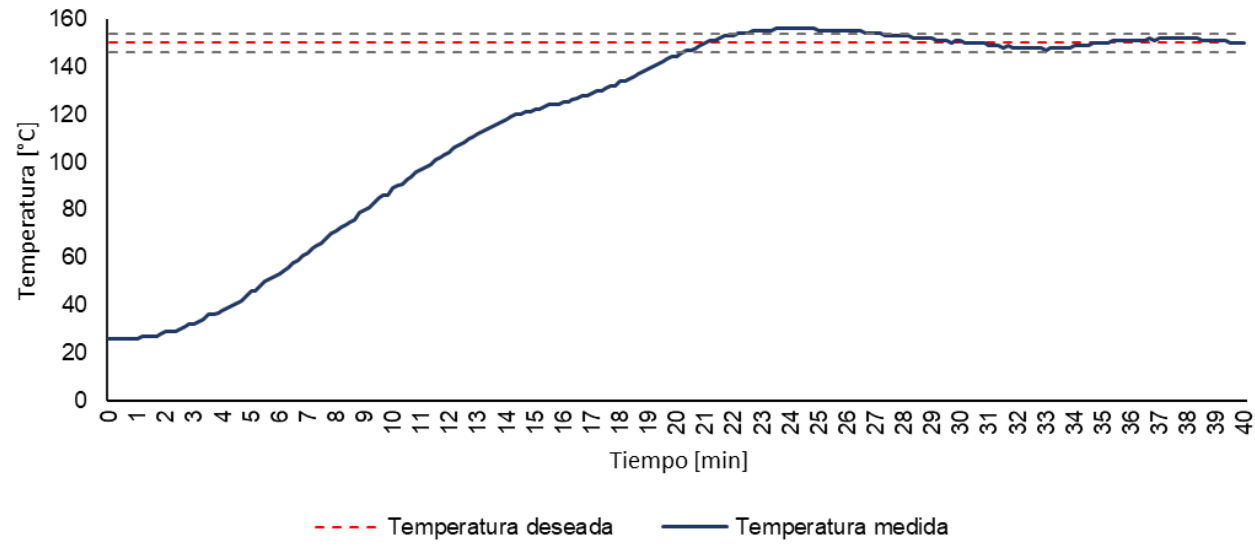
Pruebas de Funcionamiento

Comportamiento de la Temperatura

Estación 1
Zona 1



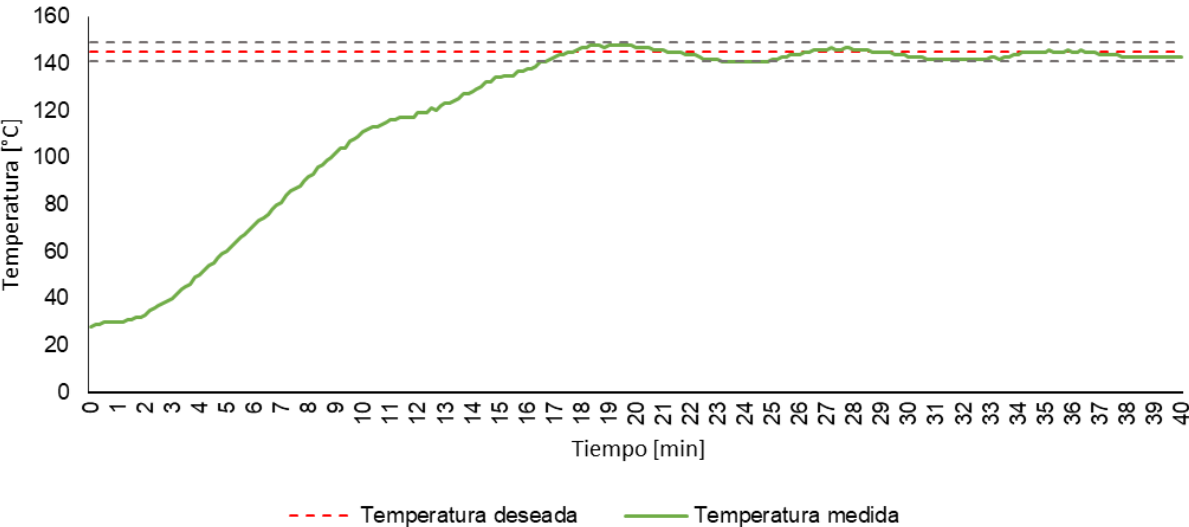
Estación 1
Zona 2



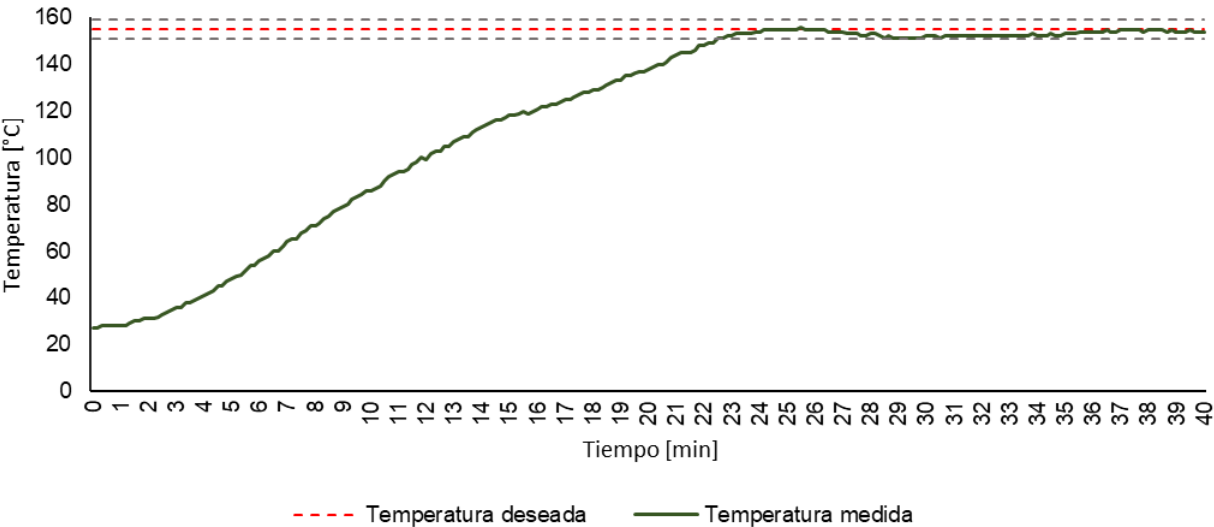
Pruebas de Funcionamiento

Comportamiento de la Temperatura

Estación 2
Zona 1



Estación 2
Zona 2



Pruebas de Funcionamiento

Pruebas Totales

Breve Capacitación



Trabajo autónomo



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Pruebas de Funcionamiento

Pruebas Totales



Pruebas de Funcionamiento

ANTES



DESPUES



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Validación de la Hipótesis

Indicador	Enc. 1	Enc. 2	Enc. 3	Enc. 4	Enc. 5	Máquina Inyectora
Porcentaje de automatización	10%	0%	0%	10%	50%	50%
Tiempo dedicado por el operario para el ensuelado [min/par]	7	27	17	7	12	2.5
Tiempo adquisición de materia prima [minutos por par]	2.4	28.8	30	14.4	3.6	33.6
Tiempo en solucionar problemas que afectan a la producción [minutos por par]	57.6	0	15	0.6	0	0.4
Cantidad confeccionada en 8 horas	13	13	3	38	33	200
Costo total de materiales	3.6	50	5	10	7.5	1.667
Costo de ensuelado	1.8	4	2.5	2.1	2	1.363
Costo que representan los problemas comunes	0.2	1	2.5	0.2	0.05	1.333

Prueba t de Student

$$n = 5$$

$$GL = n - 1$$

$$GL = 4$$

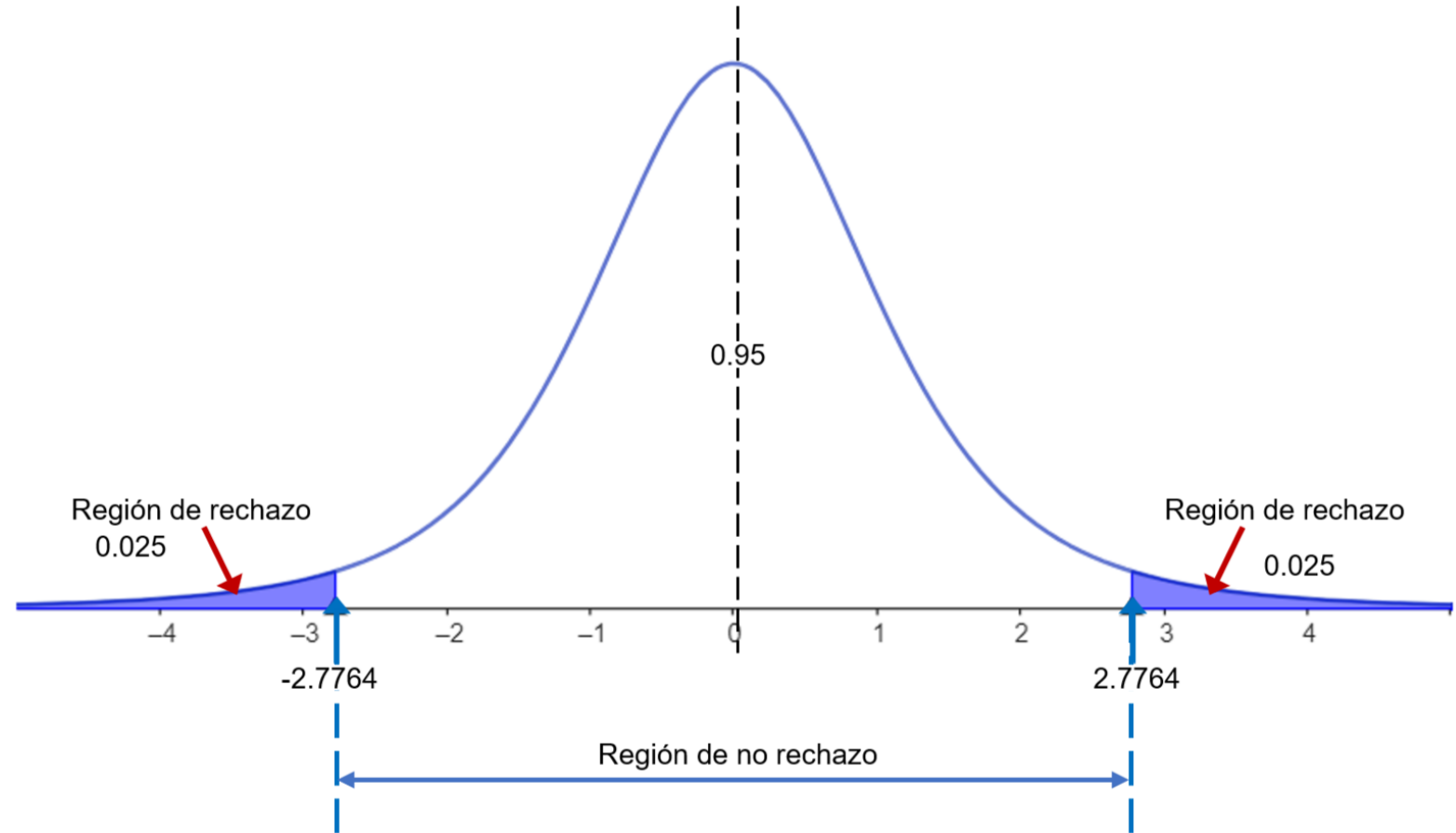
Nivel de confianza del 95%

Nivel de significancia
 $\alpha = 0.5$



Validación de la Hipótesis

Grados de libertad	0.25	0.10	0.05	0.025
1	1.0000	3.0777	6.3138	12.7062
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7764
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604



Hipótesis nula: $H_0: \mu = \mu_0$

Hipótesis alternativa: $\mu \neq \mu_0$



Validación de la Hipótesis

Rechazar H_0 :

Método del Valor Crítico: Cuando $t > t_{\alpha/2}$ o $t < -t_{\alpha/2}$

$$t > 2.7764 \text{ o } t < -2.7764$$

El método del valor p: Cuando $p < \alpha$

$$p < 0.05$$

Media muestral

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Estadístico de prueba t

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$



Validación de la Hipótesis

Indicador	Valor de prueba (Inyección)	Media (Convencional)	s	Valor t	Valor p
Porcentaje de automatización	50% (0.5)	14% (0.14)	0.207	-3.889	0.018
Tiempo dedicado al ensuelado	2.5 min/par	14 min/par	0.037	3.073	0.037
Tiempo de adquisición de materia prima	33.6 min/par	15.84 min/par	13.238	-3.000	0.040
Tiempo de adquisición de materia prima	33.6 min/par	15.84 min/par	13.238	-3.000	0.040
Tiempo en solucionar problemas que afectan la producción	0.4 min/par	14.64 min/par	24.857	1.281	0.269
Cantidad de confección en 8 horas	200 pares	20 pares	14.832	-27.136	0.000
Costo total de materiales	1.67 \$/par	15.22 \$/par	19.596	1.547	0.197
Costo de ensuelado	1.33 \$/par	2.48 \$/par	0.887	2.890	0.045
Costo de los problemas comunes	1.33 \$/par	0.79 \$/par	1.026	-1.184	0.302



Validación de la Hipótesis

Los indicadores de mayor importancia sugieren que existe diferencias significativas entre el método de inyección y el convencional. Resaltando que con el método de inyección el operario emplea 11.5 minutos menos por par y reduce el costo en 1 dólar con 15 centavos, esto específicamente en el método de ensuelado, lo que conlleva a una mejora en la producción del calzado. Por lo que se concluye que mediante la implementación de un sistema automatizado para el control de una máquina de inyección directa de suela al corte de 2 estaciones se logra optimizar tiempos y reducir costos de producción en comparación a los métodos convencionales.

Conclusiones

Mediante el análisis del estado del arte, específicamente sobre método de inyección de suela al corte, se concluye que se carece de tecnología nacional adecuada para implementar este método en las empresas de calzado. Por otro lado, a nivel internacional se evidencia bases sólidas sobre la implementación del proceso de inyección directa, de donde se recopiló la información necesaria para el desarrollo del proyecto, asegurando que el control implementado sea efectivo para el proceso de unión de la suela y el corte.

Al realizar el levantamiento de la línea base, se constató que la Máquina Inyectora se encontraba fuera de funcionamiento debido a diversas fallas en sus componentes eléctricos y averías mecánicas. Además, esto permitió comprender las características de operación de la máquina y evaluar el funcionamiento de varios componentes que se reutilizaron en la implementación del sistema automatizado.

El diseño del sistema automatizado para el control de la máquina inyectora abarcó como parámetros fundamentales, el control de movimientos y operaciones para el modo de funcionamiento manual y automático, el control de temperatura adecuada para la inyección con un error en estado estable de ± 4 °C, la interfaz de usuario intuitiva y amigable con el operador y la comunicación efectiva entre dispositivos.



Conclusiones

Se rediseñó el sistema mecatrónico, considerando el diagrama de flujo del proceso, que permitió identificar de manera detallada las etapas de funcionamiento en función de los parámetros de diseño, orientando la selección de componentes, estructuras de circuitos, arquitecturas de comunicación, y el dimensionamiento de los elementos necesarios para el rediseño y su posterior instalación.

La implementación del sistema mecatrónico se inició con la ejecución del proceso de restauración de la estructura mecánica, logrando su reactivación operativa y la puesta a punto en un estado óptimo para la integración del sistema de control automatizado. Para lograr esto, se ejecutó un mantenimiento adecuado, englobando actividades como la sustitución selectiva de componentes, la aplicación de lubricantes especializados y la limpieza de cada elemento relevante.

Se diseñó e implementó el sistema de control, el cual se basa en tres elementos fundamentales, que son el PLC EOPUS encargado de la ejecución de las acciones necesarias para el control y operación del proceso, el controlador de temperatura y el HMI, que mediante el intercambio de datos a través de las redes de comunicación industrial, proporcionan la visualización y control en tiempo real, alarmas, notificaciones y la personalización de parámetros al operario mediante una interacción intuitiva.



Conclusiones

A través de las pruebas parciales y totales de la Máquina Inyectora se logró determinar los parámetros adecuados para un funcionamiento óptimo del sistema de control, resaltando la secuencia de funcionamiento adecuada, la estabilidad de temperatura dentro de los límites aptos para la inyección y una comunicación libre de errores entre dispositivos. Como resultado, se obtuvo un producto final satisfactorio, evidenciando el funcionamiento exitoso de la máquina.

Mediante la evaluación de los indicadores obtenidos a partir de la aplicación de las encuestas, donde se tomó como muestra los datos de los métodos convencionales, y como valor de prueba la información del proceso de inyección de la Máquina Inyectora, para la aplicación de la prueba t de Student, se evidenció resultados favorables al planteamiento de la hipótesis, demostrando que mediante la implementación del sistema automatizado al 50% en la Máquina Inyectora se logra la optimización de tiempos, con una disminución de 11.5 minutos y reducción de costos de hasta 1 dólar con 15 centavos, esto específicamente en el proceso de ensuelado en comparación a los métodos convencionales, lo que influye de manera directamente proporcional en la producción.

La elaboración del manual de operación y del plan de mantenimiento permitieron establecer una guía para el operario de la Máquina Inyectora, asegurando el correcto desempeño de la máquina. Además, se logró planificar y documentar las actividades de mantenimiento preventivo con el objetivo de llevar un mejor registro y manejo de tiempos, en busca de garantizar el tiempo de vida útil de los diferentes componentes del sistema.



Recomendaciones

Debido a la efectividad del PLC EOPUS en el presente proyecto, se recomienda su empleo en aplicaciones industriales, de esta manera se incentiva el uso de tecnología nacional y se impulsa la industria ecuatoriana en el ámbito de tecnología y automatización. Al mismo tiempo, es aconsejable optar por equipos certificados que ofrezcan asesoramiento confiable, lo que reducirá los costos de mantenimiento.

Para garantizar la integridad y seguridad de la configuración de un sistema, se recomienda establecer niveles de seguridad con acceso restringido a las ventanas donde existan parámetros que, al ser modificados inadecuadamente, conlleven a un funcionamiento inapropiado, además se sugiere proporcionar capacitación a los usuarios para la comprensión de la importancia de los datos.

Es de vital importancia tener en cuenta las limitaciones del espacio de memoria del microcontrolador, por lo tanto, se aconseja utilizar en menor cantidad las librerías preestablecidas por el entorno de desarrollo, debido a que estas usan más espacio de memoria, especialmente por aquellas funciones definidas que no son utilizadas en el programa. En cambio, al utilizar librerías personalizadas se consigue un ahorro de recursos debido a que únicamente se establecen las funciones necesarias para la ejecución de las tareas previstas. Siendo esta una estrategia fundamental para la optimización del rendimiento y aumento de eficiencia del módulo basado en microcontroladores.



Recomendaciones

Cuando la obtención de los parámetros de ajuste para el control de temperatura sea en un sistema complejo, donde hallar la función de transferencia sea complicada, y esto implique realizar pruebas de funcionamiento de manera práctica y empírica, se sugiere establecer estos parámetros como valores de edición para realizar el ajuste adecuado, los cuales pueden estar ubicados en una pantalla, ya que requerirán una modificación persistente de las constantes del PID, histéresis, tiempo de ciclo, entre otros.

En caso de que los parámetros del proceso no sean los indicados, se sugiere que el sistema de control no realice ninguna operación, y se indique por pantalla el error que se ha ocasionado. Una vez el error haya sido corregido, se tiene que retornar a la tarea que estaba en ejecución, o simplemente desactivar la alarma provocada, para que el operario pueda continuar con las tareas planificadas.

Debido al ruido electromagnético presente en un ambiente industrial, se recomienda verificar la conexión a tierra de todos los dispositivos para evitar interferencias y asegurar la comunicación adecuada entre dispositivos, así como la lectura correcta de temperatura por parte de las termocuplas.





Muchas
gracias

