



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

**PROTOTIPO PARA LA SUPERVISIÓN REMOTA OPERATIVA DE PEQUEÑAS
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN SCADA**

José Eduardo Quetzales Domínguez

Asesorado por el Ing. David Estuardo Alcántara Arroyave

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOTIPO PARA LA SUPERVISIÓN REMOTA OPERATIVA DE PEQUEÑAS
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN SCADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ EDUARDO QUETZALES DOMÍNGUEZ

ASESORADO POR EL ING. DAVID ESTUARDO ALCANTARA ARROYAVE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| VOCAL V | Br. Sergio Alejandro Donis Soto |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Marlon Antonio Pérez Türk |
| EXAMINADORA | Inga. Floriza Felipa Ávila Pesquera |
| EXAMINADORA | Inga. Sonia Yolanda Castañeda Ramírez |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROTOTIPO PARA LA SUPERVISIÓN REMOTA OPERATIVA DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN SCADA

Tema que fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, con fecha mayo de 2013.



José Eduardo Quetzales Domínguez

Guatemala, 13 de Mayo de 2013

Ing. Carlos Azurdia
Coordinador del Curso de Seminario de Investigación
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero,

Atentamente me permito comunicarle que he tenido a la vista el protocolo para el trabajo de graduación del estudiante **JOSÉ EDUARDO QUETZALES DOMÍNGUEZ, CARNÉ 200614918**, titulado: **PROTOTIPO PARA LA SUPERVISIÓN REMOTA DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN SCADA**, por lo que me gustaría solicitar su aprobación para asesorarlo en el desarrollo de este tema.

Sin nada más que agregar me suscribo atentamente:


David E. Alcántara A.
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGADO 10364
Ingeniero Electricista
David Estuardo Alcántara Arroyave
Asesor



Universidad San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 4 de Septiembre de 2013

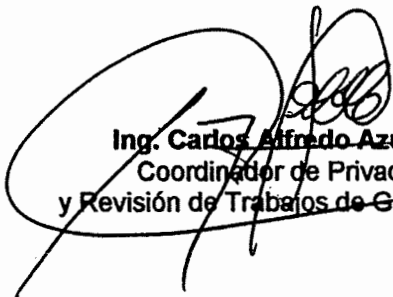
Ingeniero
Marlon Antonio Pérez Turk
Director de la Escuela de Ingeniería
En Ciencias y Sistemas

Respetable Ingeniero Pérez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **JOSÉ EDUARDO QUETZALES DOMÍNGUEZ** carné 2006-14918, titulado: "PROTOTIPO PARA SUPERVISIÓN REMOTA OPERATIVA DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN SCADA", y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, según el protocolo.

Al agradecer su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para suscribirme,

Atentamente,


Ing. Carlos Alfredo Azurdia
Coordinador de Privados
y Revisión de Trabajos de Graduación



E
S
C
U
E
L
A

D
E

C
I
E
N
C
I
A
S

Y

S
I
S
T
E
M
A
S

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIENCIAS Y SISTEMAS
TEL: 24767644

*El Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor con el visto bueno del revisor y del Licenciado en Letras, del trabajo de graduación **“PROTOTIPO PARA LA SUPERVISIÓN REMOTA OPERATIVA DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN SCADA”**, realizado por el estudiante **JOSÉ EDUARDO QUETZALES DOMÍNGUEZ**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.*

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

*Ing. Marlon Antonio Pérez Türk
Director, Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas*



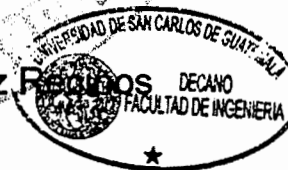
Guatemala, 04 de noviembre 2013



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ciencias y Sistemas, al trabajo de graduación titulado: **PROTOTIPO PARA LA SUPERVISIÓN REMOTA OPERATIVA DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN SCADA**, presentado por el estudiante universitario: **José Eduardo Quetzales Domínguez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Ramos
Decano



Guatemala, noviembre de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- La fuerza creadora** Que reside en cada uno de nosotros, basado en nuestro esfuerzo y dedicación obtenemos los frutos deseados.
- Mi madre** Por dedicar su vida en guiar la vida de sus hijos, sus llantos hoy le devuelven alegrías, sus vacíos hoy la llenan de orgullo.
- Mi padre** Por ser ese ejemplo de responsabilidad y brindar a sus hijos el apoyo para luchar por un futuro propio.
- Mis hermanos** Que son ese apoyo que nunca duerme, en los que puedo confiar en los momentos cuando de mí ya no logro confiar.
- Mi abuela** Por haber sido la fuente de valores morales y éticos que fundaron los cimientos en los que hoy construyo mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

- Ing. Carlos Azurdía** Por brindarme el apoyo y cooperación en la revisión en el desarrollo de este trabajo.
- Inga. Floriza Ávila** Por ser una pieza fundamental en mi desarrollo profesional, brindándome apoyo, asesoría y lineamientos adecuados.
- Ing. David Alcántara** Por la asesoría brindada en el desarrollo de este proyecto. Por confiar en mí para ejecutar un sueño, un sueño que hoy es una realidad, generando nuevas oportunidades.
- Mis compañeros** Con los que compartí un mismo objetivo en un lapso de mi vida e hicieron divertido el camino a alcanzarlo.
- Toda mi familia** Por preocuparse por mi bienestar, brindarme los consejos oportunos y apoyo incondicionalmente.
- Familia Juárez Méndez** Por abrir sus puertas a mi persona, y mantenerlas siempre así, siendo el apoyo incondicional en el que hoy puedo contar.
- Pueblo de Guatemala** Que con su fuerza laboral mantienen de pie este centro de estudios y permite desarrollarnos profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| GLOSARIO | VII |
| RESUMEN..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN | XVII |
| | |
| 1. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE GUATEMALA | 1 |
| 1.1. Definición | 1 |
| 1.2. Aspectos generales de las centrales hidroeléctricas | 1 |
| 1.2.1. Funcionamiento | 4 |
| 1.2.2. Ventajas y desventajas | 6 |
| 1.2.3. Características | 8 |
| 1.3. Importancia de las centrales hidroeléctricas | 8 |
| 1.4. Sistema Nacional Interconectado | 10 |
| 1.5. Operación de las centrales hidroeléctricas | 11 |
| 1.5.1. Rol del Administrador del Mercado Mayorista | 12 |
| 1.5.2. Rol del operador | 13 |
| | |
| 2. SISTEMA SCADA | 15 |
| 2.1. Sistema SCADA remoto | 17 |
| 2.1.1. Estructura SCADA remoto | 17 |
| 2.1.2. Clientes ligeros | 18 |
| 2.2. Compañías de software SCADA..... | 18 |
| 2.2.1. Indusoft | 18 |
| 2.2.2. Otros Sistemas SCADA | 19 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.3. | Selección de Indusoft Web Studio como Sistema SCADA..... | 19 |
| 2.4. | Indusoft Web Studio | 21 |
| 2.4.1. | Herramientas de diseño | 22 |
| 2.4.2. | Clientes ligeros | 24 |
| 2.4.3. | Alarmas | 25 |
| 2.4.4. | Redundancia | 26 |
| 2.4.5. | Tendencias | 27 |
| 2.4.6. | Eventos | 28 |
| 2.4.7. | Scripting | 28 |
| 2.4.8. | Seguridad | 29 |
| 2.4.8.1. | Desarrollo | 29 |
| 2.4.8.2. | Tiempo de ejecución | 29 |
| 2.4.9. | Reportes..... | 31 |
| 2.4.10. | Base de datos..... | 31 |
| 2.5. | Comunicación PLC..... | 32 |
| 2.6. | Mobile y Web SCADA | 34 |
| 2.7. | Windows CE..... | 35 |
| 2.8. | Studio Mobile Access | 36 |
| 2.9. | OEE..... | 37 |
| 2.9.1. | Rendimiento | 37 |
| 2.9.2. | Disponibilidad | 37 |
| 2.9.3. | Calidad | 37 |
| 3. | ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN OPERATIVA REMOTA..... | 39 |
| 3.1. | Descripción del proceso | 40 |
| 3.2. | Datos tomados | 41 |
| 3.2.1. | Potencia | 41 |
| 3.2.2. | Voltaje | 42 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.3. | Amperaje | 42 |
| 3.2.4. | Temperaturas | 42 |
| 3.2.5. | Caudal turbinado | 43 |
| 3.3. | Solución propuesta | 43 |
| 3.3.1. | Características | 44 |
| 3.4. | Equipo y software a utilizar | 46 |
| 3.4.1. | Dispositivo PLC | 46 |
| 3.4.2. | Sistema SCADA | 47 |
| 3.4.3. | Base de datos | 47 |
| 3.5. | Arquitectura general del sistema | 48 |
| 3.5.1. | Adquisición de datos desde el PLC | 51 |
| 3.5.2. | Almacenamiento de datos | 52 |
| 3.5.3. | Representación de los datos | 57 |
| 3.5.4. | Acceso al Sistema SCADA | 58 |
| 4. | PROTOTIPO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN OPERATIVA REMOTA | 63 |
| 4.1. | Descripción del prototipo | 64 |
| 4.1.1. | Vista general | 65 |
| 4.1.2. | Vista general por unidad | 65 |
| 4.1.3. | Sistema eléctrico | 67 |
| 4.1.4. | Sistema mecánico | 68 |
| 4.2. | Visualización de gráficas | 69 |
| 4.3. | Visualización de alarmas | 70 |
| 4.4. | Manejo de usuarios | 71 |
| 4.5. | Visualización Web | 72 |
| 4.6. | Acceso móvil | 73 |
| 4.7. | Beneficios obtenidos | 74 |

CONCLUSIONES..... 77
RECOMENDACIONES 79
BIBLIOGRAFÍA..... 81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Ciclo de vida del agua..... | 2 |
| 2. | Funcionamiento de una central hidroeléctrica..... | 5 |
| 3. | Generación nacional (MWh)..... | 9 |
| 4. | Elementos de visualización gráfica para medidores | 22 |
| 5. | Elementos de visualización gráfica para niveles | 23 |
| 6. | Elementos de visualización gráfica interruptores de control | 23 |
| 7. | Arquitectura general del uso de clientes ligeros..... | 25 |
| 8. | Elementos de configuración y visualización de alarmas | 26 |
| 9. | Elementos de configuración y visualización de gráficos | 28 |
| 10. | Elementos de configuración de usuarios y grupos de usuario | 30 |
| 11. | Elementos de configuración y visualización para base de datos | 32 |
| 12. | Listado de <i>drivers</i> que incluye la herramienta | 34 |
| 13. | Arquitectura general del sistema de supervisión remota..... | 48 |
| 14. | Diario de servicio de una central hidroeléctricas | 49 |
| 15. | Toma de datos para el voltaje de una central hidroeléctrica | 50 |
| 16. | Configuración de la comunicación del Sistema SCADA con PLC Siemens S7 300..... | 52 |
| 17. | Ventana de selección del <i>OLE DB Provider</i> | 53 |
| 18. | Ventana de configuración de la fuente de datos (ODBC) | 54 |
| 19. | Configuración de la conexión a la base de datos..... | 55 |
| 20. | Configuración de la tendencia del valor del voltaje en la base de datos | 56 |

| | | |
|-----|--|----|
| 21. | Tabla que representa los valores tomados para la medición de voltaje | 57 |
| 22. | Formas de representar valores de una variable | 58 |
| 23. | Acceso desde Internet Explorer a la aplicación de ejemplo..... | 59 |
| 24. | Acceso desde un dispositivo móvil a la aplicación de ejemplo | 60 |
| 25. | Acceso desde una computadora remota a la aplicación de ejemplo ... | 61 |
| 26. | Vista general de Sistema SCADA..... | 65 |
| 27. | Vista general de una unidad del Sistema SCADA | 66 |
| 28. | Vista del sistema eléctrico en el Sistema SCADA | 67 |
| 29. | Vista del sistema mecánico en el Sistema SCADA | 68 |
| 30. | Visualización de gráficos en el Sistema SCADA | 70 |
| 31. | Visualización de alarmas en el Sistema SCADA | 71 |
| 32. | Visualización web del Sistema SCADA | 73 |
| 33. | Acceso móvil al Sistema SCADA..... | 74 |

GLOSARIO

- API** Una Interfaz de Programación de Aplicaciones (en inglés Application Programming Interface) es un método que permite a los usuarios de software desarrollar complementos personalizados o extensiones definidas o documentadas. Una API es sumamente útil para los desarrolladores de software SCADA que necesitan ajustar las funciones de software para llevar a cabo todas las tareas necesarias.
- Data** Palabra escrita en idioma inglés para referirse a un conjunto de datos perteneciente a una base de datos.
- DB** Una Base de Datos (en inglés Database) es justamente una colección de información que es recopilada y almacenada. En términos de tecnología de computación, una base de datos es frecuentemente almacenado por un sistema de gestión de base de datos. Los sistemas SCADA pueden conectarse y actualizar bases de datos en tiempo real.

GUI

Una Interfaz Gráfica de Usuario (en inglés Graphical User Interface) es lo que el usuario visualiza en pantalla. La visualización grafica facilita el entendimiento del usuario, de no existir una Interfaz gráfica de usuario los comandos se tendrían que introducir en formato de texto y las pantallas se visualizarían en formato de texto.

HMI

Una Interfaz Hombre – Máquina (en inglés Human Machine Interface) es el portal a través del cual los usuarios pueden interactuar con las máquinas. A menudo consiste en software HMI y hardware que el usuario puede interactuar, incluyendo los teclados, pantalla táctil, ratón u otros dispositivos de entrada. Un HMI permite a los operadores ajustar los valores del proceso, realizando ajustes en la configuración y vigilar de cerca un proceso.

Headless Devices

Headless Devices son equipos que no tienen una pantalla visible. Estos nodos ciegos generalmente carecen de un monitor, ya que deben ser colocados en entornos difíciles o áreas de no tan fácil acceso. Para un Headless Device, un Thin Client como un navegador web o un panel de control en una pantalla táctil sitúan en un lugar remoto de la computadora actuará como pantalla visual. Pueden ser controlados por una aplicación de software SCADA.

KPI

Key Performance Indicators o KPI son las métricas utilizadas para medir el rendimiento de una máquina con el llamado solución OEE (Overall Equipment Effectiveness). Estos indicadores de rendimiento incluyen el rendimiento de la máquina, la disponibilidad y la calidad del artículo que se fabrica. Estos KPI se registran en forma de porcentaje y luego se integran en una fórmula matemática para determinar el OEE.

MMI

Un Man Machine Interface o MMI es otro término para un panel o HMI. HMI es generalmente el término políticamente correcto más aceptado que MMI. Ambos se refieren a una interfaz que los usuarios pueden utilizar para visualizar un proceso o las operaciones de una máquina.

Modbus

El protocolo Modbus es un protocolo de comunicaciones utilizados en los PLCs y RTUs. Modbus es ampliamente utilizado, en parte porque es libre de regalías y es bastante libre restricciones para los vendedores. Muchos utilizan el protocolo RTU Modbus para comunicarse. Es eficiente y fácil de implementar.

- OEE** Overall Equipment Effectiveness es el resultado del KPI cuando se combinan juntos en una fórmula matemática. El porcentaje de OEE en comparación con un objetivo puede alertar a los operadores de la máquina si está funcionando con eficiencia o no.
- OPC** OPC permite la creación de un puente entre un Software SCADA o HMI y un hardware de control de proceso como un PLC. Un servidor OPC permite la comunicación de datos entre un Software SCADA y un cliente OPC.
- OS Embebido** Un sistema operativo embebido es un sistema operativo especializado en un dispositivo que está diseñado para ser compacto y eficiente para ciertas tareas. Un sistema operativo embebido se puede encontrar en los teléfonos inteligentes, sistemas de estéreo de coche, consolas de juegos y otros dispositivos dedicados.
- RTU** Una Unidad Terminal Remoto es un dispositivo electrónico que es controlado por un microprocesador. Una RTU es a veces un dispositivo *headless* que puede interactuar con un sistema SCADA o HMI, el envío de los datos de los sensores dentro de una máquina o ubicados remotamente.

SQL

Un Lenguaje de Consulta Estructurado (en inglés Structured Query Language) es un lenguaje de programación utilizado para acceder a la base de datos.

TCP/IP

Transmission Control Protocol/Internet Protocol es el modo de comunicación de Internet y redes similares. Los sistemas SCADA están fabricados siguiendo estándares TCP/IP y pueden comunicarse con varios dispositivos a través de cualquier conexión TCP/IP estándar. Estos dispositivos pueden incluir acceso telefónico módems de radio, o incluso conexiones por satélite. Los usuarios pueden incluso configurar sistemas redundantes que comparten información a través de TCP/IP.

Thin Client

Los Thin Client también pueden llamarse Lean Client. Estos son simplemente ordenadores, programa o incluso monitores de ordenadores que dependen de otro equipo para hacer las principales funciones de operación. Monitores conectados a un sistema HMI, navegadores web que funcionan como una pantalla para una aplicación de software SCADA, son ejemplos de un Thin Client.

RESUMEN

En la actualidad el adelanto tecnológico ha permitido que muchos procesos productivos dentro de una empresa, en diferentes áreas puedan ser automatizados, de tal manera que en muchas ocasiones ya no sea necesaria la intervención humana en el proceso. En estos casos el humano toma un papel de supervisor, con el rol de controlar y verificar que los métodos se estén llevando a cabo según las metas establecidas. Los procesos automatizados retroalimentan al supervisor a través de valores medibles que representan el estado actual de la producción. Estos mismos datos también sirven como parámetros de otros sistemas que, según su valor, definirán el comportamiento de los mismos.

Un medidor se encarga de monitorear algún dato específico que se desea medir, el valor de este dato es enviado a un Controlador Lógico Programable (PLC), que según su algoritmo interno, interpreta el dato recibido para luego hacer una secuencia de pasos que permitirá realizar una acción determinada. En términos más específicos dentro de una pequeña central hidroeléctrica, el proceso es el mismo. Los medidores son utilizados para obtener datos del estado actual de una planta, dichos datos son recibidos por uno o varios PLCs que según su algoritmo tendrán una acción a realizar.

Pero al final de cuentas el único con la capacidad de decidir si un proceso debe mejorar, se debe seguir ejecutando o debe finalizar, es un supervisor. Por lo tanto para él también es necesario el conocimiento de los valores que reportan los medidores, pero no tanto como datos, sino como información, que le permita ejecutar las acciones que crea pertinentes.

Un PLC trabaja bajo datos actuales, es decir que su secuencia de pasos programadas y sus acciones serán definidas según los datos que reciba en tiempo real. Pero un supervisor necesita de más, el trabaja con datos históricos, es decir que sus acciones a tomar serán definidas según el comportamiento de valores anteriores. Actualmente la deficiencia de muchos procesos automatizados es esta, que no se cuentan con datos históricos de las variables más importantes y si se cuentan, muchas veces son inexactas ya que son tomadas a mano por operadores en lapsos periódicos de tiempo.

En conclusión el prototipo planteado cuenta con la capacidad de entablar una comunicación con los PLCs, utilizando estos como intermediarios entre un computador y un medidor. El computador cuenta con una base de datos que permite guardar un historial de los datos obtenidos, que luego son representados como información, mediante gráficos legibles, a través un sistema SCADA que puede configurarse remotamente. Esto permite que el supervisor no necesariamente deba encontrarse presencialmente dentro de la planta, para formarse una idea de lo que está pasando dentro de esta, ya que a través de Internet o una Intranet el mismo puede acceder al estado actual e histórico de la pequeña central hidroeléctrica.

OBJETIVOS

General

Realizar el prototipo de un sistema SCADA que permita mejorar los procesos de supervisión operativa dentro de una pequeña central hidroeléctrica, tomando en cuenta todos los factores que incidan para que la toma de decisiones de operación, supervisión, altos mandos e inversionistas, sea más eficiente.

Específicos

1. Mejorar el procesos de supervisión operativa, haciéndolo más eficiente y reduciendo así la posibilidad de errores humanos.
2. Proporcionar un fácil acceso del estado pasado, actual y futuro de la pequeña central hidroeléctrica a las personas interesadas en dicha información.
3. Integrar la tecnología web y móvil a los actuales dispositivos de operación con los cuentan las pequeñas centrales hidroeléctricas.

INTRODUCCIÓN

En el 2012 el sector hidroeléctrico aportó más del 50% de la producción energética de Guatemala, es decir, que las centrales hídricas produjeron 4356.51 GWh (giga vatios hora) de los 8703.0 GWh que se estima, requiere el país para su consumo. La energía restante fue aportada por centrales carboneras, centrales térmicas y geotérmicas, según la información proveniente del posdespacho de carga elaborado por el administrador del Mercado Mayorista.

Es evidente que las centrales hidroeléctricas poseen gran importancia para el país, pues permiten generar energía a costos muy bajos en comparación con otras fuentes de generación eléctrica, permitiendo al país, incluso, mantenerse como un exportador de este energético.

Con respecto a la operación, puede observarse un nivel de automatización aceptable en las centrales hidroeléctricas del país, sin embargo, los procesos que permiten la supervisión de las operaciones de las centrales hidroeléctricas aún son obsoletos y es un campo con futuro dentro del área informática. Un ejemplo de ello, son los formularios de control de operaciones que, en grandes y pequeñas centrales, se realizan manualmente por los operadores de las plantas, lo que da lugar a posibles errores humanos que después pueden incidir incorrectamente en la toma de decisiones.

Debido a la situación anterior se pretende con este trabajo generar un prototipo, evaluando todos los aspectos necesarios a tomar en cuenta para lograr una implementación que permita automatizar los procesos de supervisión de la operación de una pequeña central hidroeléctrica, permitiendo gestionar los diferentes datos que desean ser controlados inclusive desde lugares remotos a través de una plataforma web.

El sistema se desarrollará dentro de un ambiente recreado con las principales características del ambiente real. Los dispositivos externos al sistema (PLCs, medidores analógicos) simularán la generación de valores provenientes de la planta que próximamente serán almacenados dentro de una base de datos gestionada por un Sistema SCADA, para su posterior visualización y descarga ya sea en un ambiente local, como en un ambiente remoto.

Dentro del Sistema SCADA se podrán observar los valores de la pequeña central hidroeléctrica en tiempo real, pudiendo realizar comparaciones con estados anteriores y en base a ellos poder realizar predicciones futuras. Las variables mostradas dependerán del tipo de usuario que accedan al sistema, por ejemplo un operador únicamente podrá tener acceso a variables propias de operación, mientras que un alto mando o un inversionista, podrá visualizar variables de producción y ventas útiles para tomas de decisiones posteriores.

Otra característica importante del sistema, es que este será capaz de generar los reportes periódicos exigidos por el AMM y enviarlos automáticamente en el formato y tiempo especificado. Reportes que hoy en día, son digitalizados a mano por los operadores de planta, en hojas de cálculo, dando margen a cometer errores humanos.

1. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE GUATEMALA

La energía del agua en el pasado era aprovechada para mover ruedas hidráulicas de madera que molían trigo. Hoy en día, gracias al desarrollo de la energía hidroeléctrica durante la Revolución Industrial, las centrales hidroeléctricas son una fuente de energía para todo el país.

“El parque generador del sistema eléctrico Guatemalteco está formado por turbinas hidráulicas, turbinas de vapor, turbinas de gas y motores. Aunque existe diversidad en las formas de producir energía eléctrica el producto final es homogéneo y se mide en kilowatt-hora”¹.

1.1. Definición

Una central hidroeléctrica hace uso de energía hidráulica para generar energía eléctrica. Son máquinas impulsadas por medios hidráulicos que aprovechan la energía potencial que posee el agua de un cauce natural sobre un desnivel, a lo que se denomina salto geodésico.

1.2. Aspectos generales de las centrales hidroeléctricas

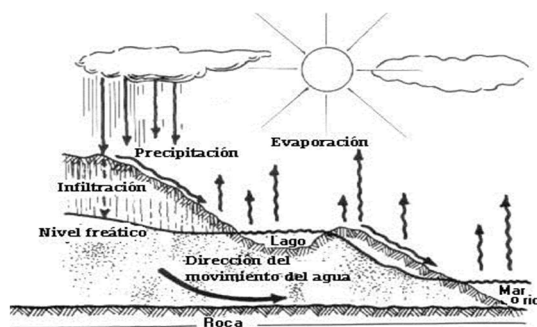
“Una central hidroeléctrica es un conjunto de infraestructura instaladas con el propósito de generar energía eléctrica por medio del aprovechamiento hidráulico o energía potencial hidráulica; lo más importante en este tipo de centrales es lograr una generación de energía por medios limpios y sin afectar

¹FIGUEROA SANDOVAL, Luis Eduardo. Programa de despacho diario del Mercado Mayorista de Guatemala. p. 1.

la vulnerabilidad del medio ambiente de manera significativa, por ello se le denomina centrales de energía renovable, en esto se basa el propósito principal de dichas centrales.”²

Desde un punto de vista científico, se puede decir que la energía hidráulica es la fuente de energía solar más ampliamente utilizada. En este caso el papel del astro es indirecto al actuar sobre el ciclo hidrológico. Dicho ciclo comienza cuando el sol calienta el agua de los mares, ríos y lagos, produciendo su evaporación; a continuación el agua evaporada es transportada a los diferentes puntos de la tierra por el aire caliente, formando las nubes, cayendo en forma de lluvia y nieve a la superficie, debido al enfriamiento de estas; el agua de la lluvia y la nieve es depositada en los ríos y lagos que luego desembocan en el mar, forman manantiales y alimentan de nuevo ríos y lagos a través de su lecho o saliendo de la superficie por transpiración. A partir de este momento el ciclo hidrológico puede comenzar de nuevo.

Figura 1. **Ciclo de vida del agua**



Fuente: http://www.jmarcano.com/graficos/images/ciclo_agua.jpg. Consulta: 01 de junio de 2013.

²ALCANTARA ARROYAVE, David Estuardo. Modelo del comportamiento de presas en cascada y visualización por software. p. 2.

La energía del agua que circula por el cauce de un río se representa en forma de energía cinética y potencial, normalmente la primera es pequeña, por lo que es realmente la segunda la que se utiliza.

En la práctica, la energía potencial no se puede aprovechar en su totalidad, ya que parte se disipa por el rozamiento del agua en su recorrido. Por esta razón, cuando se proyecta la construcción de una instalación para aprovechamiento y uso de la energía del agua de un río, en algunas ocasiones, se modifica el recorrido natural con idea de reducir las pérdidas al mínimo posible.

La cantidad de energía que se puede aprovechar de una corriente de agua situada a una determinada elevación, varía en función de la altura disponible y de la cantidad de agua. La conjugación de ambas magnitudes se traduce en la posibilidad de que resulten atractivos, tanto los ríos con grandes desniveles, así como aquellos en los que los desniveles sean pequeños, cuando la cantidad de agua que circula por ellos es alta y por lo tanto su energía disponible también.

La energía hidráulica como fuente de energía se utiliza, aunque tiene otros usos, casi exclusivamente para la producción de energía eléctrica, verificándose que la transformación energética se realiza con un rendimiento muy alto a diferencia de lo que ocurre en otras fuentes de energía.

Sin embargo, los altos niveles de eficiencia no son fáciles de alcanzar, dadas las dificultades que conlleva el diseño de una hidroeléctrica; una de las condiciones más difíciles, es encontrar la cuenca para la represa, ya que todos los cauces en esta época están utilizados y aquellos que no, por lo general, tienen problemas de tipo ambiental.

Aun así la limpieza, rentabilidad y poco mantenimiento de este tipo de centrales generadoras de energía, constituyen el futuro y la piedra angular que soportará los sistemas energéticos de países en vías de desarrollo.

“En el caso de Guatemala, a pesar de gozar de riqueza de cuencas para hidroeléctricas, no se cuenta con la disponibilidad económica para ejecutar los proyectos de esta índole; pero ello no debe sobre ponerse ante la ventaja ya mencionada de las denominadas pequeñas centrales hidroeléctricas que ofrecen costos muy reducidos. Estos proyectos tendrán relevancia y tomarán auge en un futuro muy cercano, porque permitirán el abastecimiento del Sistema Nacional Interconectado de energía eléctrica, mejorando significativamente las condiciones económicas y ambientales, así como las necesidades energéticas del país.”³

1.2.1. Funcionamiento

La velocidad del flujo de los ríos es básicamente constante a lo largo de su cauce, que siempre es descendente. Debido a que es un flujo constante, es evidente que su energía potencial no es cinética, ya que su aceleración es afectada por pérdidas.

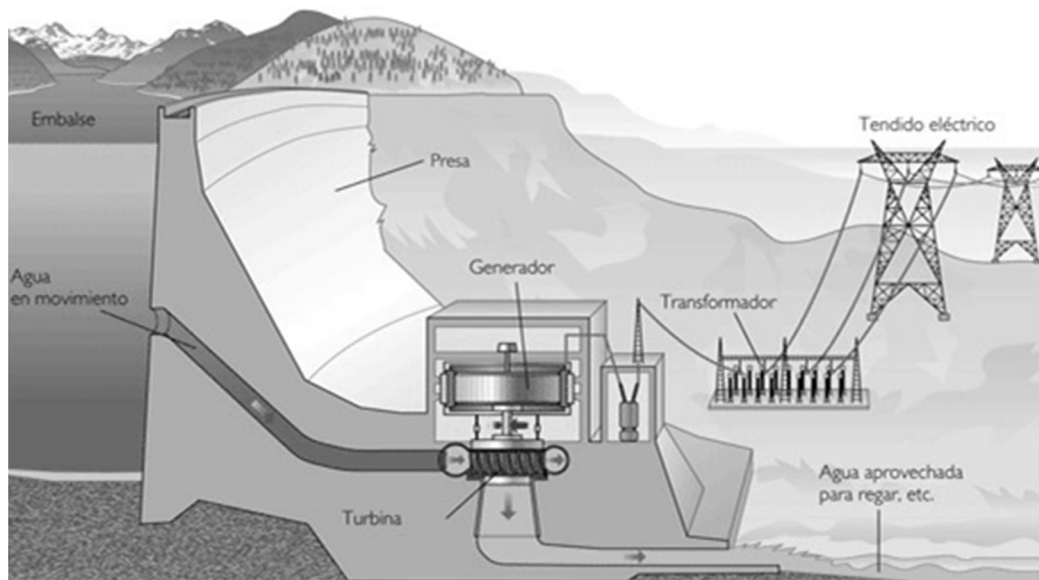
En otras palabras, la energía potencial se pierde cuando el flujo del río trata de vencer las fuerzas de fricción con el suelo, transporta partículas, forma remolinos, entre otras. La energía potencial del agua es aprovechada si se evitan dichas pérdidas y se hace pasar el agua a través de una turbina.

³ ALCANTARA ARROYAVE, David Estuardo. Modelo del comportamiento de presas en cascada y visualización por software. p. 3.

En las centrales hidroeléctricas el cauce del agua es retenida por una presa, lo que provoca que el río aumente de nivel en una parte de su cauce, lo que suele convertirse en un embalse.

El agua situada en el embalse es transportada por una tubería hacia la central generadora donde mediante turbinas hidráulicas impulsadas por el agua producen el movimiento de un eje el cual mediante su rotación dentro de un embobinado de un generador produce energía eléctrica.

Figura 2. **Funcionamiento de una central hidroeléctrica**



Fuente: <http://www.renovables-energia.com/wp-content/uploads/2009/06/partes-central-hidroelectri.jpg>. Consulta: 02 de junio de 2013.

“El generador, es una máquina que contiene polos salientes que proporciona un potencial eléctrico o voltaje trifásico, que es inducido por un campo magnético giratorio entre el rotor y el estator; este campo giratorio

provocado por una excitatriz, funciona como un imán girando dentro del estator e induce una tensión migratoria, que cambia de polo norte a sur a una frecuencia de 60 Hz; luego de la generación esta tensión o voltaje se transforma a niveles más altos para su fácil transporte”.⁴

1.2.2. Ventajas y desventajas

El uso de centrales hidroeléctricas para el aporte de recurso energético al país permite la generación de energía a costos muy bajos en comparación con otras fuentes de generación eléctrica. La generación de la energía hidroeléctrica proporciona una alternativa para la quema de combustibles o energía nuclear, que permite satisfacer la demanda de energía sin producir agua caliente, emisiones atmosféricas, ceniza ni emisiones de dióxido de carbono, entre otros.

Debido a la importancia que tiene la energía eléctrica en el apoyo del desarrollo económico y calidad de vida en el área donde se sirve, es indispensable el uso de fuentes de energía que no generen impacto negativo en el ambiente. Entre las ventajas principales que pueden mencionarse se tienen:

- No se hace uso de combustible, ya que se utiliza como recurso renovable el agua.
- No existen implicaciones negativas en el medio ambiente.
- Sus costos de explotación son relativamente bajos, lo que permite la comercialización de la energía a un bajo costo, al alcanza de la población.

⁴ALCANTARA ARROYAVE, David Estuardo. Modelo del comportamiento de presas en cascada y visualización por software. p. 5.

Sin embargo, la construcción y operación de la represa y el embalse constituyen la fuente principal de impactos en el ambiente. Las represas de gran alcance causan cambios ambientales irreversibles, en un área geográfica muy extensa.

Los críticos más severos aseguran que los costos sociales, ambientales y económicos de estas represas pesan más que sus beneficios y que, por lo tanto, no se justifica la construcción de las represas grandes, sostienen a su vez que los costos ambientales y sociales pueden ser evitados o reducidos a un nivel aceptable, si se evalúan cuidadosamente, los problemas potenciales y se implantan medidas correctivas.

Existen impactos ambientales directos asociados al embalse del agua, debido a la inundación de la tierra para formar el embalse y la alteración del caudal de agua, aguas abajo. Estos efectos ejercen impactos directos en los suelos, la vegetación, la fauna y las tierras silvestres, la pesca, el clima y la población humana del área. Los efectos indirectos están asociados a la construcción, mantenimiento y funcionamiento de la represa.

Entre las desventajas principales que pueden mencionarse se tienen:

- La generación de energía es variable ya que depende de la época del año.
- Su construcción es tardada, comparada con otras centrales de generación de energía.
- Su inversión inicial es elevada.

1.2.3. Características

Desde el punto de vista de la capacidad generativa de electricidad, una central hidroeléctrica cuenta con dos características principales:

- **Potencia:** la potencia está en función a desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y el caudal máximo turbinable, además de las características de las turbinas y de los generadores usados en la transformación.
- **Energía:** la energía está en función de la energía garantizada en un lapso de tiempo determinado, generalmente un año, con base en el volumen útil del embalse y de la potencia instalada.

1.3. Importancia de las centrales hidroeléctricas

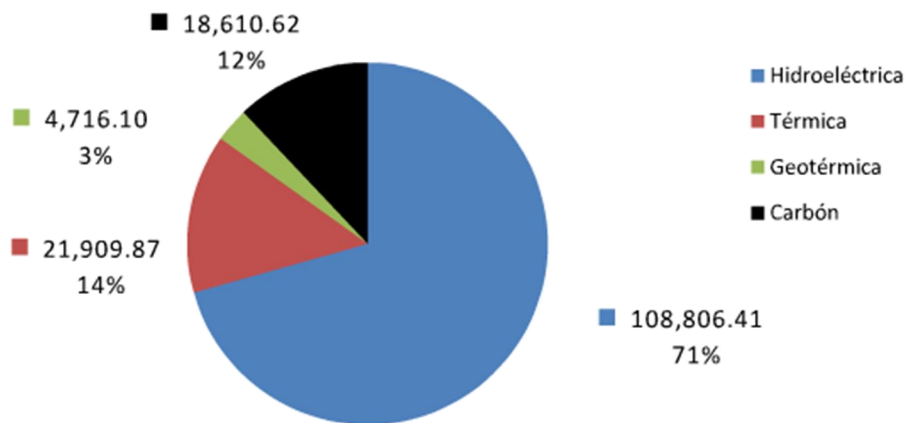
La potencia de una central es variable desde unos pocos MW (megavatios), como en el caso de las pequeñas centrales hidroeléctricas, hasta 300 MW como Chixoy, que es considerada la hidroeléctrica más grande del país.

Guatemala cuenta con una gran cantidad de recursos naturales de tipo renovable, los cuales tiene un gran potencial energético. Entre su principal recurso natural, podemos mencionar el agua, que es la fuente de energía para las centrales hidroeléctricas.

En Guatemala la electricidad se genera básicamente por medio de centrales hidroeléctricas con un porcentaje de capacidad instalada de 71%, las centrales térmicas con un 14% y el resto con un 15%. Cabe mencionar que este

alto porcentaje depende mucho del caudal de los ríos, que se intensifican en épocas lluviosas y disminuyen en épocas secas.

Figura 3. **Generación nacional (MWh)**



Fuente: Monitoreo del Mercado, disponible en <http://www.cnee.gob.gt> Consulta: 01 de febrero de 2013.

De igual manera, esto significa que, en promedio, un 70% del tiempo la energía ha sido generada con plantas hidráulicas, con lo que el sistema nacional se beneficia con los bajos costos que esta tecnología representa. Esto provoca una disminución en las tarifas de energía eléctrica, lo que permite que el acceso de dicho recurso este más al alcance del consumidor.

Para los economistas, la importancia de la producción hídrica radica en que permite al país, incluso, mantenerse como un exportador de este energético. Hoy en día se cuenta con 19 centrales hídricas que juntas pueden producir hasta 110.9 giga vatios hora (GWh) de los 153.0 GWh que se estima que requiere el país. La energía restante sería aportada por las otras tecnologías, como carboneras, derivados del petróleo, geotérmicas.

Dependiendo de la responsabilidad ambiental de cada central hidroeléctrica puede tener políticas de conservación de cuencas hidrográficas en los lugares donde son construidas las presas, con la finalidad de garantizar el equilibrio natural para la producción de energía limpia a partir de recursos renovables.

También pueden contar con políticas que permitan reducir los niveles de degradación y contaminación de los recursos renovables y el riesgo al embate de los desastres causados por el hombre. En cuanto a la responsabilidad social, las centrales hidroeléctricas promueven el empleo en zonas de muchas pobreza, mejorando la situación económica y social de la población residente en las áreas de trabajo.

1.4. Sistema Nacional Interconectado

Un Sistema Nacional Interconectado (SIN) es la red eléctrica por la cual se entrega la energía eléctrica al usuario final. La infraestructura interna del SIN esta compuesta por generadores de energía, líneas de transmisión eléctrica, líneas de distribución eléctrica, subestaciones eléctricas, centros de transformación monofásicos y trifásicos y el usuario final.

En Guatemala la red nacional de energía está constituida por equipos eléctricos desde plantas generadores hasta los transformadores visibles en los postes de las calles, los cuales alimentan a los usuarios finales.

La red eléctrica, más bien, se puede observar como un circuito eléctrico serie paralelo complejo, en donde los voltajes, las corrientes y la potencia fluyen desde las plantas generadoras hasta el usuario final.

1.5. Operación de las centrales hidroeléctricas

“La producción de electricidad en Guatemala se realiza bajo un modelo de mercado competitivo desde el punto de vista económico, debido a que los productores compiten en función de sus costos para vender sus productos al Mercado Mayorista.”⁵

El Administrador del Mercado Mayorista realiza la coordinación de la operación en tiempo real del Sistema Nacional Interconectado y de las interconexiones internacionales, e integra los servicios complementarios necesarios, con el objetivo de mantener el balance entre generación y demanda y con ello preservar la seguridad y continuidad del servicio eléctrico.

Esta tarea es llevada a cabo por el centro de despacho de carga, de acuerdo a la condición que se encuentre el sistema, ya sea condición operación normal o condición de operación de emergencia, teniendo autoridad para emitir las ordenes operativas que se requieran. Para llevar a cabo estas actividades, se basa en la legislación vigente, que incluye las Normas de Coordinación Comercial y Operativas, las cuales están en proceso de mejora, a fin de constituirse en la base sólida que permita el desarrollo de mercado eléctrico.

El suministrar la demanda al mínimo costo operativo mediante un despacho centralizado de los generadores es función del Administrador del Mercado Mayorista.

⁵FIGUEROA SANDOVAL, Luis Eduardo. Programa de despacho diario del Mercado Mayorista de Guatemala. p. 1.

El Administrador del Mercado Mayorista realiza el despacho de las plantas generadoras hora a hora del sistema nacional interconectado, por lo que se requiere que el proceso se haga de una forma objetiva y transparente, tomando en consideración las distintas restricciones operativas de los participantes oferentes.

Las restricciones operativas de los generadores están asociadas a mínimos y máximos técnicos de operación, número máximo de arranque y paro de las unidades, rampa de toma de carga, etc. Para plantas hidroeléctricas con embalse de regulación diaria existen otras restricciones operativas tales como, niveles mínimos y máximos de turbinamiento, manejo óptimo de embalse, entre otros.

1.5.1. Rol del Administrador del Mercado Mayorista

El Administrador del Mercado Mayorista (AMM) permite que el mercado eléctrico opere mediante un esquema de libre oferta y demanda, para lograr una mayor economía en los costos de operación del Sistema Nacional Interconectado. En función de esto, AMM determina el despacho técnico y económico, al mínimo costo.

El AMM es responsable de la planificación de la operación del Sistema Eléctrico Nacional, y lleva a cabo su función identificando las necesidades de potencia y energía eléctrica, ajo el concepto de despacho económico de carga, cuyo objetivo es la optimización de los recursos para la generación de la energía eléctrica, conforme las normas del mercado.

En la planificación de la operación se determinan los precios de potencia y energía eléctrica a ser abonados por los agentes y participantes consumidores, se toman en cuenta las pérdidas en el sistema de transporte y se coordinan los programas de mantenimiento. Los resultados de la planificación de la operación son revisados en períodos mensuales semanales y diarios, realizando los ajustes correspondientes.

El AMM da un seguimiento permanente, a los diferentes operadores de cada central hidroeléctrica que se encuentran dentro del Sistema Nacional Interconectado, dando las instrucciones y pautas de operación a la actividad que actualmente realizan los operadores. El AMM tiene a su cargo realzar la operación en tiempo real, verificando constantemente las variables eléctricas de la red de transporte y de las interconexiones internacionales, cotejándolas con la capacidad de equipos e instalaciones asociadas.

El conocimiento global y prácticamente instantáneo de la situación del sistema de generación, de la evolución de la demanda y de las restricciones existentes en la red eléctrica, permiten al AMM ordenar rápidamente acciones correctivas en casos de emergencia.

1.5.2. Rol del operador

El operador de cada central hidroeléctrica es el encargado de llevar un control de todas las variables que son útiles para el control operativo de la planta. Parte de esta información es necesaria para el AMM y otra es única y exclusiva para la operación interna. Tanto el proceso, como las variables tomadas en cuenta por el operador, son explicados en el capítulo 2.

2. SISTEMA SCADA

Un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control and Data Acquisition, en inglés) es diseñado para recopilar datos de máquinas industriales, presentárselas al usuario y proporcionar portales a través del cual el usuario pueda enviar información a las máquinas y recibir de ellas una retroalimentación. Permite a su vez monitorear un proceso, o realizar ajustes en la configuración de las piezas de maquinaria.

Un Sistema SCADA es el marco que supervisa un proceso, pudiendo hacer gran parte del trabajo remotamente mediante un SCADA inalámbrico. La capacidad de un Sistema SCADA de conectarse a una base de datos SQL, proporciona una increíble flexibilidad que permite recopilar información a través de distintos dispositivos industriales, y supervisar procesos complejos. La supervisión permite a las personas que trabajan con la maquinaria, identificar rápidamente los problemas, solucionarlos y supervisar inmensas cantidades de datos con una fácil interfaz gráfica de usuario.

Un Sistema SCADA crea un puente entre los sistemas de control para representar a los usuarios los datos contenidos en ellos. Desde un Sistema SCADA el usuario puede monitorear proceso en el lugar donde se encuentran los equipos o en una ubicación remota utilizando Intranet o Internet. Así el operador tiene acceso a alarmas, tendencias, reportes y a ejecutar servicios automatizados. Un Sistema SCADA alerta al operador en tiempo real si existe algún problema, y puede tener un diagnóstico que le permita resolver el problema. Esto reduce considerablemente el tiempo fuera de línea de un proceso.

Uno de los aspectos más importantes en un proceso de automatización es la selección del Sistema SCADA o HMI. La selección de un buen Sistema SCADA determinará la eficiencia y el éxito en que se ejecutará el proceso automatización. La selección de un mal SCADA puede resultar caro, provocando que se invierta constantemente en mejoras para aumentar la compatibilidad o comprar módulos adicionales para agregar la funcionalidad que deben ser incluidos desde el principio.

¿Qué es lo que se debe buscar en un software SCADA o en sistemas HMI?, a continuación se listan algunos de las características que debe de tener:

- **Compatibilidad:**se debe buscar que el Sistema SCADA sea compatible con múltiples sistemas operativos.
- **Drivers:**se debe conocer bien los controladores que incluyen el Sistema SCADA. Los *drivers* son una característica importante de un software HMI SCADA. Con los controladores adecuados instalados en el Sistema SCADA, ampliara los usos que se le pueda dar a dicho sistema, ya que permitirá la comunicación con el PLC que se esté utilizando.
- **Costo:**el valor es fundamental en lo que respecta a los Sistemas SCADA. Se debe tomar en cuenta que muchos de los Sistemas SCADA en el mercado cobran por características adicionales una vez realizada la compra inicial.
- **Soporte:**el soporte técnico es uno de las características que hace la diferencia entre un Sistema SCADA de bajo costo y un Sistema SCADA barato. Un Sistema SCADA que no ofrece el soporte adecuado no logra mantener satisfecho al cliente.

- Escalable: la versatilidad juega también un papel importante al momento de la selección. Esto permitirá operar un mismo SCADA con diferentes configuraciones y nuevas funcionalidades.

2.1. Sistema SCADA remoto

Hay innumerables maneras de establecer un Sistema SCADA, y muchas la formas en que esta configuración se pueden hacer portal o remota, independientemente de la complejidad de la red de hardware. Industrias grandes pueden ser monitoreadas desde una sede central, o incluso en un viaje.

2.1.1. Estructura SCADA remoto

Una operación SCADA remoto funciona de una manera similar a un puente. Por un lado están los diferentes sitios que serán monitoreados. En cada lugar, los controladores como PLCs harán la mayor parte del control de procesos en tiempo real. De esta forma un HMI o Web HMI intercambia datos con el controlador y estos son traducidos en información valiosa para un sistema SCADA remoto.

A partir de acá, un Sistema SCADA inalámbrico o remoto puede sincronizar y visualizar todos los datos, y luego distribuirlos a los usuarios remotos que tengan la debida autenticación. Eso significa que a pesar de que la estructura del sistema PLC sea compleja, un Sistema Central SCADA puede integrar todo los sistemas periféricos actuando como una puerta de enlace. Un Sistema SCADA permite a los usuarios no solo controlar el proceso desde un solo lugar, sino en muchos.

2.1.2. Clientes ligeros

Los clientes ligeros permiten a los usuarios acceder a la información SCADA desde cualquier lugar con Wi-Fi o conexión a internet. La posibilidad de un SCADA inalámbrico es útil para muchos usuarios, quienes pueden utilizar un ordenador portátil o un teléfono móvil como una sala de control virtual.

Los portales de clientes ligeros son convenientes ya que los usuarios no están obligados a instalar la aplicación o licenciarlo, ya que mediante un navegador web se puede acceder al sistema SCADA, a través de una autenticación para acceder. Esta forma de control remoto de los SCADA permite a los usuarios centrarse en la información disponible, en lugar de una instalación y actualización de la aplicación.

2.2. Compañías de software SCADA

Es una realidad que no todos los Sistemas SCADA son similares. Para muchos desarrolladores de proyectos de automatización es difícil tomar una decisión informada sobre qué Sistema SCADA utilizar.

2.2.1. Indusoft

Es una de los pocos sistemas SCADA que ha estado sobre el negocio durante más de una década. Indusoft Web Studio es considerado por muchos como el software SCADA más versátil disponible. La fuerza de este producto está en lo mucho que se incluye con el software. No solamente es compatible con todos los sistemas operativos actuales de Microsoft, si no también cuenta con un paquete de *drivers* para cientos de modelos de PLC y soporte.

Además también incluye alarmas (en tiempo real e históricos), tendencias (en tiempo real e históricos), eventos, recetas, informes, conectividad de base de datos y la seguridad de sistemas SCADA.

2.2.2. Otros Sistemas SCADA

Algunos Sistemas SCADA se basan únicamente en un *middleware* para su método de comunicación. No se incluyen controladores para PLCs u otros dispositivos. Muy a menudo los módulos soportados por estos tienen que ser añadidos en forma de paquetes de software adicionales, por lo que las tendencias y alarmas, por ejemplo, no se incluyen. Algunos sistemas permiten la creación de *scripts*, que no son compatibles con todos los sistemas operativos.

2.3. Selección de Indusoft Web Studio como Sistema SCADA

A continuación se listan algunas de las características que se tomaron en cuenta para seleccionar Indusoft Web Studio como software de desarrollo del prototipo desarrollado.

- **Compatibilidad:** corre con cualquier Sistema Operativo Microsoft. Lo que significa que se puede correr un SCADA móvil sobre Windows CE, un SCADA con funciones personalizadas en sistemas operativos de escritorio de Windows y cualquier edición de Windows Server. Aunque Indusoft Web Studio no corre en otros sistemas operativos que no sean de Microsoft, se adapta muy bien a las necesidades de una pequeña central hidroeléctrica, debido a que sus operadores se encuentran familiarizados con tecnología Microsoft.

- *Drivers*: puede comunicarse con casi cualquier PLC en el mercado, independientemente del fabricante. En caso se utilizase un modelo de PLC no conocido, se ofrece la posibilidad de establecer un *middleware* que permita hacer posible esta comunicación.
- Costo: Indusoft Web Studio es rico en características, incluyendo todo lo necesario en un único paquete. Indusoft tiene un precio asequible para empezar, pero cuando se agrega en todos los componentes adicionales, como *drivers*, soporte técnico y compatibilidad, Indusoft se convierte en uno de los Sistemas SCADA más asequibles disponibles. Además de los *drivers* y soporte, los clientes también obtienen la posibilidad de integrar alarmas, tendencias, recetas e informes, así como también una alta gama de lenguajes disponibles.
- Soporte: Indusoft cuenta con soporte técnico en línea, vía telefónica, correo electrónico. Así también cuenta con una gran variedad de manuales digitales y video tutoriales que permiten al usuario contar con la ayuda necesaria para el desarrollo de sus proyectos.
- Escalabe: puede ser utilizado en ambientes personales, de mediana infraestructura y así como también en un nivel superior en un entorno de servidor. Usuarios pueden desarrollar aplicaciones a nivel de escritorio o a nivel de servidor, inclusive cargar el mismo proyecto en un PDA. Para ello no es necesario reescribir la aplicación para cambiar *drivers* de PLC ni para modificar *scripts*.

2.4. Indusoft Web Studio

Indusoft Web Studio es una poderosa colección de herramientas de automatización necesaria para proyectos de mediana y alta escala de HMIs, SCADAs y soluciones de instrumentación integrados. Permite utilizar las tecnologías Web integradas aprovechando la conexión a Intranet o Internet. Indusoft Web Studio es un software de desarrollo y ejecución que incorpora todas las herramientas necesarias para la creación de aplicaciones SCADA, HMI, Dashboards e interfaces OEE.

Los sistemas SCADA son de vital importancia en cualquier proceso automatizado. Una de las tareas importantes para resolver las necesidades de automatización industrial, es justamente la selección del Sistema SCADA que será combinado con el PLC. Indusoft Web Studio promete la flexibilidad necesaria para satisfacer los requisitos más exigentes de cualquier industria, en especial la de pequeñas centrales hidroeléctricas. Alguna de las características:

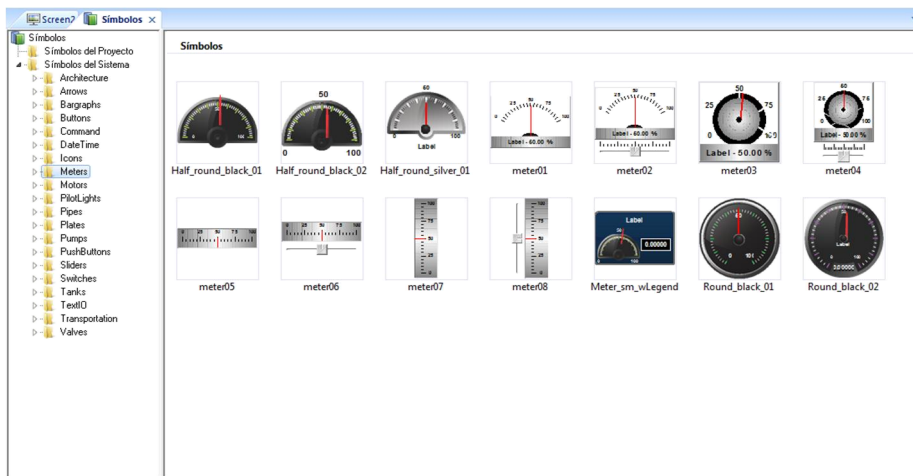
- Visualizar proceso desde un entorno de escritorio o un dispositivo móvil habilitado para la web usando un navegador estándar.
- Ofrece soporte para múltiples idiomas para que los operadores entiendan inmediatamente.
- Permite visualizar en cualquier plataforma con soporte de Microsoft sin necesidad de hacer modificaciones de desarrollo.
- Ofrece más de 200 *drivers*, OPC (cliente y servidor) y TCP/IP
- Permite solucionar problemas rápidamente, mediante la visualización de alarmas en pantalla, e-mail, PDA, teléfonos móviles o navegadores web.
- Integra fácilmente sistemas de *back-office*, utilizando una función de conectividad de base de datos relacional y ERP.

- Ofrece herramientas para visualización de Indicadores Claves de Rendimiento (KPI) y de Eficacia Total del Equipo (OEE).

2.4.1. Herramientas de diseño

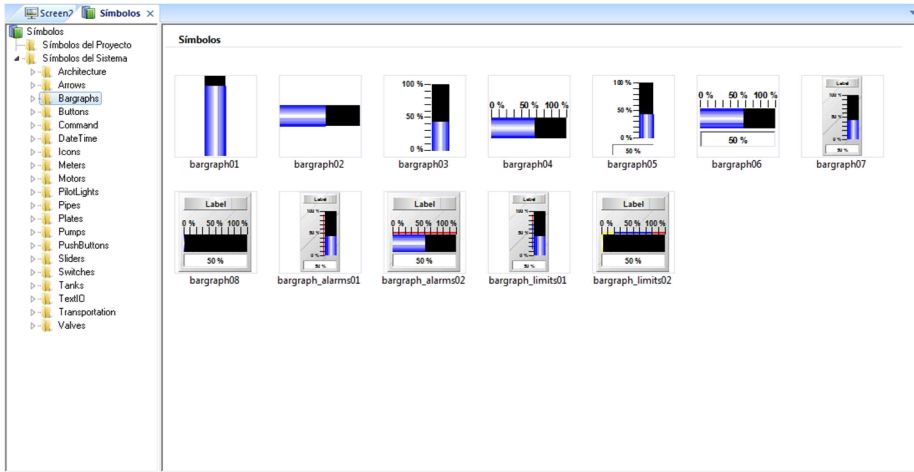
Con estas herramientas se pueden crear interfaces sofisticadas mediante *drag and drop* fácilmente. Permite importar gráficos de 15 formatos diferentes, pudiendo desarrollar pantallas mejoradas y realistas. Contiene objetos de imágenes con todas las funciones, con propiedades dinámicas y personalizables, tales como gráficos de barras, color, cambiar tamaño, parpadeo, animaciones, escala, relleno, colocación, rotación, comandos, hipervínculos, cuadros combinados de entrada y salida de texto. Proporciona un entorno orientado a objetos para el desarrollo de aplicaciones simples. Utiliza una amplia biblioteca de símbolos para simplificar el desarrollo.

Figura 4. Elementos de visualización gráfica para medidores



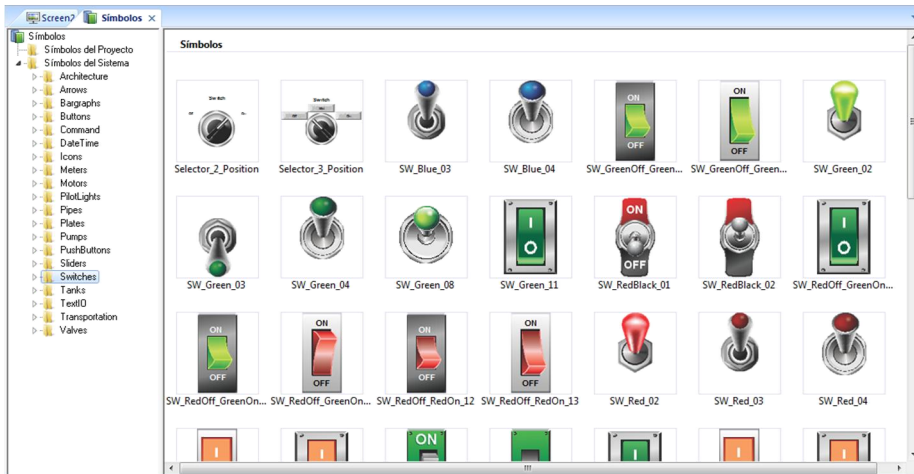
Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

Figura 5. Elementos de visualización gráfica para niveles



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

Figura 6. Elementos de visualización gráfica interruptores de control



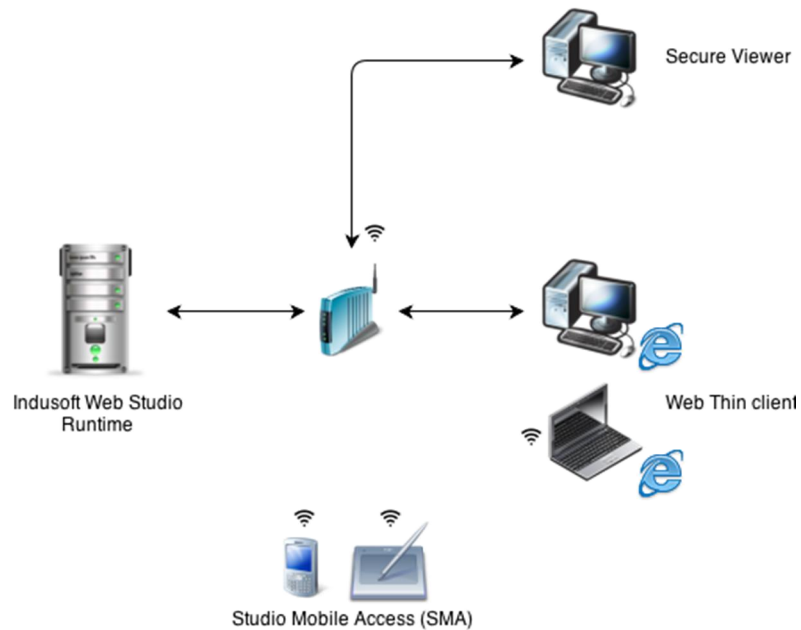
Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

2.4.2. Clientes ligeros

Indusoft Web Studio soporta 3 tipos de visores remotos de aplicaciones:

- Mediante un Secure Viewer para las operaciones de planta donde la navegación se debe restringir a aplicaciones SCADA. Asegura el acceso de las aplicaciones cableadas o inalámbricas, ofreciendo la posibilidad de encriptar las comunicaciones de internet a lugares remotos mediante SSL (Secure Socket Layer, estándar de la tecnología de encriptación de 128 bits), proporcionando el mayor nivel posible de seguridad.
- Mediante Microsoft Internet Explorer que permite el acceso completo a cualquier dirección IP autorizada.
- Y un visor Mobile Access Studio que funciona con cualquier navegador. Remotamente pueden visualizar variables de proceso desde cualquier navegador, incluyendo iPhones, BlackBerrys, Firefox y otros navegadores web habilitados en los teléfonosmóviles.

Figura 7. **Arquitectura general del uso de clientes ligeros**

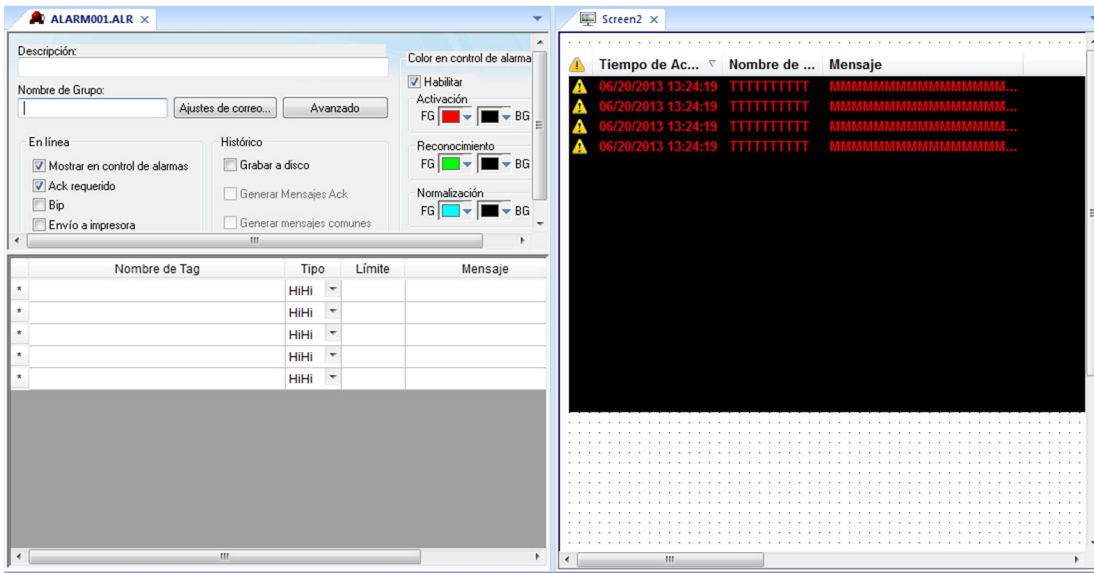


Fuente: elaboración propia, con base al programa Draw IO.

2.4.3. Alarmas

Indusoft Web Studio utiliza un sofisticado sistema de gestión de alarmas que permite enviar alarmas a diversos servicios públicos, tales como pantallas, correo electrónico, navegador Web, archivos a impresora, entre otros. También permite a los usuarios almacenar notas tras reconocer una alarma recibida. Proporcionar mensajes de alarma en formato libre, utilizar claves de búsqueda secundaria y acceder a través de grupos o etiquetas. También permite archivar alarmas en un archivo, una impresora o una base de datos. La pantalla que visualiza alarmas permite filtrar, ordenar, colorear para clasificar las alarmas, para una fácil interpretación, todo esto es posible en tiempo de ejecución.

Figura 8. Elementos de configuración y visualización de alarmas



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

2.4.4. Redundancia

La redundancia es soportada de varias maneras. Al momento de publicar las pantallas como páginas web en Internet Explorer o Secure Viewer, los gráficos de la pantalla aparecen como páginas HTML a través de un servidor web. La información se publica a través de un servidor de datos.

Dado esto, Indusoft Web Studio ofrece dos tipos de redundancia:

- Redundancia de Servidor Web
- Redundancia de Servidor de Datos

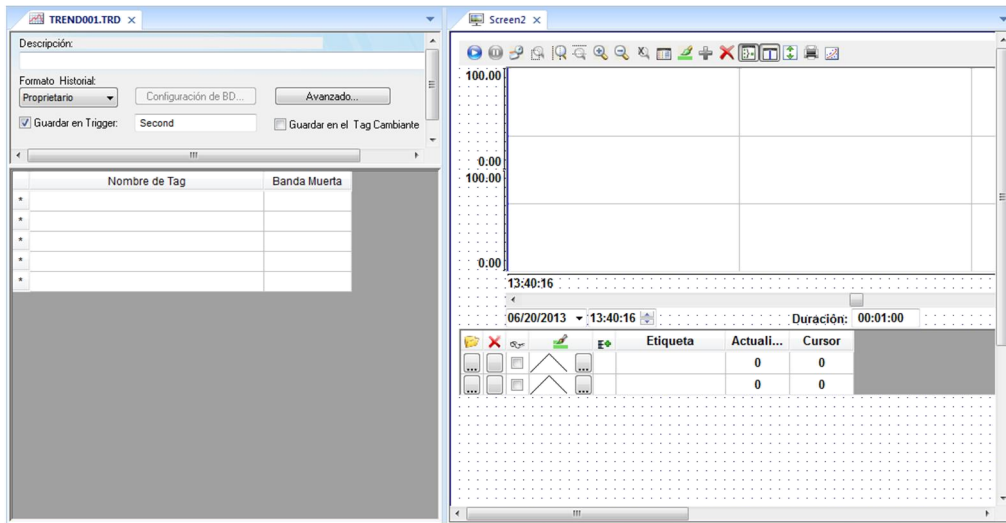
Indusoft también permite conexión a base de datos, utilizados para cargar datos de alarmas, eventos y tendencias, y la redundancia puede manejarse de dos formas:

- **Redundante:** en este modo Indusoft Web Studio almacena los datos en base de datos primaria y secundaria. Si una de estas bases de datos no está disponible, se siguen almacenando los datos solo en la base de datos que esté disponible. Cuando la base de datos que no estaba disponible vuelve a estar disponible, se sincronizan ambas bases de datos de forma automática.
- **Almacenamiento y reenvío:** de esta forma se guardan los datos solo en una base de datos principal. Si la base de datos principal deja de estar disponible, se almacenan los datos en la base de datos secundaria. Cuando la base de datos principal vuelve a estar disponible, automáticamente se mueven los datos de la base de datos secundaria en la base de datos principal.

2.4.5. Tendencias

Realiza un seguimiento de proceso de comportamiento en línea a través de tendencias históricas y envía información a través de la red para monitorear mediante pantallas o navegadores web. Distribuye la información a través de la red para facilitar la vigilancia en las pantallas de la aplicación.

Figura 9. Elementos de configuración y visualización de gráficos



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

2.4.6. Eventos

Un evento puede ser cualquier cambio de valor en una variable, generar informes, abrir y cerrar ventanas, registrar y cerrar sesión, entre otros. Todos estos eventos se almacenan en un registro de eventos que pueden ser recuperados por el objeto de control de alarmas de eventos.

2.4.7. Scripting

Indusoft Web Studio cuenta con dos diferentes lenguajes de construcción de *scripts*: Funciones Indusoft Web Studio y VBScript. Ambos son soportados en tiempo de ejecución independientemente del sistema operativo. VBScript es capaz de funcionar sobre Windows CE, XP, Vista, 7 y ediciones Server.

2.4.8. Seguridad

Indusoft provee seguridad a nivel de grupos y usuarios. Cada usuario o grupo puede configurársele un nivel de seguridad entre 0 y 255. Existen capas de seguridad independiente en ambientes de desarrollo y en ambientes de ejecución.

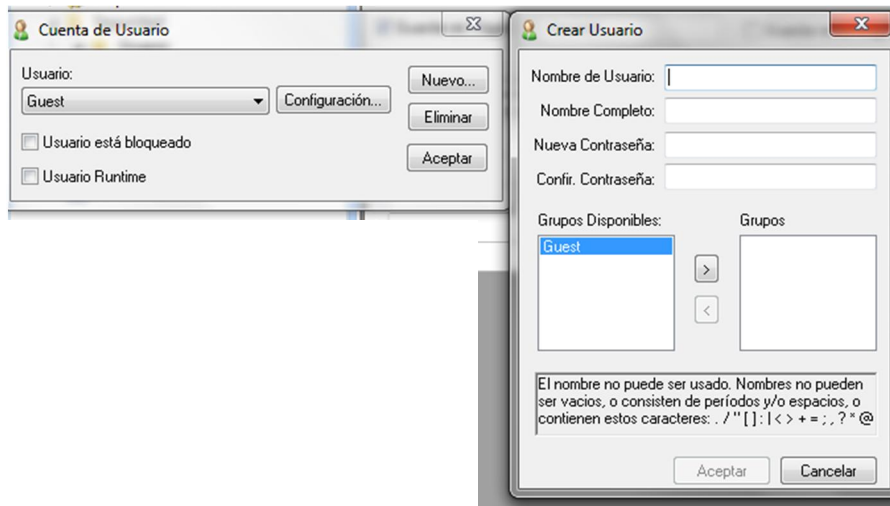
2.4.8.1. Desarrollo

- Configuración del proyecto
- Configuración de *drivers* y fuente de datos
- Configuración de red
- Crear y modificar variables
- Crear y modificar pantallas
- Crear y modificar tareas

2.4.8.2. Tiempo de ejecución

- Iniciar la aplicación
- Cerrar la aplicación
- Escribir dentro de base de datos
- Cambiar de tareas
- Creación de usuarios
- Deshabilitación de acceso y administración de tareas

Figura 10. Elementos de configuración de usuarios y grupos de usuario



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

Las medidas de seguridad de Indusoft Web Studio ayudan a mantener aislada a la red, e incluso aquellos usuarios que quieren compartir un sistema de seguridad en varios equipos o piezas de hardware. Ayuda a proteger contra ataques. Este software SCADA tiene la característica especial que permite a los usuarios encriptar la aplicación. Esto significa que incluso alguien que está utilizando una copia con licencia de Indusoft y tiene acceso a la aplicación no será capaz de ver la secuencia de comandos, o cualquier otro elemento de la aplicación sin una contraseña. Este tipo de seguridad SCADA no solo impide el acceso no autorizado a la aplicación sino que también protege los derechos de propiedad intelectual de los desarrolladores.

Las opciones de seguridad de servidor distribuido y cliente distribuido, permiten a los usuarios compartir seguridad entre dos o más sistemas, pero aún permanecen aisladas. También si incluye la función LDAP del dominio que permite a los usuarios compartir la seguridad de un sistema de seguridad de la

red corporativa como Microsoft Active Directory). Esto es ideal para las industrias que cuentan con normas de seguridad.

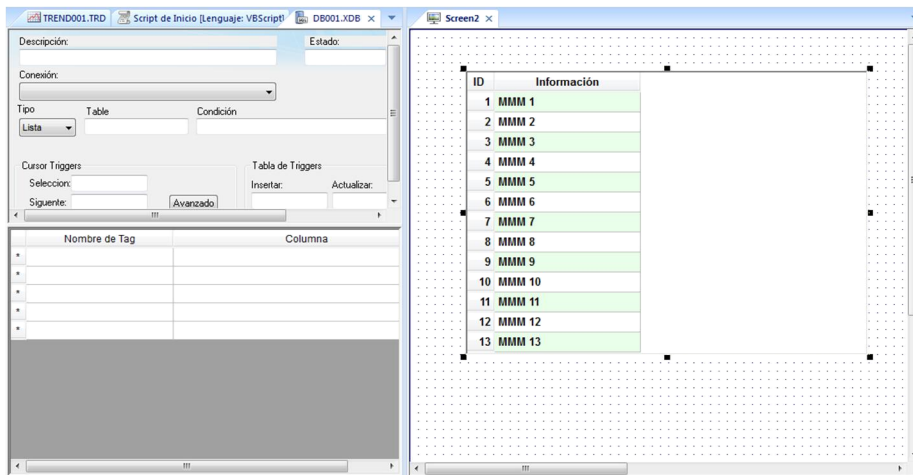
2.4.9. Reportes

Permite la importación y exportación de reportes en tiempo real. Así como también la generación de pantallas con gráficos dinámicos y animados en tiempo real, integrar tendencias alarmas en cualquier navegador.

2.4.10. Base de datos

Mediante la conexión a base de datos el Sistema SCADA permite el almacenamiento de alarmas, eventos, tendencias, tabla de valores. Esto permite que otros sistemas de terceros puedan tener acceso a los datos generados por Indusoft Web Studio y pueda hacer uso de estos según sus requerimientos. La comunicación puede ser establecida con cualquier base de datos relacional soportada por *ADO.NET Provider*, *OLE DB Provider* u *ODBC Driver*.

Figura 11. Elementos de configuración y visualización para base de datos



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

2.5. Comunicación PLC

Unas de las tareas más complicadas es lograr una comunicación entre el sistema SCADA y el PLC. En sus inicios gran parte de los sistemas SCADA del mercado eran propietarios, es decir que muchas marcas productoras de PLC desarrollaban sistemas SCADA que podían comunicarse únicamente con sus productos. Tiempo después una nueva generación de sistemas SCADA empezó a usar *middleware* tal como OPC, diseñado para transferir datos provenientes de un cliente (PLC y otros dispositivos compatibles) a un servidor, del cual los sistemas SCADA extraían los datos de interés.

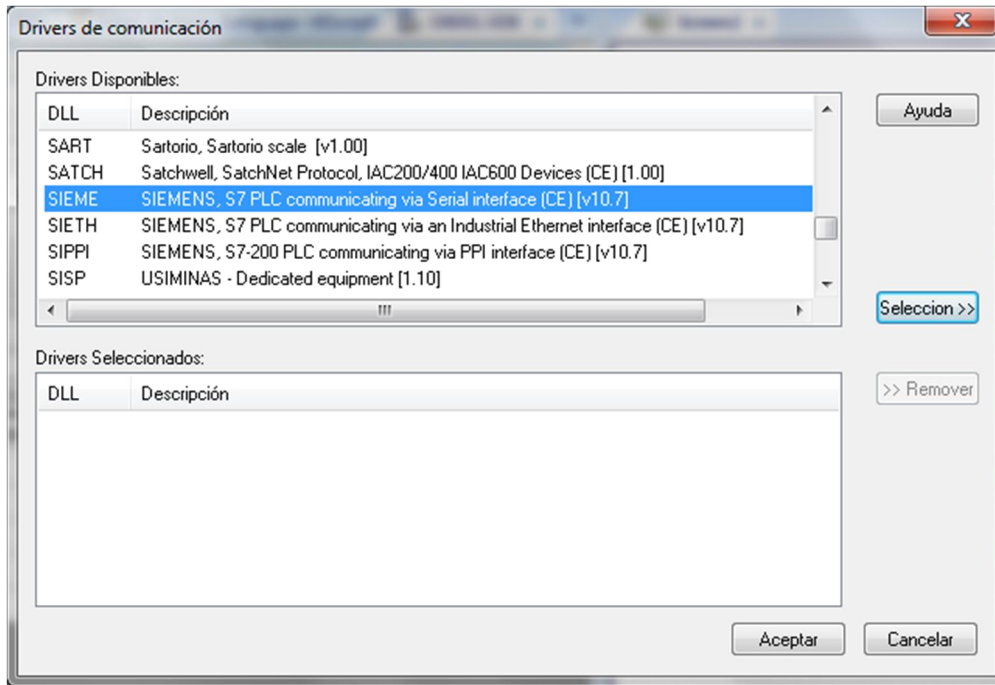
Actualmente existen sistemas SCADA que cuentan con un repositorio de *drivers*, que permite establecer una comunicación directa con los dispositivos de control, sin necesidad de un *middleware*. Sin embargo adicional a esto también soporta la comunicación mediante OPC. Esto hace que los PLC y Sistemas SCADA de hoy en día puedan comunicarse libremente entre ellos.

Indusoft Web Studio incluye *drivers* de fabricantes de PLC tales como Allen Bradley, Siemens, Schneider, Mitsubishi, Omron, GE-Fanuc, Siemens, así como también protocolos estándares tales como MODBUS RTU/ASCII, DeviceNet, Profibus, Interbus and Ethernet/IP.

Esto permite que sin importar el PLC que se esté utilizando, Indusoft Web Studio brinda la facilidad de conexión con cualquiera de estos, lo que resulta útil cuando se necesita ofrecer soluciones de automatización a pequeñas centrales hidroeléctricas que ya se encuentran en funcionamiento, así como también las que se encuentran en desarrollo.

Esto permite ofrecer soluciones económicas, ya que gran parte del costo de un proyecto de automatización se ve influido en la combinación de un Sistema SCADA y PLC adecuados.

Figura 12. Listado de *drivers* que incluye la herramienta



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

2.6. Mobile y Web SCADA

Indusoft Web Studio revolucionó los sistemas SCADA cuando sus aplicaciones desarrolladas fueron soportadas por el Sistema Operativo Windows CE, ya que esto permitió desarrollar Sistemas SCADA y HMI de forma remota, es decir, ahora es posible controlar procesos inalámbricamente. Los SCADA inalámbricos han tenido su auge en los últimos años, y es utilizada especialmente en sectores como las industrias de energía solar y eólica, donde los equipos muchas veces son de difícil acceso.

Utilizar un control remoto para estas instalaciones con un SCADA o HMI Web, o un CEView puede llevar las capacidades de vigilancia sin precedentes para la automatización móvil.

Mobile SCADA tiene aplicaciones muy útiles. Con esta solución es posible monitorear las principales variables (potencia reactiva y activa, niveles de presión, velocidades, voltajes entre otras) de una pequeña central hidroeléctrica sin necesidad de encontrarse presente en el lugar. Incluso si se desea poder operar y controlar desde cualquier ubicación. Una Web SCADA abre al mundo la posibilidad de ofrecer soluciones muy atractivas de control y monitoreo.

2.7. Windows CE

Windows CE es un sistema operativo frecuentemente utilizado para dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y PDAs, pero es también utilizado para equipos de montaje en panel en un entorno industrial. Indusoft Web Studio ofrece una alta compatibilidad con los sistemas operativos embebidos de Windows. Indusoft Web Studio es muy conocido por su escalabilidad como Sistema SCADA inalámbrico.

Windows CE opera en computadoras de bolsillo, dispositivos móviles y PCs embebidas, incluyendo PDA, haciéndolo ideal para los operadores. CEView de Indusoft Web Studio está basada en gran escala en la supervisión, control y monitoreo basado en Windows. CEView cuenta con las mismas características, incluyendo base de datos orientado a objetos, funciones matemáticas, generación de reportes, archivos, alarmas, interfaces para PLCs, entradas y salidas remotas y TCP/IP.

En otras palabras CEView permite el control de todas las funciones de supervisión y monitoreo que pueden ser llevadas en la palma de la mano, o que pueden ser integradas en interfaces de bajo costo para el operador.

Las aplicaciones incluyen controles integrados, paneles de control, HMIs, SCADA, SCADA inalámbrico, recopilación de datos, mantenimiento de terminales, paneles de interfaz de PLC, tableros de control, ajuste de parámetros de unidades, supervisión de procesos móviles y muchos otros. CEView es ideal utilizado en los sistemas integrados en herramientas de monitoreo móviles y para la instrumentación y automatización de plantas generadoras.

2.8. Studio Mobile Access

Se ha descrito que un teléfono móvil o PDA con Windows CE puede ser una manera ideal para manejar las operaciones SCADA remotos. Pero que hay si se desea ejecutar cualquier tipo de operación SCADA remota y no se cuenta con un teléfono inteligente con Windows, como un iPhone o un teléfono con un sistema operativo basado en Androide. Indusoft cuenta con SMA (Studio Mobile Access), que permite que cualquier dispositivo Mobile que pueda acceder a la web visualice valores de proceso o alarmas. También se puede cambiar valores de variables, reconocer alarmas, entre otras. La seguridad integrada protege las operaciones sensibles contra el acceso de usuarios no autorizados.

Con esto cualquier Blackberry, iPhone o iPad, o teléfono Androide, puede volverse un SCADA HMI de monitoreo, permitiendo monitorear desde cualquier dispositivo utilizando Firefox, Opera, Internet Explorer, Safari o cualquier navegador web.

SMA permite los operadores ser más eficientes y mantener los procesos corriendo en su alto rendimiento sin necesidad de estar presentes físicamente en el lugar.

2.9. OEE

La eficiencia total del equipo es una herramienta que mide tres distintos KPI o indicadores clave de rendimiento. Algunos de los mejores paquetes de software SCADA incluyen esta funcionalidad sin necesidad de complementos. Estos indicadores claves de rendimiento son:

2.9.1. Rendimiento

El rendimiento mide un porcentaje de unidades creadas en una máquina en relación con el potencial. Por ejemplo, si las especificaciones de la máquina indican que pueden producir 1000 unidades por hora, y, de hecho produce 800, su KPI de rendimiento es 80%.

2.9.2. Disponibilidad

Mide el porcentaje de tiempo que la máquina está en línea. Si la máquina está programada para ejecutarse durante diez horas, pero tiene tres horas de tiempo de inactividad, durante ese tiempo e KPI de disponibilidad es del 70%.

2.9.3. Calidad

La calidad KPI indica el porcentaje de producto aceptado. Si la máquina está produciendo 1000 unidades por hora, pero 200 son rechazados, el KPI de calidad es 80%.

OEE puede ser muy valioso para un usuario del sistema SCADA. Al estudiar el KPI de rendimiento, disponibilidad y calidad los gerentes de planta pueden determinar que máquinas o partes del proceso son débiles. Por ejemplo si el rendimiento es del 100% pero la calidad se encuentra a un 54%, una alerta puede sugerir al gerente de planta que está fuera del objetivo. Mediante el control de la OEE, los supervisores pueden determinar que operadores están produciendo más y quienes necesitan una capacitación adicional.

Sin una función de OEE en un sistema SCADA, los usuarios tendrían que realizar las comparaciones de OEE manualmente, a menudo mediante el registro de información a mano, o en una base de datos. Para la mayoría, el principal obstáculo de la aplicación de una solución OEE es la inversión de tiempo y costo.

Si bien los Sistemas SCADA no ofrecen una solución OEE con todas las funciones disponibles, no todos los usuarios tienen el tiempo o los conocimientos necesarios para poner en práctica plenamente. Para los usuarios, el equipo de integración SCADA puede ser de gran ayuda en la creación de cuadros de mando OEE. La integración de una solución OEE completo para una máquina por lo general dura alrededor de 40 horas. Esto es realmente una pequeña inversión para una herramienta tan poderosa.

3. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN OPERATIVA REMOTA

La supervisión operativa se lleva a cabo internamente dentro de una central hidroeléctrica, con el fin de recaudar datos útiles, tanto para la operación de la planta como para el Mercado Mayorista, que utiliza esta información proporcionada por cada una de las plantas generadores para dar un estimado en tiempo real del comportamiento de la energía eléctrica suministrada al país.

Para que la AMM funcione, se requiere la coordinación de la operación de las centrales generadores, de las líneas de transmisión y de las transacciones que se realizan entre los participantes del mercado. Los participantes en las operaciones del Mercado Mayorista de electricidad tienen el derecho de operar libremente, acceso a la información sobre los modelos y metodología utilizados para el AMM para la programación y el despacho; y también recibir información sobre la programación de la operación y el despacho, y sobre los resultados de la operación.

Sin embargo, los participantes también cuentan con la obligación de no realizar actos contrarios a la libre competencia o contrarios a los principios establecidos en la ley y sus reglamentos. Deben cumplir con la normativa emitida, así como con la implementación, instrumentación y mantenimiento de los sistemas necesarios para la operación confiable y con calidad del sistema eléctrico; entre otras obligaciones.

3.1. Descripción del proceso

Dentro de cada pequeña central hidroeléctrica se encuentran personas encargadas de la toma de datos, a las que se les llama operadores. El operador se encarga de monitorear que las variables requeridas estén en sus rangos correctos.

El operador debe tomar datos por cada hora de servicio, estos datos son apuntados a mano en un formulario llamado diario de servicio. Algunos datos son únicamente importantes para la AMM, otros únicamente son utilizados para control interno de la planta y otros que son almacenados para llevar un control del comportamiento de la generación.

Algunos de los datos que son tomados por el operador muchas veces son tomados directamente desde los medidores análogos que se encuentran físicamente situados en los diferentes procesos de la planta. Otros datos son tomados directamente desde un computador remoto que tiene los valores en tiempo real de los diferentes medidores. Esto depende mucho de las tecnologías implementadas dentro de la central hidroeléctrica.

El proceso de toma de datos del operador es realizado cada hora, durante todo el tiempo en que se encuentra en servicio la generación. Cada vez que los datos son tomados, el operador traslada dichos datos a una hoja de cálculo dentro de un computador, que es requerida por la AMM, y a su vez la utilizan para tener un historial de estados. Esta pide información referente a la operación de la central hidroeléctrica cada hora, a través de una hoja de cálculo que debe ser enviada en ese lapso de tiempo.

Los formularios físicos quedan almacenados, ocupando un volumen considerable de espacio. Los formularios digitales quedan almacenados dentro de la computadora en la que es ingresado los datos. Cada hoja de cálculo representa cada hora de monitoreo. Si el operador requiere ver el estado de las variables de una hora específica de un día específico, debe buscar la hoja de cálculo que tenga dicha información.

3.2. Datos tomados

Los datos recaudados por el operador, son datos que necesitan ser monitoreados para el uso de la AMM o para control interno de la planta. Muchas de las hidroeléctricas cuentan con más de una unidad generadora, por lo que de cada unidad los principales datos tomados son:

3.2.1. Potencia

La potencia representa la cantidad de trabajo realizado por cierta unidad de tiempo. En este caso esta variable representa la potencia eléctrica de cada unidad generadora, es decir, la cantidad de energía eléctrica o trabajo que se transporta o que se consume en un determinado tiempo.

- Activa: se refiere a la potencia consumida para realizar un trabajo, en términos técnicos se dice que la potencia activa es la transformación de la energía eléctrica en trabajo. Está estrechamente relacionado con el control de la velocidad. Esta es medida en vatios (W).

- **Reactiva:** se refiere a la potencia que es consumida pero para no realizar ningún trabajo. Este tipo de potencia se puede encontrar en condensadores y bobinas, es por ello que está estrechamente relacionado con el control del voltaje, mediante un sistema de excitación. Esta es medida en voltio-amperios (VAR).

3.2.2. Voltaje

El voltaje es definido como la tensión eléctrica que cuantifica el potencial eléctrico entre dos puntos. Depende exclusivamente del potencial eléctrico entre un punto A y un punto B. El voltaje es medido en voltios (V).

3.2.3. Amperaje

El amperaje es la fuerza de una corriente eléctrica que circula de un punto A, a un punto B a través de un conductor o cable eléctrico. El amperaje es medido en amperios (A).

3.2.4. Temperaturas

Se monitorea constantemente diferentes puntos del generador para evaluar la temperatura del mismo. Regularmente se cuentan con sensores de temperatura en el área de cojinetes y en el devanado del generador. Para mantener una temperatura estable en cojinetes regularmente se utilizan sistema de enfriamiento, que muchas veces se resumen en un sistema de agua de circuito cerrado (radiador). En el caso se los devanados se utilizan sistemas de ventilación. Las temperaturas son monitoreadas en °C.

3.2.5. Caudal turbinado

Se refiere a la cantidad de agua que fluye por la turbina en una unidad de tiempo. Básicamente se mide el volumen de agua que es arrastrado por la tubería que se dirige hacia la turbina. Este caudal es medido en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

3.3. Solución propuesta

El sistema que se implementa es para una pequeña central hidroeléctrica sin embargo para su desarrollo no es necesario ubicarse directamente en una planta específica, pero si se debe considerar que se debe recrear el ambiente principal con el que generalmente cuenta una pequeña central hidroeléctrica, para ello se hace necesario los siguientes elementos:

- Disponibilidad mínima de un PLCs (Controlador Lógico Programable), que contenga la automatización de un proceso específico de la planta, actuará como el controlador central de toda la línea de generación.
- Disponibilidad de cómo mínimo dos dispositivos de medición analógica, que generen la medición de una variable específica útil dentro de un proceso específico de la planta.
- Medios de comunicación cableada entre los diferentes dispositivos mencionados anteriormente y el computador que recibirá dicha información.

- Recrear un ambiente de servidores útiles para el manejo de la información tanto de entrada como de salida, para ello se establecen los siguientes elementos:
 - Disponibilidad de una computadora que contenga una base de datos que permita el almacenamiento de los valores obtenidos en los diferentes instantes producidos por los dispositivos que recrean el ambiente de la planta.
 - Sobre la misma computadora se debe contar con la posibilidad de un servidor que Web, que permita publicar contenido proveniente de la base de datos, con la posibilidad de manipulación y modificación de la misma.
 - Sobre la misma computadora se debe instalar el servidor de Indusoft Web Studio, que actuará como el Sistema SCADA del prototipo, el cual se encargará de la publicación de la aplicación web y de la comunicación constante entre PLC y el servidor de base de datos.

3.3.1. Características

El sistema se desarrolla dentro de un ambiente real con las principales características de una pequeña central hidroeléctrica. Los dispositivos externos al sistema (PLC, medidores analógicos) generan los valores provenientes de la planta que son almacenados dentro de una base de datos para uso posterior del sistema SCADA, que es el encargado de generar un contenido web para ser publicado en un servidor web que permita su posterior visualización en un dispositivo que contenga un Internet Explorer como navegador.

Dentro de la página Web se podrán observar los valores de la pequeña central hidroeléctrica en tiempo real, pudiendo realizar comparaciones con estados anteriores y en base a ellos poder realizar predicciones futuras. Las variables mostradas dependerán del tipo de usuario que accedan a la página, por ejemplo un operador únicamente podrá tener acceso únicamente a variables propias de operación, mientras que un alto mando o un inversionista, podrá visualizar variables de producción y ventas útiles para tomas de decisiones posteriores.

Otra característica importante del sistema, es que este será capaz de generar los reportes periódicos exigidos por la AMM y enviarlos automáticamente en el formato y tiempo especificado. Reportes que hoy en día, son digitalizados a mano por los operadores de planta, en hojas de cálculo, dando margen a cometer errores humanos.

La implementación futura de este sistema implica que los usuarios con acceso a la página puedan estar ubicados en un lugar remoto ya sea fuera o dentro del país, y a través de internet poder visualizar los estados financieros, productivos y operarios de la central hidroeléctrica.

En una visión a largo plazo, si todas las pequeñas centrales hidroeléctricas contaran con este sistema, se automatizaría el proceso que lleva a cabo actualmente la AMM con respecto a la recaudación de reportes periódicos (regularmente cada hora) que necesita de cada una de estas, para generar su reporte general.

3.4. Equipo y software a utilizar

Existe una variedad de equipo y soluciones de software que pueden permitir el desarrollo del sistema. Después de un estudio detallado de estas utilidades en cuanto a costos y capacidad cognoscitiva de utilización se llegó a la conclusión de utilizar las siguientes:

3.4.1. Dispositivo PLC

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) son dispositivos electrónicos utilizados en la automatización industrial.

Los PLCs no solo se encargan del funcionamiento lógico de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control.

Para realizar las pruebas se tiene disponible un dispositivo PLC de la línea Siemens S7 300 que contiene la parte automatizada de una central hidroeléctrica enviando valores en tiempo real a un computador según las variables establecidas.

Para generar las variables se cuentan con módulos de entradas digitales y analógicas. Los módulos de entradas digitales permiten la lectura de señales de unos y ceros (Activado/Desactivado). Los módulos de entradas analógicas permite la lectura analógica a partir de un medidor analógico. Un medidor analógico puede ser de temperatura, presión, etc. Pero en este caso se necesitarían medidores analógicos de voltaje, amperaje, potencia y flujo, que son las variables para una pequeña central hidroeléctricas, mencionadas anteriormente.

3.4.2. Sistema SCADA

Un Sistema SCADA por sus siglas “Supervisory Control And Data Acquisiton” es un sistema instalado en un computador que permite supervisar y controlar variable de un proceso, proporcionando comunicaciones con dispositivos PLCs y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado. Este sistema jugara una papel principal en el sistema de supervisión operativa, ya que será el encargado de alimentar la base de datos con los datos provenientes del PLC.

Como se trató en el capítulo 2, Indusoft Web Studio viene equipado con una gran cantidad de herramientas para crear aplicaciones SCADA. Una características de este software SCADA es la capacidad de ahorrar tiempo y dinero mediante la construcción de paneles gráficos que permiten una fácil visualización, también permite la generación de contenido Web que puede ser accedido desde Internet Explorer, lo que permitirá la visualización remota de la supervisión propuesta.

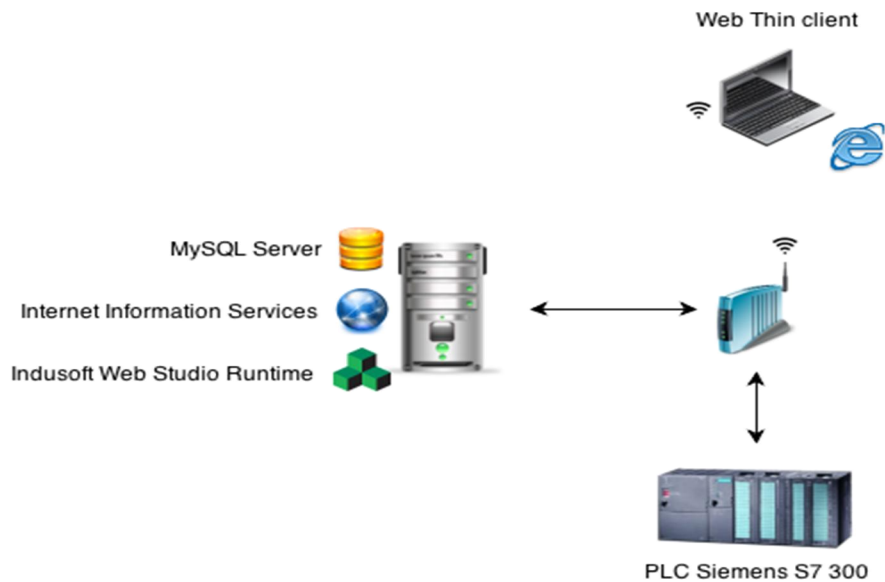
3.4.3. Base de datos

Como motor de base de datos se hará uso de MySQL Server, que es un sistema que permite gestionar base de datos basado en el modelo relacional. Sus características principales son el soporte de transacciones, escalabilidad, estabilidad y seguridad, soporta procedimientos almacenados y lo más importante es que permite trabajar en modo cliente servidor, donde los datos son alojados en el servidor y los clientes (en este caso el Sistema SCADA) acceden a dichos datos. Es acá en donde se alojaran los datos provenientes del PLC.

3.5. Arquitectura general del sistema

Basado en el equipo mencionado en la sección anterior, el sistema en general contara con una arquitectura compuesta por diversos componentes, estos componentes y su integración con el resto son representados en la siguiente figura, representando la arquitectura general del sistema:

Figura 13. **Arquitectura general del sistema de supervisión remota**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Draw IO.

La arquitectura anterior representa el flujo de la integración de los diferentes componentes que componen el sistema. Inicia la supervisión realizando un requerimiento dentro de la página Web que esta exteriorizada a través de internet. El servidor Web se encargará de compilar la página y la solicitud realizada y entabla comunicación con el Sistema SCADA el cual se comunica con la base de datos la cual ya tiene alojado los datos que el usuario solicita.

Cada segundo el Sistema SCADA lee los valores de las variables establecidas dentro del PLC y en ese mismo lapso de tiempo el Sistema SCADA notifica a la base de datos que se ha modificado un valor y lo inserta para su posterior almacenamiento. De esta forma en la página Web pueden visualizarse los valores solicitados en tiempo real.

El desarrollo del sistema estará basado en el proceso actual que llevan las pequeñas centrales hidroeléctricas para llevar un control de los diferentes estados de las mismas. Actualmente los valores de las diferentes mediciones que permiten determinar el estado actual de una planta, son almacenados en hojas de cálculo. Geoconsa Generación, una empresa que se dedica a la supervisión y mantenimiento de algunas hidroeléctricas del país, facilito la siguiente hoja de cálculo en la cual se pueden visualizar las diferentes variables y valores que son requeridos:

Figura 14. **Diario de servicio de una central hidroeléctrica**

| HORA 00:01 | | GEOCONSA GENERACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DÍA _____ MES _____ AÑO _____ | | | | | | | | | | | |
|------------------|--|------------------------|---------|---------|---------|--------------|---------|------------------------|---------|----------------------|---------|------------|---------|----------|---------|---------|---------|--------------|---------|------------------------|---------|-------------------------------|---------|-------------------------------------|---------|----------------|---------|-------------------------------------|---------|------------------------------|---------|-----------------------------|--|
| | | UNIDAD 1 | | | | | | | | | | UNIDAD 2 | | | | | | | | | | POTENCIA TOTAL | | TEMPERATURA DE TRANSFORMADORES (°C) | | | | CAUDALES (m ³ /s) | | Caudal m ³ /s | | | |
| CARRERA DE CARRA | | POTENCIA | | VOLTAJE | | AMPERAJE (A) | | TEMPERATURA COILS (°C) | | TEMPERATURA OIL (°C) | | CARGA (MW) | | POTENCIA | | VOLTAJE | | AMPERAJE (A) | | TEMPERATURA COILS (°C) | | TEMPERATURA OIL (°C) | | CARGA (MW) | | POTENCIA TOTAL | | TEMPERATURA DE TRANSFORMADORES (°C) | | CAUDALES (m ³ /s) | | Caudal m ³ /s | |
| | | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | ACTUAL | SETEADO | | |
| 1:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Geoconsa generación.

Como se puede apreciar, esta hoja de cálculo es llamada Diario de Servicios. El operador es el encargado de llenar manualmente los diferentes valores requeridos cada hora por cada día de servicio. El sistema en desarrollo está enfocado en automatizar este proceso, aprovechando que muchas de estas variables se encuentran registradas dentro de dispositivos de automatización (PLCs) y que dichos dispositivos pueden entablar una comunicación con un computador registrando las mismas variables y almacenándolas.

Para explicar directamente el funcionamiento del sistema que permitirá realizar este proceso se hará enfoque en una parte específica del formulario anterior, haciendo énfasis en el cuadro UNIDAD 1 del cual se desea conocer el VOLTAJE (KVAC), específicamente del Generador.

Figura 15. Toma de datos para el voltaje de una central hidroeléctrica

| HOJA 1 DE 2 | CÁMARA DE CARGA | UNIDAD 1 | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------|------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| HORA | NIVEL MSNM | POTENCIA | | VOLTAJE | | AMPERAJE (A) | | TEMPERATURAS COJINETES (°C) | | | TEMPERATURA AIRE DEL RADIADOR (°C) | | CAUDAL TURBINADO (m³/s) | |
| | | ACTIVA (MW-h) | REACTIV (Mvar) | GENERADOR (KVAC) | EXCITACIÓN (VDC) | GENERADOR | EXCITACIÓN | EMPUJE RTD4 | GUIA SUPERIOR RTD2 | GUIA INFERIOR RTD6 | ENTRADA RTD11 | SALIDA RTD12 | | |
| 1:00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2:00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3:00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 4:00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5:00 | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia, a partir de Diario de Servicio de Geoconsa Generación.

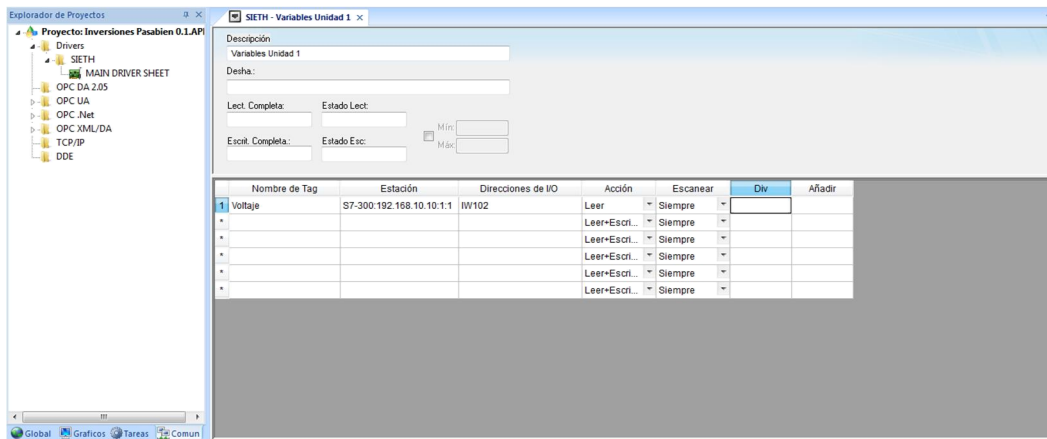
3.5.1. Adquisición de datos desde el PLC

En el software SCADA debe especificarse que *driver* se utilizará para entablar comunicación con el PLC Siemens S7 300. Dentro del Explorador de Proyectos de Indusoft Web Studio, en la pestaña de Comunicación se encuentra la carpeta con nombre *Drivers*, haciendo clic izquierdo sobre esta carpeta se encuentra la opción de Agregar/Eliminar *drivers* que despliega una ventana donde se encuentran listados todos los *drivers*, en este caso se selecciona el *driver* con nombre *SIEMENS, S7 PLC communicating via and Industrial Ethernet interface*, y se hace clic en aceptar.

Dentro de la carpeta *Drivers* aparece el *driver* seleccionado. Dentro de este existe una tabla que contiene todas las variables que son configuradas para que sean leídas desde el PLC. Se configura el nombre de la variable, dentro del campo *Nombre de Tag*, que en este caso es *Voltaje* y se especifica la Estación donde se encuentra el PLC, que en este caso es un S7 300.

La sintaxis para especificar la estación, se debe ingresar la dirección IP, el Rack y el Slot con la sintaxis: **<Dirección IP>:<Rack>:<Slot>**. En el apartado de *Direcciones I/O* se configura la dirección del registro que contiene el valor requerido. Y finalmente se configura si es de lectura y/o escritura y el tipo de escaneo. Este procedimiento se realiza por cada una de las variables que se desean monitorear dentro del Sistema SCADA.

Figura 16. **Configuración de la comunicación del Sistema SCADA con PLC Siemens S7 300**



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

3.5.2. Almacenamiento de datos

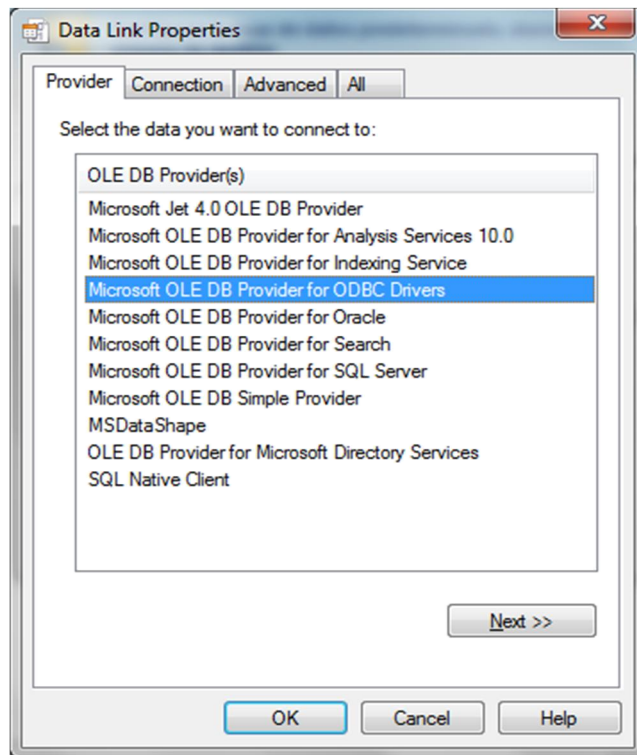
Antes de configurar el almacenamiento de datos a partir del SCADA, se debe contar con una base de datos ya configurada y creada, de tal forma que se tenga disponibilidad de acceder a esta desde un determinado cliente. Esto es independientemente del proveedor que se esté utilizando. Para esta implementación se utilizó MySQL Server, en el cual se creó una base de datos llamada SCADA_DB.

Una vez se tenga preparada la base de datos ya puede ser accedida desde el SCADA para esto en la Configuración del proyecto en el área de *Opciones* se puede configurar una *Default Database*. En la ventana de Configuración por Defecto de la Base de Datos, puede configurarse la conexión. Indusoft Web Studio tiene cargado varios proveedores OLE DB que

permiten manejar el protocolo de comunicación entre una base de datos y el cliente que en este caso sería el Software SCADA.

Para acceder a la base de datos MySQL se puede utilizar el Connector/ODBC de MySQL lo que permitirá que Indusoft Web Studio se conecte mediante *Microsoft OLE DB Provider for ODBC Drivers*.

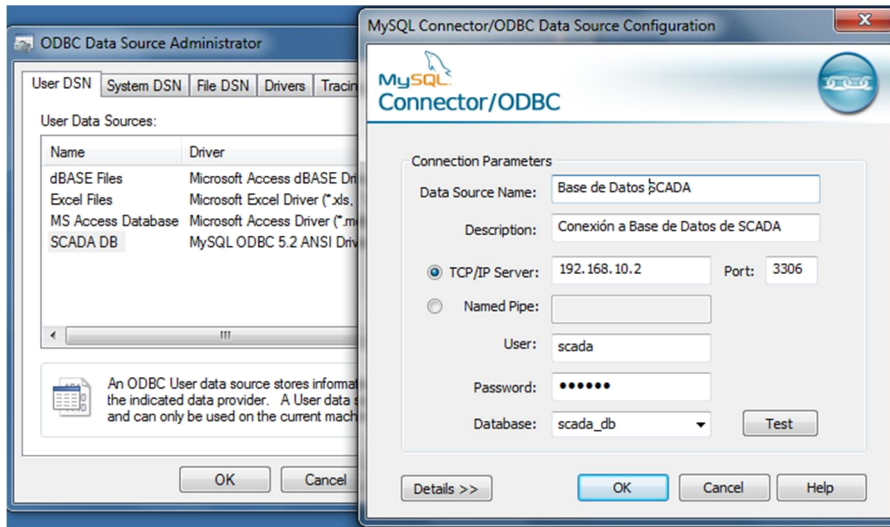
Figura 17. **Ventana de selección del OLE DB Provider**



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

Antes de configurar la conexión con este tipo de proveedor, se debe haber configurado una Fuente de Datos(ODBC) para lo que se debe ir a Panel de Control, en el área de Sistema y Seguridad para visualizar las Herramientas Administrativas.

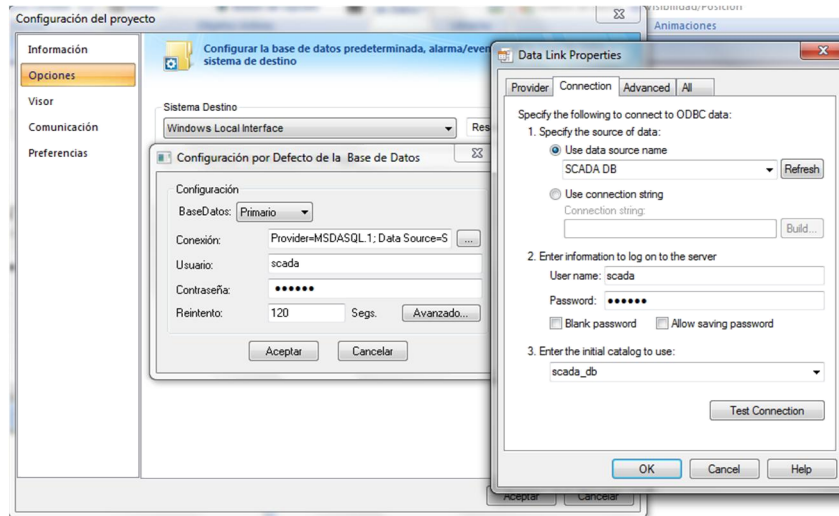
Figura 18. **Ventana de configuración de la fuente de datos (ODBC)**



Fuente: captura de pantalla tomada de la configuración de Data Source (ODBC) en Windows 7.

Una vez realizada la configuración de la conexión mediante ODBC y se puede configurar la conexión dentro de la pestaña *Conexión*, seleccionando la fuente de datos configurada. Una vez realizado esto se especifica el nombre de usuario y la contraseña para finalmente seleccionar la base de datos que se utilizará.

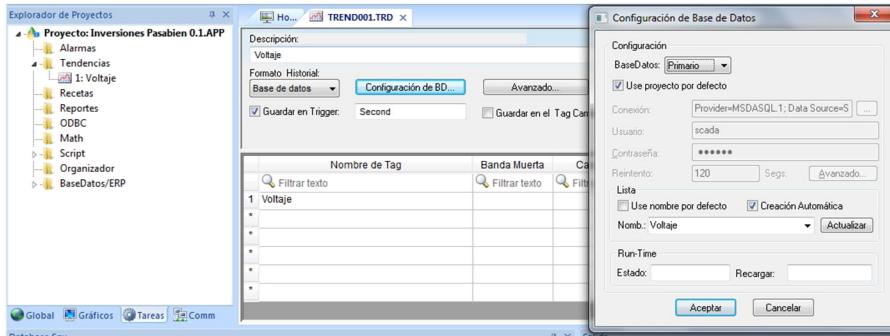
Figura 19. Configuración de la conexión a la base de datos



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

El valor de la variable puede ser tomada en un lapso de tiempo deseado, en este caso se puede configurar que el valor de la medición de Voltaje se almacene en la base de datos cada segundo. Para ello en el área de Tareas, en la carpeta de Tendencias se configura una tendencia que será la encargada de almacenar la variable deseada. Se especifica que se almacenará en la base de datos configurado anteriormente y se puede especificar un nombre en específico para la tabla.

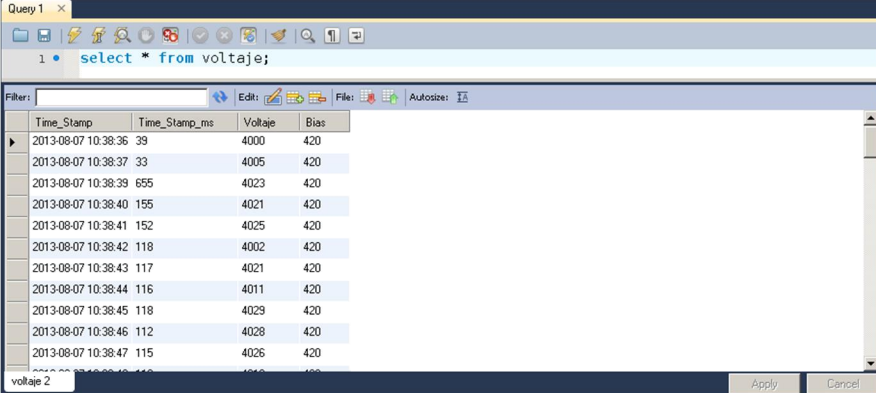
Figura 20. **Configuración de la tendencia del valor del voltaje en la base de datos**



Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

Una vez configurado estos parámetros, al ejecutar el proyecto se almacenará el valor de la variable en la tabla especificada. Los valores de las variables configuradas en las tendencias son almacenados en una tabla que almacena el tiempo en que se recibió el dato, cual medición se llevó a cabo y el valor obtenido. Estos datos son recibidos mediante la integración entre el Sistema SCADA y la base de datos. La siguiente figura muestra un ejemplo de cómo es almacenada esta información.

Figura 21. **Tabla que representa los valores tomados para la medición de voltaje**



The screenshot shows a database query window titled 'Query 1'. The SQL query is 'select * from voltaje;'. The result is a table with the following data:

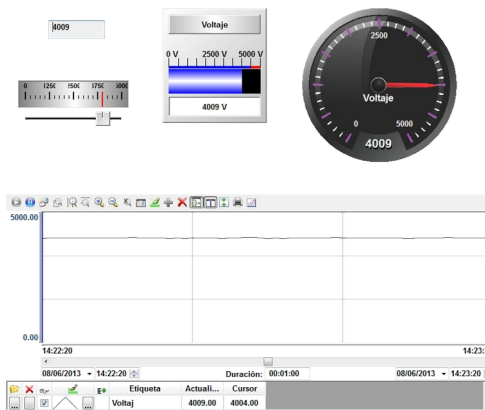
| Time_Stamp | Time_Stamp_ms | Voltaje | Bias |
|---------------------|---------------|---------|------|
| 2013-08-07 10:38:36 | 39 | 4000 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:37 | 33 | 4005 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:39 | 655 | 4023 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:40 | 155 | 4021 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:41 | 152 | 4025 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:42 | 118 | 4002 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:43 | 117 | 4021 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:44 | 116 | 4011 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:45 | 118 | 4029 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:46 | 112 | 4028 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:47 | 115 | 4026 | 420 |
| 2013-08-07 10:38:48 | 118 | 4026 | 420 |

Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta de administración de la base de datos.

3.5.3. Representación de los datos

El valor de la variable puede ser representado visualmente de diversas formas, según el valor que representa la medición. Como se visualice este valor queda a discreción del desarrollador. Una representación simple sería mediante una caja de texto que visualice numéricamente el valor actual obtenido de la variable. Sin embargo existen otros elementos que permiten una mayor comprensión del valor actual, como barras, medidores analógicos, graficas, entre otras.

Figura 22. **Formas de representar valores de una variable**



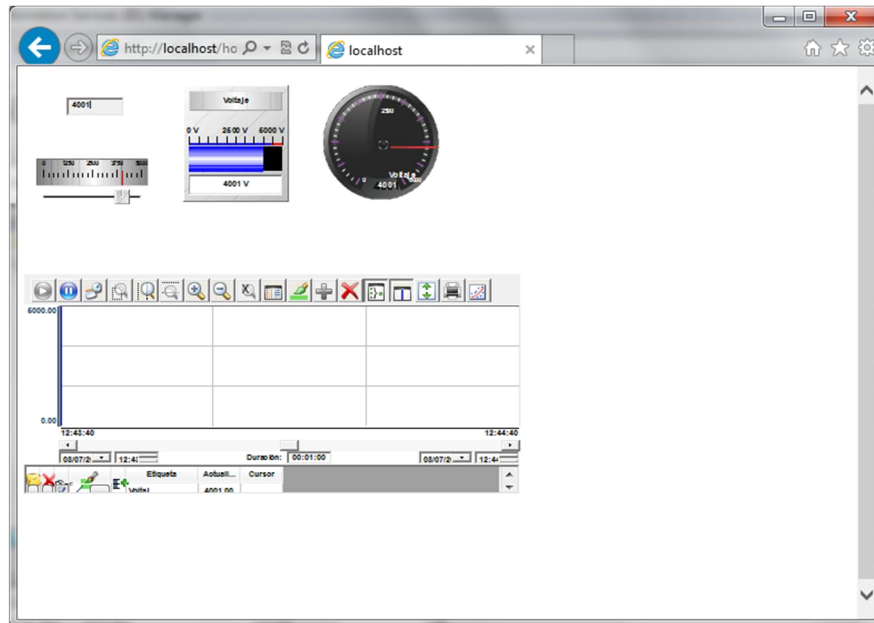
Fuente: captura de pantalla tomada de la herramienta Indusoft Web Studio 7.1.

3.5.4. Acceso al Sistema SCADA

Una vez configurado las pantallas que visualizarán los datos de las variables se puede configurar el Sistema SCADA pueda ser accedido desde una ubicación remota mediante un *Web Thin Client*. Para ello sobre el menú principal de Indusoft Web Studio existe la opción de Publicar, lo que permite guardar el proyecto como HTML.

El proyecto es almacenado en formato HTML en una carpeta llamada *Web* dentro de la carpeta del proyecto. Esta carpeta es la que debe ser publicada mediante *Internet Information Server (IIS)* o cualquier otro servidor web. De esta manera se puede tener acceso a todas las pantallas generadas mediante un navegador web.

Figura 23. Acceso desde Internet Explorer a la aplicación de ejemplo



Fuente: captura de pantalla tomada de Internet Explorer en Windows 7.

Al generar la publicación HTML también genera la posibilidad de visualizar desde un dispositivo móvil. Para ello en el área de Gráficos en la carpeta de *Thin Client* se puede configurar el AccesoMóvil, dentro de las configuraciones de esta área se pueden agregar variables a visualizar y el tipo de componente que se utilizará para visualizar.

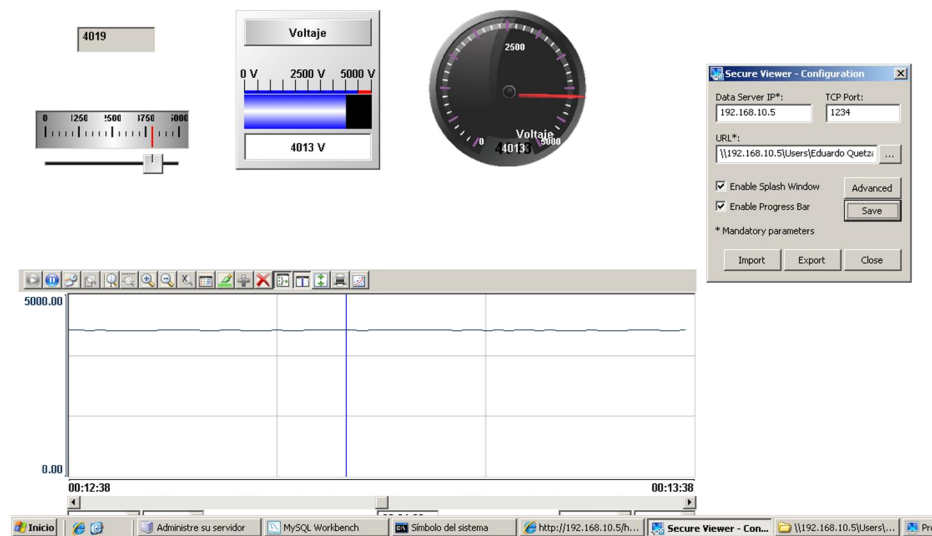
Figura 24. Acceso desde un dispositivo móvil a la aplicación de ejemplo



Fuente: captura de pantalla tomada de un dispositivo móvil.

Otra manera de tener acceso a la aplicación SCADA de forma remota es mediante el *Secure Thin Client*, que es un software de Indusoft Web Studio que una vez instalado en la computadora donde se desea tener acceso a la aplicación SCADA se configuran los parámetros de conexión y permite conectarse remotamente y obtener una visualización total de la aplicación.

Figura 25. Acceso desde una computadora remota a la aplicación de ejemplo



Fuente: captura de pantalla tomada a la aplicación en ejecución desde Windows Server 2003.

Hasta ahora se ha detallado la arquitectura utilizada, basada en una medición de ejemplo. Basada en esta arquitectura, en el siguiente capítulo se describe el prototipo desarrollado para una pequeña central hidroeléctrica. Este prototipo cuenta con el monitoreo de las principales variables de interés para la central, así como también la posibilidad de monitorear estas desde los diferentes ambientes remotos que se detallaron a lo largo de este capítulo.

Cada una de las variables que se visualizan en el prototipo fueron configurados de la misma manera que fue configurado la variable voltaje que se utilizó de ejemplo en este capítulo. El siguiente capítulo encierra el objetivo principal de este documento, describirá en detalle el prototipo desarrollado y los logros obtenidos a partir de dicho desarrollo.

4. PROTOTIPO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN OPERATIVA REMOTA

Con el desarrollo e implementación de un Sistema SCADA dedicado a pequeñas centrales hidroeléctricas, se disminuyen los costos de operación y mantenimiento a corto y mediano plazo. Durante el desarrollo de este documento se detalló el proceso de generación en los momentos actuales, y se describió la arquitectura de supervisión y control. Utilizando el Indusoft WebStudio se diseñó el sistema de supervisión y control de una central, en donde gracias a las herramientas de configuración y programación se puede lograr construir herramientas útiles para la supervisión como lo son: pantallas, funciones, animaciones y registros.

Las pantallas de visualización fueron diseñadas abarcando desde un monitoreo muy general hasta un monitoreo muy específico. En promedio una pequeña central hidroeléctrica tiene entre una y dos unidades generadoras, de estas en la pantalla inicial se visualizan, la velocidad de la unidad, la frecuencia, el voltaje, y el factor de potencia. Dentro de esta pantalla también se visualiza una barra de navegación donde se puede navegar a pantallas que contienen valores de variables más específicas como lo son, variables del tipo eléctrico, variables del tipo mecánico, variables de transformador, entre otras.

La representación de las variables dependerá del tipo de medición que se realiza, y como un operador de planta está acostumbrado a visualizar la variable. Por ejemplo, la frecuencia se visualiza mediante un medidor del tipo analógico, por lo que su visualización dentro del Sistema SCADA esta

visualizado de esta manera, y para ser más específico siempre se visualiza el valor numérico de dicha variable.

En el lado superior izquierdo de cada pantalla se cuenta con un espacio determinado para el logo de la empresa administradora de la central. En la parte central, siempre en la parte superior, se visualiza un título y un subtítulo que corresponderá al nombre del escenario que se visualiza. Finalmente en la parte superior derecha se muestra el nombre del usuario que ha ingresado para visualizar la pantalla.

En el lado izquierdo se visualiza un mapa muestra en detalle los puntos donde se encuentran los diferentes puntos de importancia de una central, como lo es la presa, cámara de carga y la sala de máquinas. También se visualiza la trayectoria de ríos, tubería, canales. Este mapa a su vez funciona como un navegador; es decir, que a partir de esta área el usuario puede cambiar de una visualización de variables en sala de máquinas, a una visualización de variables en cámara de presión y su posible operación, siempre y cuando se tengan permisos para ello.

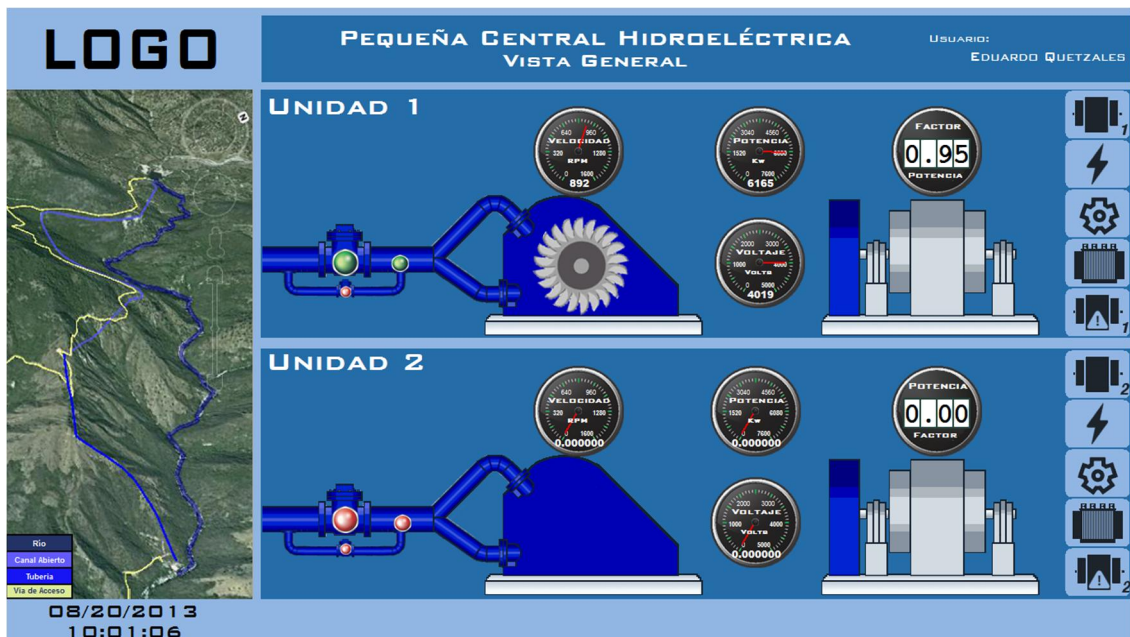
4.1. Descripción del prototipo

Dentro de esta sección se describirá cada una de las pantallas que fueron desarrolladas para el prototipo. Se describirá específicamente cual el objetivo de cada pantalla y que representa para el usuario.

4.1.1. Vista general

La vista general, visualiza variable de importancia general de cada unidad. Se incluye estatus de válvulas como lo es válvula principal y válvula bypass. También incluye una animación de la turbina, que gira de acuerdo a la velocidad actual del generador. Las variables tomadas en cuenta para esta área son: frecuencia, velocidad, voltaje y factor de potencia.

Figura 26. Vista general de Sistema SCADA



Fuente: captura de pantalla del prototipo desarrollado.

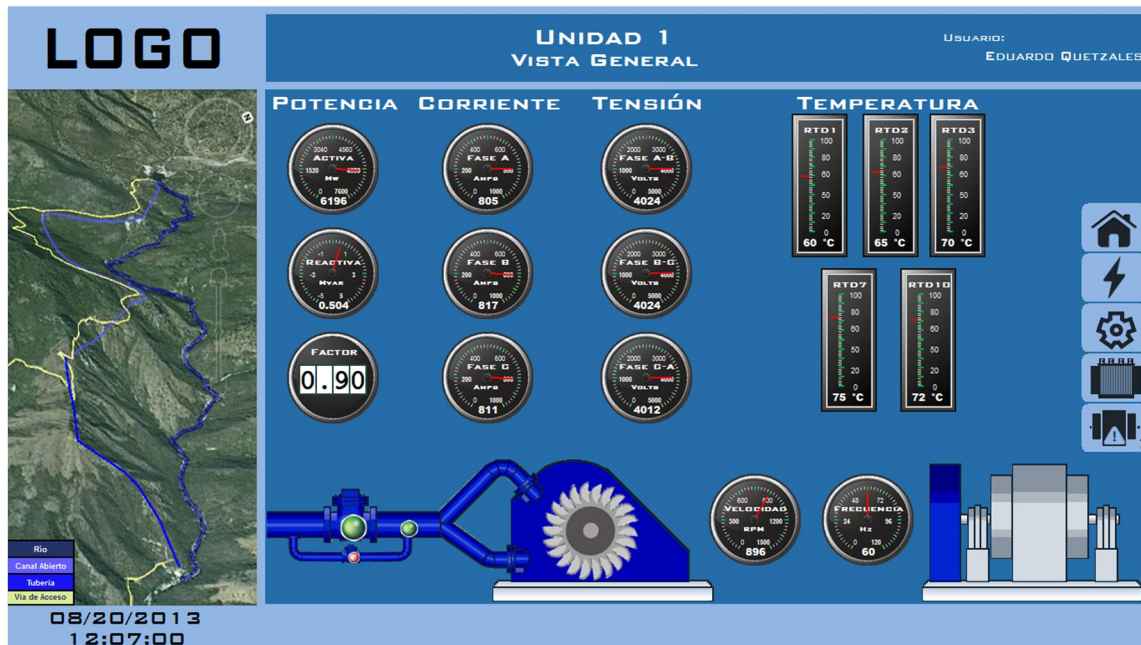
4.1.2. Vista general por unidad

A partir de la vista general se puede navegar hacia la vista general de cada unidad, que detalla más generalidades de determinada unidad. En esta pantalla se visualizan variables que para el operador son de mucha importancia.

De una manera ordenada se visualizan variables de potencia, corriente, voltaje, temperatura, frecuencia y velocidad. De igual forma se puede visualizar el estado de la válvula principal y bypass, así como también la animación de la turbina.

A partir de esta pantalla se puede regresar a la pantalla inicial, así como también navegar hacia los escenarios más específicos de la misma unidad. La finalidad de esta pantalla es que el operador cuente en una sola pantalla con las variables que en su rutina de toma de datos escribe dentro de sus registros.

Figura 27. Vista general de una unidad del Sistema SCADA



Fuente: captura de pantalla del prototipo desarrollado.

4.1.3. Sistema eléctrico

La pantalla de visualización del sistema eléctrico incluye variables de ámbito eléctrico del generador. Es decir que se muestran los valores puntuales de variables como lo son corrientes entre fases, corriente entre línea y neutro, ángulos de fase, voltajes entre fases, energía acumulada, medición de potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, frecuencia, entre otras.

La pantalla incluye un diagrama unifilar del diagrama eléctrico del generador, que consiste en como el generador es conectado a la línea que va hacia el transformador. Entre el generador y la línea que alimenta el transformador existe un interruptor que es el que realiza la conexión. El diagrama representa estados de estos elementos.

Figura 28. Vista del sistema eléctrico en el Sistema SCADA

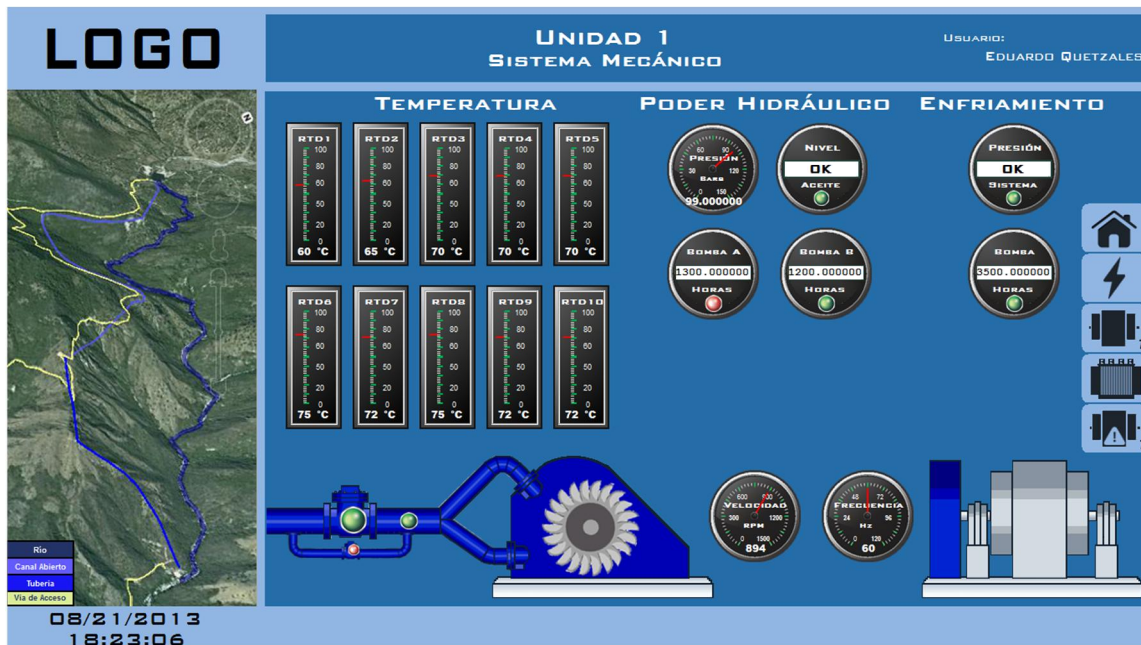


Fuente: captura de pantalla del prototipo desarrollado.

4.1.4. Sistema mecánico

La pantalla de visualización del sistema mecánico incluye variables de ámbito mecánico del generador. Es decir que se muestran los valores puntuales de variables como lo son temperatura de cojinetes, temperatura de devanados, presión en aceite de sistema hidráulico, nivel de aceite en sistema hidráulico, presión en sistema de enfriamiento, estado de bombas, contador de horas de trabajo de dichas bombas, velocidad y frecuencia del generador. De igual forma se puede visualizar el estado de la válvula principal y bypass, así como también la animación de la turbina.

Figura 29. Vista del sistema mecánico en el Sistema SCADA



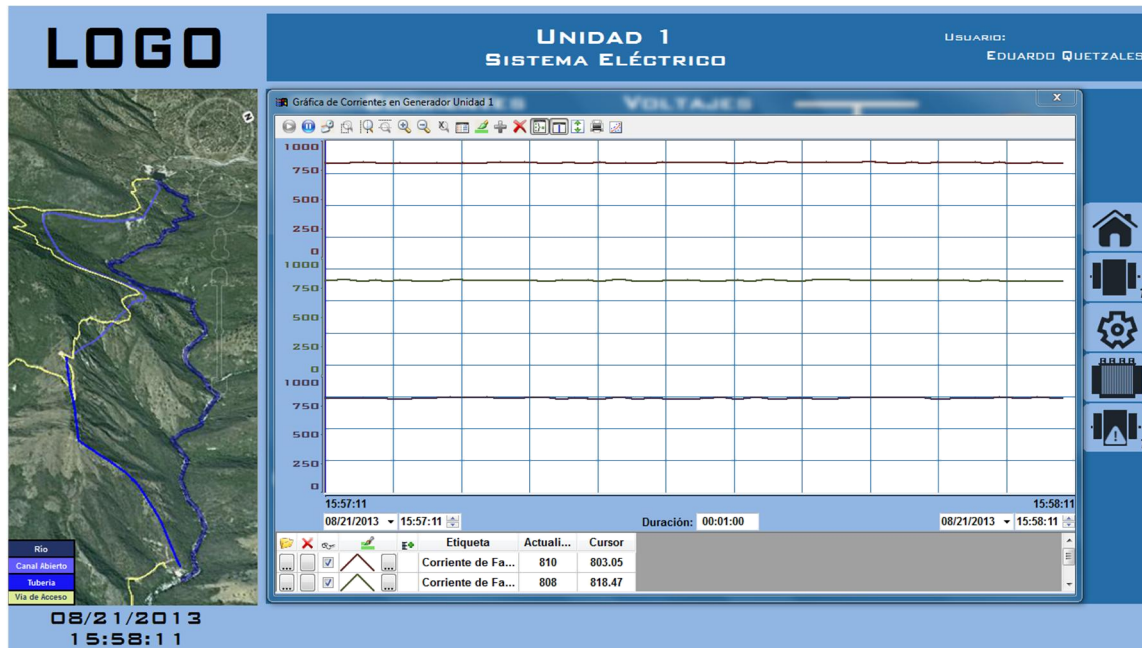
Fuente: captura de pantalla del prototipo desarrollado.

4.2. Visualización de gráficas

Según el tipo de variable que se presenta en cada una de las pantallas de visualización, se pueden generar gráficos que permitan mostrar comportamiento que ha tenido cierta variable en un determinado periodo de tiempo. Los valores pueden ser almacenados en una base de datos en una secuencia de tiempo determinada, por lo que los gráficos son capaces de mostrar datos históricos de algún tiempo en específico.

Los gráficos son altamente configurables, es decir que puede ser tuneados según las necesidades del que visualiza la gráfica. Algunas de las características principales de la visualización es que puede ser ampliada, enfocarse en una o más variables, colocar cursores, colocar límites superiores o inferiores, configurar el tiempo de visualización, navegar a datos históricos, entre otras características. Esto hace que el visor de gráficos se una de las herramientas más completas para visualización de estatus de la variables.

Figura 30. Visualización de gráficos en el Sistema SCADA



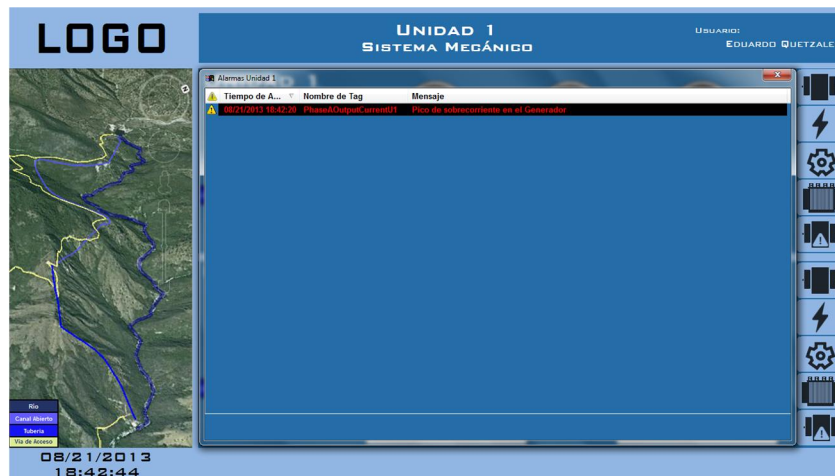
Fuente: captura de pantalla del prototipo desarrollado.

4.3. Visualización de alarmas

En cualquier momento el operador recibirá notificaciones de la ocurrencia de algún evento que se considera fuera de los límites de la capacidad del generador. Es decir que cuando una de las variables que son monitoreadas sobrepasa un valor límite, este evento es registrado y visualizado en una pantalla especial como una alarma. Esta pantalla contiene el registro de las alarmas ocurridas en un tiempo determinado y que ya han sido reconocidas por el operador pero que aún no han sido trabajadas.

Las alarmas pueden ser configuradas para que sean almacenadas ya sea en base de datos o en el disco local, de esta manera se lleva un histórico de las alarmas generadas. También pueden ser enviadas por correo electrónico, dependiendo de la importancia del mismo, para que otro usuario esté al tanto de algún evento en especial.

Figura 31. **Visualización de alarmas en el Sistema SCADA**



Fuente: captura de pantalla del prototipo desarrollado.

4.4. Manejo de usuarios

Es recomendable establecer un único usuario operador, que sea el que tome las decisiones de operación. De esta manera queda en este usuario la responsabilidad de toma de decisiones al momento de realizar una acción o que se presente algún evento determinado.

Otros usuarios que no tengan el rol de operación pueden ser configurados, de esta manera pueden tener acceso a la misma aplicación, pero no pueden tener acceso a realizar ejecuciones de operación, únicamente de monitoreo.

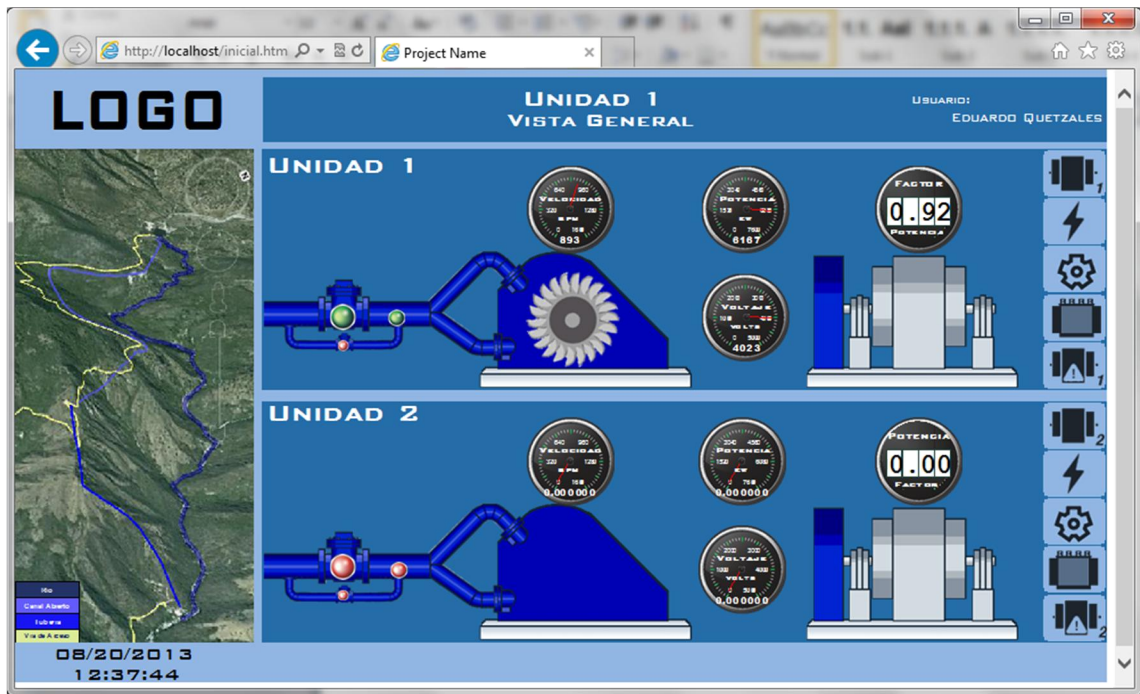
Este tipo de usuarios resulta útil para visualizar estatus y llevar un control de las variables deseadas.

A los usuarios también pueden delimitarse el tipo de información que puede visualizar, lo que resulta de utilidad para establecer roles administrativos, gerenciales y de gestión.

4.5. Visualización Web

El sistema puede ser visualizado desde Internet Explorer mediante la dirección IP donde se encuentra el servidor de Indusoft Web Studio. Las características del sistema no cambian, todas las pantallas desarrolladas son visualizadas como si fueran ejecutadas localmente. El sistema se ajusta al tamaño de la ventana, lo que permite visualizar en cualquier computadora con diferente resolución a la configurada en el servidor.

Figura 32. Visualización web del Sistema SCADA

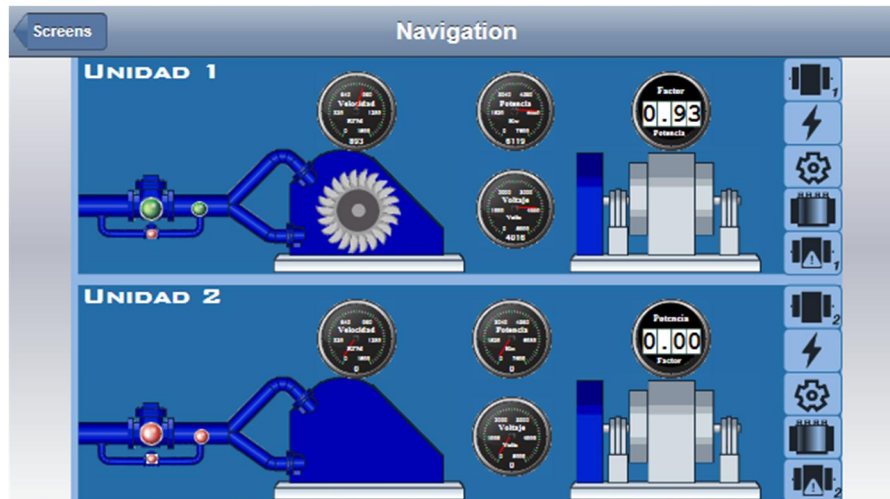


Fuente: captura de pantalla del prototipo desarrollado corriendo en Internet Explorer.

4.6. Acceso móvil

Desde un dispositivo móvil también se pueden visualizar las mismas pantallas que han sido desarrolladas. Si se desea también pueden crearse pantallas más simples y mejor distribuidos para este tipo de dispositivos, de esta forma facilitar la visualización de los elementos.

Figura 33. Acceso móvil al sistema SCADA



Fuente: captura de pantalla del prototipo desarrollado corriendo en un dispositivo móvil.

4.7. Beneficios obtenidos

Este tipo de proyectos permita incrementar una cultura tecnológica fomentando una mejor preparación al personal de operación, mejorando la eficiencia para actuar ante situaciones imprevistas que atentan contra la vida del personal y la planta. Una operación automática anula fuertemente operaciones inadecuadas que atentan con la integridad de los equipos.

La solución acá presentada es un prototipo de lo que puede llegar a hacer un sistema de supervisión, se incluyeron generalidades del sistema, sin embargo un SCADA dedicado a este tipo de operaciones debe abarcar detalladamente cada uno de los sistemas individuales que en conjunto permiten la operación de la planta. Algunos de los elementos a considerar son:

- Visualización de todos los parámetros del sistema
- Registros de tenencias de variables
- Diagramas unifilares dinámicos
- Diagramas de proceso dinámicos
- Mantenimiento y diagnóstico
- Acciones de control automática y manual de los sistemas
- Reportes instantáneos de los parámetros en hoja de cálculo

De esta manera se asegura un sistema confiable para el operador, que le permitirá tomar decisiones certeras, ejecutar procedimientos adecuados, asegurar la vida de los equipos controlados, y mejorar en un alto grado la eficiencia de la operación.

CONCLUSIONES

Al implementar el sistema real que representa el prototipo desarrollado, permitirá el mejoramiento de los procesos de supervisión operativa dentro de una pequeña central hidroeléctrica, ya que el sistema toma en cuenta todos los factores que inciden en la toma de decisiones. Específicamente el sistema:

1. A través la integración existente entre los dispositivos PLC y la base de datos, permite reducir los posibles errores humanos provocados por la digitalización de los valores de medición.
2. El almacenamiento de datos históricos permite a los supervisores tener acceso a estados pasados y actuales y con base a estos, el supervisor tendrá capacidad de tomar decisiones futuras.
3. El uso de la tecnología web y móvil en el desarrollo del sistema permite que el supervisor pueda realizar su trabajo desde cualquier punto remoto. Es decir que no tenga la necesidad de estar presente en el lugar donde se llevan a cabo las operaciones.

RECOMENDACIONES

1. Al prototipo desarrollado debe ser implementado únicamente en pequeñas centrales hidroeléctricas que cuenten con un alto grado de automatización, lo que implica el uso de PLCs en sus procesos principales, ya que los datos generados por estos, son indispensables para la alimentación del sistema propuesto.
2. El servidor de base de datos que almacena la lectura proveniente de los PLCs, se encuentre ubicado físicamente cerca de dichos dispositivos, de tal forma que el tiempo de transmisión entre ambos componentes no sea muy elevado.
3. Es recomendable que cada PLC contenga un módulo de medición analógica y que los medidores interconectados al mismo sean medidores analógicos. Estos medidores permiten una mayor precisión en cuanto a medidas, por lo que los datos almacenados dentro de la base de datos de igual manera serán más precisos y más representativos de las mediciones requeridas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARROYAVE, D. E. *Modelo del comportamiento de presas en cascada y visualización por software*. Trabajo de graduación Ing. Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 144 p.
2. FERNÁNDEZ, C. *Seguridad Energética: Diversificación de las matrices energéticas*. México: CNEE. 2008. 17 p.
3. FIGUEROA, L. E. *Programa de despacho diario del Mercado Mayorista de Guatemala*. Boletín AMM. 2004. 2 p.
4. GONZÁLEZ, C. O. *Fibra óptica como solución a requerimientos de grandes anchos de banda para multimedia*. Trabajo de graduación Ing. de Sistemas, Informática y Ciencias de la Computación, Universidad Francisco Marroquín, Facultad de Ingeniería, 2004. 40 p.
5. Indusoft Web Studio 7.1. *Technical Reference*. Disponible en la ayuda del Software. 2013. 356 p.
6. MINAS, M. D. *Energías renovables en Guatemala*. Guatemala, Centroamérica. 2007. 58 p.
7. Olaya, A. F. *Implementación de una red modbus/tcp*. Santiago de Cali: Universidad del Valle. 2002. 97 p.

8. *Procedimineto para la integración de telemetría al sistema informático en tiempo real del AMM.* [en línea] <http://www.amm.org.gt/pdfs/proc_tecnicos/>. [Consulta: 24 de junio de 2013].