

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

## **“MEJORAMIENTO EN EL SISTEMA DE CONTROL DE MOTORES DE LA REFINERÍA DE ZINC EN CAJAMARQUILLA”**

**Trabajo de suficiencia profesional para optar al título  
profesional de:**

**Ingeniero Mecatrónico**

**Autores:**

Gianmarco Vega Cisneros  
Michell Melvin Durand Capcha

**Asesor:**

Mg. Julio Rolando Noblecilla Rosales  
<https://orcid.org/0009-0008-7801-1689>

**Lima - Perú**

**2025**




## Informe de Similitud



### 14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

#### Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

#### Marcas de integridad

##### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

### **Dedicatoria**

Dedicamos este logro a nuestros padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido la base sólida sobre la cual hemos construido nuestros caminos. El ejemplo de perseverancia y esfuerzo ha sido nuestra mayor inspiración para avanzar y superar los retos de esta etapa. Este trabajo es un reflejo del esfuerzo compartido y de los valores que nos inculcaron desde siempre.

### **Agradecimiento**

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los docentes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la universidad que, entre los años 2014 y 2019, nos guiaron con su conocimiento, dedicación y compromiso. Su labor no solo fortaleció nuestras capacidades técnicas, sino que también dejó en mí una huella imborrable de excelencia y pasión por la ingeniería. Asimismo, queremos reconocer a nuestros compañeros de esa etapa, quienes no solo fueron un soporte en el ámbito académico, sino que también se convirtieron en amigos y aliados fundamentales para superar desafíos y alcanzar objetivos comunes. A todos ellos, nuestra gratitud por contribuir significativamente a nuestra formación profesional y personal.

## Tabla de contenido

Índice de figuras .....	6
Índice de tablas .....	10
RESUMEN EJECUTIVO.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	14
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA .....	19
CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....	72
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS .....	83
ANEXOS .....	84

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Proceso productivo en la refinería de Zn .....	20
<b>Figura 2.</b> Software de diseño eléctrico y mecánico .....	22
<b>Figura 3.</b> Software de diseño mecánico 3D .....	23
<b>Figura 4.</b> Tablero de distribución de alumbrado y servicio auxiliares. ....	24
<b>Figura 5.</b> Cuadro de cargas tablero de alumbrado y servicios auxiliares .....	25
<b>Figura 6.</b> Ecuación porcentual de desbalance .....	25
<b>Figura 7.</b> Lógica cableada de encendido manual y automático .....	27
<b>Figura 8.</b> Tablero de instrumentación .....	28
<b>Figura 9.</b> Diagrama que muestra el indicador de presencia de tensión .....	29
<b>Figura 10.</b> Motor para torres de enfriamiento - ventilador .....	30
<b>Figura 11.</b> Placa de motor para torres de enfriamiento - ventilador .....	30
<b>Figura 12.</b> Características de tablero con variadores de velocidad y relé E 300	31
<b>Figura 13.</b> Selección de Variador de Velocidad .....	32
<b>Figura 14.</b> Pico de voltaje de motor sin filtro a la salida .....	34
<b>Figura 15.</b> Pico de voltaje en motor con filtro sinusoidal .....	35
<b>Figura 16.</b> Potencias disipadas para variador .....	36
<b>Figura 17.</b> Condiciones ambientales del lugar de instalación .....	36
<b>Figura 18.</b> Datos atmosféricos del sitio .....	37
<b>Figura 19.</b> Datos del gabinete eléctrico .....	37
<b>Figura 20.</b> Caudal de aire requerido en el tablero con VDF .....	38

<b>Figura 21.</b> Temperatura interna de tablero con CDF sin ventilador.....	38
<b>Figura 22.</b> Datos del arrancador suave .....	39
<b>Figura 23.</b> Ecuación de consumo de corriente en una línea trifásica.....	40
<b>Figura 24.</b> Elección de arrancador suave SMC 50 .....	41
<b>Figura 25.</b> Cuadro de potencias disipadas para arrancador suave .....	42
<b>Figura 26.</b> Temperatura interna del tablero con arrancador sin ventilador .....	43
<b>Figura 27.</b> Caudal de aire requerido en tablero con arrancador suave.....	43
<b>Figura 28.</b> Especificaciones del cable de fibra óptica .....	44
<b>Figura 29.</b> Arquitectura de Control - Sala Eléctrica Nueva 70.....	45
<b>Figura 30.</b> Arquitectura de Control - Sala Eléctrica Nueva 81 .....	46
<b>Figura 31.</b> Arquitectura de Control - Sala Eléctrica Nueva 81 .....	46
<b>Figura 32.</b> Tabla de Condiciones de arranque e Interlock de arranque .....	47
<b>Figura 33.</b> Cargas con arranque directo (E300).....	49
<b>Figura 34.</b> Cargas con arranque bypass (VDF - E300).....	50
<b>Figura 35.</b> Cargas con arranque bypass (S.S. - E300) .....	50
<b>Figura 36.</b> Equipos migrados en la nueva sala eléctrica 70.....	51
<b>Figura 37.</b> Faceplate de interlock de bombas .....	52
<b>Figura 38.</b> Cargas con arranque directo y bypass (VDF - E300) .....	52
<b>Figura 39.</b> Pruebas de resistividad de señales externas e internas.....	53
<b>Figura 40.</b> Pruebas de arranque directo E300.....	54
<b>Figura 41.</b> Pruebas de tablero bypass VDF-E300 y SS-E300 .....	54

<b>Figura 42.</b> Motores de pruebas para los CDF-E300 y SS – E300 .....	55
<b>Figura 43.</b> Seteo de parámetros E300 .....	55
<b>Figura 44.</b> Seteo de parámetros de SMC 50 .....	56
<b>Figura 45.</b> Seteo de parámetros - PF755.....	56
<b>Figura 46.</b> Integración de E300, SS y VDF al controlador de G2020.7910. ....	58
<b>Figura 47.</b> Medición de calidad de fibra óptica .....	59
<b>Figura 48.</b> Integración de E300 , SS y VDF al controlador de H2123.7910 .....	59
<b>Figura 49.</b> Integración del tablero RIO H-585. ....	60
<b>Figura 50.</b> Lógica de Control para arranque directo – Mapeo de entradas y seteo de Interlocks. ....	61
<b>Figura 51.</b> Lógica de Control para arranque directo – Seteo de Las condiciones de arranque y Control de E300.....	62
<b>Figura 52.</b> Lógica de Control para arrancador suave – Mapeo de entradas y seteo de Interlocks. ....	63
<b>Figura 53.</b> Lógica de Control para arrancador suave – Seteo de Las condiciones de arranque y Control de SMC50.....	64
<b>Figura 54.</b> Lógica de Control para arrancador con VDF – Mapeo de entradas y seteo de Interlocks. ....	65
<b>Figura 55.</b> Lógica de Control para arrancador con VDF – Seteo de Las condiciones de arranque y Control de PF755.....	66
<b>Figura 56.</b> Faceplate - P-Motor.....	67
<b>Figura 57.</b> Pantalla de ingeniería de interlock .....	68
<b>Figura 58.</b> Objeto global modificado – Trend .....	69

<b>Figura 59.</b> Display - Trend .....	69
<b>Figura 60.</b> Ruta de navegación del botón trend. ....	70
<b>Figura 61.</b> Faceplate en sistema Scada .....	71
<b>Figura 62.</b> Trend de corriente y velocidad.....	74
<b>Figura 63.</b> Display de monitoreo de estado de motor.....	74
<b>Figura 64.</b> Antiguo cubículo de arranque para torre de enfriamiento .....	745
<b>Figura 65.</b> Nuevo tablero de arranque con variador para torre de enfriamiento.....	74
<b>Figura 66.</b> Nuevo tablero de arranque con Soft starter para bomba de recirculación de torre de enfriamiento .....	74
<b>Figura 67.</b> Variador de velocidad PowerFlex 755 .....	74
<b>Figura 68.</b> Relé electrónico E300 para sistema de bypass del variador Powerflex 755 .....	74
<b>Figura 69.</b> Soft starter SMC50.....	74
<b>Figura 70.</b> Relé electrónico E300 para sistema de bypass del Soft starter SMC 50 .....	74

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Selección de contactor para encendido manual y automático .....	26
<b>Tabla 2.</b> PowerFlex 753 y 755, cable de 480V blindado/sin blindaje) .....	33

## RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto se desarrolló en la refinería de Zinc más grande de América, ubicada en Cajamarquilla, donde los sistemas de control de motores presentaban obsolescencia tecnológica, fallos recurrentes y falta de monitoreo en tiempo real. Esto afectaba procesos críticos como el de la electrolisis, en el cual se determina la pureza del Zinc. Para solucionarlo, se modernizaron los Centros de Control de Motores (MCC) mediante el diseño e implementación de tableros con variadores PowerFlex 755, arrancadores suaves SMC 50 y relés inteligentes E300, integrados mediante Ethernet/IP y fibra óptica. Se utilizaron herramientas como AutoCAD e Inventor para el diseño, PLC ControlLogix para la automatización y Scada para la supervisión remota.

Los resultados incluyeron un control más eficiente y seguro de motores, reducción de fallos, capacidad de monitoreo en tiempo real y cumplimiento de normativas internacionales (IEC 61439). Se optimizaron procesos mediante lógicas de enclavamiento y condiciones de arranque programadas en los PLCs. Las competencias aplicadas abarcaron diseño mecánico, eléctrico, programación de PLCs y configuración de redes industriales.

En conclusión, el proyecto mejoró la competitividad de la refinería, demostrando que la integración de tecnologías avanzadas, junto con un enfoque metódico, puede transformar sistemas obsoletos en infraestructuras eficientes y confiables.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la industria eléctrica y de automatización, la experiencia profesional de los ingenieros desempeña un papel fundamental en el desarrollo de los proyectos técnicamente complejos y especializados. Este documento explora las contribuciones de dos profesiones que forman parte de una empresa líder en el sector, la cual cuenta con más de 18 años de trayectoria y esta certificada bajo la norma ISO 9001:2015. Dicha organización se especializa en el diseño, fabricación y comercialización de tableros eléctricos de baja tensión, atendiendo a sectores clave como el minero, petrolero, industrial, de construcción y pesquero.

El primero de los ingenieros se incorporó en 2022 al área de Ingeniería de la unidad de tableros, donde ha desarrollado competencias en el diseño mecánico y eléctrico de tableros de automatización, transferencias automáticas y arranques con variadores de velocidad y sofstarter, así como también el diseño de redes de comunicación, lo que refleja la integración de tecnologías avanzadas en los proyectos de la empresa. Por su parte, el segundo ingeniero, especializado en automatización, se ha enfocado en la programación de controladores lógicos programables (PLC), la elaboración de diagramas P&ID y el desarrollo de filosofía de control, aspectos críticos para garantizar la eficiencia y seguridad de los procesos industriales.

La empresa en la que se desempeñan estos profesionales se distingue por su compromiso con la calidad, la innovación y la sostenibilidad. Su misión se centra en ofrecer soluciones integrales en ingeniería eléctrica y automatización,

mientras que su visión apunta a consolidarse como referente nacional e internacional en el sector, Además, su política de gestión integrada enfatiza la mejor continua, el cumplimiento normativo y la formación especializada del talento humano, factores que contribuyen a su posicionamiento competitivo.

Este documento busca analizar cómo la experiencia de estos ingenieros, en conjunto con las capacidades técnicas y organizacionales de la empresa, impulsan proyecto de alto impacto en la industria. A través de este estudio, se pretende destacar la importancia de la especialización técnica, la adaptabilidad y la gestión eficiente en un entorno industrial en constante evolución.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Tableros o cuadros eléctricos**

Conforme a la normativa IEC 61439-1 (2020) un tablero o cuadro eléctrico es la “combinación de uno o más dispositivos de protección y de conmutación junto con equipos asociados de control, medición, señalización, regulación, etc., con todos sus terminales y conexiones eléctricas internas, así como con sus soportes y envolventes estructurales” (IEC 61439-1:2020, clausula 3.1.1)

### **2.2 Tipos de tableros o cuadros eléctricos**

Existen varios tipos de tableros de acuerdo con su uso o forma de instalación, sin embargo, los más comunes y de amplia circulación son los Tableros tipo armario (autosoportados) y caja (adosados y empotrado).

#### **2.2.1 Tablero tipo armario (columna)**

Según ABB (2011) “Se utilizan para grandes equipos de distribución y control” (pág. 11). Este tipo de tableros son comúnmente conocido como gabinetes autosoportado.

#### **2.2.2 Tablero tipo caja (adosado)**

Según ABB (2011) “Destinados a su instalación en un plano vertical (pared), sea sobresaliendo o empotrado; estos cuadros se utilizan principalmente para la distribución en departamentos o áreas en entornos industriales o del sector servicios” (pág. 11). En el mercado local los gabinetes que se instalan de manera sobresaliente se les conoce como adosados.

## **2.3 Características eléctricas de un cuadro**

### **2.3.1 Tensión eléctrica**

Es la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos y se mide en voltios. Según Floyd (2007) “El voltaje es la energía potencial de la carga eléctrica requerida para que el circuito trabaje” (pág. 17).

### **2.3.2 Corriente eléctrica**

Es el movimiento o flujo constante de cargas eléctricas a través de un material conductor. Según Floyd (2007) “La corriente es el movimiento de electrones que tiene lugar a través del circuito” (pág.17).

### **2.3.3 Corriente alterna**

Es un tipo de corriente eléctrica en el cual el flujo de electrones cambia de dirección de forma cíclica y periódica. Según Hermosa (1999) “Se caracteriza porque su sentido de circulación va cambiando periódicamente, debido a que su polaridad se va alternando continuamente; de ahí su denominación. Es una corriente bidireccional.” (pág. 119).

### **2.3.4 Corriente continua**

Es un tipo de corriente eléctrica en el cual el flujo de electrones no cambia de dirección y mantiene un flujo constante desde el polo negativo al polo positivo. Según Hermosa (1999) “La corriente continua se caracteriza por que su sentido de circulación no varía; es una corriente unidireccional” (pág. 119).

### **2.3.5 Sobretensiones**

Es el aumento temporal del voltaje eléctrico, superando la tensión nominal establecida. Según Alcalde (2014) “Una sobre tensión es una elevación de la tensión nominal de la instalación, que suele tener muy corta duración, pero que

puede producir un gran daño en los elementos de la instalación eléctrica” (pág. 386).

## **2.4 Variadores de velocidad.**

Según Solbes (2013) “Los variadores de velocidad son convertidores encargados de modular la energía que recibe un motor. Se trata de dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y otros parámetros de funcionamiento de los motores, actuando sobre la frecuencia y la tensión.” (pág.184).

## **2.5 Arrancadores suaves (Soft Starter).**

Los arrancadores suaves o arrancadores electrónicos son dispositivos formados por semiconductores que permiten el arranque suave de los motores. Su funcionamiento esta basado en el control de la tensión del motor mediante corte de fases. Cuenta con tiristores de conmutación que permite que el equipo pueda trabajar con elevados pares de arranque y frecuentes operaciones de arranque y parada. (Solbes, 2013).

## **2.6 Protocolos de comunicación.**

Según Tanenbaum y Wetherall (2012) “Un protocolo es un conjunto de reglas que rigen el formato y el significado de los paquetes o mensajes que intercambian las entidades iguales en una capa” (pág. 34).

### **2.6.1 Ethernet/IP**

Según la ODVA(s.f) “EtherNet/IP es la mejor red de comunicaciones Ethernet de su clase que proporciona a los usuarios las herramientas para implementar la tecnología Ethernet estándar (IEEE 802.3 combinada con TCP/IP suite) en aplicaciones de automatización industrial,

al tiempo que permite la conectividad a internet y empresarial... datos en cualquier momento y en cualquier lugar” (pág. 1).

### **2.7 Centro de Control de Motores (MCC).**

Un Centro de control de motores (CCM) o de sus siglas en inglés MCC (Motor Control Center) es un tablero encargado de controlar específicamente uno o varios motores. Según Enríquez (2012) “Un centro de control de motores (CCM) es esencialmente un tablero, que se usa en primer término para montar los componentes del alimentador de los motores y de sus circuitos derivados” (pág. 167).

### **2.8 Controlador Lógico Programable (PLC).**

Según Roldán (2024) “Los controladores lógicos programables o PLC son dispositivos informáticos electrónicos muy usados en automatización industrial y se utilizan para gestionar el funcionamiento de máquinas y procesos industriales.” (pág. 154).

Cuando se inició a desarrollar el proyecto de actualización de MCC, la refinería solicitó el cambio de los antiguos tableros, por unos con tecnología más moderna, entre ellas el uso de protocolos de comunicaciones más sofisticados como lo es el Ethernet/IP, y como lo aclara la ODVA, es la mejor red de comunicaciones de su clase (ODVA, s.f.); por lo que este protocolo nos permite una mayor flexibilidad en las topologías, permitiendo el uso de redes anillo, lineal y estrella; así mismo la facilidad de implementación y alta velocidad de transferencia son otros de los puntos que hacen al Ethernet/IP un protocolo muy deseado.

Los variadores de velocidad PowerFlex 700 que estaban instalados en el antiguo MCC, y que son convertidores encargados de modular la energía que recibe un motor (Solbes, 2013) también se encontraban en desfase tecnológico, de igual modo que los arrancadores suaves SMC Flex, que son dispositivos formados por semiconductores que permiten el arranque suave de los motores (Solbes, 2013), ambos equipos fueron sustituidos por el Powerflex 755 y el SMC50 respectivamente.

Estos cambios efectuados en el equipamiento ayudaron a que la integración con los PLC ControlLogix, que son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial y ayudan a gestionar el funcionamiento de máquinas y procesos industriales (Roldan, 2013), sea más eficiente ya que al contar con equipamiento moderno tanto en variadores como Soft starter, la compatibilidad y configuración es más intuitiva y rápida.

### **CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

Yo Gianmarco Vega Cisneros ingresé a la empresa el 02 de febrero del año 2022, fui asignado al área de Ingeniería de la Unidad de Tableros. Las funciones que realizo son el diseño mecánico y eléctrico de tableros de Automatización y Control (TAC), Transferencias Automática (TTA), Arranques con Variadores de velocidad y soft starter (Arrancadores Suaves); estos tipos de tableros también requieren en muchos casos de una arquitectura de red, por lo que otra parte de mis funciones es la ingeniería de detalle, en el cual entre otras cosas se encuentra el diseño de la red de comunicación.

Yo Michell Melvin Durand Capcha ingresé a la empresa el 03 de agosto del 2022 al área de Ingeniería en Automatización, desempeñándome como Ingeniero Junior de Automatización cuyas funciones era desarrollar la Ingeniería de básica y de detalle de diversos proyectos, tales como la programación de controladores (PLC) de diversas marcas, diseño y actualización de diagramas P&ID y el desarrollo y actualización de la filosofía de control.

Desde nuestro ingreso a la empresa ambos participamos de diversos proyectos donde las áreas de Ingeniería y Automatización han tenido participación en conjunto, el proyecto más importante donde nosotros tuvimos participación fue cuando la refinería de Zinc más grande de América, ubicada en Chosica, Cajamarquilla, estaba buscando mejorar su posición competitiva en la industria del Zinc, por lo que decidió actualizar los MCC's (Centro de Control de Motores) del área 70 (Electrometalurgia) debido a que el control de los motores era a través de arranques directos, delta-estrella, y por antigüedad de estos sistemas sumado con la obsolescencia tecnología, presentaban constantes fallos, además no era posible

obtener datos esencial del motor, como lo son la corriente, tensión, velocidad, estado de motor (Arranque, Parada, Fallo, causas de disparo), historial de eventos, etc.

Esta refinería cuenta con 7 procesos, este inicia con la obtención del concentrado de Zinc procedente de diferentes empresas mineras. Este concentrado pasa a ser tratado en los tostadores y con ello se puede producir el óxido de Zinc, este oxido es llevado a un proceso de Lixiviación. Posterior al proceso de Lixiviación el material resultante se purifica con el objetivo de eliminar metales como Cobre, cadmio, cobalto y níquel de la solución.

Una vez purificado el material, ingresa al área de electrometalurgia donde se producen las láminas de Zinc que serán llevadas al área de fusión y moldeo donde los hornos son calentados a una temperatura de 490°C y 520°C para convertirlas en barras Zinc y puedan ser distribuidas en el mercado nacional e internacional.

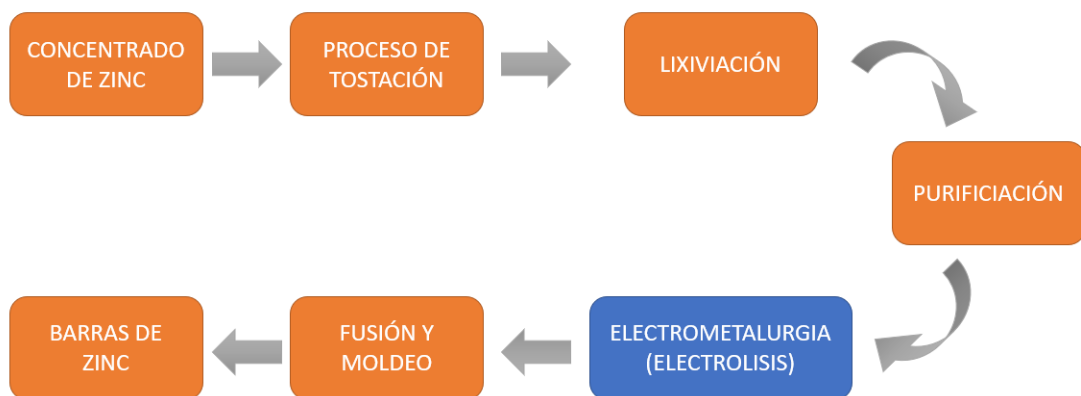


Figura 1. *Proceso productivo en la refinería de Zn*

Como se puede apreciar en la figura anterior, el área de electrometalurgia es uno de los procesos más importantes de la refinería, debido a que ella se encuentra el proceso de electrolisis el cual separa el Zinc del SPENT (residuos inservibles), y

es en este proceso se determina la pureza del Zinc. Por ello, para el proyecto se opta por la actualización tecnológica de los tableros de arranque suave de motores, los que se encargan de controlar las bombas de recirculación que transportan el SPENT hacia la torre de enfriamiento comandado por variadores de frecuencia.

Por lo indicado, los objetivos planteados fueron el diseño, fabricación, de tableros de arranque con variadores de frecuencia y arrancadores suaves, así como también migración de señales de control, implementación de redes de comunicación y optimización de procesos mediante PLC, además de ello también se suministraron tableros de distribución de Alumbrado y servicios auxiliares para instrumentación.

Todos los Gabinetes con arrancadores (Variadores y Soft starter) manejan el protocolo de comunicación Ethernet/IP, debido a que la refinería tiene como estándar el uso del mencionado protocolo de comunicación en toda la planta, el cual permite a los variadores de velocidad y arrancadores suaves que puedan tener un comando de arranque y parada desde el sistema scada ubicado en la nueva sala de control, así como observar tendencias que permitan determinar alarmas, fallas y estado de funcionamiento online,

Con esta solución el cliente (Refinería de Zinc) planea mejorar su posición competitiva en el mercado de Zinc, y además de ello los nuevos MCC's cumplirán con las normativas internacionales de diseño y construcción.

### **3.1 Diseño de Tableros Eléctricos**

Para el inicio del diseño de los tableros eléctricos, se parte por la información brindada por el cliente, esta información sirve para poder determinar el tipo de tablero a diseñar, ya sea un tablero adosado, empotrado o autosportado, además conoceremos que función cumplirá el tablero, puede ser para distribución,

arranque de motores, transferencia automática o controlar procesos.

El lugar de instalación y el espacio disponible en el sitio también es un factor importante a tener en consideración, ya que este puede ser una limitante a la hora del diseño.

El software de diseño empleado en el proyecto para los planos eléctricos y mecánicos en 2D es Autodesk AutoCAD, usado ampliamente para realizar diseños en 2D y 3D, se emplea en arquitectura, Ingeniería, Construcción y diseño industrial por su precisión y diversidad de herramientas.

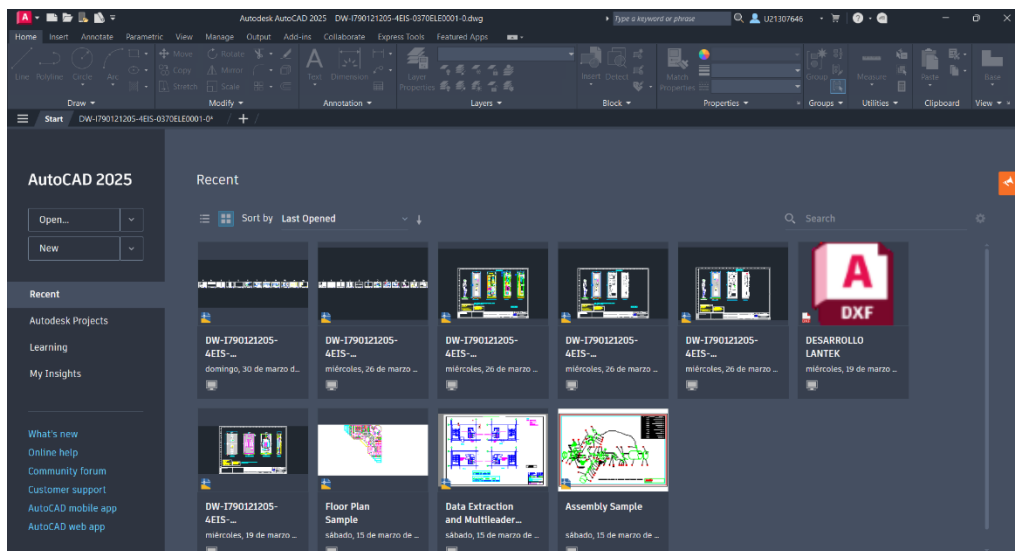


Figura 2. Software de diseño eléctrico y mecánico

Para el diseño en 3D de los planos mecánicos se ha empleado Autodesk Inventor, el cual se muestra en la figura 3, usado para modelar piezas en 3D con dimensiones y restricciones editables, el cual permite realizar simulación y análisis de esfuerzos. Es ampliamente usado en Ingeniería mecánica, diseño de maquinarias y automatización industrial. En este caso sirvió para diseñar los tableros de distribución, variadores de velocidad y Soft Starter, ya que, debido a la cantidad de equipos y las dimensiones de los componentes, se requiere de una mejor presión y

detalle de los tableros.

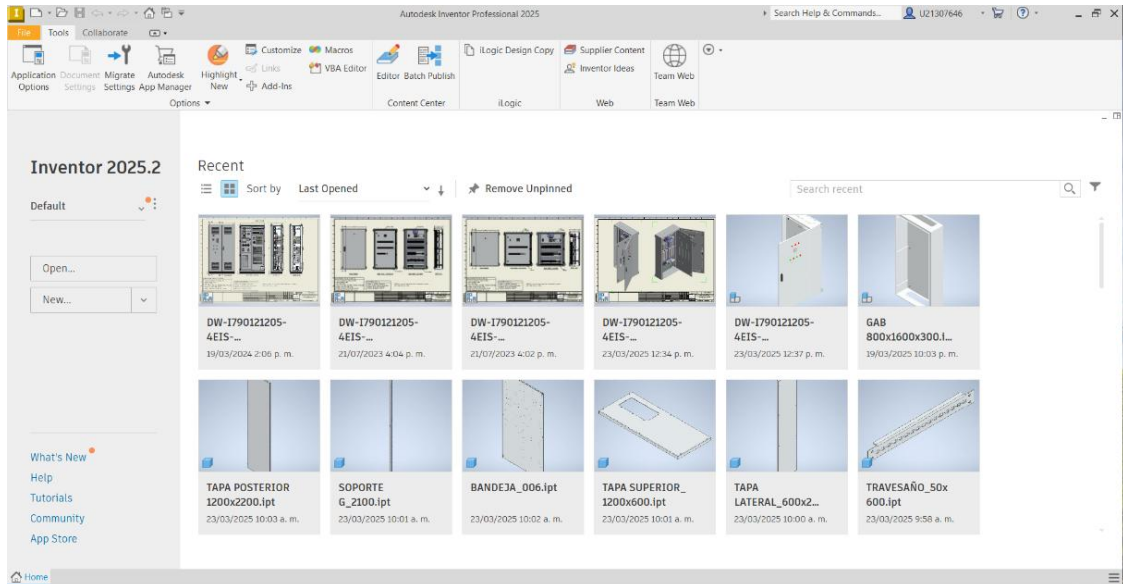


Figura 3. Software de diseño mecánico 3D

### 3.1.1. Tablero de distribución de alumbrado y servicio auxiliares.

El tablero de distribución de alumbrado y servicios auxiliares se emplea para distribuir energía eléctrica a los tomacorrientes, alumbrados interiores, aire acondicionado, y módulos deshumecedores, también tiene un circuito de control para operar de forma manual o automática las luminarias en los pasillos y escaleras de la sala eléctrica de la sección 81.

El lugar de instalación del tablero de alumbrado es en el área de fusión y moldeo de la sección 81, y el espacio disponible en el lugar es de 1.0m de ancho y 1.5m de altura, por lo cual este tablero es un gabinete adosado en pared.

La información ofrecía por el cliente respecto a las características que debe contar el tablero se muestra en la figura 4.

<b>TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN</b>	
Tensión Nominal	230Vac
Tensión de Aislamiento	1000V
Capacidad	25 KA
Grado de protección	IP42
Tipo de Montaje	Adosado
Acabado - Color de terminación	Al Horno, RAL 7035
Señalización	Lámparas de señalización por fase
Interruptores	Serán del tipo Caja Moldeada marca Schneider Electric.
Control de Alumbrado	Manual - Automático
Interruptor Diferencial	De 30mA Schneider Electric
Contactores	Clase AC-1 Schneider Electric
Borneras	Para riel Phoenix Contact.
<b>ANALIZADOR DE REDES</b>	
Marca	Schneider Electric
Tensión de Alimentación	230V
Corriente nominal de Entrada	5A
Protocolo de Comunicación	Ethernet IP.
Puertos de Comunicación	RS232/RS485
Display	Si

**Figura 4.** *Tablero de distribución de alumbrado y servicio auxiliares.*

Con la información enviada por el cliente con respecto al consumo de los equipos finales, se elaboró el cuadro de cargas para obtener una correcta distribución de corriente y que el desbalance no exceda los 5%.

CUADRO DE CARGAS TABLERO DE ALUMBRADO E ILUMINACION								
ITM	Pot(kW)	Cos	V	FD	R	S	T	CARGA
Q1	1.5	0.8	230	1	4.71	4.71	4.71	TOMACORRIENTES G2037.6750
Q2	1.5	0.8	230	1	4.71	4.71	4.71	TOMACORRIENTES G2038.6750
Q3	-	-	-	1	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q4	-	-	-	1	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q5	0.67	0.8	230	1	3.64	3.64	-	ALUMBRADO INTERIOR LADO A Y SALA DE CONTROL
Q6	0.45	0.8	230	1	2.45	2.45	-	ALUMBRADO INTERIOR LADO B
Q7	0.28	0.8	230	1	1.52	-	1.52	ALUMBRADO DE EMERGENCIA Y SEÑALIZACION INTERIOR DE SALA ELECTRICA AREA 70
Q8	0.68	0.8	230	1	3.70	-	3.70	ALUMBRADO EXTERIOR DE PASILLO Y ESCALERA DE ACCESO A LA SALA ELECTRICA ÁREA 70
Q9	0.29	0.8	230	1	-	1.58	1.58	ALUMBRADO EXTERIOR PASARELA DE ACCESO AL ÁREA 70
Q10	-	-	-	1	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q11	0.364	0.8	230	1	1.98	1.98	-	SECADORA DE AIRE COMPRIMIDO
Q12	0.9	0.8	230	1	4.89	4.89	-	MODULO DESHUMEDECEDORES E ILUMINACION DE MCC G2030.6925
Q13	0.9	0.8	230	1	4.89	-	4.89	MODULO DESHUMEDECEDORES E ILUMINACION DE MCC G2031.6925
Q14	0.9	0.8	230	1	4.89	-	4.89	AIRE ACONDICIONADO MURAL DE UPS
Q15	2.1	0.8	230	1	-	11.41	11.41	CIRCUITO DE TOMAS DE CORRIENTE AREA 70
Q16	-	-	-	-	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q17	-	-	-	-	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q18	-	-	-	-	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q19	-	-	-	-	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q20	-	-	-	-	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q21	-	-	-	-	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q22	-	-	-	-	-	-	-	RESERVA EQUIPADA
Q23	0.1	0.8	230	1	0.54	0.54	-	ALIMENTACION DE CONTROL
Q24	0.1	0.8	230	1	0.54	0.54	-	ALIMENTACION DE CONTROL
					38.457	35.36	37.40	

PROMEDIO CORRIENTE	37.073
--------------------	--------

DESBALANCE %	3.75
--------------	------

Figura 5. Cuadro de cargas tablero de alumbrado y servicios auxiliares

En la figura 5, se muestra que el promedio de corriente de consumo es de 37.07A, y que el mayor consumo con 38.46 A se tiene en la fase R. A continuación, se muestra la fórmula porcentual de desbalance.

$$\%Desbalance = \left( \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} \right) \times 100$$

Figura 6. Ecuación porcentual de desbalance

En la figura 6, se muestra la ecuación del desbalance donde I max es la corriente de la fase con mayor carga en unidad de Amperes y I Prom representa a la corriente promedio de las tres fases en unidad de Amperes.

Los datos obtenidos en la tabla de la figura 5 son reemplazados en la ecuación mostrado anteriormente y se obtiene el siguiente cálculo:

$$\%Desbalance = \left( \frac{38.46 - 37.07}{37.07} \right) \times 100$$

$$\%Desbalance = 3.75$$

Siendo el desbalance menor al 5% se procede con el diseño de los planos

eléctricos y mecánicos teniendo en cuenta el correcto desbalance de cargas.

Para el diseño eléctrico del alumbrado en pasillo y escalera de acceso a la sala eléctrica, se toma en cuenta que el consumo de las luminarias no será superior a los 16A, la alimentación del circuito de control es de 230Vac, y las luminarias al ser cargas resistivas, el contactor deberá de ser categoría AC-1.

**Tabla 1.** Selección de contactor para encendido manual y automático

Referencia para pedido	Modelo	Cont. Aux		Corriente (A)	
		NA	NC	AC3	AC1
1SBL137001R1301	AF09-30-01-13	0	1	9	25
1SBL137001R1310	AF09-30-10-13	1	0	9	25
1SBL157001R1301	AF12-30-01-13	0	1	12	28
1SBL157001R1310	AF12-30-10-13	1	0	12	28
1SBL177001R1301	AF16-30-01-13	0	1	18	30
1SBL177001R1310	AF16-30-10-13	1	0	18	30

*Nota.* De “Catalogo comercial, productos para distribución de energía y automatización”, por ABB, 2023.

La tabla 1 es proporcionada por el fabricante ABB en el que se muestran los modelos y categorías en función de la corriente de consumo.

El contactor adecuado según el catálogo del fabricante es el AF09-30-01, este contactor es de la Marca ABB.



### 3.1.2. Tablero de distribución de instrumentación.

Este tablero de instrumentación proporciona energía eléctrica a los gabinetes de comunicación de CCTV, a los paneles de control de detección y alarmas contra incendios, y a las fuentes de alimentación al switch distribuidor de información mediante Ethernet.

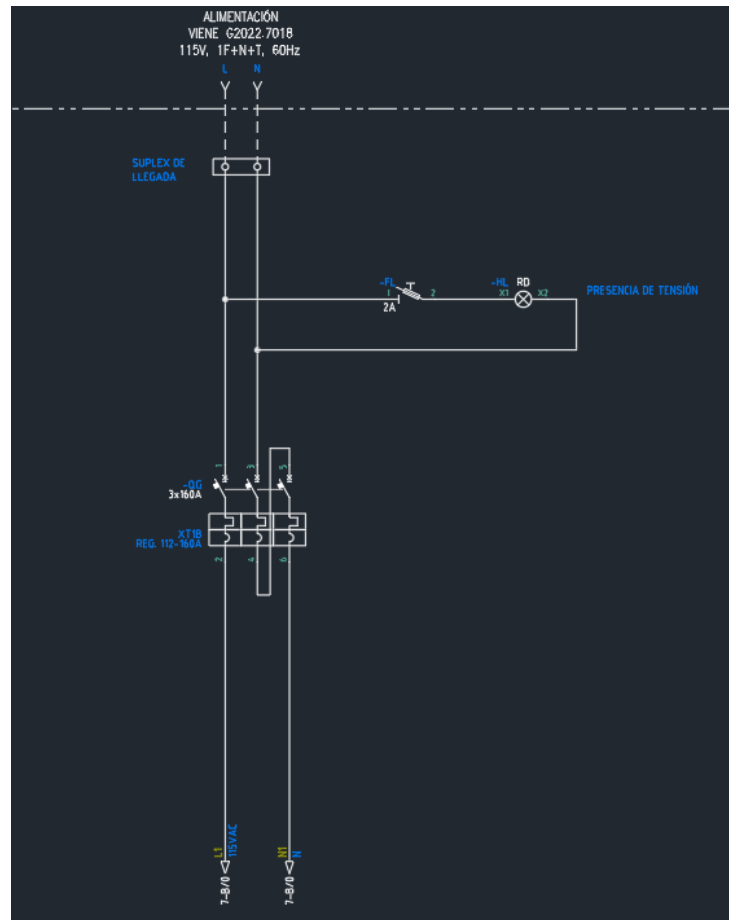
Este gabinete es instalado en la sección 70 en el área de electrólisis, el espacio disponible de 0.8m de ancho y 1.2m de altura, por lo que también es instalado en pared y será un gabinete adosado.

La información brindada para el diseño este tablero es la siguiente:

<b>TABLERO DISTRIBUCIÓN INSTRUMENTACIÓN</b>	
Tensión Nominal	120Vac
Fases	Fase-Neutro-Tierra
Capacidad	10 KA
Grado de protección	IP54 / NEMA 12
Tipo de Montaje	Montaje en pared
Acabado - Color de terminación	Al Horno, RAL 7035
Interruptores	Tipo termomagnético Schneider Electric.
Borneras	Para riel Phoenix Contact.
Normas de Diseño, Fabricación y Pruebas	UL,CSA

**Figura 8.** *Tablero de instrumentación*

Al ser un tablero monofásico para alimentar equipos de control no requiere de cálculos de desbalance de fases o algún tipo de control, por lo que solo se implementó un piloto de presencia de tensión el cual nos indica que el tablero esta energizado o si los cables de alimentación del tablero contienen tensión de línea.



**Figura 9.** Diagrama que muestra el indicador de presencia de tensión

### 3.1.3. Tablero de arranque con Variador de frecuencia.

Los tableros con variadores de velocidad controlaran a los motores ubicados en las torres de enfriamiento, estos motores están a una distancia de 285m de la ubicación donde será instalado el tablero con variadores, el cual estará ubicado en las nuevas salas eléctricas de la sección 70 y 81, el cliente (refinería de Zinc) tiene como estándar el uso de variadores de la marca Allen Bradley en los modelos Power Flex 755, por lo que estos variadores son los elegidos para controlar el arranque y paro, así como regular los motores de los ventiladores, además sabemos que los motores a controlar tiene una tensión de aislamiento de 1000Vac, con una tensión de trabajo de 460Vac y son de 30kW.



Adicionalmente a estos datos el cliente proporciona las siguientes características para el diseño:

<b>TABLERO VARIADOR DE FRECUENCIA</b>	
Modelo	PowerFlex 755
Tipo de Inversor	PWM con IGBT's
Tensión Nominal	460Vac
Fases	3
Tensión de Aislamiento	1000Vac
Frecuencia	60 Hz
Capacidad	65 KA
Seccionador Fusible	Ultra Rápido
Interruptores	Tipo termomagnético Schneider Electric.
Contactador By-Pass	Requerido
Relé de Protección	E300
Tensión de Control	115Vac
Módulo de Interface (HMI)	Requerido
Comunicación	Ethernet IP
Grado de protección	IP54 / NEMA 12
Lámparas de Señalización	Requerido
Selector	3 Posiciones (Local, 0, Remoto).
Tipo de Montaje	Autosoportado
Acabado - Color de terminación	Al Horno, RAL 7035
Borneras	Para riel Phoenix Contact.

**Figura 12.** Características de tablero con variadores de velocidad y relé E 300

Para la elección del variador de velocidad nos apoyamos del configurador de equipos online de Rockwell Automation, la tensión de servicio de los motores es de 440Vac y el cliente desea aumentar la potencia de las torres de enfriamiento en un futuro por lo que el variador elegido es de 60HP cuyo código part number es el siguiente “20G11ND077AA0NNNNN”.

BASE DRIVE INFORMATION	
Bulletin Number	PowerFlex 755 AC Drive, with Embedded Ethernet/IP >
Corrosive Gas Protection and Cooling Type	Standard Protection, Forced Air >
Voltage Class	480 VAC, 3 PH >
Output Current	77 Amps, 60HP ND, 50HP HD >
Enclosure Type	<p>Open Type &gt;</p> <p>IP00, IP20, and NEMA/UL Open Type PowerFlex Series drives must be mounted in a clean, dry location. Contaminants such as oils, corrosive vapors, and abrasive debris must be kept out of the enclosure. These enclosures are intended for indoor use primarily to provide a degree of protection against contact with enclosed equipment. These enclosures offer no protection against airborne contaminants.</p> <p>Type 1 kits are available under mechanical accessories below.</p>
Input Type	<p>AC Input with DC Terminals &gt;</p> <p>AC Input with Precharge, includes DC Terminals</p>
Frame Size	Frame 5 >
EMC Filtering Options	<p>Filtered, CM jumper installed (preferred) &gt;</p> <p>PE-A and PE-B jumpers installed.</p> <p>For power distribution that is not solidly grounded, PE-A and PE-B jumpers should be removed.</p> <p>For additional guidance please reference the 750-IN001 manual</p>

**Figura 13. Selección de Variador de Velocidad**

El fabricante de los variadores PowerFlex tiene establecido la distancia máxima permitida entre el motor y el variador, estas distancias dependen del tipo de aislamiento del motor a emplear, en nuestro el motor posee una tensión de aislamiento de 1000Vac, así mismo el equipo tiene un Frame 5 y la frecuencia de la portadora, por estándar es de 2kHz.

**Tabla 2.** PowerFlex 753 y 755, cable de 480V blindado/sin blindaje).

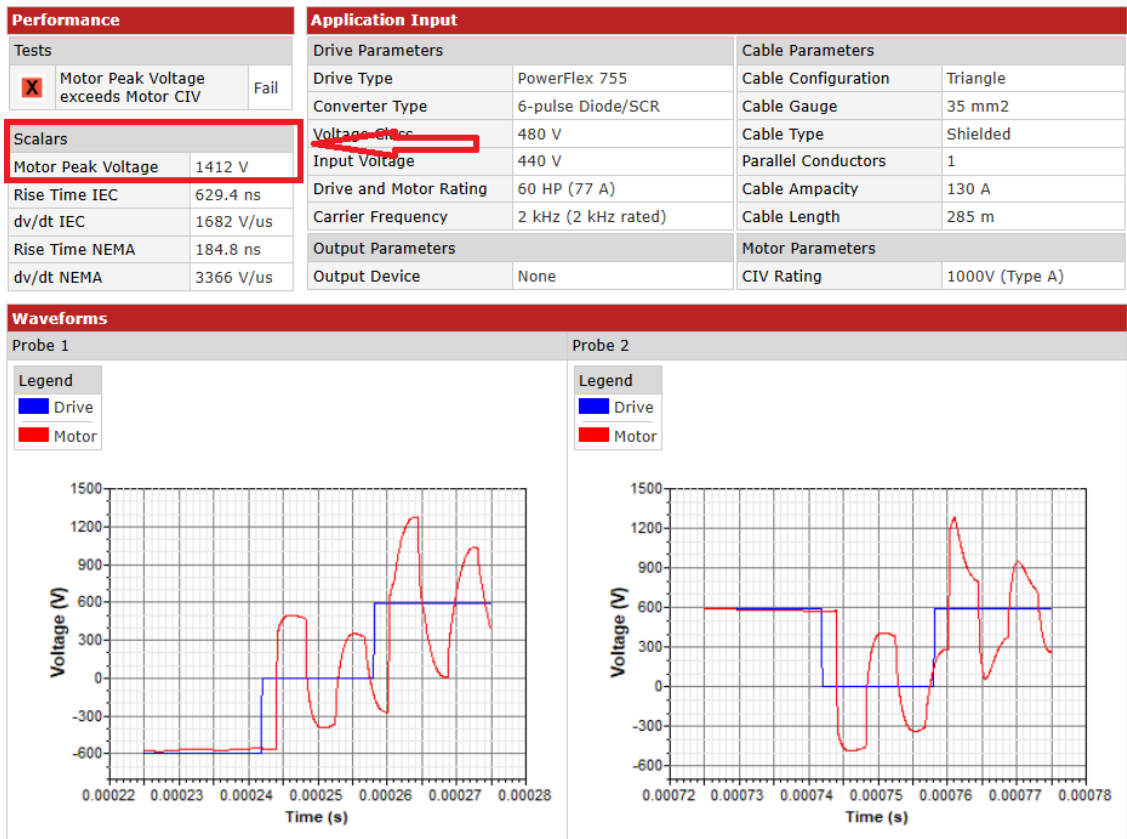
Clasificación		Ninguna Solución			
HP	kHz	1000V	1200V	1488V	1600V
50	2	12.2 (40)	18.3 (60)	137.2 (450)	182.9 (600)
	4	7.6 (25)	12.2 (40)	91.4 (300)	152.4 (500)
60	2	12.2 (40)	18.3 (60)	137.2 (450)	182.9 (600)
	4	7.6 (25)	12.2 (40)	91.4 (300)	152.4 (500)
75	2	12.2 (40)	18.3 (60)	137.2 (450)	182.9 (600)
	4	7.6 (25)	12.2 (40)	91.4 (300)	152.4 (500)

*Nota.* De “Instrucciones de instalación, pautas de cableado y conexionado a tierra para variadores de CA con modulación de impulsos en anchura (PWM)”, por Allen Bradley, 2010.

Según la tabla 2, podemos conocer que el Variador de 60HP asociado a un motor de tensión de aislamiento de 1000V y con la frecuencia de 2kHz, como máximo debe existir una distancia de 12.2m, con una frecuencia de 4kHz, la distancia es de 7.6 m como máximo. Para estos casos, en donde las distancias entre el motor y el variador son bastantes largas se suelen usar Filtros dv/dt o filtros senoidales, estos equipos nos ayudan a reducir las sobretensiones generadas por la distancia de los cables, reducen la interferencia electromagnética, eliminan los ruidos en el motor y además extienden la vida útil del motor. Para poder seleccionar estos equipos nos apoyamos del software online “Reflected Wave”, este

configurador nos ayudará a conocer la tensión pico que existirá en el motor cuando realizamos el uso o no de los filtros. Cabe mencionar que el cable para realizar el conexionado del motor en un cable apantallado con protección XLPE de 3C#35mm<sup>2</sup>+3T.

Primero realizamos la simulación para ver el voltaje pico que existiría en el motor cuando no hacemos uso de ningún filtro.



**Figura 14.** Pico de voltaje de motor sin filtro a la salida

Como se puede apreciar en la figura 16, existiría un voltaje de pico en el motor de 1412V, lo cual excede los 1000V de aislamiento que cuenta el motor, esto nos muestra que el variador debe tener obligatoriamente un filtro de salida que nos ayude a mejorar el pico de voltaje en motor.

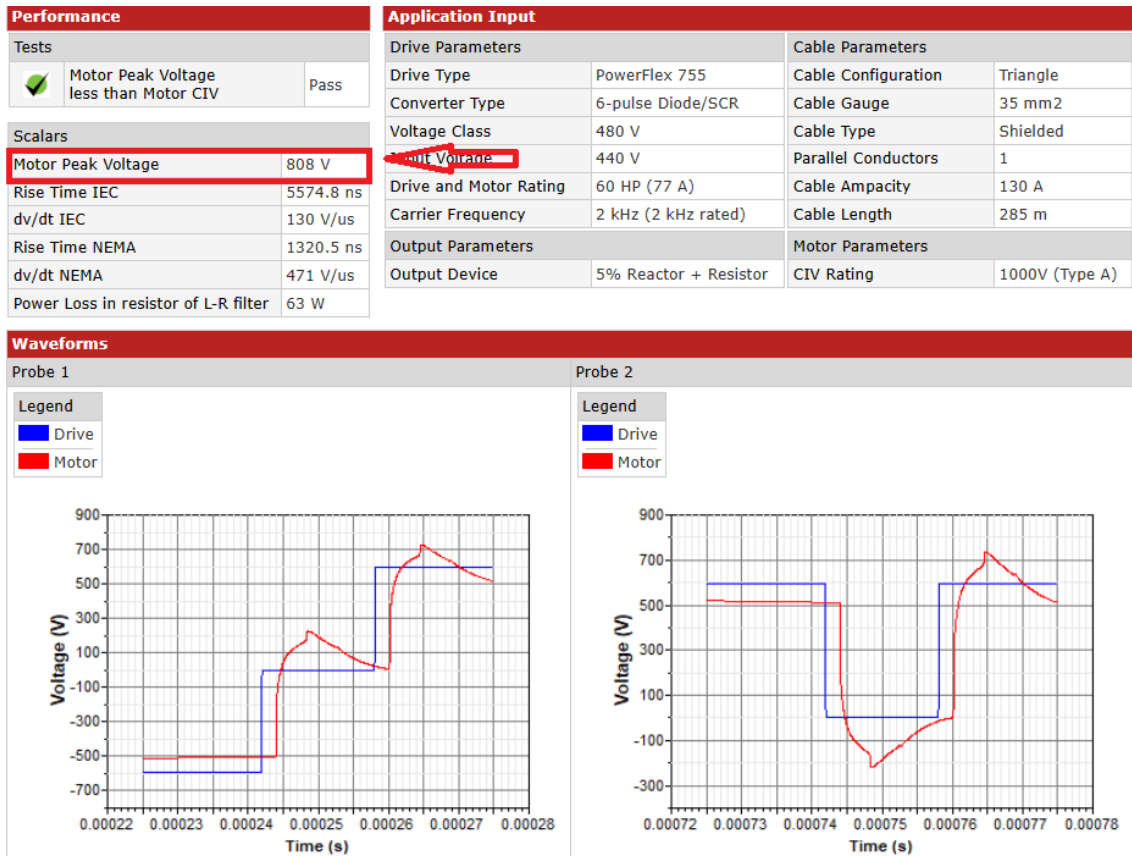


Figura 15. Pico de voltaje en motor con filtro sinusoidal

Como se puede apreciar en la figura 17, al hacer uso de filtro sinusoidales el voltaje de pico del motor se ve reducido drásticamente, llegando a 808V, esto nos indica que el motor estará trabajando en óptimas condiciones y ayuda a prolongar la vida útil del mismo.

Otro punto importante para tomar en cuenta en los tableros con variadores es la potencia disipada de los equipos internos del gabinete, esta disipación de potencia generar un aumento de temperatura que puede causar daños en los componentes electrónicos o incluso provocar avería, y para evitar esto realizamos un cuadro de potencia disipada, donde podremos saber cuánto es el total de potencia a disipar y elegir el ventilador adecuado para nuestra solución.

<b>TABLERO CON VARIADOR</b>			
<b>TAG DE EQUIPOS</b>	<b>POT. DISIPADA</b>	<b>CANT</b>	<b>TOTAL W</b>
QG (interruptor General)	16.44	1	49.32
KM1, KM2, KM3 (Contactores)	24	3	72.00
FSPD (Fusible para supresor)	1.4	1	1.40
SPD (Supresor de sobretensiones)	1	1	1.00
F1 (Fusibles ultrarapidos)	4	3	12.00
LRE1 + KIT (Reactancia de entrada)	455	1	455.00
LR2 + KIT (Filtro sinusoidal)	600	1	600.00
TC1 (Transformador de control)	6	1	6.00
QC1 (interruptore general de control)	6	1	6.00
QC1.1, QC1.2, QC1.3 (interruptores)	5.4	3	16.20
VFD1 (Variador de Frecuencia)	804	1	804.00
E300 ( rele E300)	1	1	1.00
FU1, FU2 (Fusibles de control)	1	2	2.00
KA1....KA4 (Reles de control)	1	4	4.00
<b>TOTAL</b>			<b>1623.936</b>

**Figura 16.** Potencias disipadas para variador

Sabemos que la potencia total disipada en el gabinete es de 1623.936W, y teniendo los datos de los equipos internos como el variador, los filtros y demás aparte, sabemos que la dimensión del tablero es de 1.20m de ancho, 2.30m de alto (2.20m de altura, más 0.1m de zócalo) y de 0.6m de profundidad, los datos del gabinete son cruciales para determinar el caudal de ventilador. Adicionalmente debemos de saber cuáles son las condiciones atmosféricas del lugar donde será instalado el gabinete, estos datos fueron proporcionados por nuestro cliente:

- Elevación sobre el nivel del mar : 450 m
- Humedad relativa (media de máximas) : 87 %
- Velocidad máxima del viento : 22 km/h
- Precipitación mensual máxima : 10 mm
- Temperatura : 30 °C máximo, 8 °C mínimo

**Figura 17.** Condiciones ambientales del lugar de instalación

Siendo conocidos las condiciones ambientales del lugar, dimensiones del gabinete y la potencia disipada de los equipos internos, procedemos a realizar los cálculos para elegir el ventilador adecuado, y para este caso haremos uso de la herramienta Ritherm, un software online que proporciona Rittal para realizar los cálculos de ventilación forzada y climatización.

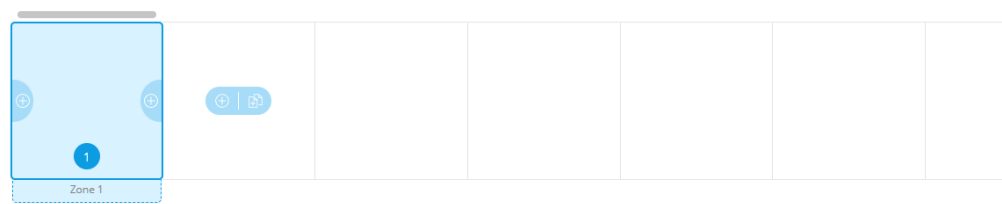
Ritherm nos solicita los datos atmosféricos del sitio, como la altura (msnm), temperatura interna deseada, temperatura exterior mínima y máxima, tensión y frecuencia de alimentación para los ventiladores. También ingresamos las dimensiones del gabinete (altura, ancho y profundidad), material del gabinete, potencia disipada, y método de instalación del tablero.

#### Propiedades de cálculo

Todos los campos son requeridos. Introduzca la temperatura objetivo dentro del armario de distribución y las temperaturas ambiente esperadas.

Nombre del cálculo Sistema de Ventilación Variadores	Altitud sobre el nivel del mar 0 a 500 m	
Temperatura interna mín. (°C) 35	Temperatura interna máx. (°C) 35	Temperatura ambiente mín. (°C) 8
Temperatura ambiente máx. (°C) 30		
Tensión [V] 115	Frecuencia [Hz] 60	

**Figura 18.** Datos atmosféricos del sitio



Vista superior

Enclosure name Gabinete 1	Protector adicional <input checked="" type="radio"/> De pie en el suelo <input type="radio"/> Techo cubierto <input type="radio"/> De pie en el suelo y cubierto el techo <input type="radio"/> Ninguno
Dimensions in mm (W x H x D) 1200.00 2200.00 600.00	Material y factor K Chapa de acero 5.5
Potencia disipada (W) 1624	Número de puertas <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2
	Búfer para potencia disipada (%) 0

**Figura 19.** Datos del gabinete eléctrico

Introduciendo los datos en la herramienta online, obtenemos el caudal requerido para mantener el gabinete correctamente ventilado, en este caso necesitamos  $944 \text{ m}^3/\text{h}$  de caudal de aire para que los equipos internos del cuadro eléctrico trabajen en óptimas condiciones. El ventilador elegido es el “SK3244110” que tiene un caudal de aire de  $770 \text{ m}^3/\text{h}$ , sin embargo, al usar rejillas de salida, este ventilador reduce el caudal a  $520 \text{ m}^3/\text{h}$ , por lo que debemos de usar 2 ventiladores “SK3244110” que sumados nos dan un caudal de  $1040 \text{ m}^3/\text{h}$ , con ello aseguramos una adecuada ventilación en nuestro gabinete. De no contar con estos ventiladores la temperatura interna del encerramiento sería de  $72^\circ\text{C}$ .

**Medidas para mantener la temperatura**

Número de artículo	SK3244110 + SK3243200 standard filter
Tipo de dispositivo	Ventilador con filtro
Rendimiento de refrigeración	$1.040 \text{ m}^3/\text{h}$
Rendimiento de ventilación, soplado libre	$770 \text{ m}^3/\text{h}$
Rendimiento de ventilación requerido	$944 \text{ m}^3/\text{h}$
Método de montaje	Montaje en pared
IP rating	54
Número	2

**Figura 20.** Caudal de aire requerido en el tablero con VDF

**Cálculo de aire acondicionado**

Temperatura media sin climatización	$72^\circ\text{C}$
Potencia disipada	$1.624 \text{ W}$
Intercambio de calor sobre la superficie	$195 \text{ W}$
Pérdida de potencia a disipar	$1.430 \text{ W}$

**Figura 21.** Temperatura interna de tablero con CDF sin ventilador

### 3.1.4. Tablero con Arrancador suave

Los tableros con arrancador suave controlaran a las bombas que se encargan del sistema de recirculación de electrolitos en el área de Electrólisis de la sección 70. Del mismo modo que los variadores de velocidad el cliente tiene como estándar el uso de Arrancadores Allen Bradley en el modelo SMC 50, adicionalmente se desea que la solución integre un relé de protección E300 para permitir que las bombas sigan operando en caso de mantenimiento de los arrancadores suaves, la potencia de las bombas es de 86kW y el espacio en lugar de instalación es de 0.8m de ancho y una altura de 2.5m, debido a los equipos internos de este tablero, se opta por un gabinete autosoportado. Así mismo, se desea tener un control local mediante pulsadores y un control automático mediante comunicación Ethernet/IP. Adicionalmente a estos datos el cliente proporciona las siguientes características para el diseño:

TABLERO PARTIDOR SUAVE	
Modelo	SMC50
Tecnología	Estado Sólido
Tensión Nominal	460Vac
Fases	3
Tensión de Aislamiento	1000Vac
Frecuencia	60 Hz
Capacidad	65 KA
Seccionador Fusible	Ultra Rápido
Interruptores	Tipo termomagnético Schneider Electric.
Contactador By-Pass	Requerido
Relé de Protección	E300
Tensión de Control	115Vac
Módulo de Interface (HMI)	Requerido
Comunicación	Ethernet IP
Grado de protección	IP54 / NEMA 12
Lámparas de Señalización	Requerido
Selector	3 Posiciones (Local, 0, Remoto).
Tipo de Montaje	Autosoportado
Acabado - Color de terminación	Al Horno, RAL 7035
Borneras	Para riel Phoenix Contact.

Figura 22. Datos del arrancador suave

Para la elección de los Arrancadores suaves, también hicimos uso de configurador online de Rockwell Automation, sabemos que la potencia de las bombas oscila entre 86kW y 93kW, por lo que el Soft Starter debe poder manejar ambas potencias, para ellos realizamos el cálculo de corriente de consumo para ambos casos.

La fórmula para calcular la corriente de consumo está dada por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{V_L \cdot \sqrt{3} \cdot n \cdot FP}$$

**Figura 23.** Ecuación de consumo de corriente en una línea trifásica

Donde:

I: Corriente de consumo en A.

P: Potencia del motor en W

$V_L$ : Voltaje de línea en V.

$n$ : Eficiencia de la bomba o motor.

FP: Factor de potencia de la bomba o motor.

Reemplazamos los datos considerando un factor de potencia de 0.8 y una eficiencia de 0.9, de igual modo sabemos que el voltaje de línea es de 460Vac.

Para la bomba de 86kW:

$$I = \frac{86000}{460 \times \sqrt{3} \times 0.9 \times 0.8}$$

$$I = 149.92A$$

Para la bomba de 93kW:

$$I = \frac{93000}{460 \times \sqrt{3} \times 0.9 \times 0.8}$$

$$I = 162.12A$$

El consumo de corriente de la bomba estará entre 149.92A y 162.12A, por lo que elegimos el “150-S201NBD”, este arrancador suave nos permite manejar una corriente de 67A hasta 201A, así mismo la tensión de alimentación es hasta 480Vac siendo nuestro suministro de tensión de 460Vac.

APPLICATION DATA	
Voltage	480V 60Hz >
Connection Type	Line-Connected Controller >
Motor Current Range (A)	67...201 >
CONTROLLER DATA	
Controller Ratings	201 A > 201 A Line-connected, 348 A Delta-connected
Enclosure Type	Open >
Input Line Voltage	200...480V AC, 3-Phase, 50 and 60 Hz >
Control Module Power Voltage	100...240V AC (two 24V DC inputs and two relay outputs standard) >

**Figura 24.** Elección de arrancador suave SMC 50

También realizaremos el cálculo de potencia disipada para ver si el gabinete requiere o no de ventilación forzada. Por ello elaboramos nuestro cuadro de potencias disipadas considerando todos los equipos ubicados dentro del tablero, el cual se muestra en la figura 27.

TABLERO CON SOFTSTARTER			
TAG DE EQUIPOS	POT. DISIPADA	CANT	TOTAL W
QG (interruptor General)	16.44	1	49.32
KM1, KM2, KM3 (Contactores)	24	3	72.00
FSPD (Fusible para supresor)	1.4	1	1.40
SPD (Supresor de sobretensiones)	1	1	1.00
F1 (Fusibles ultrarapidos)	1.4	1	1.40
TC1 (Transformador de control)	40	1	40.00
QC1 (interruptore general de control)	6	1	6.00
QC1.1, QC1.2, QC1.3 (interruptores)	5.4	3	16.20
SS1 (Arrandador Suave)	365	1	365.00
E300 ( rele E300)	1	1	1.00
FU1, FU2 (Fusibles de control)	1	2	2.00
KA1....KA4 (Reles de control)	1	4	4.00
Barras de cobre	55	1	55.00
<b>TOTAL</b>			<b>491.46</b>

**Figura 25.** Cuadro de potencias disipadas para arrancador suave

La potencia total disipada en el gabinete de arrancador suave es de 491.46 W, y por la cantidad de equipos que estarán dentro del tablero sabemos que este tiene las siguientes dimensiones, 0.8 m de ancho, 2.3 m de alto (2.20 m de altura, y 0.3 m de zócalo) y de 0.6 m de profundidad. Los datos atmosféricos y la forma de instalación son los mismos aplicados al tablero con los variadores. Con todos estos datos procedemos a introducirlo al software.

El ventilador elegido es el “SK3243110” que tiene un caudal de aire de 590 m<sup>3</sup>/h, sin embargo, al usar rejillas de salida, este ventilador reduce el caudal a 460 m<sup>3</sup>//h, por lo que con el uso de un solo ventilador aseguramos una adecuada refrigeración en nuestro gabinete. De no incorporar el ventilador, la temperatura dentro del cuadro sería de 47°C.

**Cálculo de aire acondicionado**

Temperatura media sin climatización	47 °C
Potencia disipada	492 W
Intercambio de calor sobre la superficie	152 W
Pérdida de potencia a disipar	341 W

**Figura 26.** *Temperatura interna del tablero con arrancador sin ventilador*

**Medidas para mantener la temperatura**

Número de artículo	SK3243110 + SK3243200 standard filter
Tipo de dispositivo	Ventilador con filtro
Rendimiento de refrigeración	460 m <sup>3</sup> /h
Rendimiento de ventilación, soplado libre	590 m <sup>3</sup> /h
Rendimiento de ventilación requerido	225 m <sup>3</sup> /h
Método de montaje	Montaje en pared
IP rating	54
Número	1

**Figura 27.** *Caudal de aire requerido en tablero con arrancador suave.*

**3.2. Selección de fibra óptica**

Como parte de la migración de las señales de control se realizó el tendido e instalación de cables ethernet y de fibra óptica multimodo (OM4). Los cables a instalar ofrecen resistencia a ambientes industriales, y cuentan con las características de resistencia al fuego, baja emisión de humo, además la canalización se realizó utilizando bandejas metálicas y tuberías conduit RGS con revestimiento de PVC, lo que garantiza una protección adicional y robustez para el sistema de cableado.

Los cables de fibra óptica estandarizado por el cliente para las conexiones exteriores son: Datatronix FC-LTF-41-12 (FO multimodo OM4 LSZH 12 hilos con armaduras).

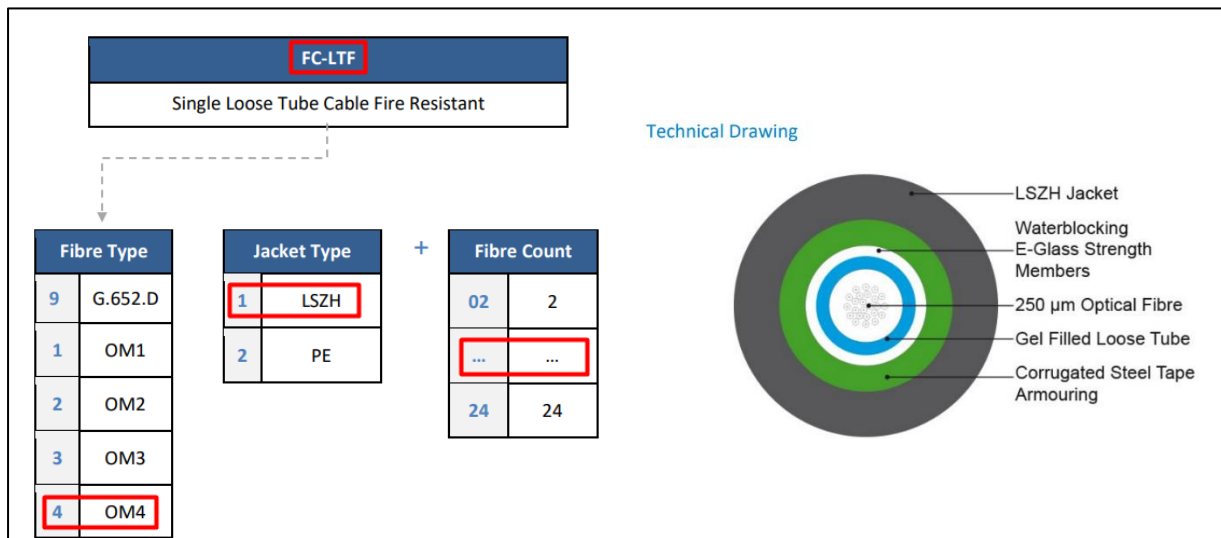


Figura 28. Especificaciones del cable de fibra óptica

Una de las tareas claves de la migración fue la coordinación con el cliente, jefes de áreas y panelistas de control. Obtenido la validación de las personas involucradas se inició la transferencia de señales al controlador, los tableros involucrados son: gabinete G2020.7910, tablero RIO (tablero de entrada y salidas remotas) G2020I1.7910, controlador PLC-01 del gabinete H2123.7910, PLC-02 del gabinete H2118.7910 y PLC-SHEPPARD del gabinete H0005.7910. Asimismo, los tableros RIOS asociados son: H2264.7910, H2250.7910, H2251.7910, H-584.7910, H0584.7015, H0585.7910 y H2263.7015, esta migración nos permite modernizar la arquitectura y mejorar el desempeño de los sistemas, además en esta etapa de la migración se desarrolló un plan para trasladar las señales de manera progresiva para minimizar las interrupciones operativas y mantener la seguridad en todo momento.

### 3.3. Implementación de redes de Comunicación

Se realizó la configuración de redes basadas en Ethernet/IP y Modbus TCP en el tablero de comunicación principal de la nueva sala eléctrica 70 (G2021.7015), con el cual se asegura la comunicación entre los gabinetes de control,

comunicación, variadores velocidad y UPS. En el área 70 el PLC ControlLogix instalado en el gabinete G2020.7910 fue diseñado para controlar múltiples equipos incluyendo los variadores de velocidad y arrancadores suaves, todos conectados mediante Ethernet/IP; así mismo mediante este controlador y el tablero de comunicación principal se estableció un enlace con el sistema scada sin interferir en la red anillo existente.

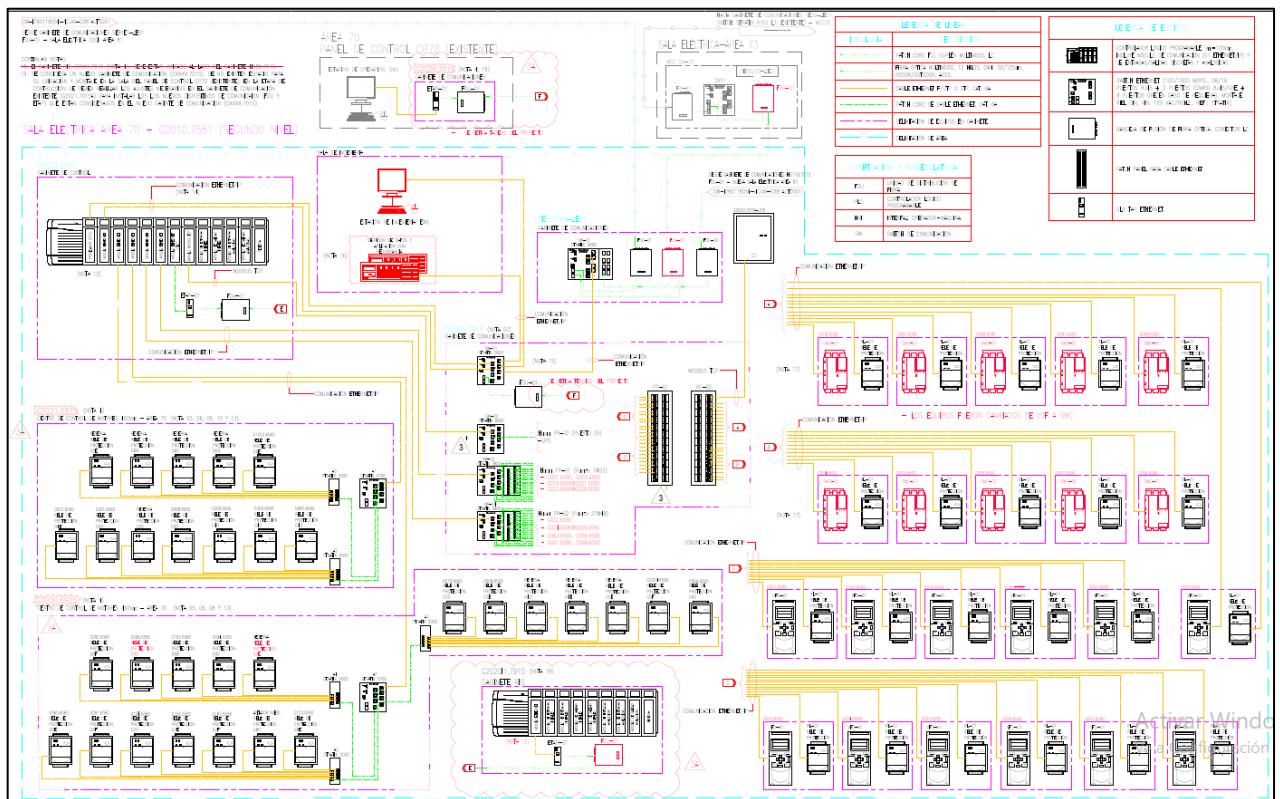


Figura 29. Arquitectura de Control - Sala Eléctrica Nueva 70

En la nueva sala eléctrica 81 se incluyó el reemplazo de los controladores H2123, H2118 y H005 por PLCs del modelo ControlLogix de la marca Allen Bradley, se estableció también una topología de red anillo asociando gabinetes RIO, módulos ETAP (ubicados en campo) y el tablero de comunicación principal H2119.715.

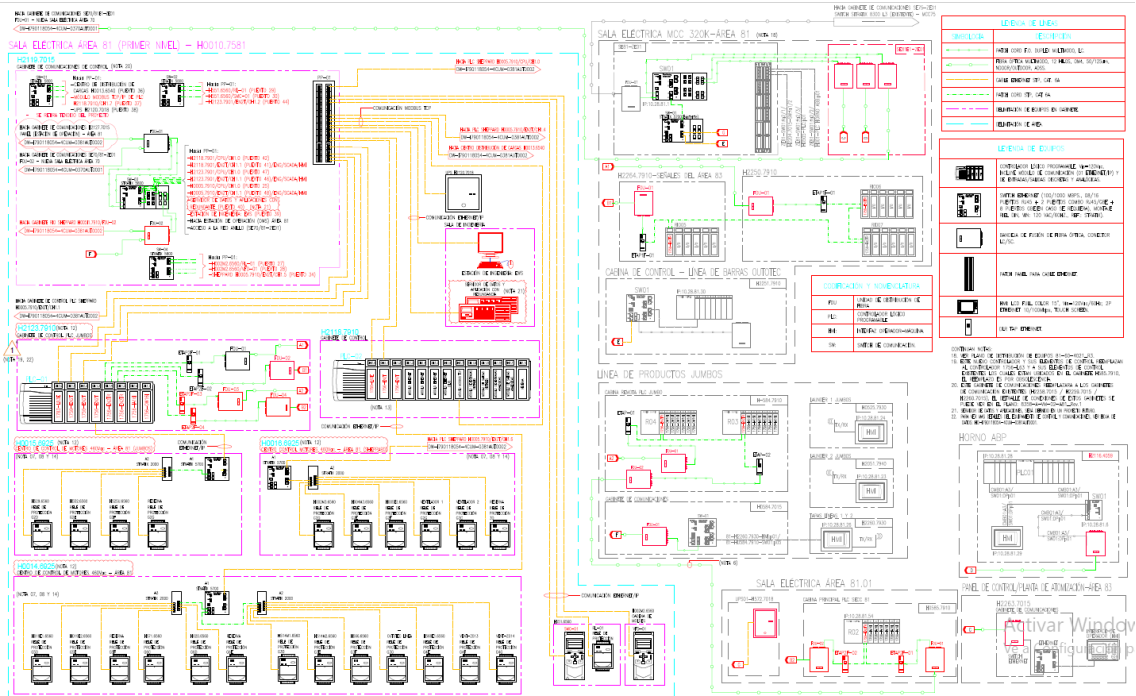


Figura 30. Arquitectura de Control - Sala Eléctrica Nueva 81

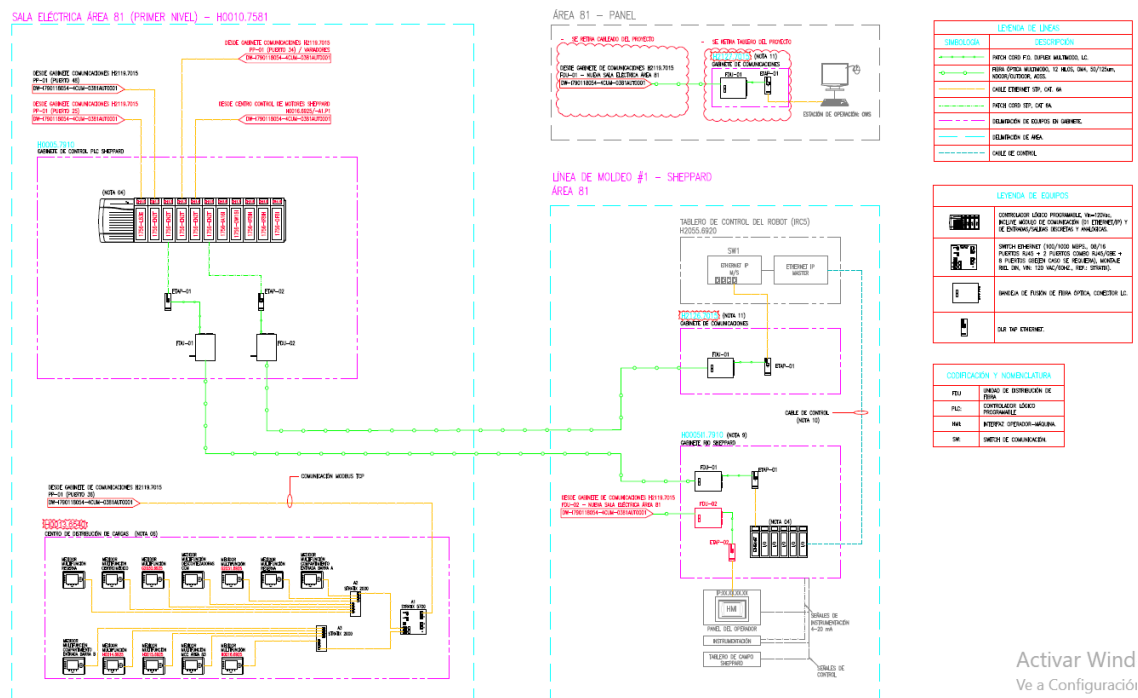


Figura 31. Arquitectura de Control - Sala Eléctrica Nueva 81

### 3.4. Optimización de procesos mediante PLC

Como parte de la optimización de los procesos se implementó las buenas prácticas de programación recomendadas por Plant Pax – RockWell Automation y estándares de programación establecidos y coordinados con el cliente, generando una lógica de enclaves para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas, uno de los enclaves colocados en la lógica de control nos aseguraba que, si el ventilador de la torre de enfriamiento fallaba, el sistema automáticamente detenía la bomba asociada al proceso de la torre de enfriamiento para evitar daños mayores. Además de ello, las condiciones de arranque instalados aseguraron que los motores solo pudieran arrancar si las condiciones eran optimas, lo cual incluía la ausencia de fallas en los arrancadores y pulsadores de emergencia desactivados.



Figura 32. Tabla de Condiciones de arranque e Interlock de arranque

Para los motores con variadores de velocidad y arrancadores suaves, el sistema permitía un control manual y automático desde el Scada o de forma local mediante las botoneras de campo, esto implicó la programación de funciones avanzadas para ajustar la velocidad y monitorear variables críticas como temperatura, potencia, voltaje y corriente.

Se diseñaron interfaces gráficas que permitieron a los operadores controlar y supervisar el sistema desde una estación central, las señales críticas como alarmas y eventos fueron programadas para disparar acciones inmediatas y evitar daños a la infraestructura o el sistema instalado.

Este proyecto nos permitió adquirir una comprensión integral de las tecnologías modernas de control y comunicación, fortaleciendo nuestras habilidades en diseño, instalación y optimización de sistemas eléctricos y de automatización. La colaboración interdisciplinaria y la atención al detalle en cada fase aseguraron el éxito del proyecto, estableciendo un estándar elevado para futuros desafíos en la industria.

### **3.5 Migración de señales de control**

Como parte del proceso de modernización de la infraestructura de control, se llevó a cabo la instalación de cables Ethernet Cat 6A y fibra óptica multimodo (OM4) en la sala eléctrica 70. Este trabajo permitió garantizar una comunicación estable y confiable en distancias de hasta 80 metros, asegurando un óptimo desempeño de los sistemas. Dado que la instalación se realizó en un entorno industrial exigente, se emplearon cables con características especiales que ofrecieran resistencia al fuego, baja emisión de humo y protección contra la intemperie. Además, se implementaron medidas para optimizar la canalización

del cableado, utilizando bandejas metálicas y tuberías Conduit RGS con revestimiento de PVC, lo que permitió una instalación ordenada, segura y acorde con los estándares de la industria.

Uno de los aspectos más relevantes del proyecto fue la migración de señales desde sistemas antiguos hacia una infraestructura más moderna. Como parte de esta transición, se llevó a cabo la transferencia de señales para lo cual, se tuvo varias coordinaciones y reuniones con el cliente y jefes de área para tener una migración más óptima, eficiente y no perjudicar la producción de zinc. Se inicio con la sala eléctrica 70 existente hacia la nueva sala eléctrica 70 desde el controlador G2020.7910, migrando las cargas del MCC que tiene arranques directos, luego se dio paso a los arranques con Soft Starter y variadores de velocidad, también se incluyó el sistema de bypass con E300 de manera progresiva.

Area	Planta	Proceso / TAG	Zona	Gabinete	Team	Modelo / ID	Descripción	IP Nueva	Observaciones
70	Electrometalurgia	Stratix / 5700	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	SW1	1783-BMS10CL	1783-BMS10CGA	192.168.1.24	
70	Electrometalurgia	G087 / G4D	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.25	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	G300 / G4C	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.26	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	G258 / G4B	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.27	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	G008 / G5D	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.28	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	G261 / G5B	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.29	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	G007 /G4E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.30	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	G1003 / G6E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.31	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	Reserva / G5E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.32	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	Reserva / G6B	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.33	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	Reserva / G6C	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.34	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	Reserva /G6D	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.35	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
70	Electrometalurgia	Reserva / G5C	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2031 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.36	Hacia G2020.7910 - Modulo 2
Area	Planta	Proceso / TAG	Zona	Gabinete	Team	Modelo / ID	Descripción	IP Nueva	Observaciones
70	Electrometalurgia	Stratix / 5700	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	SW1	1783-BMS10CL	1783-BMS10CGA	192.168.1.37	
70	Electrometalurgia	G070 / G3D	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.38	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G069 / G3E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.39	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G2004 / G5F	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.40	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G566 / G6D	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.41	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G565 / G6E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.42	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G091 / G6F	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.43	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G154 / G7D	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.44	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G156 / G7E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.45	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G187 / G7F	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.46	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	AGITADOR NUEVO / G8D	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.47	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G153 6560 / G8E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.48	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G090 / G8F	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.49	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G003 / G9D	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.50	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G103 / G9B	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.51	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	G094 / G9C	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.52	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	Reserva / G4D	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.53	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	Reserva / G4E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.54	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	Reserva / G5E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.55	Hacia G2020.7910 - Modulo 3
70	Electrometalurgia	Reserva / G9E	Sala Eléctrica 70 (segundo nivel)	G2030 6925	Ethernet /IP	193-ECM-ETR	Relé de Protección	192.168.1.56	Hacia G2020.7910 - Modulo 3

Figura 33. Cargas con arranque directo (E300).





**Figura 36.** Equipos migrados en la nueva sala eléctrica 70.

Luego se prosiguió con la nueva sala eléctrica 81, en el cual se realizó la migración de los controladores del gabinete H2123.7910, H2118.7910 y H0005.7910. Asimismo, los tableros RIOs asociados H2264.7910, H2250.7910, H2251.7910, H584.7910, H0584.7015, H0585.7910 y H2263.7015. Este cambio permitió optimizar la arquitectura de control, mejorando su eficiencia y alineándola con los estándares tecnológicos actuales. Adicionalmente, se trabajó en la integración de nuevos dispositivos y redes dentro de la infraestructura existente, asegurando su compatibilidad con los estándares internacionales y cumpliendo con los criterios de diseño establecidos por el cliente. Para lograr una transición eficiente, se desarrolló un plan de migración por fases, trasladando progresivamente las cargas con el fin de minimizar interrupciones operativas. Durante todo el proceso, se priorizó la seguridad y la continuidad de las operaciones, evitando afectaciones a la producción.

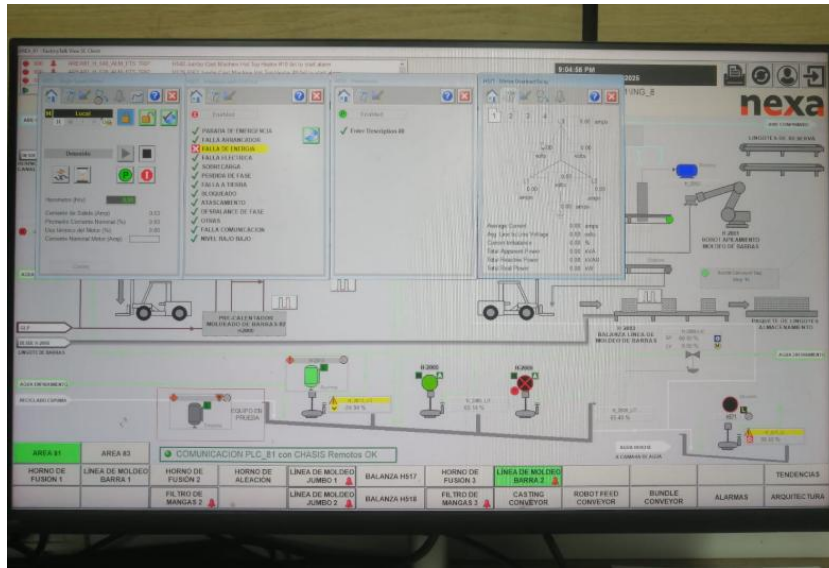
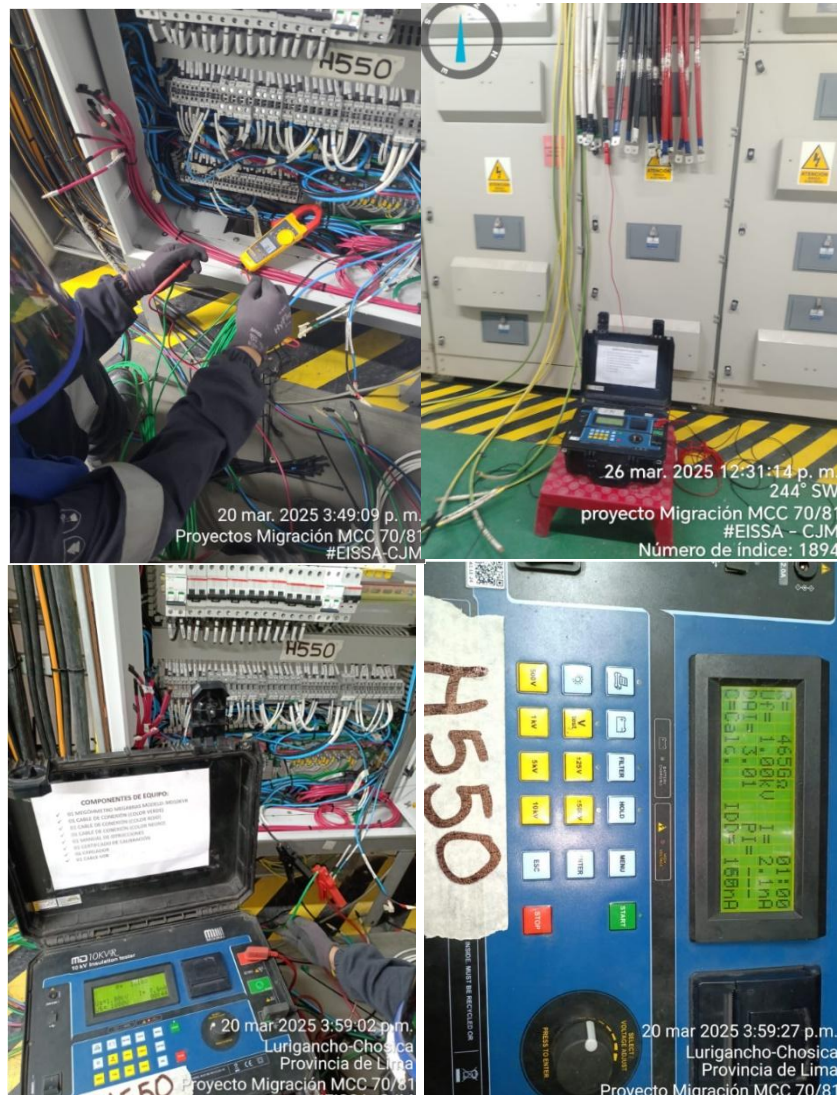


Figura 37. Faceplate de interlock de bombas

En la ejecución del proyecto, se diseñaron sistemas que facilitarían el acceso a los equipos para labores de mantenimiento, teniendo en cuenta las condiciones ambientales adversas de la planta, tales como la polución, la corrosión y la vibración. Con el objetivo de optimizar la disponibilidad operativa y reducir costos de mantenimiento, se implementaron estrategias para la estandarización de componentes. Esto permitió minimizar los tiempos de inactividad y simplificar la gestión de repuestos, asegurando una operación más eficiente y confiable a largo plazo.

Area	Planta	Proceso	Zona	Gabinete	Team	Modelo / ID	Descripción
81	Fusion&Moldeo	H551	Sala Electrica 81 (primer nivel)	H2118.7910	Ethernet /IP	1756-EN2T	Variador
81	Fusion&Moldeo	H551	Sala Electrica 81 (primer nivel)	H2118.7910	Ethernet /IP	1756-EN2T	Relé de Protección
81	Fusion&Moldeo	H002M2	Sala Electrica 81 (primer nivel)	H2118.7910	Ethernet /IP	1756-EN2T	Variador
81	Fusion&Moldeo	H002M2	Sala Electrica 81 (primer nivel)	H2118.7910	Ethernet /IP	1756-EN2T	Relé de Protección
81	Fusion&Moldeo	H529	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX1.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H552	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX1.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H525U	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX1.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H002M3	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H004M3	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H005E2	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	Ventilador 1	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	Ventilador 2	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H019E1	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX2.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H019E2	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H571	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H020	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H514M1	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	Outotec Linea	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	H568E1	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX2.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	VENT-2014	Sala Electrica 81 (primer nivel)	HXXX3.6925	Ethernet /IP	1756-EN2T	SoftStarter
81	Fusion&Moldeo	Centro Medico	Sala Electrica 81 (primer nivel)	CXXX1.6915	Modbus TCP		Medidor Multifunción
81	Fusion&Moldeo	GXXX2	Sala Electrica 81 (primer nivel)	CXXX1.6915	Modbus TCP		Medidor Multifunción
81	Fusion&Moldeo	Descortezadoras	Sala Electrica 81 (primer nivel)	CXXX1.6915	Modbus TCP		Medidor Multifunción
81	Fusion&Moldeo	Compartimiento Barra A	Sala Electrica 81 (primer nivel)	CXXX1.6915	Modbus TCP		Medidor Multifunción
81	Fusion&Moldeo	Compartimiento Barra B	Sala Electrica 81 (primer nivel)	CXXX1.6915	Modbus TCP		Medidor Multifunción
81	Fusion&Moldeo	HXXX1	Sala Electrica 81 (primer nivel)	CXXX1.6915	Modbus TCP		Medidor Multifunción
81	Fusion&Moldeo	HXXX2	Sala Electrica 81 (primer nivel)	CXXX1.6915	Modbus TCP		Medidor Multifunción
81	Fusion&Moldeo	MCC Area 83	Sala Electrica 81 (primer nivel)	CXXX1.6915	Modbus TCP		Medidor Multifunción
81	Fusion&Moldeo	HXXX3	Sala Electrica 81 (primer nivel)	CXXX1.6915	Modbus TCP		Medidor Multifunción

Figura 38. Cargas con arranque directo y bypass (VDF - E300)



**Figura 39.** Pruebas de resistividad de señales externas e internas

Como se puede observar en la figura anterior, se realizó el megado, continuidad, aislamiento de filtros capacitivos e inductivos para la conexión a los tableros. Teniendo la seguridad y confiabilidad de que ningún agente externo, perturbación, corrientes parasitas o de fuga tenga un impacto significativo en la etapa de las pruebas.

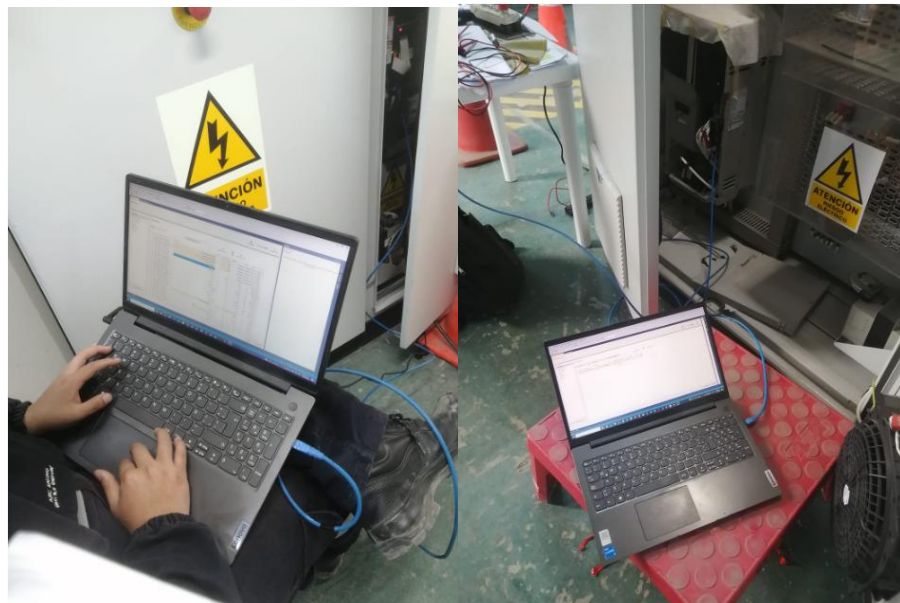
A continuación, se realizaron las pruebas CAT, en cual consistió en

conectarse a los equipos, tableros, controladores punto a punto in situ para verificar y/o modificar programación, configuración o señal de control externa.

En esta etapa el cliente nos facilitó dos motores que tenían de repuesto para las torres de enfriamiento y con los cuales se pudo realizar las pruebas mencionadas.



*Figura 40. Pruebas de arranque directo E300*



*Figura 41. Pruebas de tablero bypass VDF-E300 y SS-E300*



**Figura 42.** Motores de pruebas para los CDF-E300 y SS – E300

En las pruebas al vacío, en el cual el motor se energiza sin carga asociada, se verifico la configuración del control manual (por botonera de campo), sentido de corriente, ajuste más preciso al setear los parámetros del Variador, Soft Starter y E300.

- General
- Connection
- Module Info
- Control Configuration
  - Relay / Logic-Defined Data**
  - Sensing Configuration
  - Overload Protection
  - Advanced Protection
  - Expansion Modules
  - DeviceLogix
  - Internet Protocol
  - Port Configuration
  - Network
  - Time Sync

### Relay / Logic-Defined Data

Fault Mode Output State Duration (All Output Relays including Expansion Modules): Forever

**Relay Settings**

Enable Local DeviceLogix Control on Communications Fault

Relay	Relay Assignment	Output State During			Fault Mode Output State	
		Protection Mode	Program Mode	Fault Mode	Duration	Final State
0	Trip Relay					
1	General Purpose Relay	Off	Off	Off	Forever	Off
2	General Purpose Relay	Off	Off	Off	Forever	Off

**Logic-Defined Data**

Point	Output State During		Fault Mode Output State	
	Program Mode	Fault Mode	Duration	Final State
0-1	Off	Off	Forever	Off

Enable Local DeviceLogix Control on Communications Fault is read-only based on the Motor Control Operating Mode.

---

- General
- Connection
- Module Info
- Control Configuration
  - Relay / Logic-Defined Data
  - Sensing Configuration
  - Overload Protection
  - Advanced Protection**
  - Expansion Modules
  - DeviceLogix
  - Internet Protocol

### Advanced Protection

Show Only Enabled Trips and Warnings

Protection Type	Trip Setting	Trip Limit	Warning Setting	Warning Limit
Ground Fault	Enabled	2.50	Disabled	2.00
Jam	Enabled	250	Disabled	150
Operator Station Stop Trip	Enabled			
Overload	Enabled	100	Disabled	85
Phase Loss	Enabled			
Stall	Enabled	600		

**Figura 43.** Seteo de parámetros E300

Port #	Parameter Ty	Name	Value	Units	Internal Value	Default	Min	Max
0...	44	Device	Motor Config	Line	0	Auto Detect	0	2
0...	46	Device	Line Voltage	440	Volt	440	480	700
0...	49	Device	Starting Mode	Linear Speed	3	Soft Start	0	5
0...	50	Device	Ramp Time	15.0	Secs	150	10.0	1000.0
0...	56	Device	Input1	Disable	0	Start/Coast	0	14
0...	58	Device	Starting Mode2	Linear Speed	3	Soft Start	0	5
0...	59	Device	Ramp Time2	15.0	Secs	150	10.0	1000.0
0...	65	Device	Stop Mode	Linear Speed	2	Coast	0	5
0...	66	Device	Stop Time	10	Secs	10	0	999
0...	78	Device	Motor FLC	130.0	Amps	1300	1.0	2200.0
0...	114	Device	Jam F lvl	200	%FLC	200	1000	1000
0...	128	Device	Starts Per Hour	6		6	99	99
0...	136	Device	Starter Fault En	00000000 00000000 0000...	56	00000000 00000000...		
0...	137	Device	Starter Alarm En	00000000 00000000 0000...	8	00000000 00000000...		
0...	148	Device	Logic Mask	00000001 00010100	276	00000000 00000000...		
0...	161	Device	Data Out A1	Port 0: Real Power	10	Disabled	Disabled	Port 15:...
0...	162	Device	Data Out A2	Port 0: Power Factor	17	Disabled	Disabled	Port 15:...
0...	163	Device	Data Out B1	Port 0: Mtr Therm Usage	18	Disabled	Disabled	Port 15:...
0...	164	Device	Data Out B2	Port 0: Time to OL Trip	19	Disabled	Disabled	Port 15:...
0...	165	Device	Data Out C1	Port 0: Time to OL Reset	20	Disabled	Disabled	Port 15:...

Figura 44. Seteo de parámetros de SMC 50

Port #	Parameter Ty	Name	Value	Units	Internal Value	Default	Min	Max
0	25	Device	Motor NP Volts	440.00	VAC	440.00	460.00	46.00 529.00
0	26	Device	Motor NP Amps	52.60	Amps	52.60	69.30	0.77 770.00
0	28	Device	Motor NP RPM	1770.0	RPM	1770.0	1780.0	1.0 40000.0
0	30	Device	Motor NP Power	42.00		42.00	60.00	0.01 2000.00
0	35	Device	Motor Ctrl Mode	InductionVHz	0	Induction SV	0	10
0	37	Device	Maximum Freq	60.00	Hz	60.00	130.00	0.01 650.00
0	40	Device	Mtr Options Cfg	00000000 00000000 1000...	33479	00000000 00000000...		
0	43	Device	Flux Up Enable	Manual	0	Automatic	0	1
0	51	Device	Stab Volt Gain	0.00		0.00	5322.22	0.00 100000...
0	52	Device	Stab Angle Gain	0.00		0.00	790.43	0.00 100000...
0	60	Device	Start Acc Boost	3.00	VAC	3.00	5.00	0.00 115.00
0	61	Device	Run Boost	3.00	VAC	3.00	5.00	0.00 115.00
0	65	Device	VHz Curve	Fan/Pump	1	Custom V/Hz	0	1
0	70	Device	Autotune	Ready	0	Calculate	0	4
0	71	Device	Autotune Torque	10.00	%	10.00	50.00	0.00 200.00
0	74	Device	Ixo Voltage Drop	0.00	VAC	0.00	115.00	0.00 460.00
0	75	Device	Flux Current Ref	15.78	Amps	15.78	26.95	0.00 76.62
0	79	Device	EncdrIrs VltComp	4.32	VAC	4.32	3.50	0.00 115.00
0	87	Device	PM IR Voltage	4.32	Volt	4.32	3.50	0.00 115.00
0	93	Device	PM Dir Test Cur	5.26	Amps	5.26	6.93	0.00 69.30

Figura 45. Seteo de parámetros - PF755

#### **4.6 Implementación de redes de comunicación**

Como parte del proyecto de modernización, se implementaron redes de comunicación avanzadas para garantizar una conectividad eficiente y confiable entre los diferentes sistemas de control. Se trabajó en la configuración de redes basadas en Ethernet/IP y Modbus TCP, permitiendo la comunicación fluida entre los gabinetes de control, los gabinetes de comunicación y los dispositivos de campo, como variadores de velocidad y sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS). En particular, se estableció un enlace de comunicación entre el PLC del gabinete G2020.7910 y el sistema SCADA mediante una red dedicada, evitando interferencias con la red de anillo existente y asegurando una transmisión de datos estable y segura.

En el área 70 (Electrolisis), se diseñó una arquitectura de red que permitió la integración de equipos críticos dentro del sistema de control. El PLC Control Logix instalado en el gabinete G2020.7910 fue configurado para gestionar diversos dispositivos, incluyendo variadores de frecuencia y arrancadores suaves, todos interconectados a través de módulos Ethernet/IP dedicados. Este enfoque optimizó la operación y el monitoreo de los equipos, proporcionando un sistema más robusto y eficiente.

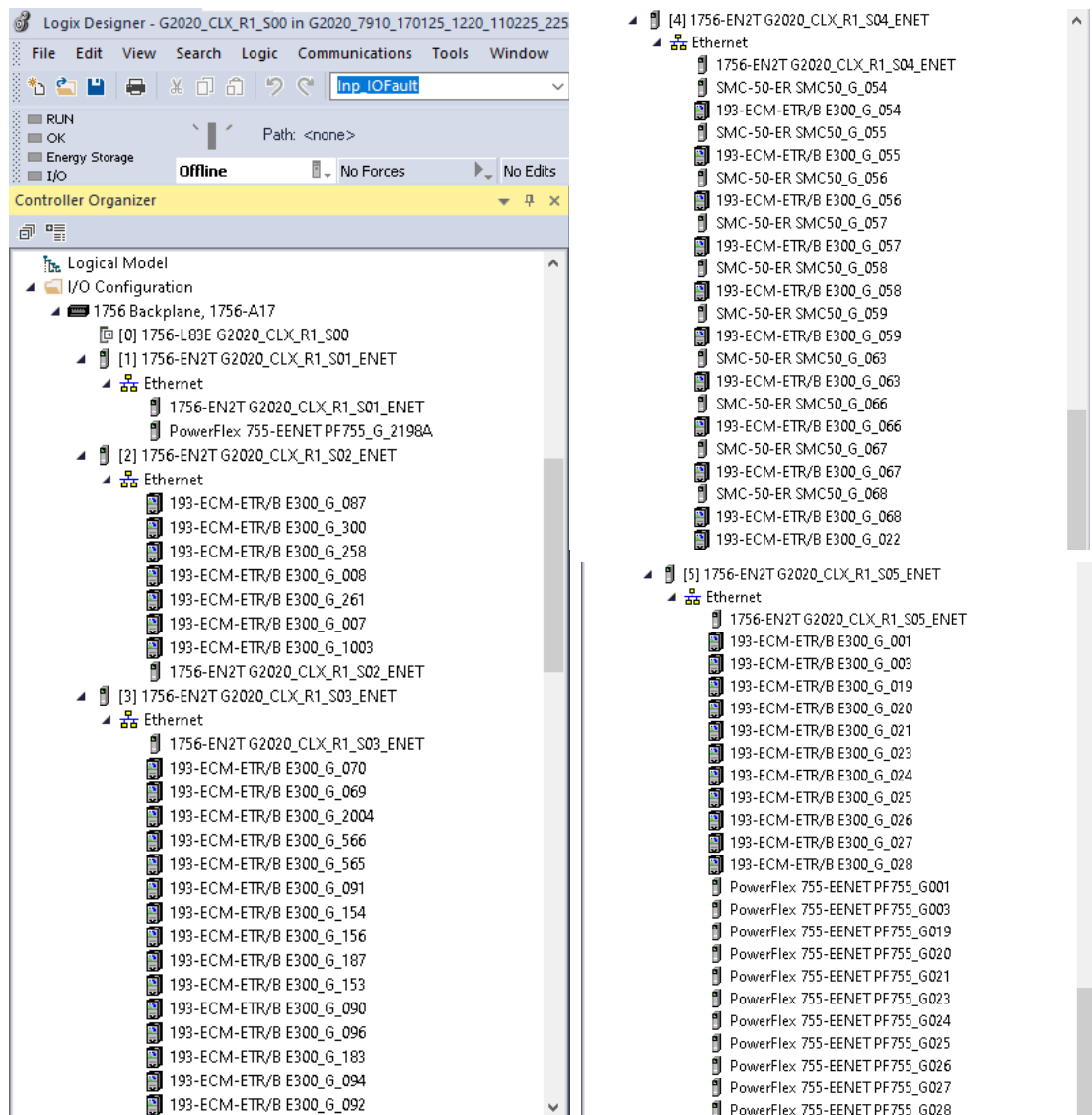


Figura 46. Integración de E300, SS y VDF al controlador de G2020.7910.

Además, en la sala eléctrica 81, se llevó a cabo la migración del controlador H-585 al gabinete RIO H2123.7910 que esta comandado un PLC Control Logix de la marca Allen-Bradley, lo que representó un avance significativo en la modernización del sistema de control. Esta actualización permitió la integración de gabinetes RIO con módulos ETAP, estableciendo una topología de red tipo anillo que mejoró la redundancia y la confiabilidad de la comunicación entre dispositivos. Con estas implementaciones, se logró optimizar la conectividad, asegurar una

transmisión de datos eficiente y fortalecer la estabilidad operativa del sistema.



Figura 47. Medición de calidad de fibra óptica

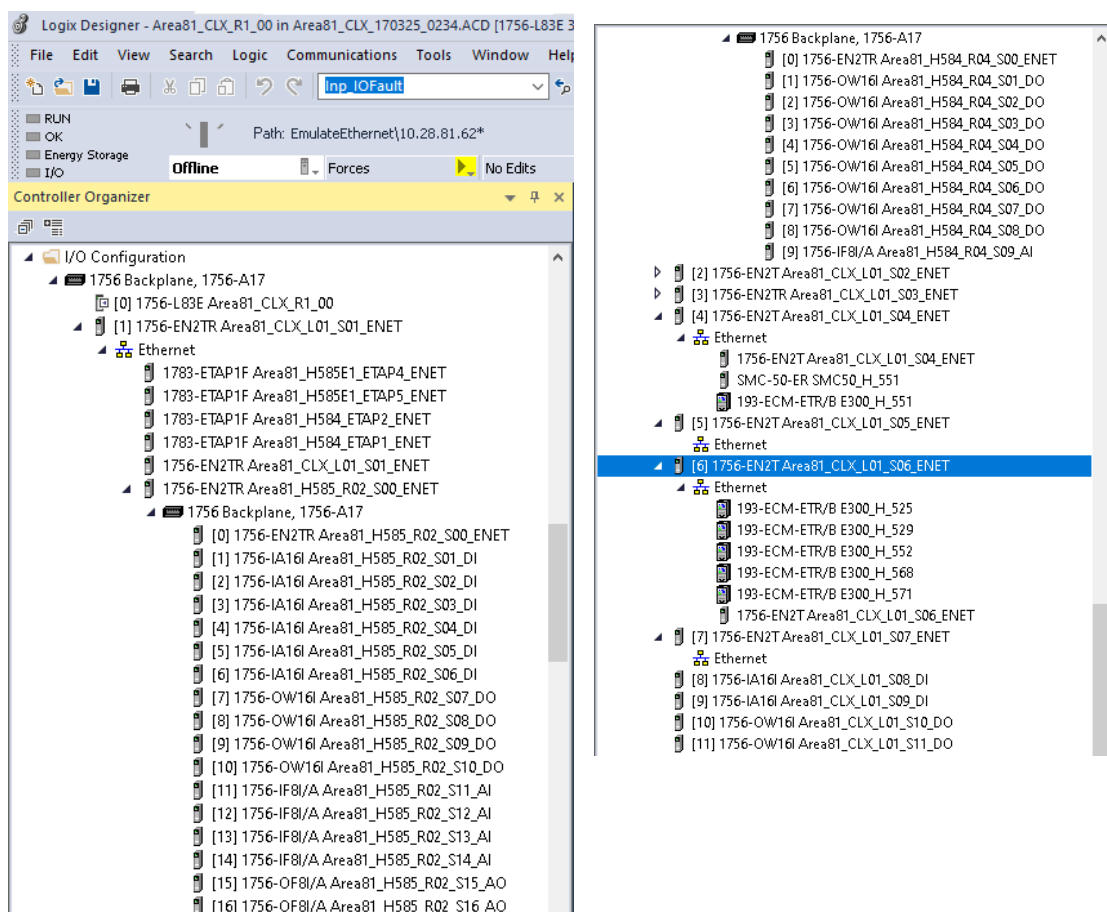
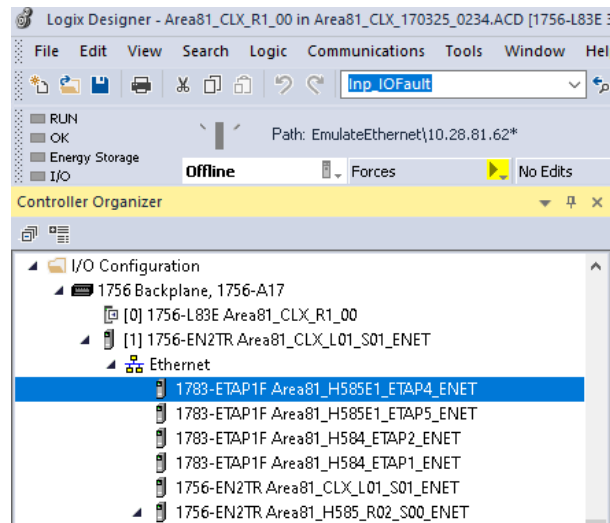


Figura 48. Integración de E300, SS y VDF al controlador de H2123.7910



**Figura 49.** Integración del tablero RIO H-585.

#### 4.7 Optimización de procesos mediante PLC

En la búsqueda de una operación más segura y eficiente, se desarrollaron sistemas de enclavamiento y las condiciones de arranque que garantizaron el correcto funcionamiento de los equipos bajo condiciones específicas. Como medida de protección, si el ventilador de una torre de enfriamiento sufría una falla, el sistema detenía automáticamente la bomba asociada, evitando posibles daños. Adicionalmente, se implementaron las condiciones de arranque que aseguraban que los motores solo pudieran arrancar si se cumplían todas las condiciones necesarias, como la ausencia de fallas en los arrancadores y la desactivación de pulsadores de emergencia, previniendo así riesgos operativos.

Para optimizar el rendimiento de los motores con variadores de velocidad, se incorporó una lógica de control que permitía la operación tanto en modo automático desde el SCADA como en modo manual mediante una interfaz HIM local. Esta configuración incluyó la programación de funciones avanzadas para

ajustar la velocidad de acuerdo con las necesidades del proceso, además del monitoreo en tiempo real de variables críticas como temperatura y corriente, mejorando así la confiabilidad del sistema.

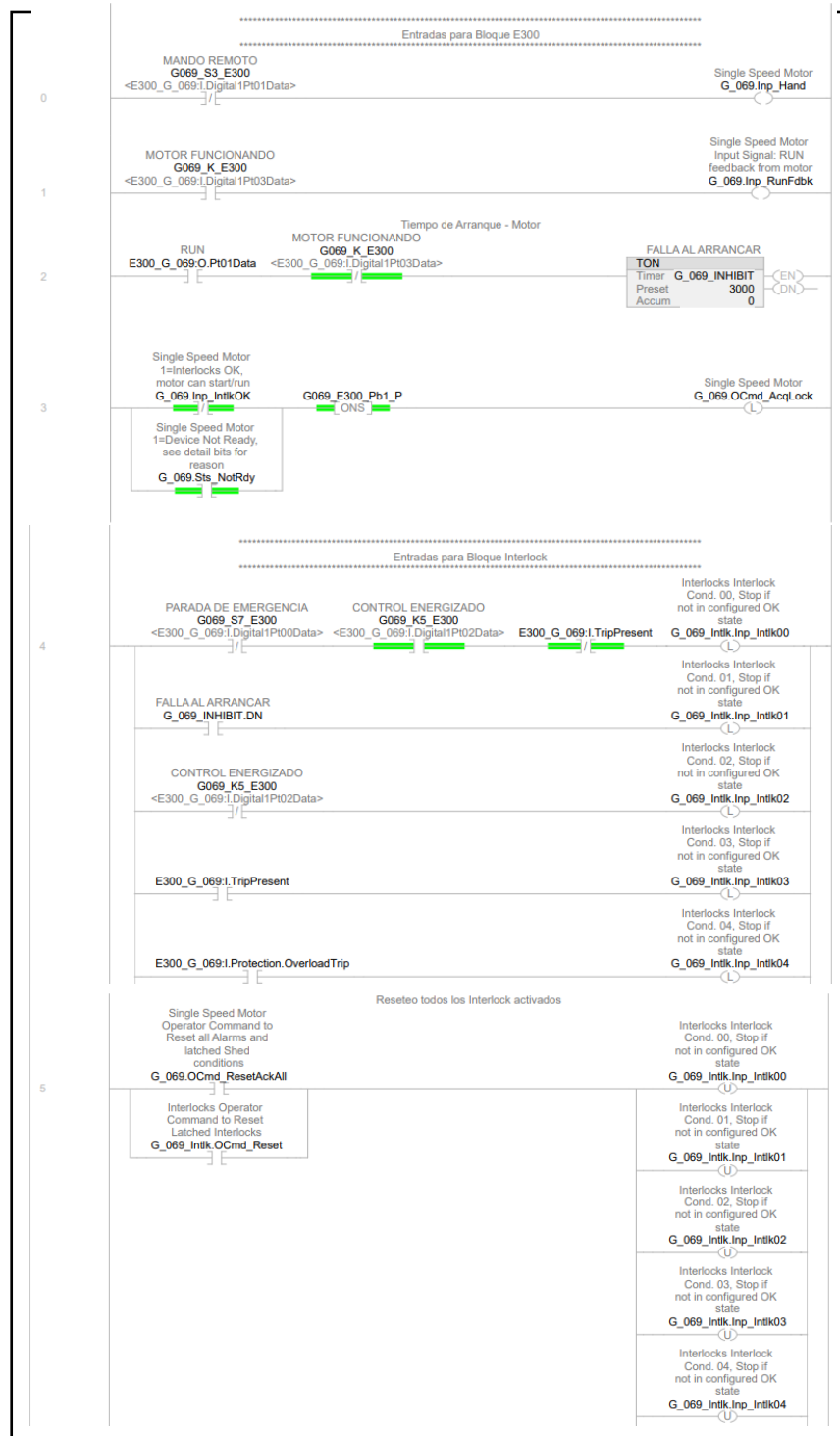
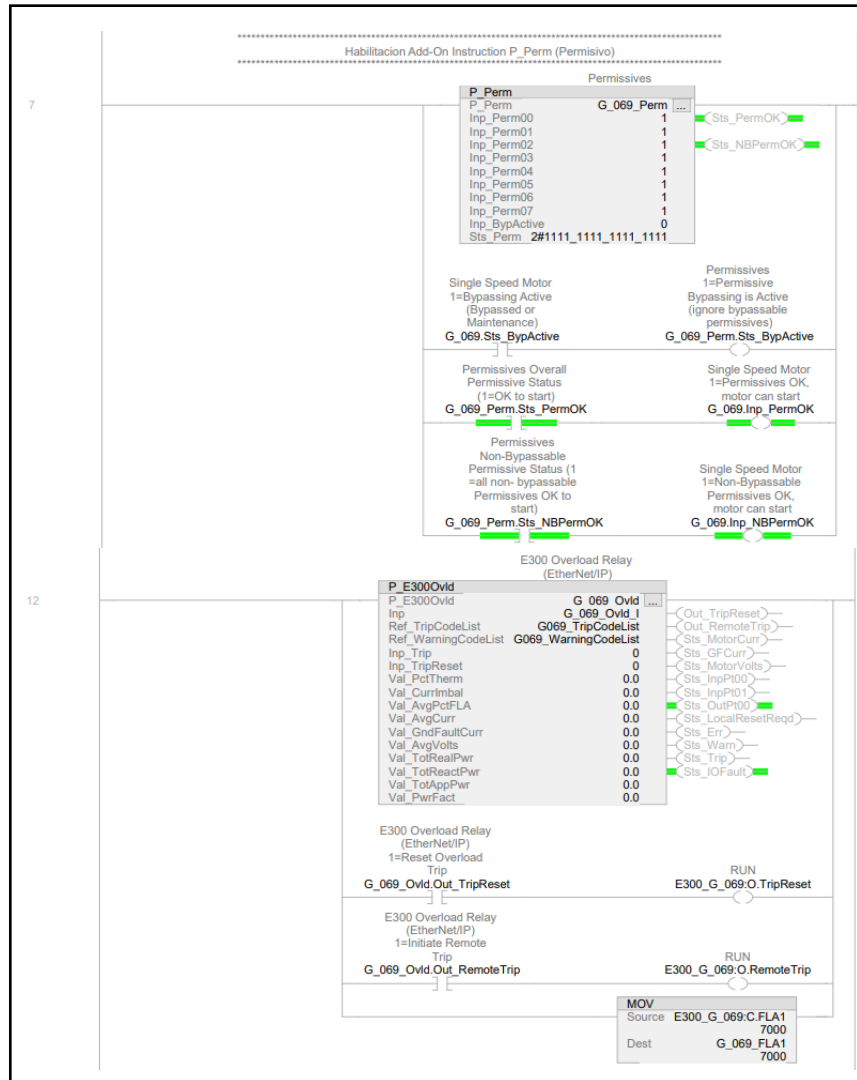


Figura 50. Lógica de Control para arranque directo – Mapeo de entradas y seteo de Interlocks.



**Figura 51.** Lógica de Control para arranque directo – Seteo de Las condiciones de arranque y Control de E300.

Para el desarrollo de la lógica de control para el motor se siguieron las buenas prácticas, recomendadas por Rockwell Automation el cual nos indica la fragmentación del programa en las siguientes etapas: Mapeo de Entrada, Mapeo de Interlock, Mapeo de Las condiciones de arranque y lógica de Control de E300, SMC 50 o PF755 dependiendo del driver a controlar.

Con esta misma recomendación se implementó la lógica para el control con Arrancador suave y Variador de frecuencia. Asimismo, aplicando esta metodología de programación se agregaron los Add-On de mismo sistema Rockwell, el cual nos

garantiza una integración más eficiente al sistema SCADA aplicando los faceplate  
del mismo sistema de Rockwell.

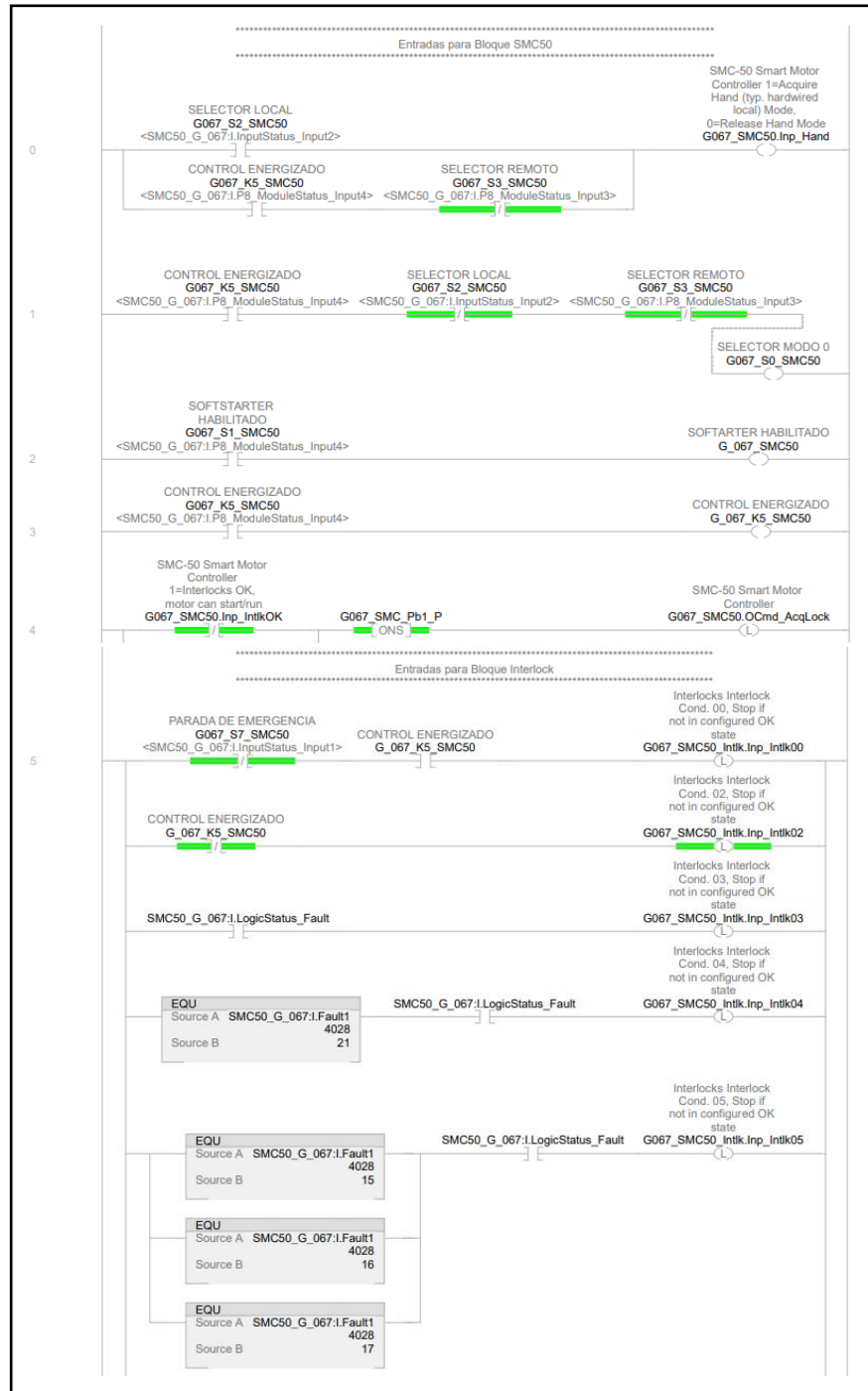


Figura 52. Lógica de Control para arrancador suave – Mapeo de entradas y seteo de Interlocks.

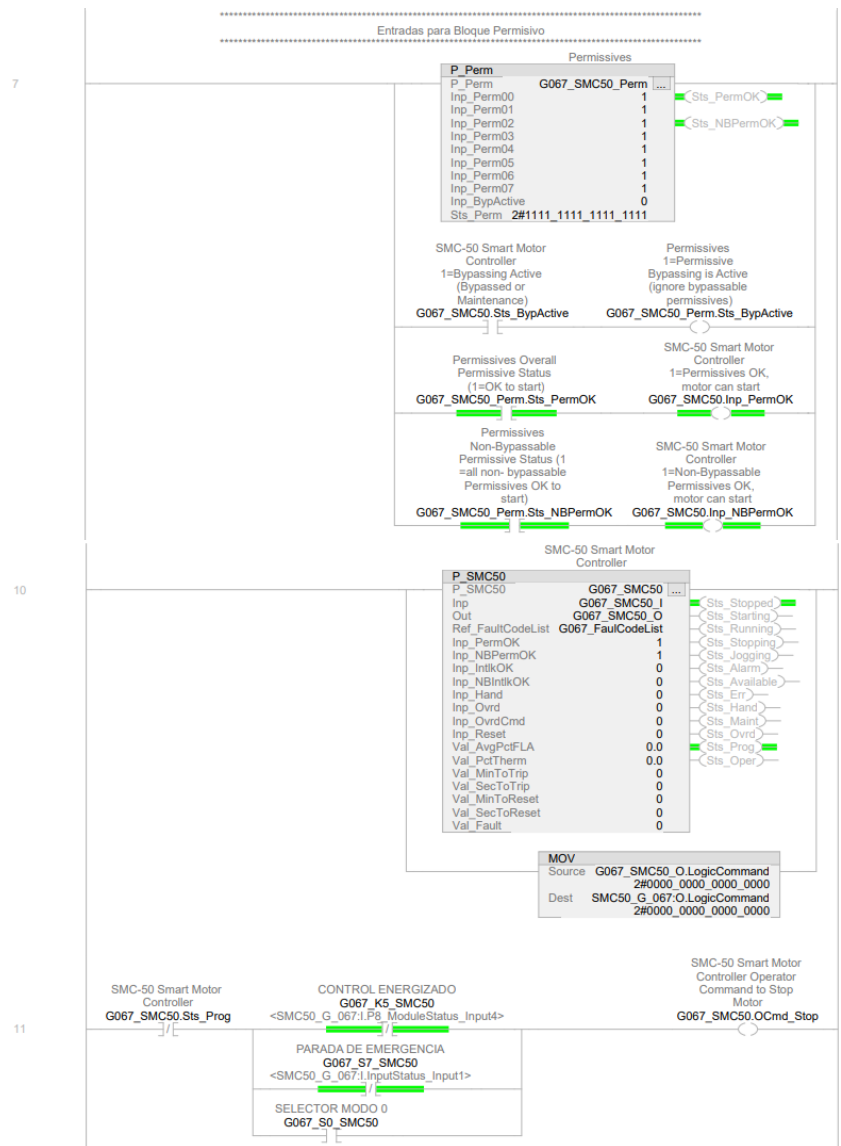


Figura 53. Lógica de Control para arrancador suave – Seteo de Las condiciones de arranque y Control de SMC50.

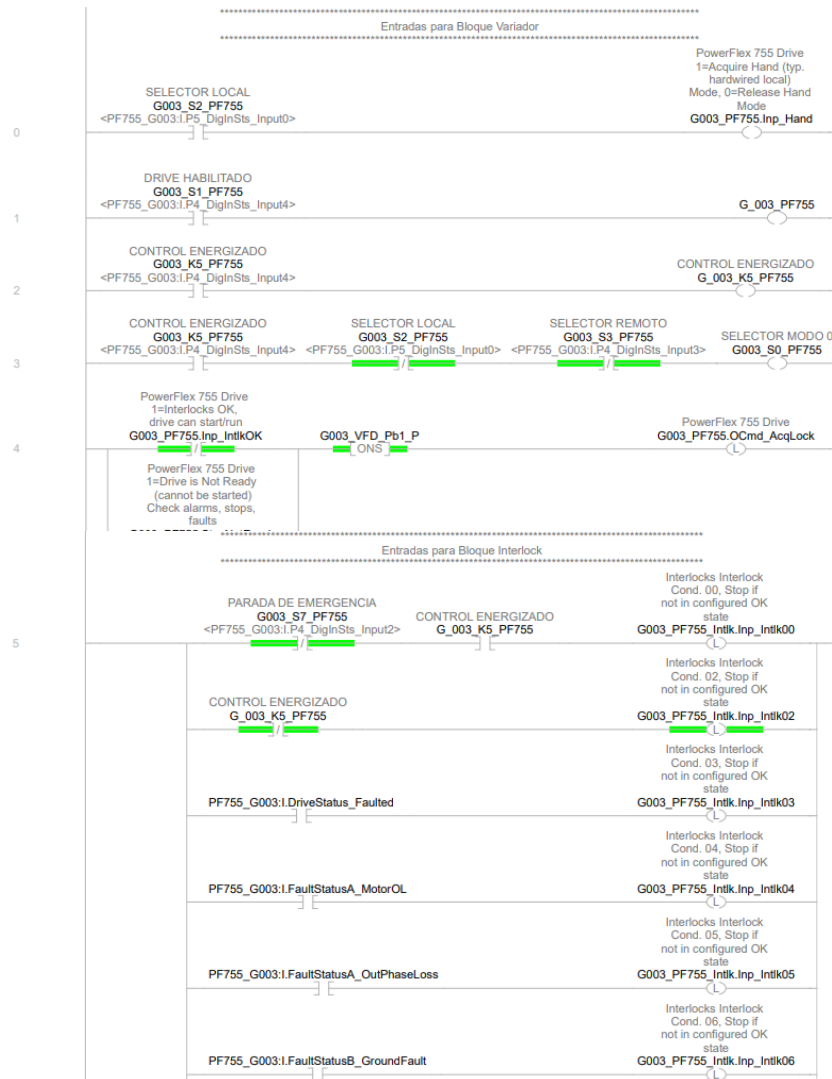
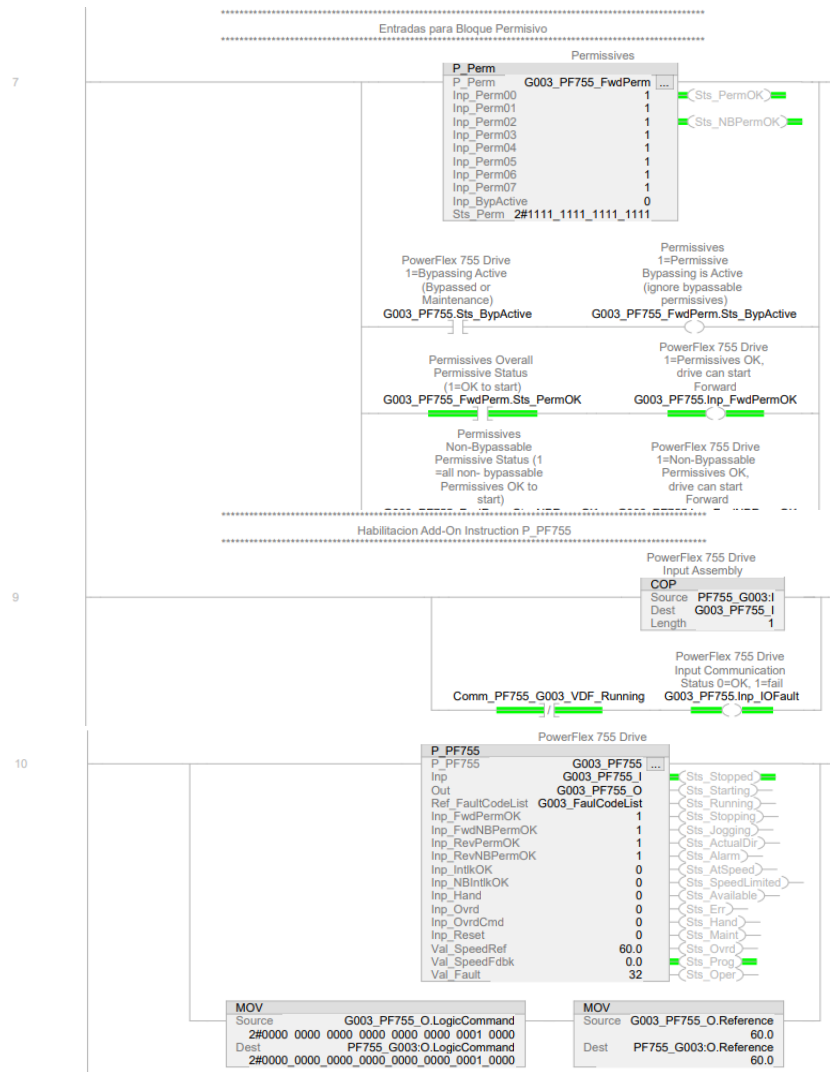


Figura 54. Lógica de Control para arrancador con VDF – Mapeo de entradas y seteo de Interlocks.



**Figura 55.** Lógica de Control para arrancador con VDF – Seteo de Las condiciones de arranque y Control de PF755.

Con el fin de mejorar la supervisión y el control, se configuró el sistema SCADA con interfaces gráficas intuitivas que facilitaron la interacción de los operadores con los equipos. A través de estos "Faceplates", se logró un monitoreo centralizado, permitiendo una rápida respuesta ante alarmas y eventos críticos. Asimismo, se diseñaron estrategias para garantizar flexibilidad en la operación, dotando a los gabinetes de la capacidad de funcionar en modo manual o automático. Esto incluyó la instalación de botoneras y selectores en los motores, asegurando

que los operadores pudieran intervenir localmente cuando fuera necesario.

Asimismo, para obtener la flexibilidad se integraron los Add-On del mismo sistema de Rockwell y para tener la aprobación por el cliente, se editaron los faceplate de Rockwell para el cumplimiento del estándar de arranque de los motores en planta (área 70 y 81). Los cambios que asignados fueron los siguientes:

**Pantalla OPERATOR:** monitoreo y control se señales por arranque directo. Es la primera pantalla que se abre al presionar el objeto motor (A).

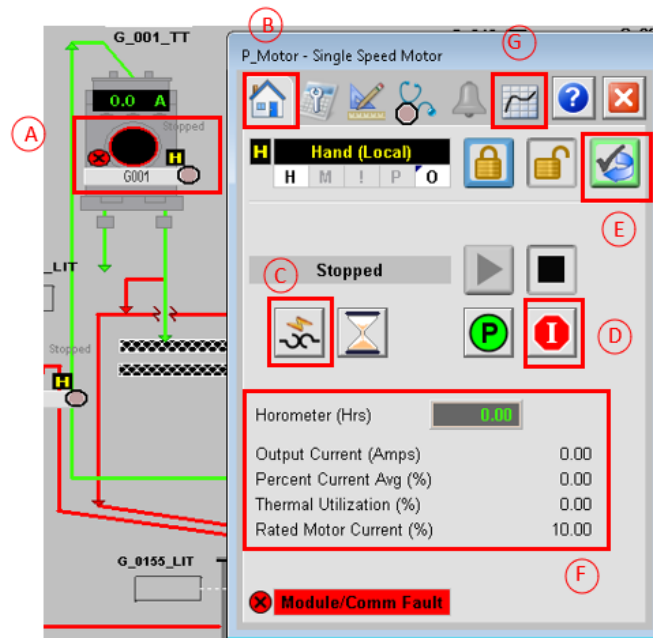


Figura 56. Faceplate - P-Motor

- A. **Botón de control del motor:** Nos brinda el acceso al faceplate del motor.
- B. **Pantalla OPERATOR:** Control y Supervisión del motor asociado. Indica el estado del motor (listo para arrancar, presenta alguna falla, parado, arrancado).
- C. **Botón de navegación:** Nos permite navegar por otras pantallas, el cual tiene más información del estado del motor.
- D. **Botón de Interlock:** Muestra los interlock que detuvieron al motor.
- E. Botón de Reset de Interlock (Pantalla principal).

F. Indicador de Horas encendidos, corriente de salida, corriente porcentual y nominal.

G. **Pantalla Trend:** Indica en un gráfico temporal el valor de la corriente, velocidad de retroalimentación, velocidad de referencia y el ultimo código de fallo.

**Pantalla INTERLOCK:** monitoreo de los Interlock. Es la pantalla que se abre al presionar el icono **D**

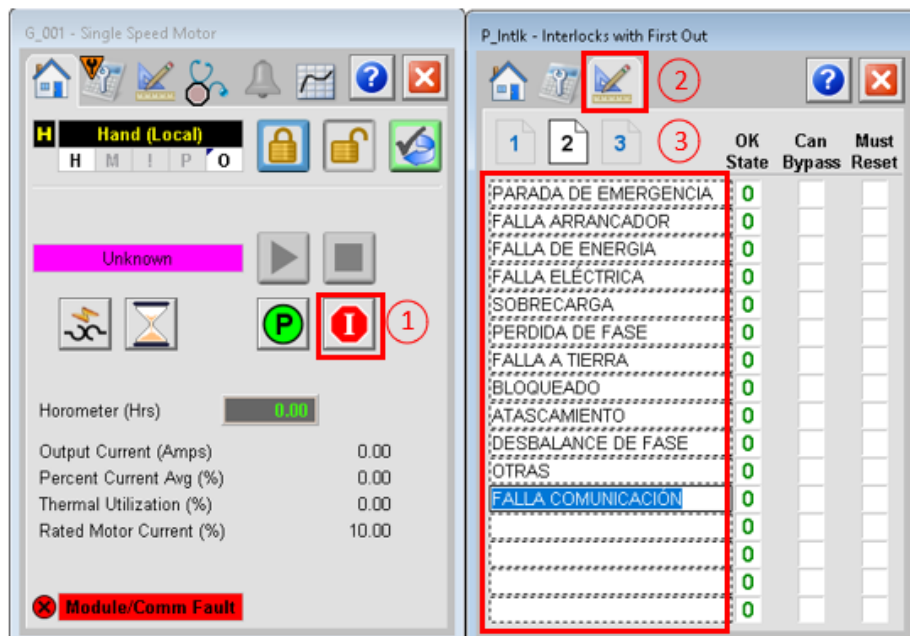


Figura 57. Pantalla de ingeniería de interlock

**Pantalla TREND:** monitoreo de las curvas de señales. Es la pantalla que se abre al presionar el icono **G**



Figura 58. Objeto global modificado – Trend

1. Botón trend sin modificar.
2. Botón trend modificado.

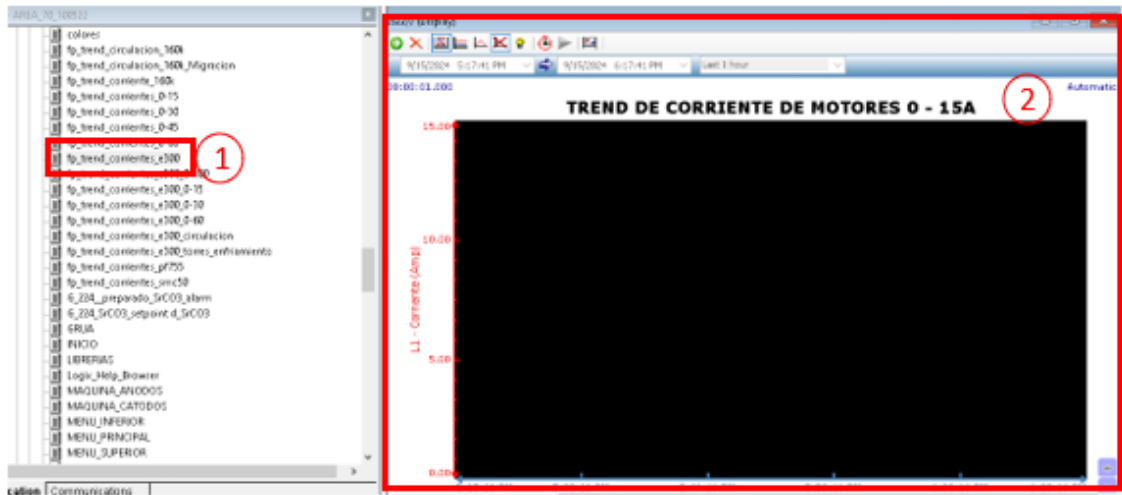


Figura 59. Display - Trend

1. Display del trend E300.
2. Visualización del display trend.

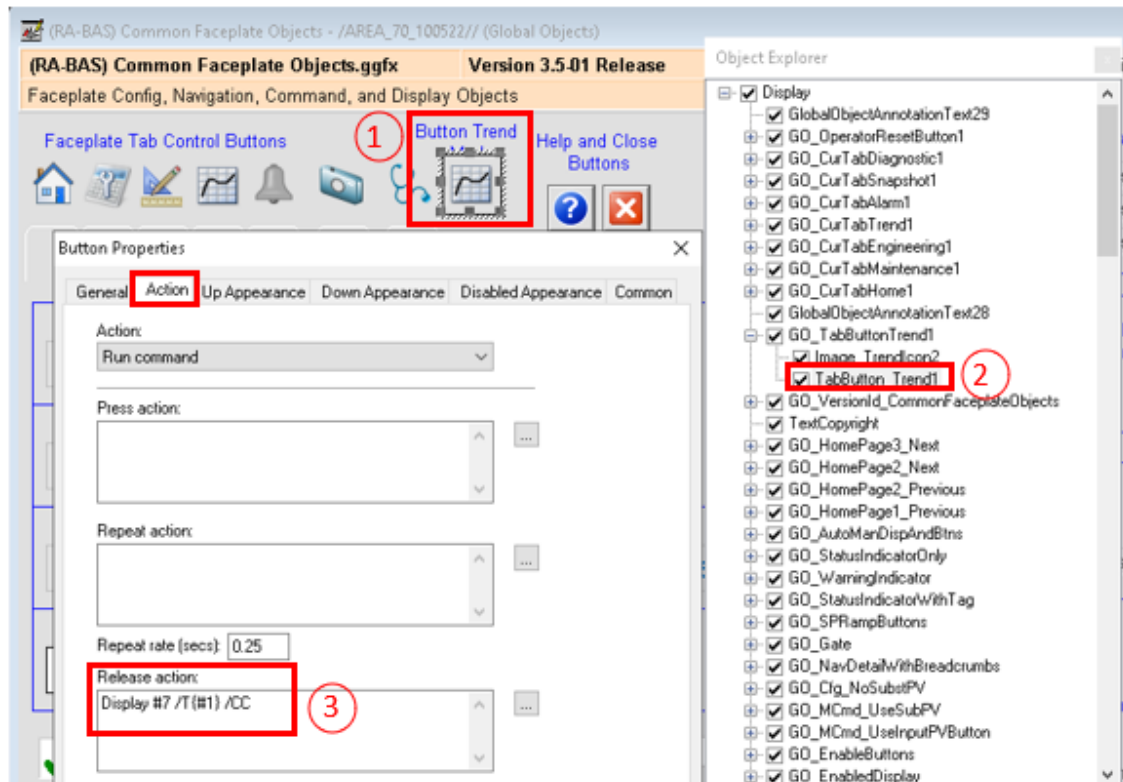
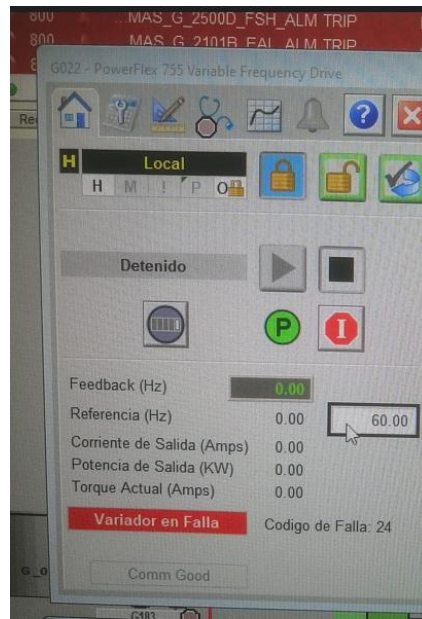


Figura 60. Ruta de navegación del botón trend.

1. Objeto global trend modificado.
2. Botón de trend.
3. Ruta de navegación para pantalla de display Trend. El “#7” hace referencia a la pantalla del trend asociado en la lista de parametros del objeto global. Y toma el valor 7 por el orden de argumento al ser invocado por el boton del motor.



**Figura 61.** Faceplate en sistema Scada

Este proyecto representó una oportunidad invaluable para ampliar el conocimiento en tecnologías de automatización y comunicación, consolidando habilidades en diseño, instalación y optimización de sistemas eléctricos. La estrecha colaboración entre distintas disciplinas y la atención meticulosa en cada etapa fueron claves para el éxito de la implementación, estableciendo un referente para futuras iniciativas en la industria.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

La implementación de la automatización en el proyecto de mejoramiento de los sistemas de control en la refinería de zinc en Cajamarquilla ha representado un hito significativo en la modernización tecnológica de la planta. A través del uso de controladores lógicos programables (PLC), redes de comunicación avanzadas y tableros eléctricos equipados con tecnología de punta, se logró optimizar procesos clave en la producción y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas críticos.

Uno de los aspectos más destacados fue la optimización de los procesos mediante PLC. En este sentido, la programación de lógicas de enclavamiento e interlocks permitió garantizar la operación segura de los equipos, mitigando riesgos potenciales. Por ejemplo, en caso de fallo en los ventiladores de las torres de enfriamiento, la lógica implementada detiene automáticamente las bombas asociadas, evitando daños en la infraestructura. Además, se integraron las condiciones de arranque que aseguran que los motores solo puedan arrancar cuando se cumplen condiciones óptimas, tales como la ausencia de fallas en los arrancadores o la desactivación de pulsadores de emergencia. Estas estrategias no solo mejoraron la seguridad, sino que también incrementaron la confiabilidad del sistema, reduciendo el tiempo de inactividad y maximizando la eficiencia operativa.

El proyecto también incluyó una migración completa de señales de control desde sistemas obsoletos hacia una arquitectura moderna basada en redes Ethernet/IP y fibra óptica multimodo. Esta migración se ejecutó de manera progresiva, asegurando la continuidad de las operaciones y evitando interrupciones

significativas en la producción de zinc. Además, el uso de cables resistentes al fuego y a la intemperie, junto con una canalización adecuada, garantizó la durabilidad y robustez del nuevo sistema de comunicación. La coordinación interdisciplinaria, tanto con el cliente como con los equipos técnicos y jefaturas, fue esencial para una integración eficiente y una implementación sin contratiempos.

En cuanto a la comunicación, se diseñaron redes robustas que conectan dispositivos críticos, como variadores de frecuencia y arrancadores suaves, a través de módulos dedicados. La configuración de topologías de red en anillo en la sala eléctrica 70 como en la 81, incrementó la redundancia y la estabilidad del sistema, asegurando una operación confiable incluso ante fallos. El reemplazo de controladores antiguos por PLC ControlLogix de Allen-Bradley permitió un control centralizado más eficiente, mientras que las interfaces gráficas diseñadas para el sistema SCADA ofrecieron una interacción intuitiva y amigable para los operadores. Estas interfaces, personalizadas según los estándares del cliente, incluyeron pantallas específicas para monitoreo y control, gráficas de tendencias y supervisión de interlocks, mejorando significativamente la capacidad de respuesta ante alarmas y eventos críticos.

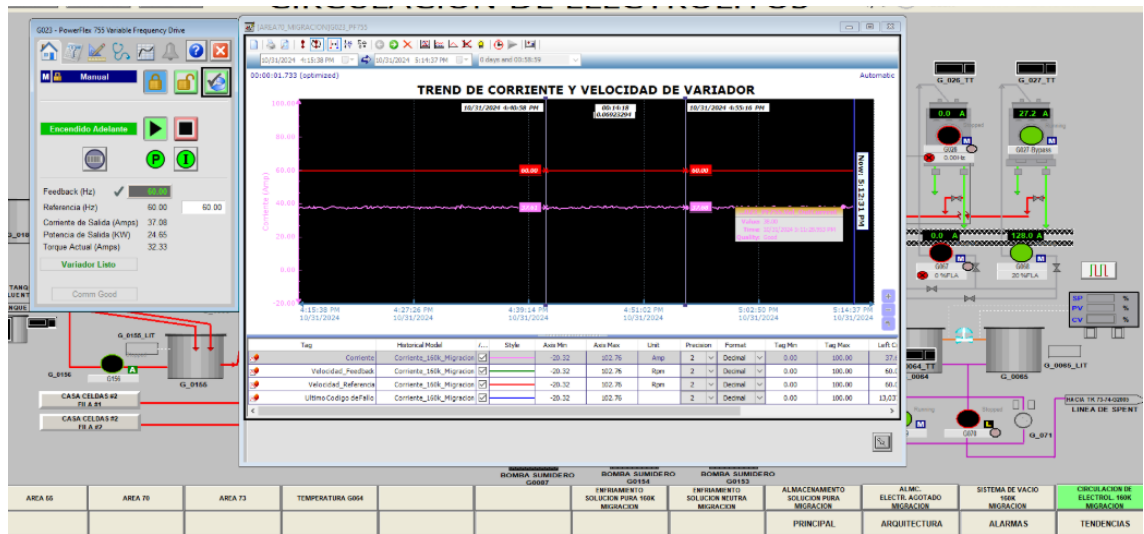


Figura 62. Trend de corriente y velocidad



Figura 63. Display de monitoreo de estado de motor.

Asimismo, los tableros eléctricos diseñados para este proyecto integraron tecnologías avanzadas que contribuyeron a la optimización energética y a la mejora del desempeño, esto gracias a que se sustituyeron los antiguos métodos de arranque (directo y delta-estrella) por el uso de variadores de frecuencia PowerFlex 755, Soft Starter SMC50, acompañados de relés inteligentes E300, con este cambio no solo aseguro un control preciso del arranque y operación de los motores, sino que también proporcionaron gráficas y datos del estado de los motores, si esta encendido, apagado o en falla, el tiempo de encendido, corriente, tensión, velocidad, etc.



**Figura 64.** Antiguo cubículo de arranque para torre de enfriamiento.



**Figura 65.** *Nuevo tablero de arranque con variador para torre de enfriamiento.*



**Figura 66.** *Nuevo tablero de arranque con Soft starter para bomba de recirculación de torre de enfriamiento.*

Además, al adicionar el relé E300 nos proporcionó una solución de bypass que garantizó la continuidad del sistema en caso de mantenimiento o fallos. Se implementaron también filtros sinusoidales para minimizar la distorsión armónica y preservar la integridad de los motores.



**Figura 67.** Variador de velocidad PowerFlex 755.



**Figura 68.** Relé electrónico E300 para sistema de bypass del variador PowerFlex 755.



**Figura 69.** Soft Starter SMC50.



**Figura 70.** Relé electrónico E300 para sistema de bypass del Soft starter SMC50.

Para mantener las condiciones térmicas adecuadas en los tableros, se utilizaron ventiladores de alta eficiencia que garantizaron la disipación del calor generado. Este sistema de ventilación asegurará que la temperatura dentro del gabinete se mantenga dentro de los límites recomendados para la operación del equipo, previniendo sobrecalentamientos y mejorando la eficiencia y vida útil de los componentes eléctricos del tablero.

La implementación de estas soluciones automatizadas no solo permitió optimizar el desempeño operativo, sino que también posicionó a la planta como una instalación moderna que cumple con las normativas internacionales y los estándares más exigentes de la industria. La atención al detalle en cada etapa del proyecto y la colaboración interdisciplinaria aseguraron que los objetivos fueran alcanzados de manera efectiva. Este enfoque no solo garantiza una operación más eficiente, sino que también extiende la vida útil de los equipos, reduce los costos de mantenimiento y fortalece la posición competitiva de la refinería en el mercado global del zinc.

Este proyecto ha sido un factor clave para la modernización y optimización de los procesos y no solo demuestra la importancia de adoptar tecnologías avanzadas en la industria, sino que también subraya el valor de una planificación rigurosa y una ejecución meticulosa para garantizar el éxito en proyectos de gran escala. Las soluciones implementadas establecen un estándar elevado para futuros proyectos en la industria, consolidando un modelo de eficiencia y sostenibilidad tecnológica.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Se implementó un sistema SCADA que aseguro un monitoreo eficiente y en tiempo real, lo que facilito la identificación de alarmas, fallas, y eventos críticos. Las interfaces gráficas personalizadas para los operadores optimizaron la supervisión, control y proporcionaron una interacción intuitiva reduciendo tiempos de respuesta ante emergencias.

Se programó los PLCs ControlLogix basados en estándares como Plant Pax de Rockwell Automation, lo que garantizó un control seguro y eficiente. La lógica de enclaves y las condiciones de arranque implementadas minimizan riesgos operativos, asegurando que los equipos solo funcionen bajo condiciones óptimas.

Se migró las señales de control hacia una arquitectura moderna, incluyendo el uso de redes Ethernet/IP y fibra óptica multimodo, mejorando significativamente la estabilidad y confiabilidad del sistema. Este cambio aseguro una comunicación robusta entre dispositivos críticos y facilita futuras expansiones del sistema.

Se logró diseñar y fabricar tableros eléctricos que integraron tecnologías de punta, como variadores de frecuencia PowerFlex 755, Soft Starters SMC50, relés E300 que permitieron un control preciso y adaptable a las necesidades operativas, simplificando el mantenimiento y reduciendo el tiempo de inactividad y mejoraron la disponibilidad operativa.

El diseño de una topología de red en anillo incrementó la redundancia del sistema, asegurando su funcionamiento continuo incluso ante fallos en algún

segmento. La implementación cuidadosa permitió realizar la modernización sin afectar la producción de zinc, demostrando una planificación eficiente.

### **Recomendaciones**

Es recomendable continuar fortaleciendo el monitoreo predictivo en el sistema SCADA mediante herramientas avanzadas de análisis, que permitan anticipar fallas y optimizar el mantenimiento preventivo. Esto reducirá significativamente los tiempos de inactividad y los costos asociados a reparaciones imprevistas. Asimismo, resulta esencial establecer un programa de capacitación continua para operadores y técnicos, asegurando que estén completamente familiarizados con las interfaces gráficas y las estrategias de control implementadas, maximizando el uso eficiente del sistema.

La red de comunicación debe ser evaluada para identificar posibles mejoras en su redundancia, especialmente en nodos críticos, con el fin de garantizar una operación estable ante cualquier contingencia. En paralelo, mantener una política de estandarización de componentes facilitará el manejo de inventarios y la reposición de piezas, asegurando la compatibilidad tecnológica a largo plazo. Además, explorar la integración de tecnologías de IoT puede potenciar el análisis y gestión de datos, ofreciendo nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia operativa y energética.

La documentación técnica y operativa debe actualizarse constantemente y centralizarse en una plataforma accesible para facilitar el mantenimiento y futuras expansiones del sistema. Del mismo modo, es vital establecer un programa regular de pruebas funcionales que permita validar la confiabilidad del SCADA, los PLC y las redes de comunicación en condiciones reales de operación.

Por último, la supervisión de las condiciones ambientales en las áreas de

operación debe ser una práctica constante, garantizando que los sistemas de ventilación y protección sigan funcionando de manera óptima frente a la polución y la corrosión. Esto, junto con la evaluación periódica de los estándares tecnológicos adoptados, asegurará que el sistema se mantenga alineado con las mejores prácticas de la industria, preservando su eficiencia y competitividad a largo plazo.

## REFERENCIAS

- ABB (2011). *Nº 09 Cuaderno de aplicaciones técnicas: Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2*. <https://library.abb.com/d/1TXA007110G0701>
- Hermosa, D. (1999). *Principios de electricidad y electrónica II (Vol.4)*. Marcombo.
- Alcalde, P. (2014). *Electrotecnia* (6ª ed.). Paraninfo.
- Solbes, R. (2013). *Automatismos Industriales. Conceptos y procedimientos*. Nau Llibres.
- ODVA (s.f). *EtherNet/IP*. <https://www.odva.org/technology-standards/key-technologies/ethernet-ip/>.
- Enríquez, G. (2005). *Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales* (2ª ed.). Limusa
- Floyd, T. (2007). *Principios de circuitos eléctricos* (8ª ed.). Pearson.
- Tanenbaum, A. y Wetherall, D. (2012). *Redes de computadoras* (5ª ed.). Pearson.
- Allen Bradley (2010). *Instrucciones de instalación, pautas de cableado y conexión a tierra para variadores de CA con modulación de impulsos en anchura (PWM)*. [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/drives-in001\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/drives-in001_-es-p.pdf).
- ABB (2023). *Catalogo comercial, productos para distribución de energía y automatización*. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108468A4960&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>.
- Roldán, J. (2024). *Montaje de instalaciones automatizadas* (1ª ed.). Paraninfo.
- International Electrotechnical Commission (2020). *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules* (IEC Standard No. 61439-1:2020). <https://www.iec.ch>.

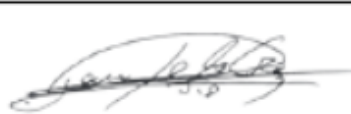
**ANEXOS**

ANEXO N°1. *Protocolo de prueba: grado de protección de tableros con variadores de velocidad.*

ORDEN DE COMPRA: 4516080848 NOMBRE DEL PROYECTO: SUMINISTRO DE TABLEROS - TB, SS & VFD (MIGRACIONES) ETAPA: E&C TÍTULO DEL DOCUMENTO: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE INSPECCIÓN DE TABLERO VARIADOR DE FRECUENCIA.	N.º. NEXA: ET-1790121205-4EIS-0370GRL0003	HOJA 2/8
	N.º. CONSULTOR : 1010712	REV. 0

**TAB - N° Serie 23.0165.06.01**

I Grado de protección de las envolventes (IEC 61439-1 sección 11.2)		Controles de conformidad				
	Criterio de inspección	Requerido	Tipo de Prueba	Evaluación		Observaciones
				OK	NA	
1.1	Verificar la hermeticidad de los equipos externos según lo requerido	IP 54	Inspección visual	X		
1.2	Verificar las perforaciones en gabinete debe contar con sellos de hermeticidad	IP 54	Inspección visual	X		
1.3	Verificar los calados en puerta cumpla con los sellos de hermeticidad	IP 54	Inspección visual	X		
1.4	Verificar la hermeticidad de las tapas de ingreso y salida de cables V	IP 54	Inspección visual	X		
1.5	Verificar la empaquetadura del conjunto gabinete y no cuese con uniones	IP 54	Inspección visual	X		
1.6	Verificar el sentido de apertura de puerta	2 HOJAS (DERECHA E IZQUIERDA)	Inspección visual	X		

EJECUTADO POR TÉCNICO EJECUTANTE	INSPECCIÓN LIDER ELÉCTRICO	SUPERVISIÓN CLIENTE NEXA-CJM
Nombre: Jesta De la Cruz Cochanchalma Fecha: 07/02/2024	Nombre: Stívio Santa Cruz Quispe Fecha: 07/02/2024	Nombre: Fecha:
		

ANEXO N°2. *Protocolo de prueba: protección contra choques eléctricos de tableros con variadores de velocidad.*

ORDEN DE COMPRA: 4516080848 NOMBRE DEL PROYECTO: SUMINISTRO DE TABLEROS - TB, SS & VFD (MIGRACIONES) ETAPA: E&C TÍTULO DEL DOCUMENTO: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE INSPECCIÓN DE TABLERO VARIADOR DE FRECUENCIA.	N.º. NEXA: ET-1790121205-4EIS-0370GRL0003	HOJA 4/8
	N.º. CONSULTOR : 1010712	REV. 0

**TAB - N° Serie 23.0165.06.01**

3 protección contra choque eléctrico e integridad de los circuitos de protección (IEC 61439-1 sección 11.4)		Controles de conformidad				Observaciones
		Requerido	Tipo de Prueba	Evaluación		
1.1	Criterio de inspección			OK	NA	
1.1	Verificar las partes activas del interruptor, borneras 1,3,5, cuentan con protección	Protector sin Perforaciones	Inspección visual	X		
1.2	Verificar las partes activas del interruptor, bornes 2,4,6, cuentan con protección	Protector sin Perforaciones	Inspección visual	X		
1.3	Verificar las partes activas del Busbar cuentan con protección.	Protector sin Perforaciones	Inspección visual	X		
1.4	Verificar las distancias de las partes activas 8cm como mínimo para los cobertores con perforación, norma IEC 60329 tabla 4	Mínimo IP 54-2B	Ensayo de prueba articulado	X		
1.5	Verificar la distancia de instalación de variador de acuerdo a especificación	76.2mm	Medición	X		

EJECUTADO POR TÉCNICO EJECUTANTE	INSPECCIÓN LIDER ELÉCTRICO	SUPERVISIÓN CLIENTE NEXA-CJM
Nombre: Jesús De la Cruz Calanchabua Fecha: 07/02/2024	Nombre: Stívio Santa Cruz Quispe Fecha: 07/02/2024	Nombre: Fecha:
		

ANEXO N°3. *Protocolo de prueba: comportamiento de empleo y funcional de tableros con variadores de velocidad.*

<b>ORDEN DE COMPRA:</b> 4515080848 <b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b> SUMINISTRO DE TABLEROS - TB, SS & VFD (MIGRACIONES) <b>ETAPA:</b> E&C <b>TÍTULO DEL DOCUMENTO:</b> FORMATO DE PROTOCOLO- DESEMPEÑO DE TABLERO VARIADOR DE FRECUENCIA	<b>N.º. NEXA:</b> PX-I790121205-4EIS-0370ELE0004	<b>HOJA</b> 3 de 13
	<b>N.º. CONSULTOR</b> : 1010712	<b>REV.</b> 0

9 Cableado, comportamiento de empleo y funcional (IEC 61439-1 sección 11.10)		Controles de conformidad				
	Criterio de Inspección	Requerido	Tipo de Prueba	Evaluación		Observación
				OK	NC	
1.1	Verificar continuidad del circuito de fuerza SPD, RELE E300, VFD, REACTANCIAS		Medición con multímetro	✓	---	
1.2	Verificar continuidad del circuito de control transformador de tensión		Medición con multímetro	✓	---	
1.3	Verificar continuidad del circuito de comunicación		Medición con multímetro	✓	---	
1.4	Verificación de continuidad punto a punto en el cableado debomes hacia campo.		Medición con multímetro	✓	---	
1.5	Verificación de continuidad en circuito de aterramiento equipos de control.		Medición con multímetro	✓	---	
1.6	Verificación de continuidad en circuito de iluminación.		Medición con multímetro	✓	---	
1.7	Verificación de continuidad en circuito de ventilación y calefacción		Medición con multímetro	✓	---	
1.8	Verificación de continuidad en circuito de entradas y salidas del relé E300		Medición con multímetro	✓	---	
1.9	Verificación de continuidad en circuito de entradas y salidas del VFD		Medición con multímetro	✓	---	
1.10	Verificación de continuidad en circuitos de pulsadores y lámparas en puerta.		Medición con multímetro	✓	---	
1.11	Medición del voltaje en entrada y salida de interruptor general.	440VAC	Medición con multímetro	✓	---	
1.12	Medición del voltaje en entrada y salida de interruptores derivados por cada circuito	Fuerza 440V Control 115V	Medición con multímetro	✓	---	

Nota: Configuración de equipos Ver Anexos. DPAA-088-17-0001 - RGCC-00.2-08



EJECUTADO POR:	VERIFICADO POR:	SUPERVISIÓN CLIENTE NEXA-CJM
Nombre: Montalvo Trujillo Yordan Fecha: 05/03/2024	Nombre: José Bazán Córdova Fecha: 05/03/2024	Nombre: Fecha:
		

ANEXO N°4. *Protocolo de prueba: grado de protección de tableros con arranque por Soft Starter.*

ORDEN DE COMPRA: 4516080848 NOMBRE DE PROYECTO: SUMINISTRO DE TABLEROS - TB, SS & VF ETAPA: E&CD (MIGRACIONES) TITULO DEL DOCUMENTO: FORMATO PROTOCOLO- PRUEBAS ELECTRICAS EN TABLERO DE ARRANQUE POR SOFT STARTER	N.º. NEXA: ET-1790121205-4EIS-0370GRLD001	HOJA 2/8
	N.º. CONSULTOR : 1010712	REV. B

**TAB - N° Serie 23.0165.08.01**

1 Grado de protección de las envolventes (IEC 61439-1 sección 11.2)		Controles de conformidad				
	Criterio de inspección	Requerido	Tipo de Prueba	Evaluación		Observaciones
				OK	NA	
1.1	Verificar la hermeticidad de los equipos externos según lo requerido	IP 54	Inspección visual	X		
1.2	Verificar las perforaciones en gabinete debe contar con sellos de hermeticidad	IP 54	Inspección visual	X		
1.3	Verificar los calados en puerta cumpla con los sellos de hermeticidad	IP 54	Inspección visual	X		La pantalla HIM será instalado en campo
1.4	Verificar la hermeticidad de las tapas de ingreso y salida de cables V	IP 54	Inspección visual	X		
1.5	Verificar la empaquetadura del conjunto gabinete y no cuente con uniones	IP 54	Inspección visual	X		
1.6	Verificar el sentido de apertura de puerta	Apertura a la derecha	Inspección visual	X		



EJECUTADO POR TÉCNICO EJECUTANTE	INSPECCIÓN LIDER ELÉCTRICO	SUPERVISIÓN CLIENTE NEXA-CJM
Nombre: Sebastián Macedo Putapán Fecha: 26/10/23	Nombre: Stívio Santa Cruz Quipe Fecha: 26/10/23	Nombre: Fecha:
		

ANEXO N°5. *Protocolo de prueba: protección contra choques eléctricos de tableros con variadores de velocidad.*

ORDEN DE COMPRA: 4516080848 NOMBRE DE PROYECTO: SUMINISTRO DE TABLEROS - TB, SS & VF ETAPA: E&CD (MIGRACIONES) TÍTULO DEL DOCUMENTO: FORMATO PROTOCOLO- PRUEBAS ELECTRICAS EN TABLERO DE ARRANQUE POR SOFT STARTER	N.º. NEXA: ET-4790121205-4EIS-0370GRL0001	HOJA 4/8
	N.º. CONSULTOR : 1010712	REV. B

**TAB - N° Serie 23.0165.08.01**

3 protección contra choque eléctrico e integridad de los circuitos de protección (IEC 61439-1 sección 11.4)		Controles de conformidad				
	Criterio de inspección	Requerido	Tipo de Prueba	Evaluación		Observaciones
				OK	NA	
1.1	Verificar las partes activas del interruptor, borneras 1,3,5, cuentan con protección	Protector sin Perforaciones	Inspección visual	X		
1.2	Verificar las partes activas del interruptor, bornes 2,4,6, cuentan con protección	Protector sin Perforaciones	Inspección visual	X		
1.3	Verificar las partes activas del Busbar cuentan con protección.	Protector sin Perforaciones	Inspección visual	X		
1.4	Verificar la distancia del variador de acuerdo a la especificación	152.4mm	Medición	X		Se realizó calculo de ventilación forzada por parte Ingeniería.

EJECUTADO POR TÉCNICO EJECUTANTE	INSPECCIÓN LIDER ELÉCTRICO	SUPERVISIÓN CLIENTE NEXA-CJM
Nombre: Sebastián Macedo Patapala Fecha: 26/10/23	Nombre: Stívie Santa Cruz Quipe Fecha: 26/10/23	Nombre: Fecha:
		

ANEXO N°6. *Protocolo de prueba: comportamiento de empleo y funcional de tableros con arranque por Soft Starter.*

ORDEN DE COMPRA: 4516080848 NOMBRE DEL PROYECTO: SUMINISTRO DE TABLEROS - TB, SS & VFD (MIGRACIONES) ETAPA: E&C TÍTULO: TÍTULO DEL DOCUMENTO: FORMATO DE PROTOCOLO- DESEMPEÑO DE TABLERO SOFT STARTER	N.º. NEXA: PX-1790121205-4EIS-0370ELE0005	HOJA 1/13
	N.º. CONSULTOR : 1010712	REV. 0

9 Cableado, comportamiento de empleo y funcional (IEC 61439-1 sección 11.10)		Controles de conformidad				
	Criterio de inspección	Requerido	Tipo de Prueba	Evaluación		Observación
				OK	NC	
1.1	Verificar continuidad del circuito de fuerza SPD, RELE E300, SOFT STARTER.		Medición con multímetro	✓	....	
1.2	Verificar continuidad del circuito de control transformador detención TC1		Medición con multímetro	✓	....	
1.3	Verificar continuidad del circuito de comunicación		Medición con multímetro	✓	....	
1.4	Verificación de continuidad punto a punto en el cableado de bornes hacia campo.		Medición con multímetro	✓	....	
1.5	Verificación de continuidad en circuito de aterramiento equipos de control.		Medición con multímetro	✓	....	
1.6	Verificación de continuidad en circuito de iluminación.		Medición con multímetro	✓	....	
1.7	Verificación de continuidad en circuito de ventilación.		Medición con multímetro	✓	....	
1.8	Verificación de continuidad en circuito de entradas y salidas del relé E300		Medición con multímetro	✓	....	
1.9	Verificación de continuidad en circuito de entradas y salidas del SOFT STARTER		Medición con multímetro	✓	....	
1.10	Verificación de continuidad en circuitos de pulsadores y lámparas en puerta.		Medición con multímetro	✓	....	
1.11	Medición del voltaje en entrada y salida de interruptor general.	440V	Medición con multímetro	✓	....	
1.12	Medición del voltaje en entrada y salida de interruptores derivados por cada circuito	Fuerza 440V Control 115V	Medición con multímetro	✓	....	

Nota: Configuración de equipos Ver Anexos. RGCC-03.2-05 - RGCC-03.2-06

EJECUTADO POR	VERIFICADO POR	SUPERVISIÓN CLIENTE NEXA-CJM
Nombre: Montalvo Trujillo Yordan Fecha: 01/11/2023	Nombre: José Bazán Cordova Fecha: 01/11/2023	Nombre: Fecha:
