



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DEL SISTEMA SCADA PARA EL
REACONDICIONAMIENTO DE LA MINI CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE OLLACHEA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDYSON QUISPE TAPIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a mis padres por el apoyo incondicional durante mi formación profesional, ellos me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Edyson Quispe Tapia



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi querida alma mater la Universidad Nacional del Altiplano Puno, a mis docentes de Ingeniería Electrónica que me guiaron en la formación profesional y en especial a mi asesor David Salinas Mendoza por su apoyo en la elaboración de esta tesis.

Edyson Quispe Tapia



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... 16

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 17

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 17

1.3.1 Hipótesis General..... 17

1.3.2 Hipótesis Especifica..... 17

1.4 OPERACIÓN DE VARIABLES..... 18

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 18

1.5.1 Justificación Social 19

1.5.2 Tecnológico 19

1.5.3 Económico 19

1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.6.1 Objetivo General..... 19

1.6.2 Objetivos Específicos 20



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES.....	21
2.1.1 Antecedentes Internacionales	21
2.1.2 Antecedentes Nacionales	24
2.2 MARCO TEORICO.....	25
2.2.1 Central hidroeléctrica.....	25
2.2.2 Clasificación de centrales hidroeléctricas.....	26
2.2.3 Generador eléctrico.....	26
2.2.4 Turbina hidráulica.....	27
2.2.5 Sensor.....	28
2.2.6 Actuadores	28
2.2.7 Controlador Lógico Programable	29
2.2.8 Interfaz Hombre Maquina HMI.....	30
2.2.9 Norma técnica ANSI-ISA 101	31
2.2.10 Sistema SCADA	32
2.2.11 Tia Portal (Totally Integrated Automation).....	34
2.2.12 Lenguajes de programación.....	35

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.1.1 Tipo de investigación.....	36
3.1.2 Diseño de investigación.....	36
3.2 MUESTRA Y POBLACIÓN	37
3.3 UBICACIÓN.....	37



3.4	MATERIALES	38
3.4.1	Equipos	38
3.4.2	Software	38
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	38
3.5.1	Técnica.....	38
3.5.2	Instrumento	38
3.5.3	Procedimiento para la recolección de datos.....	39
3.6	DIAGRAMA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DEL SISTEMA	39
3.7	CÁLCULO DE CAUDAL HIDROLÓGICO DE LA MINI CENTRAL ..	40
3.8	CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA.....	40
3.9	ESCALADO DE VALORES ANALÓGICOS.....	41
3.10	AUTOMATIZACIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA .	42
3.10.1	Software de automatización.....	42
3.11	PROGRAMACIÓN DE PLC	43
3.11.1	Lista de variables de PLC	43
3.11.2	Diagrama de flujo de programación Ladder de la mini central hidroeléctrica	49
3.11.3	Funcionamiento manual automático de la mini central hidroeléctrica .	50
3.11.4	Puesta en marcha de la mini central hidroeléctrica.....	51
3.11.5	Mini central fuera de servicio	52
3.11.6	Puesta en marcha del generador y elementos auxiliares.....	52
3.11.7	Condiciones iniciales para arrancar sistema de regulación y refrigeración.....	53
3.11.8	Apertura de válvula mariposa	55



3.11.9	Circulación de agua	55
3.11.10	Accionar funcionamiento del Sincronoscopio.....	56
3.11.11	Acoplamiento a la red.....	57
3.11.12	Parada de emergencia de la mini central	57
3.11.13	Escalado de caudal de agua en las instalaciones de la mini central hidroeléctrica	58
3.11.14	Escalado de posición del distribuidor.....	59
3.11.15	Escalado nivel de aceite.....	60
3.11.16	Escalado de presión del aceite	61
3.11.17	Escalado de temperatura del estator en generador	62
3.11.18	Escalado de temperatura del aceite reguladora.....	63
3.11.19	Escalado de tensiones	64
3.11.20	Escalado de tensiones en corriente alterna AC.....	65
3.12	CARGAR PROYECTO EN SISTEMAS PARA PC.....	67

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL MEDIANTE SCADA.....	69
4.1.1	Menú principal.....	69
4.1.2	Secuencia de arranque y parada.....	70
4.1.3	Grupo Generador	72
4.1.4	Temperaturas, nivel, presión de aceite.....	73
4.1.5	Unifilar.....	75
4.1.6	Tensiones	76
4.1.7	Resultados del escalado de caudal de agua.....	77



4.1.8	Resultados del escalado de posición del distribuidor	78
4.1.9	Resultados del escalado nivel de aceite	78
4.1.10	Resultados del escalado de presión del aceite	79
4.1.11	Resultados del escalado de temperatura en el estator.....	80
4.1.12	Resultados del escalado de la temperatura en aceite reguladora	81
4.1.13	Resultado del escalado de tensiones DC.....	82
4.1.14	Resultados del escalado de tensiones en corriente alterna AC	83
4.2	DISCUSIÓN	84
V.	CONCLUSIONES.....	86
VI.	RECOMENDACIONES.....	87
VII.	REFERENCIAS.....	88
ANEXOS.....		91

ÁREA : Control y Automatización

TEMA: sistemas de control y automatización

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 01 de julio del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Esquema de una hidroeléctrica.....	25
Figura 2.2:	Partes de un generador	27
Figura 2.3:	Componentes de una turbina Francis	28
Figura 2.4:	Diagrama de componentes de un PLC.....	30
Figura 2.5:	Arquitectura de un sistema SCADA	34
Figura 3.1:	Ubicación de la mini central hidroeléctrica Ollachea	37
Figura 3.2:	Sistema esquemático de un SCADA.....	39
Figura 3.3:	Software TIA porta V15.....	42
Figura 3.4:	Diagrama de flujo programación Ladder	49
Figura 3.5:	Funcionamiento automático de la mini central hidroeléctrica	50
Figura 3.6:	Funcionamiento manual de la mini central hidroeléctrica	50
Figura 3.7:	Puesta en marcha la mini central hidroeléctrica.....	51
Figura 3.8:	Mini central fuera de servicio	52
Figura 3.9:	Puesta en marcha del generador y elementos auxiliares	53
Figura 3.10:	Condiciones iniciales para arrancar sistema de regulación y refrigeración	54
Figura 3.11:	Apertura de válvula	55
Figura 3.12:	Circulación de agua.....	56
Figura 3.13:	Accionar funcionamiento del sincronoscopio.....	56
Figura 3.14:	Acoplamiento a la red	57
Figura 3.15:	Parada de emergencia de la mini central.....	58
Figura 3.16:	Escalado de caudal de agua en las instalaciones de la mini central	59
Figura 3.17:	Escalado de posición del distribuidor	60
Figura 3.18:	Escalado nivel de aceite	60



Figura 3.19:	Escalado de presión del aceite.....	61
Figura 3.20:	Escalado de temperatura del estator	62
Figura 3.21:	Escalado de la temperatura de aceite.....	63
Figura 3.22:	Escalado de tensiones	64
Figura 3.23:	Escalado de tensiones en corriente alterna.....	66
Figura 3.24:	Configuración de sistemas PC1	67
Figura 3.25:	Configuración de sistemas PC2	67
Figura 3.26:	Configuración de sistemas PC3	68
Figura 4.1:	Menú principal	70
Figura 4.2:	Secuencia de arranque.....	72
Figura 4.3:	Tensiones del grupo generador	73
Figura 4.4:	Control de temperatura, nivel y presión de aceite.....	74
Figura 4.5:	Unifilar eléctrico	75
Figura 4.6:	Medida de tensiones en corriente alterna y directa	76



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1:	Operación de variables	18
Tabla 2.1:	Clasificación de Centrales por su capacidad instalada	26
Tabla 3.1:	Parámetros para escalado.....	41
Tabla 3.2:	Lista de variables línea 1	43
Tabla 3.3:	Lista de variables línea 2	45
Tabla 3.4:	Lista de variables línea 3	46
Tabla 3.5:	Lista de variables línea 4	47
Tabla 3.6:	Lista de variables línea 5	48
Tabla 4.1:	Variables para el proceso de arranque	71
Tabla 4.2:	Variables magnitudes de grupo generador	72
Tabla 4.3:	Variables de temperatura, nivel, presión de aceite	74
Tabla 4.4:	Variables unifilar eléctrico	75
Tabla 4.5:	Variables tensión AC, DC	76
Tabla 4.6:	Valores para escalado de agua.....	77
Tabla 4.7:	Valores para escalado del distribuidor.....	78
Tabla 4.8:	Valores para escalado nivel de aceite	79
Tabla 4.9:	Valores para escalado de presión del aceite	80
Tabla 4.10:	Valores para escalado del estator.....	81
Tabla 4.11:	Valores para escalado de temperatura del aceite	82
Tabla 4.12:	Valores para el escalado de tensión DC	83
Tabla 4.13:	Valores para escalado tensión AC	84



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

SCADA:	Supervisory Control and Data Acquisition
PLC:	Programmable Logic Controller
HMI:	Human Machine Interface
FEM:	Fuerza Electromotriz
MTU:	Master Terminal Units
KOP:	Esquema de Contactos
FUP:	Diagrama de Funciones
SFC:	Sequential function chart (diagrama funcional secuencial)
AC:	Corriente Alterna
DC:	Corriente Continua



RESUMEN

El presente proyecto de tesis se enmarca en el reacondicionamiento de la antigua mini central hidroeléctrica de agua fluyente basado en la caída natural del agua con un caudal promedio de $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$, conducido a través de una tubería forzada desde la cámara de carga hasta la turbina de reacción de tipo Francis de eje horizontal con un distribuidor regulable, generador de tipo síncrono trifásico de 60 Hz, potencia de 200Kva, se tiene un transformador trifásico 250Kva de tipo ONAN (aceite y refrigeración natural) el cual permitirá que los servicios básicos en los hospitales, colegios e instituciones importantes cuenten con energía eléctrica de forma ininterrumpida ante un corte intempestivo que son frecuentes de la zona. El control de la mini central se mejorará mediante una elaborada secuencia de arranque y parada, programación de funciones por segmentos y los gráficos de un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) ya que cuenta con una estructura básica que parte de sus controladores lógicos programables (PLC) Siemens S7-300, el cual a su vez se comunican con diversos objetos, actuadores, máquinas, dispositivos, o HMI. De forma que los resultados que se obtiene es una planta mucho más eficiente permitiendo a los operadores y otros trabajadores visualizar el proceso de funcionamiento por medio de pantallas HMI y realizar un análisis de los datos para facilitar la toma de decisiones como labores de mantenimiento y procesos de encendido.

Palabras Clave: Hidroeléctrica, software de programación, SCADA.



ABSTRACT

This thesis project is part of the refurbishment of the old flowing water mini-hydroelectric plant based on the natural fall of water with an average flow of 0.65 m³ / s, conducted through a penstock from the loading chamber. up to the horizontal axis Francis-type reaction turbine with an adjustable distributor, 60 Hz three-phase synchronous generator, 200 Kva power, there is a 250 Kva three-phase ONAN-type transformer (oil and natural cooling) which will allow the services services in hospitals, schools and important institutions have uninterrupted electrical power in the event of untimely cuts that are frequent in the area. The control of the mini plant will be improved by means of an elaborate start-up and shutdown sequence, programming of functions by segments and the graphics of a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system since it has a basic structure that starts from its programmable logic controllers (PLC) Siemens S7-300, which in turn communicate with various objects, actuators, machines, devices, or HMI. So that the results obtained is a much more efficient plant allowing operators and other workers to view the operating process through HMI screens and perform data analysis to facilitate decision-making such as maintenance tasks and processes. ignition.

Keywords: Hydroelectric, programming software, SCADA.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el distrito de Ollachea el servicio de energía eléctrica es deficiente por falta de mantenimientos, las líneas eléctricas son propensos a los fenómenos naturales que produzcan fallas en el servicio eléctrico, por ende, ante los cortes imprevistos se propone reacondicionar el funcionamiento de la mini central hidroeléctrica, con este proyecto se estará obteniendo un mejor uso de las energías renovables logrando el máximo potencial hidro energético con una energía más limpia.

Con la puesta en marcha de construcciones de grandes centrales hidroeléctrica en el Perú, hizo que muchas mini centrales sean abandonadas por la obsolescencia de sus equipos, con la implementación de un sistema SCADA se desarrollará un estudio de ingeniería en general que contribuirá al avance e implementación de procedimientos actuales en equipos esenciales para mantener la operación, con lo propuesto se elaborara un manual de operación en donde se puede conocer su funcionamiento, sus componentes y tener en claro el proceso de mantenimiento de cada uno de los equipos que contiene la mini central hidroeléctrica la turbina Francis de eje horizontal, equipos de automatización, la electrónica de comunicaciones y la programación que permita implementar un sistema de control automático para el funcionamiento de forma no atendida de la mini central hidroeléctrica. La misma que además estará centralizado en un sistema eléctrico de distribución, todo mediante el uso de tecnología que permita el uso eficiente de los recursos.

En el diseño del sistema SCADA se hará uso de un panel de instrumentos del operario para la supervisión en línea, el cual reporta a un operario ante una posible falla enumerando la incidencia de errores que se tiene. El operario pausa la operación y



visualiza los datos del sistema a través de una HMI para determinar la causa del problema y dar una solución a la incidencia.

El proyecto de investigación está organizado en tres capítulos, de la siguiente manera:

En el **primer capítulo I**: Se describe el planteamiento del problema y los objetivos específicos a seguir en el proceso de investigación.

En el **segundo capítulo II**: trata el contenido de los antecedentes y revisión literaria en función de la automatización de la mini central hidroeléctrica.

En el **tercer capítulo III**:

- Tenemos el tipo, diseño y las técnicas de investigación que permiten controlar los procesos de automatización.
- Tenemos la estructura de programación en lenguaje esquema de contactos KOP.

En el **cuarto capítulo IV**: Trata sobre el análisis de los resultados y discusiones obtenidos en los capítulos precedentes, así mismo se menciona las conclusiones y recomendaciones sobre el proyecto de investigación.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El Perú se encuentra en una situación privilegiada por sus cuencas hidrográficas cuyas aguas son factibles para el uso de generación eléctrica, las mini centrales hidroeléctricas son una fuente de energía renovable, suministran energía ante los cortes imprevistos por fenómenos naturales evitando daños en los usuarios de uso doméstico, en las pequeñas industrias, colegios y los centros de salud deben contar con un sistema de respaldo de energía que garantice que la electricidad no se verá afectada o



interrumpida pese a fallas que puedan presentarse y evitar la pérdida de minutos valiosos ante una situación de emergencia.

La industria 4.0 se centra en el establecimiento de productos inteligentes y procesos de producción, haciendo uso de las diferentes tecnologías que se unen de distintas maneras con el mismo fin. Debido a que todas las industrias, centrales hidroeléctricas necesitan un sistema de control dependiendo de sus características y necesidades, se implementan el uso de tecnología como los sistemas SCADA que permiten mejorar, añadir nuevas capacidades a las prestaciones de los equipos reduciendo los costos de mantenimiento.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo desarrollar un sistema SCADA que permita mejorar la eficiencia en la producción de energía eléctrica?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis General

El reacondicionamiento de la mini central hidroeléctrica a través de un sistema SCADA permite mejorar la toma de decisiones más inteligentes sin necesidad de asumir riesgos con equipos de potencia en una planta, aportando mayor eficiencia potencial hidro energético.

1.3.2 Hipótesis Específica

- Recopilar información en el diseño de una base de datos para el proceso de control en sensores, actuadores y motores eléctricos.
- Establecer secuencia de arranque, parada bajo condiciones normales y ante sucesos de fallas.
- Implementar el diseño de una plataforma de monitoreo industrial por medio de pantalla HMI.

1.4 OPERACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1.1: Operación de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR
INDEPENDIENTE: Proceso de diseño automatización de la mini central hidroeléctrica Ollachea	Ejecución del proceso	- Motores - Sensores - Actuadores
DEPENDIENTE: Monitorización del sistema SCADA de la mini central	Sistema de supervisión TIA Portal	- Visual

Elaboración propia

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad todas las nuevas construcciones de centrales hidroeléctricas son totalmente automatizadas. De hecho, una de las acciones que se viene realizando en el sector hidro energético es la modernización de antiguas plantas hidroeléctricas con el propósito de obtener mayores rendimientos energéticos. En ese contexto se propone desarrollar el diseño de un sistema SCADA en el reacondicionamiento de la mini central hidroeléctrica de Ollachea la cual permitirá la gestión de las funciones de la central, ofreciendo mayores posibilidades de automatización, contribuyendo al avance e implementación de procedimientos actuales en equipos esenciales para mantener la operación, con lo propuesto se elaborara un manual de operación y de mantenimiento, en donde se puede conocer su funcionamiento sus componentes y tener en claro el proceso de mantenimiento de cada uno de los equipos que contiene la mini central hidroeléctrica la turbina Francis de eje horizontal, equipos de automatización, la electrónica de comunicaciones y la programación que permita implementar un sistema de control automático para el funcionamiento de forma no atendida de la mini central hidroeléctrica. La misma que además estará centralizado en un sistema eléctrico de



distribución, todo mediante el uso de tecnología que permita el uso eficiente de los recursos.

En el proceso de automatización se hará uso de un panel de instrumentos del operario para la supervisión en línea, el cual reporta a un operario ante una posible falla enumerando la incidencia de errores que se tiene. El operario pausa la operación y visualiza los datos del sistema a través de una HMI para determinar la causa del problema y dar una solución a la incidencia.

1.5.1 Justificación Social

La implementación de un sistema SCADA permite mejorar las condiciones de trabajo del personal que lo opera sin asumir peligros de contacto directo o indirecto en trabajos de alto riesgo eléctrico, cumpliendo con lo dispuesto por el código nacional de electricidad y normas técnicas complementarias.

1.5.2 Tecnológico

El diseño de un sistema de automatización industrial permite monitorear gráficamente los procesos productivos y advertencias de fallas en tiempo real.

1.5.3 Económico

La implementación de un sistema SCADA permite mejorar y gestionar la producción de energía eléctrica eficientemente optimizando todos procesos de operación. De este modo se realiza una disminución considerable en los costos de recursos empleados para dichas tareas.

1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Objetivo General

Desarrollar el reacondicionamiento en la mini central hidroeléctrica de Ollachea por medio de un sistema SCADA que permita proveer energía eficientemente.



1.6.2 Objetivos Específicos

- Elaborar secuencia de arranque y parada de la mini central hidroeléctrica.
- Programar secuencias y funciones por segmentos que controlan las operaciones de la mini central hidroeléctrica.
- Diseñar los gráficos del sistema SCADA según las unidades de proceso de funcionamiento.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes Internacionales

(Cajisaca & Gomez, 2014) En su tesis “Estudio del sistema de control automático y telecomando de la minicentral hidroeléctrica Gualaceo” muestra los principales aspectos a considerar para automatizar la mini central hidroeléctrica de Gualaceo, en el uso de los equipos que son parte de la minicentral, se enfocan en el funcionamiento de cada uno de ellos identificando las señales de entrada y salida, así como la asignación de secuencias de operación: arranque, parada normal y parada de emergencia. Finalmente se presenta la arquitectura de comunicación, donde se observa las conexiones de equipos y protocolos de comunicación empleados. La metodología de investigación se basa en método deductivo, a través de recopilación de información de mini centrales hidroeléctricas la que permitirá fundamentar los criterios y métodos a desarrollar, en la segunda parte se basa en un método inductivo enmarcado en el estudio de la configuración del PLC e IHM considerando el tipo de central y el sistema de control no atendido y telecomando que será empleados en la minicentral. El avance tecnológico de los elementos empleados para el control y la operación de la minicentral permite un desempeño adecuado de los elementos del funcionamiento de la minicentral.

(Caminero, 2015) en su trabajo de fin de grado “proyecto de rehabilitación de central hidroeléctrica en ribas de campos” describe las instalaciones existentes donde se llevará a cabo la instalación hidromecánica y eléctrica necesaria para el correcto funcionamiento, así como los cálculos correspondientes que justifiquen su puesta en



marcha. La producción de energía eléctrica asegura un desarrollo sostenible, cuyo impacto socioeconómico y ambiental es positivo para la zona.

(Pérez-López, 2015), se enfoca en la importancia de los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos SCADA, como un aspecto fundamental en los procesos de automatización industrial actual, para ello se usa diversos periféricos, software, unidades remotas, sistemas de comunicación permitiendo tener acceso de historial de las alarmas y variables para un control de mayor claridad. La función de monitoreo de estos sistemas se realiza sobre un computador industrial ofreciendo una visión de parámetros de control sobre la pantalla del ordenador HMI (Human Machine Interface) con las estandarizaciones actuales de las comunicaciones con dispositivo de campo se puede implementar un sistema SCADA sobre prácticamente cualquier tipo de bus como RS-232, RS-422 y RS-485. Una premisa fundamental en la automatización industrial es que las maquinas o software hagan lo que les corresponde, y que el ser humano no haga lo que la maquina pueda realizarlo mecánicamente de esta forma el ser humano dedicara el tiempo a tareas que dediquen pensar y no a trabajos repetitivos.

(Filali-Yachou, González-González, & Lecuona-Rebollo, 2015) menciona que. La tarea de informar al operador de todas las actividades en un proceso industrial es realizada por la Interfaz Hombre-Máquina (HMI). Como tal, es necesaria una buena comunicación entre el operador y el sistema de control automatizado. Este proceso de comunicación permite analizar diferentes anomalías y modificar parámetros relacionados con el proceso de control. Desde un punto de vista normativo y operativo, la supervisión es una tarea delicada y esencial. Por lo tanto, este trabajo garantiza la calidad y la eficiencia del proceso, y el operador suele ser el que toma las decisiones con respecto a las acciones de control (p. 181).



(Semerci & Yavuz, 2016), menciona El diseño de las turbinas Francis son comunes en las centrales hidroeléctricas con alturas menores a 800m de caída por las presiones existentes en los sellos de la turbina. debido a su alta eficiencia y su uso extensivo, una turbina francis tiene varios componentes como la caja espiral, paletas, paletas guía, corredor y tiro tubo. Para el proceso de funcionamiento El agua que fluye se acelera en el distribuidor mediante los álabes distribuidores ajustables y se desvía en los álabes móviles. A través de la desviación y aceleración al interior se produce un impulso, que se transmite al rotor.

(Sudjoko & Darwito, 2017) menciona el generador síncrono es la fuente de energía eléctrica, es el encargado de convertir la energía mecánica en energía eléctrica, la obtención de energía solo es posible si existe un sistema de excitación regulada proporcionando corriente continua al bobinado de campo del generador síncrono, está diseñado para funcionar a una velocidad específica para producir voltaje y frecuencia adecuado.

(Ali, Siddiqi, Muhammad, & Arshad, 2018) menciona que, la central hidroeléctrica es la tecnología de producción de energía renovable más económica, respetuosa con el medio ambiente y en zonas rurales y montañosas. La mayor parte se ejecuta en plantas de tipo fluvial, sin reservorio en la carrera de cabecera y la turbina funciona a una cabeza constante. Pero las descargas de agua y la carga del consumidor varían, lo que causa cambios en la velocidad y frecuencia del generador. Para mantener constante la velocidad y frecuencia del generador, este documento presenta un controlador de lógica difusa para el control del flujo de agua a través del motor paso a paso y la puerta deslizante. Para cambios abruptos en la carga, se utiliza un controlador de carga electrónico que conmuta las cargas ficticias en el cruce por cero de la onda sinusoidal para mantener constante la frecuencia.



(Mejía, Jabba, Carrillo, & Caicedo, 2019) señalan que, en el diseño de sistemas de automatización industrial de la actualidad, las industrias están obligadas a utilizar nuevos sistemas que soporten la dinámica a la que se enfrentan las organizaciones. Sin embargo, los sistemas actuales de las empresas carecen de este dinamismo, lo que muchas veces imposibilita la implementación de nuevas funcionalidades a los procesos de producción autónomos, debido a la poca flexibilidad y agilidad de responder a la dinámica de los estilos de producción que se experimentan hoy día (p. 221).

2.1.2 Antecedentes Nacionales

(Parianza , 2018) en su tesis “automatización de los sistemas de control y monitoreo de una central hidroeléctrica para su operación remota” menciona que las centrales hidroeléctricas necesitan monitorear una serie de variables en distintos sistemas principales y auxiliares para garantizar el correcto funcionamiento de los grupos generadores, el objetivo de diseñar e implementar un sistema de operación fiable, incrementa la eficiencia de proceso de generación hidráulica disminuyendo los riesgos de operación si fuese realizado manualmente por un operador, la investigación se enmarca conforme a los avances tecnológicos en automatización y control.

(Atayupanqui, 2019) en su tesis “reacondicionamiento de la mini central hidroeléctrica de urpay-urcos-cusco para una potencia de 400 kw” menciona que a raíz de los desastres naturales se pone al descubierto la enorme vulnerabilidad del sistema eléctrico regional a depender de una sola fuente de energía, es así que las empresas concesionarias de distribución eléctrica han tomado otra política de suministro de energía poniendo en marcha la recuperación de pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas, en diseño se debe seleccionar y proyectar las características de las futuras máquinas que deberán ser instaladas. La investigación del proyecto es de tipo aplicada, estudia una realidad de acuerdo a la información confirmada por hechos, en

segundo nivel de investigación menciona que es descriptivo y explicativo porque describe el fenómeno problemático tal cual se presenta.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es una instalación que aprovecha el agua almacenada de embalses para transformar la energía cinética en energía potencial, necesaria para girar el rotor de un generador y posteriormente transformarlo en energía eléctrica.

- Las centrales hidroeléctricas se construyen en los cauces de los ríos para ser derivado a un embalse artificial reteniendo el agua.
- El agua circula por una tubería forzada diseñada para que aumente su velocidad.
- El agua pasa a una presión por una turbina provocando movimiento rotatorio.
- La turbina está conectada a generador eléctrico por medio de un eje produciendo electricidad.

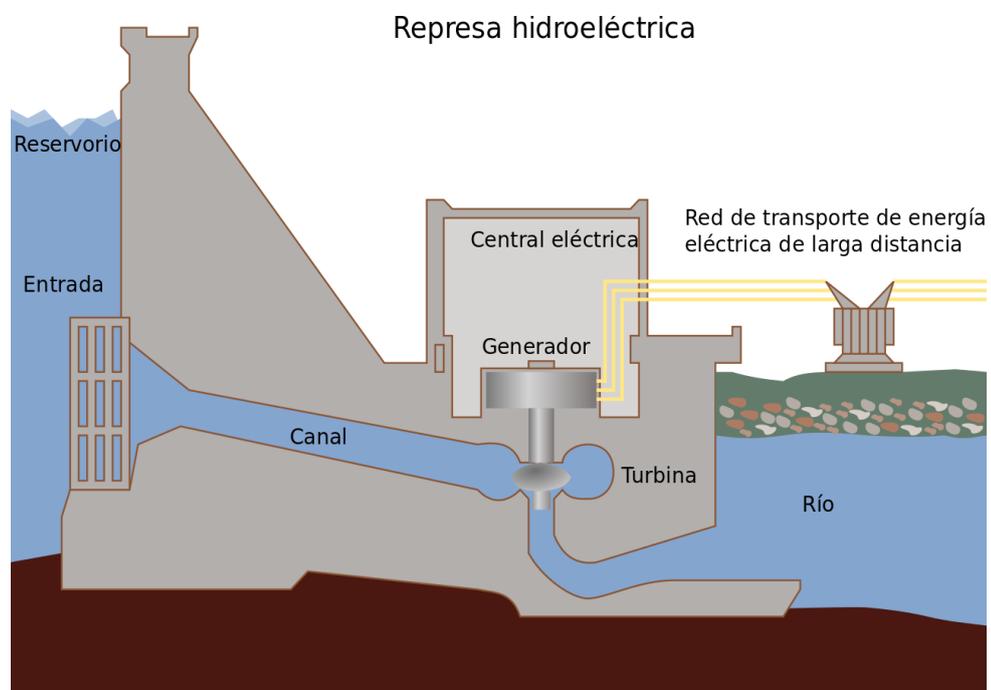


Figura 2.1: Esquema de una hidroeléctrica

Fuente: (Wikimedia, 2008)

2.2.2 Clasificación de centrales hidroeléctricas

La clasificación de las centrales hidroeléctricas se da según la capacidad de potencia instalada.

Tabla 2.1: Clasificación de Centrales por su capacidad instalada

TIPO	POTENCIA INSTALADA (KW)
Pico Centrales	0.5 – 5
Micro Centrales	5 – 50
Mini Centrales	50 – 500
Pequeñas Centrales	500 – 10 000
Grandes Centrales	> 10 000

Fuente: (Ortiz Flórez, 2011)

2.2.3 Generador eléctrico

Es una máquina que puede mantener la diferencia de potencial entre dos bornes y convertir la energía mecánica en energía eléctrica. Esta transformación se logra mediante el campo magnético que actúa sobre los conductores eléctricos del inducido también llamado estator. Si hay un movimiento mecánico relativo entre el conductor y el campo, se generará una fuerza electromotriz (F.E.M.). El sistema se basa en la ley de Faraday.

Un generador tiene dos partes fundamentales el inductor que es la parte rotativa formado por bobinas por las que pasa corriente continua creando un campo magnético y el inducido encargado de producir energía eléctrica alterna (Chapman, 2005).

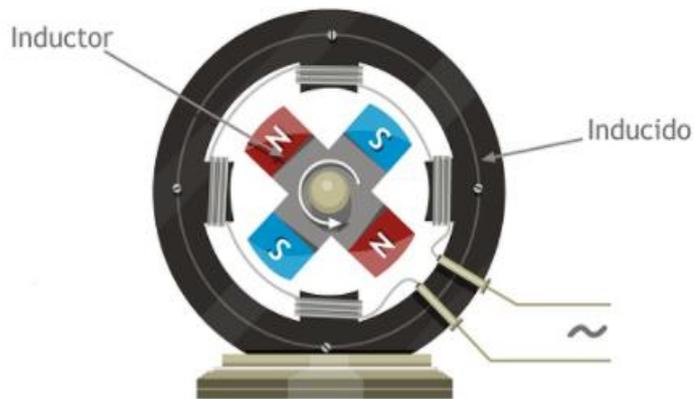


Figura 2.2: Partes de un generador

Fuente: (Aprende con Ciencia, s.f)

2.2.4 Turbina hidráulica

Una turbina hidráulica es un dispositivo que convierte energía hidráulica en energía mecánica para producir un movimiento de rotación, que luego se transfiere para mover un generador eléctrico que transforma energía mecánica en eléctrica.

2.2.4.1. Clasificación

Turbinas de acción: Son aquellas en la que se aprovecha la velocidad del flujo de agua para impulsar el rodete, por lo que antes se debe transformar toda energía de presión del fluido en energía cinética dentro de los tipos que se tiene esta la turbina Pelton, turbina Turgo, turbina Banki- Michel.

Turbinas de reacción: Son aquellas en donde se accionan por medio de la presión que el líquido ejerce en los alabes del rodete los más importantes de este tipo están la turbina Francis, turbina Kaplan, turbina Deriaz (Sanz Osorio, 2008).

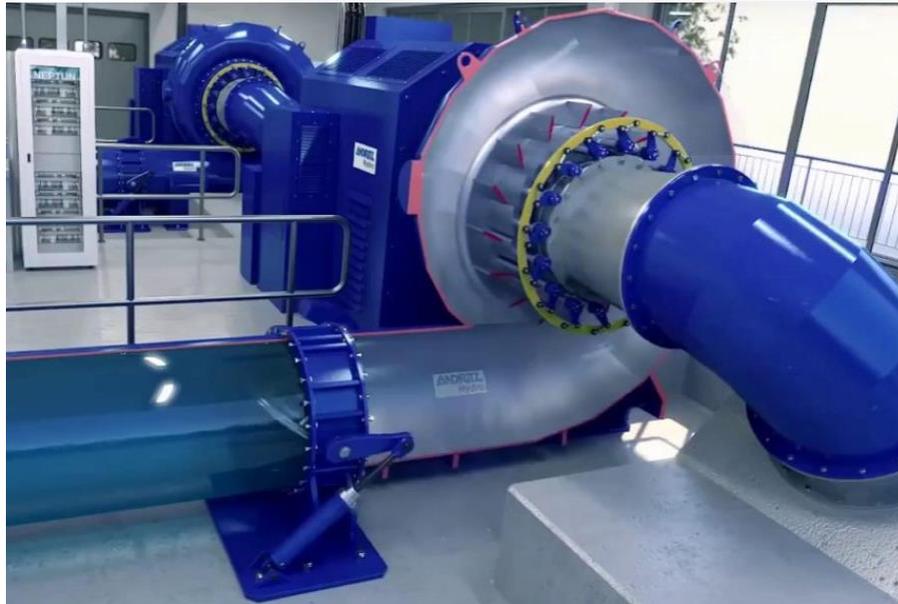


Figura 2.3: Componentes de una turbina Francis

Fuente: (Portillo, s.f.)

2.2.5 Sensor

Un sensor es un dispositivo con una característica sensible a la magnitud del medio, estos dispositivos transforman las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas capaces de ser entendidas por un microcontrolador.

2.2.5.1. Clasificación de los sensores

Activos: Son dispositivos que requieren de una fuente externa energía para su funcionamiento.

Pasivos: No requieren de una fuente de alimentación externa, sino que responden a las condiciones medioambientales para su correcto funcionamiento entre ellos tenemos.

2.2.6 Actuadores

Es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en neumática o hidráulica para aplicar fuerza, los actuadores se usan tradicionalmente en aplicaciones de industrias, los tipos de movimientos básicos que tienen son rotatorio y lineal.



2.2.7 Controlador Lógico Programable

Los controladores lógicos programables PLC son equipos electrónicos diseñados para realizar funciones lógicas mediante una programación, su funcionamiento se basa en recibir información de los sensores o dispositivos de entrada, luego procesar los datos y activar la salida en función de parámetros debidamente programados.

2.2.7.1. Características de un autómata programable

Dentro de sus características del CPU del PLC está la de almacenar y procesar datos del programa, los módulos de entrada y salida conectan el PLC con el resto de equipos, también son los que proporcionan información hacia el CPU y se activan resultados específicos. Las entradas y salidas son de tipo analógico o digital, los dispositivos de entrada pueden incluir sensores, medidores, interruptores en tanto las salidas incluyen válvulas, relés, luces pilotos y variadores (Yuste & Guerrero, 2017).

Un PLC también se puede comunicar con otros dispositivos como por ejemplo exportar datos registrados a un sistema de control y adquisición de datos SCADA, que se encarga de monitorear los múltiples dispositivos conectados.

Para poder interactuar un autómata programable en tiempo real el usuario necesita de una interfaz hombre maquina HMI que básicamente se trata de un panel de instrumentos permitiendo al operador introducir y revisar información del PLC en tiempo real.

Funciones básicas de un PLC

- Elaborar y enviar acciones de control según lo programado.
- Detectar diversos tipos de señales del proceso.
- Mantener comunicación con operarios de producción obedeciendo consignas e informando el estado de los procesos.

- Permitir comunicación con ordenadores provistos de programación de supervisión industrial.

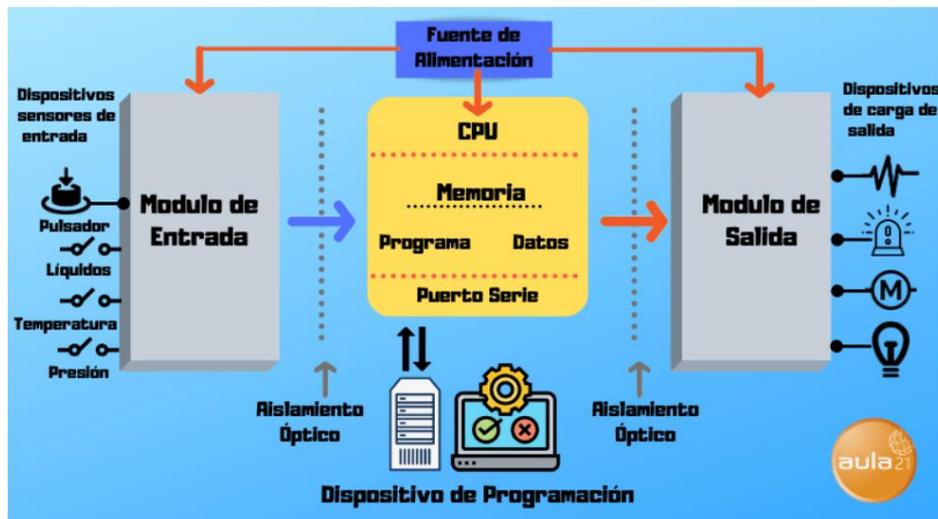


Figura 2.4: Diagrama de componentes de un PLC.

Fuente: (Centro de formación técnica para la industria , s.f.)

2.2.8 Interfaz Hombre Máquina HMI

La interfaz Hombre-Máquina HMI por siglas en inglés, trata de un panel de instrumentos del operario que conecta con una máquina, su uso está destinado normalmente para entornos industriales, las pantallas HMI se especializan en mostrar información en tiempo real permitiendo al usuario controlar equipos con una interfaz gráfica visual dando significado y contexto a las salidas de los motores, válvulas, control de niveles y otros parámetros a realizarse. En los entornos industriales las pantallas HMI pueden tener formas distintas desde pantallas en máquinas, hasta pantallas táctiles en dispositivos inteligentes, para el desarrollo de este proyecto de tesis usamos una pantalla de la marca SIEMENS de 12,1" TFT, 1280 x 800 píxeles, colores 16M; pantalla táctil; 1 x MPI/PROFIBUS DP.

2.2.8.1. Tipos de pantallas HMI

- Terminal de operador: Dispositivo construido para ser instalado en ambientes de la industria agresiva pudiendo ser táctiles.



- Ordenador + Software HMI: Se basa en un ordenador que incorpora un software específico para el control y monitorización de máquinas.

2.2.9 Norma técnica ANSI-ISA 101

El estándar ANSI-ISA 101 propone las mejores prácticas para el diseño e implementación de una HMI de alto desempeño dentro de la automatización industrial, que garantizan una mayor eficiencia y reducción de sobrecarga de datos. Proveer las herramientas necesarias al operador para detectar, diagnosticar y tomar decisiones ante situaciones anormales.

En el uso de este estándar se abarcan factores indispensables para su diseño como son:

- Selección del color y fondos.
- Forma, agrupación y tamaño del objeto.
- Jerarquía de menús. Pantallas emergentes.

Se debe cumplir algunos criterios al momento de realizar un HMI:

- Fácil comprensión y entendimiento hacia los operadores.
- Evitar errores para todo tipo de usuario.
- Aumento de productividad en el operador.
- Reducción de estrés por saturación de información innecesaria.

Normalización del uso de colores

El color, por sí mismo, nunca se utiliza como único diferenciador de una condición o estado importante. Los colores brillantes se utilizan principalmente para llamar la atención sobre situaciones anormales. Las pantallas que representan la operación en funcionamiento normal no deben mostrar colores brillantes saturados, como bombas, equipos, válvulas y elementos similares de color rojo o verde brillante.

Representación de valores en procesos

La visualización de valores en tiempo real en una pantalla táctil debe mostrarse de una manera diferente que la del texto estático.

- La elección de un color azul oscuro en negrilla es una buena opción con el fondo gris y diferencia los valores vivos del texto estático hecho en negro o gris.
- En tablas o columnas, generalmente se alinea los números en el punto decimal.
- Las unidades de medida se muestran en texto sin negrilla cerca del valor real.

Representación de los cambios de estado en una animación

El brillo relativo del objeto muestra su estado de encendido / apagado, al igual que el uso de una palabra de valor del proceso junto a ella. Los elementos del equipo más brillantes que el fondo se representan como encendidos. Los elementos más oscuros que el fondo están apagados.

2.2.10 Sistema SCADA

Los sistemas SCADA son de suma importancia en empresas de la industria, ya que ayuda a para mantener la eficiencia al momento de procesar datos para la toma de decisiones inteligentes y reportar problemas del sistema permitiendo reducir el tiempo de inactividad.

Descripción de un Sistema SCADA

Un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition, Control Supervisor y Adquisición de datos) es una herramienta de automatización y control industrial usado en procesos productivos pudiendo controlar, recopilar datos, supervisar y generar informes a distancia por medio de una aplicación informática.

En realidad, su definición es la agrupación de aplicaciones informáticas instaladas en un ordenador llamado Master o MTU (Unidad de Terminal Maestro) encargado del control automático de una actividad productiva a distancia que se



interconecta con otros instrumentos como son los PLC autómatas programables y las RTU unidades terminales remotas.

2.2.9.1. Componentes de un sistema SCADA

- **HMI:** Es la interfaz que permite conectar al operario con la maquina mediante un sistema de monitoreo. Además, controla la acción a desarrollar a través de una pantalla táctil.
- **Sistema de supervisión o MTU:** Cuya función es de recopilar los datos de los procesos y enviar las instrucciones mediante una línea de comandos.
- **PLC: Son autómatas programables,** utilizados en el sistema como dispositivos de campo por ser más económicos, versátiles, flexibles y configurables que las RTU.
- **Red o sistema de comunicación:** Se encarga de establecer la comunicación del ordenador MTU a los PLC. Para ello se hace uso de conexiones vía modem, Ethernet, Wifi o fibra óptica.
- **Sensores:** Son los dispositivos que actúan como detectores de magnitudes físicas, llamados como variables de instrumentación.
- **Actuador:** Es un dispositivo mecánico que transforma la energía mecánica, eléctrica en activación de un proceso.

Las principales tareas de las que se encarga los sistemas SCADA en una instalación industrial son las siguientes.

- Representar los procesos mediante pantallas que dinamizan con el estado de las variables de comunicaciones.
- Permitir controlar estado de las variables de los autómatas desde pantallas SCADA.

- Almacenar información de los valores de proceso a intervalos de tiempo, para luego visualizar en graficas o tablas.
- Advertir la aparición de eventos que se pueden producir en una instalación.

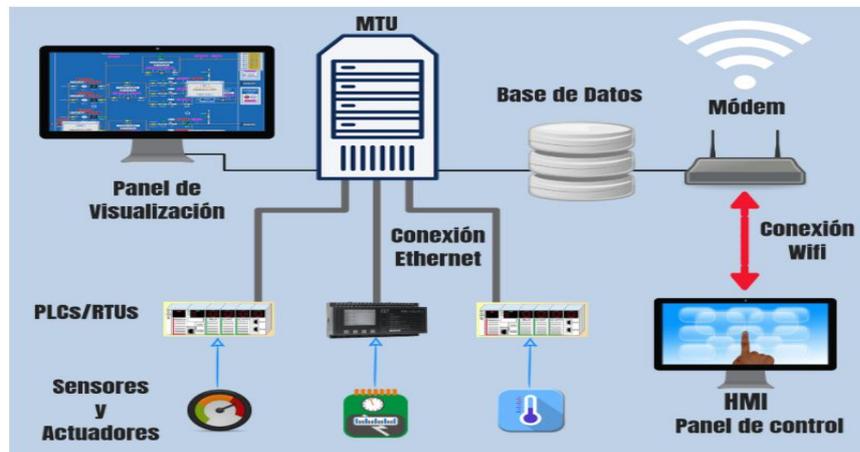


Figura 2.5: Arquitectura de un sistema SCADA

Fuente: (Centro de formación técnica para industria, s.f.)

2.2.11 Tia Portal (Totally Integrated Automation)

Es un software de programación que integra componentes de máquinas para el control de procedimientos y operaciones permitiendo configurar de manera intuitiva y eficiente los procesos de planificación y producción.

Su función en entorno a la ingeniería ofrece las tareas de control, visualización, accionamiento para la parametrización y diagnóstico de los controladores SIMATIC.

Funciones de TIA Portal

Dentro del software se incluye una variedad de paquetes para una automatización eficiente.

- Conector a la nube TIA Portal. Permite acceder a la nube privada desde el controlador del sistema.
- TIA Portal Openness. Permite crear códigos de programación usando generadores.



- PLCSIMAdvanced. Facilita la simulación de funcionamiento y comunicación del PLC.
- TIA Portal Teamcenter. Produce copias de respaldo en proyectos creados.
- SIMATIC SiVArc. Permite generar visualizaciones HMI automáticamente.

2.2.12 Lenguajes de programación

Los lenguajes en los PLC consisten de sistemas de comunicación permitiendo la programación de un automatismo integrado, para expresarlo mediante caracteres y símbolos en los procesos que se llevan en las máquinas, siguiendo determinadas reglas de uso. Actualmente podemos agrupar estos lenguajes de la siguiente manera.

- Lenguaje de contactos KOP, es uno de los más utilizados por la similitud con los esquemas eléctricos, ya que es más intuitivo diagnosticar los segmentos programados con este lenguaje.
- Lenguaje de bloques lógicos FUP, utiliza símbolos gráficos del algebra booleana para representar su lógica, la relación entre sus entradas y salidas se establece mediante bloques de función donde cada bloque tiene una funcionalidad específica.
- Lenguaje de funciones secuenciales SFC, se basa en etapas secuenciales los cuales pueden ser acciones a ejecutar o transiciones a través de condiciones lógicas, cada etapa permanece desactivada mientras no haya una serie de etapas anteriores que implique la activación de ella, es bastante útil en los procesos que se basan en las etapas secuenciales.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

Según (Lozada, 2014) la investigación aplicada tienen por objetivo resolver un determinado problema enfocándose en la búsqueda de conocimiento para su aplicación en los procesos productivos, para la automatización de una planta hidroeléctrica se hace uso de los conocimientos teóricos del SCADA y del software SIMATIC WinCC ya que implica crear una plataforma de monitorización virtual que permita controlar, monitorizar, procesar datos para la toma de decisiones más inteligentes, notificar sobre los errores del sistema reduciendo el tiempo de inactividad e interactuar con PLC, HMI y dispositivos como sensores válvulas motores.

3.1.2 Diseño de investigación

La investigación que se realiza es experimental simulado, esta investigación parte de para dar una solución en el mejoramiento de automatización de la mini central hidroeléctrica de Ollachea, para lo cual se ejecutan acciones de mando programados a partir de variables creadas.

El diseño abarca desde el almacenamiento y procesamiento de datos hasta la interfaz gráfica de usuario permitiendo al operador funciones de control y supervisión de la mini central hidroeléctrica.

3.2 MUESTRA Y POBLACIÓN

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) la muestra es una parte o subconjunto de elementos que se seleccionan de una población para realizar un estudio, en la investigación realizada la muestra representa los valores que se obtienen de los reportes que se generan en las variables de temperatura, presión, frecuencia, nivel en cada una de las etapas del proceso.

La población representa todos los ambientes de automatización de la mini central hidroeléctrica Ollachea.

3.3 UBICACIÓN

la mini central hidroeléctrica de Ollachea se encuentra ubicado en el distrito de Ollachea provincia de Carabaya, departamento de puno.

- Elevación: 2800 msnm
- Longitud 70°28'38.93"O
- Latitud 13°47'39.02"S
- Superficie: 498 m²



Figura 3.1: Ubicación de la mini central hidroeléctrica Ollachea

Fuente: Google maps



3.4 MATERIALES

3.4.1 Equipos

- Laptop con procesador Intel(R) Core (TM) i5-10300H, RAM 8.00 GB.
- Impresora.
- Unidades de almacenamiento USB.

3.4.2 Software

- TIA portal V15.
- Simatic WinCC.
- S7-PLCSIM V15.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Según (Castro Márquez, 2003), indica que las técnicas están referidas a la manera como se van a obtener los datos y los instrumentos son los medios materiales, a través del cual es posible la obtención de información requerida para la investigación.

3.5.1 Técnica

- Según (Arias, 2012) La observación es una técnica que consiste en visualizar cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzcan en la naturaleza o en la sociedad, por lo que aplicaremos la observación resaltando que la nuestra está conformada por sensores simulados experimentalmente por software encargados de la lectura de las distintas señales generando valores para su escalamiento y optimizar las respuestas en la interfaz de salida en cada uno de los equipos de la planta.

3.5.2 Instrumento

- Según (Arias, 2012) el instrumento se define como una ayuda a una serie de elementos que el investigador construye con la finalidad de obtener información

por lo que aplicaremos tablas de registro de datos que se empleara para medir los niveles de escalamiento en el correcto funcionamiento preestablecido de la mini central hidroeléctrica de Ollachea.

3.5.3 Procedimiento para la recolección de datos

- Se genera una tabla de datos con valores definido por los parámetros en la programación, el rango de valores que lee nuestro PLC en su entrada analógica es de 0 a 27648, en funcionamiento normal 0 corresponde a 4 m.A y 27648 A 20 m.A.

3.6 DIAGRAMA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DEL SISTEMA

Para una mejor comprensión, el sistema está dividido en bloques; comienza por los sensores que permiten detectar magnitudes físicas denominadas como variables de instrumentación y convirtiéndolas en variables o señales eléctricas; luego se envía al procesador digital cuya función es de recopilar datos procesar y enviar las instrucciones mediante una línea de comandos. Los paneles de visualización son una interfaz que conecta al operario con los equipos de la planta presentando los datos mediante un sistema de monitoreo para controlar una acción a desarrollar a los actuadores, motores eléctricos.

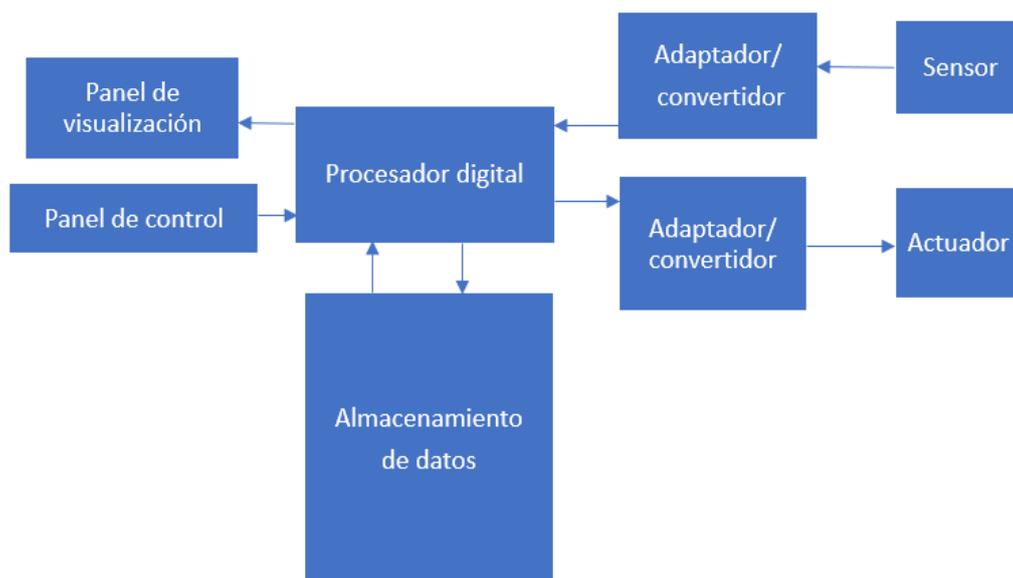


Figura 3.2: Sistema esquemático de un SCADA

Elaboración propia

3.7 CÁLCULO DE CAUDAL HIDROLÓGICO DE LA MINI CENTRAL

La medida de caudal es un valor que sirve para un análisis hidrológico es decir para medir la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal, se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s) expresado por la siguientes formulas.

Determinamos la velocidad.

$$Velocidad = \frac{m}{s} \quad (Ec. 1)$$

Donde:

V = velocidad

M = distancia 10 m

S = tiempo 14.1 s

$$V = \frac{10m}{14.1s} = 0.71 m/s$$

Determinamos el área

$$Area = b * h \quad (Ec. 2)$$

Donde:

A = Área

B = 0.7m

H = 1.3m

$$A = 0.7m * 1.3m = 9.91m^2$$

Determinamos caudal Q

$$Caudal Q = Area seccion A * Velocidad V \quad (Ec. 3)$$

$$Q = 0.91m^2 * 0.71 m/s$$

$$Q = 0.65 m^3/s$$

3.8 CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA

El cálculo de la potencia eléctrica se obtiene a partir de la siguiente formula.

$$P = \delta * Q * \Delta H * n \quad (Ec. 4)$$

Donde:

P = potencia W

δ = Peso específico del agua

= densidad agua $1000 \text{ Kg}/m^3$ * gravedad $9.8 \text{ m}/s^2$

Q = Caudal $0.65 \text{ m}^3/s$

ΔH = Altura 32 m

n = Eficiencia 0.8

$$P = 1000 \text{ kg}/m^3 * 9.8 \text{ m}/s^2 * 0.65 \text{ m}^3/s * 32m * 0.80$$

$$P = 163072 \text{ w}$$

$$P = 163 \text{ kw}$$

3.9 ESCALADO DE VALORES ANALÓGICOS

Para los cálculos de la función SCALE se ingresan los valores enteros comprendidos de 0 – 27648 para un rango definido en intensidad, dichos valores son las que entiende y procesa el CPU de nuestro PLC S7-300.

en la entrada HI_{LIM} insertamos un valor REAL correspondiente al 100% del rango de medida 20mA, en la entrada LO_{LIM} se inserta el valor REAL correspondiente al 0% 4mA.

El resultado de la función SCALE se obtiene mediante la siguiente formula:

$$OUT = \left(\frac{FLOAT(IN) - K1}{(K2 - K1)} * (HI_{LIM} - LO_{LIM}) \right) + LO_{LIM}$$

Donde:

Las constantes K1 y K2 se aplican de forma diferente, dependiendo de si el valor de entrada en este caso usamos UNIPOLAR.

OUT = Valor escalado

FLOAT(IN) = Valor lectura del sensor

K1 = 0

K2 = 27648

HI_{LIM} = Límite superior

LO_{LIM} = Límite inferior

Tabla 3.1: *Parámetros para escalado*

Parámetro	Tipo de datos	Descripción
EN	BOOL	Entrada de habilitación
ENO	BOOL	Salida de habilitación
IN	INT	Valor de entrada que se escala
HI _{LIM}	REAL	Valor límite superior
LO _{LIM}	REAL	Valor límite inferior

Parámetro	Tipo de datos	Descripción
UNIPOLAR	BOOL	Indica si el valor del parámetro IN se interpreta como unipolar
OUT	REAL	Resultado de la instrucción
RET_VAL	WORD	Información de error

Elaboración propia

3.10 AUTOMATIZACIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA

3.10.1 Software de automatización

Para los procesos de automatización y diseño se requiere de herramientas de software como el TIA portal que integra los componentes de las máquinas para controlar los procedimientos y operaciones a desarrollar en el siguiente proyecto.

La automatización de esta mini central se realizará mediante el controlador lógico programable PLC de la marca Siemens modelo S7 300 tipo de CPU 315-2DP.

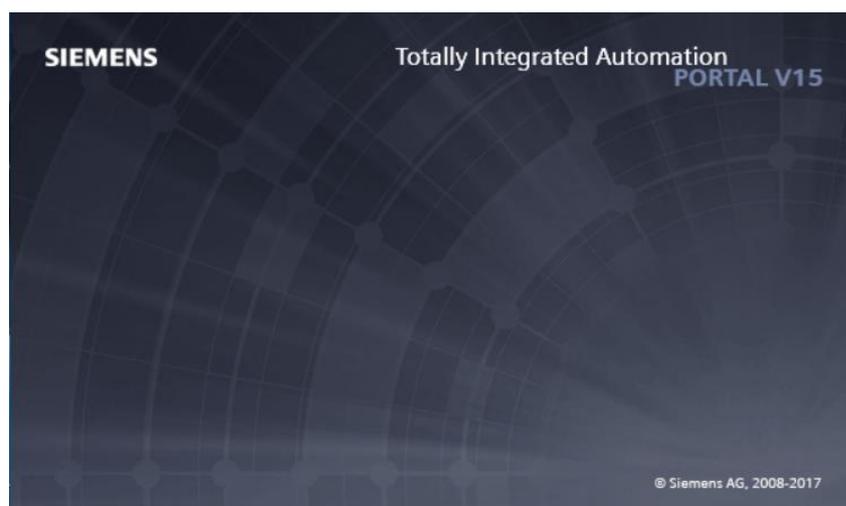


Figura 3.3: Software TIA porta V15

Fuente: Software TIA porta V15



La programación que se realiza trata de una secuencia de operaciones necesarias para la operación y funcionamiento en la automatización de la mini central. Se hace uso del lenguaje de programación gráfico KOP (esquema de contactos), basados en elementos como los contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, agrupados en segmentos que constituyen un bloque lógico de instrucciones.

En la programación del sistema de control de la mini central hidroeléctrica Ollachea estará compuesto por distintos segmentos, en donde la programación ejecutará las diferentes acciones necesarias para el control de la mini central, tales como la secuencia de arranque, funcionamiento normal, secuencia de parada normal, parada de emergencia.

3.11 PROGRAMACIÓN DE PLC

3.11.1 Lista de variables de PLC

En este apartado se muestran las variables usadas en cada uno de los segmentos programados del PLC.

Tabla 3.2: Lista de variables línea 1

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
p_automatico	Bool	%M5.0	pulsador de accionamiento automático
p_parada_nor	Bool	%M5.1	pulsador en parada normal
f_automatico	Bool	%M5.2	modo funcionamiento automático mini central
f_manual	Bool	%M5.3	funcionamiento paso a paso manual mini central
parada	Bool	%M5.4	parada de la mini central mediante pulsador manual
p_manual	Bool	%M5.5	pulsador de accionamiento manual paso a paso
caudal_correcto	Bool	%M8.1	caudal adecuado para funcionamiento mini



			central
central	Bool	%M20.2	
mini central_on	Bool	%M5.6	mini central en funciona- miento
m_central_on	Bool	%M9.6	puesta en marcha mini central modo manual
p_marcha	Bool	%M5.7	pulsador de marcha
marcha	Bool	%I20.1	marcha de la mini central por medio de pulsador manual
mini central_off	Bool	%M10.1	mini central fuera de servicio
generador_off	Bool	%M10.2	generador fuera de servicio
a_grup_elem_auxi	Bool	%M14.7	activar grupo y sus elementos auxiliares para su funcionamiento
falla_trafo	Bool	%I10.3	falla en transformador de potencia
fun_grupo	Bool	%I28.3	correcto funcionamiento de grupo
grupo_on	Bool	%Q17.0	puesta en marcha del grupo
int_trafo_close	Bool	%Q19.5	cerrar interruptor de potencia de transformador parada de la mini central por el operador en caso de falla
paro_emergencia	Bool	%M20.3	activar rectificador para batería
rect_bateria_on	Bool	%Q20.7	
secc_close	Bool	%Q17.6	cerrar seccionador
grupo_operativo	Bool	%Q16.1	grupo en correcto funcionamiento

Elaboración propia

Tabla 3.3: Lista de variables línea 2

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
alim_tiristores	Bool	%I25.1	alimentación de los tiristores
act_bomba_aceite	Bool	%Q22.1	activación de la bomba de aceite
circ_refrigeracion	Bool	%Q22.3	activar circuito de refrigeración
prim_condiciones	Bool	%M13.5	cumplimiento de las primeras condiciones iniciales
seg_condiciones	Bool	%M13.6	cumplimiento de la segunda condición inicial
terc_condiciones	Bool	%M13.7	cumplimiento de la tercera condición iniciales
cuar_condiciones	Bool	%M14.0	cumplimiento de las cuartas condiciones iniciales
cond_completas	Bool	%M14.1	cumplimiento de todas las condiciones iniciales
prot_incendios	Bool	%I22.0	elementos de protección de incendios alternador
distr_abierto	Bool	%M14.4	distribuidor abierto
circ_refrig_manual	Bool	%M15.0	activar circuito de refrigeración manual
inte_grupo	Bool	%Q17.4	conectar el interruptor del grupo
conex_grupo1	Bool	%I21.2	comprobación de conexión del interruptor del grupo 1
acei_tanque_bajo	Bool	%M16.4	nivel de aceite del tanque de regulación muy bajo
dist_cerrado	Bool	%M17.0	distribuidor cerrado
rod_cerrado	Bool	%M17.1	rodete cerrado
pres_aceite_alta	Bool	%M17.4	presión de aceite de regulación muy alta
prot_tiristores	Bool	%I25.0	protección de los tiristores
prot_transformador	Bool	%I26.4	protecciones del transformador de potencia
rect_bateria	Bool	%I25.2	rectificador de batería
rele_disparo	Bool	%I21.0	relé disparo eléctrico
rele_dis_mecanico	Bool	%I21.1	relé de disparo mecánico
secc_conectado	Bool	%I21.4	seccionador conectado
temp_aceite_alta	Bool	%M18.6	temperatura de aceite de regulación alta
temp_aceite_m.alta	Bool	%M18.7	temperatura de aceite de regulación muy alta

temp_estator_alta	Bool	%M19.6	temperatura del estator alta
temp_estator_m_alta	Bool	%M19.7	temperatura del estator muy alta
tens_barra	Bool	%I26.5	tensión en barra
tens_correc_bateria	Bool	%M21.2	tensión correcta de la batería corriente continua
tens_gen_alta	Bool	%M21.3	tensión generada alta

Elaboración propia

Tabla 3.4: Lista de variables línea 3

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
tens_red_baja	Bool	%M21.4	tensión en la red baja
tens_correc_sis_auxiliares	Bool	%M23.6	tensión correcta en los sistemas auxiliares del grupo
trans_funcionamiento	Bool	%I26.6	transformador de potencia en funcionamiento
valvula_mariposa_on	Bool	%Q21.4	abrir la válvula mariposa
valvula_mariposa_comp	Bool	%I22.3	válvula mariposa de comprobación
condic_iniciales	Bool	%M20.6	
act_bom_ace_reg	Bool	%Q17.1	activar la bomba de aceite de regulación
act_comp_canal_deriv	Bool	%Q18.1	activar compuerta de canal de derivación
comp_open	Bool	%M13.4	compuerta de entrada abierta
act_comp_toma_agua	Bool	%Q18.0	activar compuerta de toma de agua
ind_apert_dist_cent	Bool	%M14.2	indicar la apertura de posición central de distribuidor
aper_max_dist	Bool	%M14.3	indicar la apertura máxima del distribuidor
aper_comp_manual	Bool	%M15.3	apertura de las compuertas toma de agua, canal derivación, válvula mariposa funcionamiento manual
fin_carrera_comp	Bool	%I26.0	final carrera indicando compuerta del canal derivación estén abierta
fin_carrera_toma_agua	Bool	%I25.7	final carrera indicando compuerta de toma de agua abierto
pres_aceit_ok	Bool	%M17.6	presión de aceite de regulación



			correcta
aper_rodete_inic	Bool	%M18.2	indicar apertura inicial rodete
aper_rodete_max	Bool	%M18.3	indicar apertura máxima rodete
circ_agua_minicentral_ok	Bool	%M13.3	correcta circulación de agua en la mini central hidroeléctrica
circ_agua_azud	Bool	%I22.4	circulación de agua de azud a hacia la turbina
act_sincronoscopio_man	Bool	%M15.2	activar sincronoscopio en funcionamiento manual
falla_transf	Bool	%M24.2	falla en el transformador
act_sincronoscopio	Bool	%Q21.5	activar el sincronoscopio
tens_gen_ok	Bool	%M22.2	tensión de generador correcto
grup_sincro_red	Bool	%M15.4	grupo sincronizado con la red

Elaboración propia

Tabla 3.5: Lista de variables línea 4

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
acop_grup_red_manual	Bool	%M14.5	acoplar grupo a red funcionamiento manual
grup_acoplado	Bool	%M15.7	grupo acoplado
pul_paro_emergencia	Bool	%M11.3	pulsador paro de emergencia
des_int_grupo	Bool	%Q25.5	desconectar interruptor de grupo
pa-ro_emerg_puls_man	Bool	%I29.1	paro de emergencia de la mini central por pulsador manual
puls_reactivar	Bool	%M25.0	pulsador de reactivar después de solucionar problemas de parada de emergencia
act_val_cierre_rap	Bool	%Q25.3	activar válvula de cierre rápido
close_val_mariposa	Bool	%Q25.4	cerrar válvula mariposa
bipolar	Bool	%I28.5	
error_caudal	Word	%MW100	error en el caudal
medida_caudal	Real	%MD10	medida caudal de salida
caudal	Int	%IW150	
caudal_bajo	Bool	%M8.2	medida de caudal bajo
caudal_alto	Bool	%M8.3	medida de caudal alto
error_bateria	Word	%MW101	
tens_medida_bat	Real	%MD11	tensión medida de la batería de



tens_bateria	Int	%IW152	tensión de batería dc
tens_baja_bateria	Bool	%I21.3	tensión baja en la batería
tens_alta_bateria	Bool	%I21.5	tensión alta en la batería
error_ten_s.aux	Word	%MW102	error de tensión en los sistemas auxiliares
tens_medida_s.aux	Real	%MD12	medida de tensión en los sistemas auxiliares
tension_sis_auxiliares	Int	%IW154	tensión en los sistemas auxiliares
tens_baja_s.aux	Bool	%M23.4	tensión baja en los sistemas auxiliares
tens_alta_s.aux	Bool	%M23.7	tensión alta en los sistemas auxiliares
error_tens_gen	Word	%MW103	error en la tensión del generador
medida_tens_gen	Real	%MD13	medida de tensión generada
tens_generada_gen	Int	%IW156	tensión generada en el generador
tens_gen_baja	Bool	%M21.5	tensión generada baja
error_pos_distri	Word	%MW104	error de la posición del distribuidor
pos_med_distribuidor	Real	%MD14	posición medida del distribuidor
pos_distribuidor	Int	%IW158	posición del distribuidor

Elaboración propia

Tabla 3.6: Lista de variables línea 5

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
error_pres.acei_reg	Word	%MW108	error en la presión de aceite de regulación
pres_medida_ace.regula	Real	%MD18	medida de presión del aceite regulación
pres_acei_reg	Int	%IW166	presión del aceite de regulación
pres_aceit_baja	Bool	%M17.5	presión del aceite de regulación muy baja
error.niv_tanq_reg	Word	%MW109	error en el nivel de tanque de regulación
nivel_tanq_reg	Real	%MD19	nivel medido de aceite en el tanque de regulación
nivel.tanq_reg	Int	%IW168	nivel de tanque de aceite de regulación
acei_tanque_ok	Bool	%M16.5	nivel correcto de aceite en tanque
pot_gener	Int	%IW170	potencia del generador
error_pot_gener	Word	%MW110	error en la potencia del generador

potencia_generada	Real	%MD20	potencia medida del generador
error_int_gene	Word	%MW111	error en la intensidad del generador
intensidad_generada	Real	%MD21	intensidad medida del generador
int_gene	Int	%IW172	intensidad del generador
error_temp_estator	Word	%MW112	error en temperatura del estator
temp_estator	Int	%IW174	temperatura del estator
temp_medida_estator	Real	%MD22	temperatura medida del estator
temp_estator_ok	Bool	%M19.5	temperatura del estator correcta
error_temp_acei.reg	Word	%MW113	error en la temperatura de aceite regulación
temp_acei_reg	Int	%IW176	temperatura aceite de regulación
temp_med_acei.reg	Real	%MD23	temperatura medida aceite de regulación
temp_acei_reg.ok	Bool	%M18.5	temperatura aceite regulación correcta

Elaboración propia

3.11.2 Diagrama de flujo de programación Ladder de la mini central hidroeléctrica

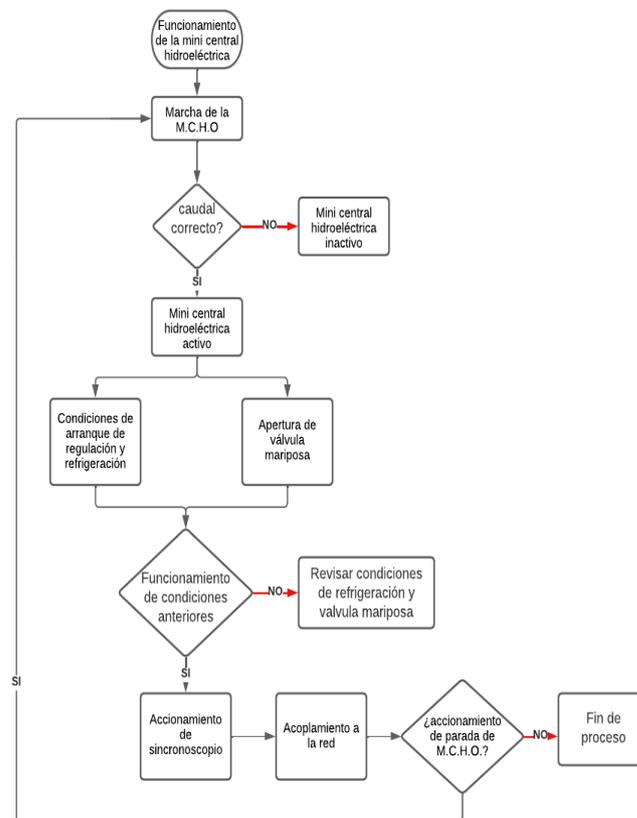


Figura 3.4: Diagrama de flujo programación Ladder

Elaboración propia

3.11.3 Funcionamiento manual automático de la mini central hidroeléctrica

En secuencia de arranque de la mini central hidroeléctrica se proporciona dos opciones de funcionamiento en modo manual y automático, permitiendo seleccionar solo una opción para su funcionamiento.

En la secuencia de funcionamiento automático como su nombre lo indica se realiza los procesos automáticamente.

En la secuencia de funcionamiento manual se necesita la intervención de un operario quien va activando las distintas secuencias de arranque o parada mediante una pantalla HMI.

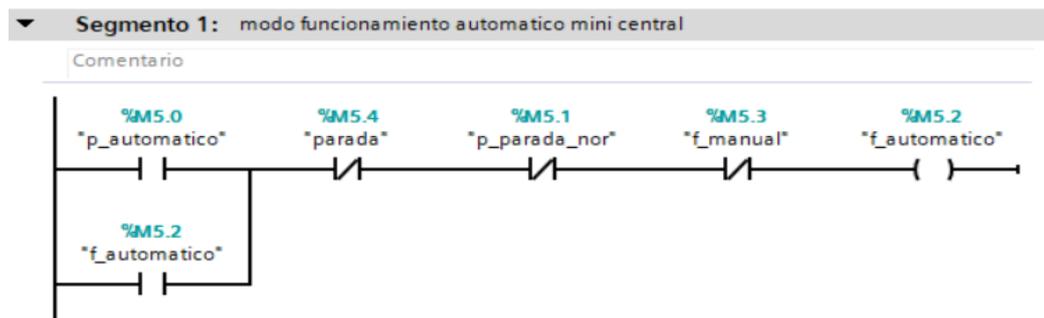


Figura 3.5: Funcionamiento automático de la mini central hidroeléctrica
Elaboración propia

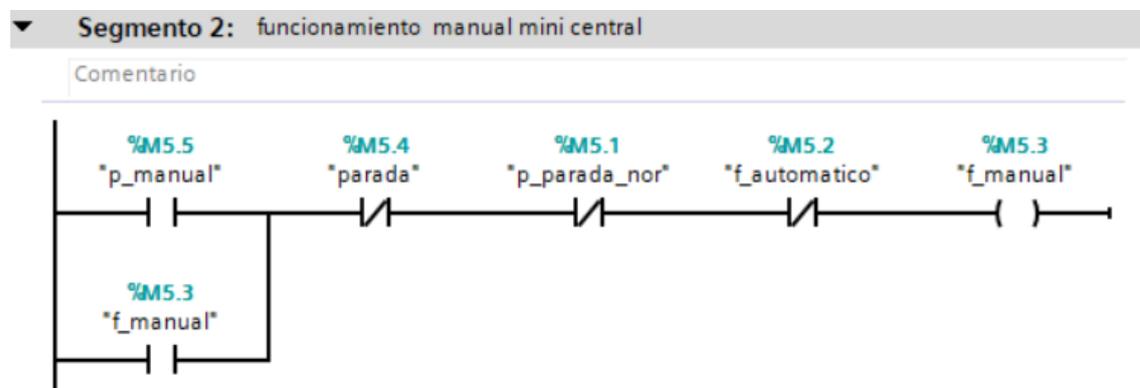


Figura 3.6: Funcionamiento manual de la mini central hidroeléctrica
Elaboración propia

3.11.4 Puesta en marcha de la mini central hidroeléctrica

En este segmento se realiza la programación necesaria para la puesta en marcha de la mini central hidroeléctrica por medio de un pulsador externo %I20.1 o mediante la pantalla de HMI M%5.7.

Para la puesta en marcha primeramente se debe tener activado en modo automático o en modo manual, si se selecciona modo manual adicionalmente se tendrá que activar en la pantalla del HMI “activar central”. Para que la planta se ponga en funcionamiento por sus instalaciones deberá circular un caudal promedio de $0.65\text{m}^3/\text{s}$ si los parámetros son menores o superiores al caudal promedio la mini central hidroeléctrica no se pondrá en marcha.

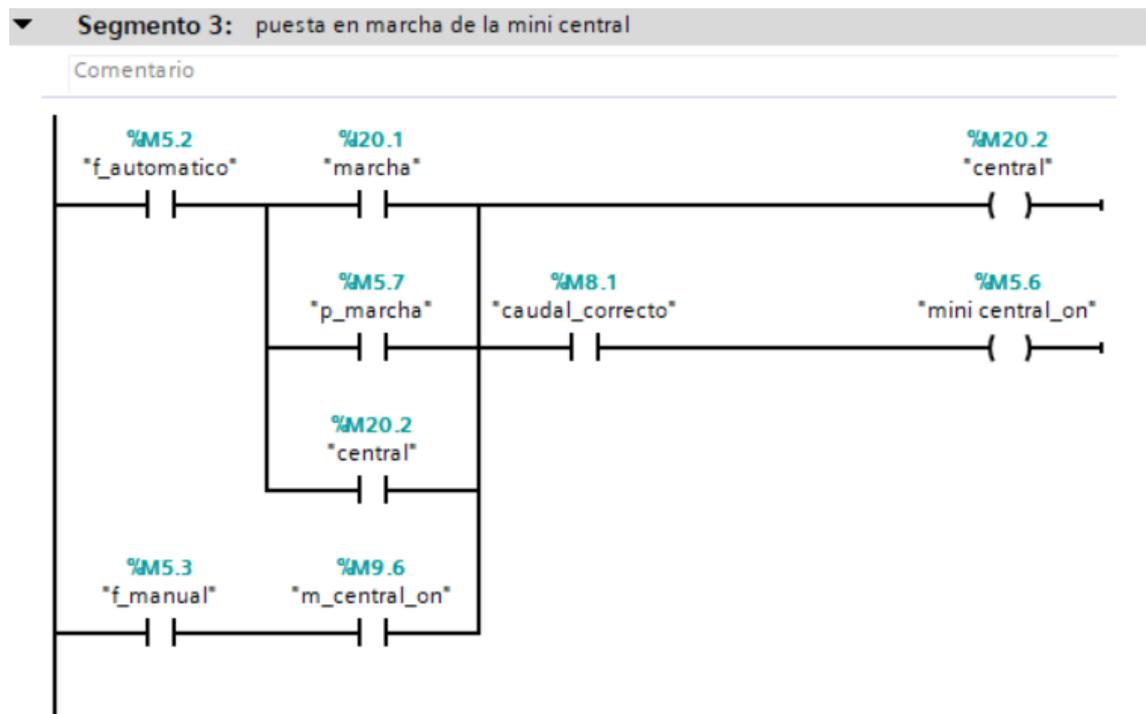


Figura 3.7: Puesta en marcha la mini central hidroeléctrica

Elaboración propia

3.11.5 Mini central fuera de servicio

En este segmento se ha programado para indicar que la mini central hidroeléctrica se encuentra fuera de servicio, desactivando la circulación de agua por las instalaciones de la planta.

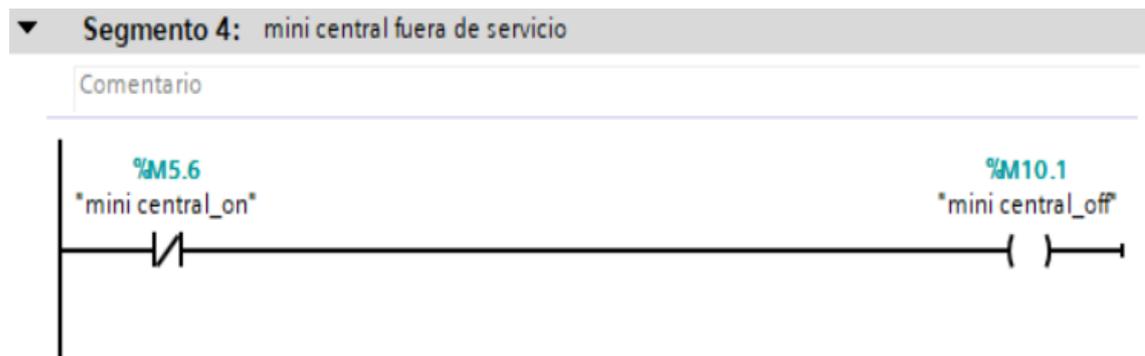


Figura 3.8: Mini central fuera de servicio

Elaboración propia

3.11.6 Puesta en marcha del generador y elementos auxiliares

En este segmento se realizó la programación de la marcha del generador y sus elementos auxiliares, para proceder primero, debe de estar en funcionamiento la mini central posteriormente tener activado el funcionamiento automático o manual, si se tiene en modo manual se debe activar el botón en la pantalla HMI “Act. Grupo y Elementos Aux.”

Teniendo las acciones realizadas se producirá la conexión de elementos de salida como muestra la figura.

En caso se tenga una falla en la entrada del transformador (I%10.3) no se activará las salidas del seccionador (Q%17.6) y el interruptor del transformador (Q%19.5).

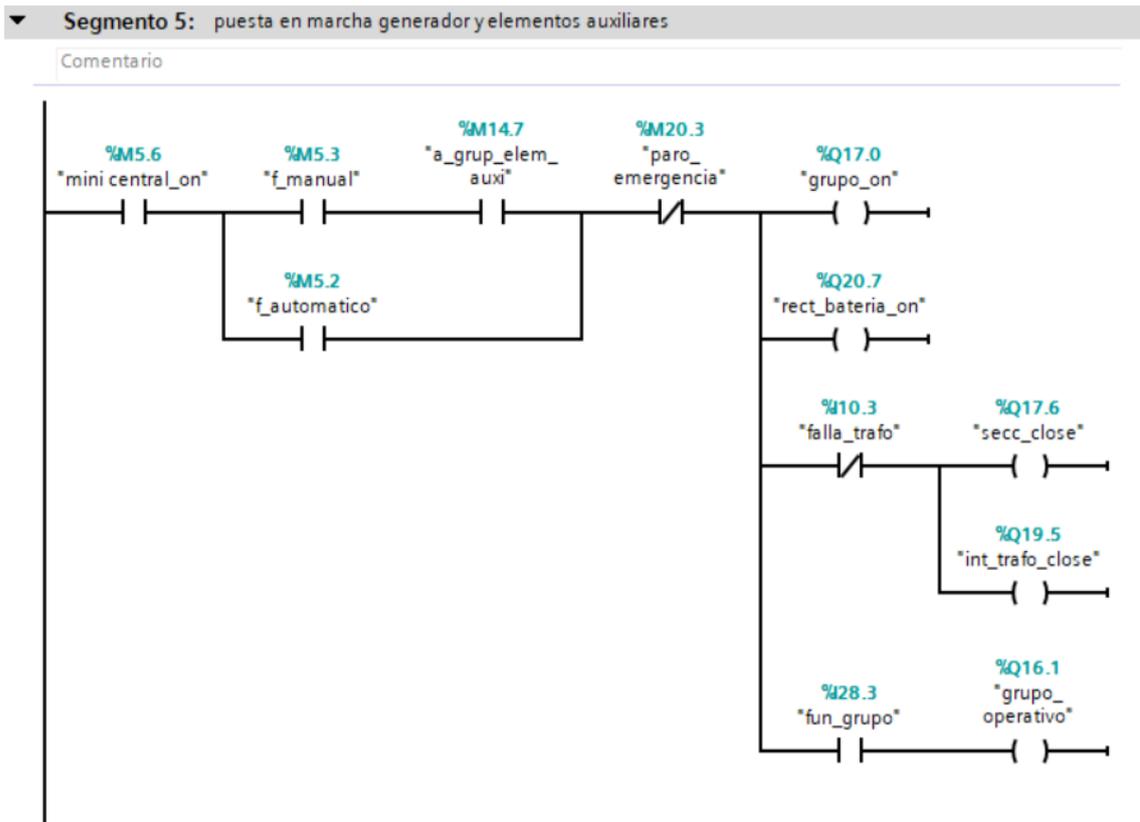


Figura 3.9: Puesta en marcha del generador y elementos auxiliares

Elaboración propia

3.11.7 Condiciones iniciales para arrancar sistema de regulación y refrigeración

En este segmento se deben de cumplir diversas condiciones para proseguir a la conexión en las salidas del sistema de regulación y refrigeración. Gran parte de los contactos se activan con entradas de señales analógicas, estas señales son analizadas mediante el uso de las funciones de escalado, de esta manera se obtiene los valores de tensión, intensidad, presiones, temperatura, niveles de aceite. Cuando las medidas escaladas varían según lo programado se activarán distintos contactos bloqueando la salida del circuito de programación. El objetivo de este segmento es proteger las temperaturas de equipos programados, regular los diferentes valores analógicos para un arranque óptimo en la planta hidroeléctrica.

▼ Segmento 6: condiciones iniciales para arrancar sistema de regulación y refrigeración

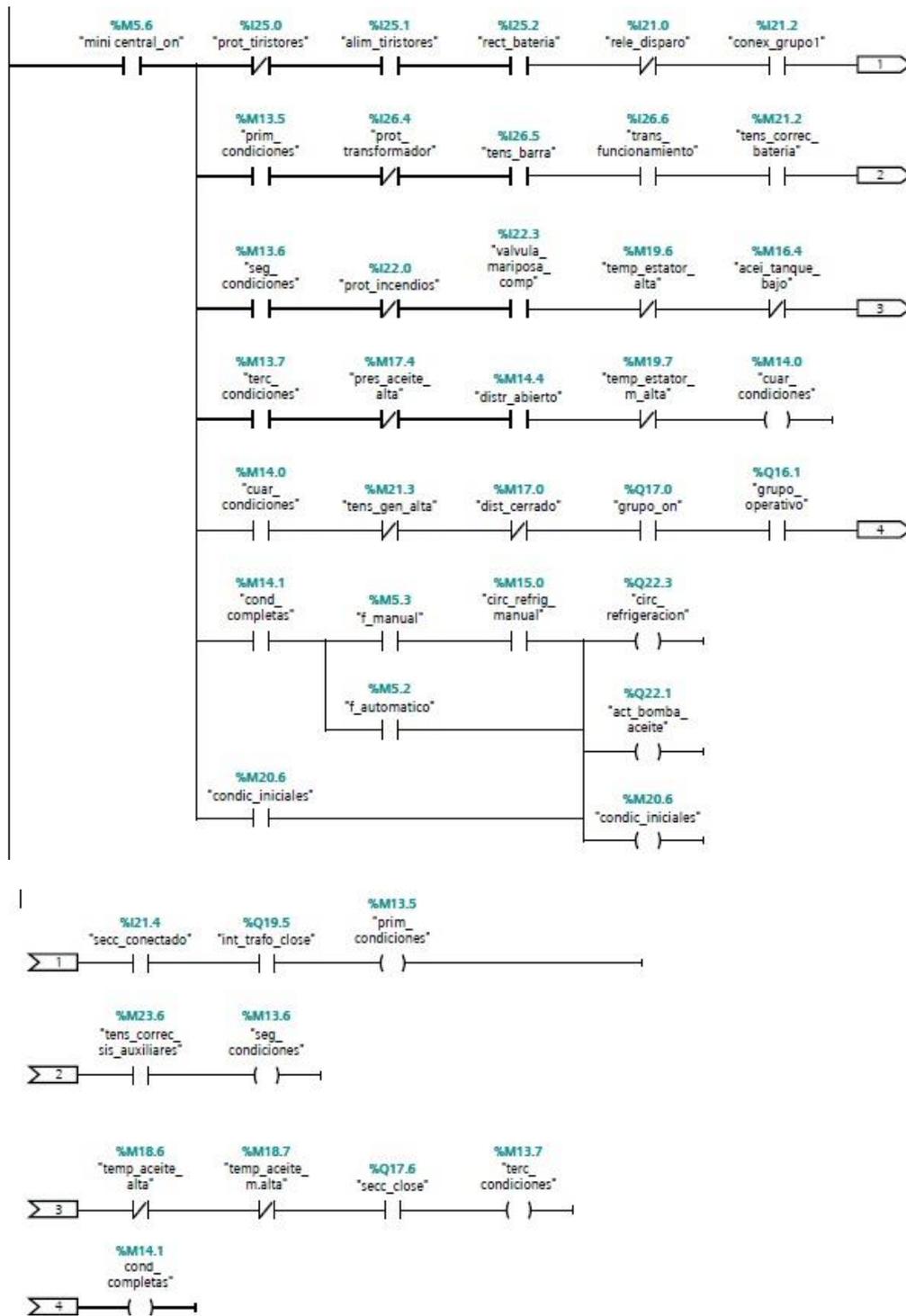


Figura 3.10: Condiciones iniciales para arrancar sistema de regulación y refrigeración

Elaboración propia

3.11.8 Apertura de válvula mariposa

En este segmento se debe tener activado las secuencias anteriores, luego se debe tener activado el funcionamiento automático o manual, si se tiene en modo manual se debe activar el botón en la pantalla HMI “Apertura Válvula Mariposa.” Cumpliendo todas las condiciones se activarán las salidas de las compuertas y la válvula mariposa.

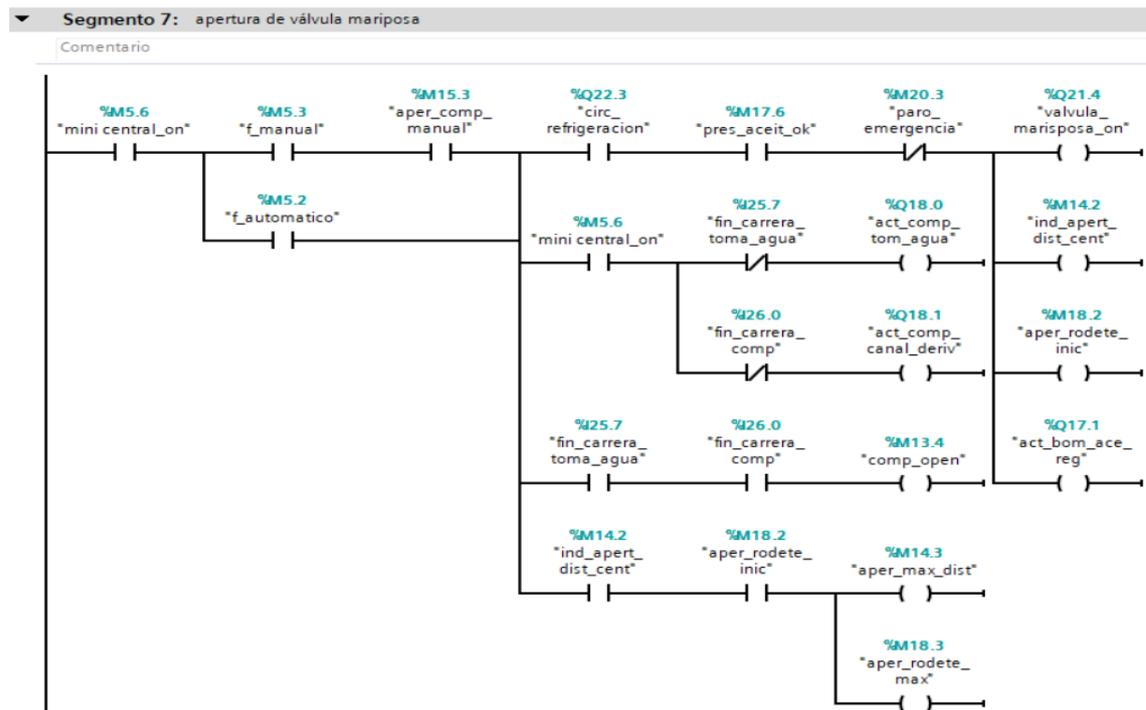


Figura 3.11: Apertura de válvula

Elaboración propia

3.11.9 Circulación de agua

En el segmento siguiente se realiza la programación para detectar que circula agua por la presa derivadora ya que sin ella no sería posible el funcionamiento en las instalaciones de la mini central hidroeléctrica.

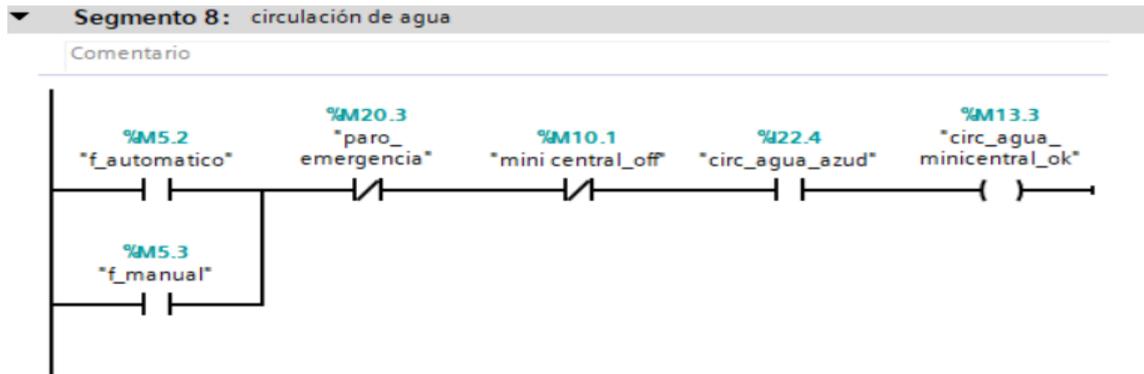


Figura 3.12: Circulación de agua

Elaboración propia

3.11.10 Accionar funcionamiento del Sincronoscopio

Se realiza la programación siguiente para proceder la conexión del Sincronoscopio encargado de indicar la diferencia de Angulo de fase y frecuencia entre el generador y la red para su posterior la conexión en paralelo.

En caso se produzcan fallas en el transformador o se active la parada de emergencia no se complementará la secuencia de sincronismo.

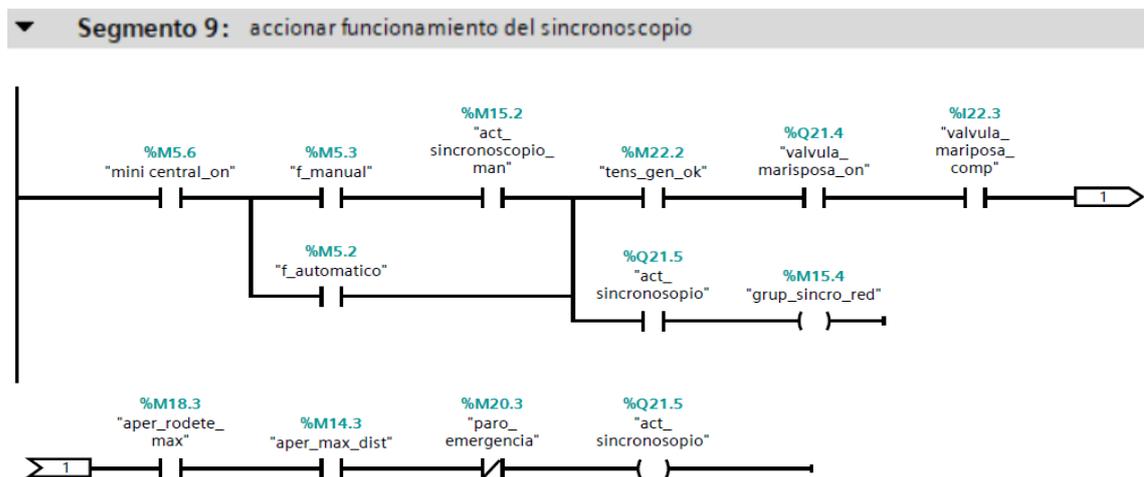


Figura 3.13: Accionar funcionamiento del sincronoscopio

Elaboración propia

3.11.11 Acoplamiento a la red

En este segmento de la programación se procede a realizar el acoplamiento a la red, teniendo en cuenta que el sincronoscopio se encuentra activo y no se produzcan fallas en el transformador de potencia o una parada de emergencia.

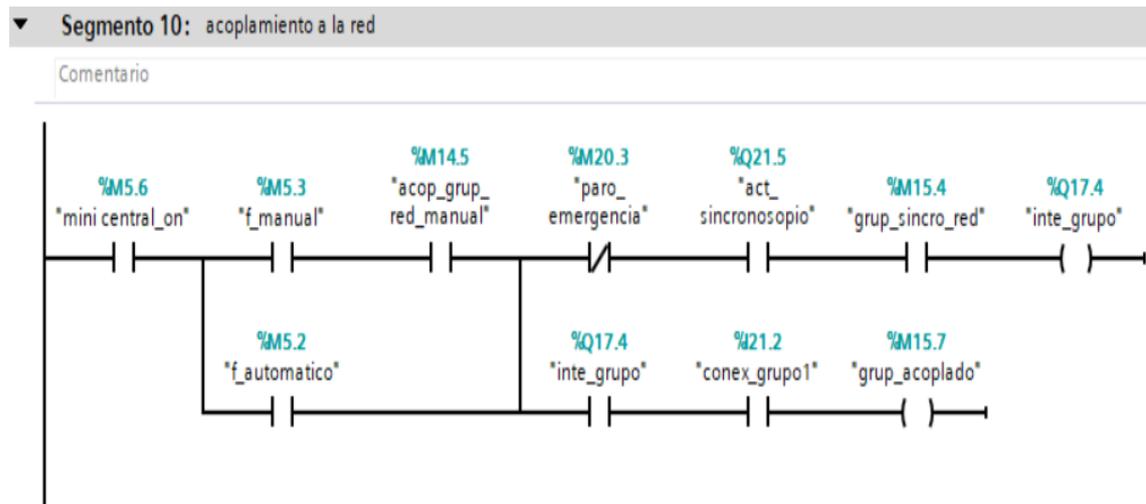


Figura 3.14: Acoplamiento a la red

Elaboración propia

3.11.12 Parada de emergencia de la mini central

Se ha programado la secuencia de parada para que en caso se produzca un fallo se desactiven los distintos elementos de la mini central, teniendo conocimiento de la falla que ocasiona la parada y solucionándolo se pulsara el botón de “Reactivar” en la pantalla del HMI.

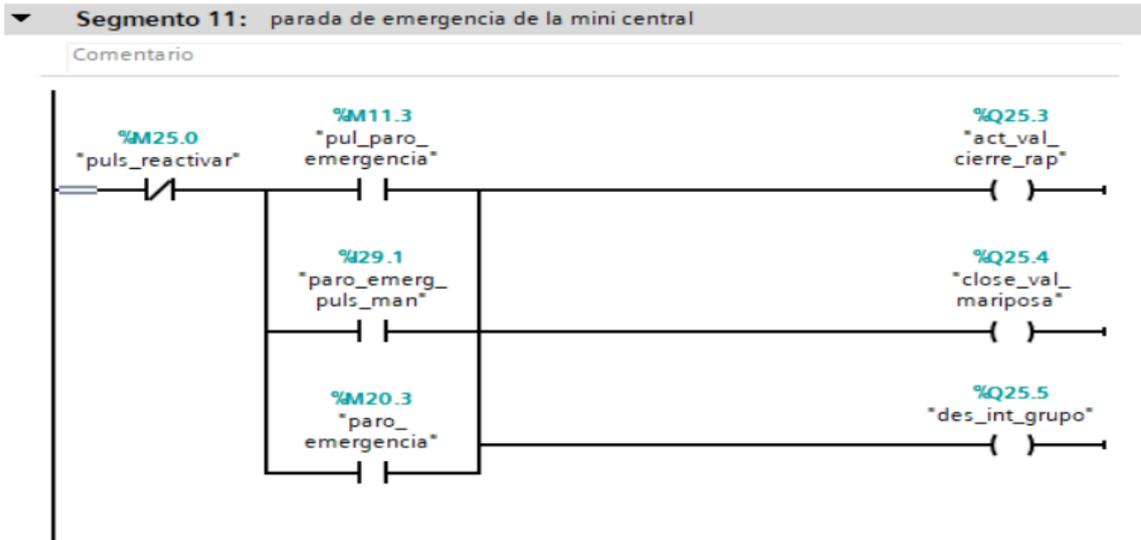
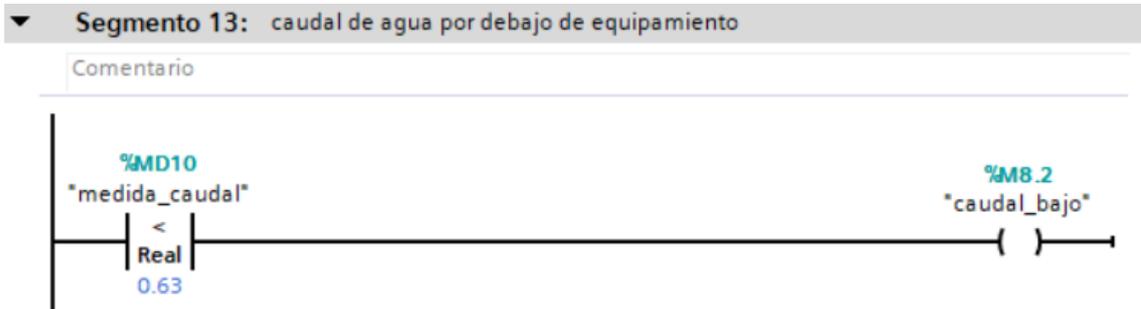
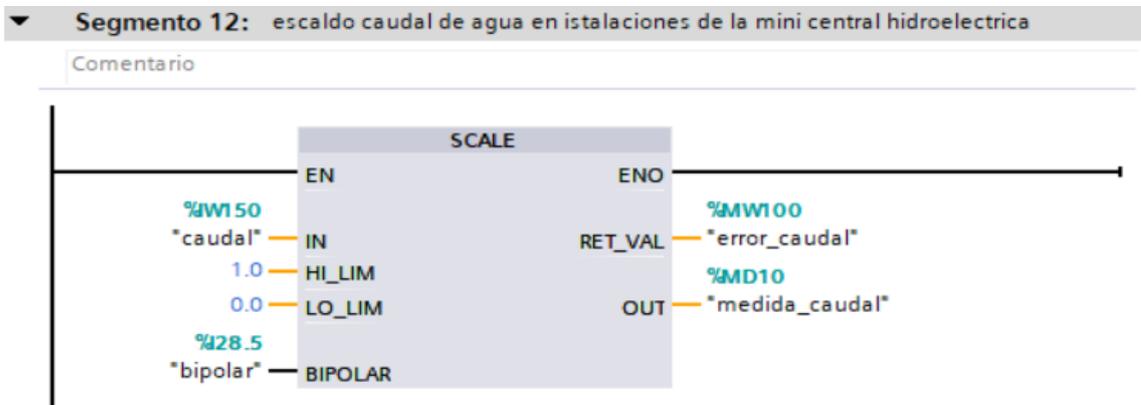


Figura 3.15: Parada de emergencia de la mini central

Elaboración propia

3.11.13 Escalado de caudal de agua en las instalaciones de la mini central

hidroeléctrica



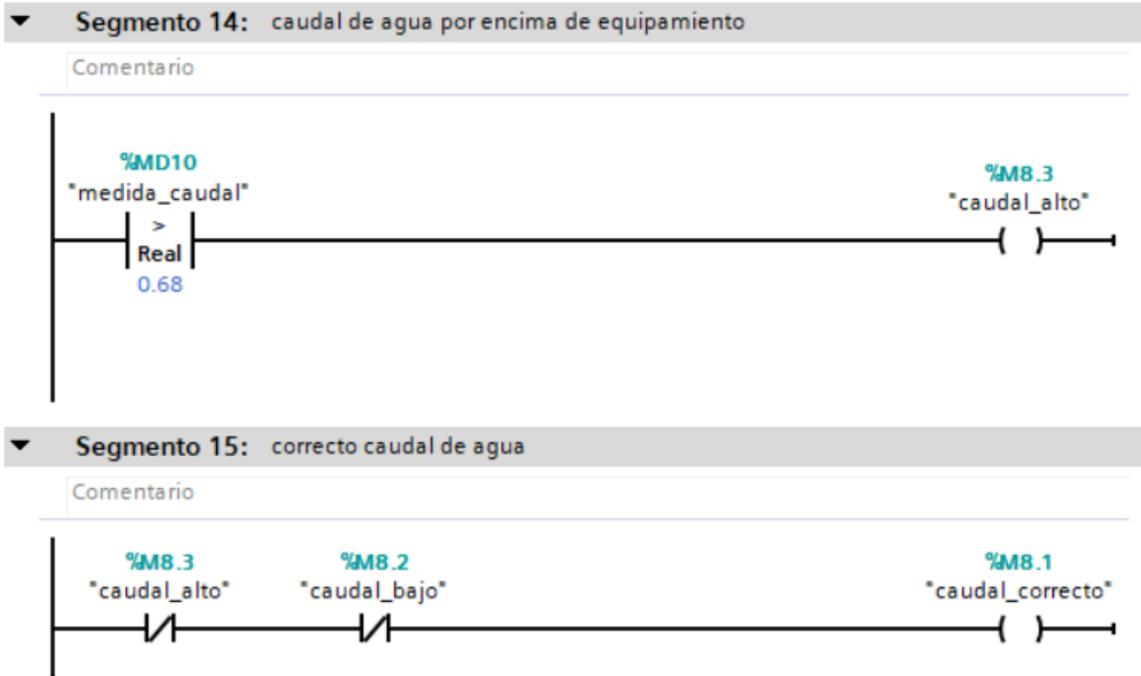
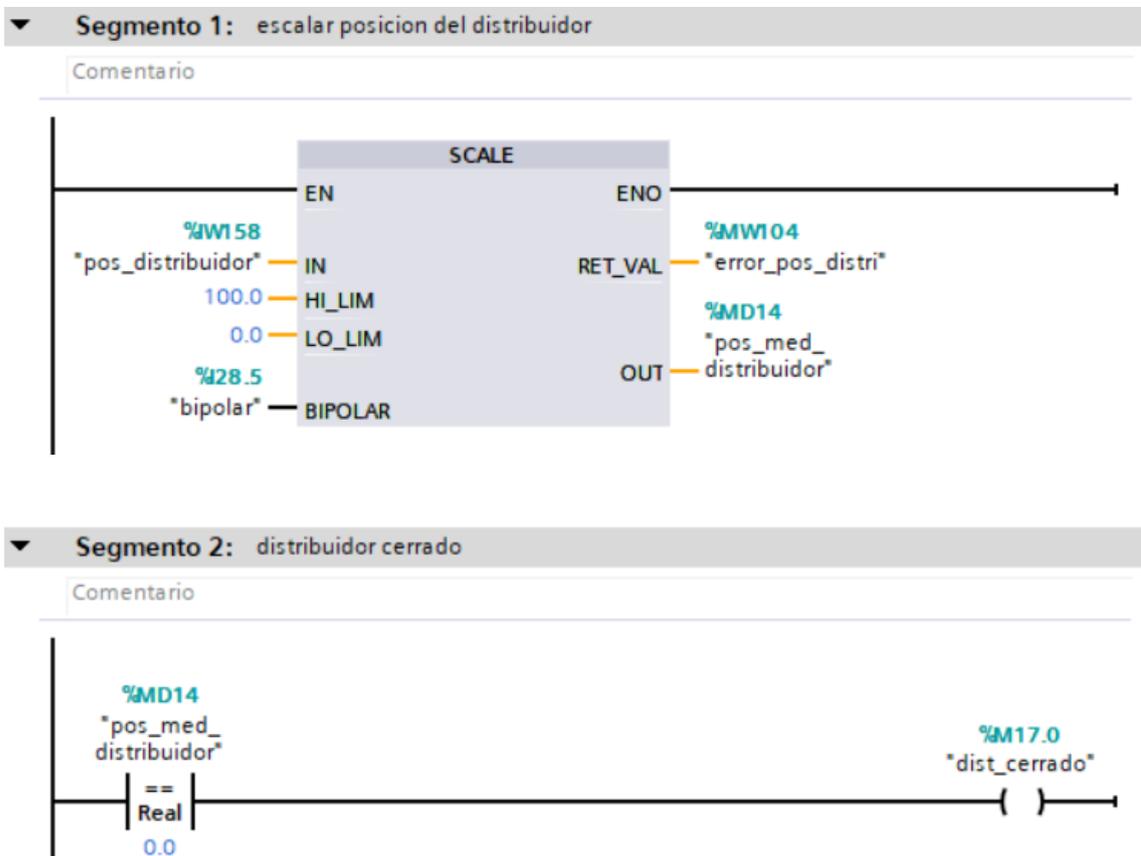


Figura 3.16: Escalado de caudal de agua en las instalaciones de la mini central

Elaboración propia

3.11.14 Escalado de posición del distribuidor



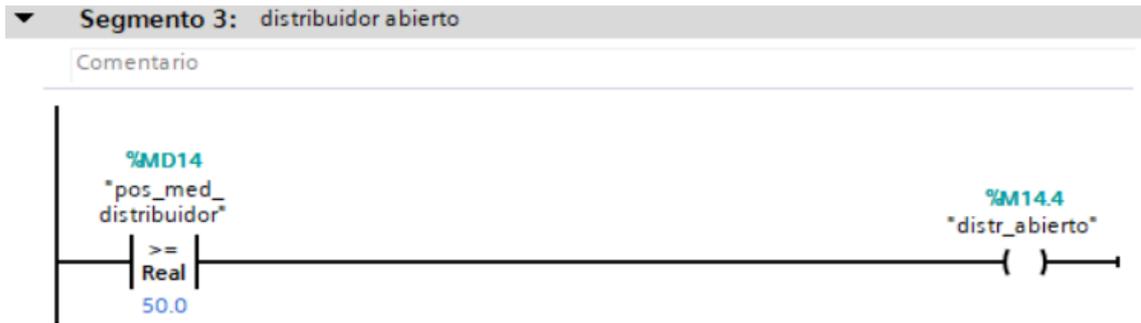


Figura 3.17: Escalado de posición del distribuidor

Elaboración propia

3.11.15 Escalado nivel de aceite

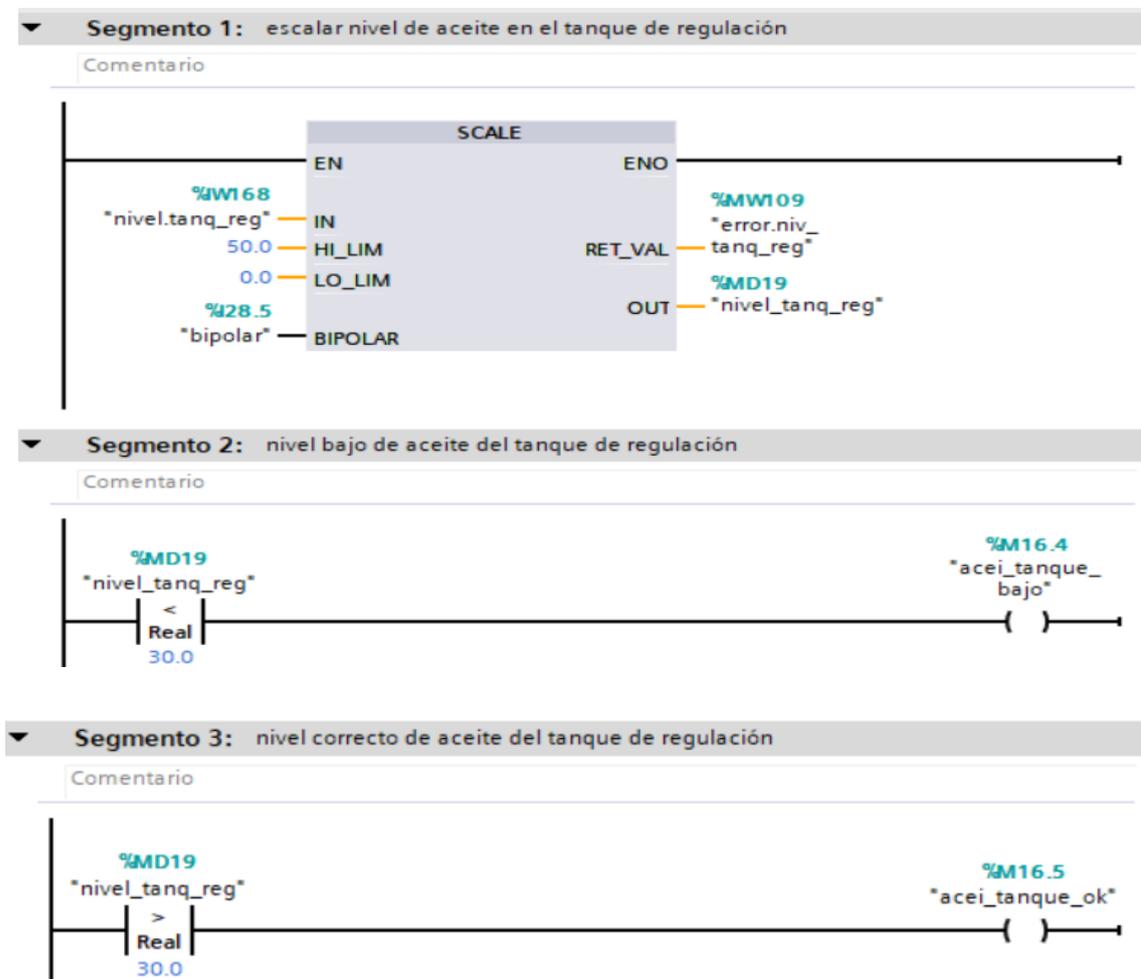


Figura 3.18: Escalado nivel de aceite

Elaboración propia

3.11.16 Escalado de presión del aceite

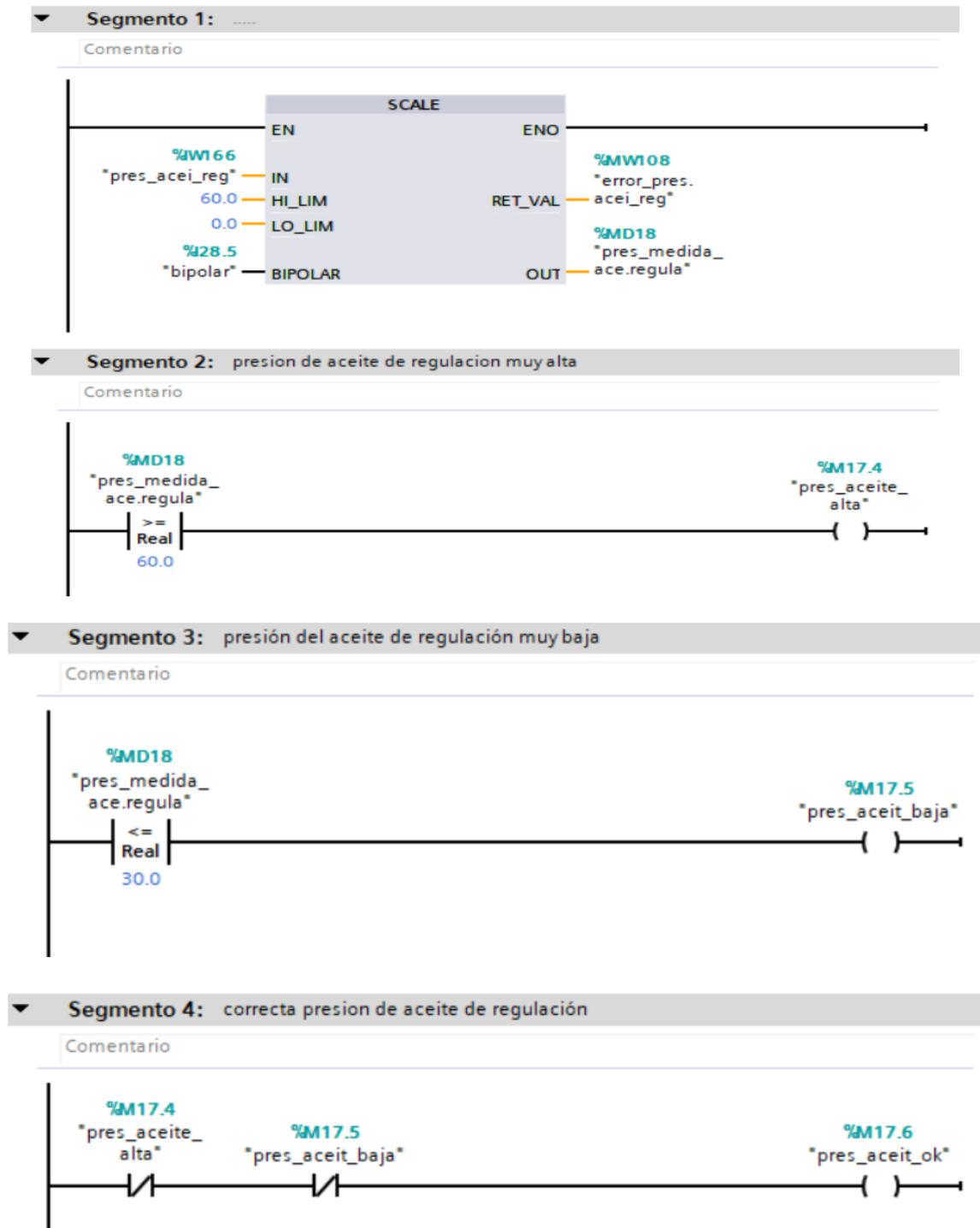


Figura 3.19: Escalado de presión del aceite

Elaboración propia

3.11.17 Escalado de temperatura del estator en generador

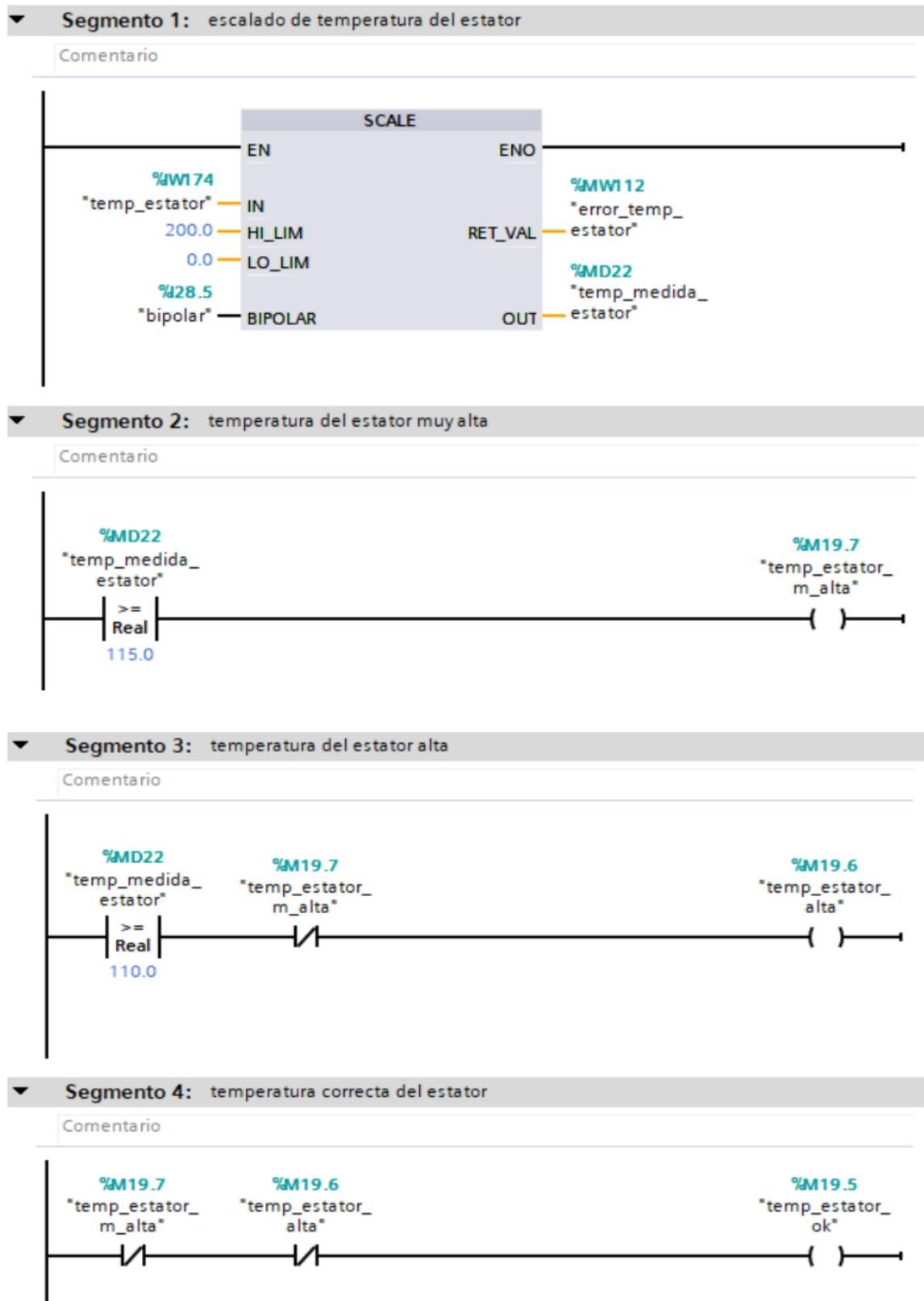


Figura 3.20: Escalado de temperatura del estator

Elaboración propia

3.11.18 Escalado de temperatura del aceite reguladora

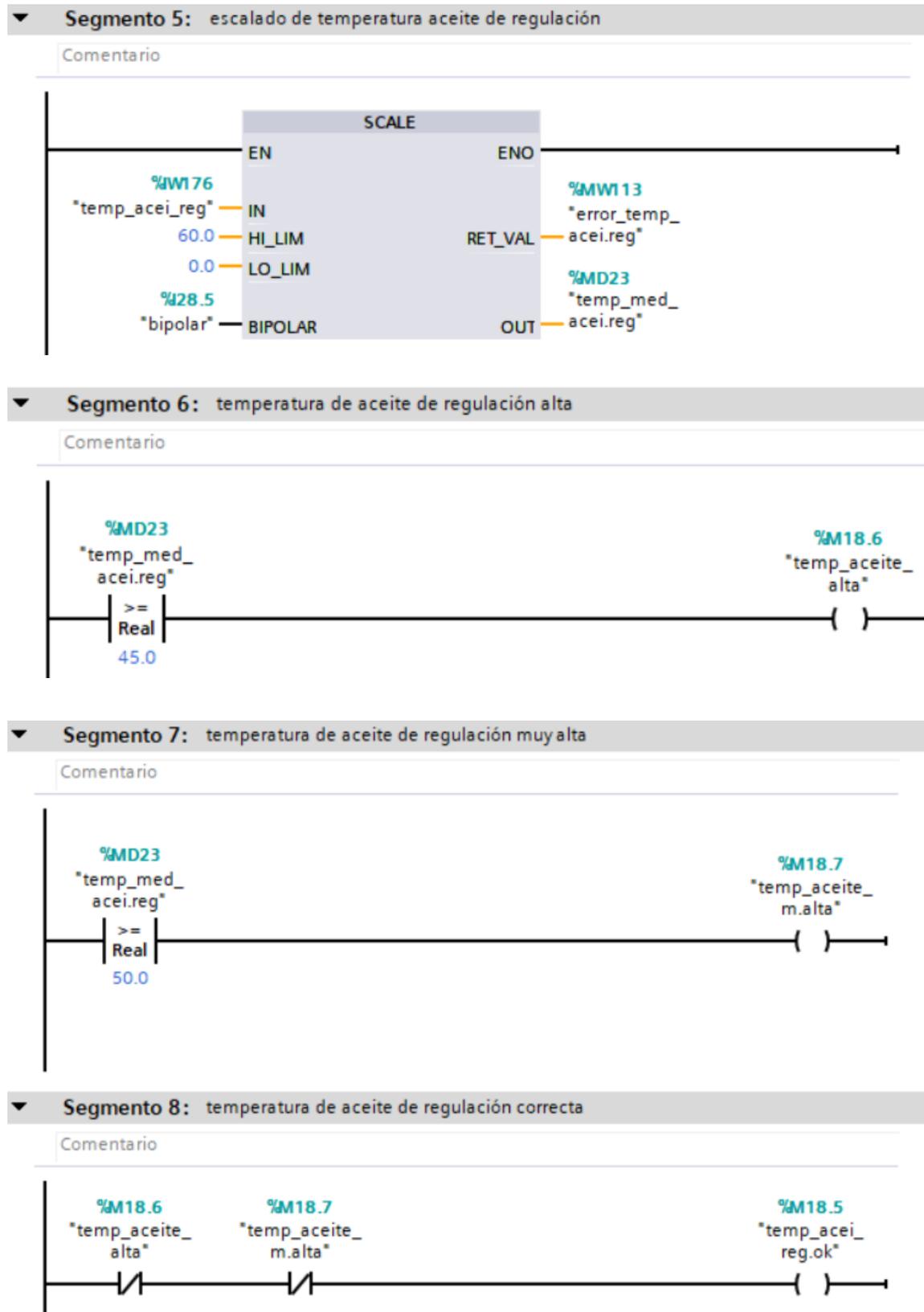


Figura 3.21: Escalado de la temperatura de aceite

Elaboración propia

3.11.19 Escalado de tensiones

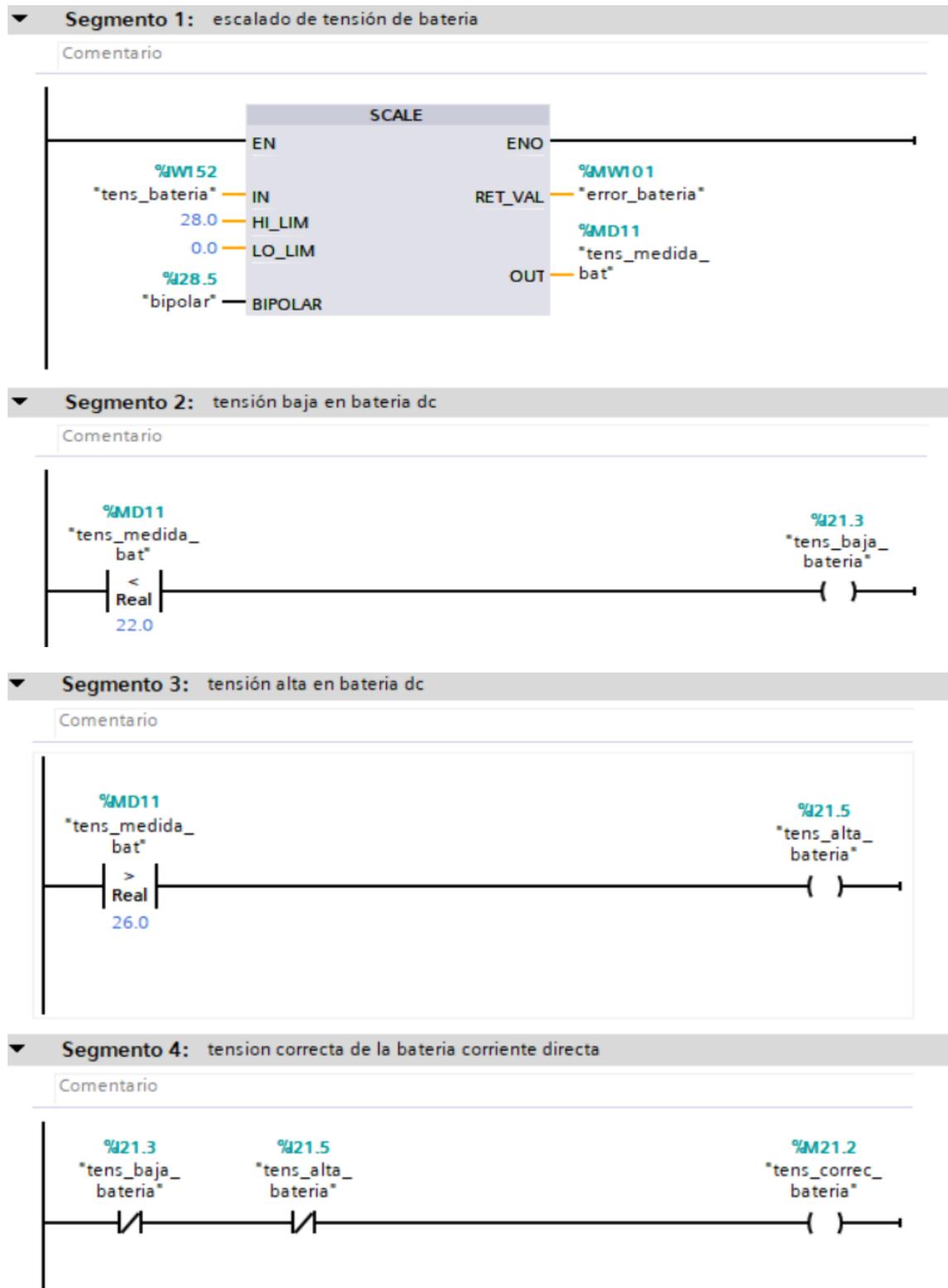


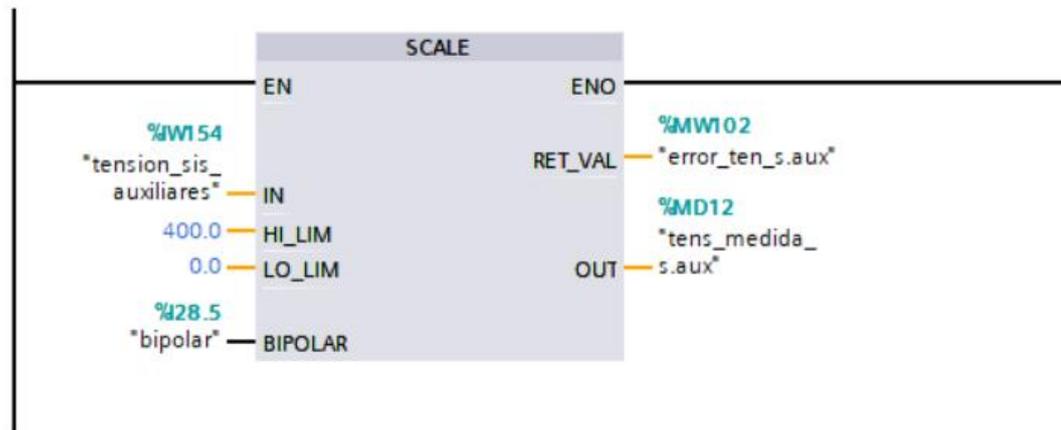
Figura 3.22: Escalado de tensiones

Elaboración propia

3.11.20 Escalado de tensiones en corriente alterna AC

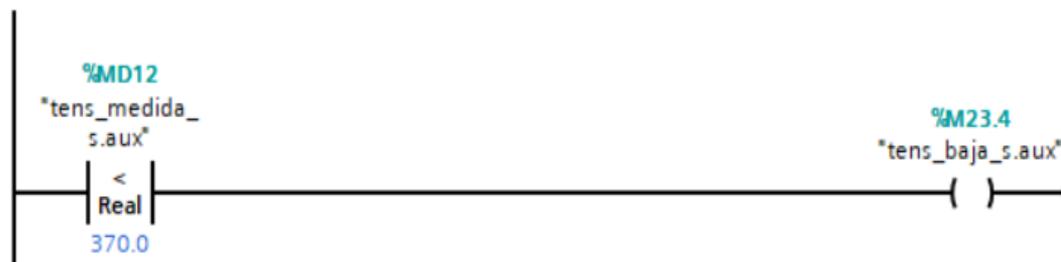
Segmento 5: escalado de tension en los sistemas auxiliares

Comentario



Segmento 6: tensión baja en los sistemas auxiliares

Comentario



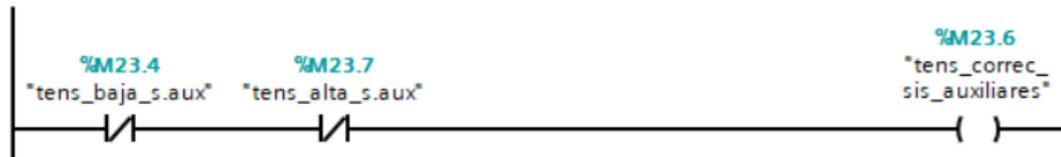
Segmento 7: tensión alta en los sistemas auxiliares

Comentario



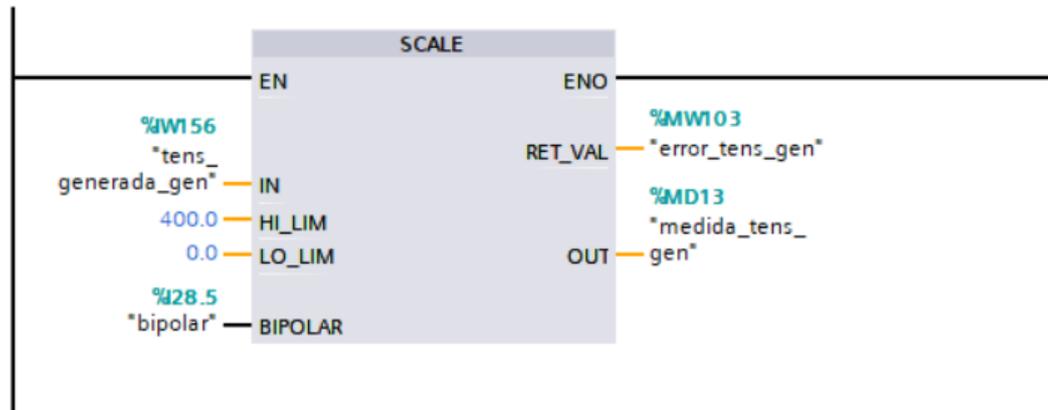
Segmento 8: tension correcta en los sistemas auxiliares del grupo

Comentario



▼ **Segmento 9: escalado tension del generador**

Comentario



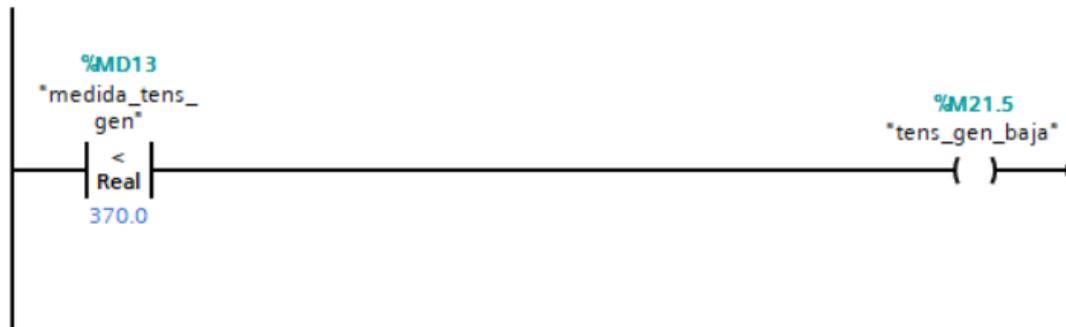
▼ **Segmento 10: tension alta en el generador**

Comentario



▼ **Segmento 11: tension baja en el generador**

Comentario



▼ **Segmento 12: tension correcta del generador**

Comentario

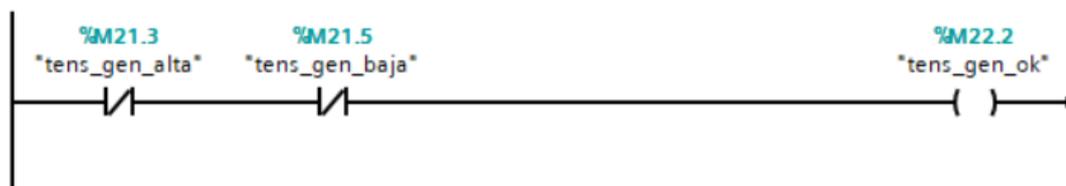


Figura 3.23: Escalado de tensiones en corriente alterna

Elaboración propia

3.12 CARGAR PROYECTO EN SISTEMAS PARA PC

Agregamos nuevo dispositivo, seleccionamos sistemas PC y dentro de este desplegamos SIMATIC HMI Application, seleccionamos WinCC RT Advanced, seleccionamos conexiones y se procede a configurar de tipo MPI.

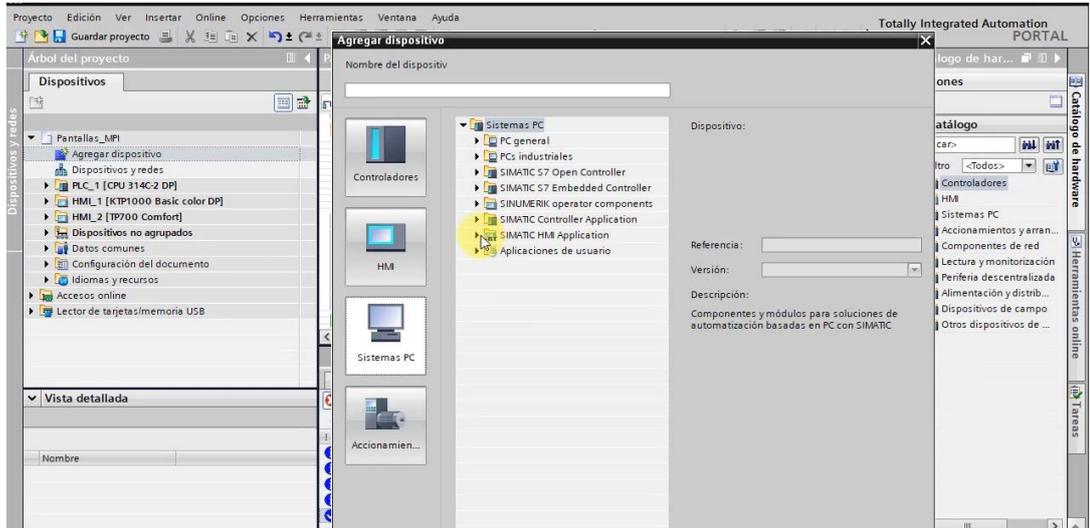


Figura 3.24: configuración de sistemas PC1

Elaboración propia

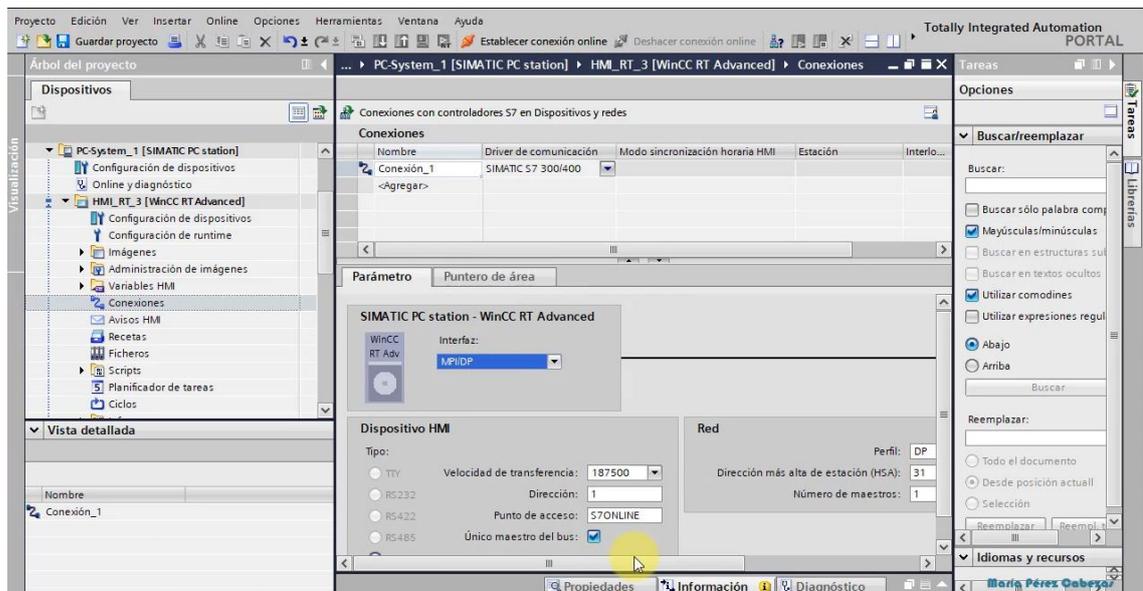


Figura 3.25: configuración de sistemas PC2

Elaboración propia

Configuramos PC-system, Agregamos imagen, realizamos las configuraciones para las secuencias y animaciones del sistema SCADA.

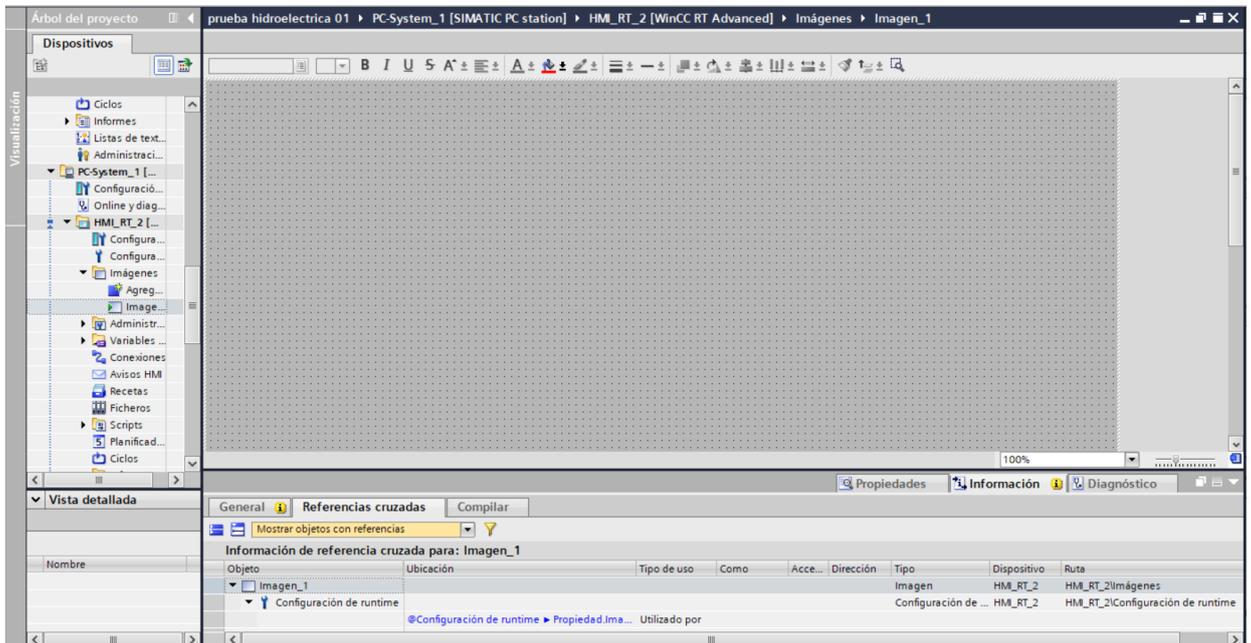


Figura 3.26: configuración de sistemas PC3

Elaboración propia



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL MEDIANTE SCADA

Los resultados del sistema SCADA que se ha diseñado muestra la información necesaria de la mini central hidroeléctrica de Ollachea a través de imágenes permitiendo visualizar el proceso de funcionamiento a través de los programas y escalados realizados para una fácil comprensión hacia los operarios que realicen labores de mantenimiento y proceso de encendido.

El sistema SCADA para realizar el proceso de control de la mini central hidroeléctrica está compuesta por las siguientes imágenes:

- Menú principal
- Secuencia Arranque
- Grupo Generador
- Temperatura, Nivel, Presión de aceite
- Unifilar
- Tensiones

4.1.1 Menú principal

Esta pantalla SCADA se usa como menú principal, la cual está compuesta por una barra de tareas en la parte superior indicando la ventana en la que nos

encontramos. En el borde izquierdo se dispuso de cinco pulsadores que permiten acceder a cada una de las pantallas con el nombre correspondiente.

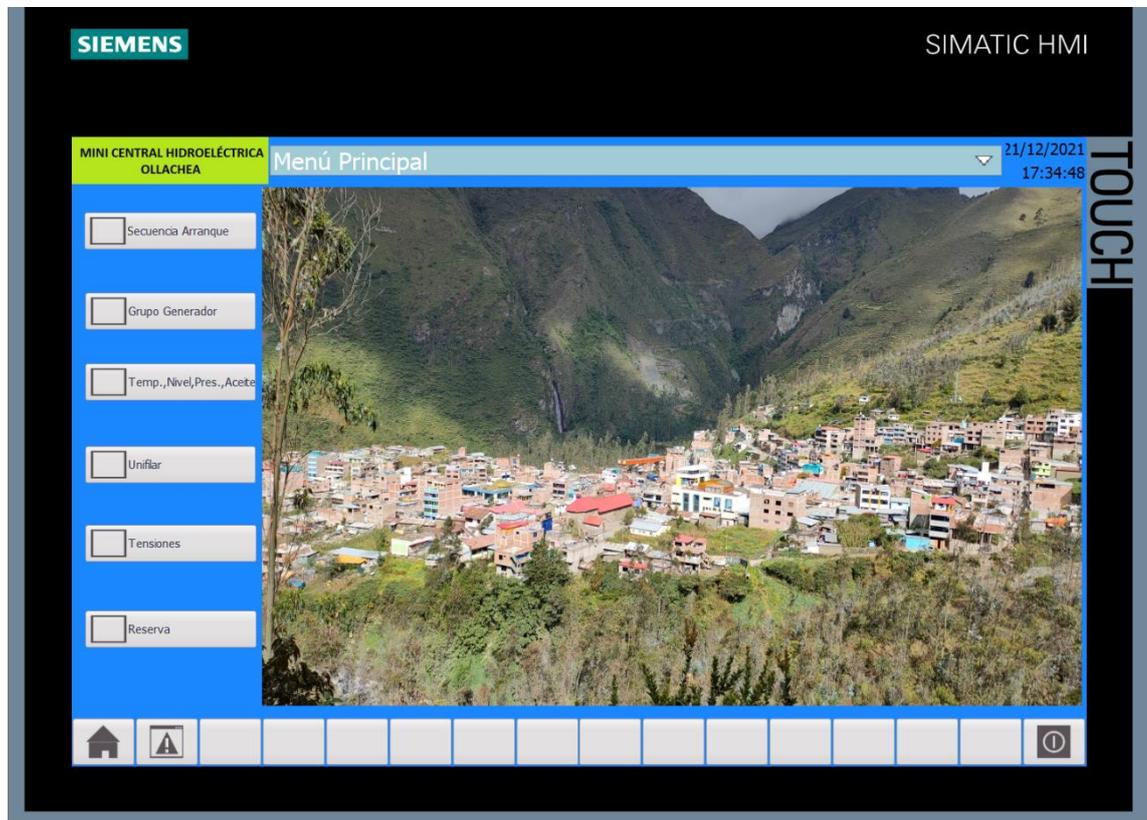


Figura 4.1: Menú principal

Elaboración propia

4.1.2 Secuencia de arranque y parada

Para comenzar los resultados de la secuencia de arranque y parada se establecieron variables netamente experimentales en las unidades de programación, el resumen grafico de la pantalla HMI permite manipular las variables establecidas.

- La primera sección está diseñada para el funcionamiento en modo manual que dispone de pulsadores incluidos los pilotos de aviso que se activan progresivamente en la pantalla HMI como se muestra en la figura 4.2.



- Para el funcionamiento automático seleccionamos la marcha y de forma automática se activarán los procesos de arranque.
- A continuación, se presenta el cuadro de pulsadores de las paradas de emergencia y la reactivación además se cuenta con pilotos correspondientes indicando la acción realizada.

Tabla 4.1: Variables para el proceso de arranque

Nombre	Dirección	Variable PLC
Automático	%M5.0	p_automático
Manual	%M5.5	p_manual
Marcha	%M5.7	p_marcha
Activar Central	%M9.6	m_central_on
Act. Grupo y elementos auxiliares	%M14.7	a_grup_elem_auxi
Arrancar circulación regulación y refrigeración	%M15.0	circ_refrig_manual
Apertura válvula mariposa	%M15.3	aper_comp_manual
Activar sincronoscopio	%M15.2	act_sincronoscopio_manual
Acoplar grupo a la red	%M14.5	acop_grup_red_manual
Parada	%M5.4	parada
Paro emergencia	%M20.3	paro_emergencia
Pulsador paro emergencia	%M11.3	pul_paro_emergencia
Reactivar	%M25.0	puls_reactivar

Elaboración propia

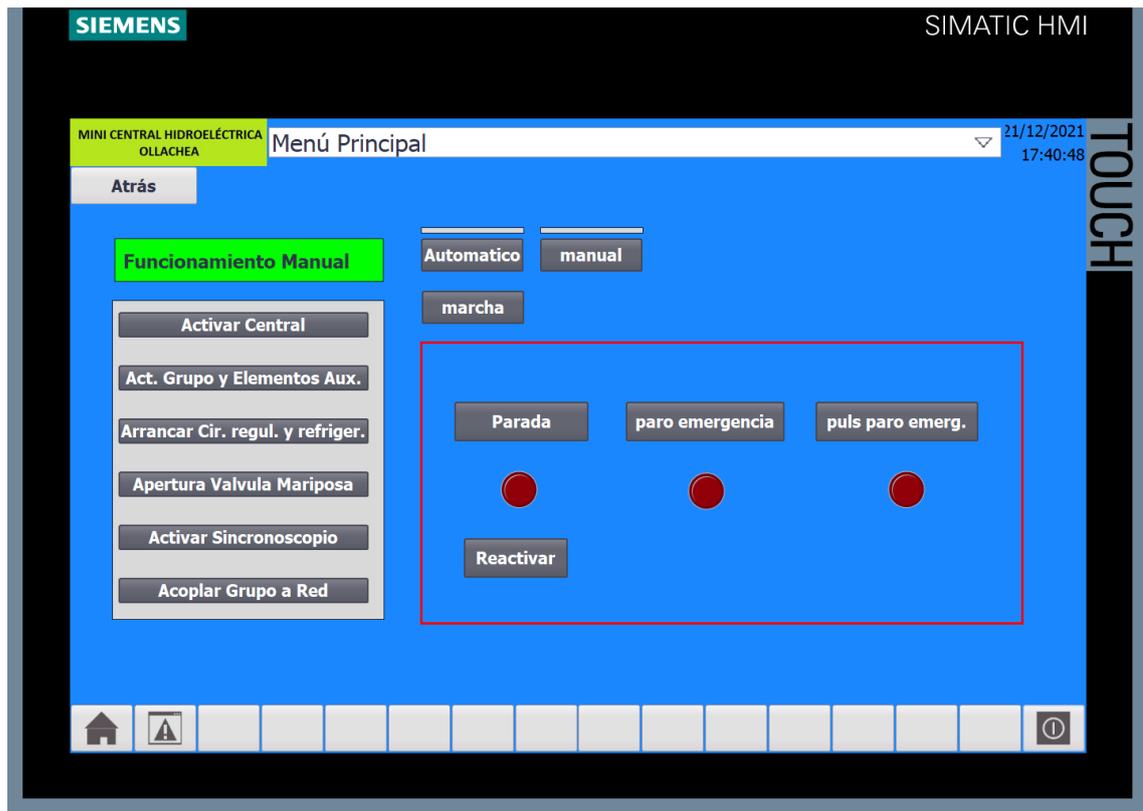


Figura 4.2: Secuencia de arranque

Elaboración propia

4.1.3 Grupo Generador

Los resultados que se muestran en la figura 4.3 permiten visualizar diferentes magnitudes del grupo generador entre ellos los datos del generador tensión, frecuencia, potencia e intensidad, así como el estado de conexión de la válvula mariposa, apertura y set point del distribuidor los cuales se establecieron de acuerdo a la siguiente tabla de variables del PLC.

Tabla 4.2: Variables magnitudes de grupo generador

Nombre	Dirección	Variable PLC
tensión V	%MD13	medida_tens_gen
Potencia KVA	%MD20	potencia_generada
Intensidad	%MD21	intensidad_generada
Set point distribuidor	%IW158	pos_distribuidor

Apertura distribuidor	%MD14	pos_med_distribuidor
Generador activo/desactivado	%Q17.0	grupo_on
Válvula mariposa cerrado/abierto	%Q21.4	valvula_mariposa_on

Elaboración propia

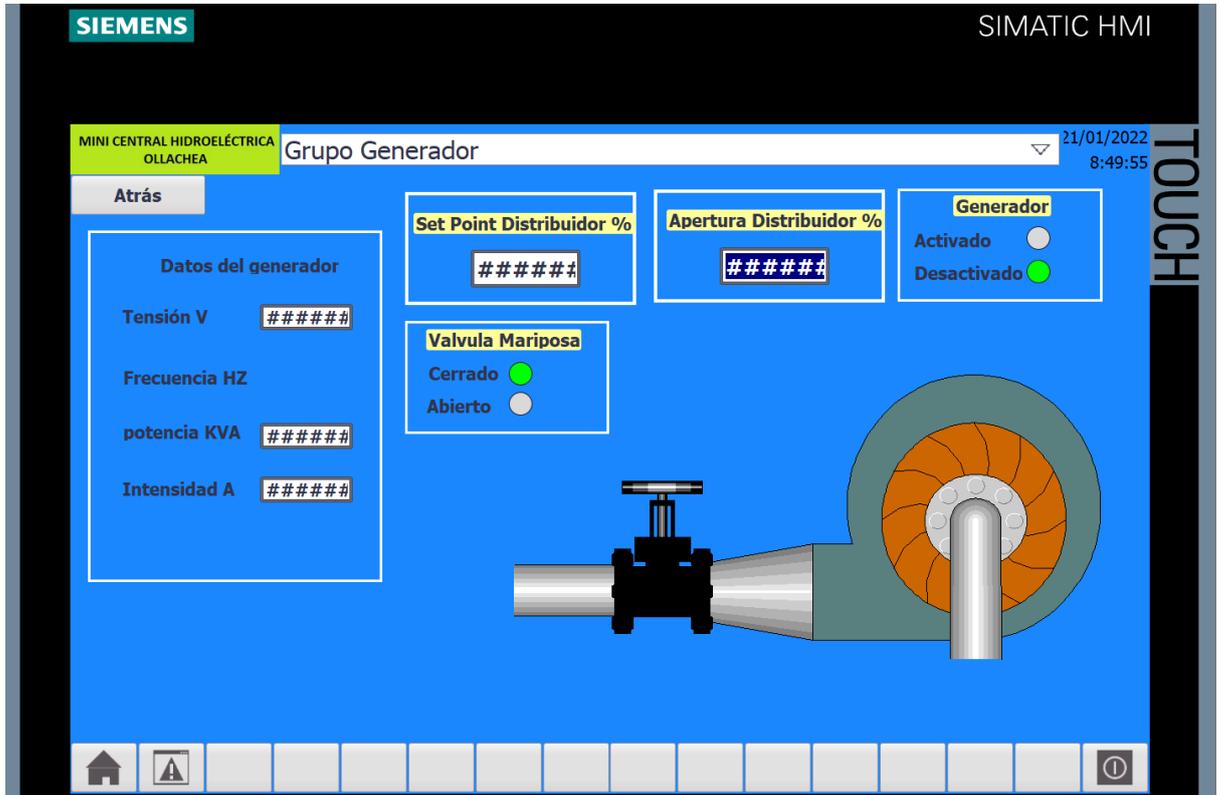


Figura 4.3: Tensiones del grupo generador

Elaboración propia

4.1.4 Temperaturas, nivel, presión de aceite

Los resultados que se muestran en la figura 4.4 muestran las magnitudes de temperaturas presiones y niveles de los componentes de la mini central hidroeléctrica como temperatura del estator, nivel del tanque de regulación, presión de aceite de regulación los cuales se establecieron de acuerdo a la siguiente tabla de variables del PLC.

Tabla 4.3: Variables de temperatura, nivel, presión de aceite

Nombre	Dirección	Variable PLC
Temperaturas estator		
Temperatura muy alta	%M19.7	temp_estator_m_alta
Temperatura alta	%M19.6	temp_estator_alta
Temperatura correcta	%M19.5	temp_estator_ok
Temperaturas del aceite de regulación		
Temperatura muy alta	%M18.7	temp_aceite_m.alta
Temperatura alta	%M18.6	temp_aceite_alta
Temperatura correcta	%M18.5	temp_acei_reg.ok
Presión del aceite de regulación		
Presión muy alta	%M17.4	pres_aceite_alta
Presión muy baja	%M17.5	pres_aceit_baja
Presión correcta	%M17.6	pres_aceite_ok
Nivel aceite del tanque de regulación		
Nivel bajo	%M16.4	acei_tanque_bajo
Nivel correcto	%M16.5	acei_tanque_ok

Elaboración propia

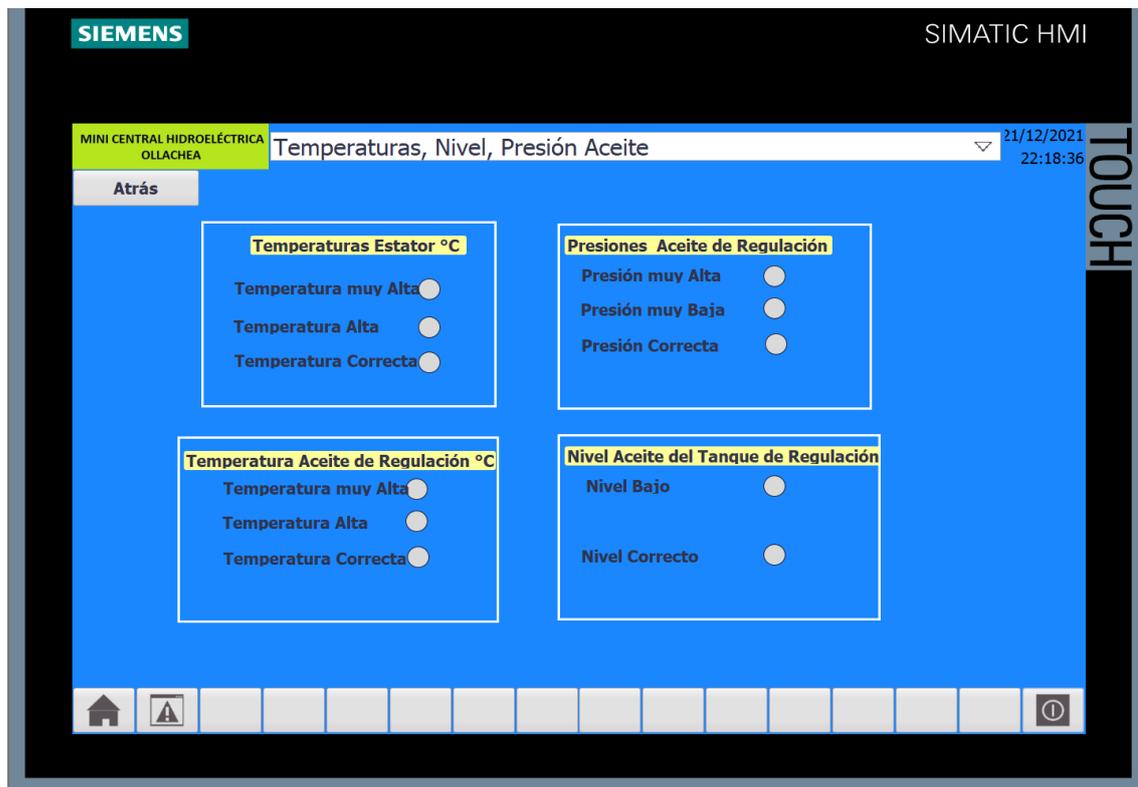


Figura 4.4: Control de temperatura, nivel y presión de aceite

Elaboración propia

4.1.5 Unifilar

Los resultados de la figura 4.5 muestran el esquema unifilar eléctrico de la mini central en donde se muestran el seccionador, interruptor de grupo, interruptor del transformador y el acoplamiento del grupo indicando el estado que se encuentran por medio de un piloto que al activarse cambia de color gris a verde las variables se establecieron de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 4.4: Variables unifilar eléctrico

Nombre	Dirección	Variable PLC
interruptor grupo abierto/cerrado	%Q17.4	int_grupo
seccionador abierto/cerrado	%Q17.6	secc_close
interruptor trafo abierto/cerrado	%Q19.5	int_trafo_close
grupo acoplado/desacoplado	%M15.7	grup_acoplado

Elaboración propia

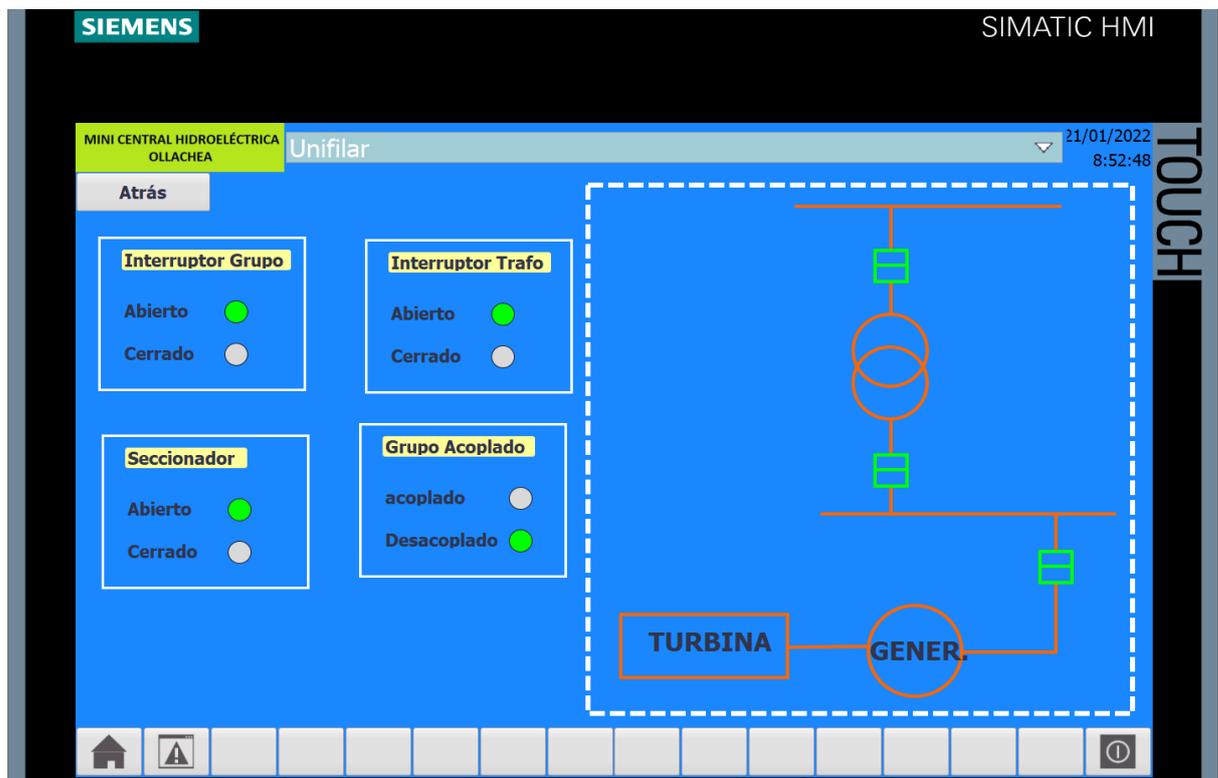


Figura 4.5: Unifilar eléctrico

Elaboración propia

4.1.6 Tensiones

Los resultados de la figura 4.6 nos muestra la medición de tensiones de los diferentes elementos de la mini central como son la tensión de la batería de DC, tensión de los sistemas auxiliares AC y tensión del generador AC. Además, se cuenta con pilotos indicando el parámetro correcto de funcionamiento previamente programado los cuales se establecieron de acuerdo a la siguiente tabla de variables del PLC.

Tabla 4.5: Variables tensión AC, DC

Nombre	Dirección	Variable PLC
tension bateria correcta VDC	%M21.2	tens_correc_bateria
tension sistema auxiliar correcta VAC	%M23.6	tens_correc_sis_auxiliares
tension de generador VAC	%M22.2	tens_gen_ok

Elaboración propia

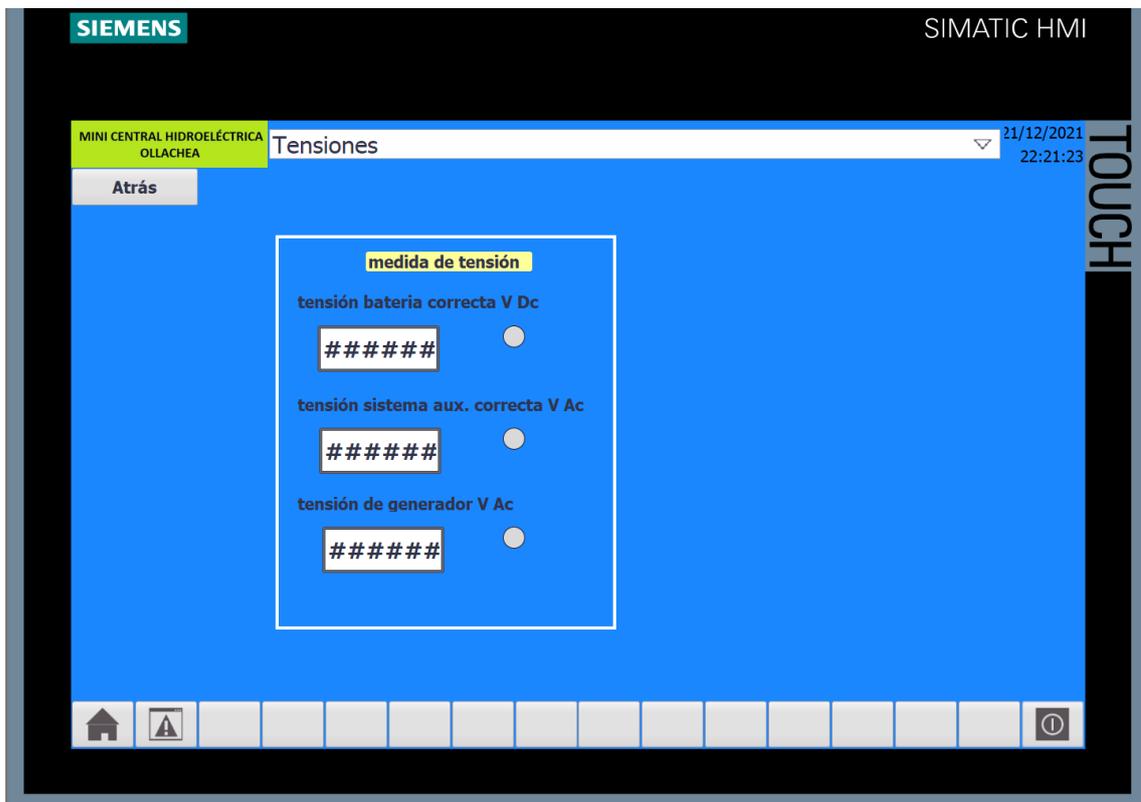


Figura 4.6: Medida de tensiones en corriente alterna y directa

Elaboración propia

4.1.7 Resultados del escalado de caudal de agua

En la siguiente tabla se muestran valores de escalamiento en unidades de 0.05 m³/s del caudal de agua hasta obtener un promedio de 0.65m³/s la cual permite el funcionamiento de la mini central, al superar los límites establecidos la salida %M8.1 no será activado por lo tanto la puesta en marcha de la mini central no entrará en funcionamiento.

Tabla 4.6: Valores para escalado de agua

valor lectura de sensor	Valor caudal M ³ /s	valor en mA
0	0	4
1382.4	0.05	4.8
2764.8	0.1	5.6
4147.2	0.15	6.4
5529.6	0.2	7.2
6912	0.25	8
8294.4	0.3	8.8
9676.8	0.35	9.6
11059.2	0.4	10.4
12441.6	0.45	11.2
13824	0.5	12
15206.4	0.55	12.8
16588.8	0.6	13.6
17971.2	0.65	14.4
19353.6	0.7	15.2
20736	0.75	16
22118.4	0.8	16.8
23500.8	0.85	17.6
24883.2	0.9	18.4
26265.6	0.95	19.2
27648	1	20

Elaboración propia

4.1.8 Resultados del escalado de posición del distribuidor

La siguiente tabla muestra la posición del distribuidor de la turbina Francis la cual se tiene programado el escalado de 0 a 100 por ciento de la apertura, siendo 0 para el cierre y 100 para la apertura completa, para su accionamiento el distribuidor contiene un conjunto de paletas directrices dispuestas de forma circular utilizado para regular el caudal de agua a través de un servomotor con salida %MD14.

Tabla 4.7: Valores para escalado del distribuidor

Posición %	Valor lectura de sensor	Valor caudal M ³ /s	Valor en mA
0	0	0	4
10	2764.8	0.065	5.6
15	4147.2	0.0975	6.4
20	5529.6	0.13	7.2
25	6912	0.1625	8
30	8294.4	0.195	8.8
35	9676	0.2275	9.6
40	11059.2	0.26	10.4
45	12441.6	0.2925	11.2
50	13824	0.325	12
55	15206.4	0.3575	12.8
60	16588.8	0.39	13.6
65	17971.2	0.4225	14.4
70	19353.6	0.455	15.2
75	20736	0.4875	16
80	22118.4	0.52	16.8
85	23500.8	0.5525	17.6
90	24883.2	0.585	18.4
95	26265.6	0.6175	19.2
100	27648	0.65	20

Elaboración propia

4.1.9 Resultados del escalado nivel de aceite

La siguiente tabla muestra la regulación en el tanque de aceite, se realizó la programación de escalado con variables que indiquen nivel bajo menor a 30 litros y



correcto nivel de aceite mayor a 30 litros para sus accionamientos de la válvula mariposa, válvula del servomotor. Si se presentara un nivel bajo en el tanque reguladora se activa una falla en la variable %16.4 impidiendo el funcionamiento de condiciones iniciales para arrancar el sistema de regulación y refrigeración.

Tabla 4.8: Valores para escalado nivel de aceite

Valor lectura de sensor	Nivel en litros	Valor en mA
0	0	4
1382.4	2.5	4.8
2764.8	5	5.6
4147.2	7.5	6.4
5529.6	10	7.2
6912	12.5	8
8294.4	15	8.8
9676.8	17.5	9.6
11059.2	20	10.4
12441.6	22.5	11.2
13824	25	12
15206.4	27.5	12.8
16588.8	30	13.6
17971.2	32.5	14.4
19353.6	35	15.2
20736	37.5	16
22118.4	40	16.8
23500.8	42.5	17.6
24883.2	45	18.4
26265.6	47.5	19.2
27648	50	20

Elaboración propia

4.1.10 Resultados del escalado de presión del aceite

La siguiente tabla muestra valores de escalado para tener un correcto funcionamiento en los accionamientos en la válvula mariposa y servomotor, para lo cual se ha programado un escalado de presiones donde 30 bares es la presión mínima y 60

bares la presión máxima de funcionamiento, si las presiones no están en el rango de programación preestablecidos se activarán las alarmas en la pantalla HMI con la falla correspondiente.

Tabla 4.9: Valores para escalado de presión del aceite

Valor lectura de sensor	Presión BAR	Valor en mA
0	0	4
1382.4	3	4.8
2764.8	6	5.6
4147.2	9	6.4
5529.6	12	7.2
6912	15	8
8294.4	18	8.8
9676.8	21	9.6
11059.2	24	10.4
12441.6	27	11.2
13824	30	12
15206.4	33	12.8
16588.8	36	13.6
17971.2	39	14.4
19353.6	42	15.2
20736	45	16
22118.4	48	16.8
23500.8	51	17.6
24883.2	54	18.4
26265.6	57	19.2
27648	60	20

Elaboración propia

4.1.11 Resultados del escalado de temperatura en el estator

La siguiente tabla muestra valores de escalado para el correcto funcionamiento en los devanados del estator se realizó un escalado con límites de temperatura escalando con valores mínimo de 110° y máximo de 115° grados Celsius al superar la máxima temperatura preestablecida, se activará una alarma en el panel HMI, si la temperatura



sigue en aumento se activará la variable %M18.6 desactivando las condiciones para los sistemas arranque del generador.

Tabla 4.10: Valores para escalado del estator

Valor lectura de sensor	Temperatura grados Celsius	Valor en mA
0	0	4
1382.4	10	4.8
2764.8	20	5.6
4147.2	30	6.4
5529.6	40	7.2
6912	50	8
8294	60	8.8
9676.8	70	9.6
11059.2	80	10.4
12441.6	90	11.2
13824	100	12
15206.4	110	12.8
16588.8	120	13.6
17971.2	130	14.4
19353.6	140	15.2
20736	150	16
22118.4	160	16.8
23500.8	170	17.6
24883.2	180	18.4
26265.6	190	19.2
27648	200	20

Elaboración propia

4.1.12 Resultados del escalado de la temperatura en aceite reguladora

Los procedimientos de escalado son similares al segmento mencionado anteriormente a excepción que los niveles de temperatura de aceite se establecen con límite de temperatura alta de 45° activando una alarma si se registra dicha temperatura en la pantalla HMI y temperatura muy alta cuando se excede de los 50° grados Celsius procediendo a desactivar las condiciones iniciales para el arranque del generador.



Tabla 4.11: Valores para escalado de temperatura del aceite

Valor lectura de sensor	Temperatura grados Celsius	Valor en Ma
0	0	4
1382.4	3	4.8
2764.8	6	5.6
4147.2	9	6.4
5529.6	12	7.2
6912	15	8
8294.4	18	8.8
9676.8	21	9.6
11059.2	24	10.4
12441.6	27	11.2
13824	30	12
15206.4	33	12.8
16588.8	36	13.6
17971.2	39	14.4
19353.6	42	15.2
20736	45	16
22118.4	48	16.8
23500.8	51	17.6
24883.2	54	18.4
26265.6	57	19.2
27648	60	20

Elaboración propia

4.1.13 Resultado del escalado de tensiones DC

la siguiente tabla muestra los valores para el escalado de las tensiones se inician por insertar limites de voltaje de 0-28v DC siendo la tensión correcta 24v DC corriente directa para un funcionamiento adecuado, cuando se supere un margen mayor y menor del 2% se activar una alarma en el panel HMI indicando la falla y su posterior parada en los sistemas de regulación y refrigeración.



Tabla 4.12: Valores para el escalado de tensión DC

Valor lectura de sensor	Valor tensión DC	Valor en mA
0	0	4
987.4	1	4.6
2962.3	3	5.7
3949.7	4	6.3
5924.6	6	7.4
6912	7	8
7899.4	8	8.6
9874.3	10	9.7
10861.7	11	10.3
12836.6	13	11.4
13824	14	12
14811.4	15	12.6
16786.3	17	13.7
17773.7	18	14.3
19748.6	20	15.4
20736	21	16
21723.4	22	16.6
23698.3	24	17.7
24685.7	25	18.3
26660.6	27	19.4
27648	28	20

Elaboración propia

4.1.14 Resultados del escalado de tensiones en corriente alterna AC

La siguiente tabla muestra los escalados en los sistemas auxiliares y tensiones del generador, se insertan límites de 0-400v AC siendo la tensión correcta 380v AC para un funcionamiento adecuado, cuando se supere un margen mayor y menor del 2.5% se activar una alarma en el panel HMI indicando la falla y su posterior parada en los sistemas de regulación y refrigeración.

Tabla 4.13: Valores para escalado tensión AC

Valor lectura de sensor	Valor tensión AC	Valor en mA
0	0	4
1382.4	20	4.8
2764.8	40	5.6
4147.2	60	6.4
5529.6	80	7.2
6912	100	8
8294.4	120	8.8
9676.8	140	9.6
11059.2	160	10.4
12441.6	180	11.2
13824	200	12
15206.4	220	12.8
16588.8	240	13.6
17971.2	260	14.4
19353.6	280	15.2
20736	300	16
22118.4	320	16.8
23500.8	340	17.6
24883.2	360	18.4
26265.6	380	19.2
27648	400	20

Elaboración propia

4.2 DISCUSIÓN

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa general que establece que es posible el control de la mini central hidroeléctrica de Ollachea por medio de un sistema SCADA.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Pérez-López (2015) en sistemas SCADA en la automatización industrial, Cajisaca y Gomez (2014) en control automático y Telecomando de la mini central hidroeléctrica Gualeco, Filali-Yachou, González-González, y Lecuona-Rebollo (2015) en estándares SCADA para diseño de interfaces en los centros de datos, Parianza (2018) en automatización de los sistemas de



control y monitoreo de una central hidroeléctrica para su operación remota, Ali, Siddiqi, Muhammad, y Arshad (2018) en diseño y simulación de un sistema de control electromecánico para mini centrales hidroeléctricas, Mejía, Jabba, Carrillo y Caicedo (2019) en influencia de la ingeniería de software en los procesos de automatización industrial. Estos autores mencionan sobre la importancia de los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos SCADA para una producción eficiente de energía eléctrica.

En lo que respecta la recopilación de información para los procesos de control en sensores, actuadores y motores eléctricos es posible interactuar con las variables del sistema de control en este estudio se logra interactuar desde el simulador general de control virtual PLCSIM. En cambio, no concuerda el estudio de estos autores referidos con el presente, es que ellos no mencionan procedimientos para la manipulación de variables.

En lo que respecta los procedimientos de arranque y parada es posible realizar de forma automática o manual la selección de tipo de secuencia se realizara con la maquina parada, en este estudio se ha programado todos los bloques de funciones que controlan su funcionamiento en arranque y parada de la mini central hidroeléctrica. En cambio, no concuerda el estudio de los autores referenciados con el presente es que ellos no mencionan los segmentos de programación en sus investigaciones.

En lo que respecta el diseño de una plataforma de monitoreo de la mini central hidroeléctrica los resultados guardan relación con lo que sostienen los autores referidos quienes señalan la factibilidad de monitorización por medio de pantallas HMI debido a que ofrecen un sistema grafico visual para actuar como puente de comunicación entre operador y máquina.



V. CONCLUSIONES

- Podemos concluir que una de las partes fundamentales en la automatización de la mini central es que los equipos y software hagan el trabajo correspondiente a la programación efectuada, de esta manera el ser humano dedicara su tiempo a tareas que requieran pensar y no a trabajos reiterativos que sencillamente una maquina o software lo pueda realizar.
- En lo que respecta la elaboración de secuencia de arranque y parada en la mini central hidroeléctrica nos permite tener procesos a seguir para la puesta en marcha en hidroeléctricas, por consiguiente, la secuencia de programación que controla las operaciones de la mini central se logran por medio de una lógica de programación por segmentos.
- En referencia al diseño, se ha logrado diseñar los gráficos y realizar su direccionamiento a las variables del sistema de control de la mini central hidroeléctrica de Ollachea. El diseño planteado es de arquitectura abierta y flexible con la posibilidad de realizar modificaciones o expansiones a futuro.



VI. RECOMENDACIONES

Primero: Se recomienda comprobar y realizar pruebas de funcionamiento en cada elemento que se utilice antes de montar el sistema SCADA en una planta ya que el proyecto se realizó de forma simulada en software. De igual manera se recomienda probar los sistemas uno por uno y luego en conjunto para descartar errores en el sistema.

Segundo: Si bien el sistema desarrollado está estructurado para suprimir el proceso manual en el funcionamiento de la mini central hidroeléctrica de Ollachea, es recomendable realizar mediciones con los instrumentos y equipos adecuados cada cierto tiempo con la finalidad de comprobar si los sensores, actuadores están dando las medidas reales o requieren calibración.

Tercero: Para la implementación de un SCADA en las industrias de automatización se debe tener en cuenta los tipos de entradas y salidas que requerirá el sistema, con ello se podrá elegir de una mejor manera el tipo de PLC con el cual se va a desarrollar el proyecto.



VII. REFERENCIAS

- Ali, A., Siddiqi, M. R., Muhammad, R., & Arshad. (2018). DESIGN AND SIMULATION OF AN ELECTRO-MECHANICAL CONTROL SYSTEM FOR MINI HYDRO POWER PLANTS. *2018 International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET)*, 1-6. doi:10.1109/PGSRET.2018.8686024
- Aprende con Ciencia. (s.f). *Rincón Educativo*. Obtenido de [online]:
<https://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/que-es-un-generador-electrico>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación*. Caracas: EPISTEME C.A.
- Atayupanqui, C. C. (2019). *Reacondicionamiento de la mini central hidroeléctrica de Urcos-Urcos-Cusco para una potencia de 400 kw*. Tesis de ingeniería , Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco , Facultad de ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica, Cusco.
- Cajisaca, J. P., & Gomez, J. R. (2014). *Estudio del sistema de control automático y telecomando de la minicentral hidroeléctrica Gualaceo*. Tesis de ingeniería , Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca.
- Caminero, F. (2015). *Proyecto de rehabilitación de central hidroeléctrica en Ribas de Campos*. Trabajo fin de grado , Universidad de León, Escuela superior y técnica de ingenieros de minas, León.
- Castro Márquez, F. (2003). *Proyecto de investigación y su esquema de elaboración*. Distrito Capital: Uyapar.
- Centro de formación técnica para industria. (s.f.). *Cómo funciona un sistema SCADA*. Obtenido de [online]: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>



Centro de formación técnica para la industria . (s.f.). *Que es un Automata Programable o PLC y Cómo funciona* . Obtenido de [online]:

<https://www.cursosaula21.com/que-es-un-automata-programable-o-plc-y-como-funciona/>

Chapman, S. J. (2005). *Máquinas Eléctricas* (Vol. IV). México: McGraw-Hill.

Filali-Yachou, S., González-González, C. S., & Lecuona-Rebollo, C. (2015). HMI/

SCADA STANDARDS IN THE DESIGN OF DATA CENTER INTERFACES:
A NETWORK OPERATIONS CENTER CASE STUDY. *Dyna*, 82(193), 180-
186. doi:10.15446/dyna.v82n193.53494

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014).

Metología de la Investigacion (Sexta ed.). México: McGRAW-HILL.

Lozada, J. (2014). Investigacion Aplicada: Definición, propiedad intelectual e Industria.

CienciAmérica, 34-39. Obtenido de

<http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/30>

Mejía, Á., Jabba, D., Carrillo, G., & Caicedo, J. (2019). INFLUENCIA DE LA

INGENIERÍA DE SOFTWARE EN LOS PROCESOS DE

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL. *Información tecnológica*, 30(5), 221-
230. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500221>

Ortiz Flórez, R. (2011). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Bogotá: Ediciones de la U.

Parianza , L. E. (2018). *Automatización de los sistemas de control y monitoreo de una*

central hidroeléctrica para su operación remota. Tesis de Ingeniería ,

Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Producción y
Servicios, Arequipa.

Pérez-López, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Revista*

Tecnología en Marcha, 28(4), 3-14. doi:10.18845/tm.v28i4.2438



Portillo, G. (s.f.). *Turbina Francis*. Obtenido de [online]:

<https://www.renovablesverdes.com/turbina-francis/>

Sanz Osorio, J. F. (2008). *Energía Hidroeléctrica* (Primera ed.). Zaragoza: Prensas

Universitarias de Zaragoza.

Semerci, D. S., & Yavuz, T. (2016). Increasing efficiency of an existing francis turbine

by rehabilitation process. *2016 IEEE International Conference on Renewable*

Energy Research and Applications (ICRERA), 107-111.

doi:10.1109/ICRERA.2016.7884440

Sudjoko, R. I., & Darwito, P. A. (2017). Design and simulation of synchronous

generator excitation system using buck converter at motor generator trainer

model LEM-MGS. *2017 International Conference on Advanced Mechatronics,*

Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA), 41-45.

doi:10.1109/ICAMIMIA.2017.8387554

Wikimedia. (2008). *Represa hidroeléctrica*. Obtenido de [online]:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroel%C3%A9ctrica#/media/Archivo:H](https://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroel%C3%A9ctrica#/media/Archivo:Hydroelectric_dam-es.svg)

[ydroelectric_dam-es.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroel%C3%A9ctrica#/media/Archivo:Hydroelectric_dam-es.svg)

Yuste, R. L., & Guerrero, V. (2017). *Autómatas programables SIEMENS Grafset y*

Guía Gemma con Tia Portal (Primera ed.). España: Marcombo.



ANEXOS

ANEXO 1: hoja de características PLC S7-300

SIEMENS

Data sheet

6ES7153-2BA10-0XB0



SIMATIC DP, Connection ET 200M IM 153-2 High Feature for max. 12 S7-300 modules with redundancy capability, Timestamping suitable for isochronous mode New features: up to 12 modules can be used Slave INITIATIVE for Drive ES and Switch ES Expanded quantity structure for HART auxiliary variables Operation of the 64-channel modules 32 signals/slot +++Observe compatibility notes in manual+++

General information	
Product type designation	IM 153-2 DP HF
Firmware version	V6.0.0
Vendor identification (VendorID)	801Eh
Supply voltage	
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
external protection for power supply lines (recommendation)	2,5 A
Mains buffering	
• Mains/voltage failure stored energy time	5 ms
Input current	
Current consumption, max.	650 mA; with 24 V DC supply
Inrush current, typ.	3 A
I^2t	0.1 A ² ·s
Output current	
for backplane bus (5 V DC), max.	1.5 A

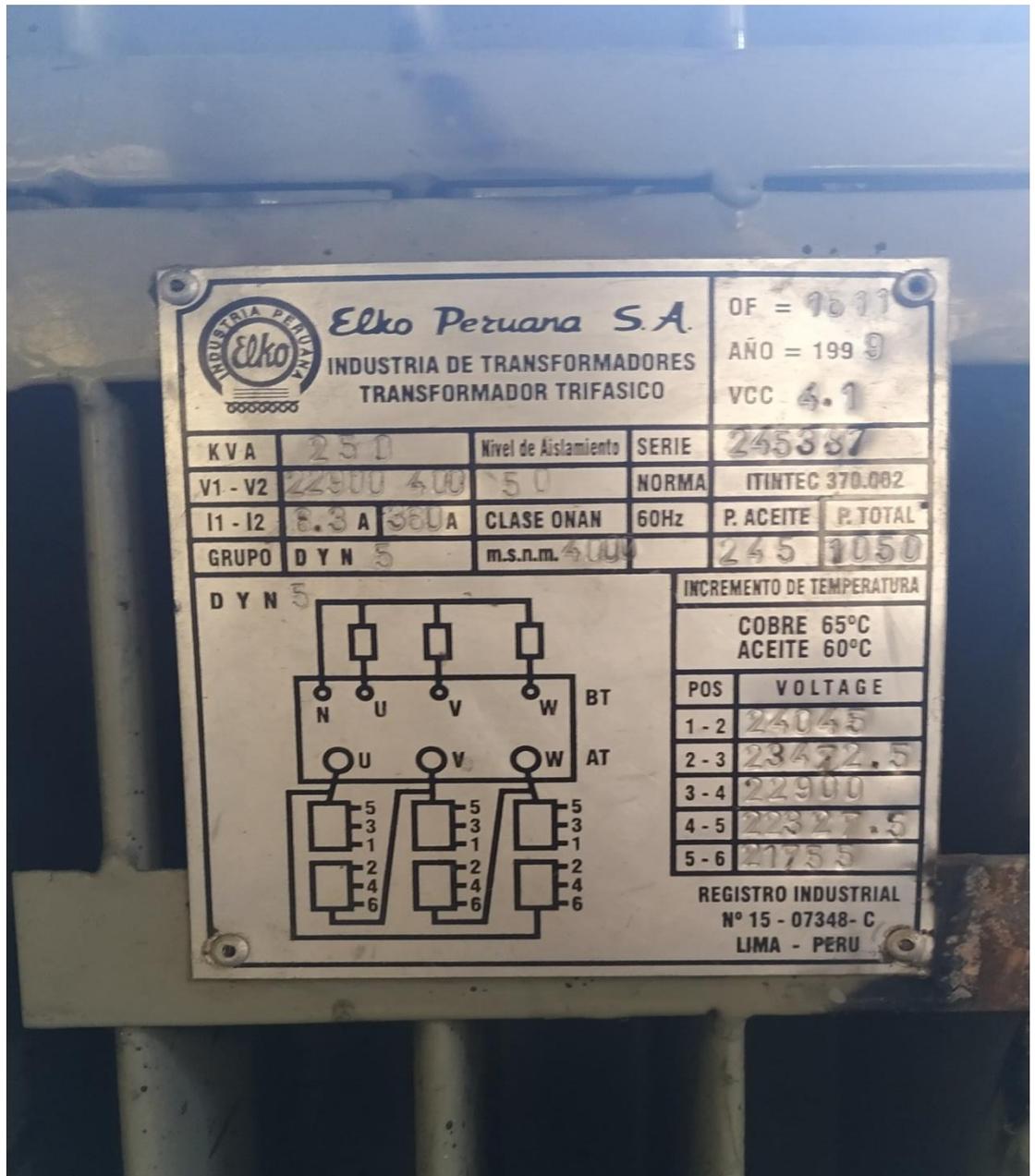


Power loss	
Power loss, typ.	5.5 W
Address area	
Addressing volume	
• Inputs	244 byte
• Outputs	244 byte
Hardware configuration	
Number of modules per DP slave interface, max.	12
Time stamping	
Accuracy	1 ms; 1 ms at up to 8 modules; 10 ms at up to 12 modules
Number of message buffers	15
Messages per message buffer	20
Number of stampable digital inputs, max.	128; Max. 128 signals/station; max. 32 signals/slot
Time format	RFC 1119
Time resolution	0.466 ns
Time interval for transmitting the message buffer if a message is present	1 000 ms
Time stamp on signal change	rising / falling edge as signal entering or exiting
Interfaces	
Transmission procedure	RS 485
Transmission rate, max.	12 Mbit/s
1. Interface	
automatic detection of transmission rate	Yes
Interface types	
• Output current of the interface, max.	70 mA
• Design of the connection	9-pin sub D socket
PROFIBUS DP slave	
• GSD file	SI05801E.GSD
• automatic baud rate search	Yes
Protocols	
Bus protocol/transmission protocol	PROFIBUS DP to EN 50170
Protocols (Ethernet)	
• TCP/IP	No
PROFIBUS DP	
• Number of node addresses, max.	1 to 125 permitted
Services	
— SYNC capability	Yes
— FREEZE capability	Yes
— Direct data exchange (slave-to-slave communication)	Yes; as publisher with all IO, as subscriber with F-IO only



Potential separation	
Potential separation exists	Yes
Isolation	
Isolation tested with	Isolation voltage 500 V
Degree and class of protection	
IP degree of protection	IP20
Ambient conditions	
Ambient temperature during operation	
• min.	0 °C
• max.	60 °C
• horizontal installation, min.	0 °C
• horizontal installation, max.	60 °C
• vertical installation, min.	0 °C
• vertical installation, max.	40 °C
Altitude during operation relating to sea level	
• Installation altitude above sea level, max.	3 000 m
Configuration	
Configuration software	
• STEP 7	Yes; STEP 7 / COM PROFIBUS / non-Siemens tools via GSD file
Dimensions	
Width	40 mm
Height	125 mm
Depth	117 mm
Weights	
Weight, approx.	360 g
last modified:	12/09/2020

ANEXO 2: Características del transformador de potencia





ANEXO 3: Características pistón de distribuidor

