Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales

TRABAJO DE DIPLOMA

Supervisor en software libre para la infraestructura hidráulica de Santa Clara

Autor: José Carlos Elías Casanova

Tutor: Ing. Samy Brito Barroso

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales

TRABAJO DE DIPLOMA

Supervisor en software libre para la infraestructura hidráulica de Santa Clara

Autor: José Carlos Elías Casanova

E-mail: jelias@uclv.edu.cu

Tutor: Ing. Samy Brito Barroso

Prof. Asistente, Dpto. Automática y Sistemas Computacionales, Facultad de Ingeniería Eléctrica, UCLV.

E-mail: samyb@uclv.edu.cu

Consultante: Msc. Erick López González

Prof. Instructor, Dpto. Automática y Sistemas Computacionales, Facultad de Ingeniería Eléctrica, UCLV.

E-mail: ericklglez@uclv.edu.cu

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"

Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

_____

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

_____ _____

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento donde se defiende el trabajo

_____

Firma del Responsable de Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

Las ciencias tienen las raíces amargas, pero muy dulces los frutos.

Aristóteles.

DEDICATORIA

A mis Padres, Diana y Elías, que se merecen muchos más logros que los que he alcanzado hasta ahora.

A mi Abuela Elsa por ser tan especial y tan imprescindible en mi vida.

A mi Hermanita Dayana que la quiero con mi alma.

A Dianet por ser mi inspiración en los momentos más difíciles.

A mi Tío Ricardo que para mí es como un Padre.

A mi bisabuela Clara que siempre ha estado pendiente de mí.

A mis Abuelos Chino, Niní, Abu y Macho, que estarían muy orgullosos de estar presentes en este momento.

A todos mis demás familiares, los quiero mucho a todos.

A la familia de Dianet, que también la considero mía.

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres, Diana y Elías, por ser mis referentes en la vida y por apoyarme cuando decidí forjar mi futuro fuera de casa. Por guiarme en mi formación profesional y moral desde pequeño, ya que fueron quienes despertaron el ingeniero que llevaba dentro. Sin ellos nunca hubiera llegado hasta donde estoy, ni hubiera alcanzado resultado alguno.

A mi Abuela Elsa que me ha criado como un hijo, me ha ayudado en cuanto he necesitado incondicionalmente y me ha inspirado a seguir hacia delante, sin su apoyo hubiera sido difícil lograrlo.

A mi Hermana Dayana que siempre me ha ayudado y apoyado a pesar de ser la más chiquita de la casa, y que pronto será la doctora de la familia. Por respetarme y estar orgullosa de mí como yo lo estoy de ella.

A Dianet, que me incitó a comenzar esta aventura de la que no me arrepiento y que nunca hubiera logrado sin su compañía. Por formar parte de mi vida y ser una parte muy especial de ella. Y por aceptarme como soy y apoyarme siempre en mis decisiones.

A mi Tío Ricardo que no lo piensa para ayudarme siempre que lo necesito, por ser para mí como un Padre y una parte muy importante en mi familia, como también lo son mi Tía Dayana y mis primos Richard y Liz Amanda.

A todos mis demás familiares, que han estado pendientes de mis estudios, en especial a mi bisabuela Clara, a mi Tío Manolo, a mi Tío Hectico, a mis Tíos Mirtha y Oscarito, a mi Primo Oski y a mi Cuñado Rafael.

A la familia de Dianet, que me ha permitido formar parte de ellos, y nos ha apoyado en nuestro progreso, en especial a Moraima, Delvito, Arminda, Santibañez, Maribel, Ariel y Delvitín.

A mi tutor Samy, por darme la oportunidad de colaborar con este proyecto, por apoyarme y aconsejarme cuando lo necesitaba y por ser además mi amigo. Para él, muchas gracias y mi más sincero respeto.

A Erick, porque sin su ayuda no se hubiera logrado este proyecto.

A los demás profesores del departamento, que me han apoyado en mi formación como Ingeniero en Automática.

A todos mis amigos y compañeros con quienes he vivido y compartido buenos y malos momentos en esta etapa importante de la vida, en especial a: Elianny, Manuel, Roberto, Sergio, Álvaro, Homero, Karla, Luis, Yeilis, Yonder, Trujillo, Eliseo y Michel.

A mis amigos de Ciego de Ávila que siempre han estado pendiente de mí, en especial a Jorge Luis y Gilbertico.

Muchas gracias a todos.

TAREA TÉCNICA

- Estudiar las características del sistema de abasto de agua de Santa Clara.
- Estudiar los supervisores empleados en redes de abastecimiento de agua.
- Estudiar los software SCADA implementados sobre plataforma libre.
- Establecer la comunicación entre el PLC y el software supervisor.
- Confeccionar los mímicos del sistema.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

Debido a la modernización que se acomete en la infraestructura de abasto de agua de las principales ciudades del país, surge este trabajo, como una medida de apoyo al correcto funcionamiento de la tecnología a instalar en la ciudad de Santa Clara. Esto permitirá el ahorro de importantes recursos como son el agua y la energía eléctrica. La tecnología propuesta a instalar garantiza la correcta adquisición de las principales variables del sistema y trabajos previos proponen la red de comunicación entre las estaciones y el puesto de mando de la empresa de acueducto. Se propone la utilización de un PLC que se ubique en la estación central, que contendrá los valores de todas las variables y se confeccionará un supervisor implementado en plataforma libre que brinde la información necesaria a los ingenieros que controlan el funcionamiento de la infraestructura de abasto de agua de Santa Clara. Esta aplicación garantizará una operación más eficiente de toda la infraestructura hidráulica.

GLOSARIO

ABB: Corporación multinacional de Generación de Energía Eléctrica y Automatización Industrial (*Asea Brown Boveri*).

AEG: *Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft***,** en español Asociación General de Electricidad.

ALBA: Alternativa Bolivariana para las Américas.

ASCII: *American Standard Code for Information Interchange*, en español Código estándar estadounidense para el intercambio de información.

CMKC: Emisora de radio de Santiago de Cuba.

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua (México).

CPU: *Central Processing Unit*, en español Unidad Central de Procesamiento.

EPAA: Empresa Provincial de Acueducto y Alcantarillado.

EAAVC: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villa Clara.

ETECSA: Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.

FAO: *Food and Agriculture Organization*, en español Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FLTK: biblioteca de Interfaz Gráfica de Usuario (*Fast Light ToolKit*).

GPRS: *General Packet Radio System*, en español Servicio General de Paquetes vía Radio.

GSM: *Group Special Mobile*, nombre del grupo de trabajo encargado de desarrollar el estándar de telefonía móvil digital para Europa. Posteriormente referido a *Global System for Mobile Comunications*, en español Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.

HART: Protocolo abierto de uso común en los sistemas de control (*Highway Addressable Remote Transducer*).

HMI: *Human Machine Interface*, en español Interfaz Hombre Máquina.

HTML: *HyperText Markup Language*, en español Lenguaje de Marcas de Hipertexto.

IEEE: *Institute of Electrical and Electronic Engineers*, en español Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

INRH: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos

IP: *Internet Protocol*, en español Protocolo de Interred.

LAN: *Local Area Network*, en español Red de Área Local.

MIMAM: Ministerio del Medio Ambiente (España).

OMS: Organización Mundial de la Salud.

ONU: Organización de Naciones Unidas.

OPC: Estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales (*OLE for Process Control*).

PC: *Personal Computer*, en español computadora personal.

PHP: Lenguaje de programación de uso general (*Hypertext Preprocessor*).

PLC: *Programmable Logic Controllers*, es español Controlador Lógico Programable.

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

PSTN: Red de telecomunicaciones conmutada (*Public Switched Telephone Network*).

RTU: Dispositivos basados en microprocesadores (*Remote Terminal Unit*).

SCADA: *Supervisory Control And Data Acquisition*, en español Control Supervisor y Adquisición de Datos.

SIG: Sistema de Información Geográfica.

TCP: *Transmision Control Protocol*, en español Protocolo de Control de Transmisión.

UCI: Universidad de Ciencias Informáticas.

UDP: Protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas (*User Datagram Protocol*).

UHF: *Ultra High Frequency*, en español Frecuencia Ultra Alta.

UNESCO: *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*, en español Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UNICEF: *United Nations International Children's Emergency Fund*, en español Fondo de Naciones Unidas para la Infancia.

VHF: Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz (*Very High Frequency*).

WAN: Red de área amplia (*Wide Area Network*).

WWAP: *World Water Assessment Programme*, en español Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.

XML: *Extencible Markup Language*, en español Lenguaje de Marcas Extensible.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO i

DEDICATORIA ii

TAREA TÉCNICA v

RESUMEN vi

GLOSARIO vii

INTRODUCCIÓN 1

Organización del informe 3

CAPÍTULO 1. EMPLEO DE SUPERVISORES EN LAS REDES DE ABASTO DE AGUA…….. 4

1.1 Sistemas SCADA 4

1.1.1 Historia 5

1.1.2 Arquitectura 5

1.1.3 Componentes 6

1.1.4 Características 8

1.1.5 Aplicaciones 8

1.1.6 Ventajas y desventajas 9

1.1.7 Software SCADA 10

1.1.7.1 Características 10

1.1.7.2 Elementos 10

1.1.7.3 Principales propietarios para su implementación 11

1.2 Instrumentación y control 12

1.2.1 Sensores y actuadores 12

1.2.2 Autómatas programables 13

1.3 Las comunicaciones industriales 15
1.3.1 Comunicación GSM/GPRS 16
1.3.2 Protocolo de comunicación Modbus 17
1.4 Supervisores empleados en las redes de abasto de agua 17
1.4.1 Introducción a las sistemas de abasto de agua 18
1.4.1.1 Situación de los recursos hídricos a nivel mundial 18
1.4.1.2 Situación de los recursos hídricos en Cuba 20
1.4.1.3 Infraestructuras hidráulicas de Cuba 21
1.4.2 Automatización de las redes de abasto de agua 21
1.4.2.1 SCADA empleados a nivel mundial 22
1.4.2.2 SCADA empleados en Cuba 23
1.5 Alternativas libres de software SCADA 24
1.5.1 Principales software SCADA implementados en plataforma libre 25
1.5.2 Ejemplos de SCADA implementados en plataforma libre 25
1.5.3 Características de software SCADA implementados en plataforma libre 26
1.5.3.1 OpenSCADA 26
1.5.3.2 Proview 27
1.5.3.3 EclipseSCADA 28
1.5.3.4 Argos 29
1.6 Conclusiones del capítulo 29
CAPÍTULO 2. ARQUITECTURA DEL SCADA 30
2.1 Características de la infraestructura hidráulica de Santa Clara 30
2.1.1 Principales variables medidas en las estaciones 32
2.2 Descripción del hardware del sistema 33

2.2.1 Sensores y actuadores a emplear 33
2.2.2 Autómatas programables a utilizar 36
2.3 Sistema de comunicación general.....38
2.4 Selección de la plataforma SCADA a emplear 39
2.5 Diseño de la aplicación SCADA 39
2.5.1 Requisitos funcionales del sistema 39
2.5.2 Requisitos no funcionales del sistema 40
2.5.3 Descripción de los estados de alarma 40
2.5.4 Creación de la HMI.....41
2.5.4.1 Configuración del ambiente de trabajo.....41
2.4.5.2 Creación y almacenamiento de las variables del sistema 43
2.4.5.3 Diseño de la librería de pantallas.....44
2.4.5.4 Creación del proyecto "Abasto de Agua" 45
2.5.4.5 Descripción de la jerarquía de pantallas y la navegación entre ellas 47
2.6 Conclusiones del capítulo.....49
CAPÍTULO 3. PRESENTACIÓN DEL SUPERVISOR.....50
3.1 Pantallas para la supervisión 50
3.1.1 Pantallas principales 50
3.1.2 Pantallas de las estaciones 52
3.1.3 Pantallas de control.....52
3.1.4 Pantallas de alarmas y de históricos 53
3.1.5 Pantallas de horas de trabajo de los motores 54
3.2 Comparación de la HMI con la del software WebFromView ..... **¡Error! Marcador no definido.**
3.3 Prueba de comunicación con el PLC.....55

3.4 Beneficios y proyecciones futuras 57
3.5 Valoración económica 57
3.6 Análisis medioambiental 59
3.7 Conclusiones del capítulo 59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 60
Conclusiones 60
Recomendaciones 61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62
ANEXOS 66
Anexo I Pantalla Estación Central 66
Anexo II Pantalla de la Red Hanabanilla 67
Anexo III Pantalla de la Red Agabama-Gramal 67
Anexo IV Pantalla de la Red Minerva-Ochoíta 68
Anexo V Pantalla del Sistema Agabama-Gramal 68
Anexo VI Pantalla del Sistema Hanabanilla I 69
Anexo VII Pantalla del Sistema Hanabanilla II 69
Anexo VIII Pantalla del Sistema Minerva-Ochoíta I 70
Anexo IX Pantalla del Sistema Minerva-Ochoíta II 70
Anexo X Pantalla de Control de la Estación Minerva 71
Anexo XI Pantalla de Control de la Estación Ochoíta 71
Anexo XII Pantalla de Reportes de Alarmas de la Estación Minerva 72
Anexo XIII Pantalla de Datos Históricos de la Estación Minerva 72
Anexo XIV Pantalla de Horas de Trabajo de los Motores de la Estación Minerva 73
Anexo XV Pantalla de Horas de Trabajo de los Motores de la Estación Ochoíta 73

INTRODUCCIÓN

Desde el triunfo de la revolución en Cuba se ha aumentado tanto la cantidad como la calidad de agua embalsada, se han rehabilitado redes de abastecimiento, así como también la construcción y reparación de acueductos a lo largo del país, aspectos estos relacionados directamente con el desarrollo científico y tecnológico para lograr el manejo eficiente y con la menor pérdida posible de tan preciado líquido (Paretas et al., 2005).

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) es la empresa encargada de gestionar y satisfacer las necesidades de suministro de agua potable y la evacuación de aguas negras y pluviales al sector residencial y estatal del país. Con la rehabilitación y modernización que se acomete en las infraestructuras de abasto de agua a las principales ciudades de Cuba (Chao, 2013), surge el interés por este trabajo como una medida de apoyo al correcto funcionamiento de la tecnología instalada y al ahorro de importantes recursos como son el agua y la energía eléctrica, basándose esencialmente en el caso de la ciudad de Santa Clara.

Para mejorar la gestión y el control de la disponibilidad de este recurso, así como la seguridad y la fiabilidad en su abastecimiento, teniendo en cuenta la complejidad y dispersión de las instalaciones, es necesaria la creación de modernos sistemas de supervisión y control.

Los sistemas supervisores se han implementado ya en algunos acueductos de diferentes países, entre ellos se encuentran varias ciudades de España, en algunas ciudades de Colombia, Venezuela, Ecuador y en algunas localidades de México (Guachamin, 2011; Acueducto-de-Bogotá, 1996; Gutiérrez, 2008; López and Machuca, 2011; Pla et al., 2009).

En Cuba se realizan varios estudios de automatización de los sistemas de abasto de agua, entre ellos se puede mencionar el proyecto emprendido por Aguas Varadero, el acueducto

de La Habana, los trabajos de automatización que se han realizado en Santiago de Cuba, Pinar del Río y el más recientemente el que se está desarrollando en la cayería norte de la provincia de Villa Clara (CMKC-Radio-Revolución, 2011; Cruz, 2013; Cueto and Rivas, 2003; Vega, 2004).

En Venezuela y en Costa Rica se desarrollan sistemas SCADA para acueductos implementados sobre plataforma libre, en ambos casos aprovechando la evolución de la soberanía tecnológica (Piña, 2009; Sancho, 2012; Velázquez and Custodio, 2011). En la UCI también se realizó un proyecto de un SCADA en software libre que pueda ser usado por varias empresas cubanas (Nieto et al., 2012).

La tecnología propuesta en el proceso de rehabilitación de la red de abasto de agua de la ciudad de Santa Clara garantiza la correcta medición de las principales variables de la conductora y la comunicación entre las diferentes estaciones que comprenden la red de abasto de agua, que tiene más de 36 Km de longitud. Trabajos previos proponen la red de comunicación entre las estaciones y el puesto de mando de la empresa de acueducto, usando tecnología GPRS, y se está desarrollando un proyecto de un SCADA basado en el software TView (Chao, 2013). Este diseño carece de prestaciones gráficas adecuadas para la interfaz HMI, además es un software propietario, por lo que requiere de licencias para su uso (Sancho, 2012).

Descrita la situación en que se encuentra la infraestructura hidráulica de la ciudad de Santa Clara, el problema científico se obtiene de la interrogante siguiente: ¿Es posible contribuir en la automatización del sistema de abasto de agua de Santa Clara con el diseño de una aplicación SCADA en software libre?

Para dar solución a esta problemática se trazó el siguiente objetivo general:

Diseñar una aplicación SCADA en software libre para monitorear el funcionamiento de las infraestructuras hidráulicas de la ciudad de Santa Clara.

Para lograr el objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el funcionamiento del sistema de abasto de agua de Santa Clara.
- Ejemplificar sobre supervisores utilizados en las redes de abasto de agua.
- Analizar los SCADA implementados en software libre.

- Crear la aplicación SCADA en el software seleccionado.

La confección de este supervisor en plataforma libre permite el ahorro de recursos económicos, energía y agua, pues se detectarían averías en la conductora en un corto tiempo, se facilitarían acciones remotas de mando sobre la instalación y se dispondría de información histórica y de índices de comportamiento del sistema. Este supervisor contribuirá al desarrollo de la soberanía tecnológica y es aplicable en las redes de abasto de agua de las otras ciudades del país.

Organización del informe

En la introducción se dejará definida la importancia, actualidad y necesidad del tema que se aborda, así como la viabilidad y el posible impacto.

Capitulario

CAPÍTULO I: Estudio de las aplicaciones SCADA utilizadas en las redes de abasto de agua, así como las implementadas en plataforma libre.

CAPÍTULO II: Análisis de la infraestructura hidráulica de Santa Clara y realización de la HMI en el software libre.

CAPÍTULO III: Mostrar las pantallas creadas para el supervisor, efectuar una prueba de comunicación con el PLC, y realizar una valoración económica y medioambiental.

CAPÍTULO 1. EMPLEO DE SUPERVISORES EN LAS REDES DE ABASTO DE AGUA

En este capítulo se estudian las necesidades de automatizar las redes de abastecimiento de agua, principalmente con el empleo de sistemas SCADA para garantizar la fiabilidad del sistema. También se estudian los software SCADA, haciendo énfasis en los implementados en plataformas libres.

El capítulo está conformado por seis epígrafes, en los que se estudian los siguientes temas: los sistemas SCADA, la instrumentación y el control, las comunicaciones industriales, los supervisores empleados en redes de abasto de agua y las alternativas libres de software SCADA.

1.1 Sistemas SCADA

El término SCADA es el acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition* (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), es una aplicación de software diseñada para controlar y supervisar datos a distancia, los cuales son fundamentalmente variables adquiridas de los procesos remotos utilizando los medios de comunicación necesarios en cada caso (Chavarría, 2007).

Según (Izaguirre, 2008) un SCADA proporciona comunicación con los dispositivos de campo (controladores digitales autónomos, autómatas programables e instrumentación inteligente) y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

Emplean diversos tipos comunicaciones, como: sistema satelital, radiocomunicaciones, fibra óptica y telefonía celular. Proveen toda la información que se genera en el proceso a

varios usuarios, tanto del mismo nivel como de otros niveles superiores dentro de la empresa (Penin, 2007).

1.1.1 Historia

En su surgimiento los SCADA eran simples sistemas que proporcionaban reportes periódicos de las variables de campo, muestreando las señales que representaban medidas y/o condiciones del estado de la planta desde ubicaciones generalmente remotas, en muchas ocasiones lo que se hacía era imprimir o registrar en un papel la información de las variables, para tener un histórico de los eventos que ocurrían durante la operación del proceso. Estos sistemas no prestaban funciones de aplicación alguna, sino que ofrecían capacidades muy simples de monitoreo y control. La visión del operador del proceso estaba basada en instrumentos y señalizaciones lumínicas montadas en paneles llenos de indicadores (Hentea, 2008).

Con el desarrollo tecnológico, las computadoras empezaron a aplicarse en el control industrial, realizando tareas de recolección y almacenamiento de datos, generación de comandos para el control, y una nueva función muy importante: la presentación de la información sobre una pantalla, que en aquel entonces eran monocromáticas (Igure et al., 2006; Romagosa et al., 2004).

Según (Izaguirre, 2008) la mayoría de los supervisores instalados hoy en día forman parte de la estructura de dirección de cualquier organización. Estos sistemas son vistos por la gerencia como un recurso importante de información corporativa, sin el cual sería imposible administrar la empresa. Además sirven como centro de responsabilidad operacional, proporcionando datos importantes a los sistemas y usuarios que fuera del ambiente de control, dependen de dicha oportuna información para tomar sus decisiones económicas cotidianas.

1.1.2 Arquitectura

Los sistemas SCADA se han desarrollado con el paso de los años. Durante este desarrollo se han podido distinguir tres etapas fundamentales (Chavarría, 2007; Sánchez, 2013):

1. Monolítico (Primera Generación): Cuando los primeros sistemas SCADA fueron desarrollados, las redes generalmente no existían, por lo que carecían de

comunicación con otros sistemas. Como consecuencia los sistemas SCADA eran independientes.

2. Distribuido (Segunda Generación): Aprovechó los progresos y mejoras en la miniaturización del sistema y la tecnología local con establecimiento de una red de área local (LAN) para distribuir el proceso a través de sistemas múltiples. Las estaciones múltiples tenían una función específica cada una, y fueron conectadas con una red LAN compartiendo la información unas con otras en tiempo real. Estas estaciones eran típicamente mini-ordenadores, más pequeños y menos costosos que los procesadores de primera generación.

3. En red (Tercera Generación): La tercera y actual generación de las arquitecturas de sistemas SCADA se relaciona de forma muy cercana con la segunda generación, siendo la diferencia primaria que esta última presenta una arquitectura de sistema abierto, siendo la segunda generación de ambiente propietario. La mejora principal en la tercera generación consiste en que permite abrir la arquitectura del sistema, de utilizar estándares y protocolos abiertos y de permitir distribuir la funcionalidad de supervisión a través de una red WAN y no de una red LAN.

1.1.3 Componentes

Según argumentan (Chavarría, 2007; Gómez et al., 2007) los SCADA están conformados de la siguiente forma:

1. Interfaz Operador Máquina: Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados.

2. Unidad Central: Denominado también como Unidad Maestra. Ejecuta las acciones de mando programadas en base a los valores actuales de las variables medidas.

3. Unidad Remota: Las Unidades Remotas reciben directamente los datos de los sensores de campo y a su vez comandan a los actuadores y demás elementos de control final. Estas estaciones son programables y poseen capacidad de soportar algoritmos de control. Un PLC también puede formar parte de una RTU y de la

estrategia de control que se quiera implementar en el lugar. Uno de los protocolos de comunicación más utilizados es el MODBUS.

4. Sistema de comunicaciones: La Red de Comunicación, se realiza por distintos soportes y medios: línea dedicada, línea telefónica, cable coaxial, fibra óptica, telefonía celular, radio VHF/UHF, microondas, satélite, etc. De esta manera los datos son transmitidos hacia múltiples partes (en ocasiones a un sitio central) mediante el medio físico más apropiado. La forma de direccionar los diferentes sitios hacia donde se envía y/o recibe información del proceso, está incorporada como parte integrante dentro del sistema SCADA.

5. Transductores: Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica y viceversa. Su calibración es muy importante para que no existan problema con la confusión de valores de los datos.

En la figura 1.1 se muestra el esquema general de un sistema SCADA, en el cual se presentan las partes que lo componen.

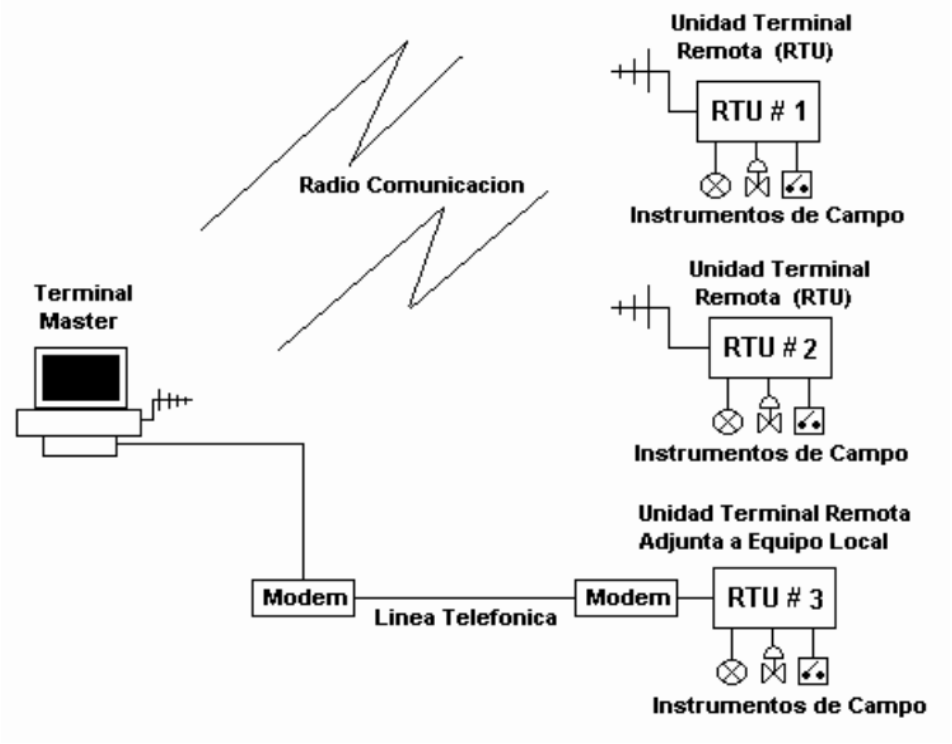


Figura 1.1. Esquema básico de un sistema SCADA (Izaguirre, 2008).

1.1.4 Características

Los sistemas SCADA, en su función de sistemas de control, proporcionan una nueva característica de automatización que realmente pocos sistemas ofrecen: la de supervisión. Sistemas de control hay muchos y muy variados, que ofrecen soluciones óptimas en entornos industriales, pero lo que hace de ellos una herramienta diferente es la característica de control supervisado. La parte de control de estos sistemas viene definida por el proceso a controlar, al cual se encuentra sometida, como también puede estarlo del hardware instrumental de control (PLC, controladores lógicos, etc.) o los algoritmos lógicos de control aplicados sobre la planta los cuales pueden existir previamente a la implantación del sistema, el cual se instalará sobre y en función de estos sistemas de control. Otros pueden requerir o aprovechar el hecho que implantamos un nuevo sistema de automatización en la planta para cambiar u optimizar los sistemas de control previos (Gómez et al., 2007; Hentea, 2008).

Se puede definir la palabra supervisar como ejercer la inspección superior en determinados casos, ver con atención o cuidado y someter una cosa a un nuevo examen para corregirla o repararla permitiendo una acción sobre la cosa supervisada. La labor del supervisor representa una tarea delicada y esencial desde el punto de vista normativo y operativo; de esta acción depende en gran medida garantizar la calidad y eficiencia del proceso que se desarrolla. En el supervisor descansa la responsabilidad de orientar o corregir las acciones que se desarrollan. Por lo tanto tenemos una toma de decisiones sobre las acciones últimas de control por parte del supervisor, que en el caso de los sistemas SCADA, estas recaen sobre el operario (Adamo et al., 2007; Chavarría, 2007).

Su característica fundamental es el empleo de varios protocolos y vías para establecer la comunicación. Es capaz de comunicarse sobre diversos medios físicos, ya sea líneas telefónicas, sistemas de microondas, transmisión por radio UHF/VHF, cables y fibra óptica, y en los casos más complejos por sistemas de satélites (Igure et al., 2006; Sánchez, 2013).

1.1.5 Aplicaciones

Los sistemas SCADA pueden ser relativamente simples, como en el caso del control de las condiciones ambientales en una oficina, o pueden ser relativamente complejos, como en fábricas, pero donde más se utilizan es en entornos industriales complejos, o en procesos

industriales que cubren un área geográfica amplia, debido a que se puede adquirir información muy rápidamente y desde lugares remotos, para luego ser presentada en la pantalla de un ordenador (Penin, 2007; Sánchez, 2013).

(Chacón, 2012; Romagosa et al., 2004) consideran que son aplicados en procesos y servicios, tales como:

- Comunicaciones.
- Control de Aguas Residuales y Desperdicios.
- Generación de Energía.
- Refinerías de Gas y Aceite.
- Industria Petroquímica.

1.1.6 Ventajas y desventajas

Según (Chavarría, 2007; Izaguirre, 2008) las principales ventajas de los sistemas SCADA radican principalmente en:

- Reducción de los costos de producción, operación y mantenimiento.
- Aumento de la producción.
- Diversificación de la producción.
- Mejoramiento de la coordinación con el área de mantenimiento.
- Disponibilidad de información precisa para efectos de estudio, análisis y estadística.
- Independencia del empleo de personal para realizar labores de lectura de las variables.
- Sistema de medición más rápido y confiable.

Mientas que entre sus principales desventajas según citan (Hentea, 2008; Izaguirre, 2008) están las siguientes:

- Se requiere de una red industrial fiable, pues resultaría crítico no contar con la misma.
- Alto costo inicial, por concepto de adquisición de los equipos e implantación del sistema acorde a las necesidades y requisitos exigidos.
- Se requiere además realizar gastos en conexión a la red de datos.

1.1.7 Software SCADA

La base del sistema está en el "Software SCADA", que es el encargado de supervisar y controlar el proceso a través del hardware de control, generalmente el software trabaja conjuntamente con un PLC o una red de PLC. Este software permite supervisar el proceso desde un microcomputador, así como realizar las acciones de control a través del PLC, controlador o sistema de control (Sotolongo, 2013).

1.1.7.1 Características

(Gómez et al., 2007; Romagosa et al., 2004) plantean que para obtener las características y prestaciones propias de un sistema SCADA, su software debe presentar las siguientes funciones:

- Manejo del soporte o canal de comunicación.
- Manejo de uno o varios protocolos de comunicación.
- Manejo y actualización de una Base de Datos.
- Administración de alarmas.
- Generación de archivos históricos.
- Interfaces con el operador.
- Capacidad de programación.
- Transferencia dinámica de datos.
- Conexión a redes.
- Debe tener capacidad para comunicarse con múltiples redes de instrumentos, aun siendo de distinta procedencia y fabricantes.

1.1.7.2 Elementos

Según plantean (Gómez et al., 2007; Izaguirre, 2008; Romagosa et al., 2004) los elementos del software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- Configuración: Permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar y los niveles de acceso para los distintos usuarios.

- Interfaz gráfico del operador: Proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
- Módulo de proceso: Ejecuta las acciones de mando pre-programadas a partir de los valores actuales de variables leídas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C++, *Basic* y otros)
- Gestión y archivo de datos: Se encarga del almacenamiento y procesado de forma ordenada de los datos, para que otra aplicación o dispositivo pueda acceder a ellos.
- Comunicaciones: Se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre esta y el resto de elementos informáticos de gestión.

1.1.7.3 Principales propietarios para su implementación

Según (Adamo et al., 2007; Chacón, 2012; Gómez et al., 2007; Izaguirre, 2008) los software más usados a nivel mundial para la implementación de SCADA son:

- Aimax, de Design Instrument, S.A.
- CUBE, de Orsi España, S.A.
- FIXDMACS, de Omron-Intellution.
- LabView, de National Instrument.
- Monitor Pro, de Schneider Electric.
- Movicon X2, de Progea.
- Scatt Graph 5000, de ABB.
- SYSMAC SCS, de Omrom.
- TView, de Semaphore.
- WinCC, de Siemens.
- WizFactory, de eMation.

1.2 Instrumentación y control

En la automatización de cualquier sistema se hace indispensable la correcta utilización de la instrumentación, tanto para la captación de las señales como para el control del proceso.

1.2.1 Sensores y actuadores

Los sensores son instrumentos utilizados para la detección y medición de magnitudes físicas y se basan en fenómenos físicos para obtener señales que pueden ser medidas en voltajes o corrientes. Comúnmente producen una señal eléctrica, que refleja el valor de una propiedad, mediante alguna correlación definida por ejemplo: su ganancia (Gómez et al., 2007).

Las especificaciones de un sensor son dadas en manuales por el fabricante en cuanto se adquiere el instrumento. Existen varios tipos de señales de transmisión, como son: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas. Siendo las tres primeras las más empleadas actualmente en la industria.

Los emisores electrónicos generan la señal estándar de 4-20 mA, a distancias de 200 m a 1000 m, según sea el tipo de instrumento transmisor. Esta señal tiene un nivel suficiente de responsabilidad entre la distancia de transmisión y la robustez del equipo. Al ser continua y no alterna, elimina la posibilidad de captar perturbaciones (Creus, 2010).

La presión es definida como una fuerza por unidad de superficie que un material ejerce sobre otro. Las unidades de medida de la presión son: Newton por metro cuadrado (N/m2), Bar (bar) o Pascal (Pa). Los sensores de presión normalmente constan de dos partes: la primera convierte la presión en una fuerza o desplazamiento, y la segunda convierte la fuerza o desplazamiento en una señal eléctrica (Butcher et al., 2006).

Los sensores de caudal miden la cantidad de material que pasa por un punto en cierto tiempo. Se considerará solo flujos de líquidos o gases fluyendo en una tubería o en un canal abierto. Los sensores de caudal pueden ser de varios tipos, los que se basan en presión diferencial, aquellos que accionan un dispositivo mecánico y otro grupo de sensores que emplean tecnología más sofisticada (Creus, 2010).

Los sensores de nivel de líquido, miden la altura de un líquido en un recipiente, se pueden clasificar en dos categorías: discretos y continuos. Los sensores de nivel discretos solo

pueden detectar si el líquido está a un determinado nivel, mientras que los continuos dan una señal que es proporcional al nivel (Kamp, 2008).

Según (Vázquez, 2011) los analizadores de redes eléctricas son instrumentos que permiten examinar la calidad del suministro de la energía eléctrica. Además, son capaces de medir sus principales parámetros, visualizarlos y transmitirlos por diferentes vías de comunicación.

El actuador es el dispositivo que realiza la regulación del fluido en un proceso químico. Teniendo en cuenta el desarrollo tecnológico en este campo estos elementos se pueden dividir en dos grandes grupos: regulación con válvulas y regulación con variadores.

La válvula realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el caudal de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable. El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Esta unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor (Creus, 2010).

Un servomotor es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición (Sepúlveda, 2012).

1.2.2 Autómatas programables

Un controlador lógico programable es una forma especial de control basado en un microprocesador que utiliza memoria programable para almacenar instrucciones y ejecutar funciones tales como lógica, secuenciación, contar y aritmética con el fin de controlar las máquinas y procesos (Figura 1.2) (Bolton, 2009).

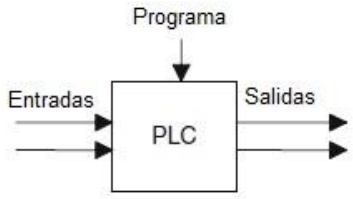


Figura 1.2. Controlador lógico programable.

Los PLC son similares a las computadoras, pero mientras que los ordenadores están optimizados para tareas de cálculo y visualización, estos están optimizados para tareas de control y para el medio ambiente industrial, son resistentes y diseñados para soportar vibraciones, variaciones de temperatura, humedad y ruido.

Normalmente, un sistema de PLC tiene los componentes funcionales básicos de la unidad de procesador, memoria, unidad de fuente de alimentación, la sección de interfaz de entrada/salida, interfaz de comunicaciones, y el dispositivo de programación.

La unidad central de procesamiento (CPU) es la unidad que contiene el microprocesador. Esta unidad interpreta las señales de entrada y lleva a cabo las acciones de control de acuerdo con el programa almacenado en su memoria, la comunicación de las decisiones como señales de acción a las salidas (Jack, 2005; Izaguirre, 2008).

La unidad de programación se utiliza para introducir el programa deseado en la memoria del procesador. El programa se desarrolla en el dispositivo y luego es trasladado a la unidad de memoria del PLC.

La unidad de memoria es donde se almacenan los siguientes tipos de información: el programa de usuario, la tabla de datos y el programa del sistema. Cada autómata divide su memoria haciendo subdivisiones específicas según el modelo y fabricante (Collins, 2007).

En las secciones de entrada y de salida es donde el procesador recibe información de los dispositivos externos y comunica la información a los dispositivos externos. Las entradas pueden ser de interruptores o de sensores tales como sensores de temperatura, sensores de flujo, entre otros. Las salidas pueden ser las bobinas del motor de arranque, válvulas de solenoide, entre otros (Jack, 2005; Izaguirre, 2008).

La interfaz de comunicaciones se utiliza para recibir y transmitir datos en redes de comunicación desde o hacia otros PLC remotos.

Son varias las compañías que han alcanzado un alto desarrollo en la producción y comercialización de PLC en el mundo a lo largo de estas cinco décadas de historia. En nuestro país se trabaja con autómatas de varias de estas compañías. En la tabla 1.1 se relacionan las principales compañías y su PLC líder en el mercado mundial (Jack, 2005; Izaguirre, 2008; Collins, 2007).

Tabla 1.1. Principales fabricantes de autómatas programables.

Compañía	PLC	País productor
Schneider Electric Telemecanique	TSX	Francia
Siemens	S7	Alemania
OMRON	CPL	Japón
LG /LS	MK	Corea del Sur
ABB	AC	Estados Unidos
Mitsubishi	FX	Japón
Allen Bradley	SLC	Estados Unidos

1.3 Las comunicaciones industriales

Las comunicaciones desempeñan una función de primordial importancia en la implantación de los modernos sistemas de automatización industrial. Esta función es vital para aquellas empresas cuyas operaciones se encuentran dispersas geográficamente, como es el caso de los sistemas de distribución de energía eléctrica, los sistemas de abasto de agua, la supervisión y control de instalaciones petroleras, patios de tanques, poliductos, refinerías, industria fabril, entre otros (Serbiula, 2013).

La red de comunicaciones generalmente es una red extensa geográficamente y es la encargada de transportar toda la información que se produce en el campo y todos los comandos que se generan en el centro de control; es simplemente un medio de transmisión.

Un sistema electrónico de comunicaciones está compuesto por tres elementos principales como se muestra en la figura 1.3: un transmisor, un medio de transmisión y un receptor.

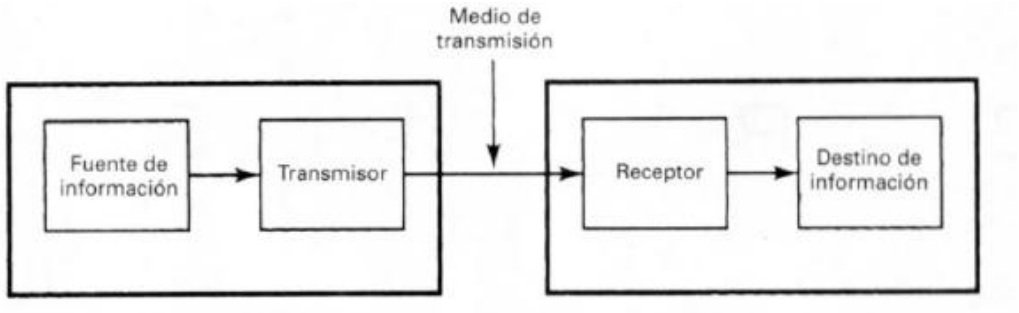


Figura 1.3 Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas.

La información que se transmite entre el receptor y el emisor debe adaptarse al canal de transmisión. Ello implica la necesidad de disponer de un soporte adecuado a través del cual pueda viajar la información. Los sistemas de comunicaciones actuales utilizan básicamente dos tipos de soporte, lo que permite a (Tomasi, 2003) hablar de dos clases diferentes de comunicación:

- **Comunicación alámbrica**: También llamada comunicación por cable, pues tiene lugar a través de líneas o cables (tradicionalmente de cobre) que unen al emisor y al receptor. La información se transmite mediante impulsos eléctricos.
- **Comunicación inalámbrica**: En este caso el soporte material a través del cual tiene lugar la comunicación es el propio espacio, y concretamente en la atmósfera terrestre, el aire. La información se transmite mediante ondas de radio.

1.3.1 Comunicación GSM/GPRS

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de las ondas electromagnéticas para enviar señales a través de largas distancias. Esta transferencia de información, lograda a través de la emisión de ondas de radio, permite tener como grandes ventajas la movilidad y la flexibilidad del sistema en general, además de la reducción de los costos de implementar una infraestructura cableada (Cai and Goodman, 1997).

Actualmente las transmisiones inalámbricas constituyen una eficaz y poderosa herramienta que permite la transferencia de voz, datos y video, sin la necesidad de utilizar cables para establecer la conexión.

Las comunicaciones inalámbricas abren en la industria nuevas posibilidades para automatizar de forma particularmente flexible y eficiente, ya sea para GSM/GPRS, IWLAN o WirelessHART (Manivannan and Kumaresan, 2010).

El sistema GPRS (*General Packet Radio Service* o Servicio General de Paquetes vía Radio) es una tecnología que comparte el rango de frecuencias de la red GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles) utilizando una transmisión de datos por medio de “paquetes”. Surgió debido, en parte, a que las tradicionales redes GSM no se adaptan adecuadamente a las necesidades de transmisión de datos con terminales móviles. Por ello aparece una nueva tecnología portadora, denominada GPRS, que unifica el mundo IP con el

mundo de la telefonía móvil, creándose toda una red paralela a la red GSM y orientada exclusivamente a la transmisión de datos. Así al sistema GPRS se le conoce también como GSM-IP pues usa la tecnología IP para acceder directamente a los proveedores de contenidos de Internet (Cai and Goodman, 1997; Manivannan and Kumaresan, 2010).

Una ventaja de la tecnología GPRS es que proporciona velocidades de transferencia de datos superiores, la velocidad de trasmisión de datos es de 115,000 kbps. La tecnología utilizada permite compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red. El pago de este servicio es por cantidad de información transmitida, no por tiempo de conexión (Manivannan and Kumaresan, 2010).

1.3.2 Protocolo de comunicación Modbus

Modbus es un protocolo de transmisión desarrollado por la Gould Modicon (ahora AEG Schneider Automation) para sistemas de control y supervisión de procesos con control centralizado. Utilizando este protocolo, una Estación Maestra (MTU) puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. El protocolo Modbus es muy utilizado en la industria en una gran variedad de sistemas SCADA (Gómez et al., 2007).

En Modbus los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión: en Modo RTU y en Modo ASCII. El Modo RTU, algunas veces denominado Modbus-B (Modbus Binario) es el tipo más común. En el Modo ASCII los mensajes generalmente son de duración casi del doble que en el modo de transmisión RTU (Gaviño, 2000; Serbiula, 2013).

1.4 Supervisores empleados en las redes de abasto de agua

Debido al desarrollo científico, se impone la necesidad actualmente del empleo de nuevas tecnologías automáticas que garanticen el buen funcionamiento de las infraestructuras hidráulicas de cualquier ciudad. Frente al incremento de información y de variables, así como la necesidad de contar con alarmas y datos históricos se utilizan mucho los supervisores en los acueductos. Esto garantiza al operador gran ayuda en sus tareas de vigilancia y supervisión, además de tener el control de la planta desde la estación central.

1.4.1 Introducción a las sistemas de abasto de agua

Un sistema de abastecimiento de agua es un conjunto de obras de ingeniería relacionadas entre sí, que permiten conducir el preciado líquido desde un lugar de almacenamiento hasta las viviendas de los habitantes de una ciudad o un pueblo.

Estos sistemas constan de diversos componentes para la captación, conducción, potabilización, desinfección, regulación y distribución. Para cada uno de ellos se construyen las obras necesarias para que sus objetivos particulares sean alcanzados de forma satisfactoria (CONAGUA, 2003).

La captación se refiere a la toma del agua en las posibles fuentes; la conducción al transporte del recurso hasta el punto de entrega para su disposición posterior; la regulación tiene por objeto transformar el régimen de suministro del agua proveniente de la fuente, que generalmente es constante, en régimen de demanda variable que requiere la población; y el objetivo de la distribución es servirla en el domicilio de los usuarios, con las presiones adecuadas para los usos residenciales e industriales normales (UNESCO and FAO, 2009).

1.4.1.1 Situación de los recursos hídricos a nivel mundial

El desarrollo de la población mundial en las últimas décadas, marcado por la expansión demográfica, la contaminación y la deficiente gestión de los recursos naturales, vaticina una situación de escasez global sin precedentes de recursos tan indispensables para la vida como el agua dulce.

Como plantean (MIMAM, 2007), para el año 2025 poco más del 25% de la población vivirá con una deplorable escasez de agua, mientras que el acceso al agua potable en la actualidad se encuentra entre el 20 y el 25% de las personas. Se conoce que carecen de infraestructura hidráulicas de saneamiento dos de cada cinco personas en el planeta.

Según los últimos datos ofrecidos por la ONU, solo el 2.5% del agua del planeta es dulce y disponible para el consumo. La explotación excesiva de este recurso está provocando problemas a escala mundial, porque el agua disponible para el consumo humano ha disminuido en un 37% en los últimos 30 años (ONU/WWAP, 2009).

Se prevé que en el 2030 el 67% de la población mundial carecerá de los servicios adecuados de saneamiento, actualmente África Subsahariana cuenta con 500 millones de

personas que carecen de servicios de saneamiento adecuados, mientras que 340 millones de ellos no tienen acceso a agua potable segura (ONU/WWAP, 2009).

Según se expresó en el Ministerio del Medio Ambiente de España (MIMAM, 2007) en el 2007, la situación mundial del agua es alarmante, principalmente en los países del tercer mundo, pero detrás de las estadísticas están los millones de seres humanos cuyo difícil acceso a una necesidad básica como el agua trunca sus posibilidades de desarrollo y progreso.

El 80% de las enfermedades que azotan a los países que se encuentran en desarrollo están vinculadas con el agua y causan la muerte prematura de unos tres millones de personas. La diarrea mata diariamente en el mundo a unos 5000 niños. Según un informe de (Domenech, 2008) el 10% de las enfermedades del planeta podrían evitarse con la mejora del abastecimiento de agua, los servicios de saneamiento, la higiene y la gestión de los recursos hídricos.

Entre 5 y 10 millones de personas mueren cada año por enfermedades causadas por el agua, de ellos 1.8 millones son niños, convirtiendo este problema en la segunda causa de mortalidad infantil a inicios de este siglo (PNUMA, 2003).

Un informe, presentado en conjunto por 24 agencias que forman parte de Naciones Unidas considera que la superpoblación, el cambio climático y la expansión de la agricultura están agotando las fuentes hídricas del planeta. Con 263 cuencas y lagos transfronterizos de todo el planeta, que extienden sus recursos a lo largo de 145 países. Por ello, la ONU ha querido manifestar la necesidad de crear una unión entre ellos para que no existan guerras por el agua, como existen hoy en día por el petróleo (Marín, 1996).

En la región de América Latina y el Caribe el tema del agua es de especial importancia para el desarrollo. A pesar de contar con un 30% de los recursos hídricos del planeta, la distribución de la población con respecto a estos recursos es muy irregular e inequitativa. La mayoría de los segmentos de la población latinoamericana y caribeña viven en áreas donde el agua escasea o está contaminada. A pesar de que el 86% de la población de la esta región tiene acceso a una fuente de agua potable, sólo un 49% tiene acceso a un servicio de saneamiento (OMS/UNICEF, 2010).

Como ejemplo de la situación general en América Latina y el Caribe, se puede señalar que 4 de las 218 cuencas de México reciben el 50% de las aguas residuales generadas en el país y que en Colombia no más del 5% de los 1.155 concejos somete a algún tipo de tratamiento a las aguas residuales antes de su eliminación (Paretas et al., 2005).

En el año 2010 el 94% de la población de Ecuador tenía cobertura del agua potable, mientras que el 92% tenía servicio de saneamiento. Sin embargo solo el 45% de sus habitantes poseían servicio adecuado de alcantarillado (Domenech, 2008).

1.4.1.2 Situación de los recursos hídricos en Cuba

Antes del Triunfo de la Revolución en el año 1959, en el país existían 13 pequeños embalses, dedicados principalmente al riego de la caña y al abastecimiento de la población, con una capacidad de 48 millones de metros cúbicos de agua. El 48% de los núcleos urbanos de abastecimiento a la población contaban con acueducto, por lo que tenían acceso al agua por tubería 3.3 millones de habitantes. El agua proporcionada por esos acueductos se estimaba en 200 millones de metros cúbicos por año, y era potabilizada aproximadamente sólo la mitad de esta (Paretas et al., 2005).

En las áreas rurales del país estos servicios eran desconocidos por la población y no aparecían en los planes de trabajo de la época. Los altos indicadores de hambre y desnutrición, de muertes de niños al nacer o poco tiempo después, y la poca esperanza de vida para la población adulta (alrededor de cincuenta años), se asociaban comúnmente a la falta de calidad del agua y a la falta de saneamiento (Casanova, 2008).

Después del triunfo revolucionario el país sufrió las intensas sequías de los años 1961 y 1962 que afectaron al sector agropecuario, principal sostén económico del país. Un año después ocurrió el desastre del ciclón Flora, evento considerado hasta hoy como la mayor catástrofe natural que ha azotado a Cuba. A partir de ese momento se decide impulsar la idea de la voluntad hidráulica en nuestro país hasta la actualidad (Zulueta, 2007).

Los recursos hidráulicos potenciales de la isla se valoran en un total de 38.1 Km cúbicos, de ellos: 6.4 subterráneos en 165 unidades hidrogeológicas y 31.7 superficiales en 632 cuencas hidrográficas. Por su parte, los recursos hidráulicos aprovechables se evalúan en alrededor de 24 Km cúbicos anuales, el 75% corresponde a las aguas superficiales y el 25% a las subterráneas (Casanova, 2008).

En Cuba, como en el resto del mundo, es necesario emplear un conjunto de mecanismos e instrumentos que garanticen la administración y el uso racional del agua como: su conservación, mejoramiento, rehabilitación, monitoreo y control de la actividad del hombre. El 57% de los recursos hídricos son aprovechables. La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el suministro suficiente de agua a la población se logrará ajustando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua (Paretas et al., 2005).

1.4.1.3 Infraestructuras hidráulicas de Cuba

La infraestructura hidráulica actual consta de poco más de 240 embalses administrados por el INRH, y almacena en su conjunto más de 9000 millones de metros cúbicos. A esto se unen 730 micropresas, 759.63 Km de canales y 8 grandes estaciones de bombeo. Casi el 96% de la población cubana tiene acceso al agua potable y el 95% tiene garantía de saneamiento. El 90% del agua debe ser bombeada hacia su destino, razón por la cual se hace necesaria la rehabilitación de estaciones de bombeo para ahorrar energía, así como la renovación de las redes conductoras en las cabeceras provinciales para eliminar las perdidas por salideros (Casanova, 2008).

El país cuenta con casi 19 000 Km de tuberías (entre redes y conductoras) y 2.6 millones de conexiones intradomiciliarias, además, se somete a potabilización el 97.4% del total del agua suministrada. Se cuenta también con 875 acueductos en el sector urbano y 1 849 en el sector rural (Valencia, 1997).

1.4.2 Automatización de las redes de abasto de agua

La automatización de las redes de abastecimiento de agua se emplea en varios países del mundo, la mayoría de ellos con un gran desarrollo en la hidráulica y en la automática.

Esta automatización se lleva a cabo fundamentalmente con Sistemas Digitales, porque permiten el control y la adquisición de datos. Los Sistemas Digitales se agrupan en tres categorías: Sistemas de Control Distribuidos, Sistemas a base de Autómatas Programables y PC, y Sistemas SCADA (Ruíz, 2001).

1.4.2.1 SCADA empleados a nivel mundial

Desde 1993 la ciudad de Valencia dispone en su red de abastecimiento de agua de herramientas de gestión y almacenamiento de datos, como el Sistema Información Geográfica (SIG) que contiene los datos de todos los elementos que constituyen las redes de agua potable, y posteriormente con un SCADA que permite controlar desde un puesto central la operación diaria del sistema hidráulico (Pla et al., 2009).

En Tarragona, provincia que pertenece a Cataluña, se realizó un proyecto para controlar de forma automática el bombeo de agua al municipio de Vinebre. El sistema consta de dos PLC y un SCADA (Pla et al., 2009).

En la capital de la comarca española de El Bierzo, llamada Bembibre, se desarrolló un proyecto en el que se implementa un sistema SCADA para gestionar las instalaciones de la red de abastecimiento de agua de dicho pueblo. Por medio del envío de mensajería a los gestores del sistema se informa del funcionamiento y de las anomalías del sistema en tiempo real (Ferro, 2008).

En España se han implementado sistemas de gestión, operación y control del recurso hídrico en la Red de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de la ciudad de Santander y en algunas localidades de Cataluña desarrollados por el grupo Aguas Barcelona (Villagómez and León, 2003).

En la ciudad ecuatoriana de Sangolquí también se realizó un proyecto de automatización para controlar y monitorear la crecida de ríos para plantas hidroeléctricas, basado en equipamiento TBox RTU y software SCADA TView (Cueto and Rivas, 2003).

En Colombia se realizó la automatización del Centro de Control del Acueducto de Bogotá, uno de los más importantes en Latinoamérica. Se requería un centro de control de acueducto y alcantarillado para atender las necesidades de servicio de ocho millones de habitantes, tener disponibilidad inmediata de las variables de operación y consumo de energía del sistema red matriz de acueducto y alcantarillado. Además se necesitaba la automatización de las diferentes estaciones componentes de los sistemas de la red matriz para la optimización de la operación, la disminución de la vulnerabilidad en la operación del sistema de acueducto y alcantarillado y la detección y registro inmediato de fallas en los

componentes de los sistemas para una atención oportuna sin afectar continuidad del servicio (Gutiérrez, 2008).

En Ecuador se desarrolló un proyecto para supervisar y controlar el abastecimiento de agua en la provincia de Pinchincha llamado Proyecto Mica-Quito Sur, en el que se utilizó el software propietario *Factory Suite* 2000 (Guachamin, 2011).

En el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (Colombia), se implementó un sistema SCADA para mejorar la calidad del agua de esta ciudad, manejando variables en las plantas de tratamiento para la potabilización (López and Machuca, 2011).

El sistema "El Falconiano" abastece de agua a la región Centro Norte del estado Falcón, a las refinerías de petróleo más importantes de Venezuela y a nuevos proyectos industriales y turísticos. Este sistema posee supervisión, control y adquisición de datos mediante un sistema SCADA (Cruz, 2013).

1.4.2.2 SCADA empleados en Cuba

En la red de abasto y distribución de agua potable Troncoso, perteneciente al municipio de Pinar del Río, se instaló un sistema de control con autómatas programables y un supervisor en la estación central, para garantizar el monitoreo constante de las variables del sistema (CMKC-Radio-Revolución, 2011; Vega, 2004).

En La Habana y en la ciudad de Varadero se emplean sistemas SCADA en las redes de abastecimiento de agua, garantizando el monitoreo en tiempo real de las variables, lo que permite mayor estabilidad en la entrega del líquido (Piña, 2009).

En la ciudad de Santiago de Cuba se comenzó a realizar un proyecto para automatizar todo el sistema de abastecimiento de agua, lo que permitirá mayor eficiencia en la reparación de las averías, la disminución en los tiempos de mantenimiento, así como una mejor gestión en el ahorro y uso racional del agua, de gran necesidad por el gran gasto y derroche que existe. Así estos trabajos harán posible la medición y el control de los parámetros del sistema hidráulico del acueducto, incluyendo las conductoras provenientes de las presas de Quintero, Parada y los pozos de San Juan. También contará con un sistema de supervisión que instalado en el otrora pozo de Santa Ana registrará todas las operaciones de la red de abastecimiento de agua de la ciudad (CMKC-Radio-Revolución, 2011).

Los trabajos de automatización en el sistema Parada servirán como prueba de la tecnología a emplear en el acueducto, y como referencia cuando se extienda a los sistemas Quintero y San Juan. Este proyecto tiene como antecedentes el sistema automatizado que existe en Varadero, pero se diferencia en el empleo de una tecnología inalámbrica GPRS, que por primera vez se explota en Cuba, y tiene como beneficio no utilizar tantos componentes como el que existe en el bello balneario cubano. Todo ello reduce los costos por concepto de mantenimiento, y al no poseer antena de transmisión, es menos vulnerable a los fenómenos naturales como los ciclones y los terremotos (Vega, 2004).

En el año 2011 se elaboró un proyecto en la empresa COPEXTEL que responde a la "Automatización del sistema de abasto Cayería Norte Villa Clara" presentada por la empresa de Investigación y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara. El alcance del sistema propuesto abarca la rehabilitación de una estación de bombeo, la automatización de la base de tanques de Cayo Santa María, la medición de presión en los puntos seleccionados de la conductora de agua, y la medición de caudal y consumo de agua en la entrada de cada uno de los usuarios, todo tiene incluido automatización local y supervisión y control a larga distancia. Se prevé que el puesto de mando esté ubicado en la base de tanques del cayo, enlazado empleando una red inalámbrica GSM/GPRS con todos los autómatas, y está concebido de manera que cada PLC pueda trabajar de manera autónoma, aún si falla el enlace con el puesto de mando (Coca, 2012).

1.5 Alternativas libres de software SCADA

Para la implementación y creación de los sistemas SCADA, se desarrollan software que presentan las herramientas necesarias a emplear por los usuarios en su propio sistema. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones desarrolladas son de tipo propietario, por lo que la licencia para su ejecución y los módulos para tareas específicas tienen un elevado costo (Piña, 2009). Además, son aplicaciones cerradas, es decir no se puede modificar su código fuente, en caso de que sea necesario realizar una adaptación al sistema.

Con el objetivo de desarrollar aplicaciones que tengan un uso de forma libre y gratuita, se han implementado software de código abierto y distribución libre para la creación de sistemas SCADA. Muchos países tienen como tarea desarrollar sistemas SCADA con

software de distribución libre, y cuyo código puede ser modificado por cualquier persona, de acuerdo a sus necesidades.

1.5.1 Principales software SCADA implementados en plataforma libre

Hasta el momento no existen muchas alternativas libres para sistemas SCADA, y entre ellas, la mayoría se encuentra aún en desarrollo, pero sin duda el campo de la automatización industrial es de interés para el mercado del software libre (Sancho, 2012).

De los supervisores implementados en plataforma libre, los más utilizados son:

- Agregate
- Argos
- EclipseSCADA
- FreeSCADA
- LinTouch
- Linux PRIMS SCADA
- mySCADA
- OpenSCADA
- Proview
- PVBrowser
- ScadaBR
- Vista

1.5.2 Ejemplos de SCADA implementados en plataforma libre

El SCADA Argos fue diseñado como alternativa en el área de automatización industrial, basado en herramientas de software libre, para que pudiera ser utilizado, estudiado y modificado por las distintas comunidades desarrolladoras de software, siguiendo la filosofía de los proyectos de código abierto. Este SCADA ha sido empleado en el proyecto "Guardián del ALBA" de Venezuela, tanto en aplicaciones de extracción de petróleo como en el abastecimiento de agua (Velázquez and Custodio, 2011).

En Costa Rica se desarrolló un supervisor en software libre con varias posibilidades de uso a nivel nacional. Se decidió implementar el SCADA desde cero antes de buscar uno de los ya existentes porque algunos de ellos fueron creados para fines específicos y otros todavía

se encuentran en desarrollo. De esta forma el software tendría las características que consideren necesarias (Nieto et al., 2012).

Según (Velázquez and Custodio, 2011) en Venezuela se diseñó el sistema SCADA AGUA, utilizando herramientas basadas en software libre como son los programas: HTML, PHP, JAVA, MYSQL, a fin de que éste operara bajo los sistemas operativos Windows y Linux. Este proyecto, propuesto por el Centro de Instrumentación y Control de la Unexpo de Puerto Ordaz, se hizo para optimizar el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales del país.

En la UCI se desarrolla un software SCADA basado en los principios de software libre que integra las funcionalidades de alto nivel, permitiendo la solución de aplicaciones de supervisión y control de procesos, y utilizando para ello una arquitectura distribuida de módulos para escalar a aplicaciones de gran envergadura. Por estas razones se están adaptando los componentes de la primera versión del software para que pueda ser instalado en el Instituto de Meteorología y en la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA), pensando que en un futuro pueda ser empleado por otras empresas del país, entre ellas las de acueductos y alcantarillados (Nieto et al., 2012).

1.5.3 Características de software SCADA implementados en plataforma libre

Para la selección del software SCADA que se va utilizar en el proyecto se tienen en cuenta los software que se describen a continuación, puntualizando las características fundamentales de cada uno de ellos.

1.5.3.1 OpenSCADA

Este software tiene una arquitectura modular y se puede usar en aplicaciones con modelos dinámicos a tiempo real. El control de usuario presenta un soporte web. El lenguaje de programación que se utiliza es C++, y puede tener una integración con otras aplicaciones como Java.

Consta con procesamiento de datos y la funcionalidad de los informes se basa en la visualización y control de las zonas controladas mediante datos. La generación de los informes está basada en las tecnologías web.

Presenta los protocolos de comunicación Modbus, OPC UA y otros específicos como el S7 que está dirigido a la compañía Siemens.

Las alarmas y su procesamiento se implementa en dos formas: por su uso, o por su naturaleza. La primera parte de las alarmas, trabaja mediante el principio de las notificaciones de varias maneras. Dado que la notificación es parte de la interfaz de visualización. Las notificaciones y alarmas se implementan con las siguientes funciones:

- Notificación mediante una luz, un sonido o un bip.
- Termino de la notificación de alarma: completa, mediante el objeto de alarma, por la forma de la notificación o alternativamente con la escucha.

La notificación y el registro de alarmas son diferentes mecanismos que se pueden utilizar individualmente para proyectos simples, o juntos en grandes proyectos.

La formación de la presentación visual puede realizarse en tres niveles de complejidad y el usuario puede seleccionar cualquiera de ellos, en función del nivel de sus conocimientos y la disponibilidad de bibliotecas con imágenes y plantillas ya preparadas (Savochenko and Lysenko, 2011).

1.5.3.2 Proview

Proview es el único sistema de control en el mercado que puede funcionar de una manera verdaderamente orientado a objetos. La programación puede hacerse de una manera tradicional, con bloques de funciones simples y señales simples. Aunque cuenta con el apoyo para la creación de objetos complejos y objetos funcionales que trabajan en ellos, cuenta también con el apoyo de conceptos tales como la herencia, los métodos y los agregados que están orientados a objetos.

Se comunica con otros ordenadores, tanto a través de la red de Ethernet como a través de los mecanismos de serie. Es compatible con los protocolos UDP y TCP a través de Ethernet y Siemens 3964R. Los sistemas de E/S son Profibus/DP y Modbus TCP.

Algunos datos de la medición tiene que ser guardados para ver tendencias y cambios, o para ser capaz de volver y analizar el estado del proceso a un cierto punto de tiempo. El almacenamiento puede variar de horas a varios años. El almacenamiento se hace en las estaciones del almacenamiento que tengan el espacio en disco suficiente para poder guardar

los datos para los períodos largos, y también tiene el apoyo de las funciones. Los históricos pueden alcanzar varios millones de valores.

Las alarmas se dividen en niveles de prioridad y se despliegan en ese mismo orden de prioridad. La alarma estará prevaleciendo si la condición de la alarma todavía se cumple. En Proview hay objetos de vigilancia especiales que dirigen los signos y genera las alarmas. Estas alarmas se agrupan en cuatro niveles de prioridad: A (rojo), B (amarillo), C (azul) y D (violeta), dónde A es la más alta prioridad y D la más baja.

Los eventos se generan de la misma manera que las alarmas, por los objetos de vigilancia. La activación de una alarma se cuenta como un evento, como es el retorno del estado de la alarma y el reconocimiento de la alarma. Estos eventos se guardan en una lista de eventos que contiene los últimos eventos (Györgyi et al., 2012).

1.5.3.3 EclipseSCADA

La configuración se realiza con el editor de XML Eclipse o cualquier otro editor XML. Consta con un cliente de prueba llamada OSTC, el cual tiene como propósito ayudar a las pruebas y la realización de tareas genéricas.

Presenta un "Servidor Exec" que es una aplicación que proporciona datos basados en diferentes *shell, scripts* y aplicaciones de línea de comandos. Los procesos pueden ser iniciados en distintas variaciones y el resultado (por ejemplo, flujo de salida estándar o código de retorno) es extraído y proporcionado como datos.

El "Servidor Principal", es un contenedor configurado con varios paquetes que proporcionan funcionalidades comunes de los SCADA. Se puede agregar, quitar, actualizar y volver a configurar en la marcha según sea necesario.

Las diferentes interfaces de Eclipse OpenSCADA pueden ser accedidas usando diferentes conexiones y adaptadores. Esto asegura una mayor portabilidad a través de distintos sistemas e idiomas de programación. Cada interfaz funcional (por ejemplo, acceso a datos) tiene un lenguaje de programación específico (interfaz) y una conexión específica.

Los datos de las alarmas y de los eventos se almacenan en una base de datos local. La copia de seguridad de estos datos depende de la base de datos qué se eligió durante la fase de configuración. Este sistema de alarmas y de eventos maneja las alarmas del proceso, las

acciones del operador, respuestas generadas por el sistema, mensajes informativos, mensajes de auditoría. El almacenamiento de datos es de forma abstraída y está basado en un sistema de archivos disponible (Reimann, 2013).

1.5.3.4 Argos

Tiene incluido un emulador basado en mini-consola que se comunica a través de Modbus TCP, lo que permite desarrollar y probar el sistema SCADA sin conectarse a un instrumento de campo.

Presenta procesos de comunicación en dependencia del dispositivo o grupo de dispositivos que se pretenda emplear, todos los administradores se configuran a través de un archivo XML. Admite la comunicación mediante los protocolos: Allen Bradley (Ethernet/IP), UDP Simple y Modbus TCP.

Cuenta con un proceso encargado de agrupar todas las variables y alarmas en unidades de ingeniería, muestreando todos y cada uno de los datos recibidos. La configuración de este proceso se hace a través de varios archivos XML.

El HMI se configura utilizando la herramienta de programación gráfica "Interfargos", esta aplicación está basada en Fluid de FLTK, y está siendo reescrita para ser utilizada como interfaz de programación y configuración para el SCADA Argos. Las variables para animar los componentes gráficos son configuradas a través de los archivos en XML (Piña, 2009).

1.6 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se puede arribar a las concusiones siguientes:

- La situación hidráulica en Cuba está bastante cerca de la situación a nivel mundial, y es más adecuada que la de América Latina y África.
- Los sistemas SCADA tienen una gran importancia en el manejo de los recursos hídricos, principalmente en las redes de abastecimiento de agua, ya que la emplean supervisores para la seguridad y fiabilidad de su sistema.
- Existe la necesidad de desarrollar aplicaciones SCADA sobre plataforma libre, para evitar gastos en licencias de sistemas operativos y de software supervisores.

CAPÍTULO 2. ARQUITECTURA DEL SCADA

En este capítulo se crea el sistema SCADA para la infraestructura hidráulica de la ciudad de Santa Clara. Primero se comienza con el estudio de la infraestructura hidráulica en la ciudad de Santa Clara, definiendo las estaciones que lo conforman y las variables que se miden en cada una de ellas. Se abordan los aspectos fundamentales del hardware encargado de la adquisición de los datos y la selección del sistema de comunicación a emplear. Luego se determina el software que se va a utilizar, así como sus características y las condiciones que debe cumplir el SCADA en su implementación. Posteriormente se describe la creación del supervisor.

2.1 Características de la infraestructura hidráulica de Santa Clara

La infraestructura de extracción y distribución de agua potable de la ciudad de Santa Clara está conformada por un sistema de tuberías de distintos diámetros, dos tanques de almacenamiento, cuatro estaciones de bombeo, tres plantas de tratamiento y una estación de rebombeo en el Jíbaro.

Las principales estaciones de bombeo son: Palmarito, Paso Bonito, Agabama y Minerva. Las plantas de tratamiento son Autopista, Cerro Calvo y Ochoíta.

La ciudad de Santa Clara cuenta con tres sistemas de abasto fundamentales como se muestra en la figura 2.1 (EPAA, 2013).

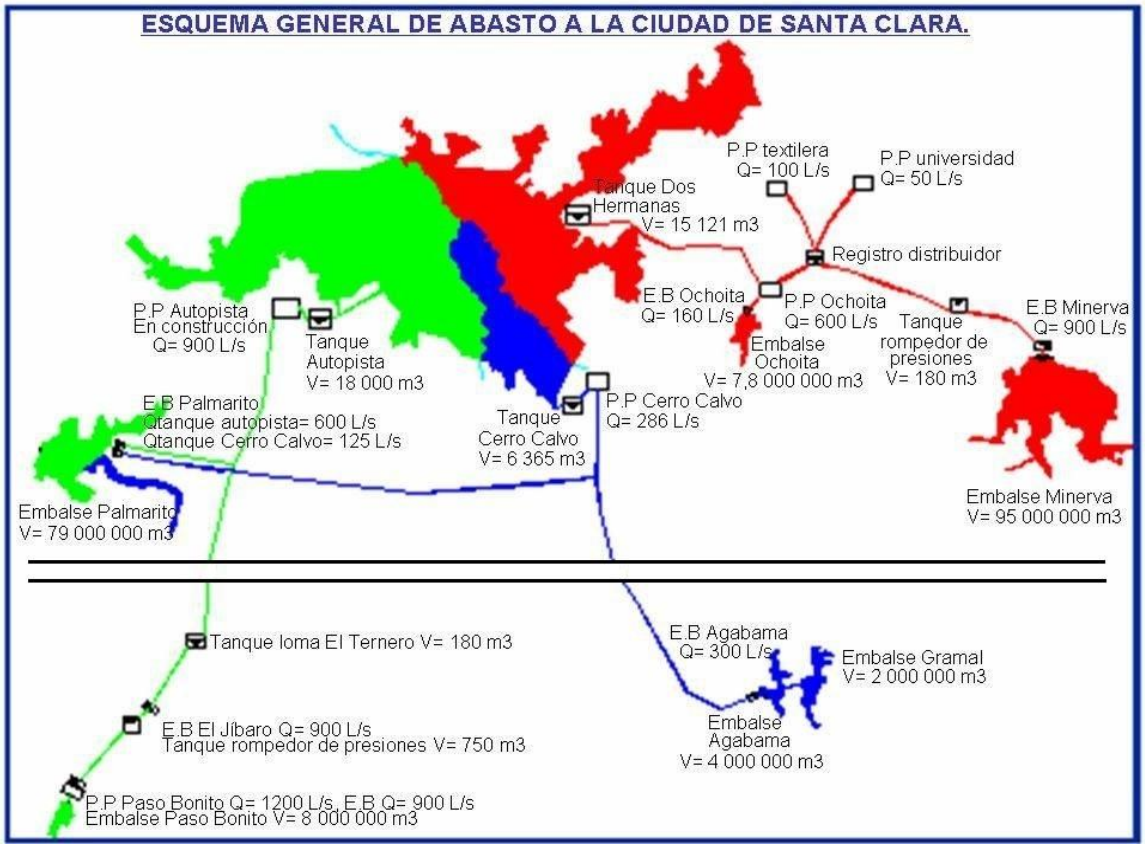


Figura 2.1. Esquema general de abasto a la ciudad de Santa Clara.

Sistema Hanabanilla (representado en verde): Se incorporó al abasto de la ciudad en 1965 con 300 l/s, más tarde en 1977 se culmina la obra con un caudal de extracción del embalse Paso Bonito de 900 l/s mediante una conductora de 900 mm de diámetro y 36 km de longitud. La incorporación de Palmarito a este sistema se realizó en el año 1999 con un caudal promedio de 450 l/s, para suplir el déficit de entrega. Este sistema abastece la zona industrial y los siguientes repartos: Carmen, Centro, Dobarganes, José Martí, Condado, Virginia y Vigía, el caudal actual de entrada a la ciudad mezclado con Palmarito entrando al Tanque de la Autopista.

Sistema Agabama – Gramal (representado en azul): Sus aguas son tratadas en la Planta Potabilizadora de Cerro Calvo, construida en el año 1951. Este embalse pierde fuerza en la temporada de sequía y por esta razón se instalaron dos bombas en el embalse Palmarito. El caudal de entrega promedio de Agabama es 250 l/s y el de Palmarito es 150 l/s. Este sistema satisface a los siguientes repartos: zona hospitalaria e industrial, la zona hospitalaria con una entrega diaria y el reparto Escambray con un ciclo de cuatro días.

Sistema Minerva-Ochoíta (representado en rojo): Este sistema se incorpora al sistema de abasto de agua en el año 1988, por el rebombeo de la Textilera y se amplía su uso a población en el año 1994 con la terminación de la Potabilizadora Ochoíta. El caudal promedio de entrada a la ciudad es de 550 l/s. Los repartos vinculados a este sistema son: Santa Catalina, Capiro, Libertad, Camacho, Reparto Universitario, Vocacional, Bengochea, Textilera y Universidad Central.

Sobre el esquema general señalar que la conductora entre los sistemas Hanabanilla y Agabama-Gramal dejo de prestar servicio producto de grandes averías y el tanque Dos Hermanas donde termina la conductora Minerva-Ochoíta nunca se llegó a construir.

2.1.1 Principales variables medidas en las estaciones

En las principales estaciones de bombeo y en las de re-bombeo se miden las variables de presión en la conductora, flujo de agua bombeado y los parámetros eléctricos de los motores. En estas estaciones hay instalados analizadores de red para visualizar los parámetros eléctricos de las bombas. En cada planta potabilizadora se mide el flujo de salida y la presión en la línea. En las estaciones tipo tanque de almacenamiento se mide en el nivel en el tanque, y en los registros distribuidores se muestra la situación de la válvula.

En la figura 2.2 se muestran las variables de la red de abastecimiento que van a ser monitoreadas por el sistema SCADA.

#	Lugar	Tipo	Instalado	P línea	Flujo	Nivel	PE motor	E Val
1	Paso Bonito	Estación Bombeo	4 Motor-Bomba	X	X		X	
2	El jibaro	Estación Re-Bombeo	3 Motor-Bomba	X	X		X	
3	Palmarito	Estación Bombeo	4 Motor-Bomba	X	X		X	
4	Autopista	Planta Potabilizadora		X	X			
		Tanque				X		
		Registro Distribuidor	2 Válvulas					X
5	Agabama	Estación Bombeo	4 Motor-Bomba	X	X		X	
6	Cerro Calvo	Planta Potabilizadora		X	X			
		Tanque				X		
7	Minerva	Estación Bombeo	8 Motor-Bomba	X	X		X	
		Registro Distribuidor	2 Válvulas					X
8	Ochoita	Planta Potabilizadora		X				
		Estación Bombeo	4 Motor-Bomba	X	X		X	
9	EPAA	Centro Control	SCADA					

Figura 2.2. Variables medidas en el sistema de acueducto.

2.2 Descripción del hardware del sistema

Todos los sensores a utilizar para la medición de las variables no eléctricas son de la firma Endress+Hauser. Esta firma tiene oficinas en Cuba desde la década del noventa y provee de instrumentos de medición a las principales empresas de automatización del país.

Los sensores para la medición de las variables eléctricas son los analizadores de red ya instalados en las diferentes estaciones, esto permite el aprovechamiento de la tecnología ya instalada, y la consecuente reducción de costos porque la empresa posee repuestos.

2.2.1 Sensores y actuadores a emplear

En la medición de presión se utiliza el sensor Cerabar M PMC41 comercializado por las diferentes empresas de automatización de la región central. La presión en cada línea debe estar alrededor de 7,2 bar por esta razón se selecciona un instrumento con un rango de 0-10 bar y salida analógica de 4-20 mA, con una precisión de 0,1% (Endress+Hauser, 2011a). En la figura 2.3 se muestra el sensor encargado de obtener los datos de la presión en la conductora y enviarlos al PLC.

Figura 2.3. Sensor de presión en la línea Cerabar M PMC41.

La medición del flujo se realiza con el sensor Promag 30F de 36 pulgadas de diámetro (Figura 2.4). Su gama es de 690 a 22902 m^3/h y se usa para medir un flujo nominal de 3240 m^3/h soportando una temperatura de trabajo de -40 °C a +130 °C. Presenta una salida de 4 a 20 mA y está equipado con una pantalla que permite que todas las variables importantes puedan ser leídas directamente en el punto de medición (Endress+Hauser, 2011b).

Figura 2.4. Sensor de flujo Promag 30F.

Para la medición del nivel de agua en los tanques se selecciona el sensor Deltapilot S DB53. Los equipos de esta familia sirven para la medición de nivel continuo en todos los líquidos y productos pastosos, pero la versión DB53 está específicamente diseñada para medir nivel en aguas y aguas residuales (Figura 2.5). Presenta una salida de 4 a 20 mA y está equipado con una pantalla que permite conocer el valor de las variables en el punto de medición. Este instrumento puede medir el nivel en tanques de hasta 5 metros de altura, para ello cuenta con una sonda ajustable de entre 1 y 5 metros (la altura de los dos tanques con que cuenta el sistema no excede de los 3 metros), además se le puede incorporar un dispositivo llamado F22 que le permite separar la sonda de medición del *display* a una distancia de hasta 200 metros e incorpora otro protocolo de comunicación como es el MODBUS PA (Endress+Hauser, 2010).

Figura 2.5. Sensor de nivel Deltapilot S DB53.

El equipo instalado para medir las variables eléctricas en cada una de las estaciones es el PowerLogic PM710MG de la firma *Schneider Electric*. Es un analizador de red trifásico con teclado de programación incorporado, y especialmente recomendado para visualizar las principales variables eléctricas. Presenta un modelo compacto disponible para montaje en carril DIN y está equipado con una gran pantalla de cristal líquido (LCD) con

retroiluminación. Puede mostrar hasta cinco líneas de información más una sexta fila de opciones de menú (Vázquez, 2011). En la Figura 2.6 se muestra el analizador de redes eléctricas.

Figura 2.6. Analizador de redes trifásico PowerLogic PM710MG.

Las especificaciones técnicas del fabricante son relacionadas a continuación:

Tabla 2.1. Formato de las variables eléctricas enviadas

Variables	Punto Decimal	Unidades de ingeniería
Potencia activa total	111.11	kW
Potencia reactiva total	111.11	kVAR
Factor de potencia total	111.11	-
Frecuencia	111.11	Hz
Intensidad, N	111.11	Amperio
Tensión, 1–N	111.11	Voltio
Tensión, 2–N	111.11	Voltio
Tensión, 3–N	111.11	Voltio
Potencia activa total Máximo	111.11	kW

En los registros distribuidores de la Autopista y de Minerva se colocan dos válvulas Singer para en cada caso para seleccionar el destino del agua que se bombea. Específicamente su utilizan válvulas de Bola Excéntrica API 6D de 36 pulgadas como se muestra en la siguiente figura que son empleadas en el petróleo, la química y el agua.

Figura 2.7. Válvula Singer de Bola Excéntrica API 6D de 36 pulgadas.

Una válvula de bola, conocida también como de "esfera", es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada. Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera. No ofrecen una regulación precisa al ser de ¼ de vuelta. Las válvulas de bola manuales pueden cerrarse rápidamente, lo que puede producir un golpe de ariete. Por ello y para evitar la acción humana pueden estar equipadas con un servomotor ya sea neumático, hidráulico o motorizado (Creus, 2010).

2.2.2 Autómatas programables a utilizar

En cada estación se encuentra un PLC TBox MS (*Modular System* o Sistema Modular) al que se conectan los sensores empleados para medir las variables, serían ocho en total. Este debe su nombre a que está constituido por *racks* sobre el que se insertan tarjetas de diferentes tipos, es decir es de concepción totalmente modular, pues dependiendo de las necesidades de comunicación y de entradas/salidas, se seleccionan los módulos requeridos. Los *racks* son hechos de un tipo especial de aluminio, dando una muy buena conductividad eléctrica y equipotencialidad. Hay cuatro modelos con 5, 10, 15 y 20 ranuras respectivamente (CSE-Semaphore-Inc., 2012; Bolton, 2009).

En los registros distribuidores de la Autopista y de Minerva se colocan dos autómatas TBox Lite LT-200-GE, ya que estos son más pequeños y cuentan solo con entradas y salidas digitales, por lo que son más baratos.

En la estación central se cuenta con un PLC TBox Gateway, al que se conectan los TBox MS y los TBox Lite de las estaciones. Este es un dispositivo avanzado de conversión de protocolo que ofrece un acceso inmediato a través de Internet a cualquier controlador local o dispositivo electrónico gracias a una solución rápida y sencilla para conectar múltiples dispositivos sobre múltiples protocolos y estándares de comunicación.

En la figura siguiente se pueden observar algunos PLC que pertenecen a la familia de los TBox fabricados por la compañía Semaphore.

Figura 2.8. Familia de los PLC TBox.

Con un puerto Ethernet más un puerto de serie RS232 y otro puerto de serie RS485, TBox Gateway es la opción más sólida para la conectividad universal entre los dispositivos y la sala de control.

La gama TBox Gateway está disponible con módem GSM/GPRS o con módem PSTN 56K, integra toda la potencia de TBox concentrada en un producto industrial compacto y ofrece una conectividad directa a través de Internet. Este producto también realiza el registro de datos inteligente, secuencias de alarma complejas y permite una sólida conectividad GSM/GPRS (CSE-Semaphore-Inc., 2012).

Este PLC sería la base fundamental del proyecto ya que presenta características especiales con respecto a los otros PLC. Primeramente se le configura la conexión con los autómatas de las estaciones y se le asigna un número de IP a cada uno, como si fuera una red, además del número telefónico que ya tienen con el uso de la línea. Presenta la opción de que

cuando se active una alarma (porque se le configuran los estados de alarma) manda un mensaje a los números telefónicos que se le indiquen y también avisa al supervisor.

2.3 Sistema de comunicación general

En la figura 2.9 se muestra el diseño de la red de transferencia de datos para el Sistema de Abasto a la ciudad de Santa Clara. Los sensores se conectan a los TBox MS mediante el protocolo de comunicación HART, mientras que los analizadores de red lo hacen mediante Modbus. Los PLC TBox MS y Lite de las estaciones se comunican con el TBox Gateway por la vía GSM/GPRS (el fabricante no da detalles del tamaño ni del tipo de trama de datos por seguridad del sistema), y este mediante Modbus con la computadora central.

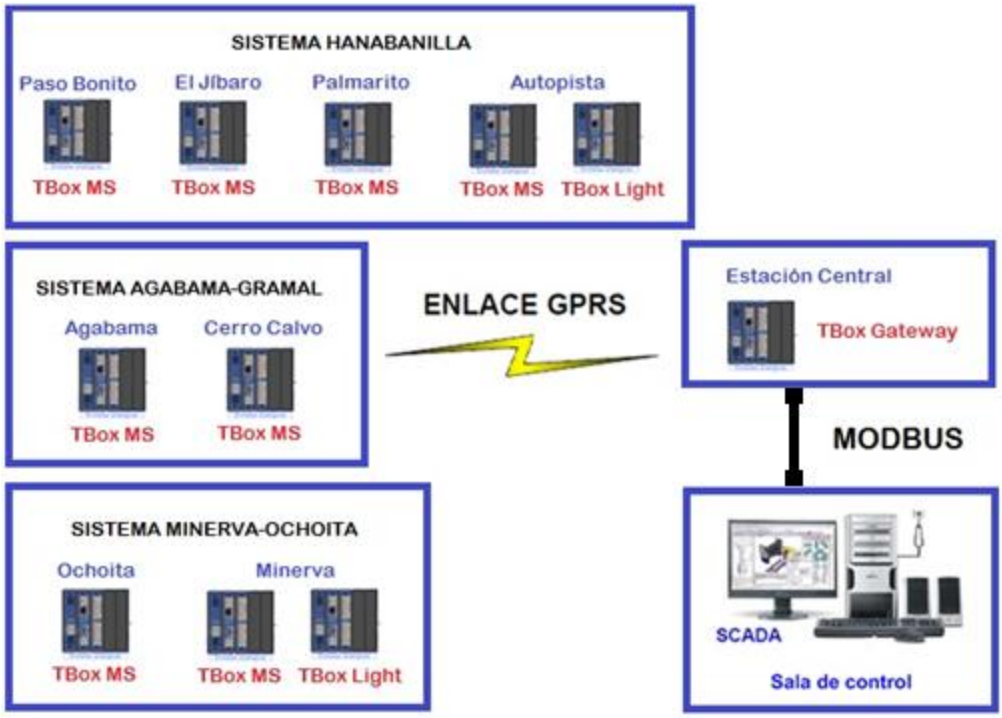


Figura 2.9. Arquitectura del sistema de automatización y esquema de comunicaciones.

Se determina emplear el protocolo Modbus para evitar pérdida de información, ya que no depende de redes de la empresa y es directo entre ambos dispositivos, a los cuales se le conectará una batería eléctrica para que en caso de fallar el fluido eléctrico se mantenga la transmisión de datos.

El sistema de gestión y supervisión SCADA será instalado en un equipo central de cómputo en la Sala de Control de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado. Este local deberá estar

climatizado y con una adecuada iluminación, comunicación telefónica, y estar previsto para trabajar las 24 horas del día, realizando la supervisión minuciosa de las infraestructuras de la ciudad de Santa Clara.

El servicio de transmisión de datos GPRS será a través de un proveedor de servicios, en este caso ETECSA, donde el cliente, que es la Empresa Provincial Acueducto y Alcantarillado de Villa Clara (EAAVC) pagará una cuota mensual según el tráfico de datos (el cual se estima esté por debajo de 15 MB, pagando como renta mensual 15 CUC).

2.4 Selección de la plataforma SCADA a emplear

Teniendo en cuenta los software SCADA implementados en plataforma libre que se analizaron en el epígrafe 1.5.3 del capítulo 1 (OpenSCADA, Proview, EclipseSCADA y Argos) se selecciona el OpenSCADA porque reúne las siguientes cualidades necesarias en la implementación de la aplicación:

- Admite los protocolos de comunicación Modbus y OPC UA.
- Lenguaje de programación C++, conocido por la mayoría de los expertos.
- La notificación de alarmas puede ser mediante luz, sonido o bip.
- La interfaz gráfica satisface las necesidades del proyecto.
- Presenta soporte web para la supervisión de usuario.

2.5 Diseño de la aplicación SCADA

Después de seleccionado el software OpenSCADA y haber estudiado el funcionamiento de la infraestructura hidráulica de Santa Clara se comienza a trabajar en función de crear la aplicación que va a ser usada como supervisor.

2.5.1 Requisitos funcionales del sistema

Para la concepción del sistema se definieron una serie de requisitos funcionales, los cuales permitieron establecer con precisión las configuraciones necesarias para cada uno de los módulos que forman el programa.

Los requisitos funcionales son:

- Representación gráfica de los tres sistemas de abasto de la ciudad con todas las variables asociadas a ellos.
- Establecer una jerarquía de pantallas que no exceda de tres niveles.
- Los elementos gráficos para la navegación tienen que ser fácilmente accesibles, preferentemente por botones.
- Se creará una pantalla general del sistema.
- Se introducirá una pantalla de variables para cada estación.
- Se implantará una pantalla de control para cada estación de bombeo.
- Existirá una pantalla de reportes de alarmas para cada estación.
- Constará una pantalla de base de datos históricos para cada estación.
- Establecer dos niveles de seguridad, Administrador y Usuarios.
- La gestión de usuarios solo la pueden llevar a cabo los miembros del grupo Administrador.
- La edición del SCADA solo puede ser realizada por los miembros del grupo Administrador.
- Tiempo de refrescamiento de las variables cada tres minutos.
- El tiempo de almacenamiento de las variables tiene que ser de tres minutos.

2.5.2 Requisitos no funcionales del sistema

Los requisitos no funcionales del sistema son:

- No se puede exceder de siete colores en la interfaz gráfica del sistema.
- No se pueden utilizar diferentes brillos, ni pestañeos para representar información.
- La cantidad de variables por pantalla no puede exceder de 40.
- Las alarmas no excederán de dos colores.

2.5.3 Descripción de los estados de alarma

En el sistema existirán alarmas de cinco tipos:

- Presión en la línea.
- Voltaje de las bombas.
- Consumo de las bombas.
- Nivel en el tanque.

- Desconexión de una estación.

Las alarmas de las presiones estarán en correspondencia con cada estación, porque en cada una existe una presión nominal diferente. Cuando la presión se menor o mayor en 0.5 bar a la nominal se activará la alarma, indicando avería u obstrucción en la conductora. En cuanto al voltaje tiene que ser el indicado para que trabaje cada bomba, si no llega al necesario se activará la alarma, que indicará bajo voltaje y si es mayor indicará alto voltaje.

Si el consumo de las bombas es más elevado que el normal se activará una alarma, indicando que la bomba se encuentra en mal estado. Los tanques de las plantas potabilizadoras tienen una altura de dos metros, cuando el nivel se encuentre por debajo de los 0.2 metros o en el límite de altura del tanque se activarán las alarmas de tanque vacío o de tanque lleno. Cuando alguna de las estaciones del sistema no envié información al PLC Gateway en el tiempo establecido se activa una alarma que alerta que la estación está desconectada.

Toda esta gestión de alarmas está programada en el PLC Gateway que permite trabajar correctamente con ellas. En el gestor de alarma se le programa que hacer ante cada una de ellas, siendo importante el envío de mensajes (ante cada situación uno adecuado) a números de celulares para alertar a los responsables. Esto posibilita que el sistema siga funcionando ante la pérdida de comunicación con el SCADA, y en la aplicación se tomarían las alarmas directamente de la zona de memoria del PLC.

2.5.4 Creación de la HMI

En este epígrafe se proporcionará una descripción de la creación de la HMI que se mostrará en el supervisor empleado en la infraestructura hidráulica de Santa Clara.

2.5.4.1 Configuración del ambiente de trabajo

Antes de la creación de la interfaz gráfica del SCADA se necesita crear el ambiente de trabajo en el software, donde se detrmina la base de datos, el directorio de trabajo, el nombre del proyecto y los usuarios que van a trabajar con el software.

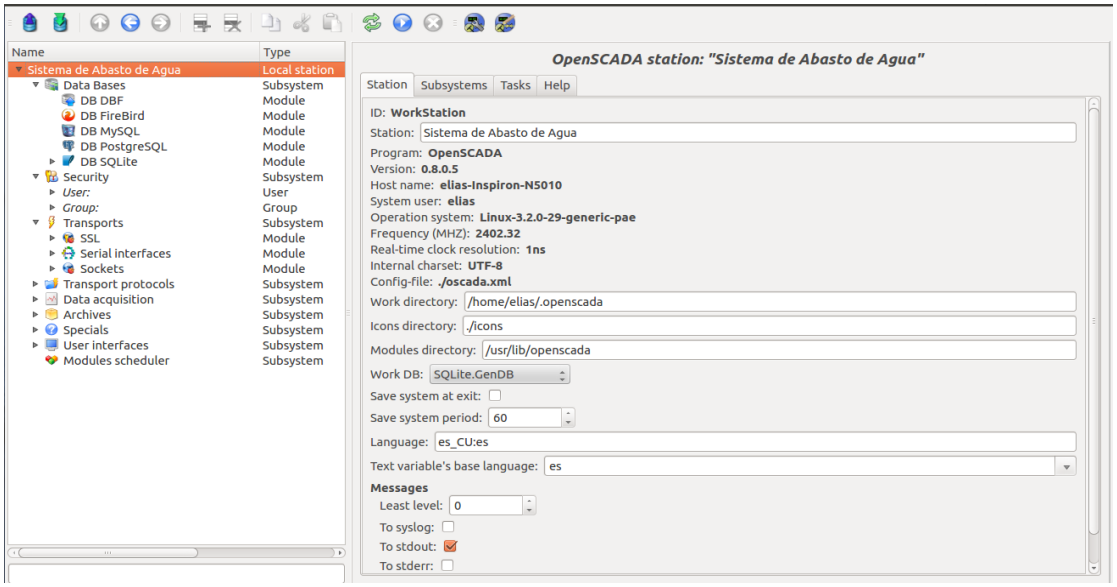


Figura 2.10. Estación de trabajo “Sistema de Abasto de Agua”.

En la figura anterior se muestra la estación de trabajo “Sistema de Abasto de Agua” con las propiedades antes mencionadas. Como se puede observar la base de datos empleada es SQLite, contenida en una pequeña biblioteca escrita en C, que es además un proyecto de dominio público.

Se crearon dos usuarios para el trabajo con el software (*root* y *user*), donde *root* sería el aministrador que tiene todas los permisos de trabajo y *user* serían los operadores que solo pueden trabajar con la aplicación (monitorear, órdenes de mando desde el SCADA y archivar datos). En la siguiente figura se muestran los usuarios creados, es necesario señalar que la figura se compone de dos imágenes.

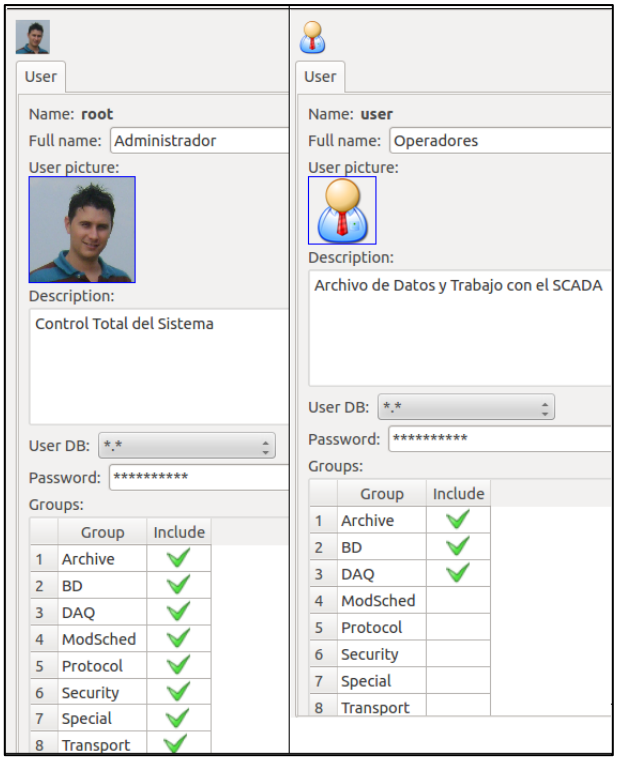


Figura 2.11. Usuarios de la Estación de trabajo “Sistema de Abasto de Agua”.

2.4.5.2 Creación y almacenamiento de las variables del sistema

Para que la aplicación SCADA funcione correctamente es necesario crear las variables que van a contener la información adquirida del PLC Gateway. Se analizó profundamente el sistema de abasto de agua y se crearon 401 variables (entre reales y booleanas) que harán funcionar perfectamente el software supervisor. Cada una de ellas podrá ser conectada con las señales de campo que provienen del PLC a través del protocolo Modbus, y de la misma forma conectarse con las bases de datos, y con la interfaz gráfica en las diferentes pantallas del SCADA.

Primeramente se crean las variables en *Value archive*, dentro de *Archive* en el proyecto y luego se determina el tipo de variable que es y la descripción de esta como se muestra en las figuras siguientes. Después se revisa en la base de datos del software y aparecen las variables que han sido creadas.

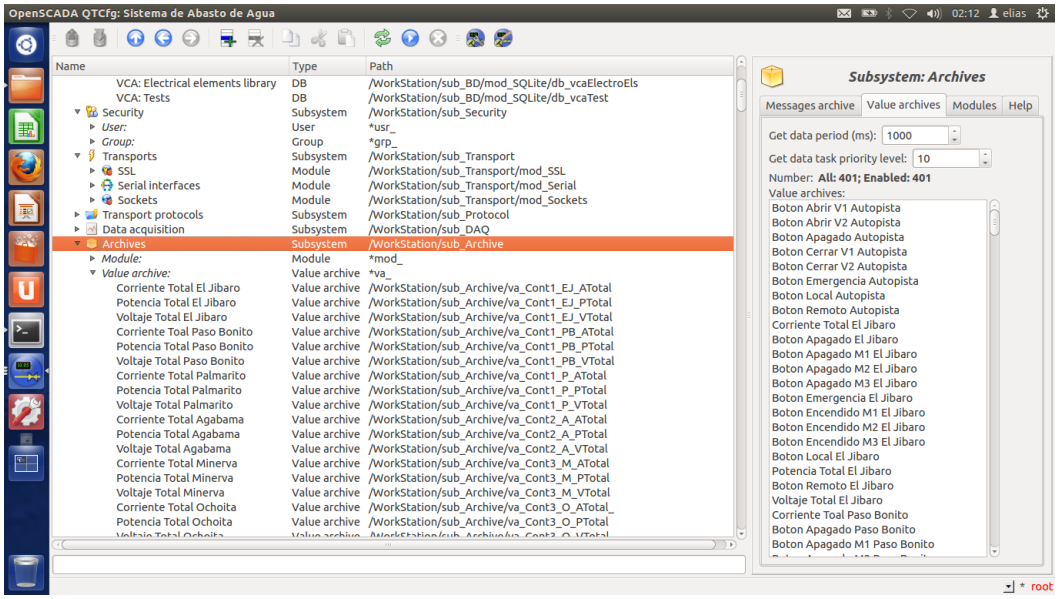


Figura 2.12. Creación de las variables.

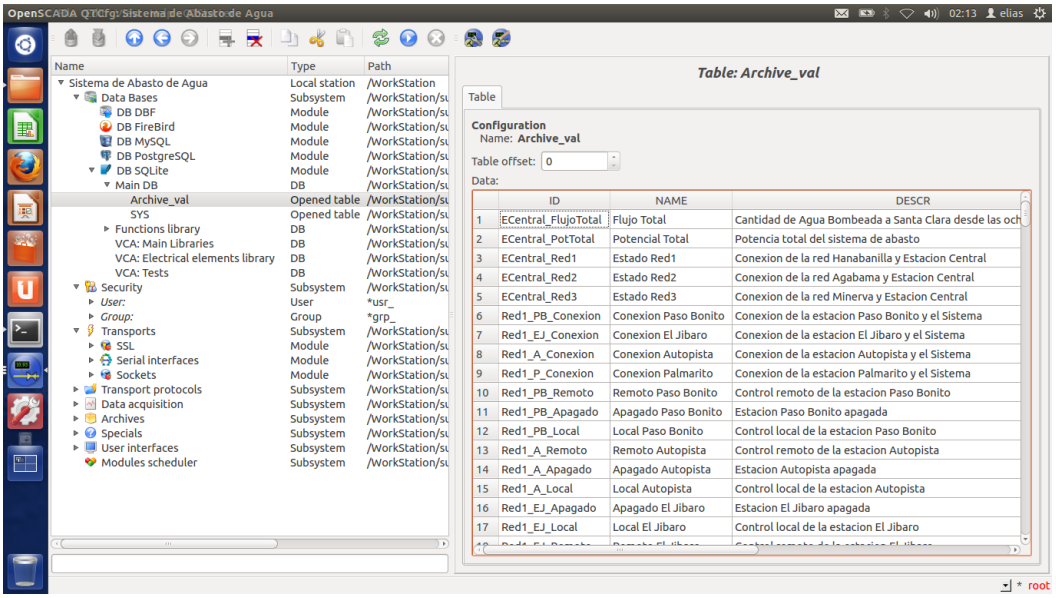


Figura 2.13. Almacenamiento de las variables en la base de datos.

2.4.5.3 Diseño de la librería de pantallas

Para crear la interfaz gráfica de la aplicación SCADA en este software primero hay que crear una librería de pantallas y de objetos visuales que posteriormente se utilicen, ya que las librerías con las que cuenta el software requieren de modificaciones para desarrollar correctamente la interfaz que se necesita. En este caso se creó de la librería Abasto de Agua se establecieron todas las pantallas que después se van a utilizar en la confección de la

interfaz gráfica. En la siguiente figura se muestra la creación de la pantalla Sistema Hanabanilla II y a la izquierda se observa la lista de pantallas creadas en esta librería.

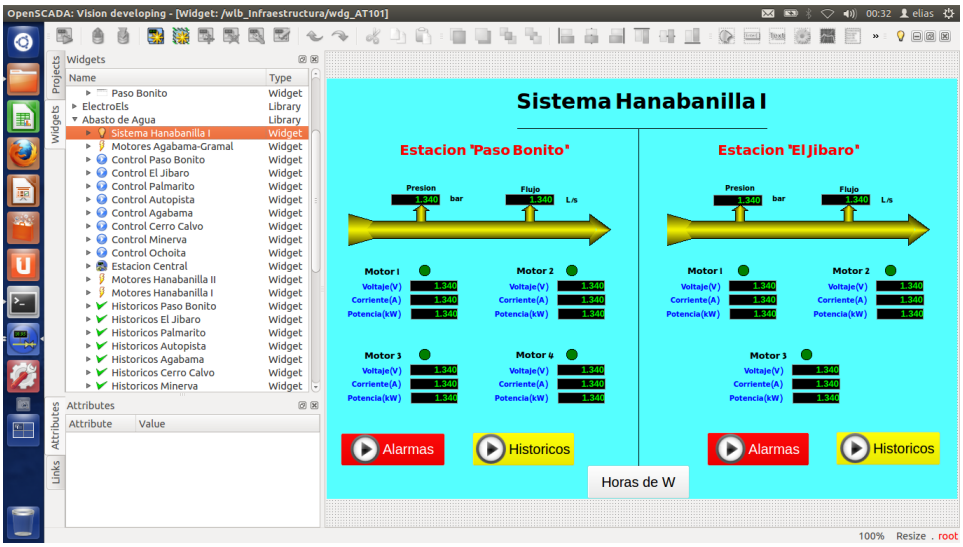


Figura 2.14. Pantalla Sistema Hanabanilla II creada en la librería de Abasto de Agua.

2.4.5.4 Creación del proyecto “Abasto de Agua”

Después de creada la biblioteca de pantallas se crea el proyecto “Abasto de Agua” que es donde se diseñará la interfaz gráfica. Es obligatorio crear una serie de niveles de pantallas para el correcto funcionamiento del supervisor. Primeramente se crea la pantalla “Páginas Generales”, que contendrá la interfaz gráfica con que se va a trabajar. En la parte superior de esta pantalla se colocan los botones de navegación entre las pantallas principales.

El recuadro pequeño que se encuentra en la esquina superior derecha va a contener la pequeña pantalla de fecha y hora, debajo de este se encuentra el logo del OpenSCADA y debajo flechas de izquierda y derecha para desplazarse entre las páginas dentro del mismo nivel de acceso. El recuadro grande del centro es el que va a contener las pantallas de supervisión antes creadas en la biblioteca “Abasto de Agua”. En la cinta negra que está en el borde inferior de la pantalla se mostrarán en color rojo las alarmas que están activas, en intervalos de 5 segundos si son más de una al mismo tiempo. Mientras que el último recuadro de la esquina inferior derecha se mostrará un pequeño panel de control para navegar en los archivos históricos, este solo se mostrará cuando esté abierta una pantalla del tipo documento (reportes de alarmas o datos históricos).

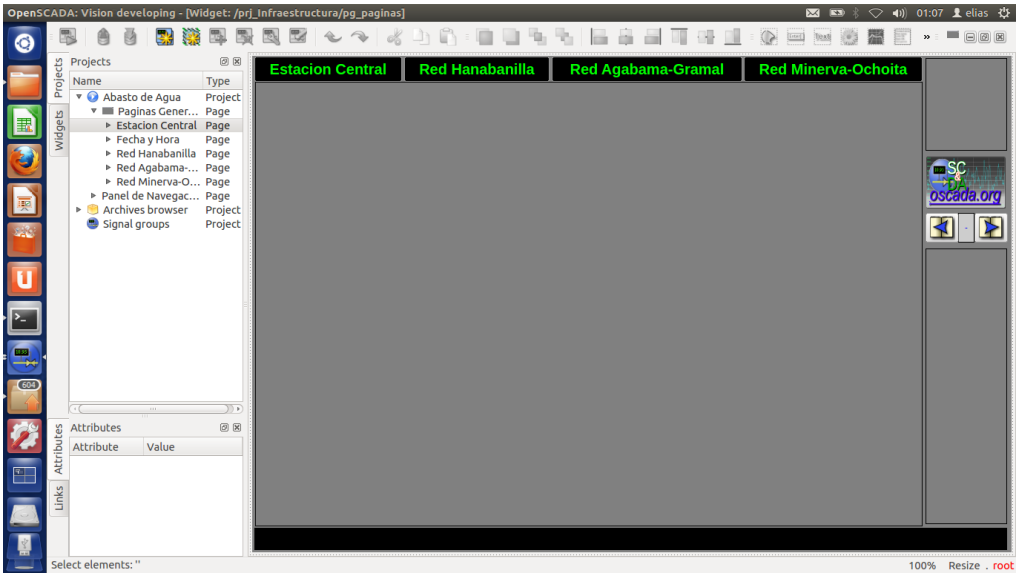


Figura 2.15. Pantalla de Páginas Generales.

En las propiedeades de esta pantalla hay que especificar las acciones que se pueden llevar a cabo dentro de ellas, como se muestra en la siguiente figura la navegación por botones de las ventanas principales y la navegación por las flechas entre las ventanas del mismo nivel.

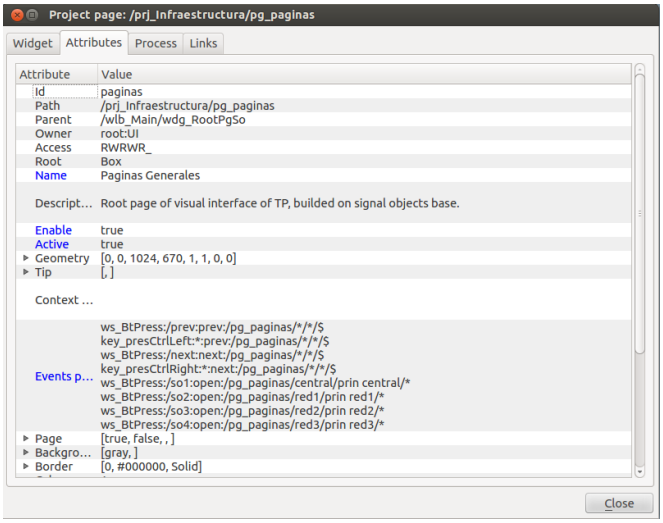


Figura 2.16. Propiedades de la pantalla de Páginas Generales.

En la siguiente figura se muestran las propiedades de la pantalla principal de la Red Agabama-Gramal, donde se vincula a la sección de la pantalla Páginas Generales que corresponde. Esto es necesario aplicarlo a cada una de las pantallas del SCADA.

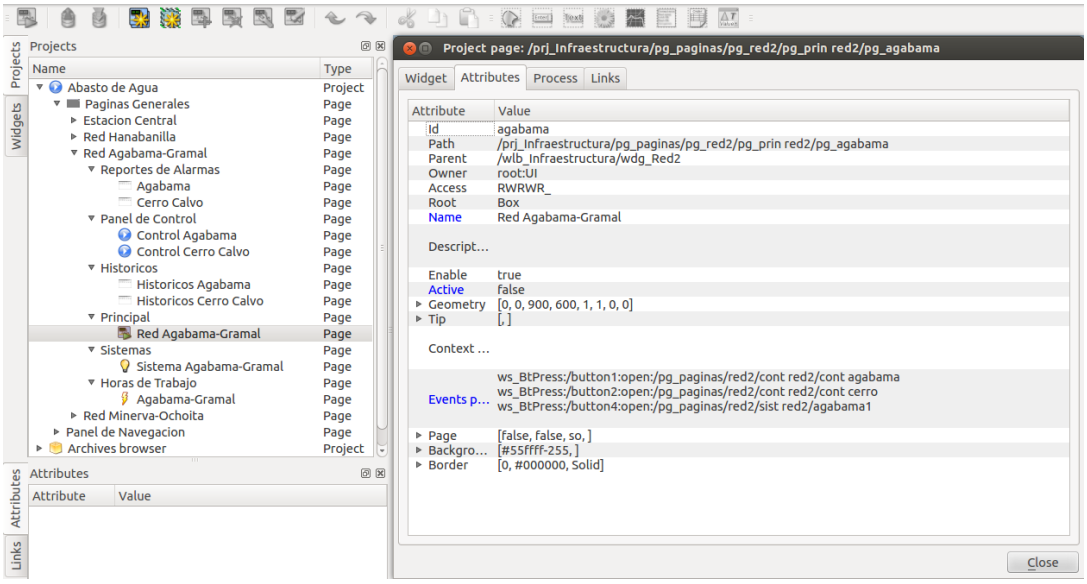


Figura 2.17. Propiedades de la Pantalla principal de la Red Agabama-Gramal.

A la izquierda de la figura anterior se puede observar la ubicación de las pantallas del proyecto Abasto de Agua y de forma desglosada las pantallas de la Red Agabama-Gramal.

2.5.4.5 Descripción de la jerarquía de pantallas y la navegación entre ellas

Para conocer cómo se maneja la navegación entre las pantallas del SCADA es necesario el estudio de la jerarquía de pantallas. En la figura 2.18 se muestra como se navega entre las pantallas del supervisor creado. Como se puede ver desde la pantalla Estación Central se puede acceder a las pantallas de las redes de abastecimiento, desde estas se puede acceder a las pantallas de control y de sistema de abasto, y desde las pantallas de sistema de abasto se puede llegar a las pantallas de alarmas, históricos y horas de trabajo de los motores de cada una de las estaciones.

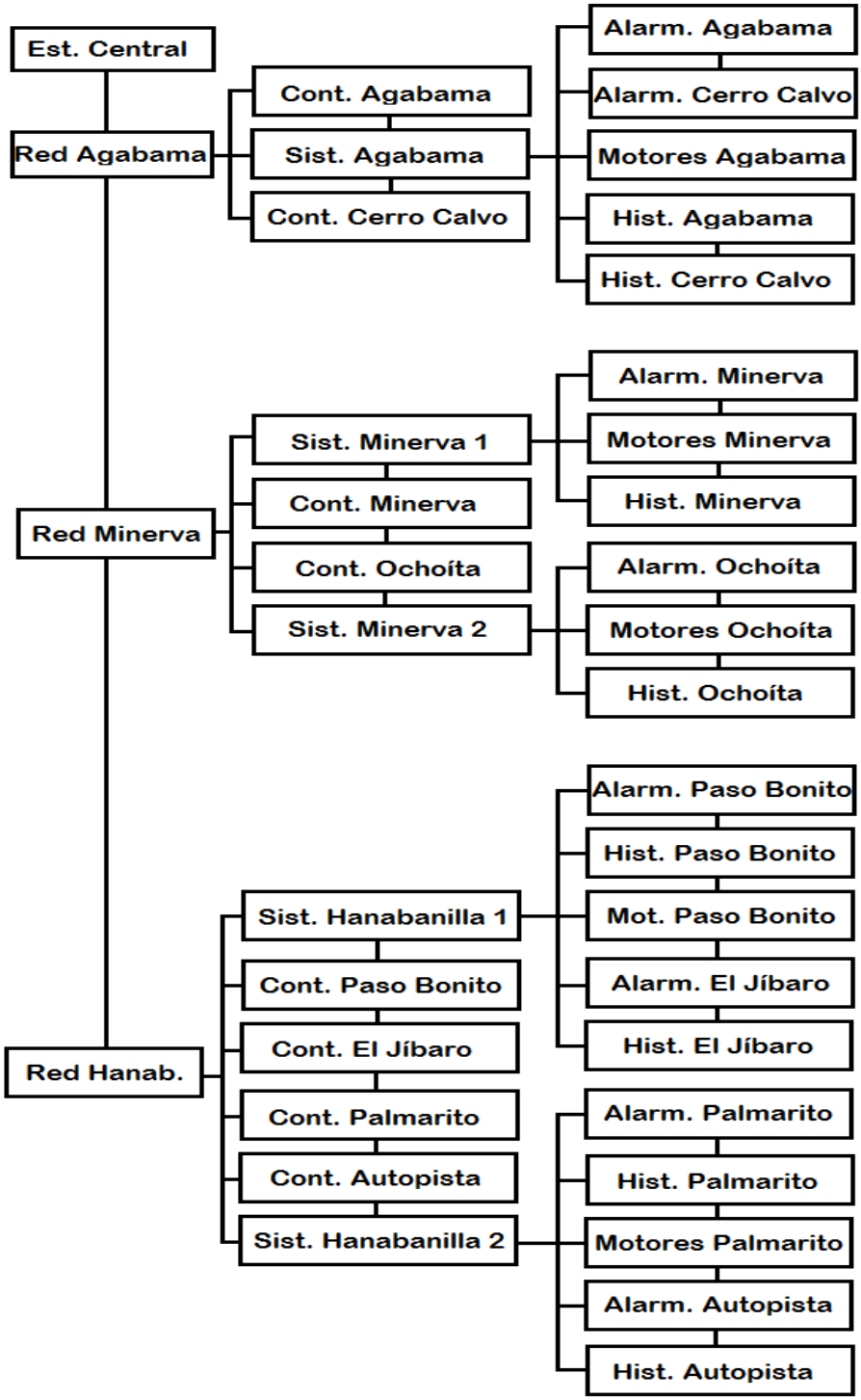


Figura 2.18. Jerarquía de pantallas del Proyecto Abasto de Agua.

Se observan claramente tres niveles de jerarquía entre las pantallas de la aplicación SCADA, lo que cumple con una de las condiciones que se pedía en su confección.

2.6 Conclusiones del capítulo

Al culminar el desarrollo del capítulo se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Es necesario crear un supervisor para monitorear el correcto funcionamiento de la infraestructura hidráulica de Santa Clara.
- La utilización del PLC Gateway permitirá una mayor seguridad en el sistema.
- El software OpenSCADA es el más indicado para emplear como supervisor en el sistema del acueducto de Santa Clara.
- La confección de la HMI en el software se rige por la jerarquía de pantallas planteadas para su implementación.

CAPÍTULO 3. PRESENTACIÓN DEL SUPERVISOR

En este capítulo se mostrarán las pantallas creadas para la supervisión, así como la conformación de la aplicación SCADA. Se realizará una prueba de comunicación con el PLC. Luego se analizarán los beneficios y proyecciones futuras, se realizará una valoración económica y un análisis medioambiental. Finalmente se conocerán las conclusiones del capítulo.

3.1 Pantallas para la supervisión

Al crear la aplicación SCADA las pantallas quedan distribuidas en pantallas principales, pantallas de las estaciones, pantallas de control, pantallas de alarmas y de históricos, y pantallas de horas de trabajo de los motores.

3.1.1 Pantallas principales

El supervisor cuenta con cuatro pantallas principales (Estación Central, Red Hanabanilla, Red Agabama-Gramal y Red Minerva Ochoíta) a las que se puede acceder a través de los botones negros con letras en verde que están en la parte superior de la pantalla. Cuando arranca el supervisor se muestra la pantalla de la estación central, en la que se presenta la cantidad de agua que se está bombeando a la ciudad en ese momento, el consumo total de energía en todo el sistema y el estado de conexión de las tres redes de abasto, como se puede observar en la figura 3.1.

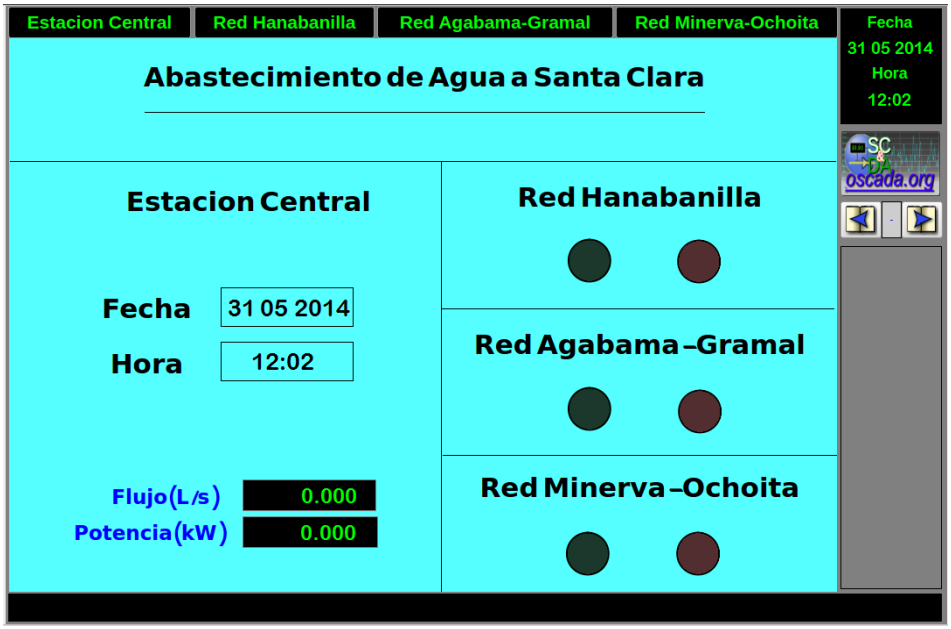


Figura 3.1. Pantalla de la Estación Central.

En las pantallas de cada una de las redes de abasto se muestra la conexión de cada una de sus estaciones, el estado de trabajo de cada una de ellas (remoto, local y apagado), la presión y el flujo en la línea y además botones de acceso a los paneles de control y a las pantallas del total de variables de cada estación, como se muestra en la figura 3.2.

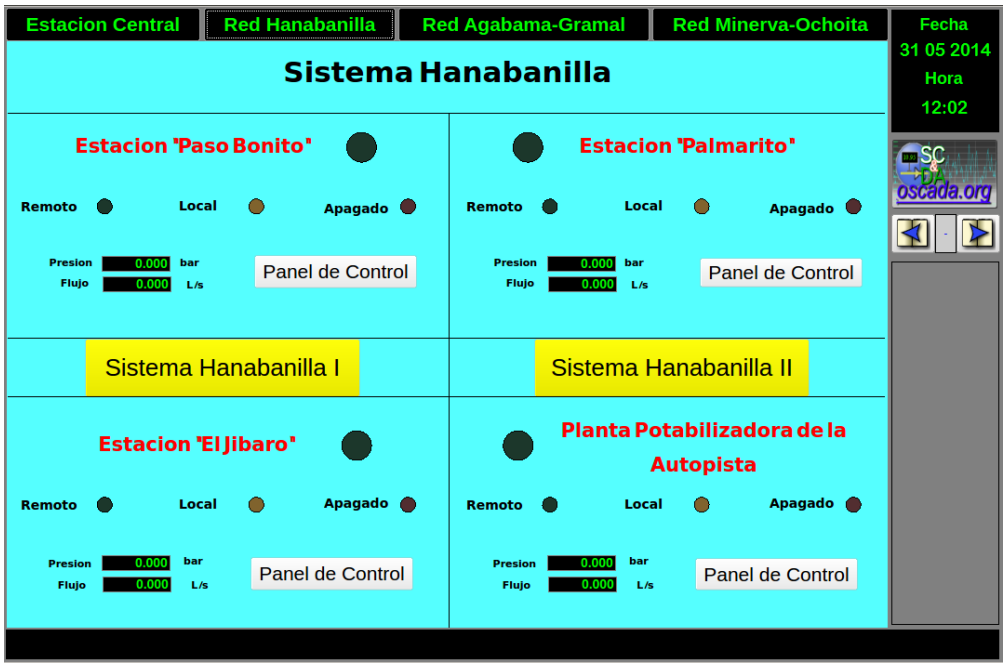


Figura 3.2. Pantalla de la Red Hanabanilla.

3.1.2 Pantallas de las estaciones

Cuando se accede desde una pantalla de red de abasto a las pantallas de sistema de abasto se muestran pantallas como la de la figura 3.3 que es el ejemplo del Sistema Hanabanilla II, que cuenta con la estación de Palmarito y la planta potabilizadora de la Autopista. En este tipo de pantallas se visualizan los parámetros de presión y flujo en las estaciones indicadas, estado de los motores (con luz verde), parámetros eléctricos de los motores, nivel en los tanques, estado de las válvulas, indicadores de alarma (luz roja) en las variables determinadas, además de contar con botones para acceder a las pantallas de registros históricos de alarmas, horas de trabajo de los motores y datos históricos de cada estación. Es necesario aclarar que cuando se activa una alarma el software emite sonidos bip.

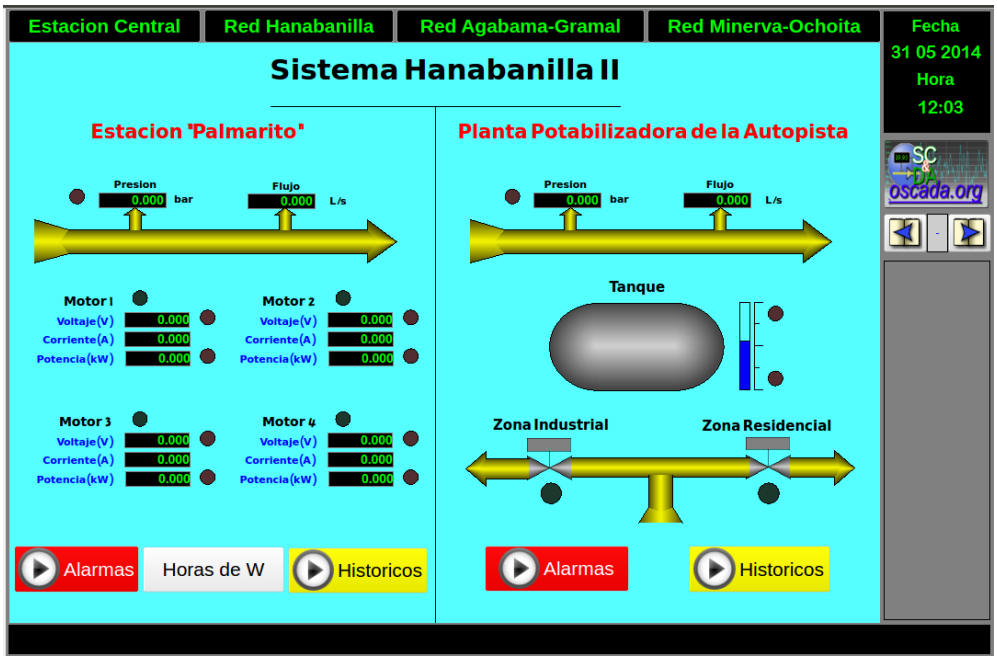


Figura 3.3. Pantalla del Sistema Hanabanilla II.

3.1.3 Pantallas de control

Desde las pantallas de las redes de abastecimiento también se accede a las pantallas de panel de control de cada estación. En esta pantalla se observa el estado de la estación y los parámetros eléctricos generales, además cuenta con botones para cambiar el estado de la estación. Muestra el estado de los motores y las válvulas de esa estación en caso de contar con ellos y permite encender y apagar cada motor o abrir y cerrar cada válvula en el caso de estar en el estado remoto. La figura 3.4 muestra el panel de control de la estación Minerva.

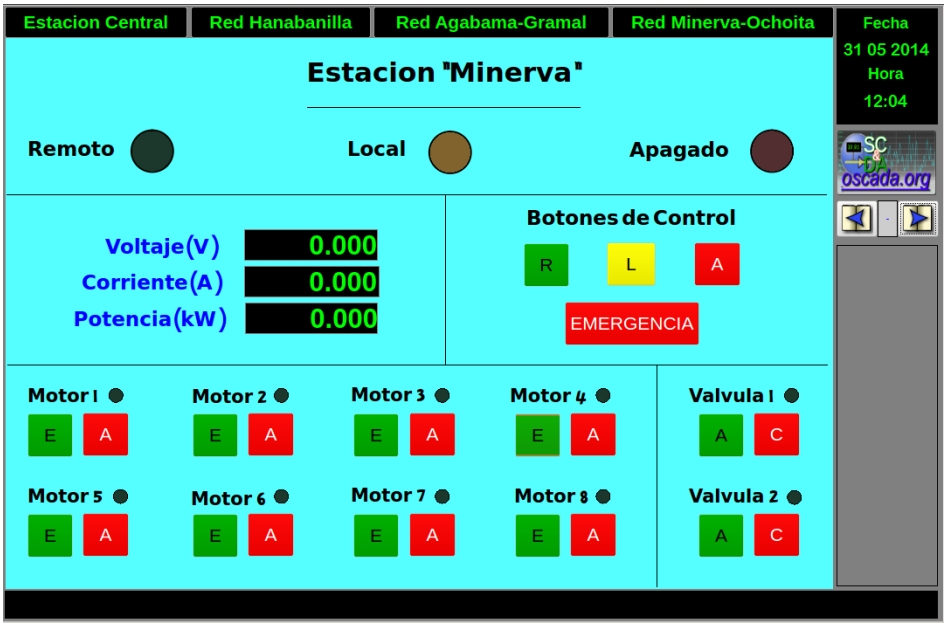


Figura 3.4. Panel de Control de la Estación Minerva.

3.1.4 Pantallas de alarmas y de históricos

Desde las pantallas de sistemas se puede acceder a las pantallas de reportes de alarmas como se muestra en la figura 3.5. En este tipo de pantallas (Documento) se visualiza en forma de columnas la fecha, hora, parámetro, tipo de violación y el valor que ostenta en ese momento de cada una de las alarmas que se active en esa estación.

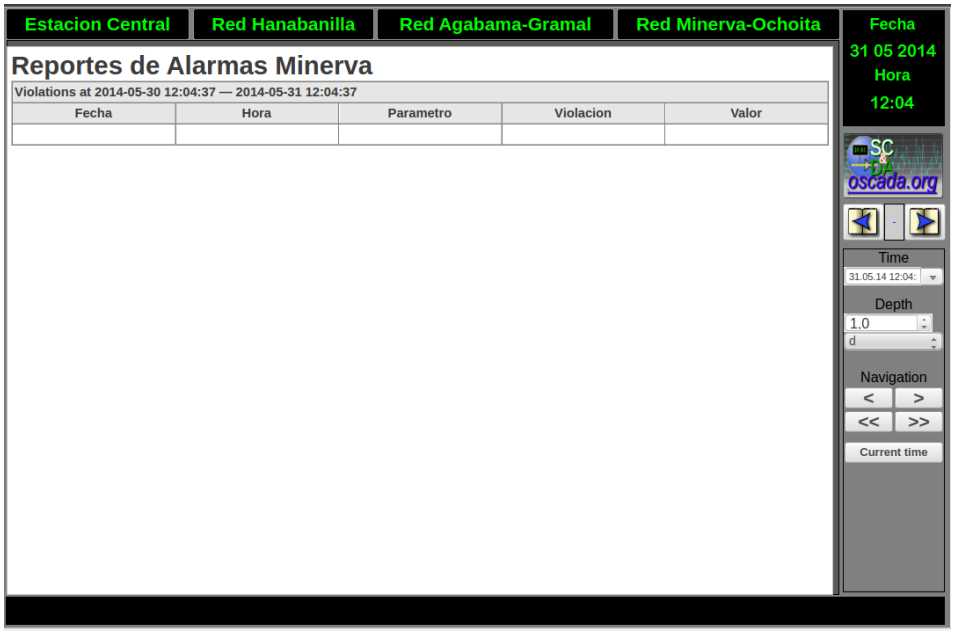


Figura 3.5. Pantalla de Reportes de Alarma de Minerva.

En la figura 3.5 se observa como ejemplo la pantalla de reportes de alarmas de la estación Minerva, que cuenta con la misma estructura que la de las otras estaciones.

Estos reportes se guardan en la base de datos del SCADA como los datos históricos y se puede acceder a ellos utilizando el pequeño panel que se observa en la esquina inferior derecha, que solo se muestra cuando se abren las pantallas tipo Documento. En este panel se puede elegir la fecha que se quiere revisar y el intervalo de tiempo, porque cuenta con un calendario y botones de desplazamiento para navegar a través de los días y además un botón para regresar a la fecha actual.

A las pantallas de datos históricos también se accede desde las pantallas de sistemas. En esta pantalla se muestran los registros históricos de forma diaria de las variables de flujo y potencia total consumida en cada estación. En la siguiente figura se observa el ejemplo de la estación Minerva.

Figura 3.6. Pantalla de Datos Históricos de Minerva.

3.1.5 Pantallas de horas de trabajo de los motores

Las pantallas de horas de trabajo de los motores se utilizan para que se visualice la cantidad de horas que trabaja cada motor en el tiempo que se considere evaluar, cuenta con botones

de reseteo para iniciar de nuevo el conteo de horas de trabajo. En la figura 3.7 se ejemplifica la de la estación Minerva.

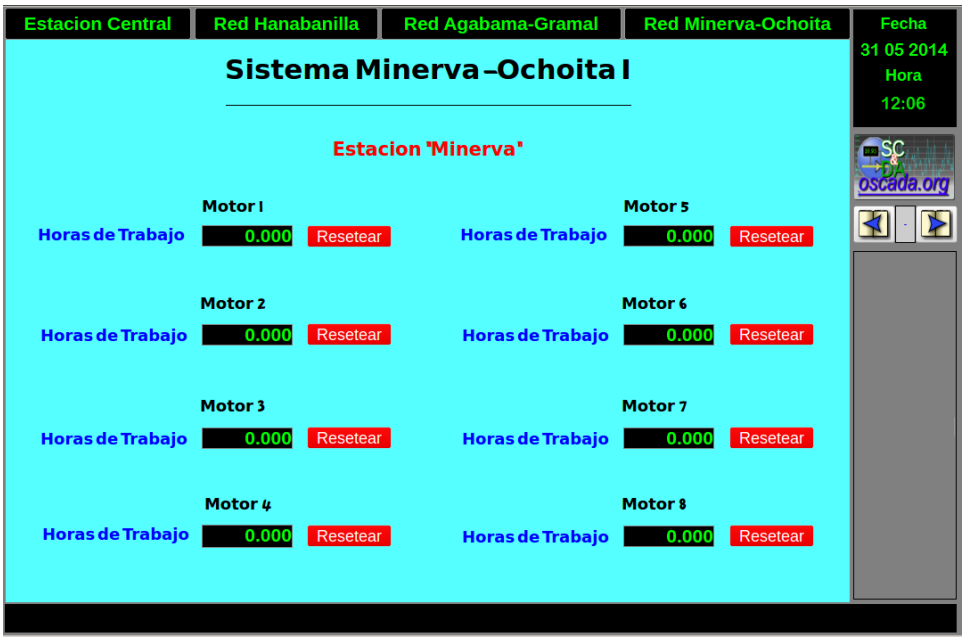


Figura 3.7. Pantalla de Horas de Trabajo de la Estación Minerva.

3.2 Prueba de comunicación con el PLC

Terminado el diseño de la HMI se realiza una prueba con comunicación de una de las pantallas del SCADA mediante el protocolo de comunicación Modbus con el PLC. Para ello fue necesaria la simulación de ocho variables en la memoria del PLC (dos analógicas y seis digitales) y la configuración de la comunicación en el software OpenSCADA.

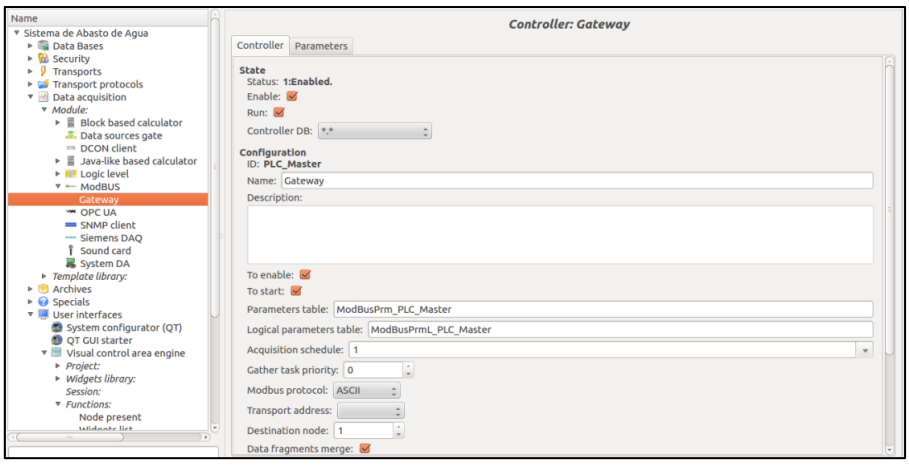
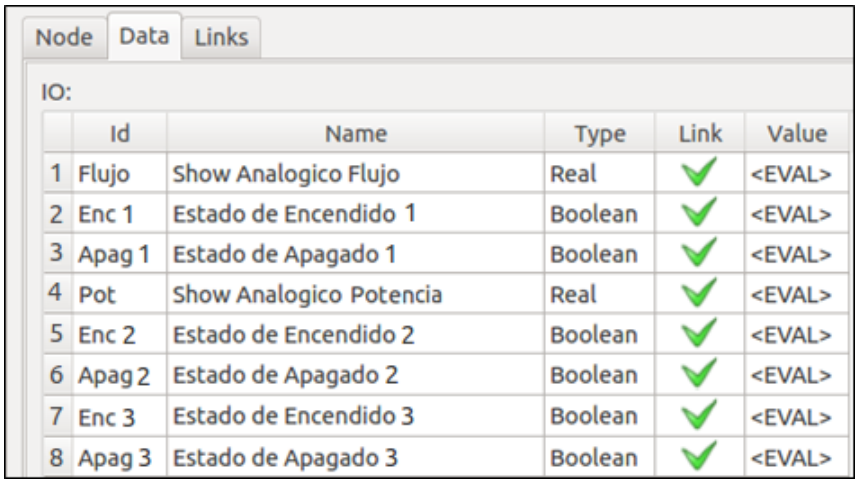


Figura 3.10. Configuración de la comunicación mediante el protocolo Modbus.

En la figura anterior se muestra la configuración para la comunicación con el PLC. Mientras en la que viene a continuación se observan las variables utilizadas para la comunicación.



	Id	Name	Type	Link	Value
1	Flujo	Show Analogico Flujo	Real	✓	<EVAL>
2	Enc 1	Estado de Encendido 1	Boolean	✓	<EVAL>
3	Apag 1	Estado de Apagado 1	Boolean	✓	<EVAL>
4	Pot	Show Analogico Potencia	Real	✓	<EVAL>
5	Enc 2	Estado de Encendido 2	Boolean	✓	<EVAL>
6	Apag 2	Estado de Apagado 2	Boolean	✓	<EVAL>
7	Enc 3	Estado de Encendido 3	Boolean	✓	<EVAL>
8	Apag 3	Estado de Apagado 3	Boolean	✓	<EVAL>

Figura 3.11. Variables configuradas para la comunicación.

Para conectar cada variable con el PLC es necesario relacionar cada una con la zona de memoria donde se encuentra ubicada, en la siguiente figura se muestra la conexión de una de las variables con la zona de memoria del PLC.

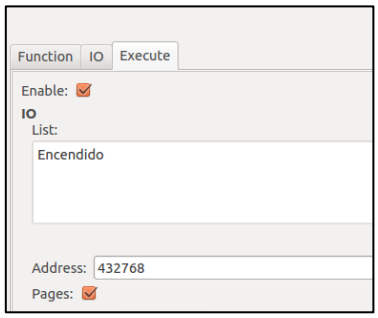


Figura 3.12. Dirección de la zona de memoria donde se almacena una de las variables.

Luego que se termina toda la configuración necesaria se ejecuta el software y se puede observar en la figura 3.13 como la Red Hanabanilla se encuentra desconectada, las redes Agabama-Gramal y Minerva-Ochoíta están conectadas, el flujo total de agua a la ciudad es de 2300 L/s, la potencia total consumida es de 5000 kW/h y se encuentra activada la alarma de desconexión de la Red Hanabanilla.

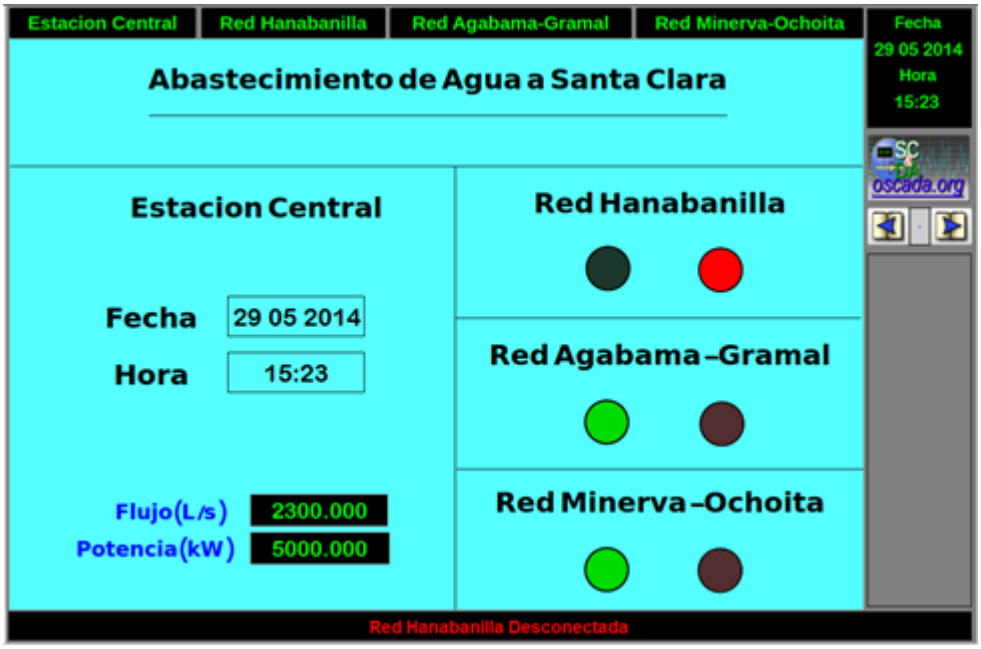


Figura 3.13. Pantalla de la Estación Central con los valores de muestra.

3.3 Beneficios y proyecciones futuras

La aplicación SCADA diseñada para la infraestructura hidráulica de la ciudad de Santa Clara va a permitir la supervisión total del sistema en tiempo real, el archivo de datos históricos, así como la detección de averías y fallos en el sistema.

Este trabajo sería el inicio solamente en cuanto a la implementación del SCADA, ya que cuando llegue el proyecto inversionista a la capital villaclareña en el año 2016 se repararían las conductoras y se automatizaría como se ha planteado, pero más adelante se haría lo mismo para las plantas potabilizadoras, entonces habría que automatizarlas y crear nuevos módulos en el SCADA para la supervisión de estas plantas, algo que el software OpenSCADA permite hacer fácilmente sin dañar el proyecto ya existente.

3.4 Valoración económica

Para estimar una valoración económica al trabajo que se propone, es necesario tener en cuenta el significado económico de las licencias de los software SCADA propietarios. Se propone evaluar el ejemplo del TView porque es el empleado por la compañía Semaphore cuando se utiliza su instrumentación. La licencia para 11 estaciones que se utilizan en el

proyecto es de 2350 cuc, pero cuando se realice la inversión en el sistema de acueducto y se automaticen nuevas plantas potabilizadoras y grupos electrógenos que abastecerán a cada estación, la cantidad de estaciones pasarán de 25, por lo que la licencia cuesta 4700 cuc.

Para cumplir esta valoración se conoce que el costo inicial de la propuesta de automatización es de 4200 CUC, cifra que resulta de la compra del equipamiento propuesto en el proyecto como se muestra en la siguiente figura.

Tipo	Materiales	Precio	Moneda	Cantidad	Conversión	Subtotal en CUC
PLC Tbox Gateway	Tbox GTWY-PE	1500.00	cuc	1	1	1500.00
PC	PC Pentium Dual-Core	400.00	cuc	1	1	400.00
Total						**1900.00**

Figura 3.14. Gastos en equipamiento.

La amortización de la inversión está garantizada porque se disminuye considerablemente el tiempo desde que ocurre una avería hasta que se conoce en la sala de control. Transcurren como promedio poco más de una hora para que el personal encargado de reportar la avería y el designado a ubicarla se comuniquen, esto depende en gran medida del factor humano.

Tomando como ejemplo el supervisor utilizado en la cayería norte de Villa Clara, donde se consumen 3 MB mensuales, y están instalados alrededor de 20 PLC comunicados con la estación central empleando el servicio GPRS brindado por ETECSA y enviando paquetes de datos cada un minuto, se estima que el servicio de 15 CUC mensuales (Figura 3.15) se puede utilizar en el sistema de abasto de agua de Santa Clara, porque cuando se agrande el sistema producto de las nuevas estaciones no se debería pasar jamás de 15 MB consumidos mensualmente, ya que se enviará información cada tres minutos.

Acceso a redes Corporativas	Cuota de Activación	Renta Mensual	Volumen incluidos	Volumen adicional
Datos 3	Libre de costo	5.00 USD	3MB	1.50 USD/MB
Datos 15		15.00 USD	15MB	1.00 USD/MB
Datos 50		30.00 USD	50MB	0.50 USD/MB
Datos 200		60.00 USD	200MB	0.50 USD/MB

Figura 3.15. Tarifa de GPRS según el tráfico de datos.

La inversión de este proyecto se recupera por el ahorro que se logra en el empleo de un software que no requiere licencia, y además la tecnología se empleada queda instalada.

3.5 Análisis medioambiental

El abasto de agua a la ciudad de Santa Clara es de vital importancia por contener los hospitales provinciales y las industrias más representativas. Existe la mayor concentración de población de la provincia y es una zona que se mantiene en constante crecimiento por lo que necesita un suministro estable de agua.

Desde el punto de vista ambiental esta obra permitirá un manejo más eficiente y racional del recurso agua, escaso hoy en día en Cuba, sometido a períodos de sequías cada vez más prolongados, todo en perfecta consonancia con los modelos de desarrollo sostenible. Además este manejo eficiente y racional del agua trae consigo un ahorro considerable en los portadores energéticos, el agua se bombea usando grandes cantidades de energía eléctrica, por solo citar un ejemplo. Por último se ha concebido que los componentes de automatización no sean contaminantes sonoros, del aire, de los suelos, ni del agua, además de que estén en estrecha armonía con el entorno.

3.6 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se puede concluir que:

- Las pantallas del supervisor diseñado permiten el correcto monitoreo de la infraestructura hidráulica de Santa Clara, admitiendo la rápida y fiable captación de la información de todos los elementos.
- En la prueba de comunicación mediante el protocolo Modbus se pueden observar los valores de las variables en una de las pantallas del supervisor.
- Este supervisor sería el inicio de un proyecto que abarcaría todo el funcionamiento del acueducto de Santa Clara.
- Los ahorros principales del proyecto serían en el empleo de un software que no requiere de la activación mediante licencias para su funcionamiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Al concluir este trabajo se puede arribar a las siguientes conclusiones:

1. La infraestructura hidráulica de la ciudad de Santa Clara está compuesta por tres redes que contienen seis estaciones de bombeo y cuatro plantas potabilizadoras, careciendo del equipamiento necesario para su supervisión.
2. Los recursos hidráulicos y energéticos son cada vez más importantes, por lo tanto se implementan técnicas de supervisión y control para lograr un manejo más eficiente de ellos.
3. La implementación de SCADA en software libre es utilizada en el mundo contemporáneo para fomentar la soberanía tecnológica y aminorar gastos en licencias.
4. El SCADA implementado en el software OpenSCADA cuenta con 38 pantallas que permiten la supervisión de todo el sistema de acueducto de Santa Clara, el mando de todos los motores y de las válvulas de distribución.

Recomendaciones

Luego de concluir el trabajo se sugieren las siguientes recomendaciones:

1. Utilizar la aplicación SCADA desarrollada en la supervisión de la infraestructura hidráulica de Santa Clara.
2. Colocar sensores de presión cada 4 kilómetros a lo largo de toda la conductora para detectar con mejor precisión las averías.
3. Ampliar los estudios de software SCADA implementados en plataforma libre que puedan ser utilizados por las empresas cubanas que lo necesitan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMO, F., ATTIVISSIMO, F., CAVONE, G. & GIAQUINTO, N. 2007. SCADA/HMI Systemsin Advanced Educational Courses. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT* [Online], 56.

BOLTON, W. (ed.) 2009. *Programmable Logic Controllers*.

BUTCHER, K., CROWN, L. & GENTRY, E. J. 2006. The International System of Units (SI) - Conversion Factors for General Use.

CAI, J. & GOODMAN, D. 1997. General Packets Radio Service in GSM. *IEEE Cominications Magazine*.

CASANOVA, D. 2008. *Metodología para el aprovechamiento sostenible del agua subterránea en empresas agrícolas de Ciego de Ávila.* Tesis de Doctorado, UNICA.

CMKC-RADIO-REVOLUCIÓN 2011. La rehabilitación del acueducto de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba.

COCA, L. V. 2012. Propuesta de solución técnica. Sistema de Automática - Acueducto CSM.

COLLINS, K. 2007. PLC Programming for Industrial Automation.

CONAGUA. 2003. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.

CREUS, A. 2010. Instrumentación Industrial. *In:* ALFAOMEGA, E. (ed.) 8va ed.

CRUZ, Y. S. 2013. Gestión Integral del Agua Urbana mediante Sistemas de Información Geográfica, perspectivas para su desarrollo en Cuba.

CSE-SEMAPHORE-INC. 2012. Semaphore T-BOX.

CUETO, W. & RIVAS, R. 2003. Sistema de control basado en autómatas programables de la red de ditribución de agua potable Troncoso. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones,* XXIV.

CHACÓN, R. 2012. *Simulación SCADA (Control, supervisión y adquisición de datos) de una planta generadora de energía eléctrica a base de energía geotérmica.* Universidad de El Salvador.

CHAO, O. D. A. 2013. *Propuesta de red de comunicación para las infraestructuras hidráulicas en la ciudad de Santa Clara".* Ingeniero grado, Unives.

CHAVARRÍA, L. 2007. *SCADA System's & Telemetry.* Atlantic International University.

DOMENECH, F. 2008. Ciencia y tecnología del medio ambiente. *In:* VALENCIA, C. V. E. I. S. L. (ed.). Valencia.

ENDRESS+HAUSER 2010. Información Técnica Medición de nivel hidrostática Deltapilot S DB 53.

ENDRESS+HAUSER 2011a. Technical Information Cerabar M PMC41/45, PMP41/45/46/48. Rehim, Alemania.

ENDRESS+HAUSER 2011b. Technical Information Electromagnetic Flow Measuring System promag 30.

EPAA. 2013. *Acueducto de Santa Clara*

FERRO, P. S. 2008. Networks and modernization Bogota's aqueduct

GAVIÑO, M. 2000. Actualizaciones al libro de consulta para evaluación ambiental del Banco Mundial. La Plata, Argentina.

GÓMEZ, J., REYES, R. & GUZMÁN, D. 2007. Temas Especiales de Instrumentación y Control Cienfuegos.

GUACHAMIN, W. Q. 2011. Diseño y programación de un sistema de control y monitoreo de crecidas de río para plantas hidroeléctricas, basado en equipamiento TBox RTU y software SCADA TView.

GUTIÉRREZ, M. D. 2008. *Práctica Empresarial desarrollada en el Acueducto de Bucaramanga E.S.P. S.A. para otra por el título de Ingeniero Electrónico.* Universidad Pontificia Bolivariana.

GYÖRGYI, B., MÉZES, L., BORBÉLY, J. & TAMÁS, J. 2012. Automation and Control Developing Solutions of Anaerobic Fermentation Processes

HENTEA, M. 2008. Improving Security for SCADA Control Systems. *Interdisciplinary Journal of Information, Know ledge, and Management,* 3.

IGURE, V. M., LAUGHTER, S. A. & WILLIAMS, R. D. 2006. Security issues in SCADA networks. *Computers & Security,* 25**,** 498-506.

IZAGUIRRE, E. 2008. Sistemas de Automatización *In:* FEIJÓO, E. (ed.). Santa Clara.

JACK, H. 2005. Automating Manufacturing Systems with PLCs.

KAMP, W. V. D. (ed.) 2008. *Teoría y práctica de medición de niveles*.

LÓPEZ, A. S. & MACHUCA, E. 2011. Variables de operación del subsistema de almacenamiento de agua potable en el estado Falcón, Venezuela. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental,* XXXII**,** 56-63.

MANIVANNAN, N. & KUMARESAN, M. 2010. Embedded Web Server & GPRS based Advanced Industrial Automation using Linux RTOS. *International Journal of Engineering Science and Technology* Vol. 2 (11).

MARÍN, R. Year. Marco Legal e Institucional de los Recursos Hídricos en Colombia. *In:* CARIBBEAN, W. R. A. A. M. S. I. L. A. A. T., ed. Proceedings of the WMO/IDB Conference, 1996 San José, Costa Rica.

MIMAM. Year. Foro económico y ambiental. *In:* 3ra Conferencia de Presidentes de las Comunidades Autónomas de España, 2007 España.

NIETO, Y., GARCÉS, A., GARCÍA, L., CHÁVEZ, A. & ESPINOSA, A. 2012. Sistema SCADA.

OMS/UNICEF. Year. Joint Monitoring Program for Water and Sanitation. *In*, 2010.

ONU/WWAP. Year. El agua en un mundo cambiante. *In:* 3er Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2009 París.

PARETAS, J. J., GALLARDO, L., LÓPEZ, M., MONTECINOS, A. & TURÍN, E. 2005. Energía, agua y transferencia de tecnología. *In:* CUBASOLAR (ed.).

PENIN, A. R. 2007. Sistemas SCADA. *In:* MARCOMBO, E. (ed.). México.

PIÑA, A. 2009. Proyecto ARGOS, un SCADA en software libre.

PLA, M., TORRES, M., PONS, X., MONTERDE, M., RAMONEDA, J. & PASTOR, J. 2009. El SIG corporativo de la agencia catalana del agua como herramienta de soporte a la gestión de los recursos hídricos de Cataluña.

PNUMA. Year. Gestión de Recursos Hídricos en América Latina y el Caribe. *In:* CARIBE, O. R. P. A. L. Y. E., ed. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2003 Ciudad Panamá.

REIMANN, J. 2013. Eclipse SCADA.

ROMAGOSA, J., GALLEGO, D. & PACHECO, R. 2004. *Sistemas SCADA.* ingeniero, Universidad Politecnica de Cataluña.

RUÍZ, I. M. 2001. *Control de dos estaciones de bombeo mediante PLC y SCADA.* Universidad Rovira i Virgili.

SÁNCHEZ, Y. 2013. *Módulo de funciones genéricas que faciliten la creación de aplicaciones SCADA.* Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

SANCHO, I. 2012. *Unidad de hardware para un sistema de control supervisor y de adquisición de datos empotrado utilizando herramientas de software libre.* Instituto Tecnológico de Costa Rica.

SAVOCHENKO, R. & LYSENKO, M. 2011. OpenSCADA.

SEPÚLVEDA, C. E. 2012. Servomotores, la misma potencia con ahorro para la industria. *METAL Actual***,** 34-38.

SERBIULA. 2013. *Capítulo V: Comunicaciones Industriales.* Servicios Bibliotecarios de la Universidad de Los Andes.

SOTOLONGO, D. P. 2013. *Sistema SCADA para las columnas de destilación atmosférica y de vacío de la Refinería Sergio Soto.* Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

TOMASI, W. 2003. Sistemas de comunicación electrónica.

UNESCO & FAO. Year. Recursos Hídricos Compartidos-Oportunidades Compartidas. *In:* Boletín por el día mundial del agua, 2009 París.

VALENCIA, B. O. D. L. P. D. 1997. Ordenanza de abastecimiento de aguas. *In:* VALENCIA (ed.).

VÁZQUEZ, R. 2011. *Diseño de un SCADA para el monitoreo de variables eléctricas utilizando el analizador de redes WM14-DIN.* Ingeniero, UCLV.

VEGA, R. 2004. Abastecimiento de agua a la ciudad de Santiago de Cuba. Situación actual y perspectiva. *Ingeniería Hidráulicay Ambiental* XXV.

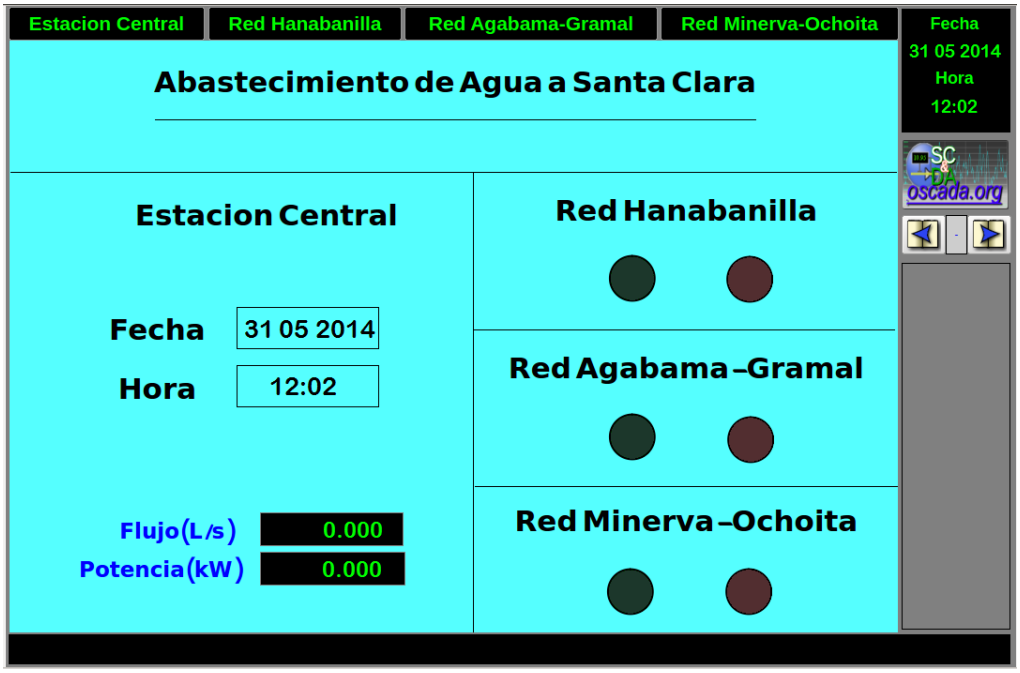
VELÁZQUEZ, E. & CUSTODIO, A. 2011. Sistema para la gestión del mantenimiento para un control supervisorio basado en software libre.

VILLAGÓMEZ, A. & LEÓN, J. 2003. Gestíon Automática para un proyecto de agua potable y electricidad.

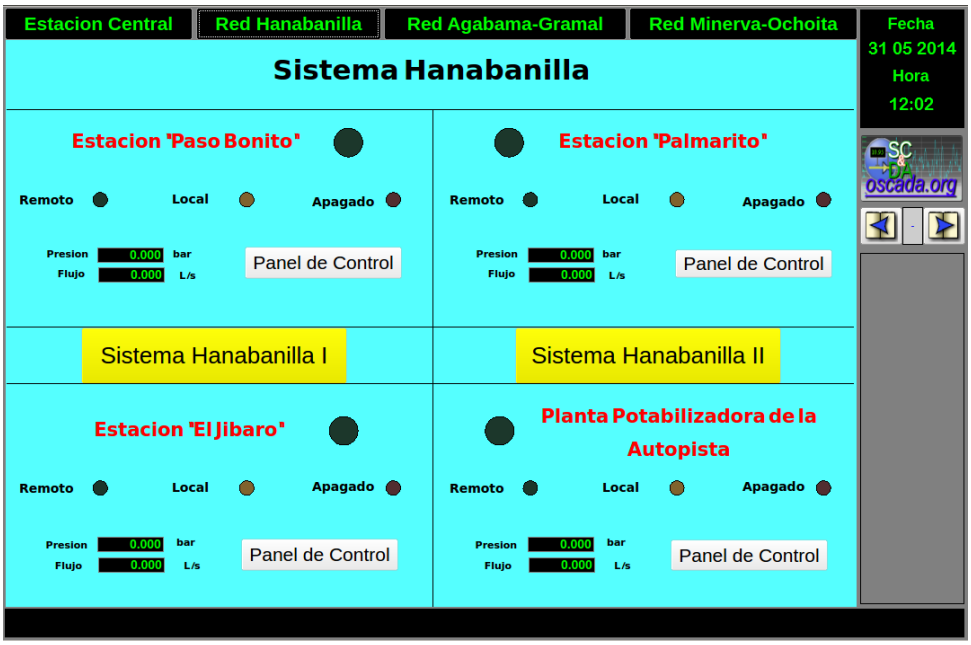
ZULUETA, A. E. 2007. SOS puede agotarse el grifo de la vida. *Victoria*.

ANEXOS

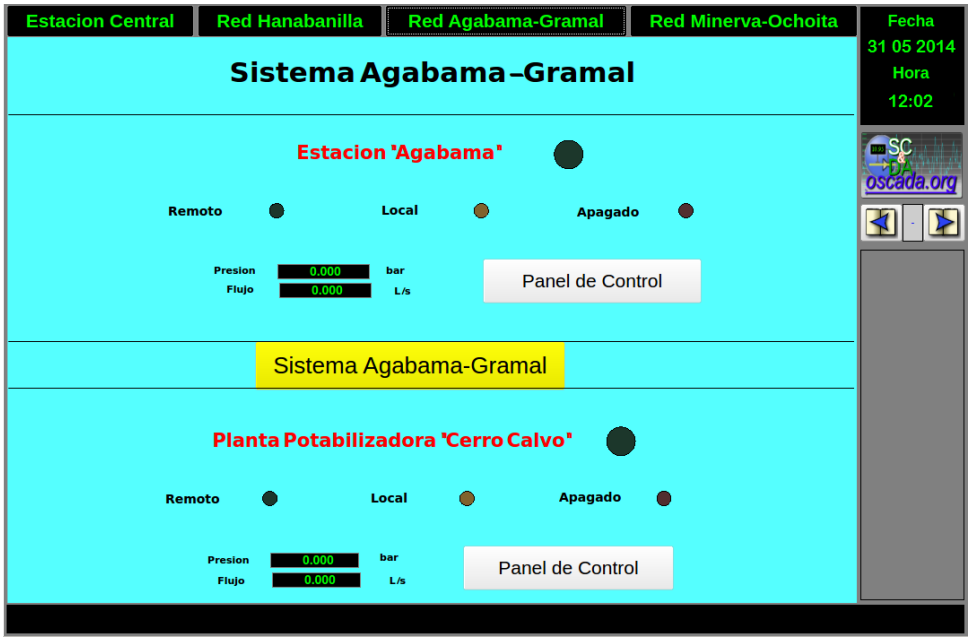
Anexo I Pantalla Estación Central



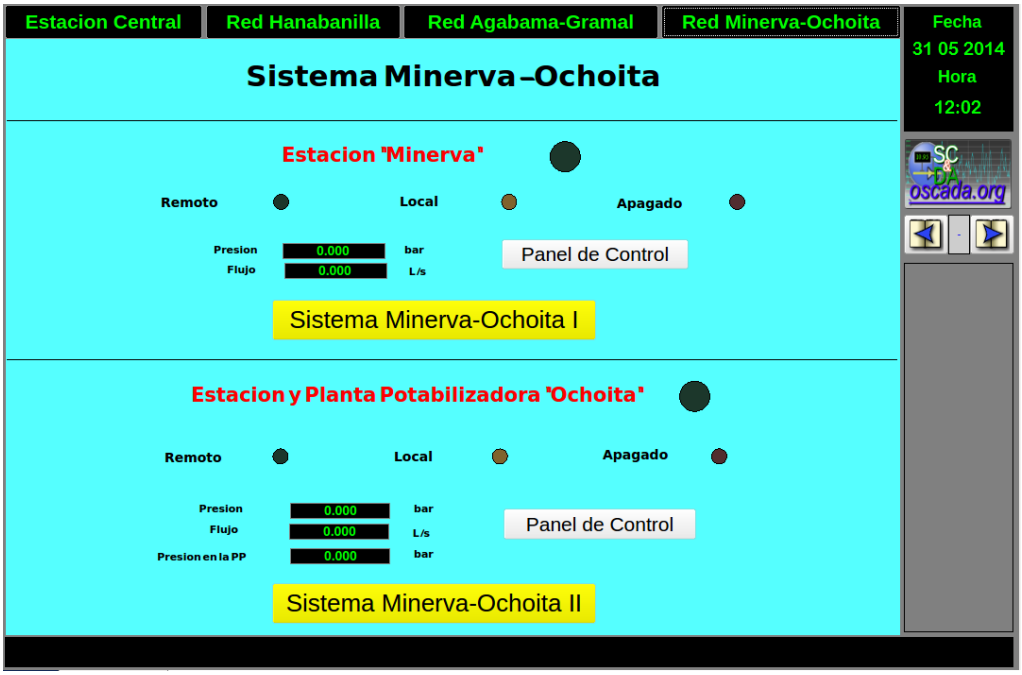
Anexo II Pantalla de la Red Hanabanilla



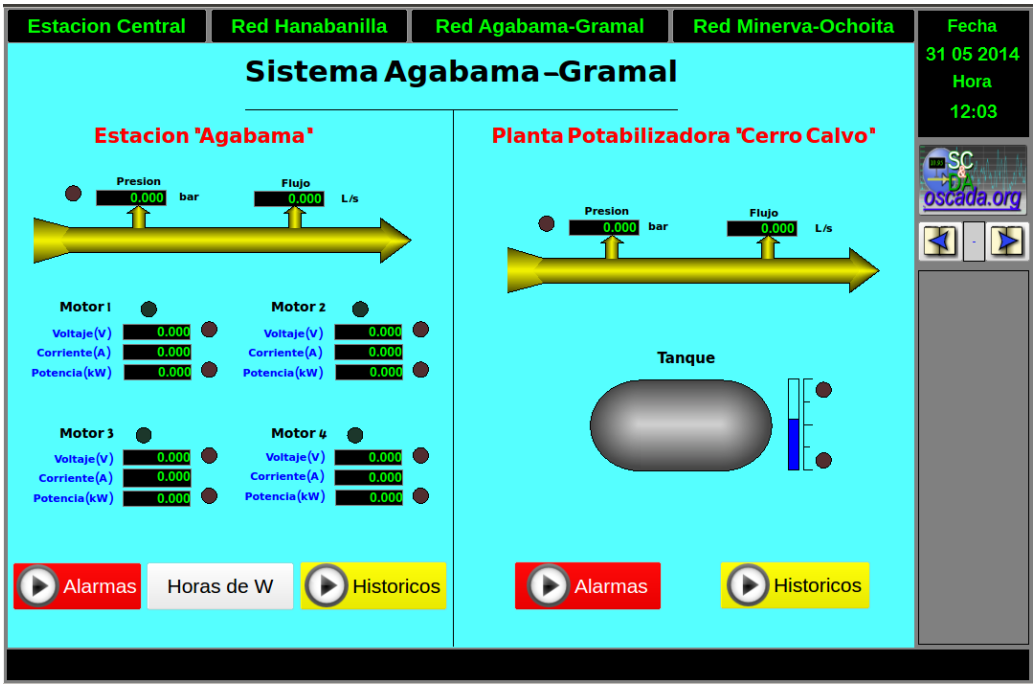
Anexo III Pantalla de la Red Agabama-Gramal



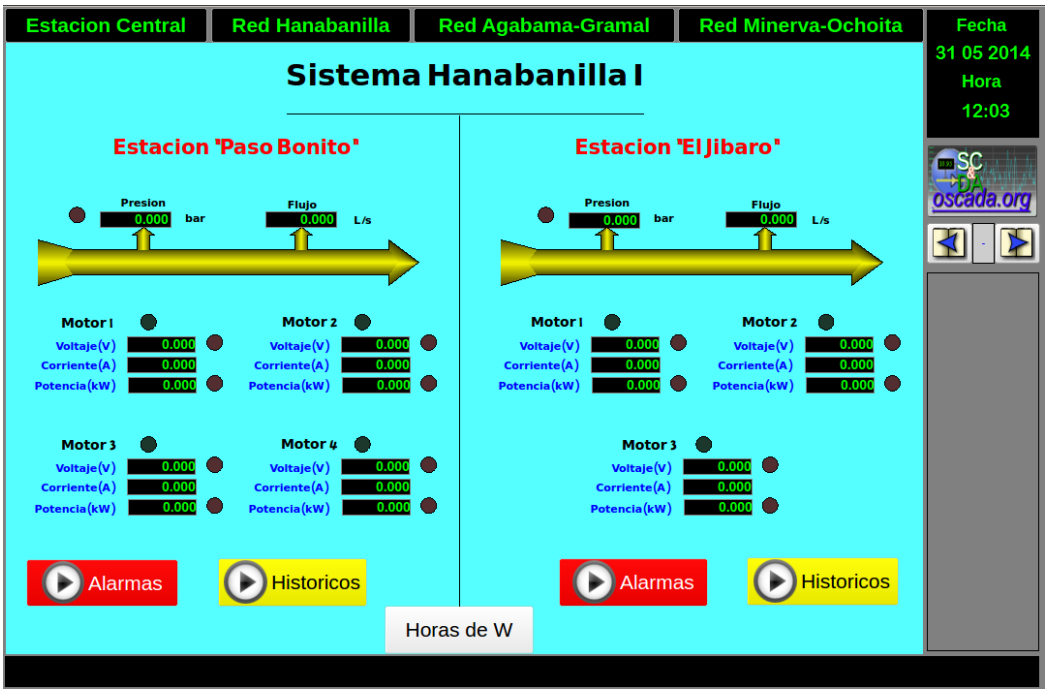
Anexo IV Pantalla de la Red Minerva-Ochoíta



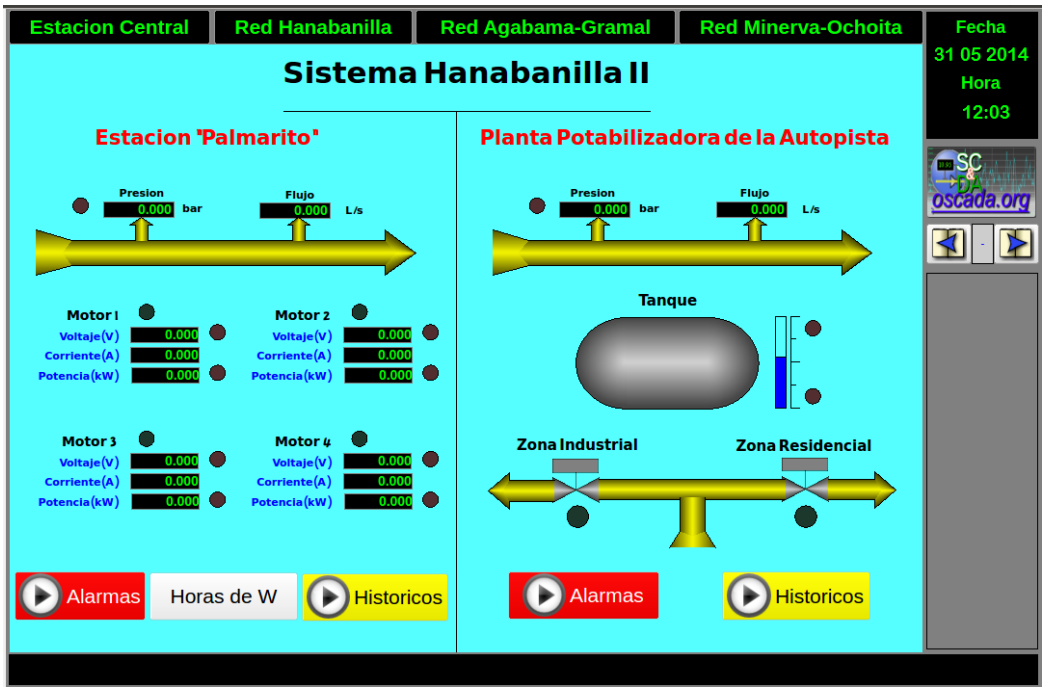
Anexo V Pantalla del Sistema Agabama-Gramal



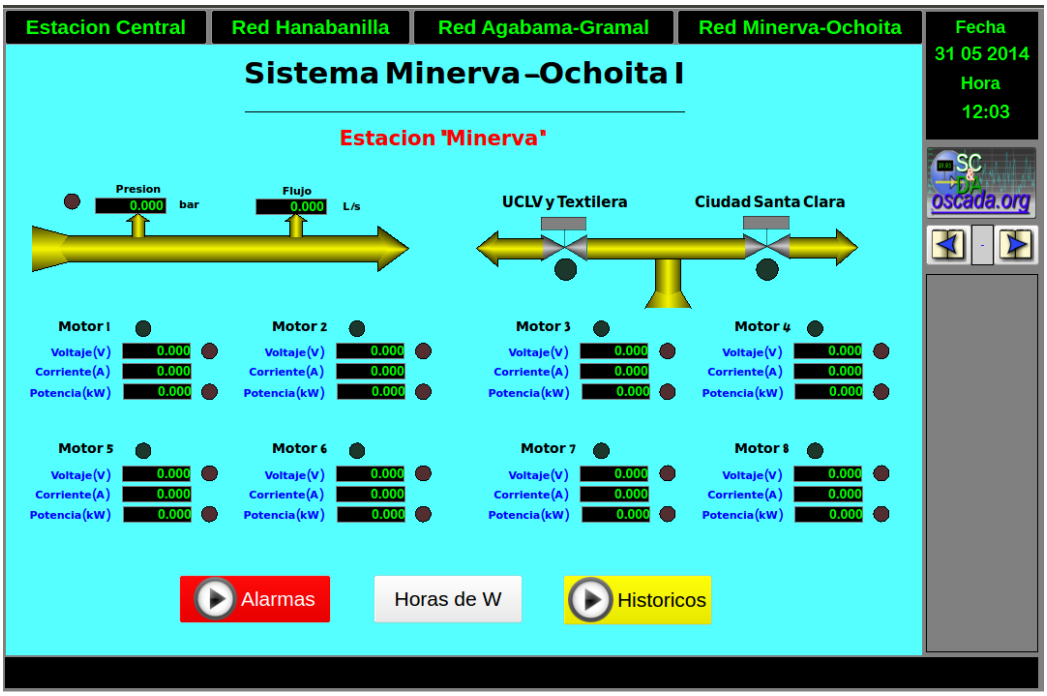
Anexo VI Pantalla del Sistema Hanabanilla I



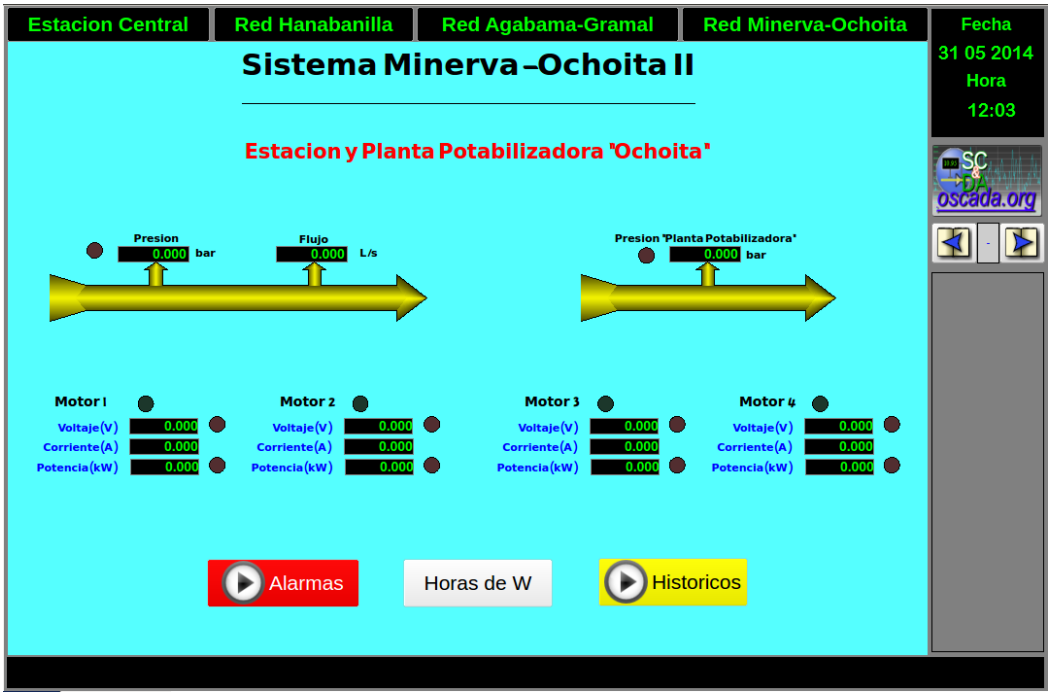
Anexo VII Pantalla del Sistema Hanabanilla II



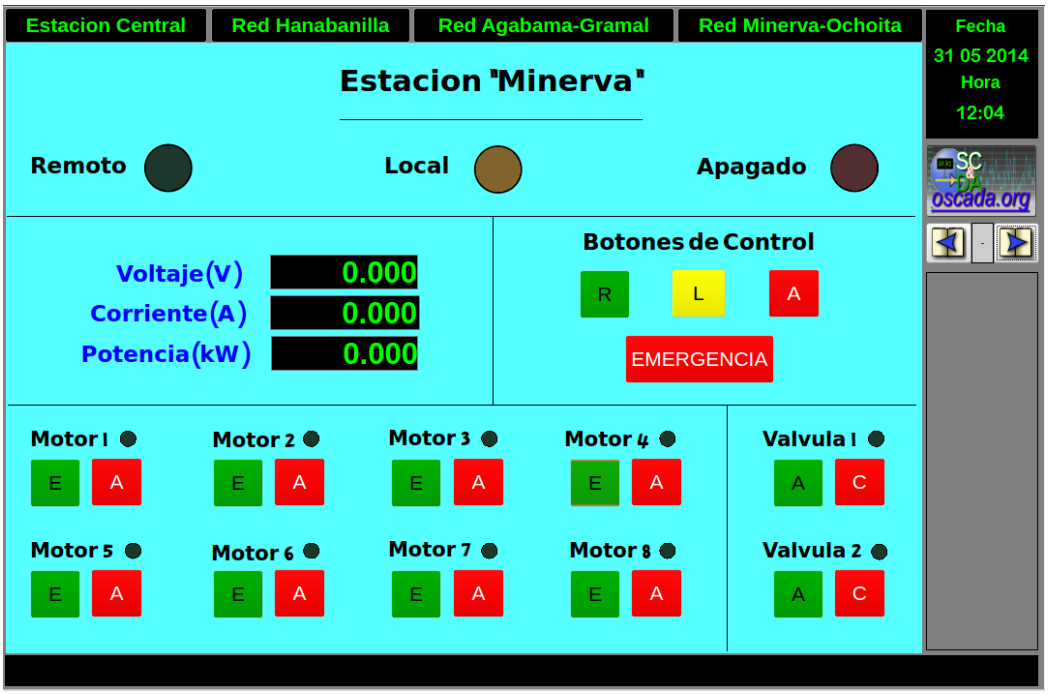
Anexo VIII Pantalla del Sistema Minerva-Ochoíta I



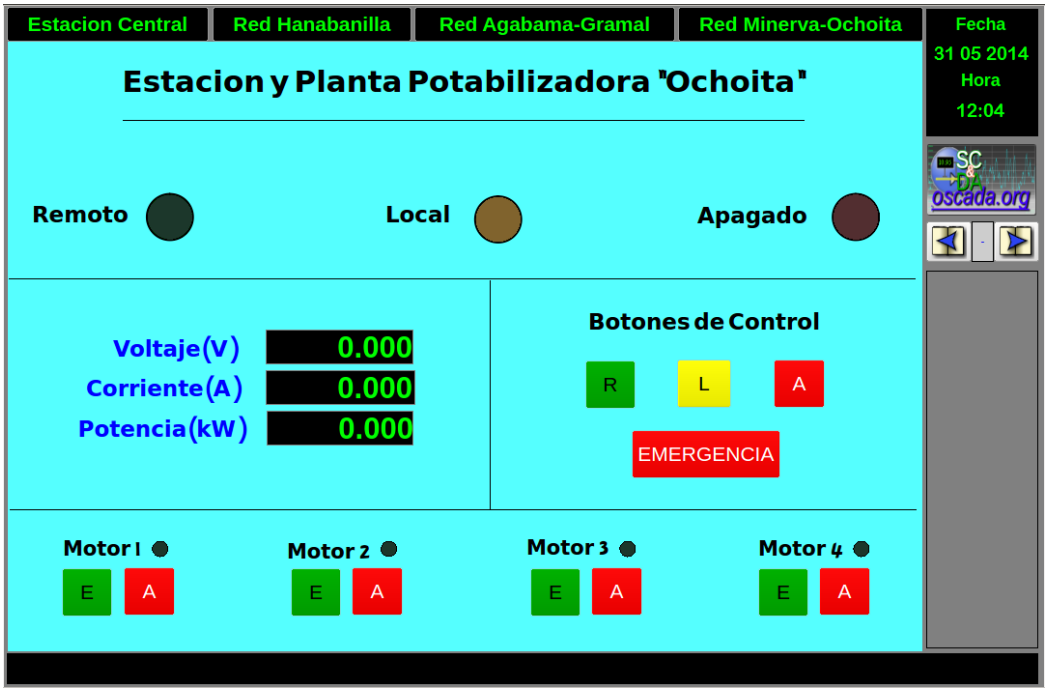
Anexo IX Pantalla del Sistema Minerva-Ochoíta II



Anexo X Pantalla de Control de la Estación Minerva



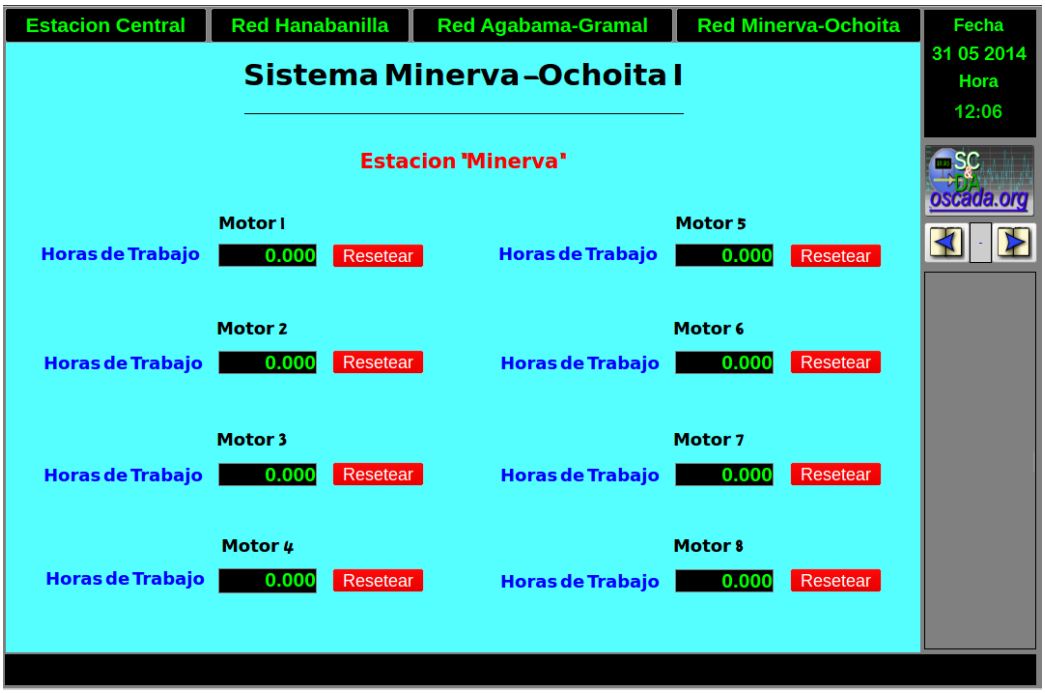
Anexo XI Pantalla de Control de la Estación Ochoíta



Anexo XII Pantalla de Reportes de Alarmas de la Estación Minerva

Anexo XIII Pantalla de Datos Históricos de la Estación Minerva

Anexo XIV Pantalla de Horas de Trabajo de los Motores de la Estación Minerva



Anexo XV Pantalla de Horas de Trabajo de los Motores de la Estación Ochoíta