



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

TEMA:

**“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL
SUBPROCESO E-COAT DE LA PLANTA DE PINTURA DE CIAUTO CIA LTDA”**

Elaborado por:

Carlos Francisco Moya Espín

Director del Proyecto:

Ing. Hugo Ortiz T. Mgs

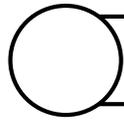
Sangolquí, 2022



ÍNDICE

○	Antecedentes
○	Justificación del Proyecto
○	Objetivos
○	Hardware de Control Anterior
○	Hardware de Control Rediseñado
○	Software de Control
○	Implementación
○	Pruebas y Resultados

ÍNDICE



Conclusiones y recomendaciones



ÍNDICE

- Antecedentes
- Justificación del proyecto
- Objetivos
- Hardware de Control Anterior
- Hardware de Control Rediseñado
- Software de Control
- Implementación
- Pruebas y Resultados

CIUDAD DEL AUTO CIAUTO CIA LTDA es una empresa ecuatoriana, que lleva 9 años fabricando varios tipos de automotores como: camionetas, VANs y SUVs de la marca Great Wall Motors y Shineray. Está ubicada en Camino Real S/N frente a la hacienda San Pablo (Ambato - Tungurahua).

Soldadura



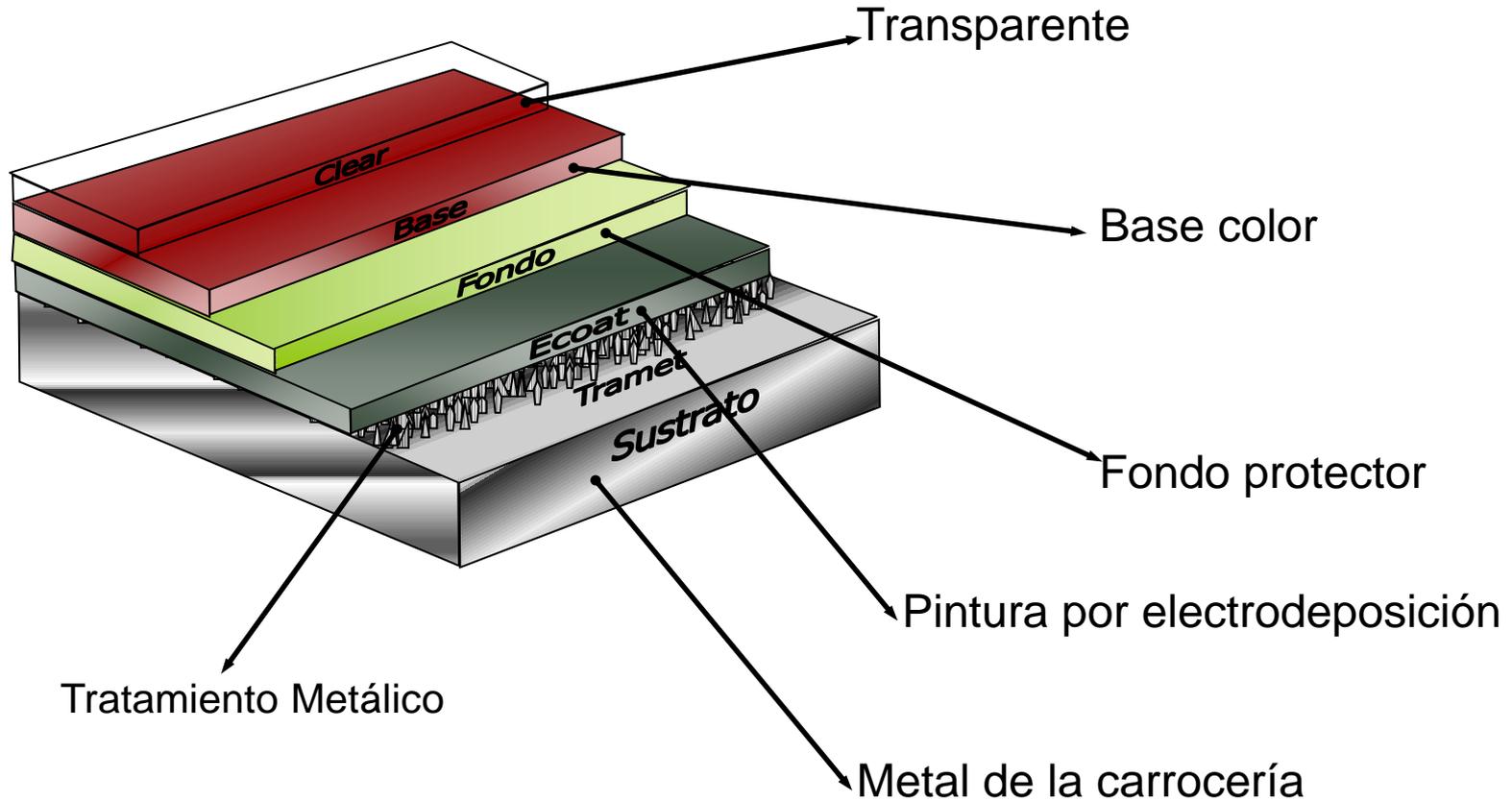
Pintura



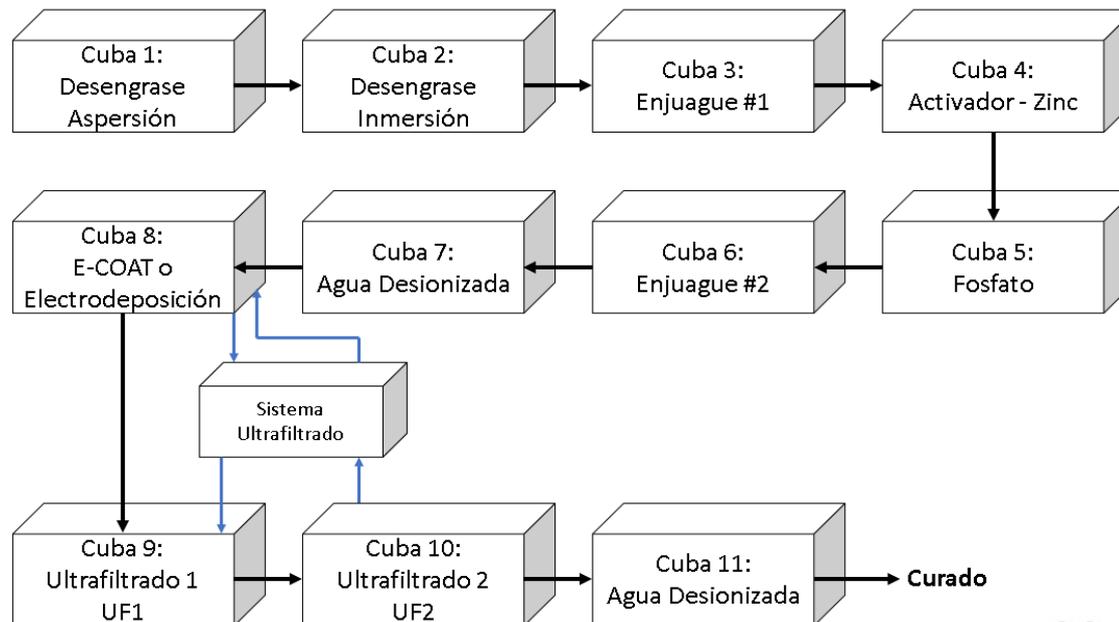
Ensamble



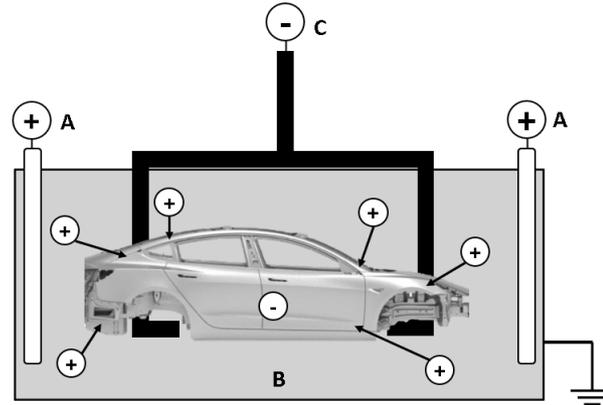
- Sistema de Pintura - CIAUTO



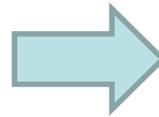
- La carrocería antes de ser pintada pasa por el proceso de electrorecubrimiento (Elpo). Se compone de varios subprocesos:
 - Aspersión e Inmersión, Enjuague
 - Aplicación de una capa de fosfato
 - Aplicación de un fondo anticorrosivo por electrodeposición denominado E-COAT
 - Ultrafiltrado



Subproceso E-COAT – CUBA 8

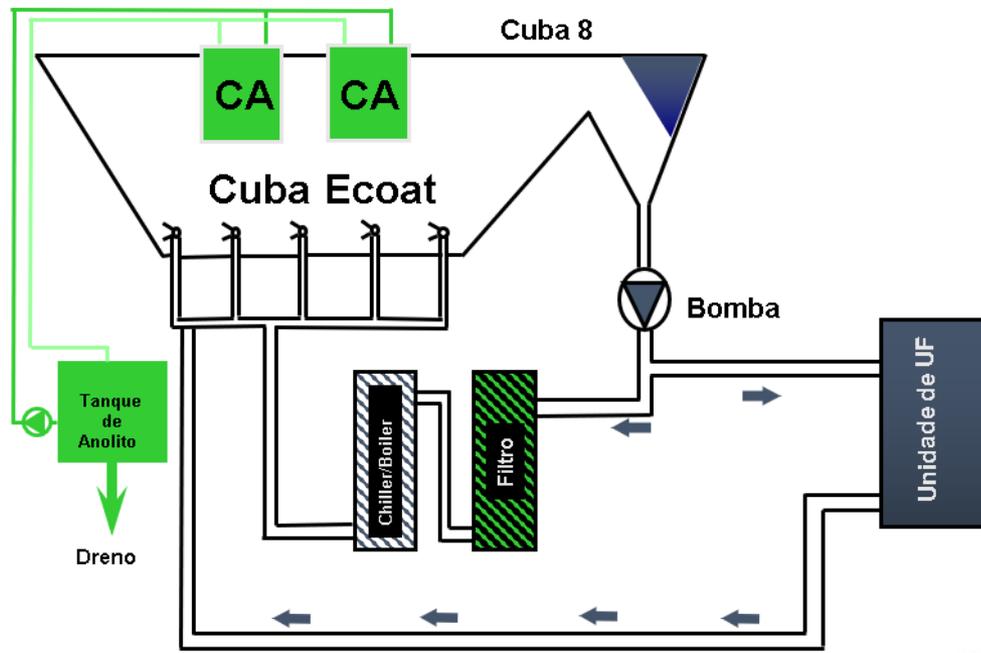


A: Ánodo
B: Baño de pintura
C: Cátodo



Secciones del subproceso E-COAT

- Recirculación y ultrafiltrado de la pintura E-COAT en la cuba 8
- Control de temperatura de pintura cataforética (30.5 - 31.5 °C)
- Sistema de anolito (conductividad) ($< 4000 \mu\text{s}/\text{cm}$)



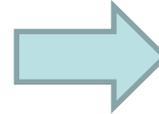
Tablero de control "CUBA E-COAT"



ÍNDICE

- Antecedentes
- Justificación del proyecto**
- Objetivos
- Hardware de Control Anterior
- Hardware de Control Rediseñado
- Software de Control
- Implementación
- Pruebas y Resultados

Lógica de control cableada o de relés VS programada (PLC)



Desventajas Lógica Cableada – relés

- Tiene un alto nivel de dificultad para detectar fallas y realizar reparaciones.
- No es flexible.
- Generalmente ocupa mucho espacio.
- El consumo de energía es considerable en tableros grandes.
- Requiere un mantenimiento periódico, debido a que la mayoría de sus componentes son electromecánicos, es decir, están constituidos por piezas móviles sujetas a desgaste.

Ventajas Lógica Programada - PLC

- Es flexible.
- Mínimo espacio de ocupación y menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Posibilidad de controlar varios procesos con el mismo controlador lógico programable, ya que cuenta con una gran variedad de módulos de expansión.
- En caso de que el PLC ya no sea útil para el proceso industrial, debido a actualizaciones de hardware u otras razones, puede ser de utilidad para el control de otras máquinas o procesos.



Procedimiento de seguridad recirculación y ultrafiltrado – Lubricación y refrigeración de sellos mecánicos

- Se encarga de la secuencia de activación de la circulación del permeato en los sellos mecánicos de las bombas de recirculación y ultrafiltrado, en caso de cortes de suministro eléctrico o pérdida de fase y evitar paras en la línea de producción.

Control Automático de Temperatura y Conductividad

- Mantener la temperatura de la pintura cataforética entre 30.5 y 31.5 °C (Producción), para mantener la calidad de la protección anticorrosión y asegurar que la pintura se deposite correctamente.
- Mantener la conductividad del anolito $< 4000 \mu\text{s}/\text{cm}$ (Producción), para evitar que se contamine la pintura cataforética.
- Evitar reprocesos.

Sistema HMI

- Implementación de un sistema HMI conforme al estándar ANSI/ISA-101.01-2015 que permita que el operador pueda visualizar cada proceso y su información en tiempo real, de una manera ordenada y comprensible, permitiéndole ajustar los diferentes parámetros seleccionados para el control de los mismos



Justificación Económica

Costo de repuestos y materiales

Causa	Costo
Daño de sello mecánico/unidad	\$ 6.000,00
Químicos y reactivos para recuperar la conductividad anolito	\$ 11.000,00
Total Aproximado	\$ 17.000,00

Corte de energía

Causa	Costo
Daño de 2 sello mecánico/unidad	\$ 12.000,00
Para de producción - 2 días aproximadamente	\$1.280.000,00
Total Aproximado	\$1.292.000,00

Falla control temperatura - conductividad

Causa	Costo
Para de producción - 15 minutos	\$ 15.000,00
Reproceso	\$ 1.200,00
Total Aproximado	\$ 16.200,00

Fuente: Departamento de Mantenimiento

ÍNDICE

- Antecedentes
- Justificación del proyecto
- Objetivos**
- Hardware de Control Anterior
- Hardware de Control Rediseñado
- Software de Control
- Implementación
- Pruebas y Resultados

Objetivo General

Modernizar el tablero de control “CUBA E-COAT” del proceso Elpo de la planta de Pintura de CIAUTO, mediante la migración de la lógica de control cableada a programada y la implementación del sistema HMI conforme al estándar ANSI/ISA-101.01-2015 para la supervisión y control del subproceso E-COAT.

Objetivo Específicos

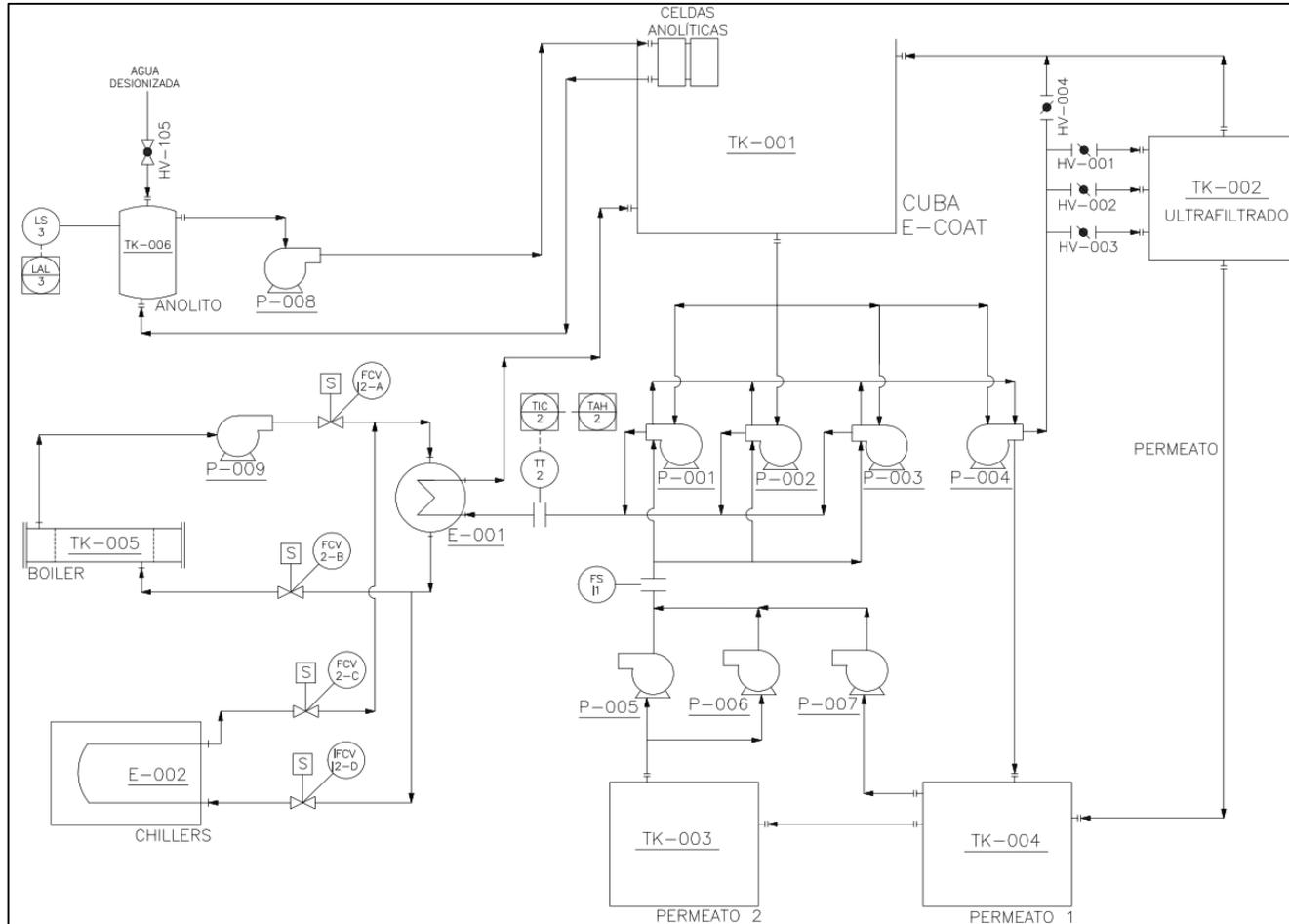
- Mejorar la operación, el diagnóstico y el mantenimiento del tablero de control “CUBA E-COAT” mediante la migración de la lógica cableada a lógica programada.
- Diseñar e implementar un control de temperatura para la pintura cataforética a fin de asegurar la protección que reciben las carrocerías en el subproceso E-COAT y optimizar tiempo del personal del departamento de mantenimiento.
- Evitar períodos de paro de la producción en la planta de pintura, a través del diseño e implementación de un procedimiento de seguridad para la refrigeración y lubricación de los sellos mecánicos de las bombas de recirculación y ultrafiltrado de la cuba “E-COAT”.
- Mejorar la supervisión y monitoreo del subproceso E-COAT que controla el tablero “CUBA E-COAT”, mediante el diseño e implementación de un sistema HMI conforme al estándar ANSI/ISA-101.01-2015.
- Asegurar la confiabilidad subproceso E-COAT mediante la ejecución de pruebas de funcionamiento que permitan validar cada una de las etapas del proyecto.



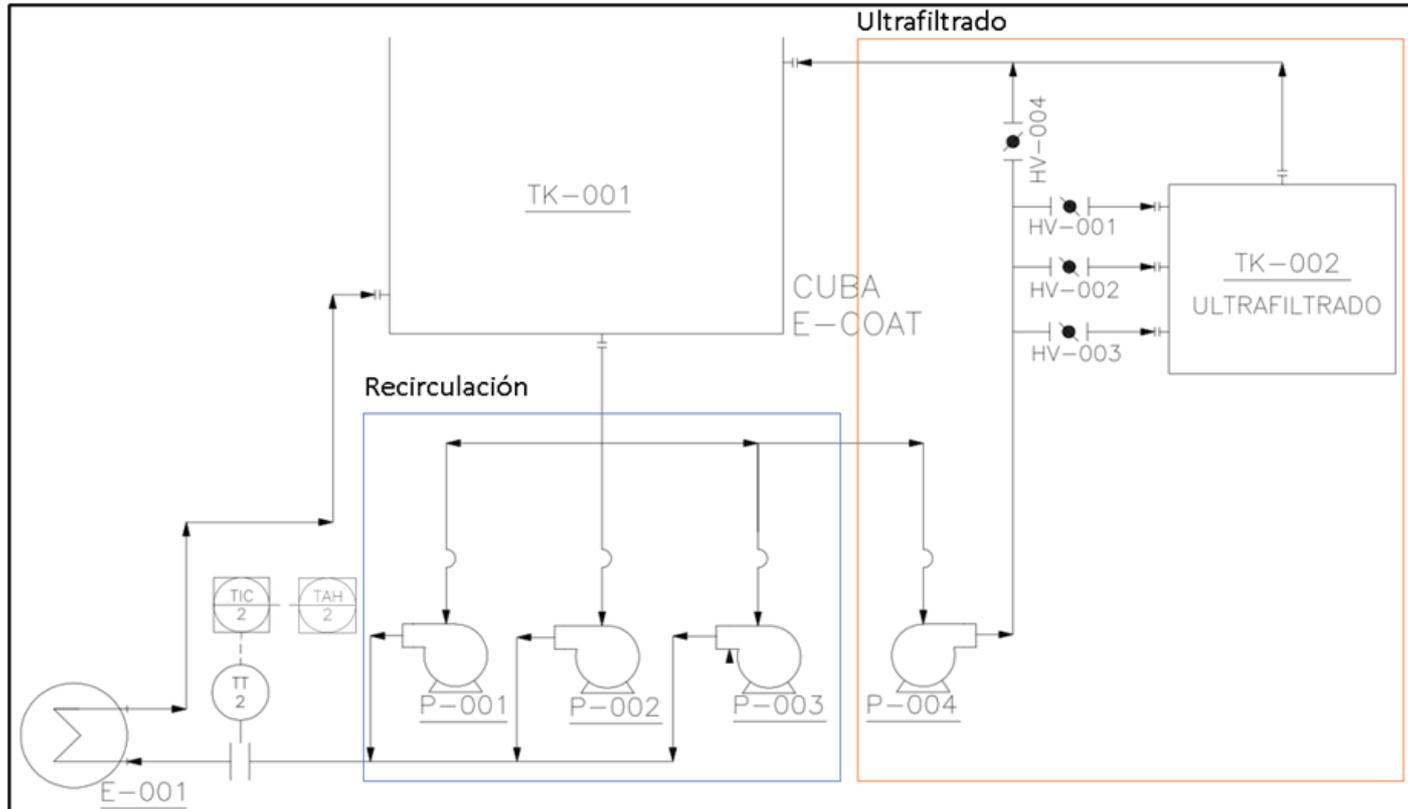
ÍNDICE

- Antecedentes
- Justificación del proyecto
- Objetivos
- Hardware de Control Anterior**
- Hardware de Control Rediseñado
- Software de Control
- Implementación
- Pruebas y Resultados

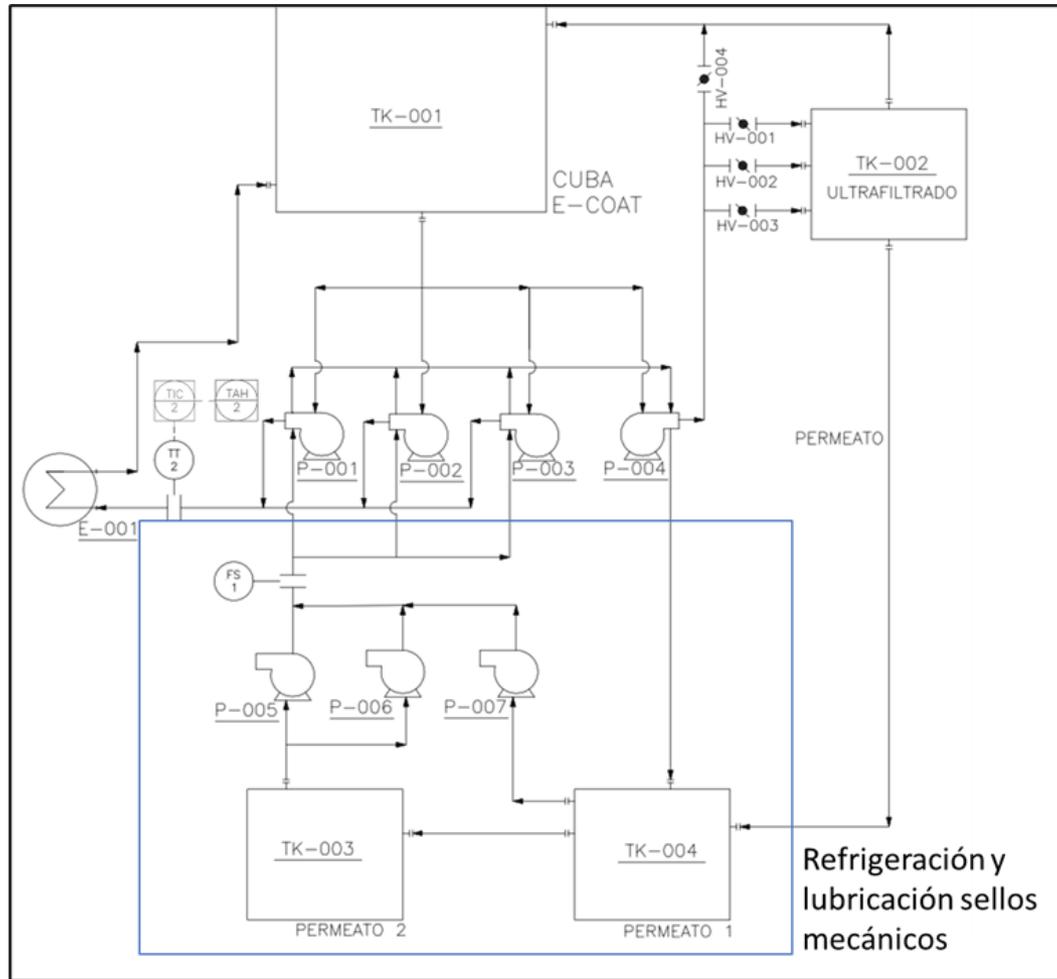
P&ID Subproceso E-COAT



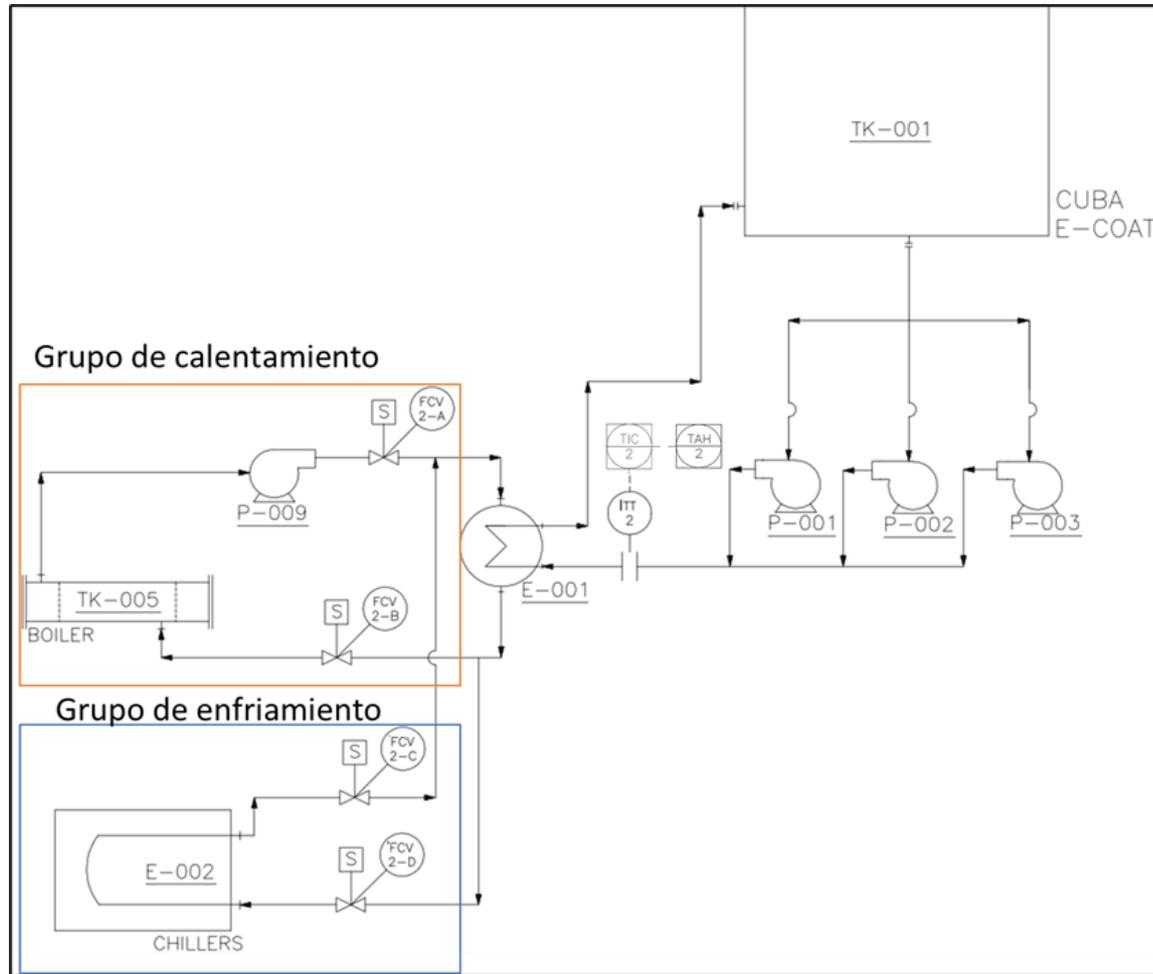
P&ID Recirculación y Ultrafiltrado



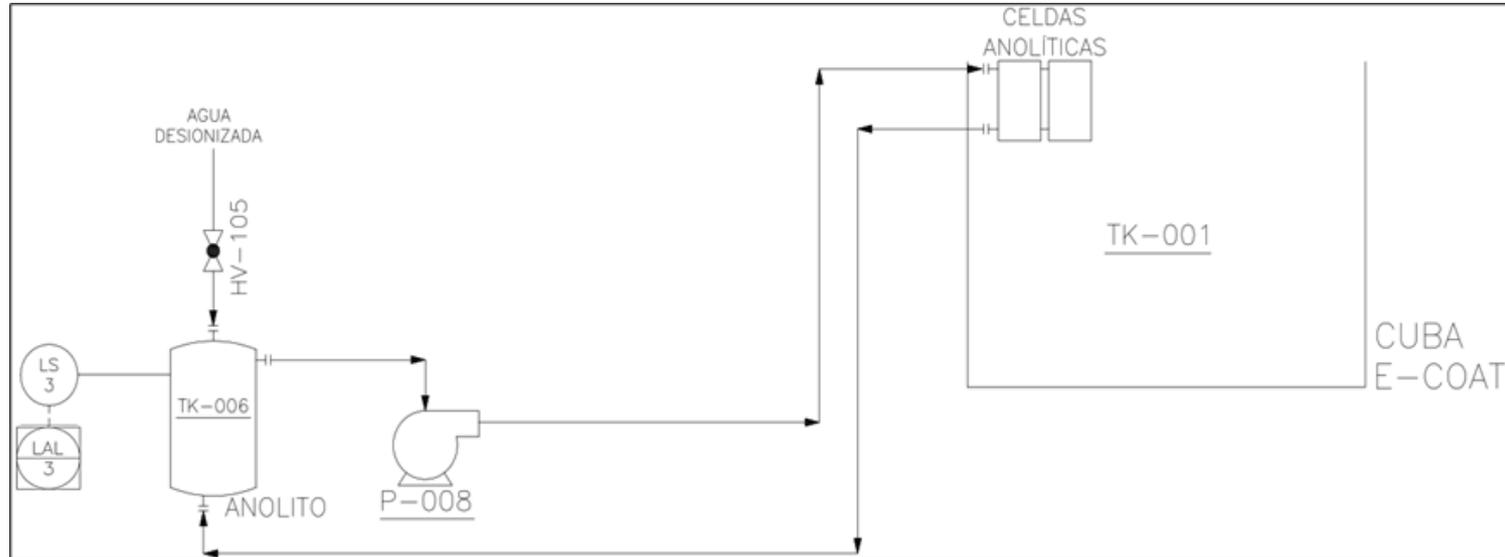
P&ID Refrigeración y lubricación sellos mecánicos



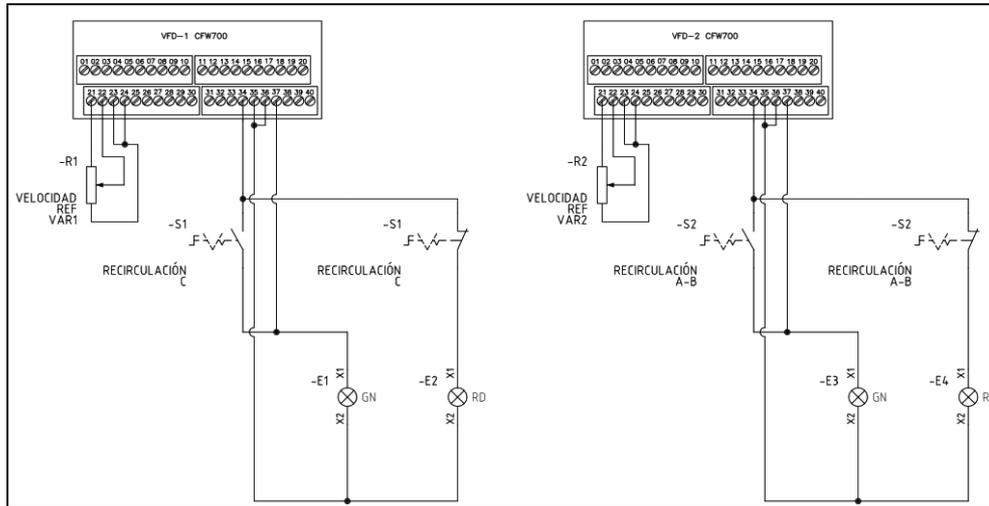
P&ID Control de Temperatura de la pintura cataforética



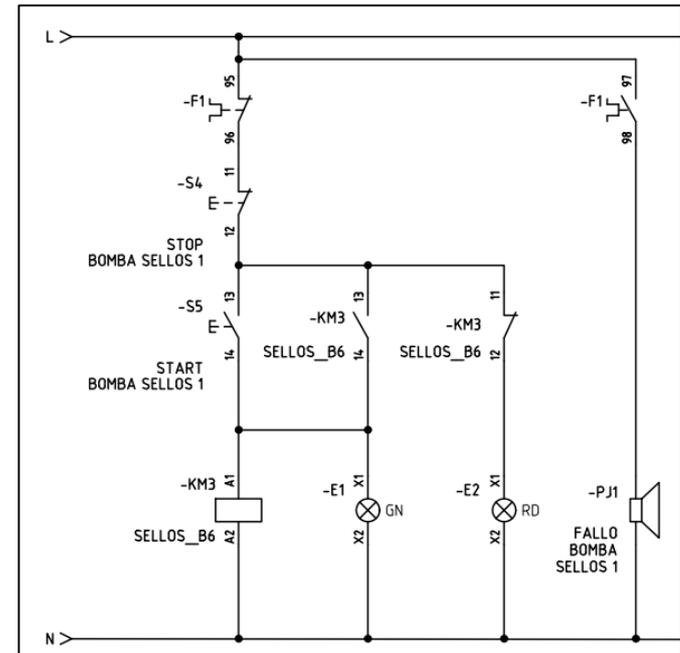
P&ID Anolito



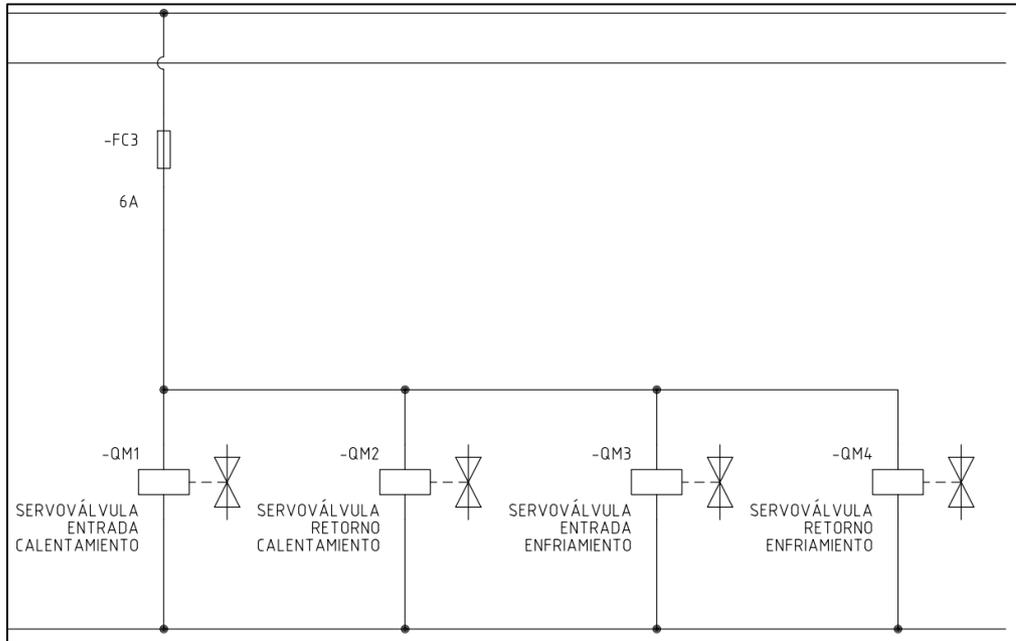
Esquema eléctrico control variadores de potencia



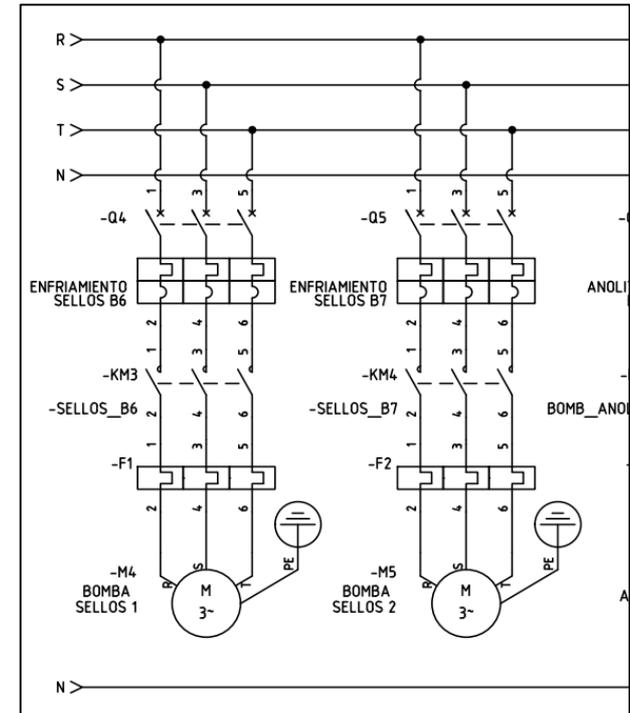
Esquema eléctrico de control



Esquema eléctrico de potencia servoválvulas



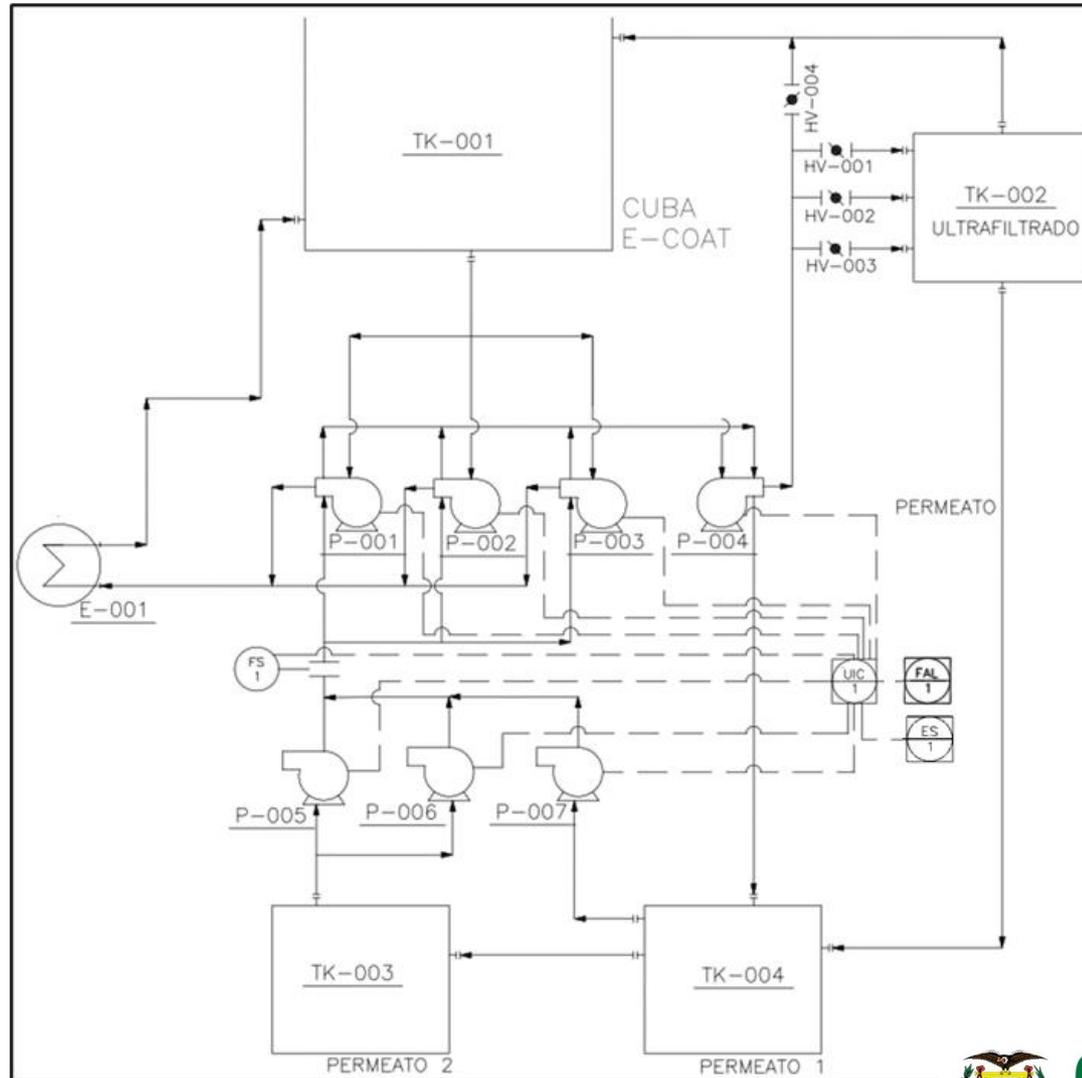
Esquema eléctrico de potencia bombas



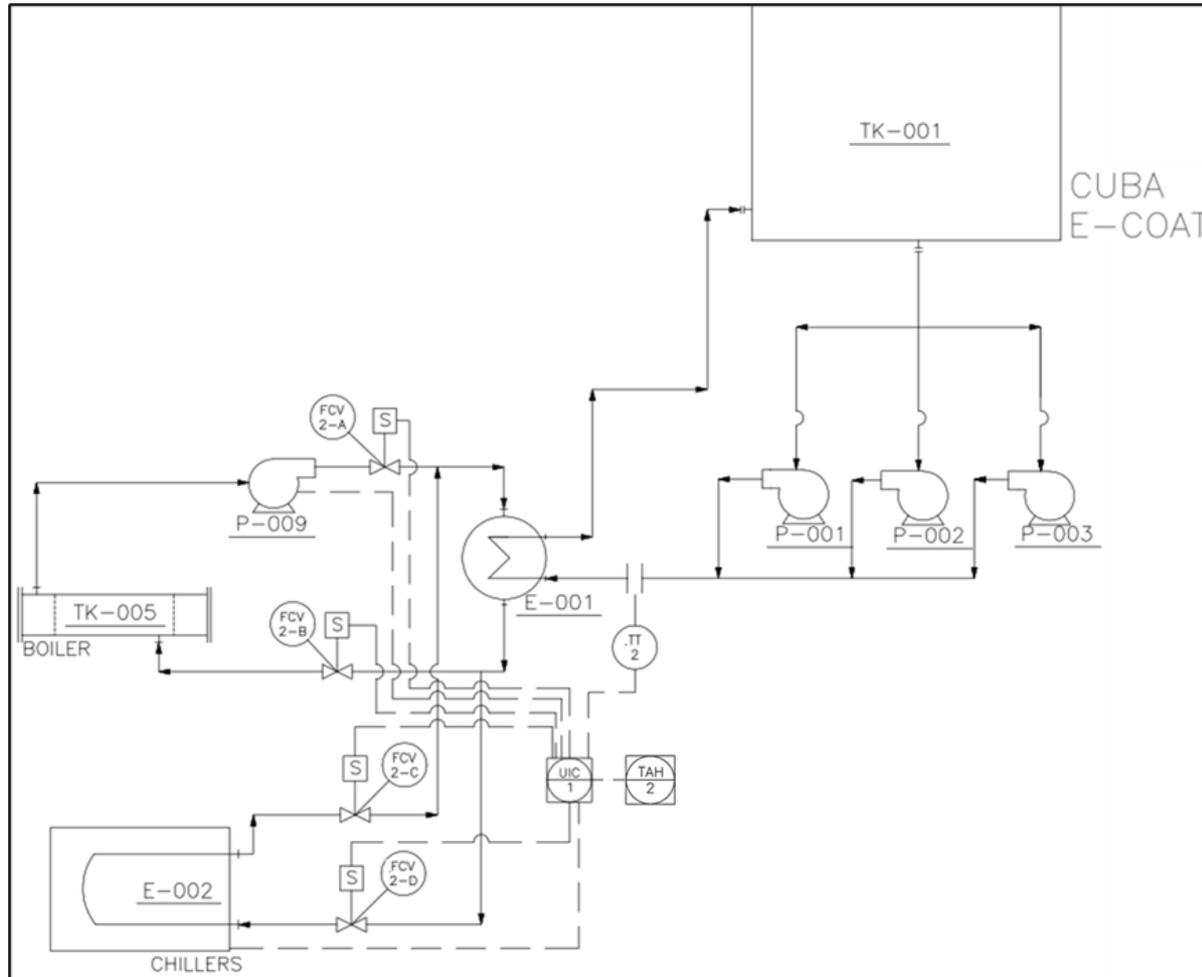
ÍNDICE

- Antecedentes
- Justificación del proyecto
- Objetivos
- Hardware de Control Anterior
- Hardware de Control Rediseñado**
- Software de Control
- Implementación
- Pruebas y Resultados

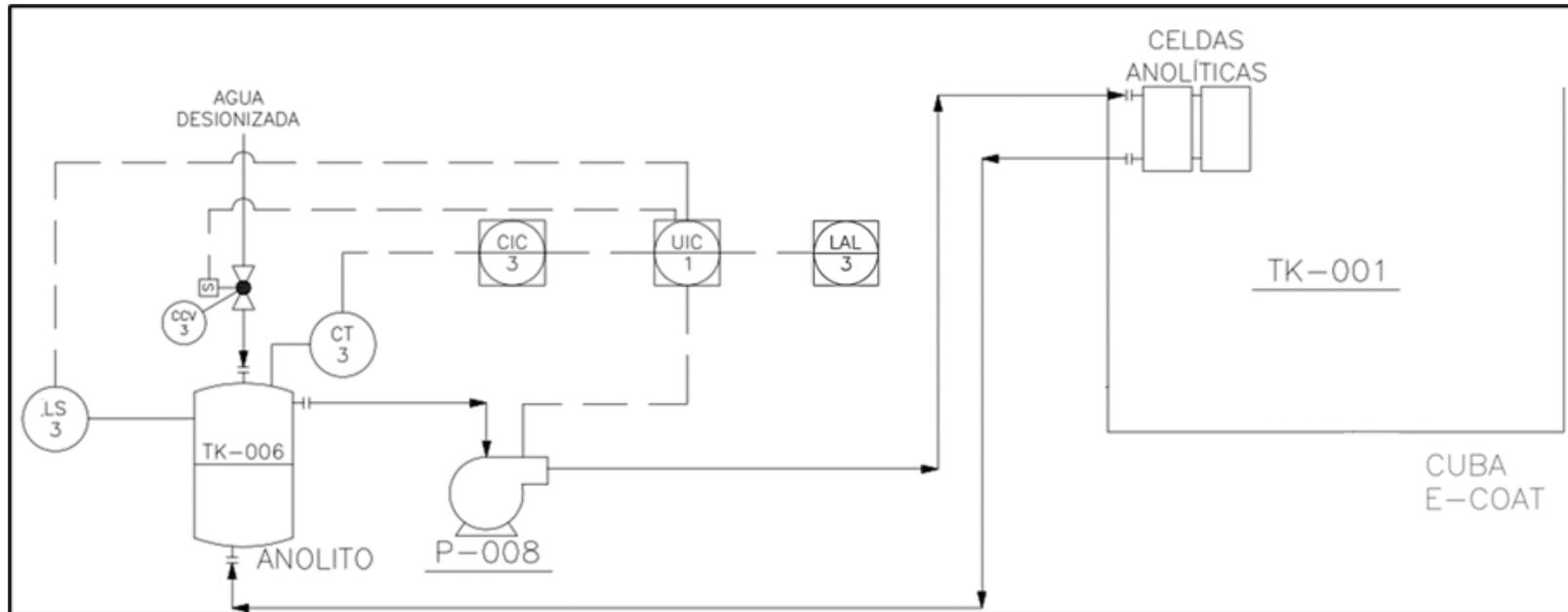
P&ID Recirculación y Ultrafiltrado



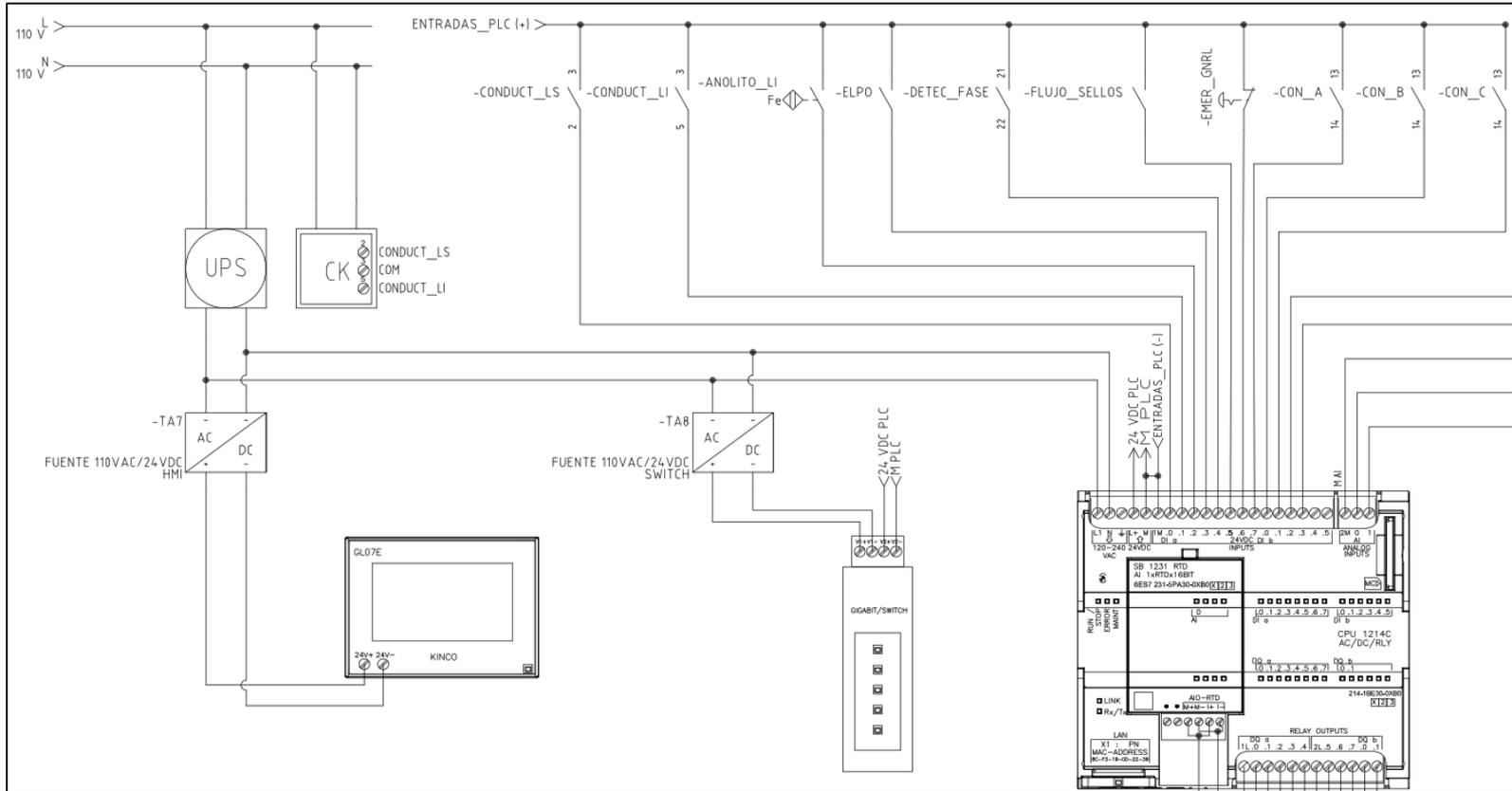
P&ID Control de temperatura



P&ID Control de conductividad

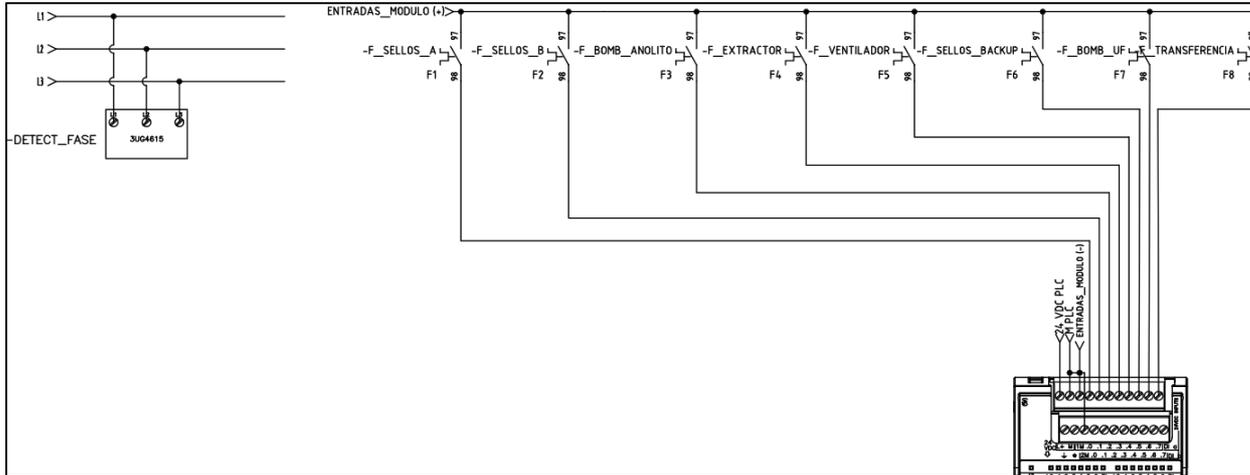
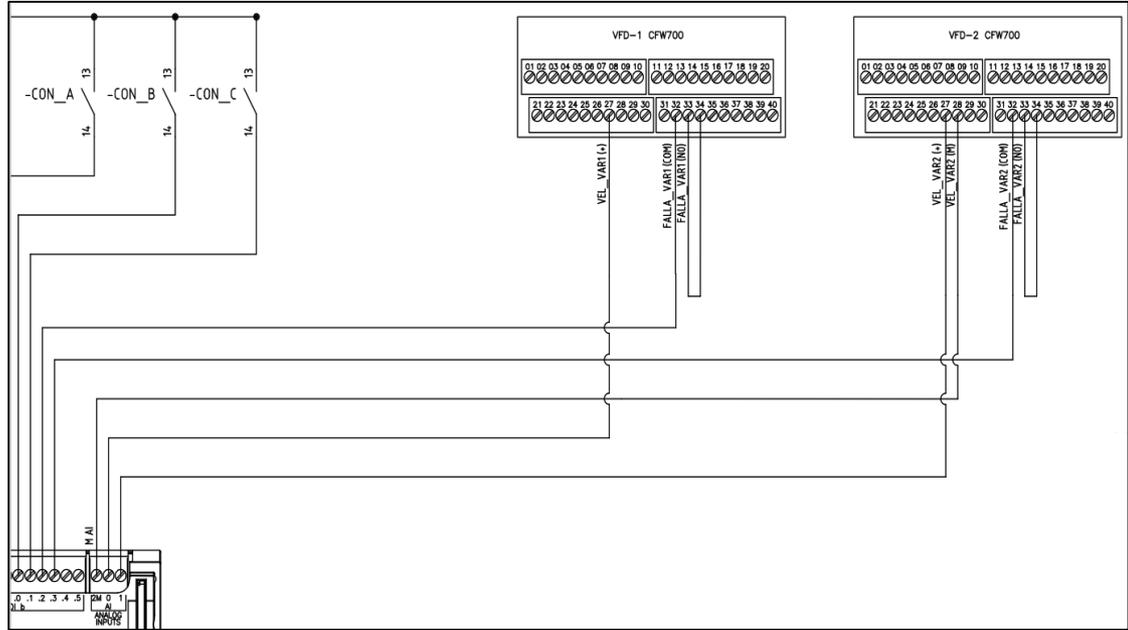


Esquema de control

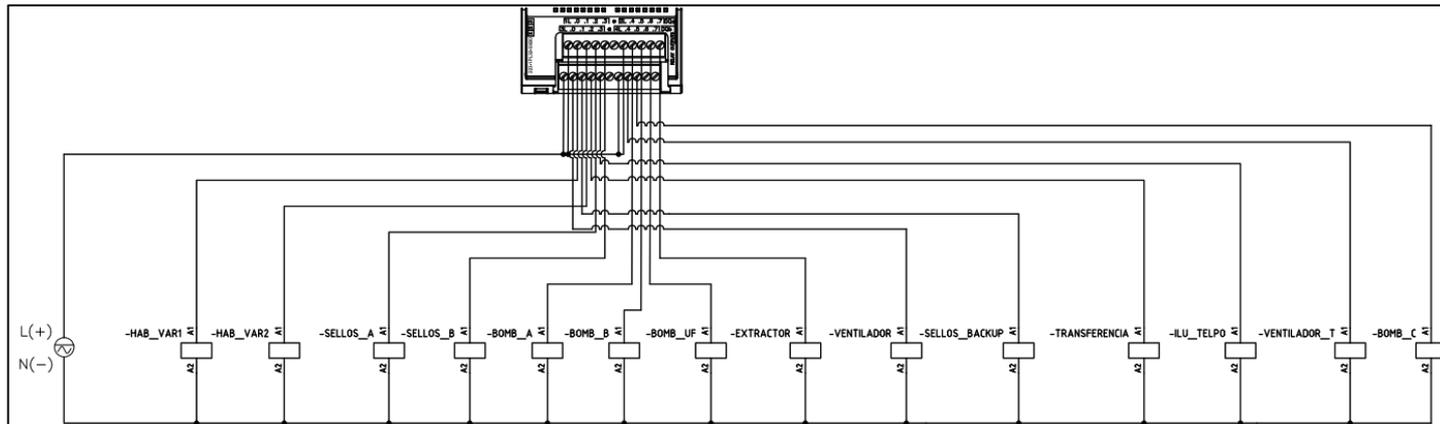
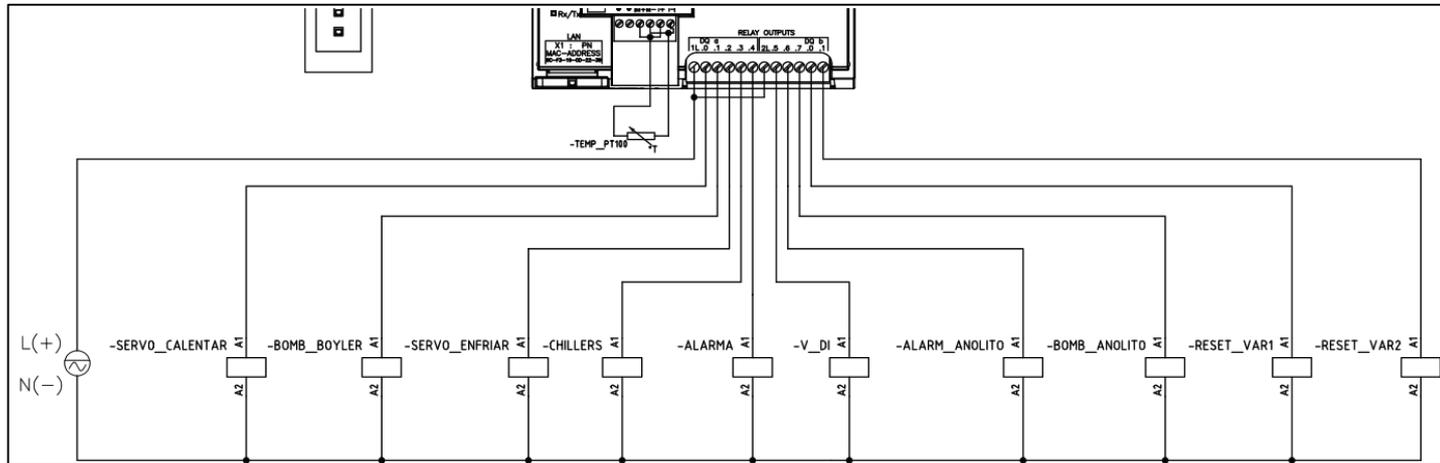


Hardware de Control Rediseñado

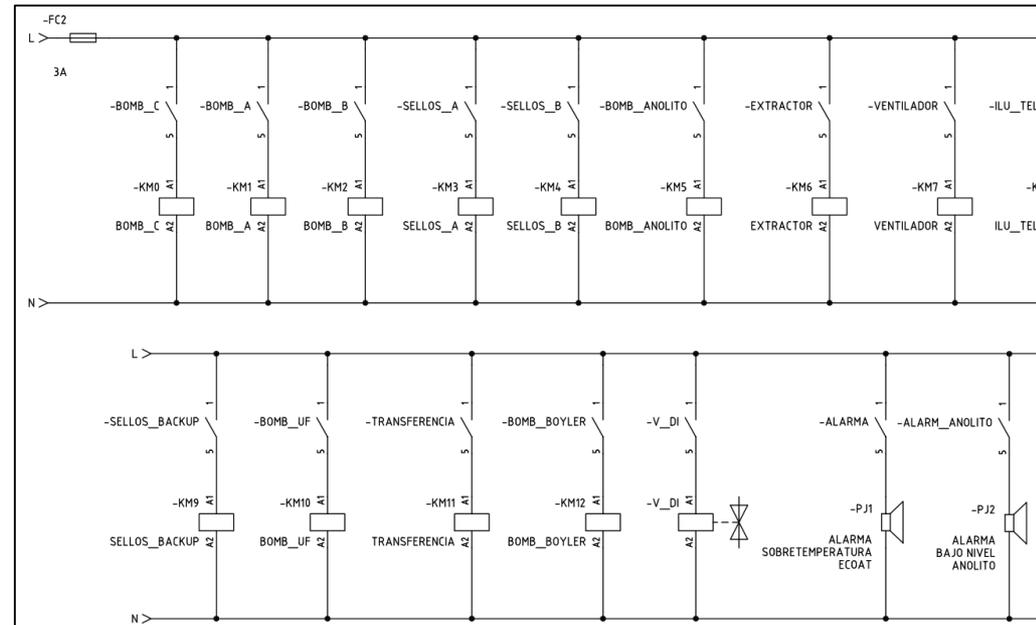
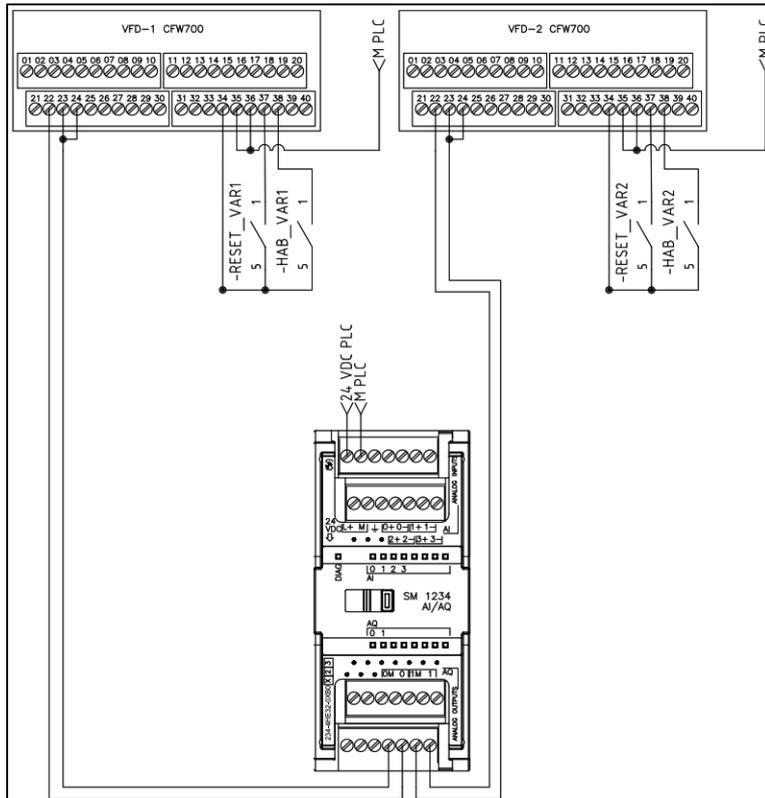
Esquema de control



Esquema de control



Esquema de control



Hardware de Control Rediseñado

Equipos y componentes requeridos

No.	EQUIPOS Y COMPONENTES	MODELO	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
1	PLC S7-1200	1214C AC/DC/RLY	
2	PANEL DE OPERADOR	KINCO GL07E	
3	SIGNAL BOARD RTD	SB 1231	
4	CONTROLADOR Y SENSOR DE CONDUCTIVIDAD	DJEC801	
5	FUENTES DE ALIMENTACIÓN	FUENTE DC 24 V DC TOONE HS-10-24	

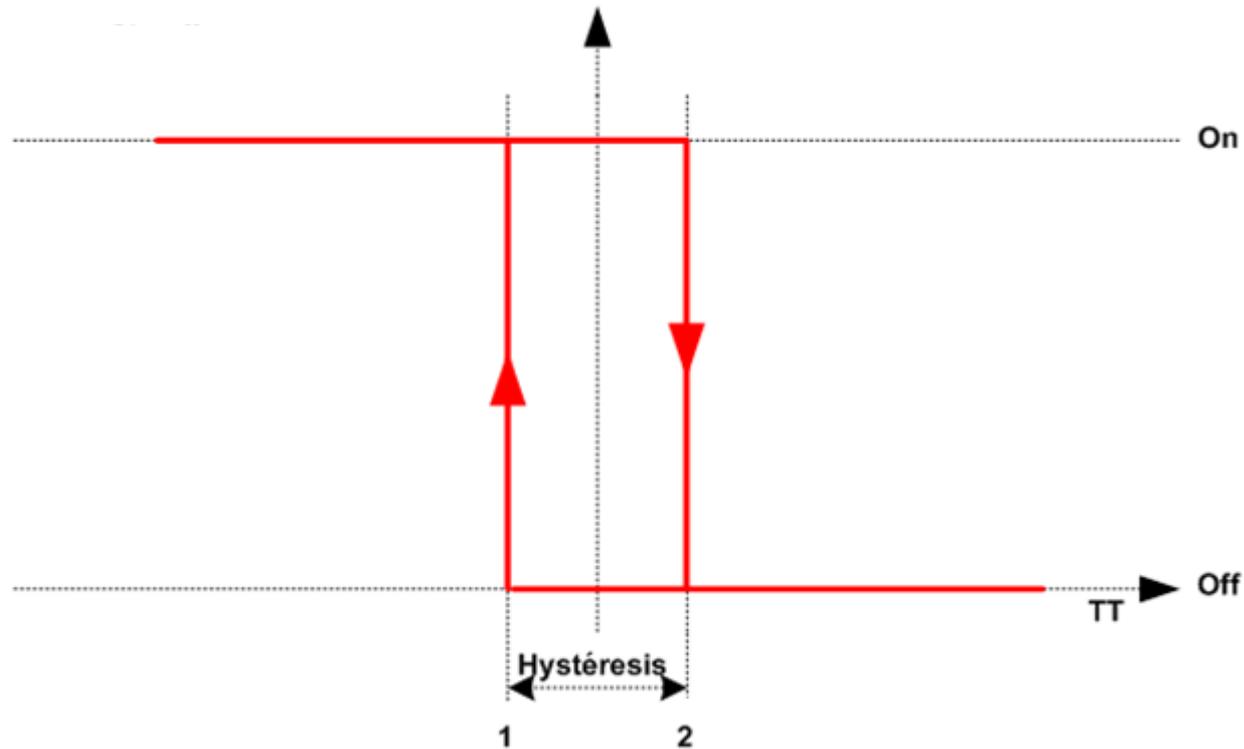
Hardware de Control Rediseñado

Equipos y componentes requeridos

No.	EQUIPOS Y COMPONENTES	MODELO	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
6	MÓDULO EXPANSIÓN ENTRADAS/SALIDAS DIGITALES	SM 1223 16DI a 24VDC + 16DO tipo relé	
7	MÓDULO EXPANSIÓN ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS	SM 1234 4 entradas y 2 salidas analógicas	
8	FUENTE UPS	FORZA NT-511	
9	RELÉ SUPERVISOR DE VOLTAJE	3UG4615-1CR20	
10	SWITCH INDUSTRIAL	TRENDENT TI-G+C750 5 PUERTOS GIGABIT RIEL DIN	
11	ELECTROVÁLVULA	VZBM-A-3/4"-RP-25-D-2-B2-PA10	
12	RELÉS DE PROTECCIÓN SALIDAS PLC	MINI RELÉ 14 PINES 220 V LZS:PT2D5T30	
13	PULSADOR DE EMERGENCIA	HARMONY XB4	

Técnica de Control

El control de la temperatura de la pintura y conductividad del anolito, es del tipo On/Off con histéresis.



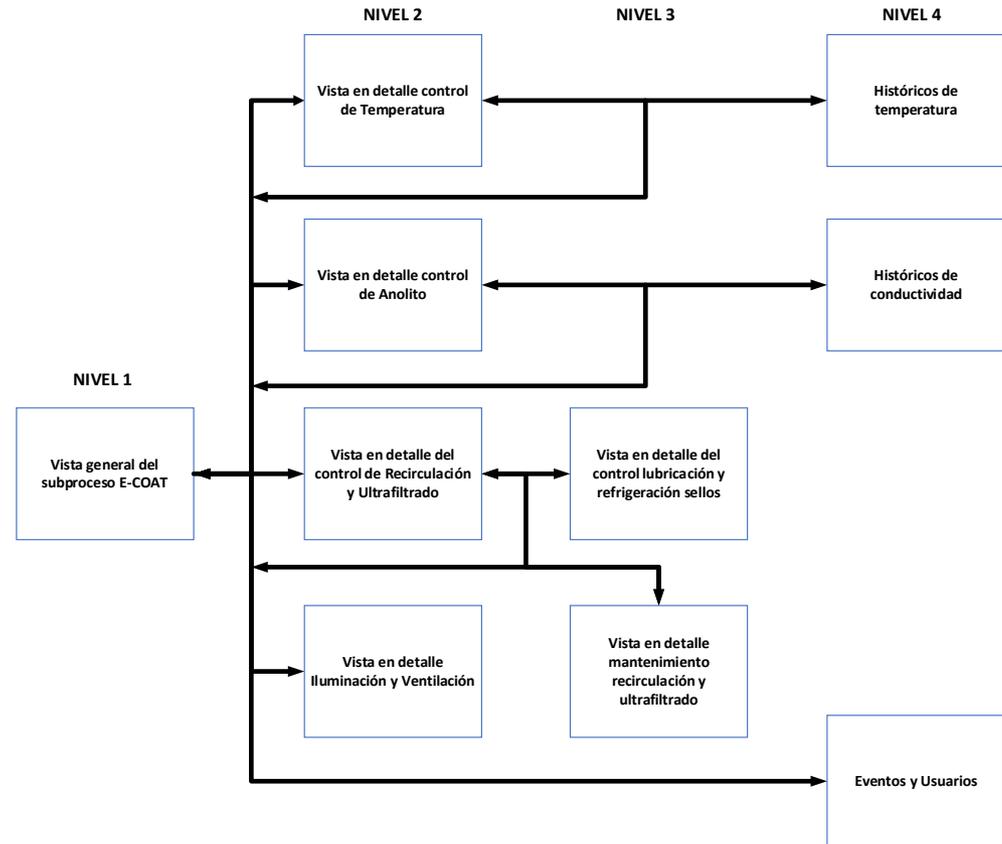
ÍNDICE

- Antecedentes
- Justificación del proyecto
- Objetivos
- Hardware de Control Anterior
- Hardware de Control Rediseñado
- Software de Control**
- Implementación
- Pruebas y Resultados

Sistema HMI

Estándar ANSI/ISA-101.01

- Sistema a prueba de errores
- Usuarios
- Guía de estilo
 - Uso de color
 - Formato de texto
 - Plantillas
- Kit de herramientas
 - Kinco Dtools
- Diseño
 - Tareas de usuarios
 - Tabla de variables del sistema



Usuarios

- Se cuenta con dos tipos de usuarios de mantenimiento y de operación.

The screenshot shows the 'HMI Attribute' dialog box with the 'User Permissions Setting' tab selected. The left pane lists users from user0 to user26. The right pane shows settings for the selected user, 'fran23'. The 'Enabled' checkbox is checked. The 'User Name' is 'fran23', the 'Password' is '2222', and the 'Logoff Time' is '10' minutes. The 'Authorization' section contains a table with 6 permissions, where permissions 0 through 4 are checked. Below the table, the 'Administrator permission' checkbox is checked and set to 'NO. 4'. The 'Password Setting' section has three unchecked options: 'Must Contain Letters', 'Must Contain Numbers', and 'Password cannot be repeated with the last'. The 'Password Use Validity Period Setting (Unit: day)' section has 'The Shortest Period' and 'The Longest Period' both set to '0'. The 'Lock Setting' section has 'Account Lock Threshold' and 'Locking time' both set to '0' minutes.

Permission	No.	Name
<input checked="" type="checkbox"/>	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	
<input checked="" type="checkbox"/>	4	
<input type="checkbox"/>	5	
<input type="checkbox"/>	e	

Alarmas

Se crean pantallas emergentes para mostrar la alarma en el HMI

The 'Anolito' HMI screen displays a control panel with a 'Func' indicator light, a 'Paro' indicator light, a 'Detenido' button, and an 'Emergencia' indicator light. A table of messages is shown:

Fecha	Hora	Mensaje
04/28	07:24:20	Paro de EMERGENCIA! Anolito
04/28	07:24:20	Bajo Nivel Anolito
04/28	07:24:12	Proceso Control Conductividad
04/28	07:24:09	Conductividad fuera de rango

A large emergency alarm dialog box is overlaid on the screen, featuring a yellow warning triangle and the text 'Bajo Nivel Anolito !!!'. Below the text is a 'Confirmar' button. The background shows a schematic of a tank with a 'Bajo Nivel Anolito' indicator and a 'Conductividad adecuada' label. The bottom of the screen includes 'Principal' and 'Tendencias' buttons, the CIAUTO logo, and a timestamp of '28/04/22 07:2'.

The 'Recirculación y Ultrafiltrado' HMI screen displays a control panel with a 'Func' indicator light, a 'Paro' indicator light, a 'Detenido' button, and an 'Emergencia' indicator light. A table of messages is shown:

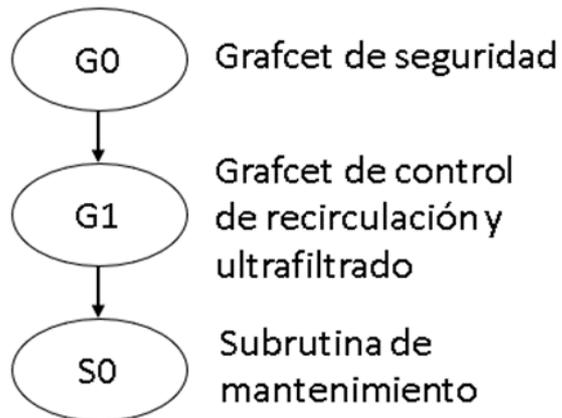
Fecha	Hora	Mensaje
06/28	15:08:11	Corte de Energía
06/28	15:07:58	EMERGENCIA GENERAL E-COAT!!!

A large emergency alarm dialog box is overlaid on the screen, featuring a yellow warning triangle and the text 'Se produjo un corte de Energía !!!'. Below the text is a 'Confirmar' button. The background shows a schematic of a recirculation and ultrafiltration system with components labeled 'Flujo Sell', 'P-1', 'Bomba C', 'Bomba A', 'Bomba B', 'Bomba Ultrafiltrado', 'P-4', and 'TK-2'. The bottom of the screen includes 'Principal' and 'Lubricación' buttons, the CIAUTO logo, and a timestamp of '28/06/22 15:08:16'.

Programación PLC

Se realiza a partir de los diagramas grafcet nivel II

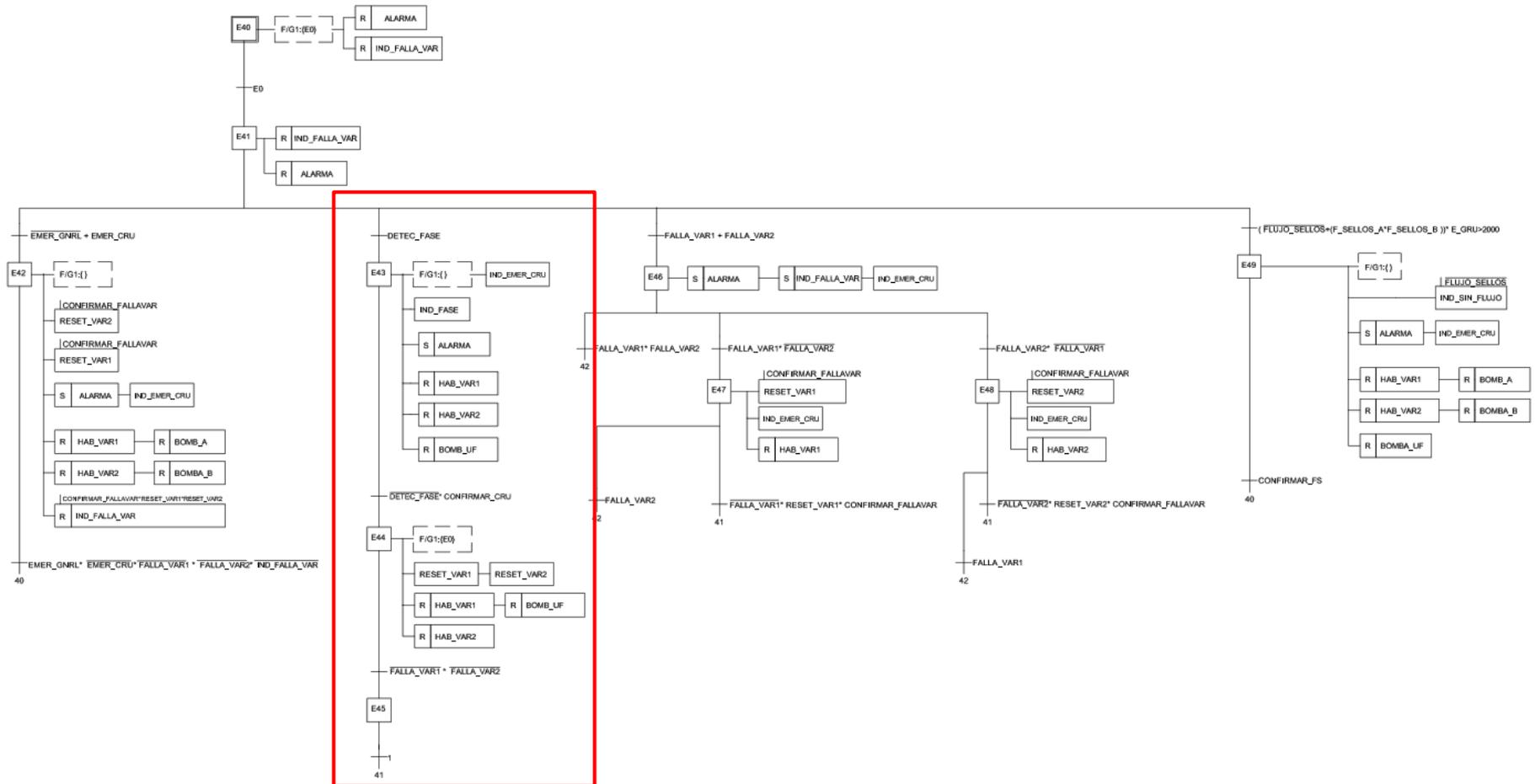
Control de Recirculación y Ultrafiltrado



Control de Temperatura y Conductividad

- Tienen dos modos de funcionamiento: Manual y Automático.
- Mantienen los parámetros dentro del rango determinado.

Grafcet Control de Conductividad



ÍNDICE

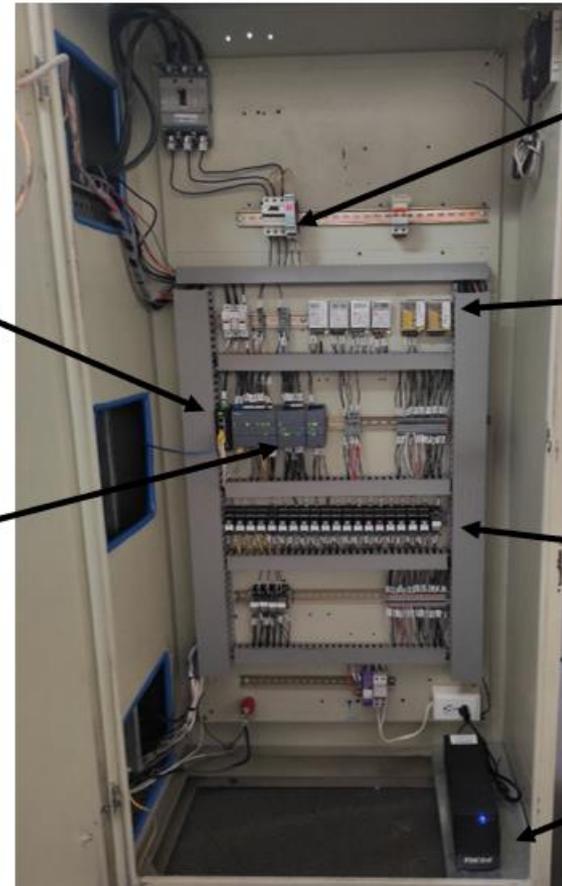
- Antecedentes
- Justificación del proyecto
- Objetivos
- Hardware de Control Anterior
- Hardware de Control Rediseñado
- Software de Control
- Implementación**
- Pruebas y Resultados

Gabinete 3



Switch
Ethernet

PLC y
Módulos de
expansión



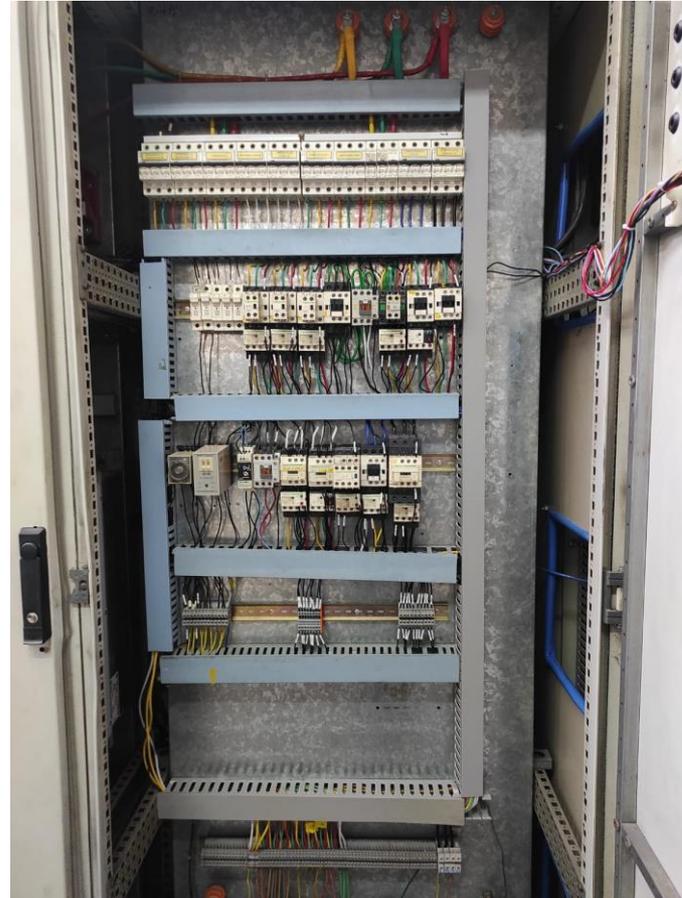
Relé
supervisor
de voltaje

Fuentes DC

Relés de
protección

Fuente UPS

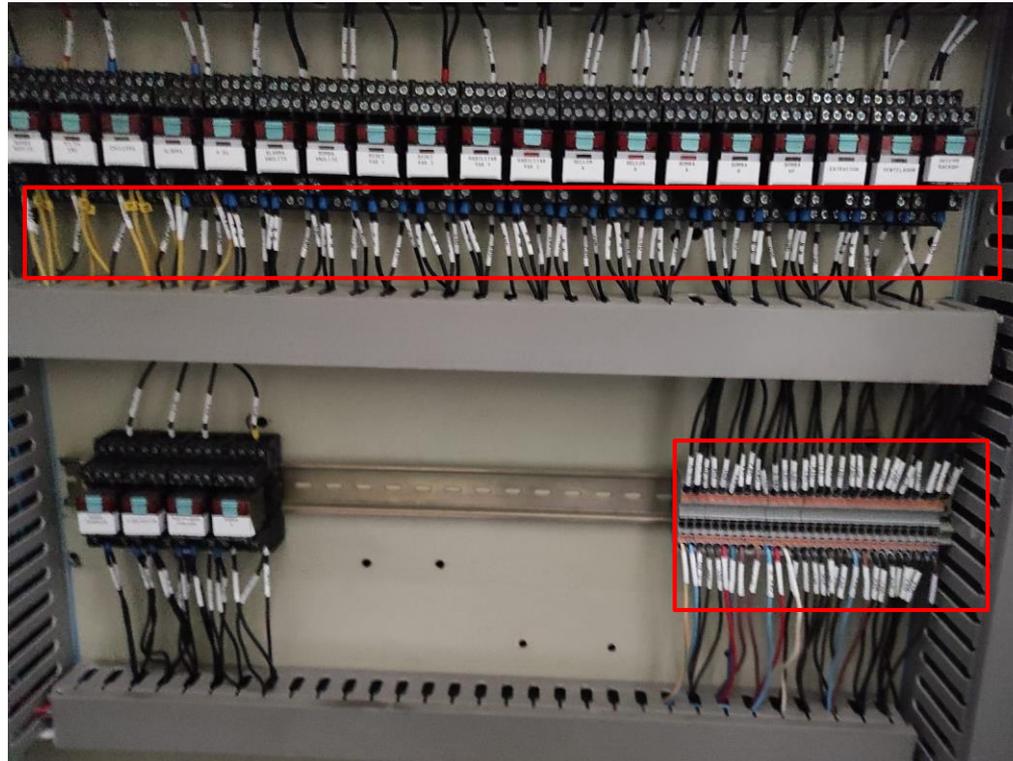
Gabinete 2



Gabinete 1



Etiquetado



Parte exterior del tablero



Sistema HMI

Sistema E-COAT

Control de Temperatura

Control Anolito

Recirculación y Ultrafiltrado

Iluminación y Ventilación

Usuarios y Eventos

Temperatura

Ingreso de Usuarios [X]

Usuario:

Contraseña:

Aceptar Cancelar

Sellos A

Sellos B

Ultra filtrado

Inicio de Sesión

Cerrar Sesión

28/06/22 14:38:42

Sistema E-COAT

Control de Temperatura

Control Anolito

Recirculación y Ultrafiltrado

Iluminación y Ventilación

Usuarios y Eventos

Temperatura E-COAT

Conductividad Anolito

Velocidad Bomba 1

Velocidad Bomba 2

Sellos A

Sellos B

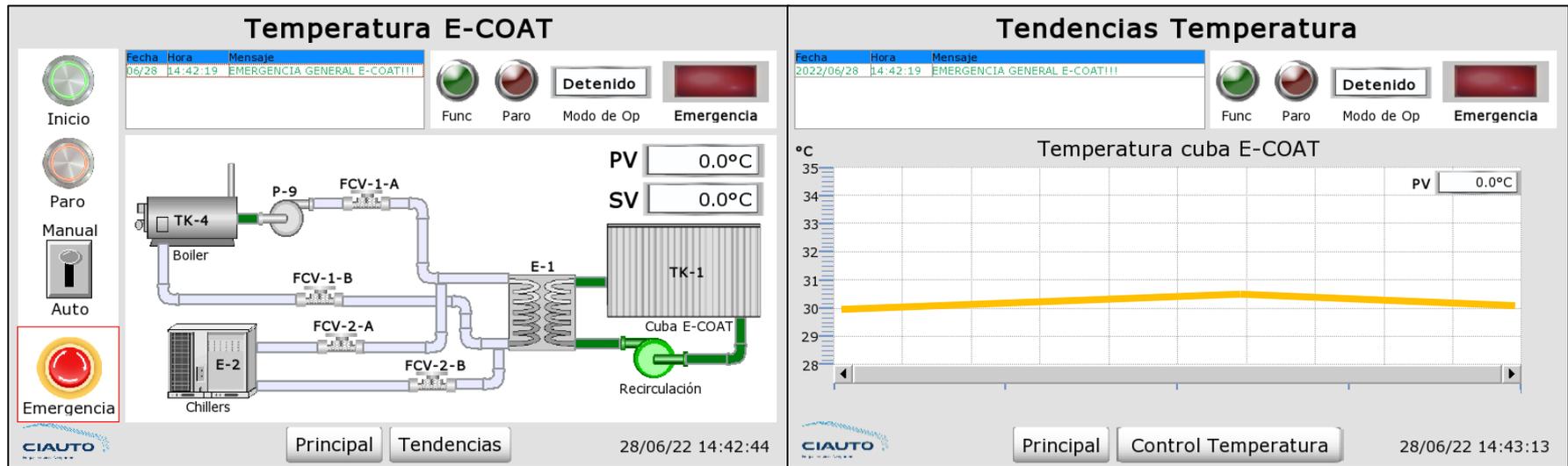
Ultra filtrado

Inicio de Sesión

Cerrar Sesión

28/06/22 14:31:39

Sistema HMI



Sistema HMI

Recirculación y Ultrafiltrado

Fecha Hora Mensaje
06/28 15:10:44 EMERGENCIA GENERAL E-COAT!!!

Func Paro Modo de Op Emergencia

Inicio
Paro
Mantenimiento
Emergencia

OFF

Bomba A Bomba B

Activar Bomba C

Confirmar Cancelar

Principal Lubricación 28/06/22 15:11:13

Usuarios y Eventos

No.	Date	Time	User Name	Log
7	22/07/05	09:43	Mantenimiento	Log in
6	22/07/05	09:43	Operador	Log out
5	22/07/05	09:42	Operador	Log in
4	22/07/05	09:37	Mantenimiento	Log in
3	22/07/05	09:28	Mantenimiento	Log in
2	22/07/05	09:27	Mantenimiento	Log in
1	22/07/05	09:27	Mantenimiento	Log out
0	22/07/05	09:22	Mantenimiento	Log in

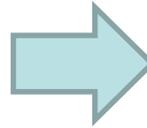
No.	Fecha	Hora	Mensaje
18	2022/07/05	09:47:59	Variador 2 ON
17	2022/07/05	09:47:58	Cambio de bomba B-->A
16	2022/07/05	09:47:40	Variador 2 OFF
15	2022/07/05	09:47:36	Variador 2 ON
14	2022/07/05	09:47:32	Variador 2 OFF
13	2022/07/05	09:47:22	Cambio de bomba B-->A
12	2022/07/05	09:47:22	Variador 2 ON
11	2022/07/05	09:47:09	Variador 2 OFF
10	2022/07/05	09:47:05	Cambio de Velocidades de Referencia
9	2022/07/05	09:46:52	Variador 2 ON
8	2022/07/05	09:46:51	Cambio de bomba B-->A
7	2022/07/05	09:46:43	Variador 2 OFF
6	2022/07/05	09:46:40	Variador 2 ON
5	2022/07/05	09:46:39	Cambio de bomba B-->A
4	2022/07/05	09:46:21	Variador 2 OFF
3	2022/07/05	09:46:19	Variador 2 ON
2	2022/07/05	09:46:18	Cambio de bomba B-->A
1	2022/07/05	09:45:34	Variador 2 OFF
0	2022/07/05	09:45:29	Cambio de Velocidades de Referencia

Principal 05/07/22 09:48:09

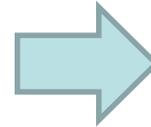
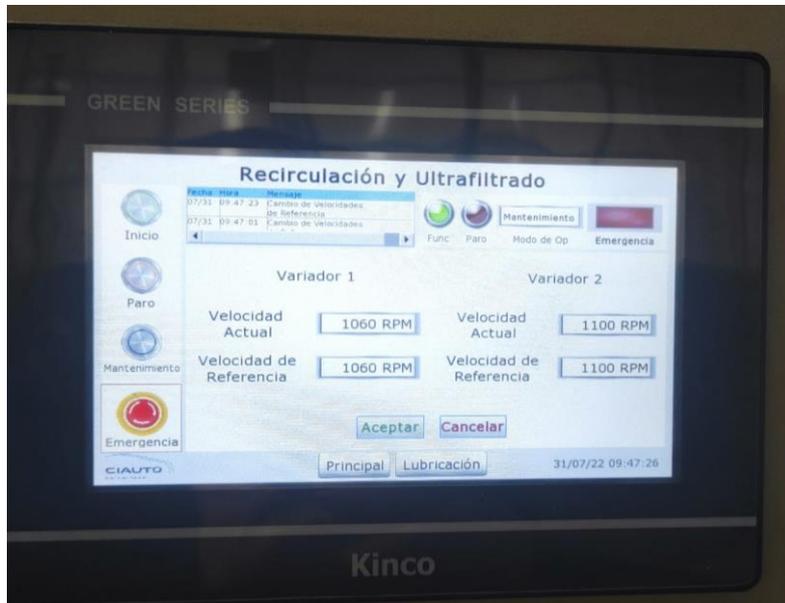
ÍNDICE

- Antecedentes
- Justificación del proyecto
- Objetivos
- Hardware de Control Anterior
- Hardware de Control Rediseñado
- Software de Control
- Implementación
- Pruebas y Resultados**

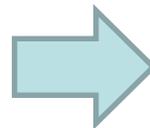
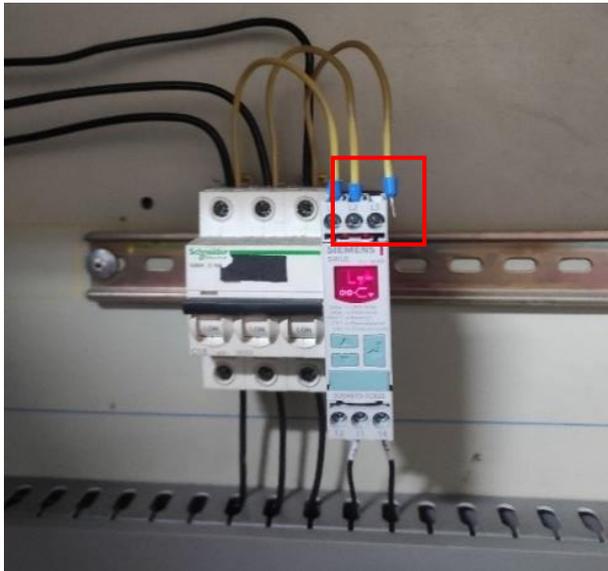
Control de recirculación y ultrafiltrado



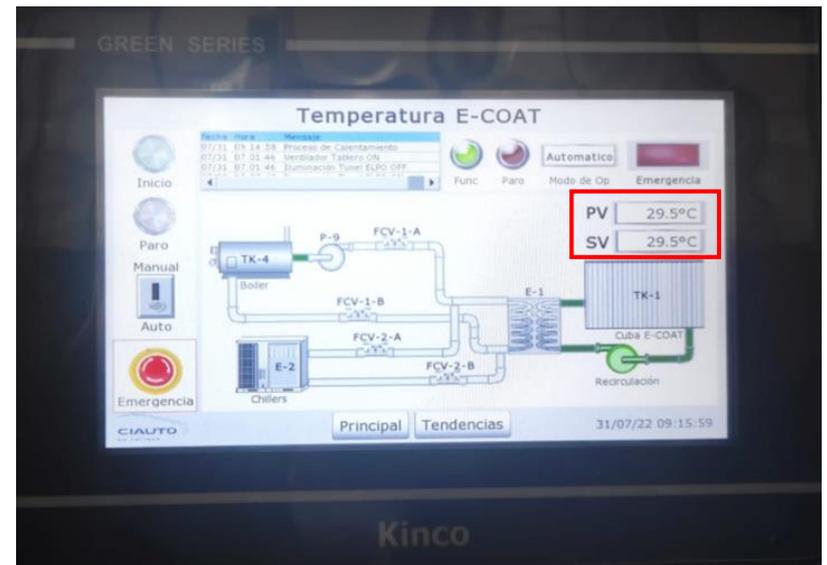
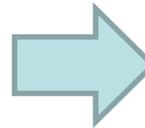
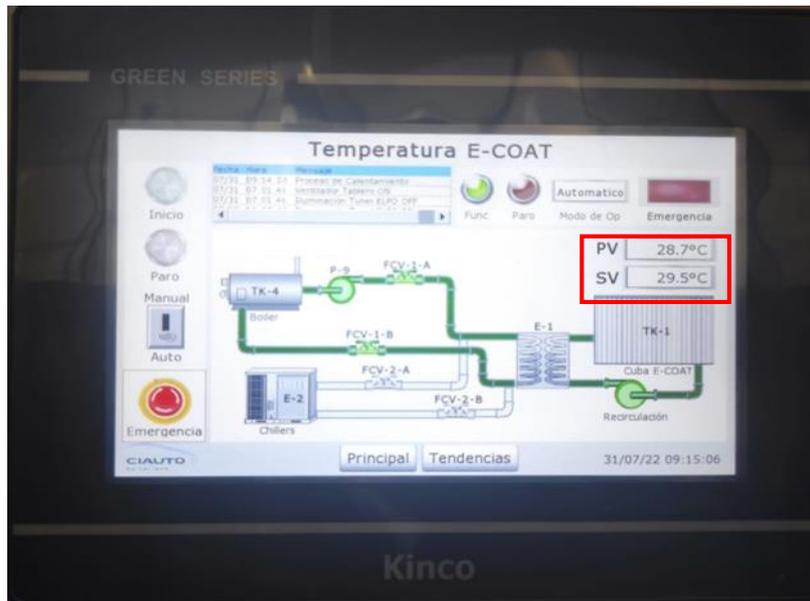
Control de recirculación y ultrafiltrado



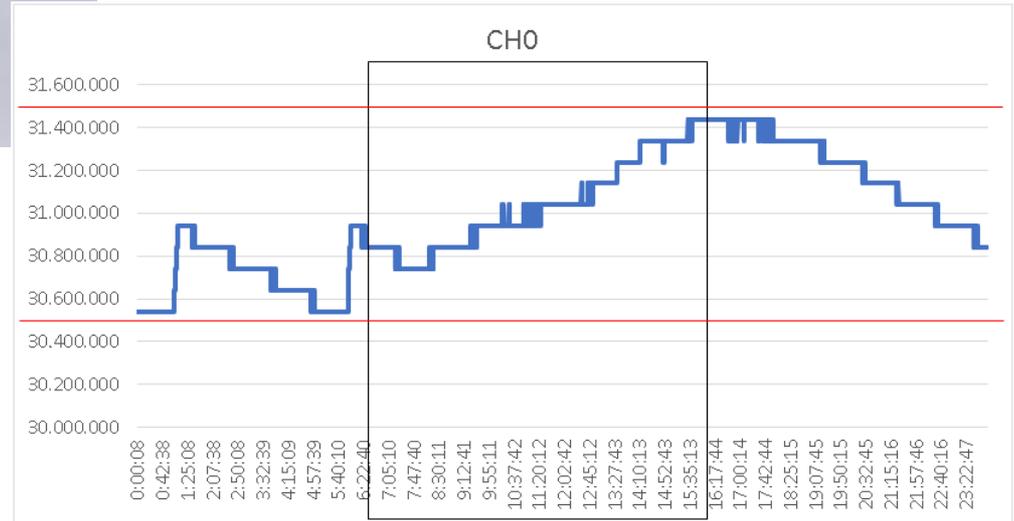
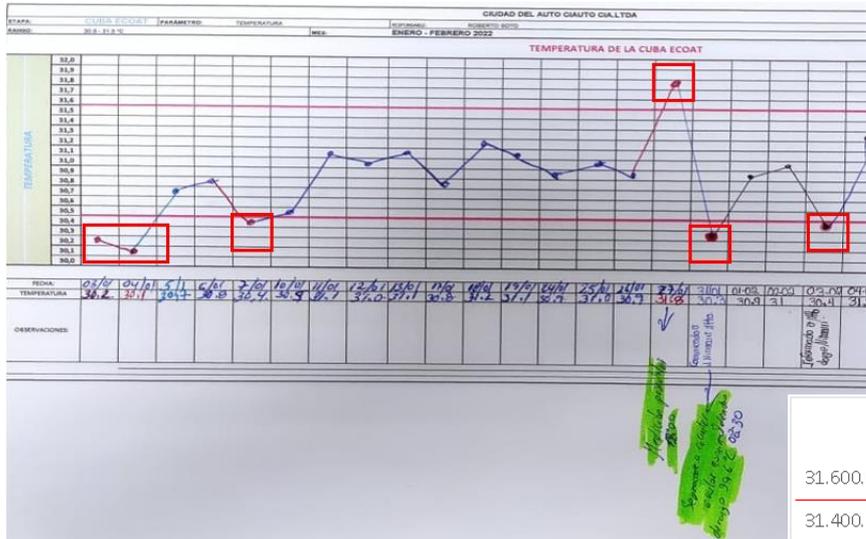
Procedimiento de seguridad



Control de temperatura



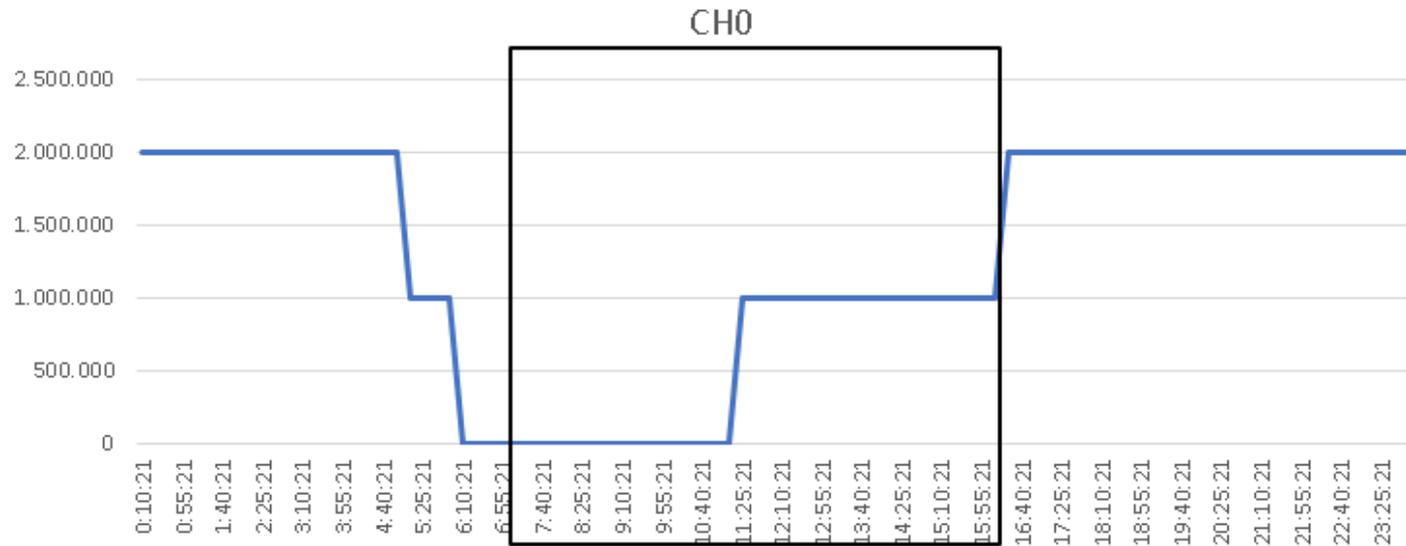
Control de temperatura



Control de conductividad



Control de conductividad



2= Límite Superior (Fuera de rango)

1= Adecuada

0= Límite Inferior

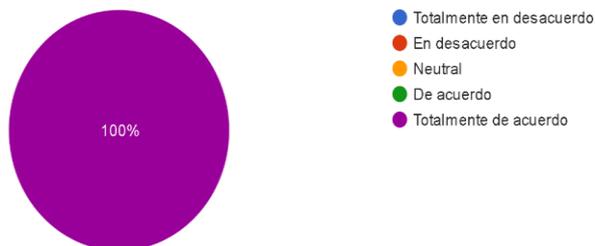
Resultados pruebas de funcionamiento

- La migración de la lógica de control cableada a programada implementada en el tablero de control “CUBA E-COAT” asegura el correcto y adecuado funcionamiento de cada una de las secciones del subproceso E-COAT.
- La optimización del tiempo en el control de temperatura y anolito. En el control de conductividad se presenta una reducción del 9,37% y en el control de temperatura 7,26%

Resultados encuesta de usabilidad del sistema HMI

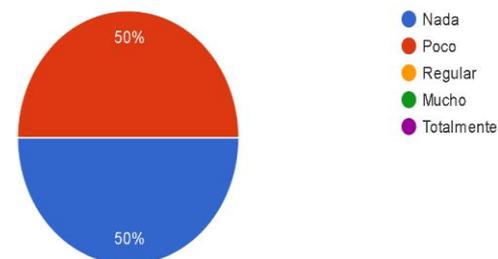
¿El sistema HMI implementado le permitió realizar el monitoreo y supervisión del subproceso E-COAT?

6 respuestas



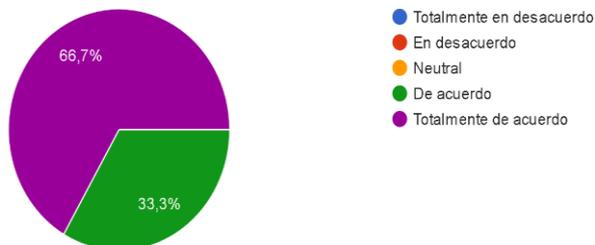
¿En qué escala considera la dificultad del uso del sistema HMI?

6 respuestas



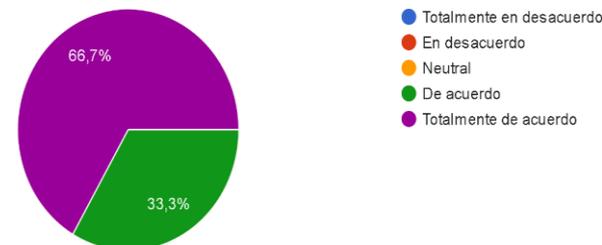
Con la implementación del sistema HMI: ¿Se ha mejorado el manejo, identificación y reconocimiento de las alarmas del subproceso E-COAT?

6 respuestas

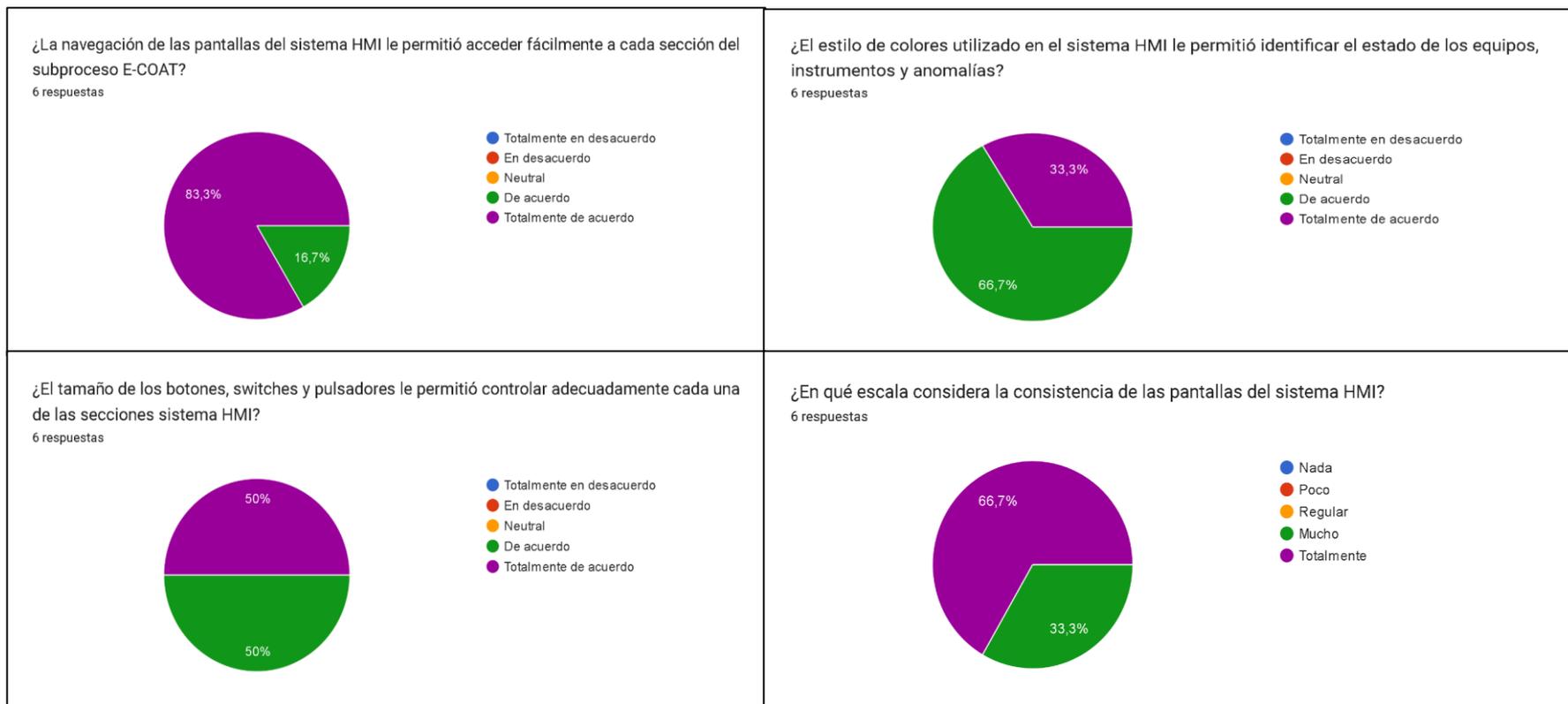


Con la implementación del sistema HMI: ¿Se han reducido las fallas en el manejo de los equipos del subproceso E-COAT?

6 respuestas



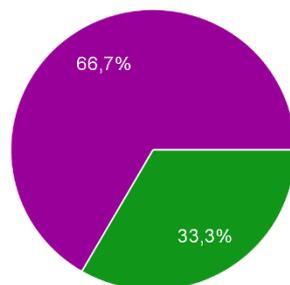
Resultados encuesta de usabilidad del sistema HMI



Resultados encuesta de usabilidad del sistema HMI

¿La distribución de los equipos e instrumentos en las pantallas principales de cada sección del subproceso E-COAT refleja semejanza a la ubicación de los equipos en campo y los planos P&ID?

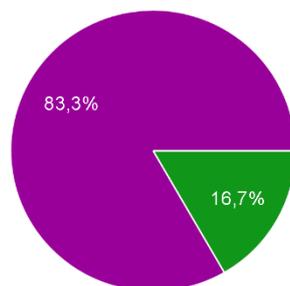
6 respuestas



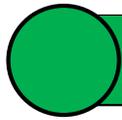
- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

¿Qué tan satisfecho se encuentra al utilizar el sistema HMI?

6 respuestas



- Muy insatisfecho
- Insatisfecho
- Neutral
- Satisfecho
- Muy satisfecho



Conclusiones y recomendaciones



- Se modernizó el tablero de control “CUBA E-COAT” del proceso Elpo de la planta de Pintura de CIAUTO, mediante la migración de la lógica cableada a lógica programada con el uso de un PLC S7-1200 1214C AC/DC/RLY y la implementación de un sistema HMI conforme al estándar ANSI/ISA-101.01-2015 y utilizando el panel de operador Kinco GL07E, mejorando la operación, el diagnóstico y el mantenimiento del tablero de control.
- Se diseñó el sistema de control de temperatura de la pintura cataforética, el cual mantiene a este parámetro entre el rango establecido entre 30,5 °C y 31,5 °C durante el periodo de producción, asegurando que la pintura se deposite correctamente en la carrocería durante la electrodeposición, evitando reprocesos y paradas de la línea de producción. Además, se diseñó el control de la conductividad del anolito, que permite mantener este parámetro debajo de los 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, logrando que el anolito cumpla con su objetivo de absorber el ácido resultante de la reacción producida durante la electrodeposición.

- Con la implementación del control de temperatura y de conductividad del anolito, se ha optimizado el tiempo del personal de mantenimiento de la planta de pintura, al reducir el tiempo necesario para que la temperatura de la pintura cataforética y la conductividad del anolito estén dentro del rango determinado. Para el primer control se disminuye 7,26% y para el segundo 12,5%, con esto el personal de mantenimiento puede realizar otras labores dentro de la planta.
- Se evitó paros de producción con el diseño del procedimiento de seguridad para la refrigeración y lubricación de los sellos mecánicos, con un relé supervisor de voltaje trifásico, lo que permite determinar cuándo se produce una pérdida de fase en la alimentación de energía del tablero, evitando que los sellos mecánicos sufran daños y las bombas de circulación y ultrafiltrado se vean afectadas.

- Se mejoró la supervisión y monitoreo del subproceso E-COAT, al diseñar e implementar un sistema HMI bajo los lineamientos del estándar ANSI/ISA-101.01-2015. La encuesta de usabilidad muestra que el 100% de los usuarios pudo monitorear y supervisar el subproceso, además para 66,7% está totalmente de acuerdo que se ha mejorado el manejo, identificación y reconocimiento de las alarmas del subproceso y se han reducido las fallas en el manejo de sus equipos, mientras que el 33,3% está de acuerdo en ambos puntos.

- Realizar este proyecto en los demás tableros de control de la planta para la creación de un sistema SCADA de la planta de pintura y así poder supervisar, registrar y analizar los datos de los parámetros de cada proceso de la planta.
- Capacitar al personal de mantenimiento en programación de PLC a partir de diagramas grafcet, para que en caso de que se requieran modificaciones o arreglos puedan realizarlos.
- Capacitar al personal de mantenimiento en la creación de sistemas HMI bajo la norma isa 101 y mantener la consistencia en los sistemas HMI que se implementen a futuro.

**GRACIAS
POR SU ATENCIÓN**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA