



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
APLICADO A EQUIPOS DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BAJO
PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN ETHERNET”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

Presentado por:

Miguel Paúl Rodríguez Guzmán

Guayaquil – Ecuador

2020

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a Dios, mi familia, profesores, amigos y compañeros, que en cada momento me motivaron a seguir adelante en este proceso de superación profesional; confiaron en mí siempre y nunca me abandonaron hasta cumplir mi objetivo.

DEDICATORIA

Este esfuerzo se lo dedico a mi padre que está conmigo desde el cielo apoyándome y brindándome su protección día a día.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

PhD. Juan Carlos Aviles

SUBDECANO FIEC

PhD. Wilton Agila Gálvez

DIRECTOR

MSc. Ronald Solis M.

VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Miguel Paúl Rodríguez Guzmán

RESUMEN

Esta tesis está orientada hacia las personas que trabajan en el departamento eléctrico y de operaciones en industrias eléctricas y hacia personas que reciben la energía eléctrica como un servicio básico diario. Es una propuesta alternativa, completa y didáctica sobre el uso, manipulación y reporte diario de la energía eléctrica como tal. Un enfoque orientado a facilitar el entendimiento en el consumidor o empresa que la administra. El proyecto incluye nuevas tendencias de programación, automatización moderna que ayuda a la rapidez y eficacia de las variables manipuladas o controladas. Brinda muchas opciones para comunicación con distintos instrumentos de diversas marcas y poder ver cual resulta con mayor ventaja o desventaja.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimiento	II
Dedicatoria	III
Tribunal de Graduación	IV
Declaración Expresa	V
Resumen	VI
Índice General	VII
Tribunal de Graduación	X
Índice de figuras	X
Índice de tablas	XII
1 Antecedentes	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Solución Propuesta	2
1.3 Objetivo General	3
1.4 Objetivos Específicos	3
1.5 Metodología	4
1.6 Alcance del Trabajo	4

2	Estado del Arte	6
2.1	Medición energética en centrales hidroeléctricas	8
2.1.1	Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind	11
2.1.2	Casa de Máquinas de la Central Hidroeléctrica	13
2.1.3	Sala de Control - Departamento de Operaciones	14
2.2	Medición del rendimiento de centrales hidroeléctricas	14
2.3	Software y hardware de medición	16
2.3.1	Tia Portal	16
2.3.2	SIMATIC WinCC RT Professional	18
3	Diseño, Monitoreo e Implementación del Sistema de Adquisición de Datos	22
3.1	Hardware de adquisición	22
3.1.1	PowerLogic ION8600	22
3.1.2	S7-1500 - CPU 1511-1PN	24
3.2	Arquitectura de monitoreo y configuración	25
3.2.1	Red Profinet	25
3.2.2	Subred Modbus	25
3.3	Software de adquisición y visualización	26
3.3.1	Programación del PLC	26
3.3.2	HMI	30
3.3.3	SCADA	35
3.4	Reporte de parámetros energéticos	38
4	Análisis de Resultados	39
4.1	Análisis de alarmas y disparos de parámetros energéticos	39
4.2	Contraste con el sistema tradicional	40
4.3	Reportes generados para la Corporación Eléctrica Del Ecuador	41

Conclusiones y Recomendaciones	43
Bibliografía	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Ciclo de energía hidráulica	7
Figura 2.2	Desviación de la corriente	8
Figura 2.3	Intercepción de la corriente con un dique o presa	9
Figura 2.4	Sistema Hidroeléctrico	9
Figura 2.5	Hidrografa de una estación fluvial	16
Figura 2.6	Interfaz de tía Portal	17
Figura 2.7	Interfaz de ejemplo de tía Portal	18
Figura 3.1	PowerLogic ION8600	23
Figura 3.2	Diagrama de conexión	23
Figura 3.3	S7-1500 - CPU 1511-1PN	24
Figura 3.4	Arquitectura de monitoreo	25
Figura 3.5	Diagrama de flujo del software de adquisición y visualización	26
Figura 3.6	Bloque de configuración de cliente Modbus	27
Figura 3.7	Bloques de registro de voltaje línea-neutro y línea-línea	28
Figura 3.8	Bloques de registro de corriente de línea y potencia	29
Figura 3.9	Bloque de registro de frecuencia y factor de potencia	29
Figura 3.10	Bloques de disparo de alarmas	30
Figura 3.11	Bloques de registro de alarmas	30
Figura 3.12	Pantalla de inicio	31
Figura 3.13	Pantalla de medición de voltajes y corrientes	32

Figura 3.14	Bloques de registro de corriente de línea y potencia . . .	33
Figura 3.15	Pantalla de tendencias de corrientes	33
Figura 3.16	Pantalla de tendencias de voltajes	34
Figura 3.17	Ventana de acuse de alarmas	35
Figura 3.18	Pantalla de registro de alarmas	35
Figura 3.19	Pantalla de medición directa	36
Figura 3.20	Pantalla de medición detallada	37
Figura 3.21	Pantalla de alarmas	37
Figura 3.22	Pantalla de reportes	38
Figura 4.1	Reporte de parámetros eléctricos	41
Figura 4.2	Reporte gráfico	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Direcciones de lectura y almacenamiento de voltajes . . .	27
Tabla 3.2	Direcciones de lectura y almacenamiento de corrientes y potencias	28
Tabla 3.3	Direcciones de lectura y almacenamiento de frecuencia y factor de potencia	29
Tabla 3.4	Distribución de variables en pantalla	32
Tabla 3.5	Distribución de variables en pantalla	32

Capítulo 1

1. Antecedentes

El consumo de energía eléctrica se ve reflejado en cuantos kilovatios/hora al mes marca el medidor instalado en la casa o industria. Tener un monitoreo detallado sobre el voltaje, corriente y potencia consumida genera un reto complicado de superar, ya que el acceso a la información es restringido en ciertos casos y en otros es limitado.

En el caso de una central hidroeléctrica, el monitoreo de los voltajes, corrientes y potencia generada son de vital importancia, para garantizar el correcto funcionamiento de la central y controlar que la energía producida satisfaga la demanda, además que al monitorear estas variables se puede determinar si algún grupo electro-generador esta fallando o presenta cambios para dar mantenimientos oportunos y reducir los gasto operativo por fallas o daños en los equipos.

1.1. Descripción del problema

Actualmente en la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado De Wind el sistema de monitoreo y registros de históricos es ineficiente y se lo realiza de forma manual, ya que el software fue implementado hace mas de 15 años y realiza lecturas de potencia cada 15 minutos, adicionalmente el resto de parámetros se toman de forma manual, los tableristas cada hora anotan en papel la lectura de los medidores y la pasan a los operadores que ingresan los datos en archivos de excel, donde al final del día se genera reporte de las ultimas 24 horas, el mismo que es enviado al Centro Nacional de Control de la Energía (CENACE).

Esta forma de lecturas dificulta la detección de errores en el funcionamiento de los generadores lo cual provoca gastos adicionales de reparación, además de afectar la producción y reduce el tiempo de vida de los equipos.

1.2. Solución Propuesta

El proyecto busca diseñar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para la hidroeléctrica Marcel Laniado De Wind, que permita visualizar todos los parámetros eléctricos de producción, como lo son, voltajes y corrientes de linea, así como la potencia total generada.

Además se implementara un sistema SCADA para la sala de

control y una pantalla HMI al nivel de operario, en la que se podrán visualizar las tendencias, valores nominales, alarmas cada minuto y que permitirá generar reportes cada que sea necesario.

1.3. Objetivo General

Desarrollar un sistema de adquisición de datos a través del protocolo de comunicación Ethernet para la monitorización y medición de parámetros energéticos de una central hidroeléctrica.

1.4. Objetivos Específicos

- Implementar el hardware necesario para la adquisición de los datos de las variables eléctricas a ser procesados en el autómata programable y su visualización en el interface de usuario.
- Diseñar una aplicación informática que adquiera, procese y muestre datos de voltaje, corriente, frecuencia y potencia, a través de la red de medidores industriales de energía.
- Desarrollar un sistema de supervisión de datos para la apreciación confiable de los parámetros energéticos.
- Registrar alarmas en el sistema de parámetros eléctricos para la supervisión de los operarios.
- Generar informes diarios para el reporte a la entidad competente.

1.5. Metodología

Para desarrollar un sistema de adquisición de datos, práctico y robusto se utilizará: Programación en bloques y lenguaje C con los datos de campo respectivo. Sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA).

Interacción con los datos adquiridos por los dispositivos registradores de energía de la Corporación Eléctrica del Ecuador Unidad de Negocio Hidronación, y a su vez contrastarlo con el sistema tradicional existente.

Técnica

- Automatización industrial aplicada a variables de procesos.
- Comunicación Industrial entre autómatas programables.

Instrumento

- Implementación de hardware y software de adquisición y comunicación
- Pruebas de funcionamiento.

1.6. Alcance del Trabajo

Partiendo del sistema actual el presente proyecto cubrirá los siguientes aspectos:

- Configuración del medidor de parámetros eléctricos.
- Programación y configuración del PLC para leer los datos del medidor.
- Diseño de la red de comunicación Ethernet.
- Programación de HMI:
 - Tendencias.
 - Históricos.
 - Alarmas.
 - Reportes.
- Programación de PC-Station - SCADA:
 - Tendencias.
 - Históricos.
 - Alarmas.
 - Reportes.
- Comparativa del sistema actual y del propuesto.

Capítulo 2

2. Estado del Arte

El agua se utiliza para mover turbinas, que a su vez mueven generadores que transforman la energía mecánica en energía eléctrica. [6]

Las plantas hidroeléctricas aprovechan los caudales y caídas del agua. Todo empieza cuando el sol calienta las masas de agua, de su evaporación se forman nubes y eventualmente lluvia que fluye a través de caudalosos ríos. El agua en estos ríos tiene una enorme cantidad de energía mecánica potencial, y para aprovechar esta energía se escogen cauces de ríos que tienen algunas características importantes que incluyen amplio caudal de agua y diferencias importantes de altura en corta distancia. [6]

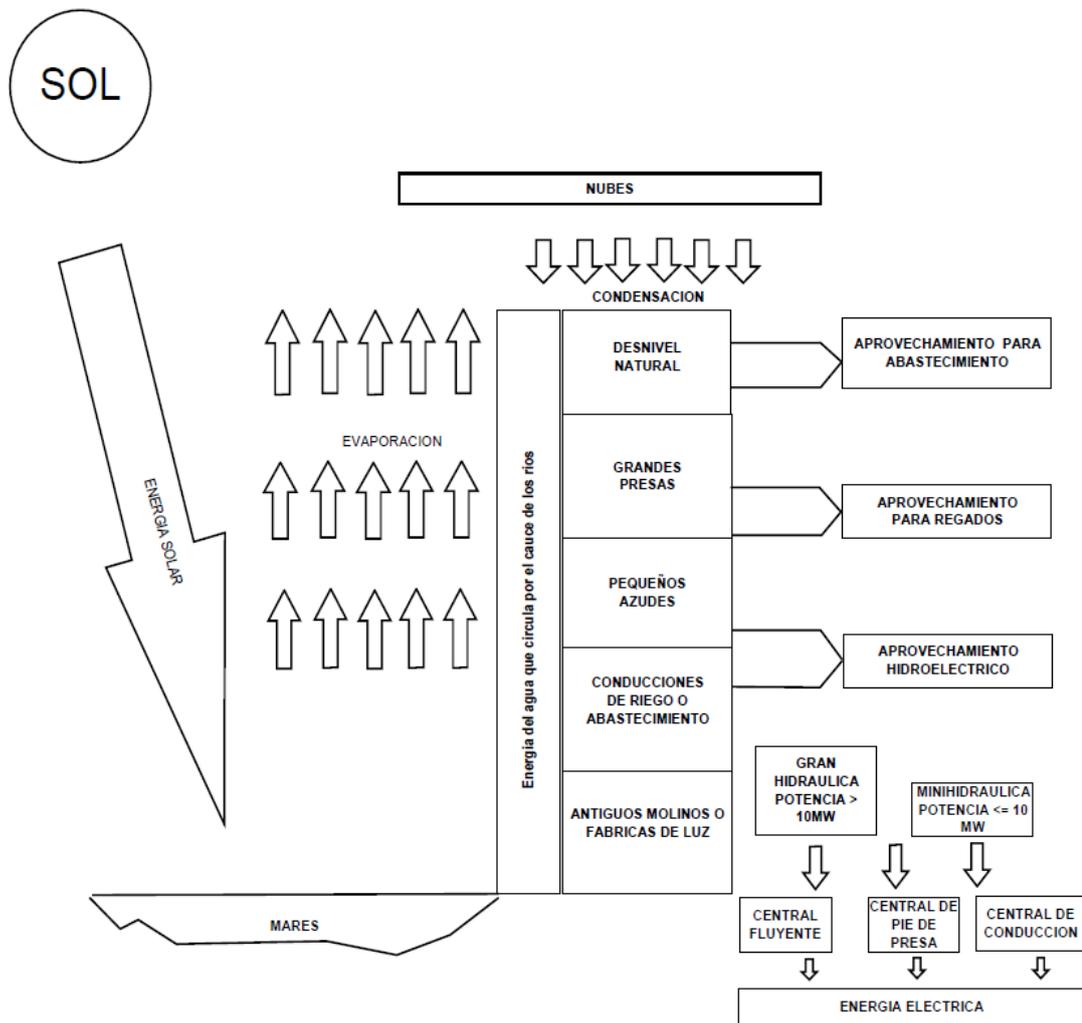


Figura 2.1: Ciclo de energía hidráulica

El potencial hidrológico de una cuenca hidrológica está compuesto por las aguas superficiales y subterráneas que se pueden aprovechar para satisfacer las demandas de los diferentes usos. [7]

2.1. Medición energética en centrales hidroeléctricas

En el curso de las corrientes de agua, su energía es disipada en remolinos, cauces, choques con materiales como rocas, etc. Para obtener este tipo de energía hidráulica y poder transformarla en energía mecánica y finalmente en energía eléctrica, se debe reducir a lo más mínimo las pérdidas naturales, con la ayuda de un cauce artificial, el cual permite convertir la energía potencial en energía mecánica por medio de turbinas o ruedas hidráulicas.

En la actualidad, existen 2 métodos principales que nos permiten reducir en lo mas mínimo las pérdidas hidráulicas:

1.Desviación de la corriente

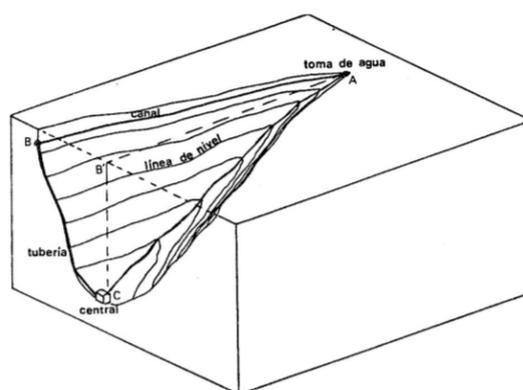


Figura 2.2: Desviación de la corriente

Este método consiste en separar al caudal del río desde el punto A a lo largo de la ladera y manteniendo el recorrido sobre las pendientes que están respectas a las líneas de nivel hacia el punto B, en donde se encuentran unas tuberías que llevan el agua hasta la

central en el punto C donde están ubicadas las turbinas o máquinas.

2. Intercepción de la corriente con un dique o presa

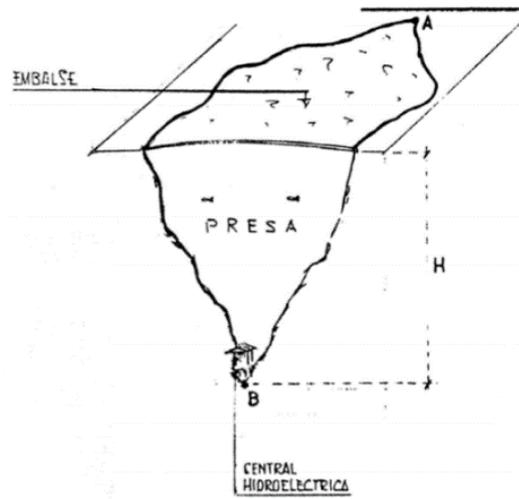


Figura 2.3: Intercepción de la corriente con un dique o presa

Este método consiste en almacenar la corriente del río usando una presa, lo que ocasionará la elevación del nivel del río, disminuyendo con ello la velocidad de la corriente y las pérdidas.

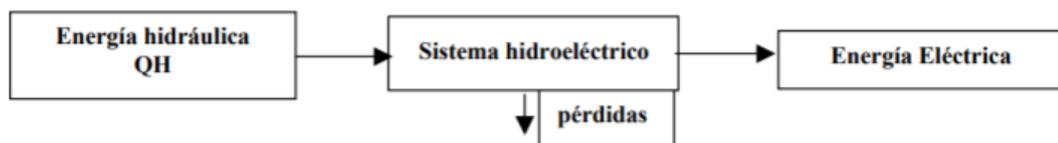


Figura 2.4: Sistema Hidroeléctrico

En una central o casa de máquina, la potencia eléctrica que se es directamente proporcional a la altura del salto de agua y al caudal instalado. Para poder hallar estas magnitudes es importante definir algunos términos al momento de la instalación de la planta hidroeléctrica:

- **Cota:** altura a la que se encuentra una superficie tomando como referencia el nivel del mar.
- **Salto de Agua:** caída de agua de un nivel superior a un inferior o también conocido como diferencia de cota.
- **Caudal:** cantidad de agua que lleva la corriente, su unidad de volumen por segundo.

En un sistema hidroeléctrico siempre se tratara de alcanzar la máxima eficiencia, por lo cual es importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- La altura sobre el nivel del mar debe ser utilizada en varios pasos, con plantas escalonadas.
- Todas obras de toma y conducción deben encontrarse en excelente estado.
- La transformación de energía hidroeléctrica a mecánica mediante la turbina debe ser óptima.
- El generador eléctrico que transforma la energía mecánica en eléctrica debe ser lo mas eficiente posible.
- La transmisión de energía eléctrica de punto a punto debe ser optimizada.

Según las posibilidades hidroeléctricas de cada país o región, los límites de la siguiente clasificación según su potencia son los siguientes: [6]

(Europa)

- **Microcentrales:** $Pa < 100 \text{ KW}$
- **Centrales de pequeña potencia:** $100 \leq Pa < 1000 \text{ KW}$
- **Centrales de media potencia:** $1000 \leq Pa < 10\,000 \text{ KW}$
- **Centrales de gran potencia:** $Pa \geq 10\,000 \text{ KW}$

(Centroamérica)

- **Nano:** vatios hasta 1KW
- **Pico:** 1 KW hasta los 10 KW
- **Micro:** 10KW hasta 50KW
- **Mini:** 50KW hasta 1000KW
- **Pequeñas:** 1MW hasta 5 MW
- **Mediana:** 5MW hasta 30 MW
- **Grande:** arriba de los 30 MW

2.1.1. Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind

El Proyecto de Propósito Múltiple Jaime Roldós Aguilera está conformado por la Presa Daule Peripa, la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado De Wind y los Sistemas de Riego del Valle del Daule. Este proyecto posee diversos fines, entre los que se destacan:

- Proteger la Cuenca Baja del Río Daule de las inundaciones.
- Proporcionar riego y drenaje mediante un trasvase a la Península de Santa Elena.
- Proporcionar agua para riego y para consumo a las poblaciones de Manabí, mediante el trasvase al Embalse la Esperanza.
- Suministrar agua para consumo de la ciudad de Guayaquil y ciudades aledañas al río Daule.
- Generar 600 millones de kilovatios de energía eléctrica para el sistema nacional interconectado (SNI), mediante la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind.

El alcance inicial del Sistema de Gestión de Calidad de Hidronación incluye la Generación Eléctrica y su comercialización y la operación y mantenimiento de centrales hidroeléctricas. La operación de la Central Hidroeléctrica está ligada a la de la Presa Daule Peripa, la cual culminó su construcción en el año 1987. La central posee 213 000 kilovatios (3×71 MW) de potencia instalada, cuya operación, manejo y mantenimiento constituye el objeto de la Unidad de Negocio CELEC EP-HIDRONACION. El embalse Daule-Peripa tiene una capacidad de almacenamiento de 6000 millones de metros cúbicos.

La Central Hidroeléctrica “Marcel Laniado de Wind”, es una obra de carácter nacional debido a que la energía producida abastece, en conjunto con las otras centrales del país, a través del Sistema Nacional Interconectado (SNI), el mercado eléctrico del Ecuador. En cambio los otros componentes del Proyecto Múltiple, tales como

riego, control de inundaciones, control salino, etc., tienen un alcance regional y benefician principalmente a las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas.

La Central Hidroeléctrica “Marcel Laniado de Wind”, tiene un régimen hidrológico, diferente a las centrales Paute, Agoyán y Pucará, permitiendo de esta manera tener una buena disponibilidad en época de estiaje de la Sierra y Oriente.

2.1.2. Casa de Máquinas de la Central Hidroeléctrica

La Casa de Máquinas tiene una potencia nominal instalada de 213MW y alberga tres unidades de generación con turbinas tipo Francis con una potencia nominal de 71MW cada una. Las turbinas son del tipo Francis, construidas en acero inoxidable con una potencia nominal de 71MW cada una, un peso de 26.6 Toneladas, el número de álabes o palas es 13 y la velocidad de rotación es de 163.64 r.p.m. Los generadores o alternadores son del tipo paraguas de eje vertical y se acoplan directamente a la turbina. Son sincrónicos, trifásicos, con una potencia nominal de 79MVA y producen energía a un voltaje de 13.8KV y a una frecuencia de 60Hz. Entre los componentes principales se destacan el estator y el rotor. Son refrigerados mediante unos radiadores que están en la superficie externa del armazón del estator.

2.1.3. Sala de Control - Departamento de Operaciones

Desde este lugar se puede supervisar y controlar el proceso (generación de energía), se tienen funcionalidades como: alarmas, registro de eventos y tendencias históricas, ejecución de comandos para control de los equipos de la Central y la Subestación. Las funciones mencionadas se realizan a través de un software cuya aplicación se denomina CUBE y fue desarrollada por la empresa ORSI que posteriormente fue comprada por SIEMENS. La Subestación Daule Peripa es de 138KV (alta tensión), tiene una configuración de doble barra unidas mediante un interruptor. Tiene 9 posiciones o bahías (3 de generadores, 5 de líneas y 1 de transferencia). De las posiciones de línea: 2 líneas parten a la S/E Quevedo, 2 a la S/E Portoviejo y 1 a la S/E Chone. Todos los equipos de la S/E se pueden operar local y remotamente desde la Sala de Control, cabe recalcar que también cuentan con un sistema de alarmas para indicar una anomalía o una maniobra.

2.2. Medición del rendimiento de centrales hidroeléctricas

Se denomina caudal instalado o turbinado de una central al caudal total que absorberán todas las turbinas instaladas en su funcionamiento normal (suma de los caudales nominales de todas las turbinas) este caudal no puede ser ni el caudal máximo registrado en el lugar, ni el caudal mínimo. En el primer caso el rendimiento

de la central sería bajo al funcionar las turbinas durante mucho tiempo lejos del régimen nominal, que generalmente es el de máximo rendimiento; siendo además mayor el costo de una central con equipo sobre dimensionado; en el segundo caso quedaría sin utilizar durante mucho tiempo gran parte del caudal disponible. La selección del caudal instalado en cada nueva instalación se hace por medio de un estudio técnico-económico, fundamentado en las variaciones diarias, mensuales y anuales del caudal del río en el lugar de la instalación que se registran en las curvas hidrógrafas; así como en el precio de maquinaria e instalaciones, demanda y precio de venta de la energía, etc. [6]

La hidrógrafa es la curva que tiene por abscisas los días del año y como ordenada los caudales. En la figura 2.5. se ha trazado una hidrógrafa con los caudales medidos en un lugar de un río, día tras día de un año determinado.

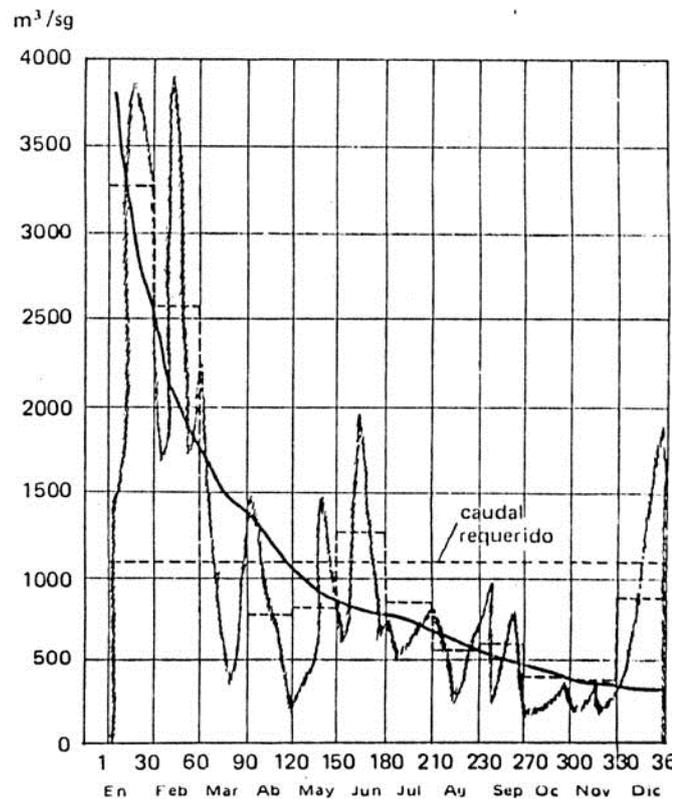


Figura 2.5: Hidrografa de una estación fluvial

2.3. Software y hardware de medición

2.3.1. Tia Portal

Una aplicación modular a la que se le pueden ir añadiendo nuevas funcionalidades y cuya utilidad sea la de integrar las distintas aplicaciones en un mismo interfaz. [9]

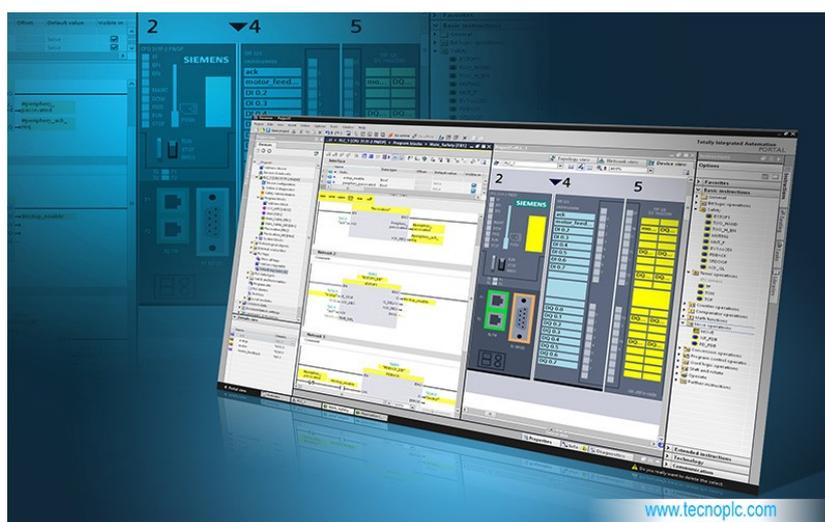


Figura 2.6: Interfaz de tia Portal

Utilidades

La principal utilidad que TIA Portal cuenta es la posibilidad de integrar distintas aplicaciones de software industrial para procesos de producción en una misma interfaz lo que facilita enormemente el aprendizaje, la interconexión y la operación. Sin importar si se trata de la programación de un controlador, de la configuración de una pantalla HMI o de la parametrización de los accionamientos: con esta arquitectura de software tanto los usuarios nuevos como los expertos trabajan de una forma intuitiva y efectiva, dado que no necesitan operar una amplia variedad de sistemas de diferentes orígenes. [10]

Se trata de una aplicación modular a la que se le pueden ir añadiendo nuevas funcionalidades según las necesidades concretas de cada sector industrial.

Ventajas

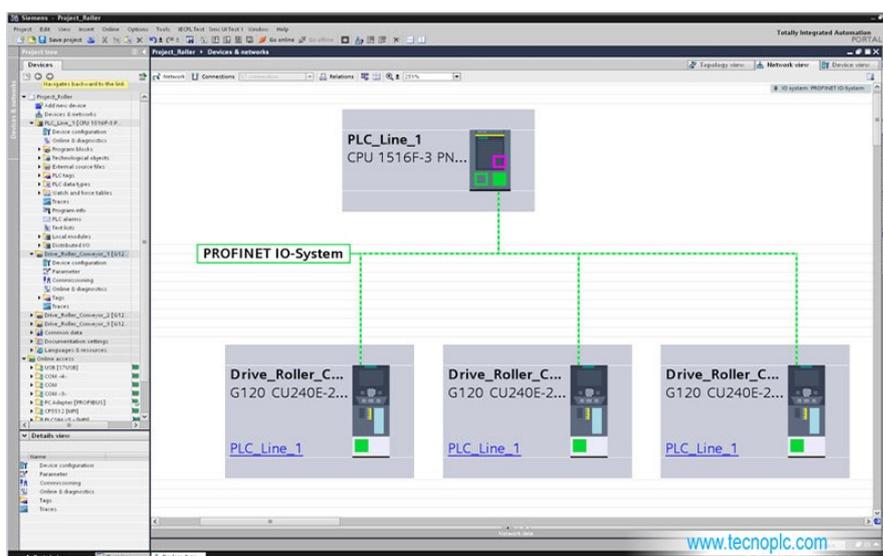


Figura 2.7: Interfaz de ejemplo de tia Portal

La integración en una única plataforma de los diferentes elementos de software industrial, permite lograr ahorros de hasta el 30% durante la vida útil del ciclo de producción gracias a una ingeniería simplificada, una rápida puesta en marcha, detección de errores de programación y una reducción de tiempos de paradas de la planta. Los errores se pueden gestionar online lo que reduce los tiempos de parada de producción y aumenta la disponibilidad de la instalación. [10]

2.3.2. SIMATIC WinCC RT Professional

- **El sistema SCADA dentro del portal TIA**

SIMATIC WinCC Professional Siemens brinda confiabilidad debido a un sistema SCADA que se encuentra excelentemente integrado en el TIA Portal dando la oportunidad de cumplir con los requisitos actuales de la industria para la digitalización de sus

diferentes procesos.

SIMATIC WinCC Runtime Professional es un sistema de control y supervisión de operador basado en ordenador para control y monitores de procesos, flujos de producción, maquinaria y sistemas en todos los sectores, desde un simple usuario hasta los sistemas multiusuario distribuidos y la ubicación cruzada para soluciones con clientes web diferentes. [11]

■ **Ventajas de SIMATIC WinCC RT Professional**

El sistema básico de WinCC Professional debe ser tecnológico y de sector neutral, modular y expandible de forma flexible. Permite aplicaciones para un solo usuario en ingeniería y soluciones de mediana y alta complejidad para múltiples usuarios o incluso sistemas distribuidos con servidores redundantes y clientes en ingeniería de plantas. [11]

■ **Gestión eficiente de operaciones**

Dado que los procesos de fabricación se alejan de lo simple, los requisitos de calidad cada vez son mas exigentes, se piden modificaciones de los productos de forma contante e impredecible y sin desmejorar el tiempo productividad, debe ser posible tomar decisiones rápidas y orientadas a los objetivos con respecto a la optimización de procesos en todos los niveles de una empresa. Esto requiere un adecuado flujo integrado de información en los diferentes niveles operativos y ubicaciones.

SIMATIC WinCC RT Professional le proporciona una alta transparencia y la base para la optimización del proceso. El uso inteligente de la información mejora los procesos en la empresa

para un rápido retorno de la inversión. Esto reduce los costos, evita el desperdicio, mejora la utilización de las instalaciones de producción y, en última instancia, garantiza una mejor eficiencia y rentabilidad para la empresa.

■ **Prestaciones**

Para poder cumplir con los crecientes requisitos, la visualización debe ser ampliable en cualquier momento sin causar incompatibilidades tecnológicas o requerir configuraciones completamente nuevas. La protección de la inversión es una prioridad principal.

SIMATIC WinCC proporciona la escalabilidad integrada requerida, desde la pequeña solución de usuario único hasta la solución cliente / servidor y las estaciones de operador en la web. También se pueden construir soluciones de redundancia para la mayor disponibilidad y seguridad.

Además de las configuraciones escalables, las opciones y complementos de WinCC ofrecen extensiones adaptadas al cliente para soluciones tecnológicas y específicas de la industria.

■ **Estandarización**

SIMATIC WinCC representa en todo momento un alto nivel de apertura e integración porque se basa en tecnologías estándar y herramientas de software.

Comenzando con su primera versión, se basa en el líder del mercado en el área del sistema operativo, que ofrece además seguridad de inversión. Con WinCC RT Professional (en TIA Portal), se beneficia del potente SQL Server, integrado

en el sistema base. Además, permite interfaces abiertas para automatizar la ingeniería, así como para combinar la automatización y IT-World durante el tiempo de ejecución.

Capítulo 3

3. Diseño, Monitoreo e Implementación del Sistema de Adquisición de Datos

3.1. Hardware de adquisición

El hardware de adquisición esta compuesto por un medidor de energía y un PLC de alta gama comunicados por Ethernet en configuración esclavo/maestro.

3.1.1. PowerLogic ION8600

Es un medidor de energía y calidad energética para redes de servicios públicos. sus principales características son:

- Medición de potencia y energía.
- Registro de eventos.

- Registros de mínimos y máximos programables.
- Registros históricos de 32 canales.
- Monitoreo de armónicos.
- Medición de componentes simétricos.
- Entradas/Salidas digitales y analógicas
- Comunicación ModBus RTU esclavo/maestro



Figura 3.1: PowerLogic ION8600

El esquema de conexión se muestra a continuación:

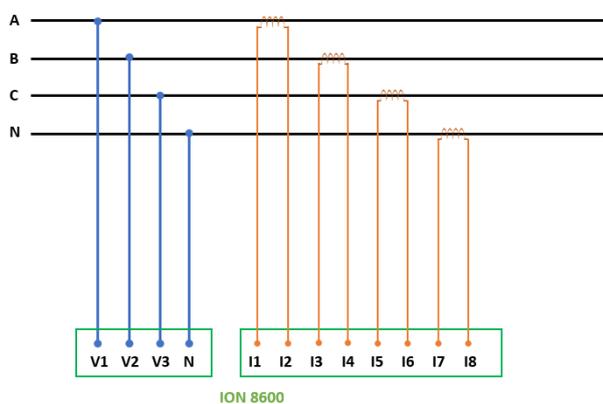


Figura 3.2: Diagrama de conexión

3.1.2. S7-1500 - CPU 1511-1PN

El S7-1500 es un PLC de alta gama orientado para tareas de control, monitoreo de sistemas con tiempos muy pequeños de actualización de datos, la CPU 1511-1PN es ideal para aplicaciones del área de generación eléctrica, sus principales características son:

- Comunicación PROFINET IO RT (REALTIME).
- Servidor Web integrado.
- OPC UA.
- Diagnostico de sistema integrado.
- Seguridad integrada.



Figura 3.3: S7-1500 - CPU 1511-1PN

3.2. Arquitectura de monitoreo y configuración

El sistema de monitoreo esta compuesto por los elementos de la red profinet y una subred modbus.

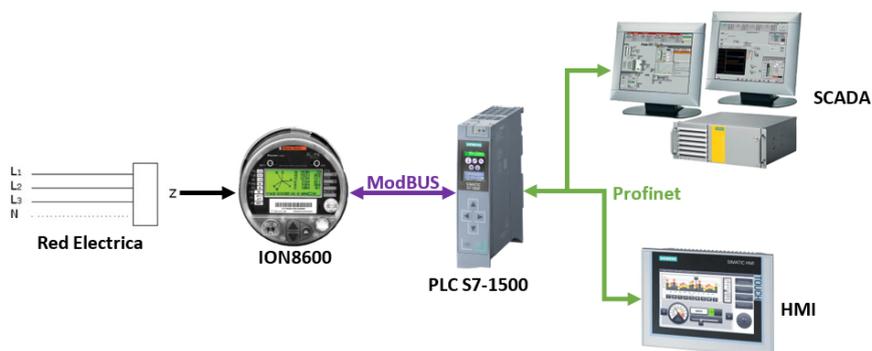


Figura 3.4: Arquitectura de monitoreo

3.2.1. Red Profinet

La red profinet es la red principal de comunicación tanto para los dispositivos de campo como los dispositivos del sistema SCADA, el cual esta compuesto por:

- PLC S7-1500.
- SIMATIC HMI.
- PC STATION.

3.2.2. Subred Modbus

La subred Modbus es la red de comunicación para el sistema de medición, la cual esta compuesta por:

- PLC S7-1500.
- ION 8600.

3.3. Software de adquisición y visualización

El software de adquisición y visualización se compone por tres bloques de programación como se observa en la figura 3.5.

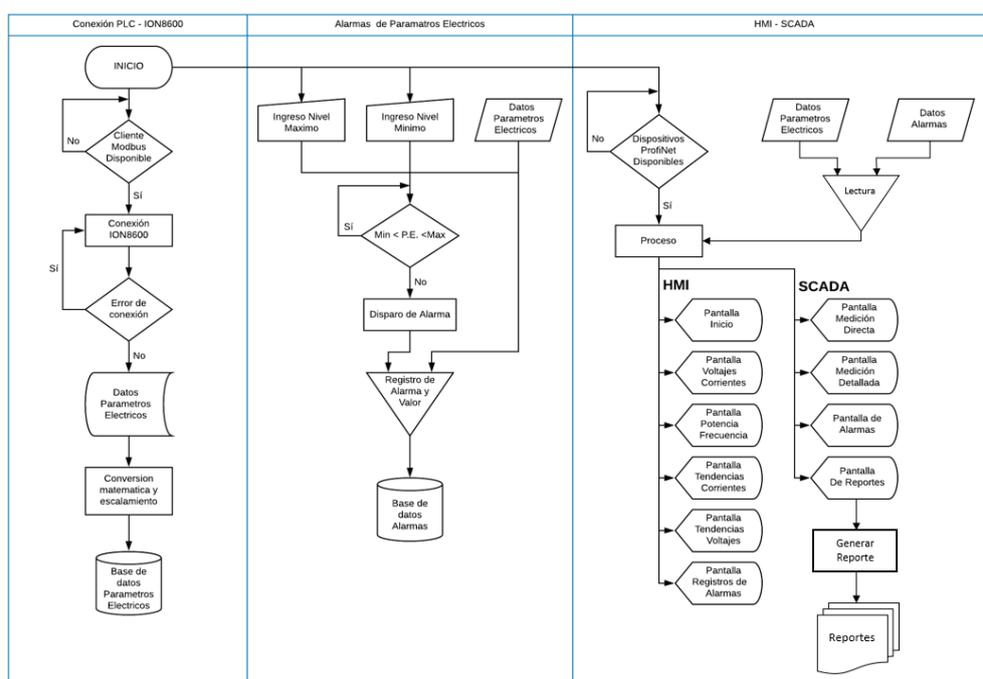


Figura 3.5: Diagrama de flujo del software de adquisición y visualización

3.3.1. Programación del PLC

Configuración cliente Modbus

El primer bloque de programas esta compuesto por la configuración de cliente Modbus para comunicar el plc con el

medidor ION 8600, el mismo que se configura como se muestra en la figura 3.6.

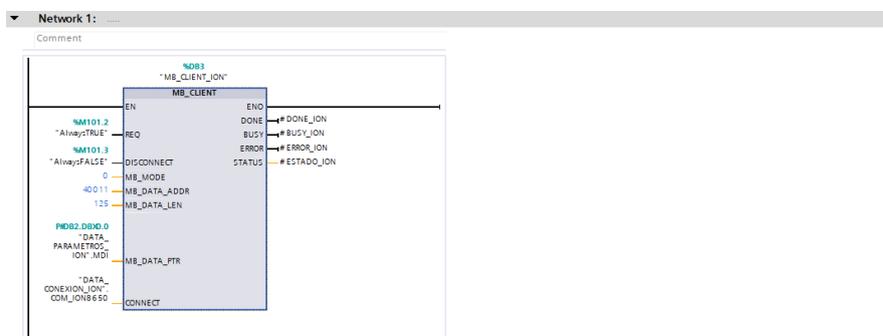


Figura 3.6: Bloque de configuración de cliente Modbus

Bloques de lectura de voltajes

Se configura los bloques de registro de datos de voltaje línea-neutro y línea-línea, leídos desde el medidor ION 8600 y almacenados en la base de datos en las direcciones que se muestra a continuación.

Variable	Dirección ION 8600	Dirección Base de datos
Van	MDI.1	DATOS_CONV.1
Vbn	MDI.2	DATOS_CONV.2
Vcn	MDI.3	DATOS_CONV.3
Vab	MDI.4	DATOS_CONV.4
Vbc	MDI.5	DATOS_CONV.5
Vac	MDI.6	DATOS_CONV.6

Tabla 3.1: Direcciones de lectura y almacenamiento de voltajes

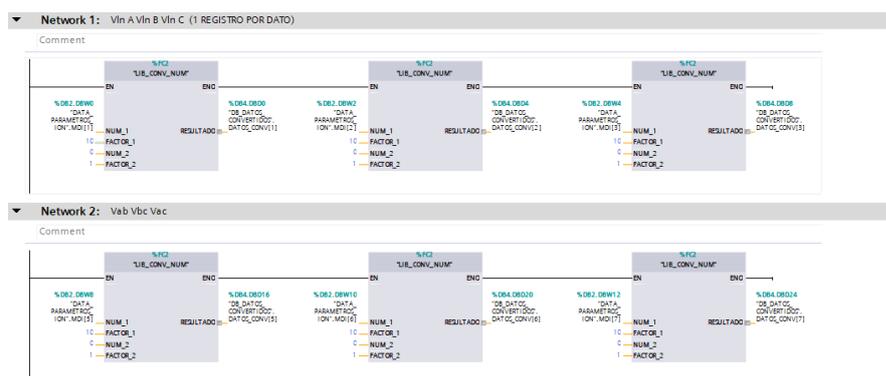


Figura 3.7: Bloques de registro de voltaje línea-neutro y línea-línea

Bloques de lectura de corrientes y potencias

Se configura los bloques de registro de datos de corriente de línea y de potencias, leídos desde el medidor ION 8600 y almacenados en la base de datos en las direcciones que se muestra a continuación.

Variable	Dirección ION 8600	Dirección Base de datos
Ia	MDI.9	DATOS_CONV.9
Ib	MDI.10	DATOS_CONV.10
Ic	MDI.11	DATOS_CONV.11
kW	MDI.23-24	DATOS_CONV.23
kVAR	MDI.31-32	DATOS_CONV.31
KVA	MDI.39-40	DATOS_CONV.39

Tabla 3.2: Direcciones de lectura y almacenamiento de corrientes y potencias

Bloques de lectura de frecuencia y factor de potencia

Se configura los bloques de registro de datos de frecuencia de red y de factor de potencia, leídos desde el medidor ION 8600 y

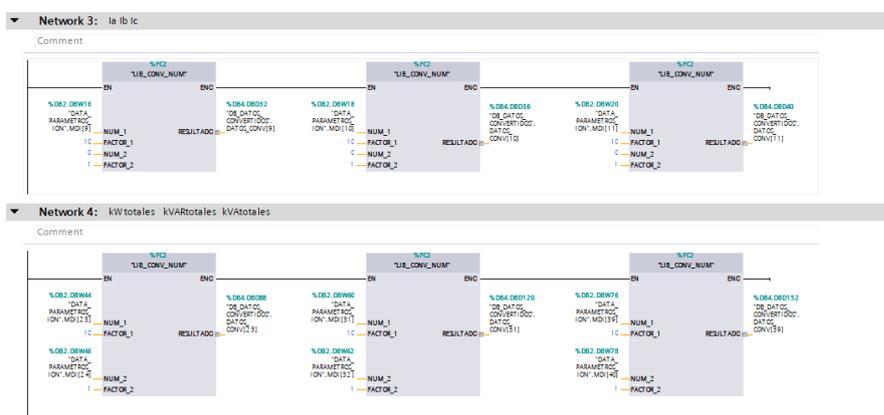


Figura 3.8: Bloques de registro de corriente de línea y potencia

almacenados en la base de datos en las direcciones que se muestra a continuación.

Variable	Dirección ION 8600	Dirección Base de datos
Frec	MDI.15	DATOS_CONV.15
FP	MDI.47-48	DATOS_CONV.47

Tabla 3.3: Direcciones de lectura y almacenamiento de frecuencia y factor de potencia

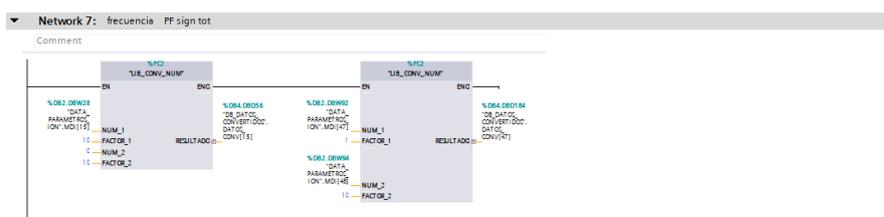


Figura 3.9: Bloque de registro de frecuencia y factor de potencia

Bloques de niveles de alarma

Se configura los bloques para determinar el valor máximo y mínimo para cada variable y se habilita el disparo de alarmas si la variable sale de rango.



Figura 3.10: Bloques de disparo de alarmas

Bloques de niveles de alarma

Se configura los bloques de registro de alarmas si se dispara una alarma se almacena el valor de la variable que salio del rango.

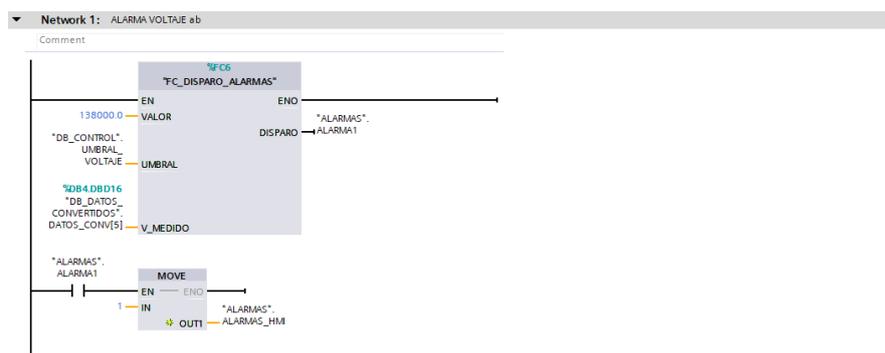


Figura 3.11: Bloques de registro de alarmas

3.3.2. HMI

El sistema de monitoreo implementado en el HMI, esta conformado por seis pantallas, las mismas que están organizadas de la siguiente manera:

- Pantalla de inicio.

- Pantalla de medición de voltajes y corrientes.
- Pantalla de medición de potencia, frecuencia y factor de potencia.
- Pantalla de tendencias de corrientes.
- Pantalla de tendencias de voltaje.
- Pantalla de registro de alarmas.

Pantalla de inicio

Es la pantalla de bienvenida del sistema, donde se puede acceder a cualquiera de las otras pantallas.



Figura 3.12: Pantalla de inicio

Pantalla de medición de voltajes y corrientes

En esta pantalla se muestra los valores instantáneos de las variables de voltaje y corriente en el siguiente orden.

Voltaje L1-L2	Voltaje L1-L3	Voltaje L2-L3
Voltaje L1-N	Voltaje L2-N	Voltaje L3-N
Corriente L1	Corriente L2	Corriente L3

Tabla 3.4: Distribución de variables en pantalla



Figura 3.13: Pantalla de medición de voltajes y corrientes

Pantalla de medición de potencia, frecuencia y factor de potencia.

En esta pantalla se muestra los valores instantáneos de las variables de potencia, frecuencia y factor de potencia en el siguiente orden.

Potencia Activa	Energía Activa
Potencia Reactiva	Factor de Potencia
Potencia Aparente	Frecuencia

Tabla 3.5: Distribución de variables en pantalla

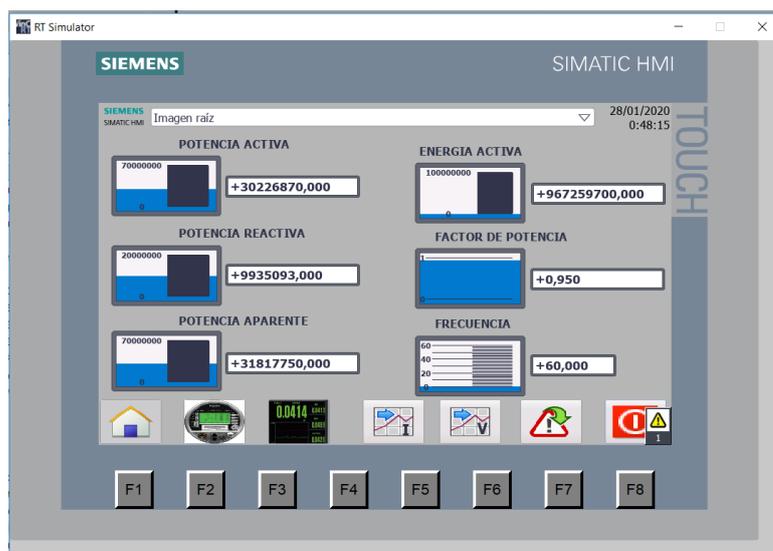


Figura 3.14: Bloques de registro de corriente de línea y potencia

Pantalla de tendencias de corrientes

En esta pantalla se muestra la gráfica de tendencias de las variables de corrientes de línea, con registro de fecha y hora de la lectura.

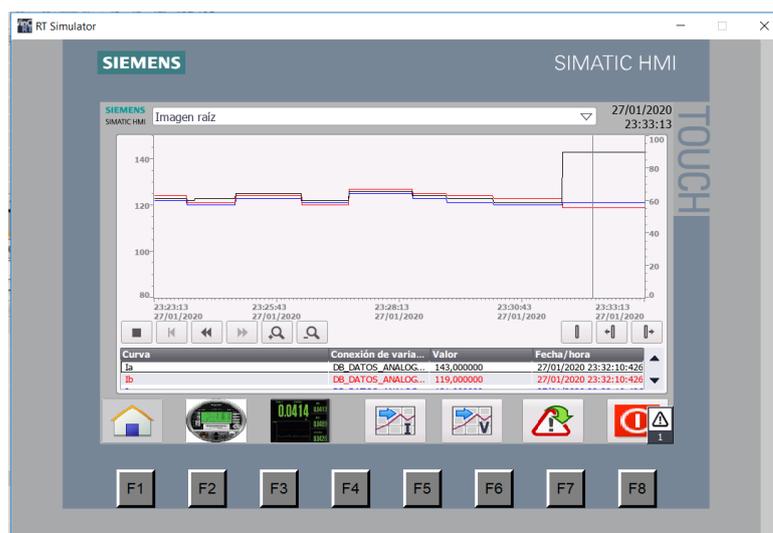


Figura 3.15: Pantalla de tendencias de corrientes

Pantalla de tendencias de voltajes

En esta pantalla se muestra la gráfica de tendencias de las variables de voltajes de línea-línea, con registro de fecha y hora de la lectura.

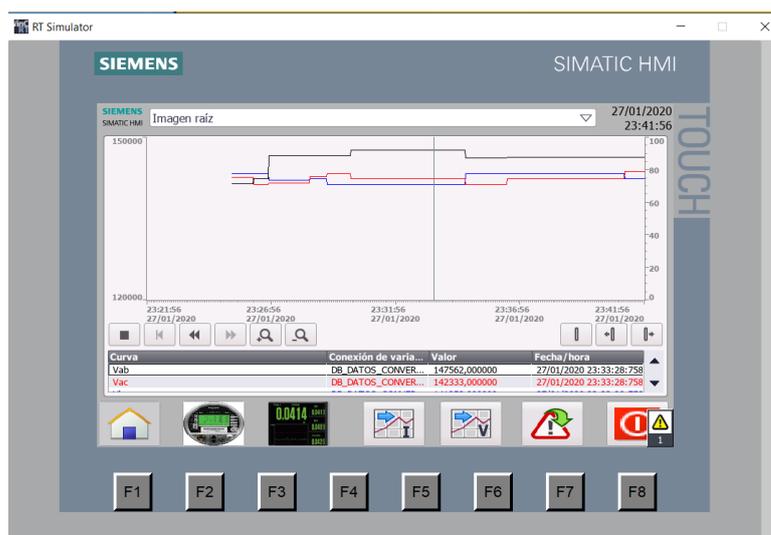


Figura 3.16: Pantalla de tendencias de voltajes

Pantalla de registro de alarmas

Al dispararse una alarma no importa en que pantalla se encuentre el operario se sobrepondrá una ventana con información de la alarma respectiva, como se observa en la figura 3.17.

Una vez acusada la alarma el operario podrá cerrar la ventana y dirigirse a la pantalla de registro de alarmas, donde también encontrara la vista general de diagnósticos del sistema, como se observa en la figura 3.18.

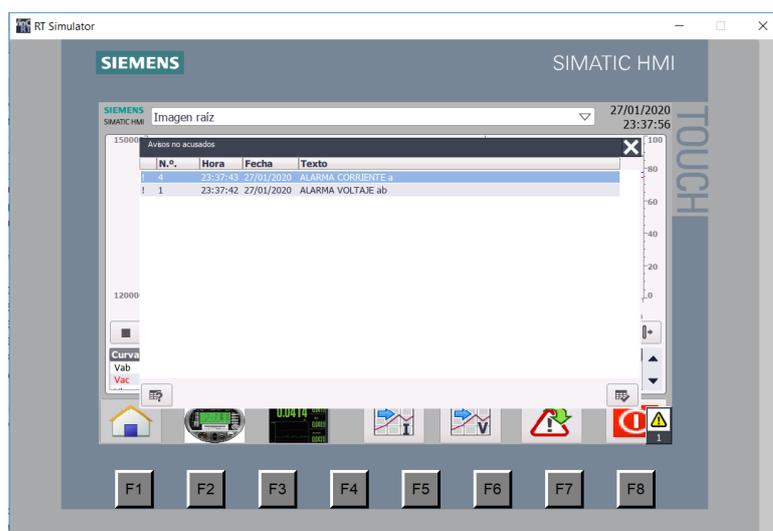


Figura 3.17: Ventana de acuse de alarmas

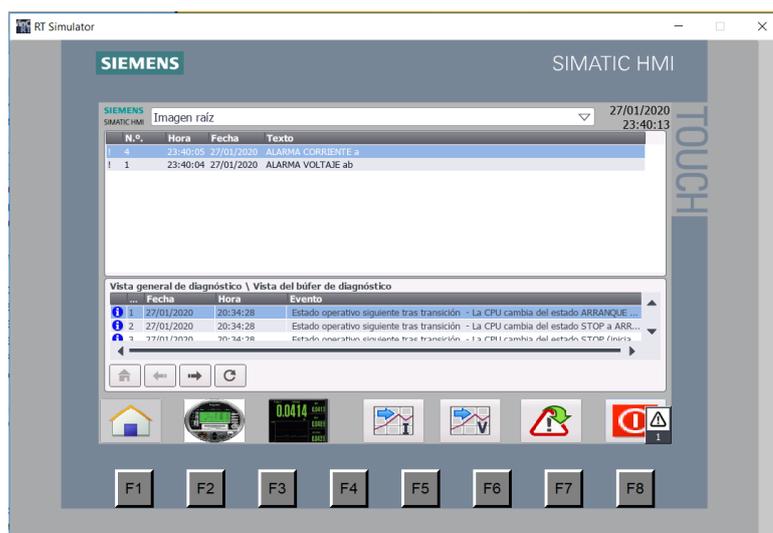


Figura 3.18: Pantalla de registro de alarmas

3.3.3. SCADA

El sistema de monitoreo implementado en el sistema SCADA, esta conformado por cuatro pantallas, las mismas que están organizadas de la siguiente manera:

- Pantalla de medición directa.
- Pantalla de medición detallada.
- Pantalla de alarmas.
- Pantalla de reportes.

Pantalla de medición directa

En esta pantalla se muestra el diagrama de conexiones del sistema y los medidores, así como los valores de las principales variables.

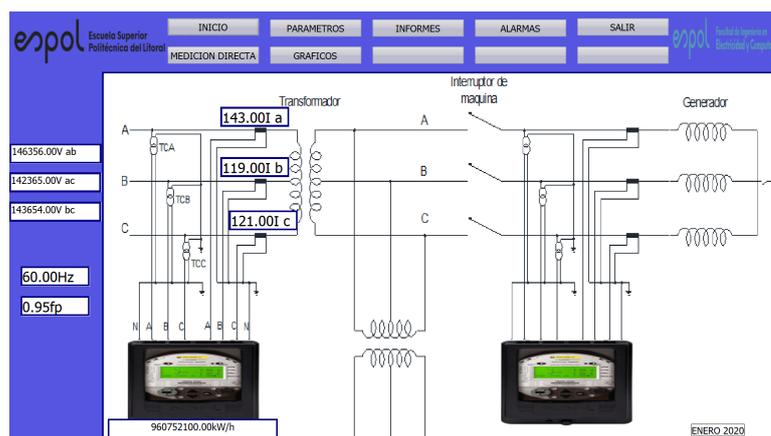


Figura 3.19: Pantalla de medición directa

Pantalla de medición detallada

En esta pantalla se muestra el detalle de todas la variables medidas en tiempo real.



Figura 3.20: Pantalla de medición detallada

Pantalla de alarmas

En esta pantalla se muestra el detalle de todas las alarmas acusadas o no con detalles de fecha hora y tipo de alarma.

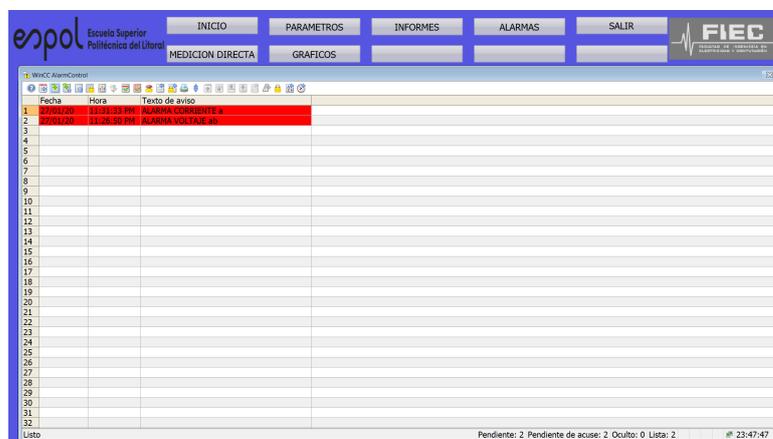


Figura 3.21: Pantalla de alarmas

Pantalla de reportes

En esta pantalla se muestra el detalle de los valores de potencia generada en intervalos de 1 minuto.

Columna de Tiempo	P. ACTIVA W	P. REACTIVA VAR	P. APARENTE VA	ENERGIA Wh
1 28/01/2020 1:20:03	30047224	9076050	31628658	971526848
2 28/01/2020 1:21:03	30047224	9876050	31628658	971526848
3 28/01/2020 1:22:03	30206040	9946191	31851306	978477392
4 28/01/2020 1:23:03	29932220	9838248	31507600	967808448
5 28/01/2020 1:24:03	29932220	9838248	31507600	967808448
6 28/01/2020 1:25:03	30835372	10135093	32458286	997010304
7 28/01/2020 1:26:03	30835372	10135093	32458286	997010304
8 28/01/2020 1:27:03	31581804	10380437	33244004	1021145024
9 28/01/2020 1:28:03	31581804	10380437	33244004	1021145024
10 28/01/2020 1:29:03	31863140	10472911	33540148	1030241536
11 28/01/2020 1:30:03	124977888	41078252	131555672	4040951808
12 28/01/2020 1:31:03	31149028	10236486	32780388	1007180992
13 28/01/2020 1:32:03	33242454	10953157	35078164	1077484288
14 28/01/2020 1:33:03	32807598	10783345	34524316	1060770080
15 28/01/2020 1:34:03	32420414	10566073	34120752	1048260096
16 28/01/2020 1:35:03	30850414	10140042	32474120	997496704
17 28/01/2020 1:36:03	29907950	9820236	31481948	967020480
18 28/01/2020 1:37:03	29290416	9627301	30832018	947056768
19 28/01/2020 1:38:03	29293228	9628221	30834978	947147648
20 28/01/2020 1:39:03	29068388	9543200	30580304	939877888
21 28/01/2020 1:40:03	30869920	10146456	32494654	998127360
22 28/01/2020 1:41:03	30869920	10146456	32494654	998127360
23 28/01/2020 1:42:03	30715614	10095735	32322226	993138176
24 28/01/2020 1:43:03	30990644	10186132	32621730	1002030848
25 28/01/2020 1:44:03	30554716	10042854	32162860	987935808
26 28/01/2020 1:45:03	30554716	10042854	32162860	987935808
27 28/01/2020 1:46:03	29620268	9735712	31179230	957722048
28 28/01/2020 1:47:03	30045068	9876340	31626388	971457216
29 28/01/2020 1:48:03	29490016	9692902	31042122	953510464
30 28/01/2020 1:49:03	31019930	10195756	32652558	1002977792
31 28/01/2020 1:50:03	31019930	10195756	32652558	1002977792
32 28/01/2020 1:51:03	29493244	9693957	31045520	953614848

Figura 3.22: Pantalla de reportes

3.4. Reporte de parámetros energéticos

Finalmente se podrá generar los reportes de parámetros eléctricos, en el que se detallan los valores de voltajes de línea-línea y corrientes de línea, registrados cada minuto.

Adicionalmente se genera un reporte gráfico de la potencia activa y reactiva, así como de los valores de frecuencia y factor de potencia, en el mismo intervalo de tiempo del reporte de parámetros eléctricos.

Capítulo 4

4. Análisis de Resultados

Una vez realizada la implementación del sistema de monitorio se pudo comprobar que los datos son fiables y que los rangos de operación normal fueron definidos correctamente, para los valores de producción de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado De Wind.

4.1. Análisis de alarmas y disparos de parámetros energéticos

Al tener el disparos de alarmas en tiempo real de todas las variables del sistema se puede detectar de forma oportuna un falla en alguno de los grupos generadores y poder actuar de manera inmediata ya que se notifica al operario en campo y al analista en el sistema SCADA de esta forma evitando fallas mayores y logrando

regresar al sistema a los rangos normales de operación definidos por la CENACE.

4.2. Contraste con el sistema tradicional

El sistema tradicional usado en la central hidroeléctrica tiene 15 años de implementado además que sigue siendo un trabajo netamente manual, en comparación del sistema propuesto que saca de la ecuación el factor humano en el registro de eventos y fallas, se pueden detallar las siguientes comparativa:

	Sistema Tradicional	Sistema Propuesto
Monitoreo de parámetros eléctricos	manual cada hora	automático cada minuto
Monitoreo de potencia generada	automático cada 15 minutos	automático cada minuto
Registro de fallas	manual cuando el operario lo percibe	automático al salir del rango
Generación de reporte de parámetros eléctricos	manual luego de 24 horas	automático actualizado cada minuto
Generación de reporte de potencia generada	manual luego de 24 horas	automático actualizado cada minuto
Generación de reporte gráfico	manual solo para potencia	automático para todas las variables

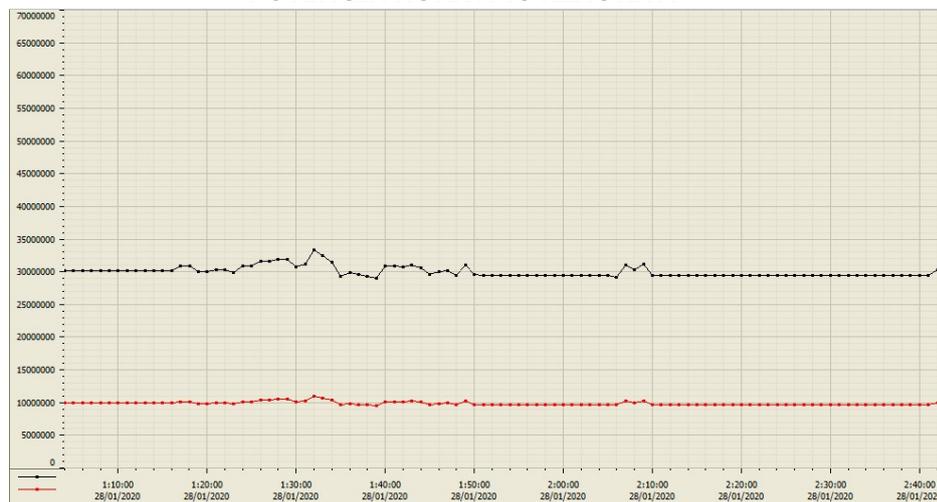
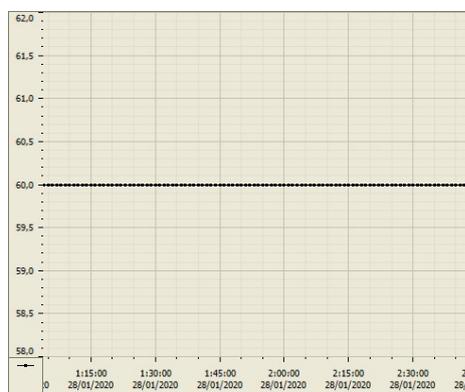
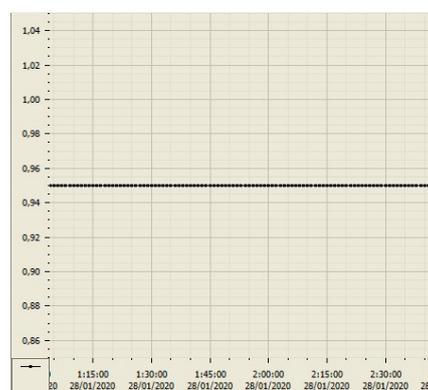
4.3. Reportes generados para la Corporación Eléctrica Del Ecuador

CENTRAL HIDROELÉCTRICA MARCEL LANZADO DE WIND
DATOS DIARIOS DE OPERACIÓN



	TIEMPO	V AB	V BC	V CA	C A	C B	C C	
1	28/01/2020 1:25:00	142135	141326	146342		131	129	132
2	28/01/2020 1:26:00	143122	141326	142651		142	131	131
3	28/01/2020 1:27:00	143122	141233	142651		142	131	131
4	28/01/2020 1:28:00	146322	141233	142333		141	131	130
5	28/01/2020 1:29:00	146322	144211	142333		141	131	130
6	28/01/2020 1:30:00	141565	144311	142333		132	129	131
7	28/01/2020 1:31:00	141565	144311	143654		145	123	131
8	28/01/2020 1:32:00	141565	141445	142356		145	142	141
9	28/01/2020 1:33:00	144111	142789	142457		139	138	137
10	28/01/2020 1:34:00	142777	141232	143212		135	132	134
11	28/01/2020 1:35:00	144231	142001	143223		120	121	132
12	28/01/2020 1:36:00	143654	142001	143223		124	128	129
13	28/01/2020 1:37:00	143212	142356	146232		124	125	126
14	28/01/2020 1:38:00	142333	141222	143235		123	124	128
15	28/01/2020 1:39:00	141233	141222	143235		123	123	125
16	28/01/2020 1:40:00	142556	142366	143122		129	131	134
17	28/01/2020 1:41:00	142556	142366	141332		133	131	131
18	28/01/2020 1:42:00	142556	143232	143356		131	131	130
19	28/01/2020 1:43:00	142333	142156	141222		133	132	131
20	28/01/2020 1:44:00	143232	144000	144121		132	125	130
21	28/01/2020 1:45:00	143012	144000	142365		130	124	125
22	28/01/2020 1:46:00	144322	141562	147222		128	126	124
23	28/01/2020 1:47:00	141236	142665	147222		129	128	127
24	28/01/2020 1:48:00	141236	143262	144001		126	124	126
25	28/01/2020 1:49:00	143212	143262	143652		129	132	133
26	28/01/2020 1:50:00	142332	143252	143652		125	126	125
27	28/01/2020 1:51:00	142332	144112	143226		125	125	125
28	28/01/2020 1:52:00	142332	144112	143226		125	125	125
29	28/01/2020 1:53:00	142332	144112	143226		125	125	125
30	28/01/2020 1:54:00	142332	144112	143226		125	125	125
31	28/01/2020 1:55:00	142332	144112	143226		125	125	125
32	28/01/2020 1:56:00	142332	144112	143226		125	125	125
33	28/01/2020 1:57:00	142332	144112	143226		125	125	125
34	28/01/2020 1:58:00	142332	144112	143226		125	125	125
35	28/01/2020 1:59:00	142332	144112	143226		125	125	125
36	28/01/2020 2:00:00	142332	144112	143226		125	125	125
37	28/01/2020 2:01:00	142332	144112	143226		125	125	125
38	28/01/2020 2:02:00	142332	144112	143226		125	125	125
39	28/01/2020 2:03:00	142332	144112	143226		125	125	125
40	28/01/2020 2:04:00	142332	144112	143226		125	125	125
41	28/01/2020 2:05:00	142332	144112	143226		125	125	125
42	28/01/2020 2:06:00	143262	144112	142362	123,012603759766		126	124
43	28/01/2020 2:07:00	142362	142626	142333		131	130	133
44	28/01/2020 2:08:00	143233	143233	142336		133	126	126
45	28/01/2020 2:09:00	143262	146333	142133		133	131	131
46	28/01/2020 2:10:00	141632	141236	142133		126	125	128
47	28/01/2020 2:11:00	141632	141236	142133		126	125	128
48	28/01/2020 2:12:00	141632	141236	142133		126	125	128
49	28/01/2020 2:13:00	141632	141236	142133		126	125	128
50	28/01/2020 2:14:00	141632	141236	142133		126	125	128
51	28/01/2020 2:15:00	141632	141236	142133		126	125	128
52	28/01/2020 2:16:00	141632	141236	142133		126	125	128
53	28/01/2020 2:17:00	141632	141236	142133		126	125	128
54	28/01/2020 2:18:00	141632	141236	142133		126	125	128
55	28/01/2020 2:19:00	141632	141236	142133		126	125	128
56	28/01/2020 2:20:00	141632	141236	142133		126	125	128
57	28/01/2020 2:21:00	141632	141236	142133		126	125	128

Figura 4.1: Reporte de parámetros eléctricos

MONITOREO DE PARAMETROS ELECTRICOS**POTENCIA ACTIVA vs REACTIVA****FRECUENCIA****FACTOR DE POTENCIA****Figura 4.2:** Reporte gráfico

Conclusiones

CONCLUSIONES

- 1) Se logro implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de los parámetros eléctricos a través de un medidor conectado al plc disminuyendo notablemente los intervalos de registro de datos, además de hacerlo automáticamente sin necesidad de un operario.
- 2) Con el diseño de la pantalla HMI a nivel de operario se reduce la carga de hacer la toma de datos manualmente, y queda libre para atender otras prioridades como la solución o acuse de un evento de alarma o falla
- 3) El sistema tradicional es un solución paquete del fabricante lo que provoca que no se pueda acceder a configuraciones vitales para la demanda de información actual, por lo que el sistema propuesto esta abierto a cambios y reconfiguraciones dependiendo de las necesidades de la planta adicionalmente permitiendo la integración de diferentes equipos para garantizar su eficiencia.
- 4) El sistema propuesto permite tener notificaciones en tiempo real y un registro histórico de eventos de falla y alarmas, permitiendo

a los operarios reaccionar a tiempo a dichos eventos, siendo capaces de realizar las acciones necesarias para llevar a la planta a valores dentro del rango tolerado, ahorrando dinero a largo plazo al disminuir posibles fallas mayores.

- 5) Finalmente se logro la generación de reportes automática con detalles cada minuto y en el formato directo requerido por la CENACE, de esta forma disminuyendo tiempo y gastos operativos de realizar la tarea a mano al final de cada día de producción

Bibliografía

- [1] JORGE DUTÁN SARANGO, *“MODERNIZACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE QUEMADORES Y PROTECCIONES DE CALDERA DE LA UNIDAD TV2 DE LA CENTRAL TERMICA ELECTROGUAYAS”*, Escuela Superior Politécnica Del Litoral – Ecuador, 2016.
- [2] MIGUEL TORRES RODRÍGUEZ, *“IDENTIFICACIÓN, SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE PROYECCIÓN DE LA DEMANDA Y ENERGÍA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO”*, Escuela Superior Politécnica Del Litoral – Ecuador, 2014.
- [3] S.A., *“Planos del sistema de mediciones eléctricas de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado De Wind Ecuador”*, 2018.
- [4] ION8600, *“Catálogo de dispositivo de medición de potencia digital”*, SCHNEIDER ELECTRIC, 2018.
- [5] TIA PORTAL, *“Catálogo del portal de automatización totalmente integrado”*, SIEMENS, 2018.
- [6] UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA *“Centrales Hidroelectricas”*, UCA. Available in <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf>
- [7] CESAR ECHEVERRIA, AND MARTHA ESTRADA, *“Medición del potencial hidrológico para generación de energía”*

renovable, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala”, Fundación Solar-Guatemala, 2013. Available in: <https://www.undp.org/content/dam/guatemala/05%20Potencial%20Hidrologico%20paginas.pdf>

[8] FRANCISCO CARVAJAL, ROSARIO GONZÁLEZ, *“Evaluación de la eficiencia energética de generadores en plantas hidroeléctricas”*, Mexico, s.f. Available in: <https://www.ineel.mx/boletin012015/tenden.pdf>

[9] HBM, *“Monitorización de centrales hidroeléctricas con HBM medición de la eficiencia de los álabes de turbinas”*, Madrid, España, s.f. Available in: <https://www.hbm.com/es/6833/monitorizacion-de-una-presa-con-pmx/>

[10] TECNOPLC, *“TIA PORTAL : UTILIDADES DEL SOFTWARE”*, Siemens , 2015. Available in: <http://www.tecnopl.com/tia-portal-utilidades-del-software/>

[11] TECNOPLC, *“SIMATIC WinCC RT Professional V16”*, Siemens , s.f. Available in: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-professional-rt.html>