



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño e implementación del sistema de control para el arranque de tres compresores de tornillo, de la red de aire comprimido de la empresa INPLASTICO, en la ciudad de Latacunga

Autor:

Luis Fidel Nacimba Tipan

Tutor:

Ing. Freddy William Salazar Paredes



INTRODUCCIÓN

- El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema de control centralizado para el arranque de tres compresores de tornillo, mediante la implementación de este sistema se consigue mantener la presión de la red de aire comprimido en un rango constante de 90 a 110 psi que es la presión necesaria para la producción de recipientes plásticos que la empresa fabrica.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- La empresa INPLASTICO fabrica botellas plásticas para lo cual necesitan aire comprimido, que es suministrado por tres compresores de tornillo de distintas potencias y que funcionan de manera independiente y no en conjunto, esto provoca que dependiendo la demanda de aire comprimido en ocasiones la presión de la red baja a menos de 90 psi y por ende las botellas salgan defectuosas y tengan que ser desechadas es por esto que la empresa ha decidido implementar un sistema de control para el encendido automático de los compresores con la finalidad de mantener la presión constante en la red.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema de control para el arranque de compresores de tornillo de la red de aire comprimido de la empresa INPLASTICO



OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un análisis previo del funcionamiento de los compresores de tornillo
- Rediseñar el sistema de control de encendido de cada compresor de tornillo
- Diseñar el algoritmo de control para el encendido manual o automático de los compresores de tornillo y el registro de horas de trabajo de cada uno
- Implementar el controlador lógico programable y la interfaz humano maquina, las entradas y salidas requeridas y los elementos de protección
- Realizar pruebas de funcionamiento
- Validación de la hipótesis

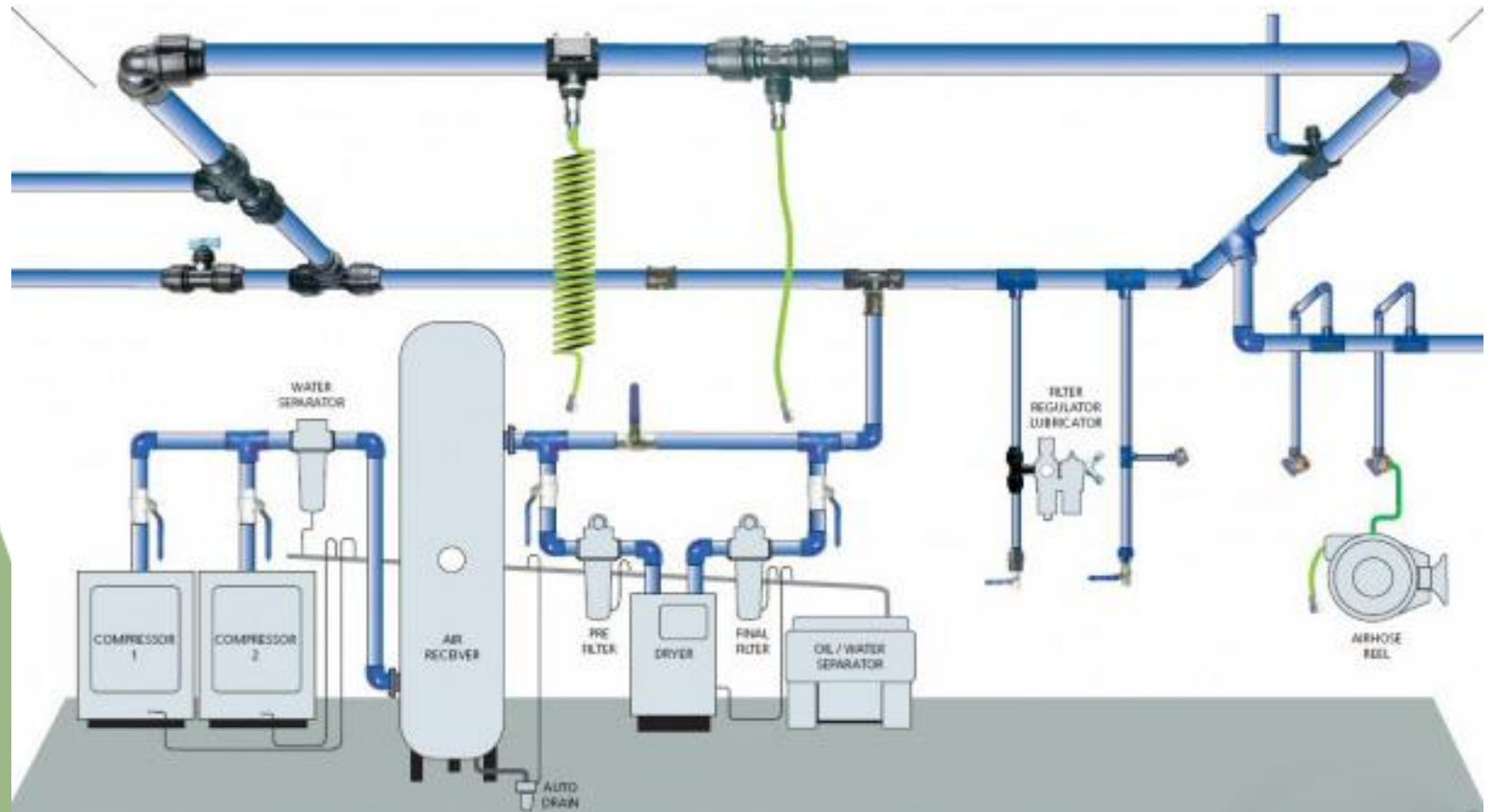


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RED DE AIRE COMPRIMIDO

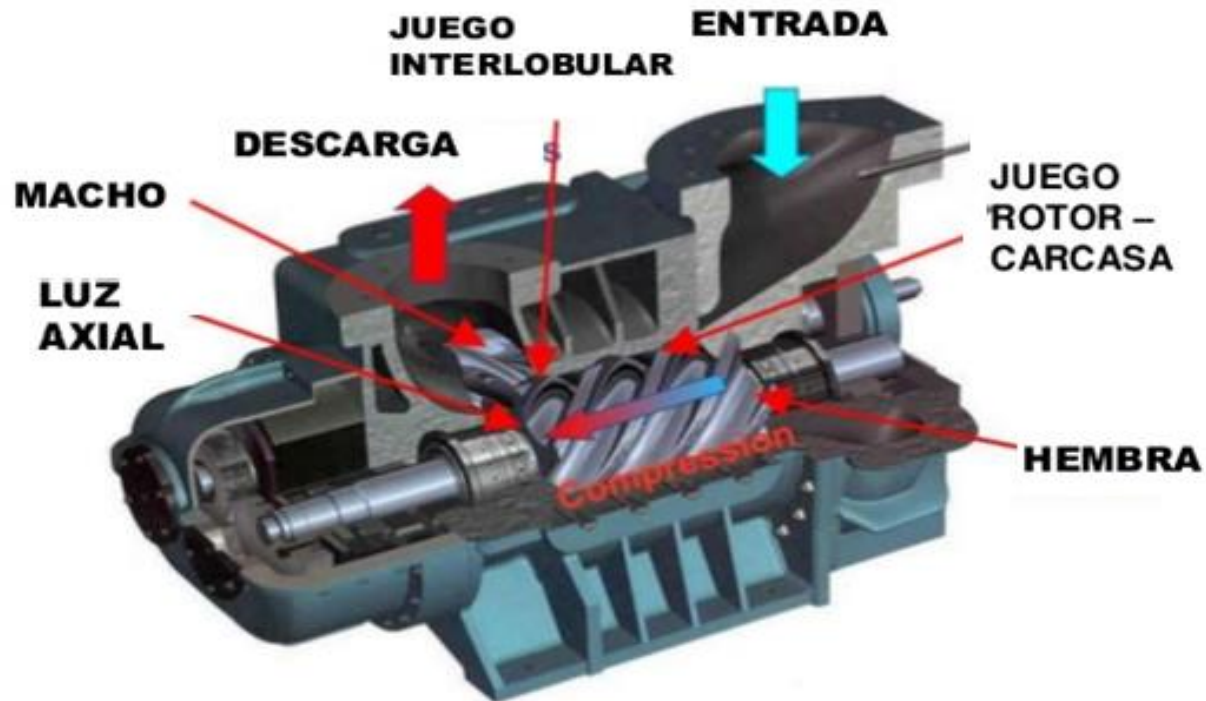
COMPONENTES DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO





COMPRESORES DE TORNILLO

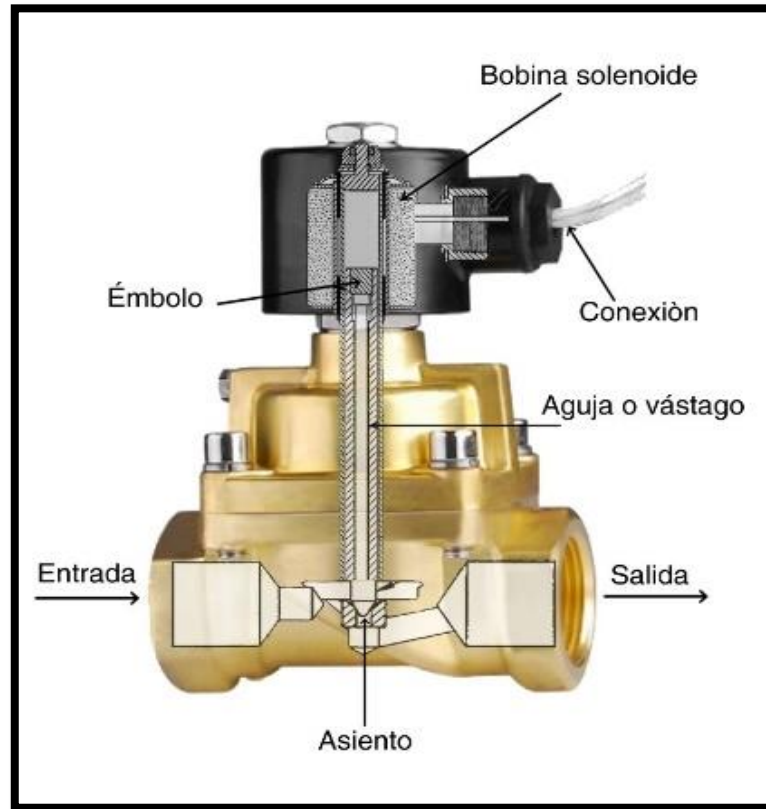
CONSTITUCIÓN DEL COMPRESOR DE TORNILLO





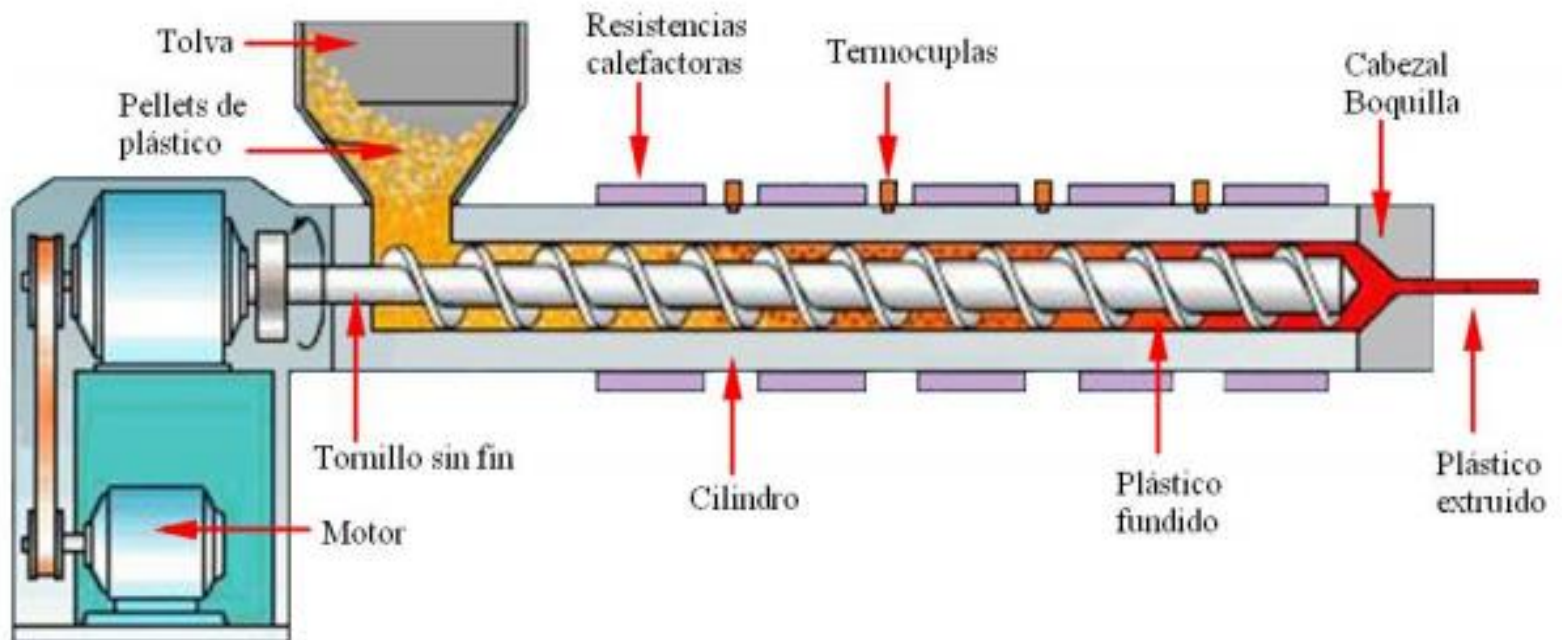
ELECTROVÁLVULA

ESTRUCTURA INTERNA DE UNA ELECTROVÁLVULA



PRODUCCIÓN DE ENVASES PLASTICOS

MAQUINA EXTRUSORA





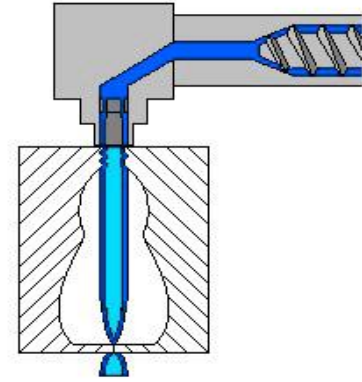
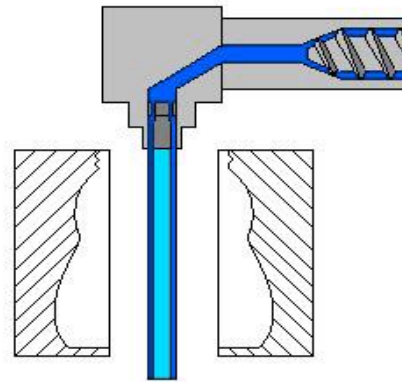
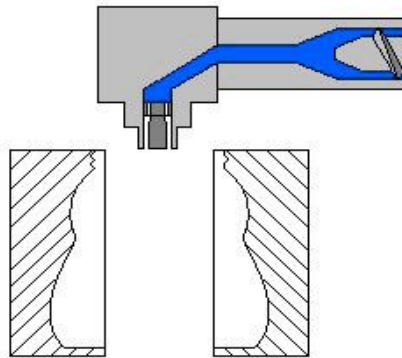
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

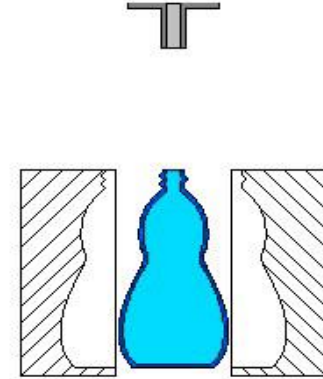
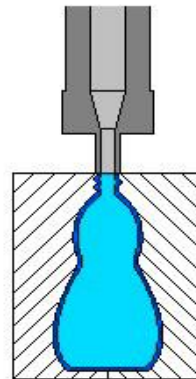
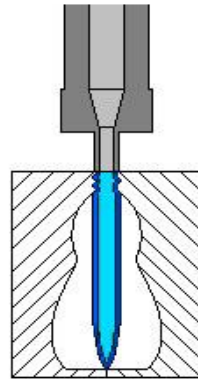
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EXTRUSIÓN-SOPLADO

Extrusión del párison



Soplado del párison





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

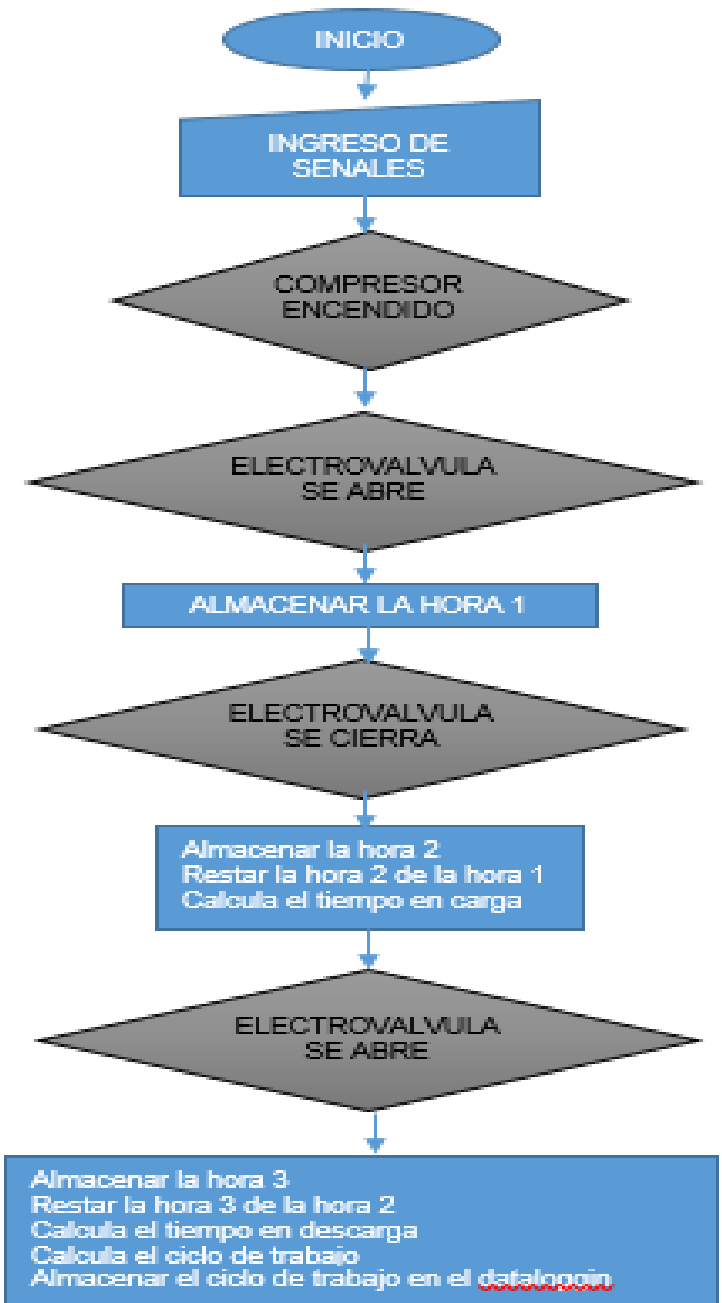
ANÁLISIS PREVIO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPRESORES DE TORNILLO



ESPE

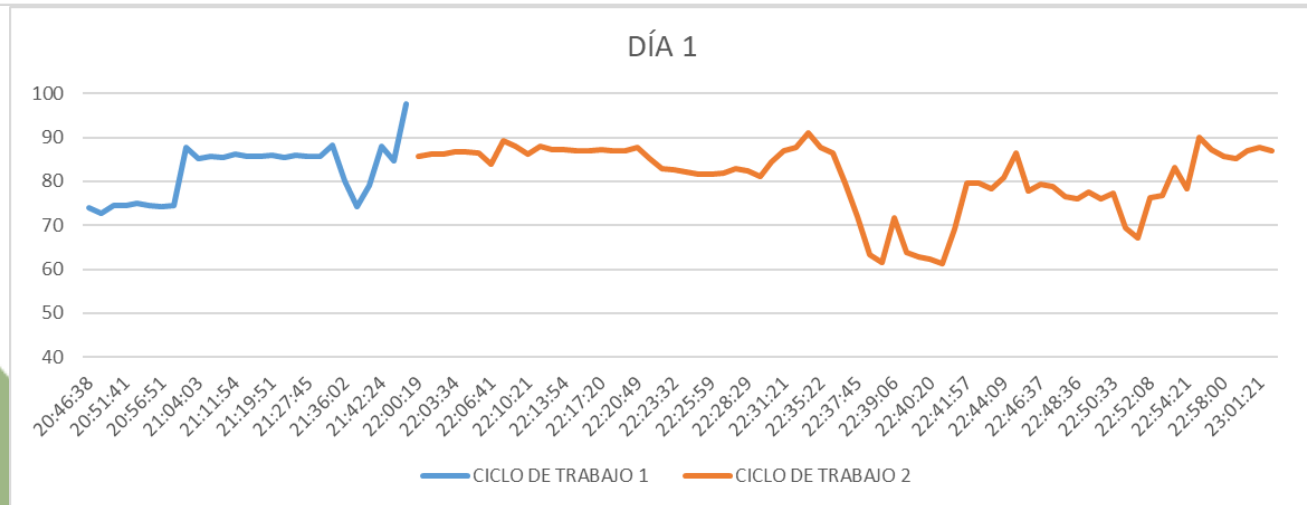
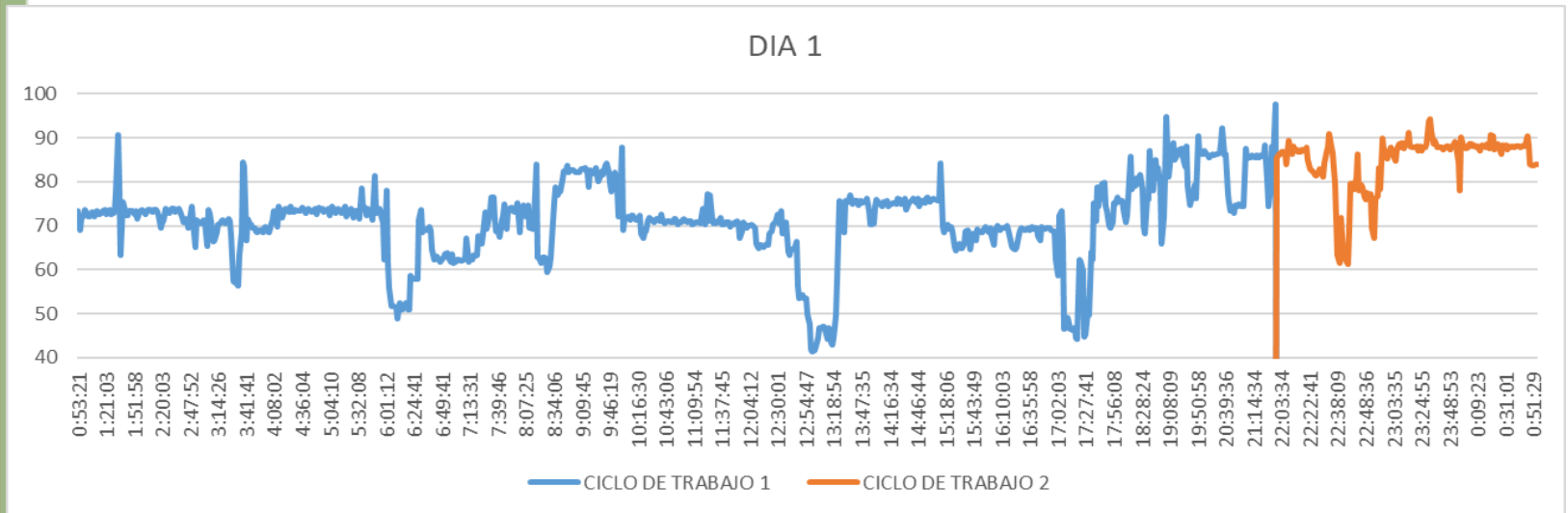
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diagrama de flujo
para la obtención
de los ciclos de
trabajo





DATOS DE LOS CICLOS DE TRABAJO

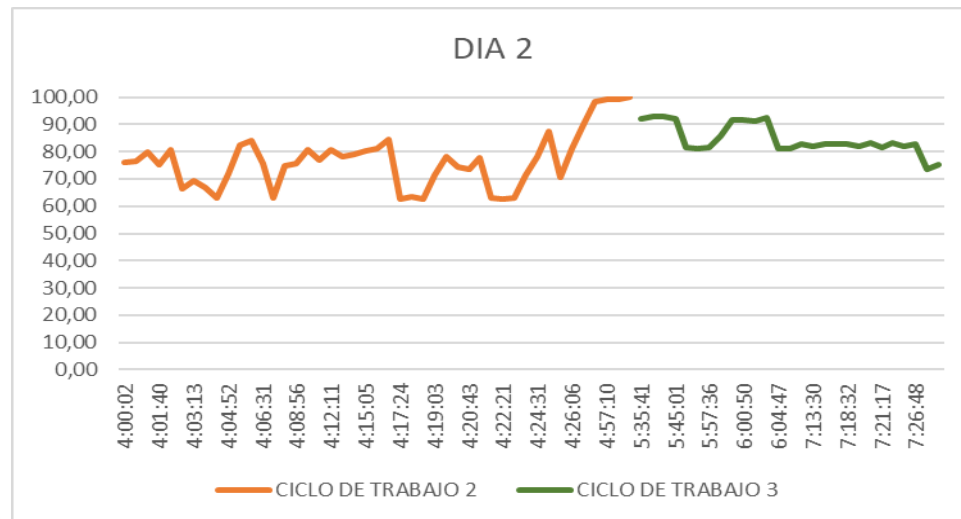
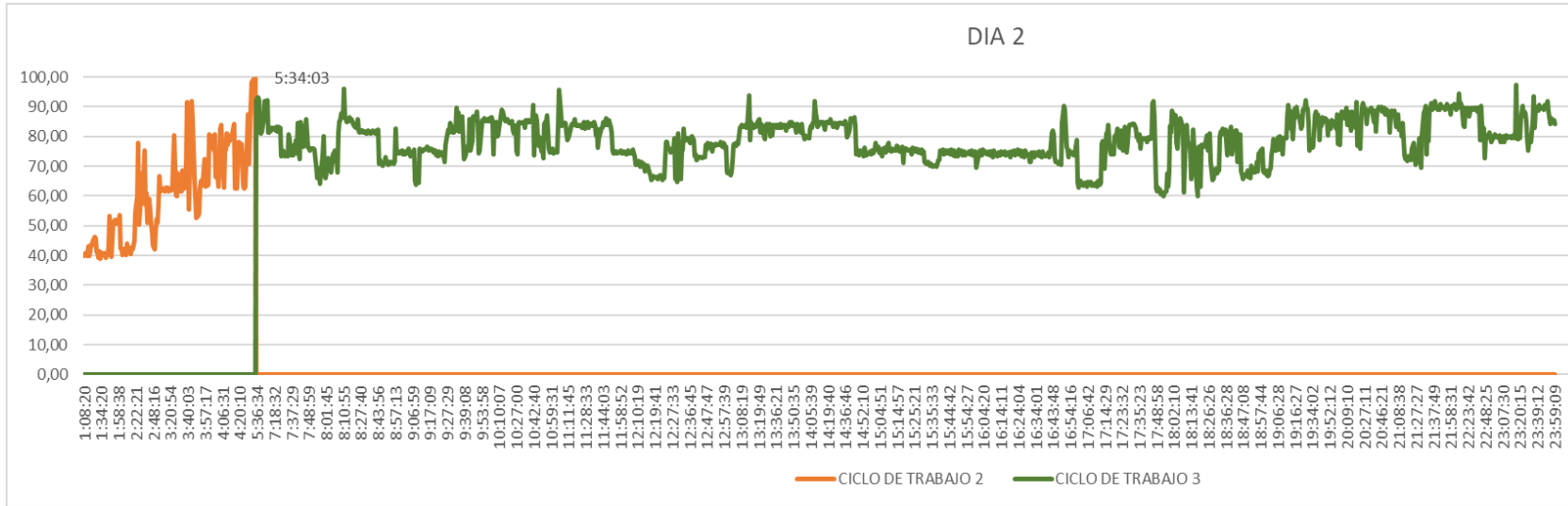




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

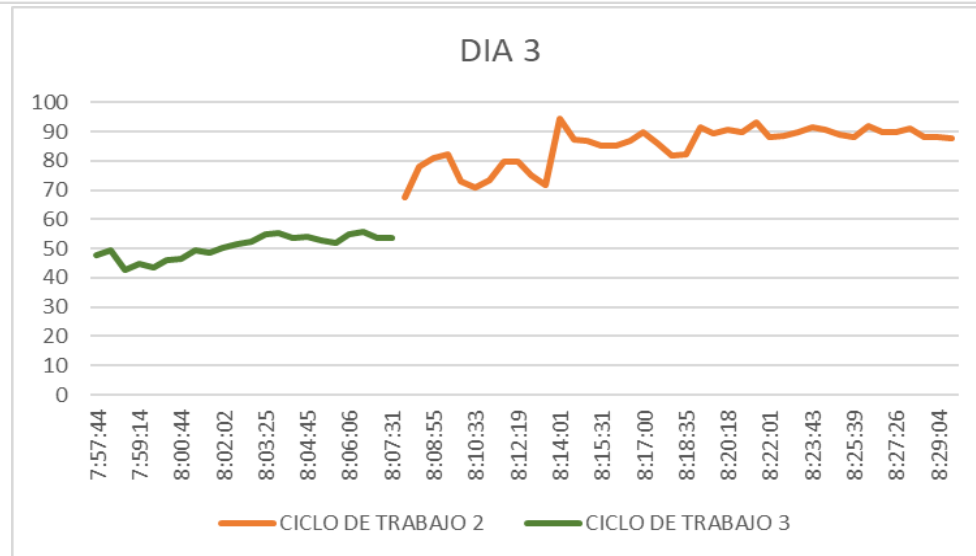
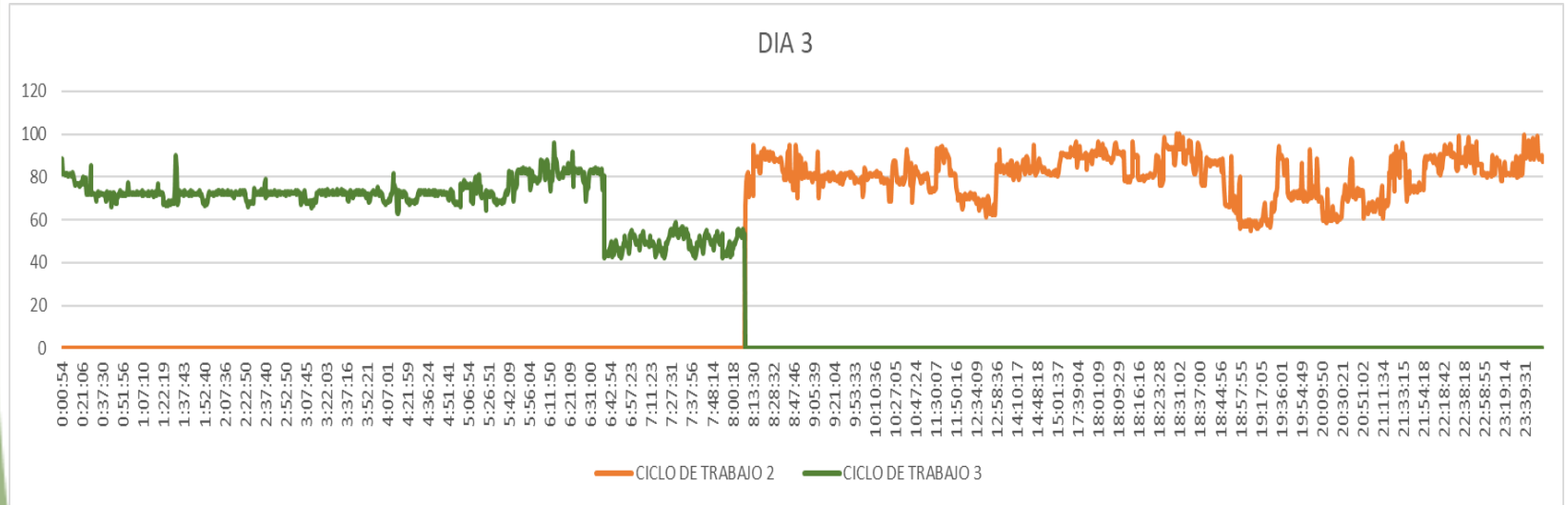


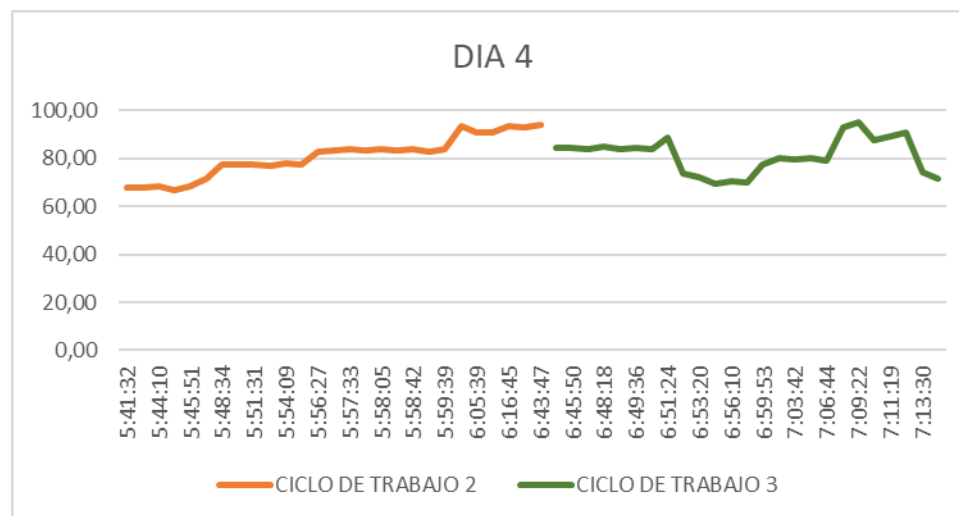
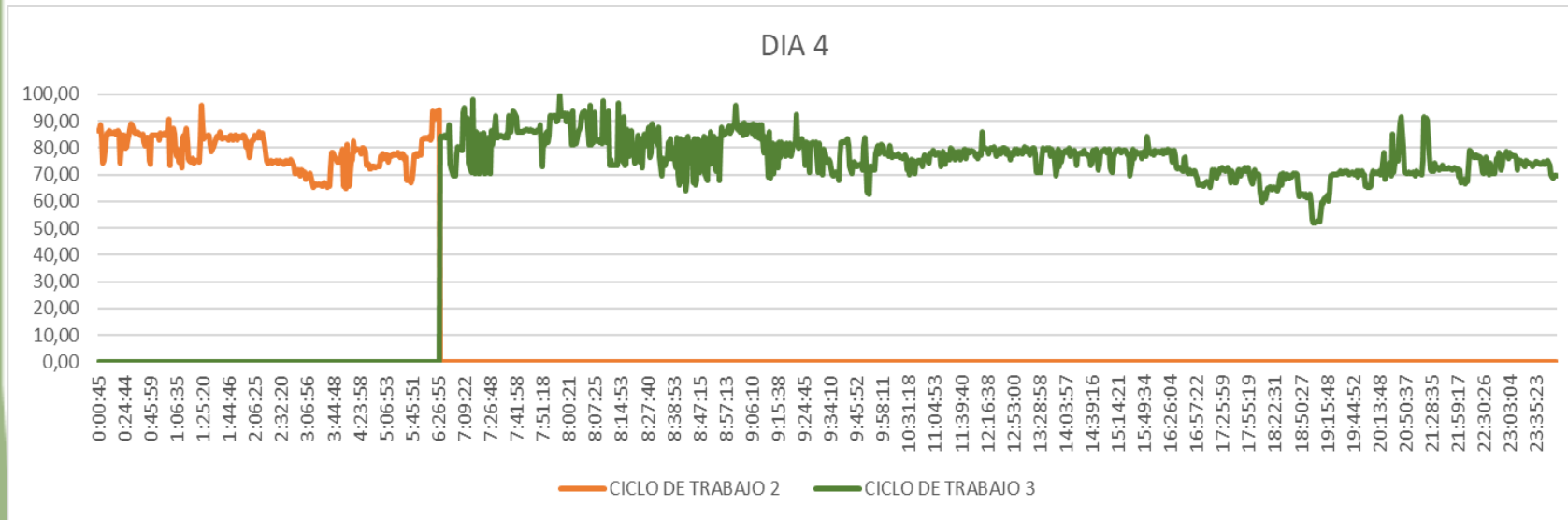


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA





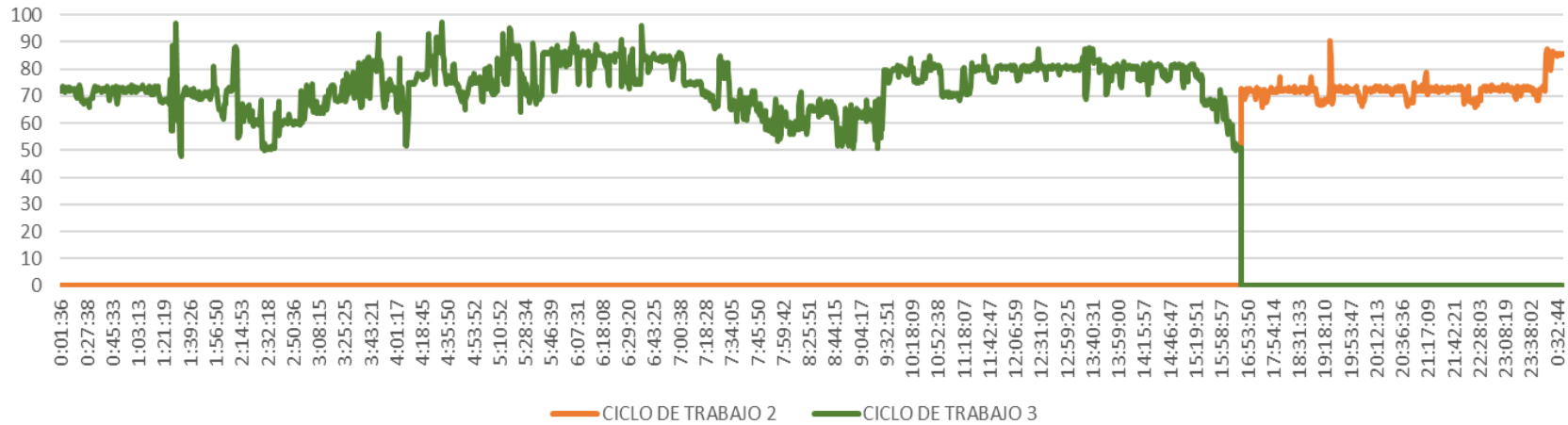


ESPE

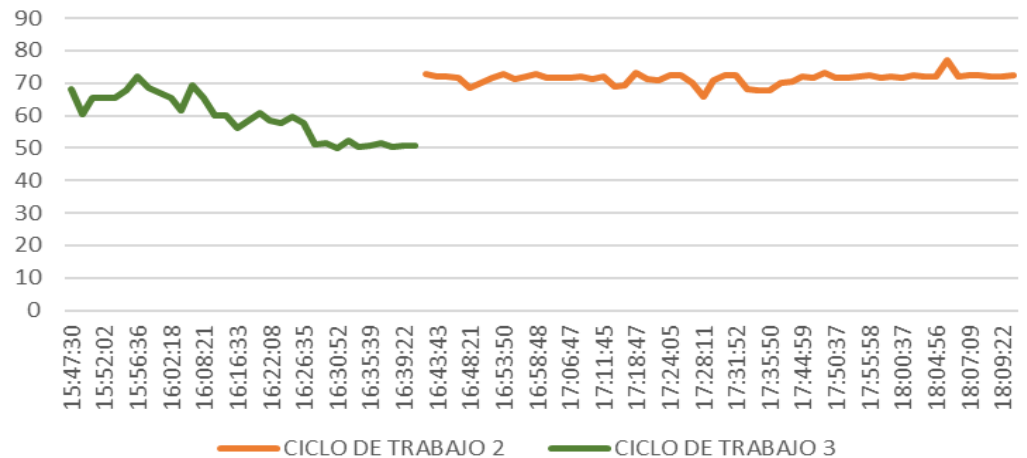
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

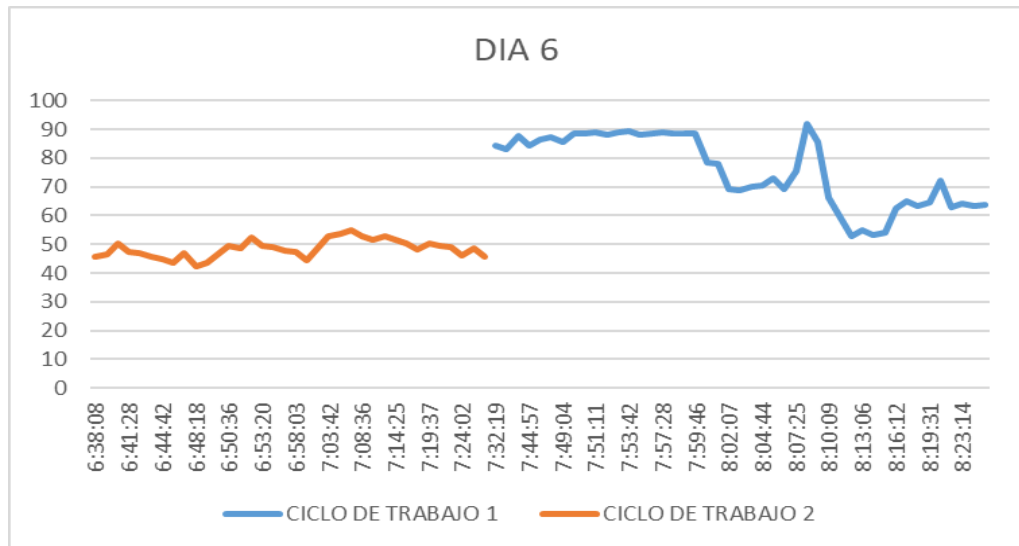
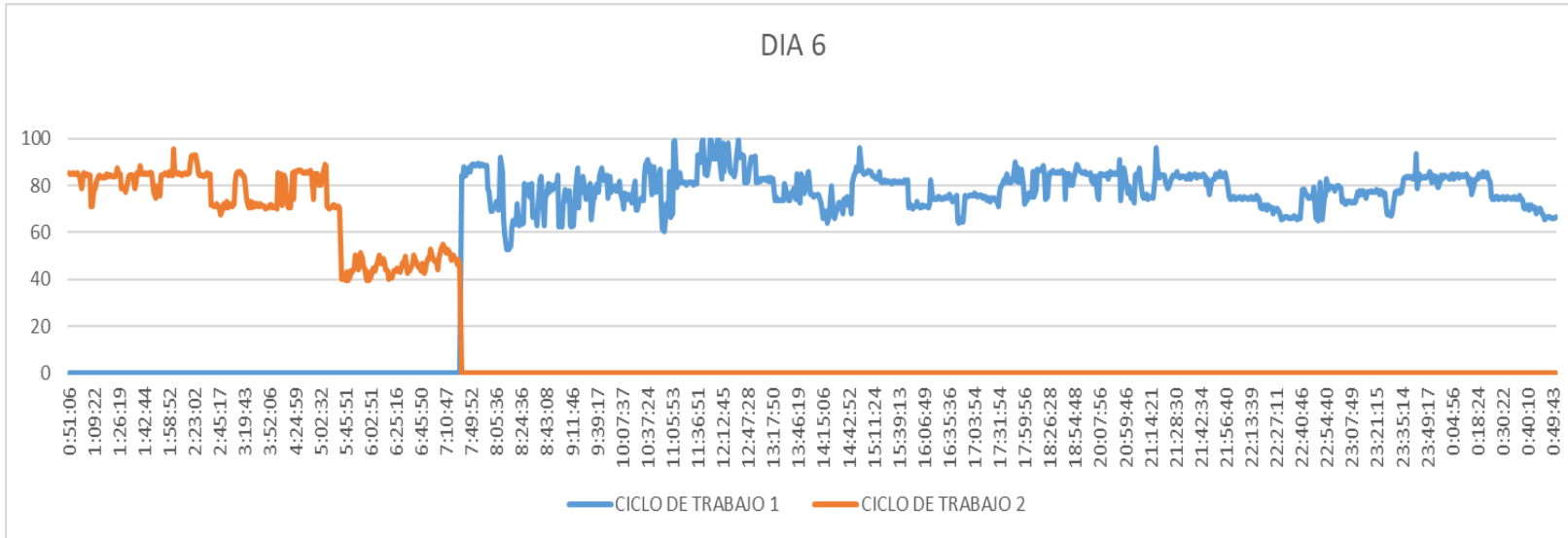
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DIA 5



DIA 5





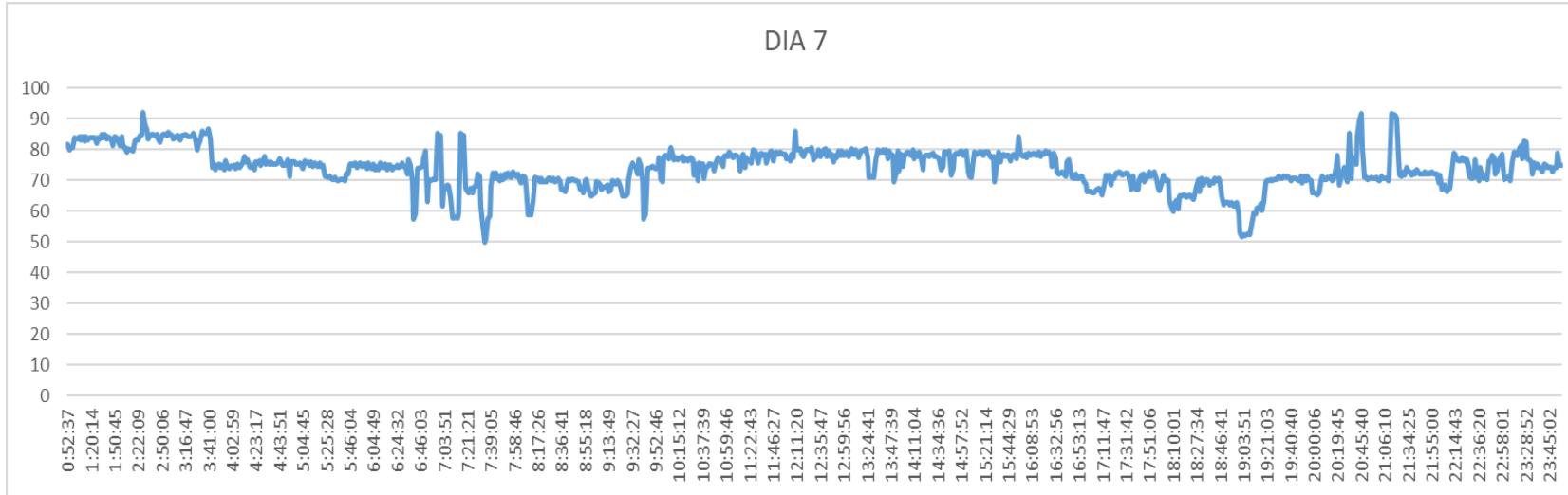


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DIA 7





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PUNTOS CRITICOS EN LOS CAMBIOS DE COMPRESOR

DIA	HORA	TIEMPO CARGA	TIEMPOS DESCARGA	PORCENTAJE	CAMBIO DE COMPRESOR
1	21:59	0:15:18.322	0:00:22.645	97,70:%	1 → 2
2	05:34	0:12:49.448	0:00:09.323	99,95 %	2 → 3
3	05: 02	0:00:03.957	0: 00:25.587	25,94 %	3 → 2
4	06:43	0:16:11.401	0:00:08.192	94,16 %	2 → 3
5	01:33	0:00:08.932	0:00:09.726	47,87 %	3 → 2
6	05:56	0:00:07.624	0:00:09.383	44,83 %	2 → 1
7		No se presenta cambio de compresor			



DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

DATOS DE PLACA DE LOS COMPRESORES

Marca	Potencia (HP/kW)	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Factor de potencia (Cos ϕ)	Corriente en carga (A)	Corriente en vacío (A)
Kaeser SK26	20/15	220	60	0,93	42	34
Ingersoll Rand	25/18.5	220	60	0,93	54	47
Kaeser AS44	40/30	440	60	0,93	52	45



DIMENSIONAMIENTO DE LOS FUSIBLES

Marca	Corriente Nominal	Dimensionamiento	Corriente Estándar
	(In)	Teórico	del Fusible
	(A)	$I_{C1} = 1.1 * I_n (A)$	(A)
KAESER SK26	42	46	50
Ingersoll Rand	54	60	63
KAESER KS44	52	57	63



DIMENSIONAMIENTO DE LOS GUARDAMOTOR

Marca	I_n (A)	Cálculo teórico(A)	I guarda motor (A)	Voltaje nominal (V)
Kaeser SK26	42	$I_G = 1.25 * I_n = 62.5$	70 - 80	127
Ingersoll Rand	52	$I_G = 1.25 * I_n = 65$	70 - 80	127
KaeserAS44	54	$I_G = 1.25 * I_n = 67.5$	70 - 80	230



DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

Marca	Circuito derivado		Conductor
	I_n (A)	$I_{CT} = 1.25 * I_n$ (A)	AWG 6
KAESER SK26	42	53	75 A
Ingersoll Rand	54	68	75 A
KAESER AS 44	52	65	75 A

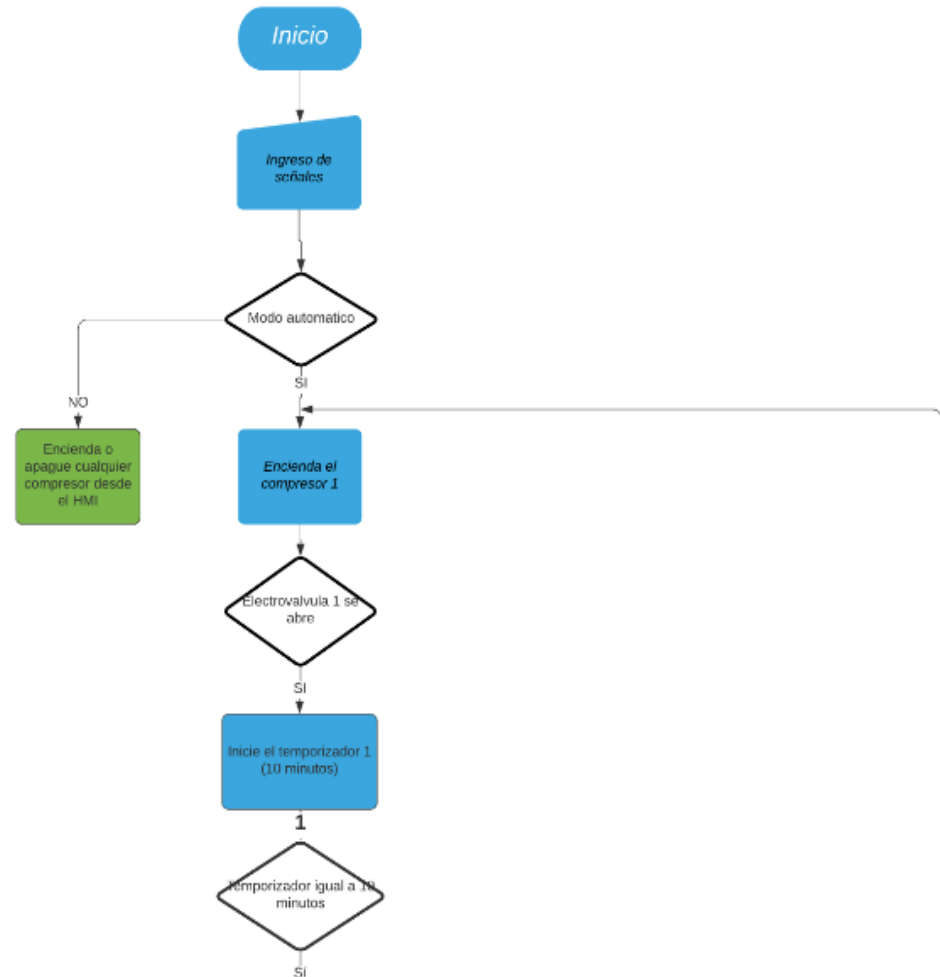


DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONTACTORES

Marca	I_n (A)	Dimensionamiento teórico (A)	Corriente estándar del contactor (A)	Voltaje nominal (V)
KAESER SK26	42	$I_C = 1.15 * I_n = 48.3$	70	110
Ingersoll Rand	52	$I_{E1} = 1.15 * I_n = 59.8$	70	110
KAESER AS44	54	$I_{E1} = 1.15 * I_n = 62.1$	70	230



DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CONTROL DEL ENCENDIDO DE LOS COMPRESORES

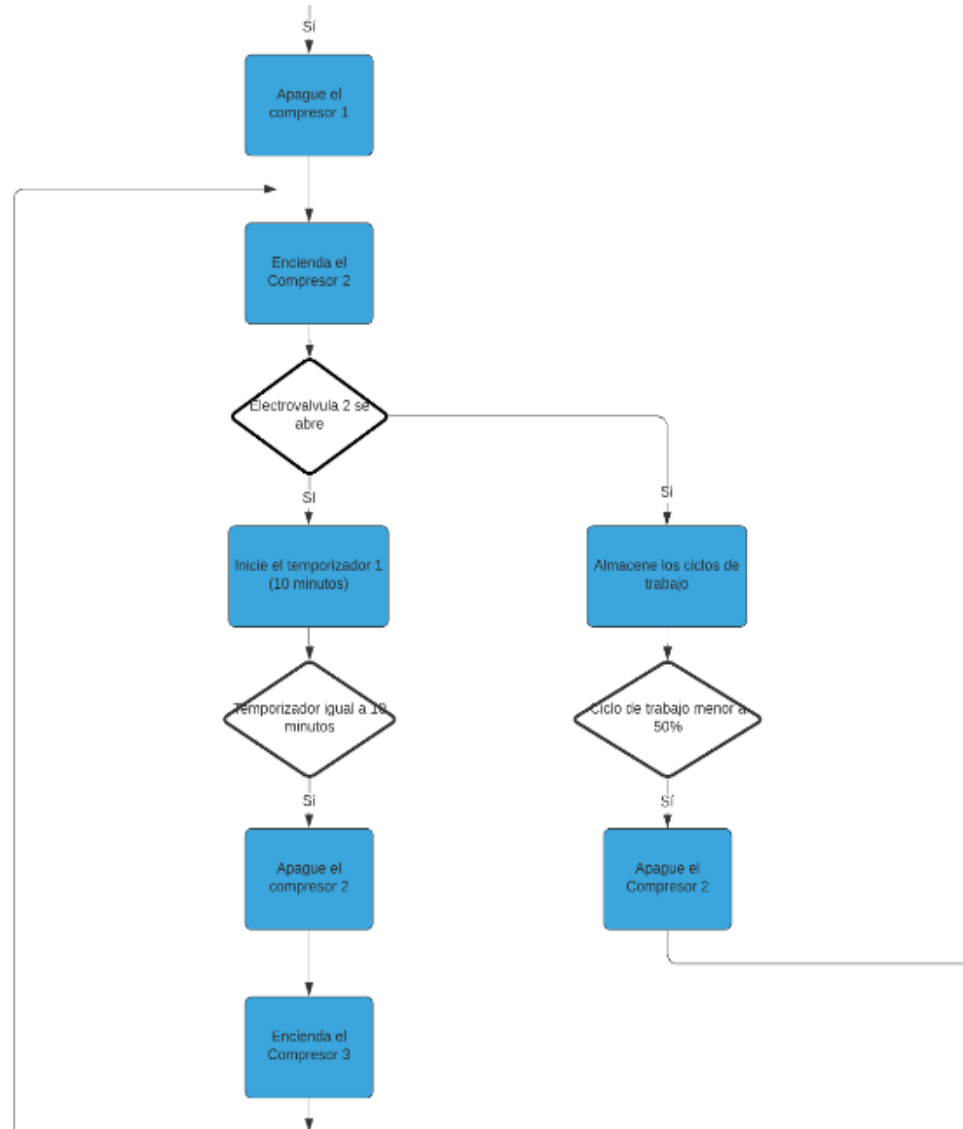




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

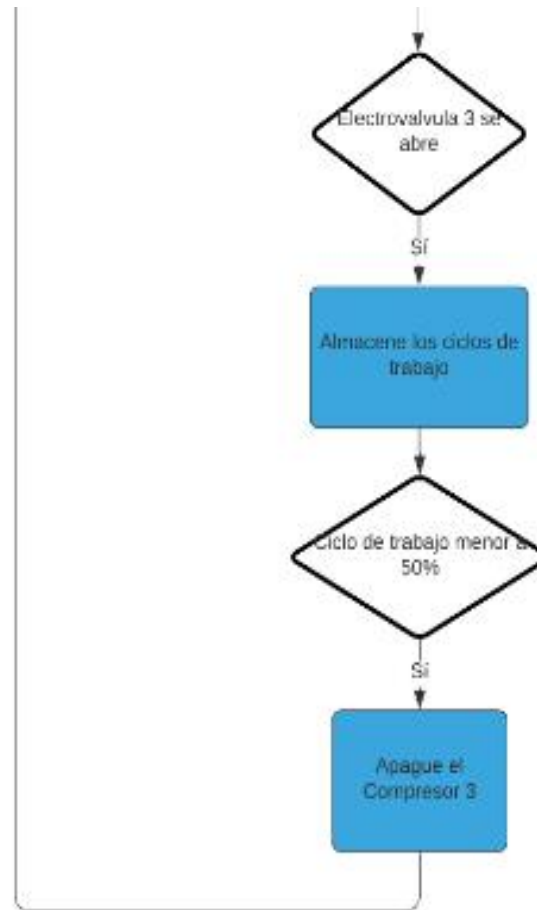




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA





ENTRADAS DIGITALES DEL PLC

ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES					
Input	Descripción	Input	Descripción	Input	Descripción
I0.0	Paro de emergencia general	18.0	Estado del Compresor 1	19.2	Estado de la electroválvula del Compresor 3
I0.1	Paro de emergencia del Compresor 1	18.1	Estado del Compresor 2		
I0.2	Paro de emergencia del Compresor 2	18.2	Estado del Compresor 3		
I0.3	Paro de emergencia del Compresor 3	19.0	Estado de la electroválvula del Compresor 1		
I0.4	Control Manual	19.1	Estado de la electroválvula del Compresor 2		



SALIDAS DIGITALES DEL PLC

SALIDAS DIGITALES	
Output	Descripción
Q0.1	Encendido Compresor 1
Q0.2	Encendido Compresor 2
Q0.3	Encendido Compresor 3



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PROGRAMACIÓN DEL HMI

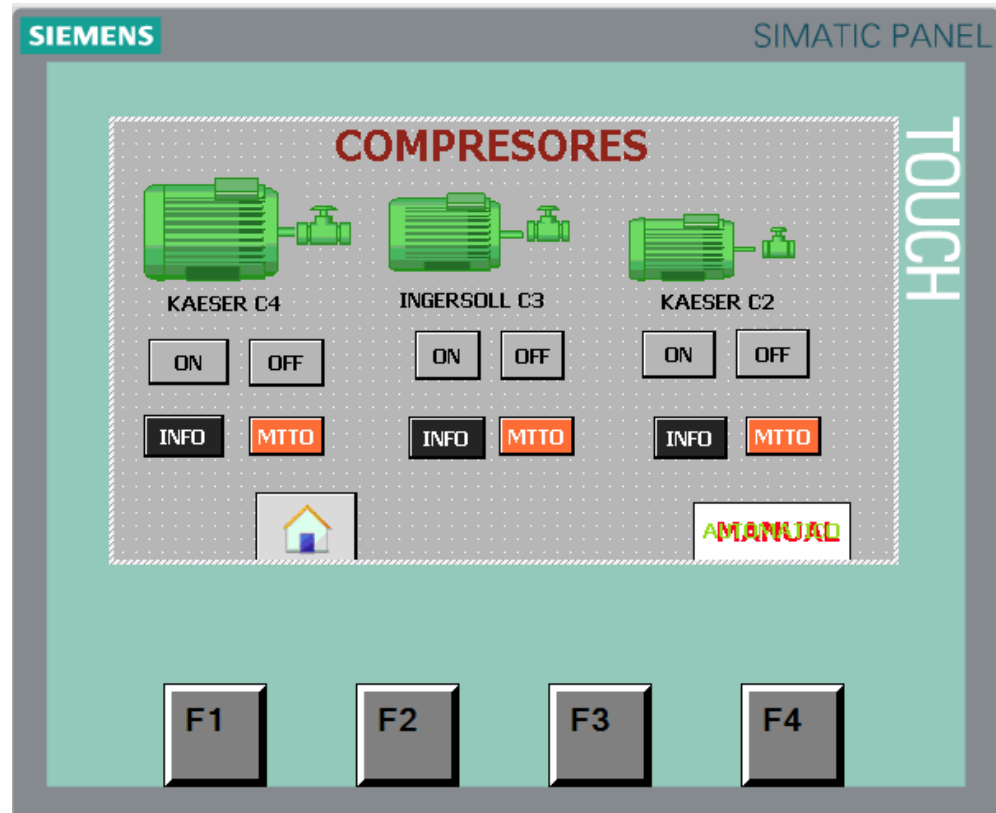
IMAGEN RAIZ





PROGRAMACIÓN DEL HMI

IMAGEN COMPRESORES





PROGRAMACIÓN DEL HMI

IMAGEN INFORMACIÓN

SIEMENS SIMATIC PANEL TOUCH

COMPRESOR INGERSOLL C3

HORAS DE TRABAJO	0000:00:00	RESET
HORAS EN CARGA	0000:00:00	
NÚMERO DE ARRANQUES	000	
ULTIMO ENCENDIDO	31/12/2002 10:59:59	
ULTIMO APAGADO	31/12/2002 10:59:59	

Home icon | COMPRESORES | CURVA

F1 | F2 | F3 | F4



PROGRAMACIÓN DEL HMI

IMAGEN MANTENIMIENTO

SIEMENS SIMATIC PANEL TOUCH

MANTENIMIENTO C3 INGERSOLL

3000 HORAS

ACEITE	<input type="text" value="0000"/>	FECHA	<input type="text" value="31/12/2002"/>	<input type="button" value="CAMBIO"/>
FILTRO DE ACEITE	<input type="text" value="0000"/>	FECHA	<input type="text" value="31/12/2002"/>	<input type="button" value="CAMBIO"/>
FILTRO DE AIRE	<input type="text" value="0000"/>	FECHA	<input type="text" value="31/12/2002"/>	<input type="button" value="CAMBIO"/>

6000 HORAS

BANDA	<input type="text" value="0000"/>	FECHA	<input type="text" value="31/12/2002"/>	<input type="button" value="CAMBIO"/>
-------	-----------------------------------	-------	---	---------------------------------------

9000 HORAS

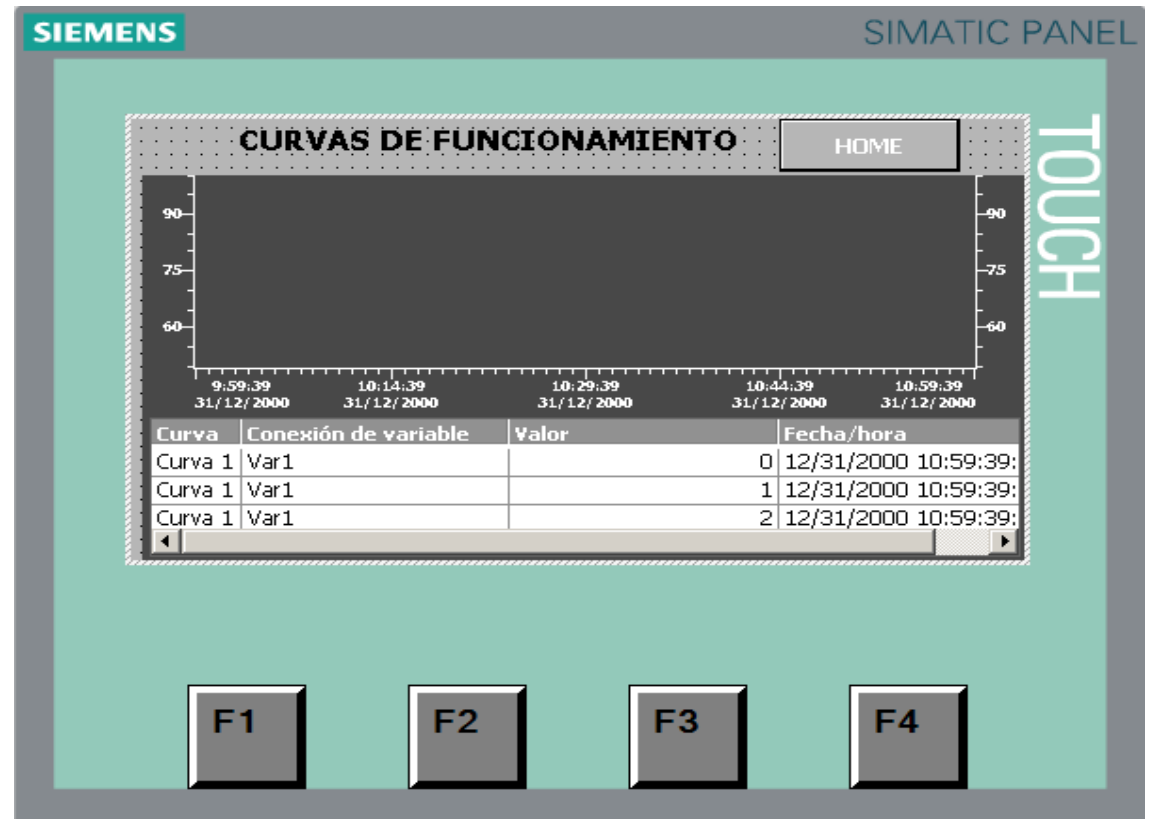
FILTRO SEPARADOR	<input type="text" value="0000"/>	FECHA	<input type="text" value="31/12/2002"/>	<input type="button" value="CAMBIO"/>
------------------	-----------------------------------	-------	---	---------------------------------------

F1 F2 F3 F4



PROGRAMACIÓN DEL HMI

IMAGEN CURVA



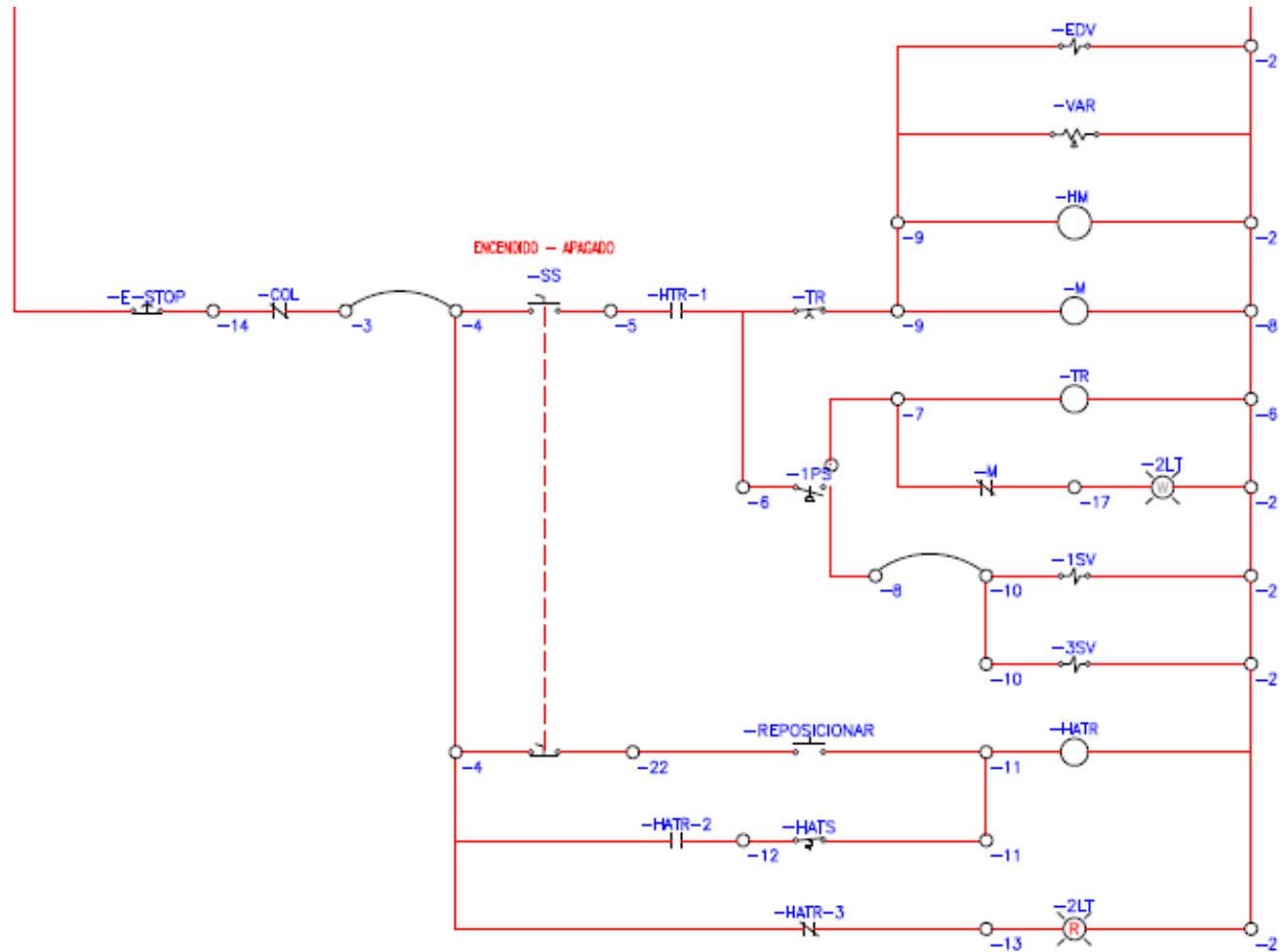


ESPE

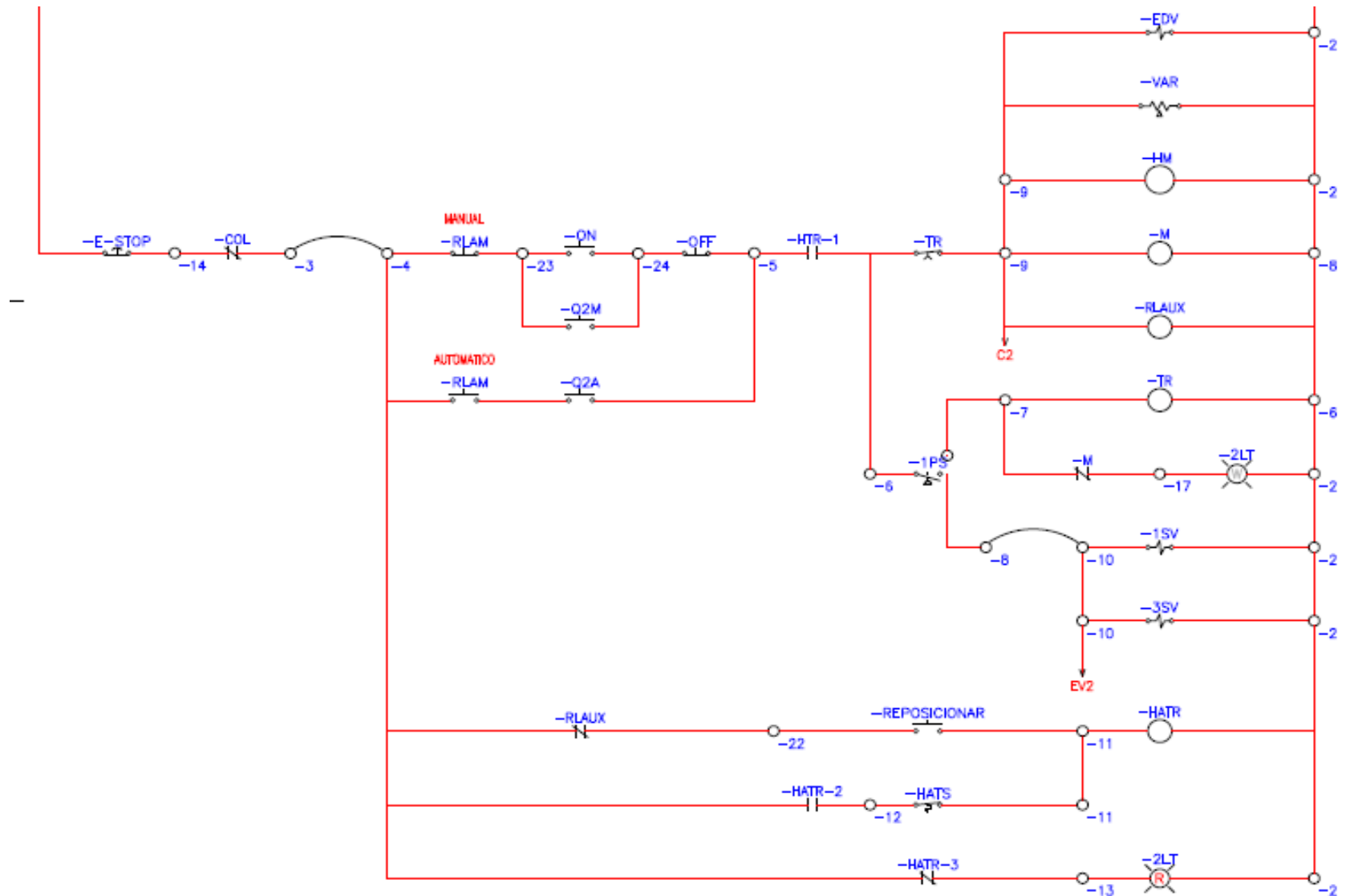
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

REDISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

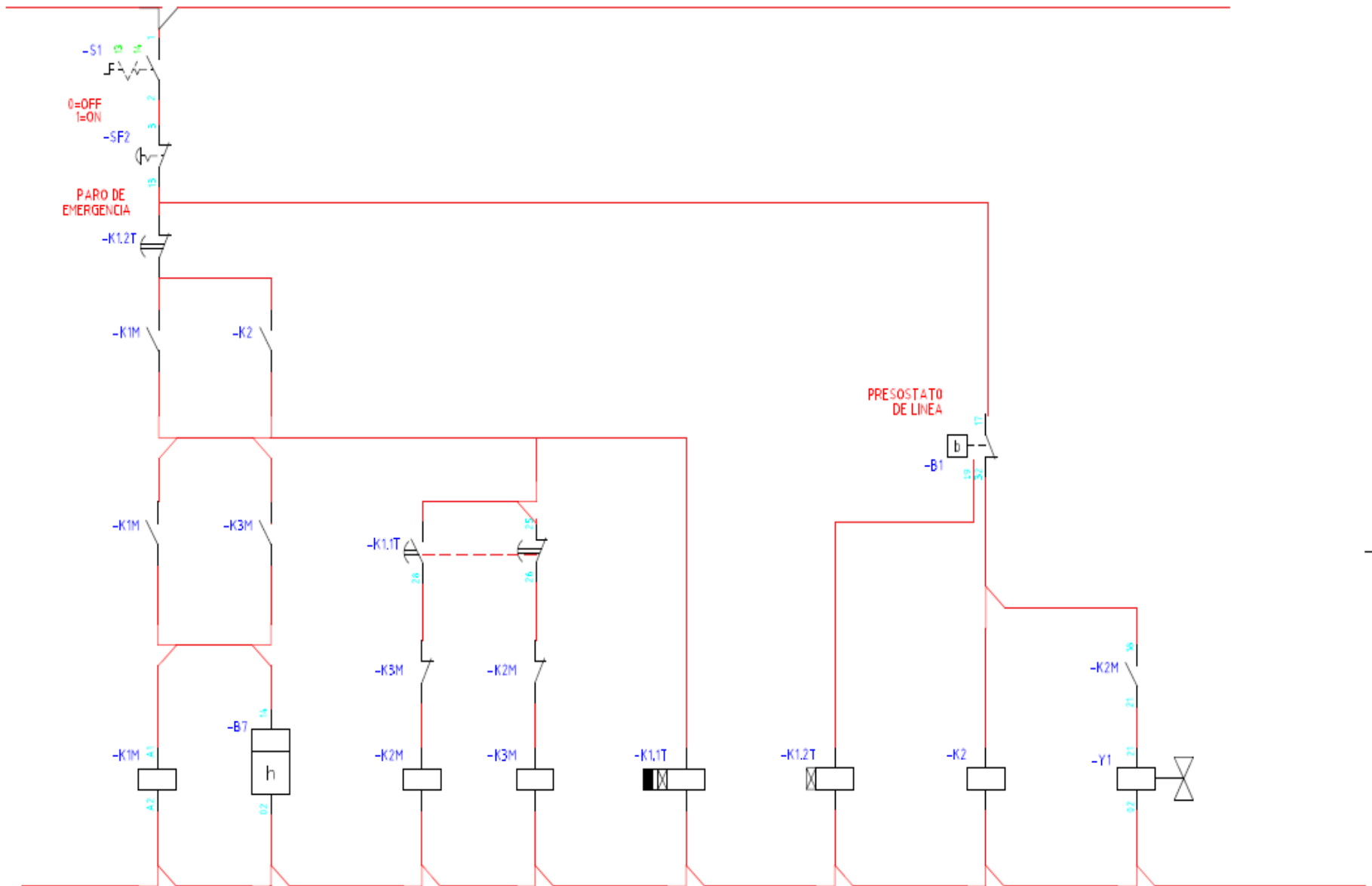
CIRCUITO ORIGINAL DEL COMPRESOR INGERSOLL RAND



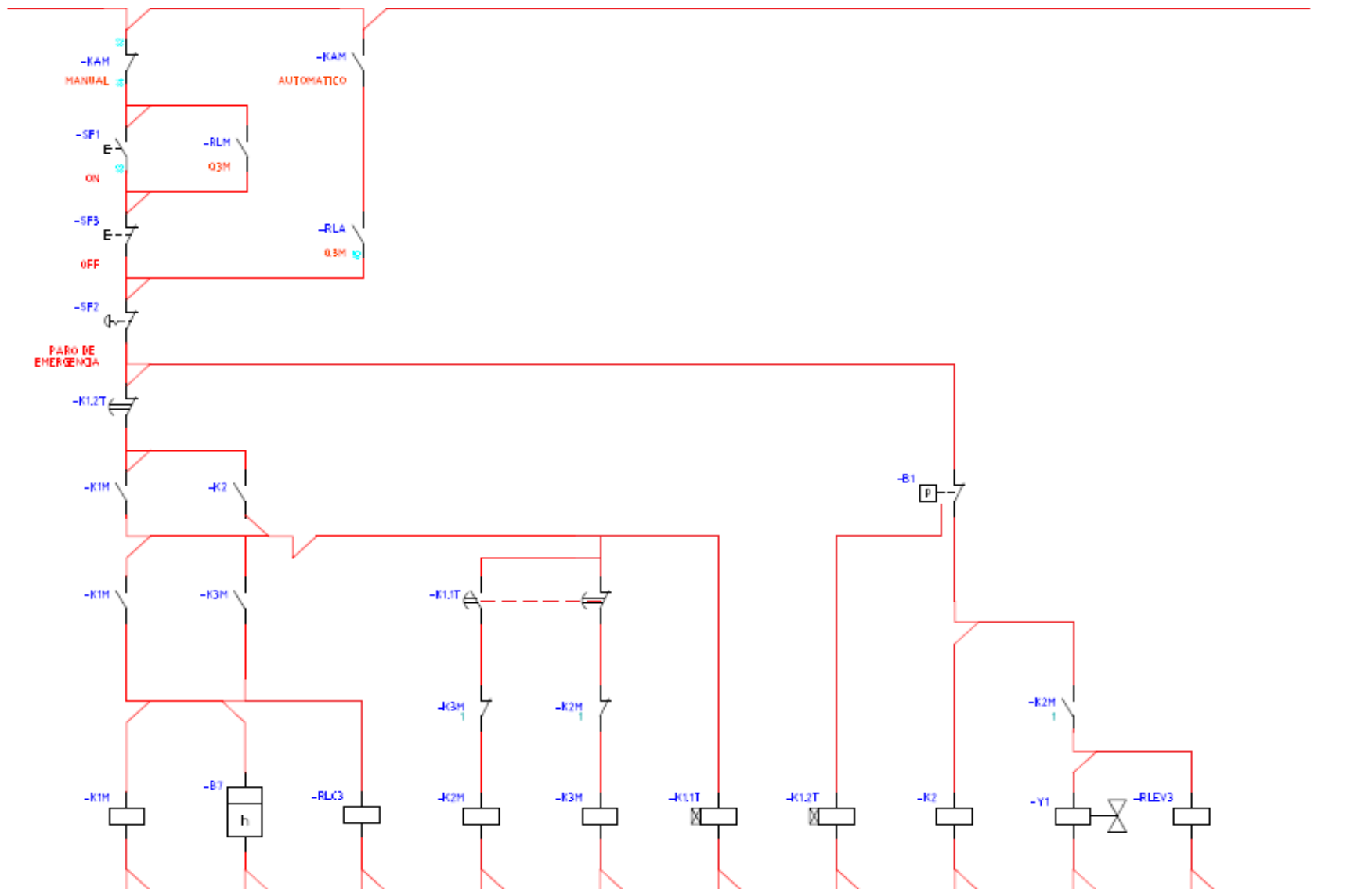
CIRCUITO REDISEÑADO DEL COMPRESOR INGERSOLL RAND



CIRCUITO ORIGINAL DE LOS COMPRESORES KAESER KS26 Y AS44



CIRCUITO REDISEÑADO DE LOS COMPRESORES KAESER KS26 Y AS44





ANÁLISIS ECONÓMICO

HORAS DE TRABAJO SEMANAL DE LOS COMPRESORES

Día	Compresor 1 KAESER SK26		Compresor 2 Ingersoll Rand UP6		Compresor 3 KAESER AS44	
	Horas en carga	Horas en descarga	Horas en carga	Horas en descarga	Horas en carga	Horas en descarga
	1	15:01:04	6:05:09	2:29:11	0:26:43	0:00:00
2	0:00:00	0:00:00	3:13:31	2:05:46	14:43:40	3:58:17
3	0:00:00	0:00:00	12:46:22	3:05:32	5:35:15	2:32:22
4	0:00:00	0:00:00	5:18:06	1:25:03	13:12:40	4:02:32
5	0:00:00	0:00:00	5:17:51	2:00:55	12:13:49	4:25:14
6	4:39:05	1:59:54	13:36:30	3:44:13	0:00:00	0:00:00
7	17:04:46	6:01:15	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
Total	37:44:55	14:06:18	42:41:31	12:48:12	45:44:24	14:58:25



AHORRO SEMANAL DEBIDO AL CAMBIO DE COMPRESOR A UNO DE MENOR CAPACIDAD

NUMERO DE CAMBIOS POR SEMANA	COMPRESORES	AHORRO SEMANAL
2	C3-C2	5,12 USD
1	C2-C1	0,56 USD
TOTAL		5,68 USD



AHORRO SEMANAL DEBIDO AL CAMBIO DE COMPRESOR A UNO DE MAYOR CAPACIDAD

NUMERO DE CAMBIOS POR SEMANA	COMPRESORES	AHORRO SEMANAL
1	C1-C2	9,16 USD
2	C2-C3	23,56 USD
TOTAL		32,72 USD



AHORRO ECONÓMICO SEMANAL EN MATERIA PRIMA

$$\textit{Perdida por cambio} = \#botellas * \textit{valor c/u}$$

$$\textit{Perdida por cambio} = 150 * 0,08\text{USD}$$

$$\textit{Perdida por cambio} = 12,00\text{USD}$$

$$\textit{Perdida semanal} = \textit{perdida por cambio} * \textit{numero de cambios}$$

$$\textit{Perdida semanal} = 12,00\text{USD} * 3$$

$$\textit{Perdida semanal} = 36\text{USD}$$



AHORRO ECONÓMICO ANUAL CON EL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

Ahorro Económico con el nuevo sistema de control	
Ahorro en consumo eléctrico	38,40 USD
Ahorro en materia prima	36,00 USD
Ahorro Semanal	74,40 USD
Ahorro Anual	3868,80 USD



CÁLCULO DEL VAN

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -3385,90 + \frac{3868,80}{(1+0,12)} + \frac{3907,49}{(1+0,12)^2} + \frac{3946,56}{(1+0,12)^3}$$

$$VAN = 5992,50$$



CÁLCULO DEL TIR

	A	B	C
1			
2	INVERSION INICIAL	-3385,9	
3	AHORRO DEL PRIMER AÑO	3868,8	
4	AHORRO DEL SEGUNDO AÑO	3907,49	
5	AHORRO DEL TERCER AÑO	3946,56	
6			
7	TIR	101%	

Formula bar: B7 =TIR(B2:B5)



PERIODO REAL DE LA RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

$$\text{Recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ganancia}}$$

$$\text{Recuperación} = \frac{3385,90}{3868,90}$$

$$\text{Recuperación} = 0,875 * 12 = 10,5 \text{ meses}$$



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- HIPOTESIS
- “Con el diseño e implementación del sistema de control para el arranque de tres compresores de tornillo de la red de aire comprimido de la empresa INPLASTICO se reducirá las perdidas en la materia prima y se reducirá el consumo de energía de los compresores”



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- Luego de la implementación se verifico que ya no se producen botellas plásticas defectuosas y se eliminaron los tiempos muertos de las maquinas sopladoras causadas por la baja presión en la red de aire comprimido de la empresa por lo tanto existe un ahorro en materia prima y ahorro energético.



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- De las pruebas de funcionamiento se comprobó que los compresores funcionan dentro de los ciclos de trabajo normal; esto quiere decir la mayor parte del tiempo en ciclos de entre 70%-90% y siempre por encima del 50% esto también ayuda a reducir el consumo energético. En promedio la empresa tiene un ahorro económico semanal de 74,40 USD y la inversión será recuperada en 10,5 meses como se indica en el cálculo del periodo real de recuperación de inversión, por lo tanto se establece que la hipótesis fue valida con los resultados obtenidos.



CONCLUSIONES

La automatización del encendido de los tres compresores de tornillo mediante un PLC y un HMI fueron realizados bajo los lineamientos solicitados de la empresa “INPLASTICO”

El rediseño del sistema de control interno tomando en cuenta las señales que van desde los compresores hacia el PLC evita el encendido y apagado de forma manual cuando el sistema se encuentra en modo automático

Se elaboró planos eléctricos correspondientes al sistema de diseño eléctrico, los mismos que servirán en caso de que se requiera hacer una readecuación en el futuro por lo que se proporcionó este material a la empresa INPLASTICO



CONCLUSIONES

Se desarrolló un programa en el software TIA PORTAL que permitió el análisis de señales provenientes de las electroválvulas, para realizar el cálculo de los ciclos de trabajo y almacenar estos valores en una base de datos, mediante la opción Dataloggin que posee el PLC S7 1200

Los ciclos de trabajo de los compresores almacenados en el Dataloggin mostraron fallas al momento del cambio entre compresores por lo que se usaron estos datos en la toma de decisiones para el funcionamiento en modo automático.



CONCLUSIONES

Se realizó el programa de control para el encendido y apagado automático de los compresores en función a los valores analizados en la base de datos de los ciclos de trabajo; además de programar el HMI para indicar las horas de trabajo de los compresores que servirán para una mejor planificación de mantenimiento.

Se determinó mediante las pruebas de funcionamiento que el ciclo de trabajo óptimo para realizar el cambio de compresor a uno de menor capacidad es del 50% y para realizar el cambio a un compresor de mayor capacidad el tiempo en carga no debe exceder los 10 minutos



RECOMENDACIONES

- Para el criterio de cambio a un compresor de menor capacidad no exceder del 60% debido a que el compresor que entre en funcionamiento no logrará mantener la presión de aire arriba de los 90 PSI, por lo que se tendrá una alternancia continua de compresores.
- Cuando se realice el mantenimiento de cualquier compresor colocar al sistema en modo manual para evitar lesiones debido a encendidos no deseados ya que el sistema podría enviar señal de encendido al compresor que se le esté realizando el mantenimiento.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener las llaves de paso de aire de los compresores hacia el tanque de almacenamiento siempre abiertas, para evitar pérdidas de presión ya que si se encuentran cerradas el aire comprimido no iría hacia el tanque de almacenamiento y por ende a la red de aire comprimido lo que causaría desperfectos en las botellas fabricadas.
- Se recomienda incorporar un sensor de presión electrónico a la salida del tanque de almacenamiento, que envíe señal al PLC para indicar si hay una caída de presión significativa con lo cual se tendría otro criterio de control además de los ciclos de trabajo y el tiempo en carga con los que funciona actualmente el sistema y así tener una mayor fiabilidad.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS

