

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

**“Propuesta de red de comunicación para las infraestructuras
hidráulicas en la ciudad de Santa Clara”**

Autor: Osvaldo de Armas Chao

E-mail: odearmas@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: Ing. Liodán Valdivia Coca

COPEXTEL División Villa Clara. Gerencia de Automática y Comunicaciones.

E-mail: coca@vc.copextel.com.cu

2013

“Año 55 de la Revolución”

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

**“Propuesta de red de comunicación para las infraestructuras
hidráulicas en la ciudad de Santa Clara”**

Autor: Osvaldo de Armas Chao

E-mail: odearmas@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: Ing. Liodán Valdivia Coca

COPEXTEL División Villa Clara. Gerencia de Automática y Comunicaciones.

E-mail: coca@vc.copextel.com.cu

2013

“Año 55 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 Telecomunicaciones y Electrónica, 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

“Es imposible aprender sobre lo que se cree saber”

Epicteto

Dedicatoria

Al rey de reyes, al único y fiel, al Salvador, a mi Dios.

A mi esposa.

A mis padres.

A mi sobrinita Jessi.

Agradecimientos

A Dios por su inmenso amor y fidelidad.

A mi esposa por todo su ayuda incondicional en pos de mi formación profesional, por su amor cariño y tiempo dedicado a este trabajo.

A mi mamá, por su amor intenso, y todo el sacrificio en pos de mi formación profesional.

A toda mi familia por confiar en mí, por estar siempre al tanto de lo que acontece en mi vida y por el cariño y afecto que siempre me han tenido.

A Samy, mi tutor, por su paciencia y el tiempo dedicado, por sus valiosas ideas, por su ayuda excepcional.

A Liodán por su gran aporte en la investigación.

A todos los profesores que a lo largo de estos años han influido en mi formación y madurez profesional.

A todos mis compañeros de estudio con los que he compartido estos años.

Osvaldo de Armas Chao

RESUMEN

Cuba es uno de los pioneros en el desarrollo de políticas de manejo sostenible de los recursos hídricos. Desde 1960 nuestro país ha procedido a la rehabilitación de centenares de kilómetros de redes de abastecimiento de agua y se han emprendido proyectos de automatización, todo en estrecha relación con el desarrollo científico y tecnológico para lograr el manejo eficiente y con la menor pérdida posible. El presente trabajo constituye un primer paso en la automatización del sistema de abasto de agua a la ciudad de Santa Clara y tiene como objetivo principal diseñar una red de comunicación para las infraestructuras hidráulicas. Para ello se desea contar con medios de comunicación capaces de permitir un monitoreo de las variables operativas: nivel en los tanques, presión en la conductora, flujo de agua y los principales parámetros eléctricos de los motores. Se hace un minucioso estudio de aspectos tan importantes como la infraestructura hidráulica existente en la ciudad, la selección de la instrumentación, la familia de PLC a usar y los módulos de comunicación necesarios para que todas las estaciones se comuniquen con la sala de control. Finalmente se evalúa el impacto económico y medioambiental de la tecnología a emplear.

GLOSARIO

AMPS: *Advanced Mobile Phone System*, en español Sistema Telefónico Móvil Avanzado.

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

CDMA: *Code Division Multiple Access*, en español Acceso Múltiple por División de Código. Es una técnica de multiplexación.

CDMA-2000: Familia de estándares de telecomunicaciones móviles de tercera generación (3G) que utilizan CDMA.

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

EAAVC: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villa Clara.

EDGE: *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*, en español Razón de Datos Mejorada para la Evolución a GSM

FDMA: *Frequency Division Multiple Access*, en español Acceso Múltiple por División de Frecuencia

FSK: *Frequency Shift Keying*, en español Modulación por desplazamiento de frecuencia

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

GPIB: *General Purpose Instrumentation Bus*.

GEAAL: Grupo Empresarial de Acueducto y Alcantarillado.

GPS: *Global Positioning System*, en español Sistema de Posicionamiento Global.

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 Communications, en español Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.

HART: Highway Addressable Remote Transducer

HSCSD: High Speed Circuit Switched Data, en español Datos de Alta Velocidad Sobre Circuitos Conmutados.

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

IDICT: Instituto de Información Científico Técnica

IMT-2000: De International Mobile Communications, en español Telecomunicaciones Móviles Internacionales.

INRH: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos

IWLAN: *Industrial Wireless Local Area Network.*

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

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

MTU: *Master Terminal Unit.*

NMT: *Nordic Mobile Telephone*, en español Telefonía Móvil Nórdica.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

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

PSTN: *Public Switched Telephone Network.*

RDSI: Red Digital de Servicios Integrados.

RTU: *Remote Terminal Unit.*

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

TACS: *Total Access Communication System*, en español Sistema de Comunicaciones de Acceso Total. Es una variante de AMPS.

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

TDMA: *Time Division Multiple Access*, en español Acceso Múltiple por División de Tiempo.

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

UMTS: *Universal Mobile Telecommunications System*, en español Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.

VHF: *Very High Frequency*

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	iv
GLOSARIO	v
INTRODUCCIÓN	1
Organización del informe	3
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Introducción a los Acueductos y Alcantarillados.....	5
1.1.1 Historia de las obras hidráulicas construidas en Santa Clara.....	6
1.1.2 Papel de la automatización en el empleo racional del agua.....	8
1.1.3 Estudios de automatización de los sistemas de abasto de agua	9
1.2 Las telecomunicaciones en los procesos industriales.....	10
1.2.1 Sistema de comunicación.....	11
1.2.2 Comunicaciones inalámbricas	12
1.2.3 Comunicaciones móviles	13
1.3 Sistemas de supervisión	14
1.3.1 Sistema SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition).....	15
1.3.2 Elementos del sistema SCADA	16

1.3.3	Transmisión de la información	17
1.4	Controlador Lógico Programable.....	17
1.5	Consideraciones finales del capítulo.....	19
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....		20
2.1	Infraestructura hidráulica de la ciudad de Santa Clara.....	20
2.1.1	Estación tipo bombeo.....	22
2.1.2	Estación tipo planta de tratamiento.....	22
2.1.3	Estación tipo tanque de almacenamiento.....	23
2.2	Sensores.....	23
2.2.1	Sensores de presión.....	24
2.2.2	Sensores de flujo o caudal	24
2.2.3	Sensores de nivel	25
2.3	Criterios de selección de sensores.....	25
2.4	PLC. Familia TBox.....	26
2.4.1	Ventaja de la utilización de los TBox.....	28
2.4.2	Selección del tipo de TBox para el diseño de la propuesta	29
2.4.3	Características del TBox MS	30
2.4.3.1	Opciones de comunicaciones.....	32
2.5	Protocolos industriales	33
2.5.1	Protocolo HART	34
2.5.2	Protocolo Modbus.....	35
2.6	GPRS.....	37
2.6.1	Empresa de Telecomunicaciones (ETECSA) como proveedor del servicio GPRS	38

2.6.2	Modem GSM/GPRS NEXO DATA.....	39
2.6.2.1	Instalación del Modem GPRS NEXO DATA para operación con puerto serie RS-232 (NEXO DATA RJ45 y NEXO DATA DB9)	40
2.7	Aplicaciones para el diseño del SCADA.....	42
2.8	Consideraciones finales del capítulo.....	42
CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE COMUNICACIÓN		44
3.1	Selección de la instrumentación de campo	44
3.1.1	Medición de presión.....	44
3.1.2	Medición de Flujo	45
3.1.3	Medición de Nivel	45
3.2	Módulos del TBox MS	46
3.3	Esquema de comunicación en las estaciones de bombeo	47
3.3.1	Comunicación entre los elementos de la estación de bombeo.....	47
3.4	Esquema de comunicación en las plantas de tratamiento	49
3.5	Esquema General de Comunicación	50
3.6	Análisis económico y medioambiental	53
3.7	Consideraciones finales del capítulo.....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		56
Conclusiones		56
Recomendaciones		57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		58
ANEXOS		61
Anexo I: Descripción de los módulos del TBox MS		61
Anexo II: Listado de registros de las variables transmitidas por el analizador de red		64

Anexo III: Costo de los medios necesarios para conformar la estructura de supervisión.65

INTRODUCCIÓN

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villa Clara (EAAVC), perteneciente al Grupo Empresarial de Acueducto y Alcantarillado (GEAAL) del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) es una empresa de servicios de ingeniería y trabaja básicamente para satisfacer las necesidades de suministro de agua potable y la evacuación de aguas negras y pluviales al sector residencial y estatal de forma tal que dichas acciones, y otras, contribuyan al mejor mantenimiento de las condiciones higiénico-sanitarias y a la preservación del medio ambiente, con el correspondiente uso racional de los recursos energéticos e hídricos.

Los sistemas de supervisión y control permiten realizar un monitoreo en tiempo real de las variables operativas así como enviar órdenes de telemando para realizar el encendido remoto de bombas, el accionamiento de válvulas y en general la manipulación de elementos en las estaciones.

El uso de esta tecnología ha demostrado muchas ventajas entre las que se destacan; tener control de todas las variables operativas y de los parámetros de calidad, obtener un aumento significativo en la confiabilidad de los procesos técnicos y además lograr una disminución del tiempo de respuesta ante fallas técnicas.

Cuba es uno de los pioneros en el desarrollo de políticas de manejo sostenible de los recursos hídricos. Desde 1960 se ha aumentado la cantidad de agua embalsada, se ha procedido a la rehabilitación de centenares de kilómetros de redes de abastecimiento de agua, se han creado innumerables plantas de tratamiento de residuales, se han construido y

reparado acueductos, todo en estrecha relación con el desarrollo científico y tecnológico para lograr el manejo eficiente y con la menor pérdida posible.

La gestión de un bien tan escaso, limitado y de alta demanda como es el agua, el control de la disponibilidad de este recurso, la seguridad y la fiabilidad tanto en el abastecimiento como en el control de su calidad, la complejidad y dispersión de las instalaciones, hace necesaria la implantación de modernos sistemas de gestión, operación y control del recurso hídrico.

Nuestro país ha realizado un gran esfuerzo por automatizar algunos sistemas de abasto de agua, se puede mencionar el proyecto emprendido por Aguas Varadero y más recientemente los estudios de automatización realizados en el polo turístico cayo Santa María, de la provincia Villa Clara.

Las comunicaciones en las infraestructuras hidráulicas de la ciudad de Santa Clara actualmente no cuentan con el equipamiento necesario para transmitir los parámetros técnicos desde los distintos objetivos hasta el despacho. Este constituye en esencia el problema científico que le da origen a la presente tesis.

Se desea contar con medios de comunicación capaces de permitir un monitoreo de las variables operativas: nivel en los tanques, presión en la conductora, flujo de agua y los principales parámetros eléctricos de los motores.

Como objetivo general se propone: “diseñar una red de comunicación para las infraestructuras hidráulicas en la ciudad de Santa Clara con el propósito de contribuir a la posterior automatización del sistema de abasto de agua”.

Para lograr dicho objetivo general, se proponen los **objetivos específicos**:

1. Realizar un estudio de las infraestructuras hidráulicas en la ciudad de Santa Clara.
2. Definir las variables a medir y analizar las características que presentan.
3. Proponer la red de comunicación que enlace las diferentes estaciones.
4. Evaluar el impacto económico de la tecnología a emplear.

Este proyecto constituye un primer paso en la automatización del sistema de abasto de agua en la ciudad de Santa Clara. Este estudio se presenta como una necesidad de nuestra sociedad por la importancia que tiene el ahorro de este recurso natural.

Se garantizará una mayor calidad en los servicios brindados a la población debido a la disminución del tiempo de respuesta ante averías. Además de garantizar la confiabilidad de los procesos técnicos.

Este proyecto puede convertirse en el elemento de partida para la automatización del sistema de abasto de agua en la ciudad de Santa Clara y como referencia para otras ciudades del país.

Viabilidad

En la actualidad se acometen trabajos de rehabilitación y modernización de las infraestructuras hidráulicas en las principales ciudades del país. Está planificado que para el 2016 este proceso inversionista comience las tareas de rehabilitación en la ciudad de Santa Clara. Este trabajo tiene el apoyo valioso de la Empresa Provincial de Acueducto y Alcantarillado de Villa Clara brindando facilidades en el uso de la documentación técnica, acceso a la infraestructura existente y la asesoría de los principales especialistas. Todo el equipamiento necesario es comercializado por las empresas cubanas Copextel y CEDAI.

Organización del informe

El presente trabajo de diploma está constituido por tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos. Los contenidos de los capítulos, en forma resumida son los siguientes:

Capítulo 1:

Se expone una introducción a los acueductos y alcantarillado mostrando la historia de las obras hidráulicas en la ciudad de Santa Clara, el papel de la automatización y algunos estudios realizados en estas obras. Se fundamenta el desempeño de las telecomunicaciones en los procesos industriales y se enfatiza en las comunicaciones inalámbricas y las comunicaciones móviles. Se hace una revisión bibliográfica sobre los sistemas de supervisión y los controladores lógicos programables.

Capítulo 2:

El capítulo dos enfatiza en los materiales y métodos utilizados. Se estudia la infraestructura hidráulica de la ciudad de Santa Clara y se da una breve caracterización de las principales estaciones que la conforman. Se expone la teoría más importante de sensores y los criterios de selección de estos. Se estudia la familia TBox, se selecciona el tipo que será usado en la propuesta, se muestran las características de este PLC y las opciones de comunicación que el mismo ofrece. Se abordan los protocolos HART y Modbus así como la tecnología GPRS y el modem GSM/GPRS NEXO DATA.

Capítulo 3:

En el capítulo tres se expone el diseño de la red de comunicación, se realiza la selección de la instrumentación, así como los módulos del TBox MS para cada estación. Se explica la comunicación entre los sensores y el PLC TBox MS y la comunicación entre todos los PLC y la sala de control. Además se realiza una valoración de los costos de los diferentes componentes utilizados, determinando la factibilidad económica y las posibilidades de ahorro de recursos para conocer el impacto de la propuesta.

Todos los capítulos terminan con un epígrafe de consideraciones finales en el que se resumen los aspectos más importantes que se trataron.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Al comenzar un proyecto de automatización en los sistemas de abasto de agua es necesario conocer el papel que juega la automatización en el uso racional de ese importante recurso, algunos estudios que se han llevado a cabo en el mundo y en Cuba, así como la función que desempeñan las telecomunicaciones en la implementación de estos sistemas. En este capítulo se exponen las características de las comunicaciones inalámbricas y móviles, los sistemas SCADA, así como los autómatas programables.

1.1 Introducción a los Acueductos y Alcantarillados

El acueducto es un canal artificial construido para transportar agua y abastecer a una población desde un lugar en el que está accesible en la naturaleza, hasta un punto de consumo distante. Puede ser un canal abierto o cerrado, un túnel o una tubería, o puede ser un puente que eleve el canal sobre un valle o un río. Un acueducto arranca en un sistema de captación de agua. El agua pasa de forma controlada a la conducción desde un depósito de cabecera usándose canales o tuberías que transportan el agua hacia su destinatario final. La construcción de un acueducto exige el estudio minucioso del terreno que permitirá escoger el trazado más económico para permitir una pendiente suave y sostenida sin alargar demasiado el recorrido de la obra (Carrazana, 2011).

Aunque existían precedentes en las civilizaciones antiguas los ingenieros romanos fueron los que pusieron a punto, técnicas que se pudieron generalizar por todas las ciudades del Mediterráneo, gracias fundamentalmente al uso del hormigón. Con todo, los factores técnicos no fueron los únicos que contribuyeron a difundir este tipo de obras, hizo falta

también la unidad política del imperio y la existencia de un sistema económico fuerte que creara las condiciones para el desarrollo urbanístico.

De esta manera la mayor parte del recorrido se hacía por canales, en general cubiertos, que se construían por las laderas de los montes, siguiendo la línea de pendiente deseada y se situaban cada cierto tiempo cajas de agua o arcas de agua, pequeños depósitos que servían para regular el caudal o decantar los sólidos, normalmente arena, que las aguas pudieran arrastrar. Muchos de los principios romanos en la construcción de acueductos se mantienen vigentes hoy en día aunque los acueductos modernos se construyen generalmente bajo tierra, como extensas redes de conductos de acero, cemento o tipos de plásticos (Arocha, 2012).

1.1.1 Historia de las obras hidráulicas construidas en Santa Clara

El Instituto de Información Científico Técnica (IDICT) en Villa Clara en la página web www.villaclara.cu publica la historia de las obras hidráulicas construidas desde la fundación de la ciudad Santa Clara.

Desde 1689, año de la fundación de la ciudad de Santa Clara, se usaba, el agua entonces abundante y clara, de los ríos que cruzaban la villa, los denominaban del Monte y de la Sabana, hoy se nombran Bélico y Cubanicay, sus aguas se empleaban para cubrir todas las necesidades, incluido el consumo y el aseo de los primeros habitantes. De hecho, la existencia y cercanía de ambos ríos fue uno de los factores que propició el asentamiento de las 18 familias remedianas que fundaron la ciudad.

Años después, según fue aumentando la población, se fue haciendo más difícil a los habitantes obtener agua de estos ríos, no solo porque se iban separando del centro de la naciente comunidad, sino porque el agua de los mismos se iba contaminando y escaseaba por el constante uso y abuso de la misma para todas las actividades, las que incluían el abrevadero y baño del ganado, el riego de los sembrados y el empleo por las personas.

Entonces se apeló a otras fuentes de obtención, algunas naturales provenientes de manantiales y otras de pozos. Entre algunos de los pozos más populares usados en aquella

época estaban los de la Vigía, los del Padre Conyedo, las Delicias y Chambery, aparte de infinidad de pozos privados en las casas de familias.

El primer Acueducto de Santa Clara se construyó entre los años 1914 a 1919, en plena I Guerra Mundial; las obras se iniciaron bajo la presidencia del General Mario García Menocal y terminaron justamente en su segundo período de gobierno.

Los proyectos fueron adjudicados a los Ingenieros Torrance y Portal, radicados en la capital, el contrato se realizó con fecha 2 de septiembre de 1914 y se comenzaron los trabajos acto seguido con la instalación de la red de tuberías principales de la ciudad de Santa Clara.

El proyecto del Departamento Provincial de Obras Públicas de aquella época, un proyecto original excelente, sufrió importantes modificaciones en la ejecución, pues no se construyó la presa proyectada en el caudaloso río Agabama a causa del considerable precio que alcanzaron en el mercado nacional los materiales para la construcción y la dificultad de traerlos del extranjero, por causa de la mencionada guerra.

El problema fue resuelto por los ingenieros constructores, mediante un nuevo proyecto de una presa más económica en el cauce del río Gramal situado a unos 20 km al sudoeste de la ciudad de Santa Clara. Este segundo proyecto fue aprobado por la Secretaría de Obras Públicas en el mes de agosto de 1915.

Estas obras se terminaron el día 3 de julio de 1919 a los 5 años de haber comenzado, efectuándose la recepción definitiva los días 6 y 7 de noviembre de 1919, fecha en que se puso al servicio público.

Los cálculos para la construcción del acueducto fueron basados en la población de Santa Clara de aquella época, 18 000 mil habitantes, y por lo tanto el caudal mínimo se fijó en 108 000 galones por día lo que permitió un servicio de 60 galones diarios por habitante, insuficiente a los 25 años de terminado pues la población ya era de más de 50 000 habitantes, es decir, cerca del triple de la población de 1919.

En 1944 se decidió realizar obras de mejoras y ampliación y fue presentado un proyecto por el ingeniero Jesús Valdés Roig, importante constructor de presas.

El mencionado proyecto consistió en la construcción de una presa de relativamente poca altura donde se combinaban las cuencas del Agabama y del Gramal cerca de 2 km aguas debajo del anterior embalse. Se establece una estación de bombeo, un canal conductor desde el embalse Gramal, hasta cierto punto de la conductora de hierro, una Planta de Filtros (Potabilizadora) y un tanque distribuidor en Cerro Calvo, además de una ampliación de la red de distribución urbana (CIGET, 2013).

Con el crecimiento demográfico de la ciudad se fueron incorporando paulatinamente los siguientes sistemas de abasto: el sistema Hanabanilla y el sistema Minerva – Ochoita. El sistema Hanabanilla comienza su incorporación a la ciudad en 1965 con 300 l/s, más tarde en 1977 culmina la obra con un caudal de extracción del embalse Paso Bonito de 900 l/s. El sistema Minerva – Ochoita se incorpora con fines de abasto en el año 1988, por el rebombeo de la Textilera y se amplía su uso a la población en el año 1994 con la terminación de la Potabilizadora Ochoita.

1.1.2 Papel de la automatización en el empleo racional del agua

Debido a que la automática permite el manejo eficiente y racional de los recursos hídricos, ha sido aprovechada para el control de uno de los procesos industriales más comunes: la conducción del agua. Así uno de los primeros ejemplos se puede ver en la presa Glen Canyon, ubicada en Arizona, Estados Unidos. Esta obra de ingeniería fue terminada en 1966 y para 1968 ya tenía un sistema de control automático, que aunque no es comparable con los de hoy en día, era muy adelantado a su tiempo. Este sistema se instauró como una necesidad de mermar las enormes pérdidas por conducción de agua que habían, de la que la presa no podía darse el lujo por los constantes períodos de sequía y la evaporación al encontrarse en una zona desértica con muy altas temperaturas. Así desde aquel entonces se monitoreaban las presiones en las conductoras principales, el nivel en la presa, había cierto registro de reporte de histórico, que iba pasando del nivel de campo, al de planta y de allí al administrativo, en estos dos últimos niveles se tomaban las decisiones de control más importantes, las cuales eran ejecutadas en gran medida por operarios de forma manual, accionando válvulas, compuertas y otros dispositivos. El sistema de control posibilitó que en tan solo dos años, las pérdidas del preciado líquido por conducción se redujeran a la

mitad. Como es de esperar los sistemas de control automático vinculados al uso racional del agua han ido evolucionando con el tiempo, tanto es así, que no se concibe ninguna obra hidráulica importante, que puedan prescindir de ellos, por todas las ventajas económicas, sociales y ambientales que trae. Con el transcurso de los años estos sistemas, se han expandido geográficamente y si al principio solo existían en países desarrollados, hoy en día y desde hace unos cuantos años los países subdesarrollados también hacen uso de estos (Arocha, 2012)

1.1.3 Estudios de automatización de los sistemas de abasto de agua

Hoy en día es muy necesario por las empresas apostar en la adopción de nuevas tecnologías para automatizar su producción a fin de hacer sus procesos cada vez más eficientes, obtener productos de mayor calidad y al mismo tiempo obtener una alta competitividad en su mercado.

Se ha 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 el Grupo Aguas de Barcelona (Agbar), España.

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 (Acueducto-de-Bogotá, 1996).

En el año 2011 la distribución de agua en la ciudad de Santiago de Cuba carecía de un sistema automático, es por ello que se comenzó a realizar un proyecto que incluye la automatización integral de todo el sistema, lo que permitirá mayor eficiencia en la reparación de las averías, la disminución en los tiempos de mantenimiento, mayor

estabilidad en la entrega del líquido, así como una mejor gestión en el ahorro y uso racional del agua, de gran necesidad por el gran gasto y derroche de agua que había antes de la rehabilitación. Así estos trabajos harán posible la telemedición y telecontrol 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 oriental.

Los trabajos de automatización en el sistema Parada, que es el más pequeño y menos complejo de todos, 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 tiene como antecedentes el que existe en Varadero, Matanzas, 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 de la naturaleza como los ciclones y los terremotos (CMKC-Radio-Revolución, 2011).

1.2 Las telecomunicaciones en los procesos industriales

Las telecomunicaciones 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, polductos, refinerías, industria fabril, etc. (Serbiula, 2013)

La red de Telecomunicaciones para la Automatización Industrial tiene como objetivos:

- ✓ La recolección de datos, instantáneamente desde las localidades remotas.
- ✓ La transmisión de los datos hasta los centros de Control de Operaciones y procesamiento de la información.

- ✓ Proveer los recursos para aumentar la confiabilidad y seguridad en los procesos de producción mediante detección temprana de condiciones de alarma, supervisión y control continuo de procesos de alto riesgo, verificación del estado de las instalaciones y seguimiento de las condiciones de operación de estaciones remotas.

Para cumplir con estos objetivos la red integrada de comunicaciones debe estructurarse en una arquitectura bien definida y bajo las premisas de racionalización, conectividad, calidad y confiabilidad.

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.

1.2.1 Sistema de comunicación

Un sistema electrónico de comunicaciones está compuesto por tres elementos principales: un transmisor, un medio de transmisión y un receptor.

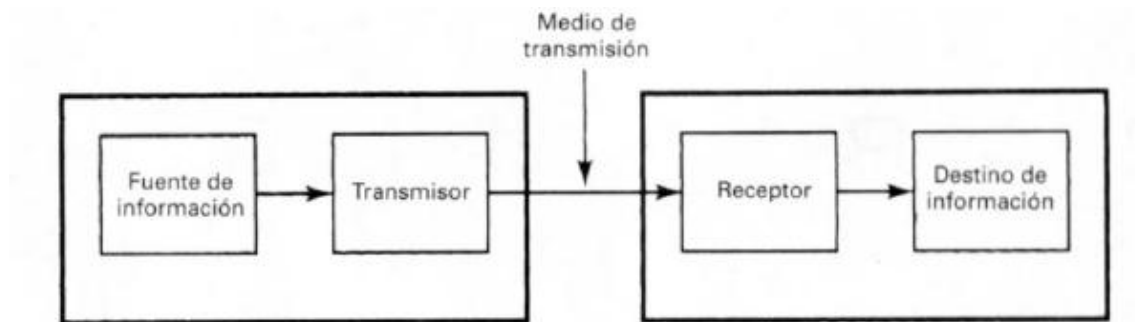


Figura 1.1: Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas.

- ✓ Un transmisor es un conjunto de uno o más dispositivos o circuitos electrónicos que convierte la información de la fuente original en una señal que se presta más a su transmisión a través de determinado medio de transmisión.
- ✓ El medio de transmisión transporta las señales desde el transmisor hasta el receptor, y puede ser tan sencillo como un par de conductores de cobre que propaguen las señales en forma de flujo de corriente eléctrica. También se puede convertir la información a

ondas electromagnéticas luminosas, propagarlas a través de cables de fibra óptica hechas de vidrio o de plástico, o bien se puede usar el espacio libre para transmitir ondas electromagnéticas de radio, a grandes distancias o sobre terreno donde sea difícil o costoso instalar un cable físico.

- ✓ Un receptor es un conjunto de dispositivos y circuitos electrónicos que acepta del medio de transmisión las señales transmitidas y las reconvierte a su forma original (Tomasi, 2003).

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 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.

1.2.2 Comunicaciones inalámbricas

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.

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 son herramientas muy versátiles que permiten ofrecer diferentes aplicaciones, tales como las comunicaciones punto a punto, punto a multipunto,

radioaficionados, servicios públicos como radiodifusión sonora o televisiva, buscapersonas, radio troncalizado (*trunking*), telefonía móvil, telefonía fija inalámbrica, los servicios por vía satélite, entre otros. Asimismo, dependiendo del terminal que se use en dichos servicios o aplicaciones, se pueden distinguir modalidades de comunicaciones inalámbricas fijas y comunicaciones inalámbricas móviles (Hernández Solís, 2011). 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.

1.2.3 Comunicaciones móviles

Los primeros sistemas de telefonía móvil terrestre o de primera generación: TACS, AMPS, NMT, TMA, NAMT; eran analógicos. Los terminales eran bastante voluminosos, la cobertura se limitaba a grandes ciudades y carreteras principales, y sólo transmitían voz. La compatibilidad entre terminales y redes de diferentes países no estaba muy extendida. NMT se utiliza en los países nórdicos, AMPS y TACS en EEUU, y NAMT en Japón.

Los sistemas de segunda generación: GSM, CDMA, TDMA, NADC, PDC, ya son digitales. Incluyen la transmisión de datos, aunque a velocidades muy pequeñas e introduce el envío de mensajes SMS. Tienen una compatibilidad entre las distintas redes nacionales. GSM se implanta en Europa y en otros países del resto del mundo, TDMA y CDMA en EEUU, mientras que PDC en Japón.

El estándar GSM describe una red digital de conmutación de circuitos, optimizada para telefonía de voz full dúplex y además incluye transporte de datos. Cada frecuencia puede transmitir varias conversaciones. Los sistemas GSM operan en 4 bandas que son estándares a nivel mundial: 850, 900, 1800 y 1900 Mhz. En la mayoría de los países de Europa, Asia, Australia, Medio Oriente y África, se emplean las bandas de 900-1800 Mhz. En los Estados Unidos, Canadá, México y la mayor parte de Centro y Sudamérica se usan las bandas de 850-1900 Mhz. En México se emplea la banda de 1900 Mhz.

Como puente entre la segunda generación y la telefonía móvil de tercera generación está lo que se ha denominado generación 2,5, caracterizada por las mejoras en los protocolos de transmisión de datos. En esta generación se destaca HSCSD, GPRS (*General Packet Radio Service*) y EDGE. Algunos de estos sistemas introducen la conmutación de paquetes en la

telefonía móvil, es decir, la comunicación se produce al "estilo" Internet. La información se divide en trozos o paquetes, que siguen caminos diferentes hasta alcanzar el destino. GPRS alcanza los 115 Kbps, mientras que EDGE los 384 Kbps (Castells, 2006).

Por último, los servicios móviles de tercera generación, como es el caso de: UMTS (*Universal Mobile Telecommunication Service*), IMT-2000 (*International Mobile Communications*), CDMA-2000 (*Code Division Multiple Access*), entre otros, responden a la necesidad de “banda ancha” en la transmisión de datos en general, y al uso de aplicaciones multimedia e internet a altas velocidades. A través de estas tecnologías, el usuario debe estar en capacidad de transmitir y recibir información a velocidades como 384 kbps e incluso 2 Mbps (Sanchez Ortiz, 2003).

La principal ventaja de UMTS sobre la segunda generación móvil (2G), es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 144 kbit/s sobre vehículos a gran velocidad, 384 kbit/s en espacios abiertos de extrarradios y 17.2 Mbit/s con baja movilidad.

1.3 Sistemas de supervisión

Frente al incremento de información, cambiante y dinámica, el operador de control necesita nuevas ayudas en su tarea de vigilancia y supervisión del proceso. Así, la supervisión de procesos se entiende como todo el soporte a la sistematización en el seguimiento de los procesos, automatizando en la medida en la que sean posibles las tareas necesarias para dicha actividad, llegando a ser sistemas completos con capacidad para la toma de decisiones.

Un sistema de supervisión es a grandes rasgos una (o varias) aplicación (es) informática(s) que sacará partido de toda información relativa al proceso para decidir sobre su correcto (o no) funcionamiento y proponiendo, su vez, las acciones adecuadas para mantener los objetivos productivos fijados para el proceso.

Se trata de caracterizar el proceso desde variables y parámetros de éste. La respuesta del proceso a las órdenes, los efectos de los controladores, las influencias y relaciones conocidas entre variables determinan el conocimiento del proceso que tenemos y que

debemos utilizar. De ahí la importancia de incidir sobre los beneficios y la necesidad de la supervisión y del concepto de monitoreo como vigilancia del proceso y, por tanto integrado como parte de la supervisión.

1.3.1 Sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

Los sistemas SCADA son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos, especialmente diseñado para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc. (Mendiburu Díaz, 2006)

Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores) y controlando el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

Cada uno de los ítems de SCADA involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un Controlador Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado, otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio vía su puerto serial, y así existen muchas otras alternativas.

Las tareas de supervisión y control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real,

y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

1.3.2 Elementos del sistema SCADA

Un sistema SCADA está conformado por: (Mendiburu Díaz, 2006)

Interfaz Operador Máquinas: 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.

Unidad Central (MTU): Conocido como Unidad Maestra. Ejecuta las acciones de mando (programadas) en base a los valores actuales de las variables medidas.

La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesamiento ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Unidad Remota (RTU): Las RTU (*Remote Terminal Unit*) son dispositivos de control de procesos remotos encargados de adquirir datos provenientes de equipos externos y sensores, transferir los datos hacia la estación central, donde se encuentra operando el SCADA, usando una o más variantes de comunicación y a su vez comandan a los actuadores y demás elementos de control final. Entre sus funciones también se encuentra el envío de alarmas hacia el centro de control o a personas específicas.

Sistema de Comunicaciones: Se encarga de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Es toda la infraestructura de comunicación que conecta el sistema de control con las RTU.

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 haya problema con la confusión de valores de los datos.

1.3.3 Transmisión de la información

Para comunicar las estaciones remotas con los Puestos de Control se utilizan las redes de comunicación. Estas redes pueden ser privadas (PMR, *Trunking*, *Tetra*, *WirelessLan*, *WirelessWan*, etc.) o redes de operadores públicos (Red telefónica, GSM, GPRS). Los sistemas pueden basar sus comunicaciones en una única red o permitir una comunicación redundante que garantice la comunicación en caso de problemas en alguna de las redes (Izaguirre, 2008).

Un sistema SCADA tiene como característica fundamental el empleo de varios protocolos y vías para establecer la comunicación. El mismo 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.

El módulo de comunicaciones contiene los drivers de conexión con el resto de elementos digitales conectados, entendiendo el driver como un programa que se encarga de la iniciación del enlace, aplicación de los formatos, ordenación de las transferencias, en definitiva, de la gestión del protocolo de comunicación. Estos protocolos pueden ser abiertos como el Modbus, FieldBus y Map, o propios de los fabricantes.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información.

1.4 Controlador Lógico Programable

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).

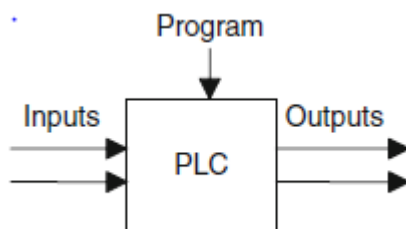


Figura 1.2: Controlador lógico programable

Los PLCs son similares a las computadoras, pero mientras que los ordenadores están optimizados para tareas de cálculo y visualización, los PLCs están optimizados para tareas de control y para el medio ambiente industrial, estos son resistentes y diseñados para soportar vibraciones, 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 figura 1.3 muestra la disposición básica de este sistema.

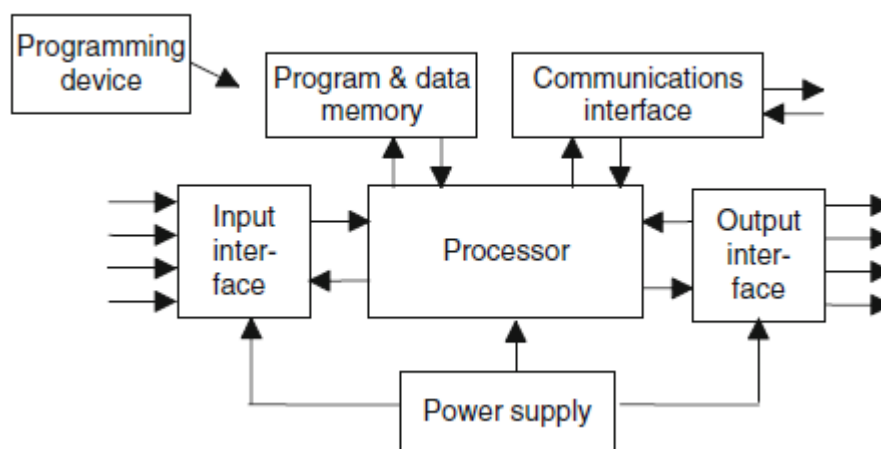


Figura 1.3: Componentes básicos de un PLC

La unidad de procesador o 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.

Se necesita la unidad de suministro de energía para convertir la tensión alterna de red a la baja tensión de CC (5 V) necesario para el procesador y los circuitos de entrada y módulos de interfaz de salida.

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 almacena el programa que contiene las acciones de control que se ejerce por el microprocesador y dónde se almacenan los datos de la entrada para la transformación y para la salida.

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.

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

1.5 Consideraciones finales del capítulo

El uso racional de los recursos hídricos es de vital importancia para un desarrollo sostenible, las telecomunicaciones desempeñan un rol vital en la transmisión de los datos desde las estaciones remotas hasta la sala de control. En este sentido en este capítulo se han presentado de manera resumida las comunicaciones inalámbricas pues las mismas abren en la industria nuevas posibilidades para automatizar de forma flexible y eficiente. Se definen los sistemas SCADA y los autómatas programables.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo enfatiza en los materiales y métodos utilizados. Primero se comienza con el estudio de las infraestructuras hidráulicas en la ciudad de Santa Clara, caracterizando brevemente las estaciones que lo conforman. Se abordan los aspectos que fundamentan la selección de la familia TBox, y dentro de ellas se selecciona el tipo específico que empleado en la propuesta. Se muestran las características y las opciones de comunicación que el mismo ofrece, abordando los protocolos HART, Modbus y la tecnología GPRS.

2.1 Infraestructura hidráulica de la ciudad de Santa Clara

La infraestructura de extracción y distribución de agua potable para la ciudad de Santa Clara está conformada por un sistema de tuberías de diámetros diferentes, 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:

Sistema Agabama – Gramal: Sus aguas son tratadas en la Planta Cerro Calvo, construida en el año 1951. Este embalse se deprime 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 Hanabanilla: 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 Minerva – Ochoita: 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 Ochoita. 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.

A continuación se muestra el esquema general de abasto a la ciudad de Santa Clara. (Figura 2.1)

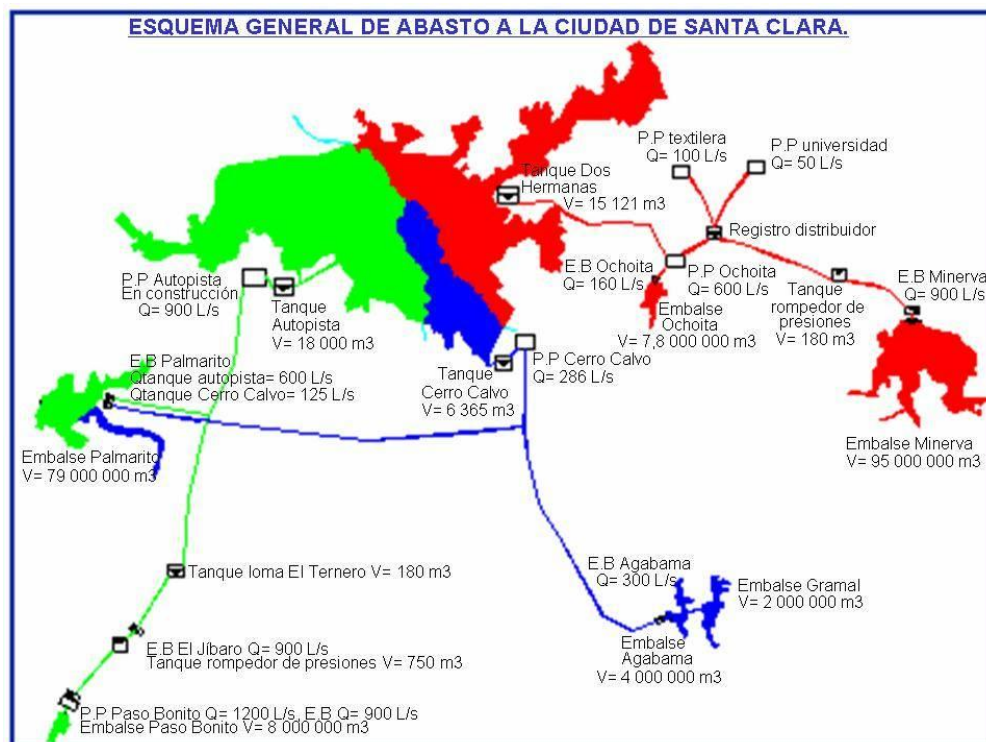


Figura 2.1: Esquema general de abasto a la ciudad de Santa Clara.

A continuación se muestra una descripción de los tipos de estaciones existentes y las variables a medir en cada una de ellas.

2.1.1 Estación tipo bombeo

Las estaciones de bombeo se definen como las estaciones encargadas de obtener el agua de las nacientes y pozos. También son utilizados para darle un impulso adicional al agua (rebombeo), de manera que logre llegar a lugares apartados. Este tipo de estaciones tienen una o varias máquinas de bombeo con el equipamiento necesario para el funcionamiento de las bombas (Suárez Vargas, 2005).

En este tipo de estación se propone medir la presión, flujo o caudal y parámetros eléctricos de los motores.

El equipamiento de las bombas incorpora analizadores de red lo cual permite visualizar las mediciones en la misma bomba.

2.1.2 Estación tipo planta de tratamiento

La función de este tipo de estación, es la de potabilizar el agua que se toma de las nacientes de los ríos, de manera que cumpla con las normas de la OMS (Organización Mundial de la Salud), la cual regula los parámetros de las sustancias en el agua potable, por ejemplo regular la turbiedad del agua, color del agua, alcalinidad, pH y cloro residual entre otros, cuyos valores permisibles se presentan en la tabla 2.1 mostrada a continuación:

Tabla 2.1 Parámetros permitidos por la OMS de sustancias en el agua, para CR.

Parámetro	Valor recomendado	Valor máximo permisible	Unidades
Turbiedad	1	5	UNT ¹
Color	1	15	mg/l (Pt-Co) ²
Cloro residual	5		µg/l
pH	7	6 – 7,5	-
Alcalinidad (dureza)	400		mg/l CaCO ₃ ³

¹ UNT: unidades nefelométricas de turbiedad.

² Pt-Co: platino-cobalto, unidades de color verdadero.

³ CaCO₃: Carbonato de calcio, unidades de dureza.

El proceso de potabilización del agua consiste en varias etapas de tanques de filtración y retención de agua, los cuales cumplen la función de dar tiempo a los técnicos de laboratorio de realizar muestras del agua, para determinar los diferentes tipos de variables ya mencionadas, y así calcular la cantidad de químicos que se deben agregar al agua, durante las diferentes etapas de tratamiento, con el fin de que la misma cumpla con los parámetros sanitarios establecidos por la OMS (Suárez Vargas, 2005).

En este tipo de estación se propone medir el nivel, el caudal de entrada y el caudal de salida. Se pudiera incluir posteriormente las variables de potabilización: cloro residual, turbiedad, color, dureza, pH y alcalinidad.

2.1.3 Estación tipo tanque de almacenamiento

La función que tienen los tanques en el proceso de abastecimiento de agua, es la de servir como una reserva en el momento en que la demanda sea mayor que el caudal que recibe el tanque. Esto sucede generalmente en la mañana, que es el período de mayor demanda, mientras que en la noche decrece la demanda y el caudal recibido por el tanque es mayor que el caudal de salida de éste.

En este tipo de estación se propone medir el nivel del tanque, el caudal de entrada y el caudal de salida.

2.2 Sensores

Los instrumentos utilizados para la detección y medición de magnitudes físicas son los sensores. Estos se basan en fenómenos físicos para obtener señales que pueden ser medidas, típicamente voltajes o corrientes. Muchos sensores basados en propiedades eléctricas de los materiales y dispositivos producen señales que requieren ser acondicionadas de manera que puedan ser utilizadas por el resto de los instrumentos.

Por tanto se llama sensor al instrumento que produce una señal, usualmente eléctrica, que refleja el valor de una propiedad, mediante alguna correlación definida (su ganancia). (Gómez Sarduy et al., 2007)

Las especificaciones de un sensor son dadas por el fabricante en cuanto se adquiere el instrumento, en la actualidad encontramos estos datos tanto en manuscritos (manuales, hojas, etc.) como en formato digital (CD, memorias flash, etc.).

Existen varios tipos de señales de transmisión: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas. Las más empleadas en la industria son las tres primeras.

Los transmisores 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 y de compromiso entre la distancia de transmisión y la robustez del equipo. Al ser continua y no alterna, elimina la posibilidad de captar perturbaciones (Creus Solé, 2010).

2.2.1 Sensores de presión

La presión es definida como una fuerza por unidad de superficie que un material ejerce sobre otro. En el Sistema Internacional de unidades la presión se mide en Newtons por metro cuadrado (N/m²) 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. La medición más sencilla se corresponde con la presión manométrica, la cual es la diferencia entre la presión medida y la presión del ambiente.

Un sensor ligeramente más complicado es el que se utiliza para medir la presión diferencial, que es la diferencia de dos presiones en la que ninguna es necesariamente igual a la atmosférica. Un tercer sensor de presión es el que se utiliza para medir la presión absoluta, la cual se mide con un sensor de presión diferencial donde un lado está referenciado como cero (cercano al vacío total) (Creus Solé, 2010).

El campo de aplicación de los medidores de presión es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones de miles de bar.

2.2.2 Sensores de flujo o caudal

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.

Sensores basados en presión diferencial: Este grupo de sensores se basa en el hecho de que la presión de un fluido en movimiento es proporcional al caudal. Si se detecta la presión con un sensor de presión como los mencionados anteriormente, el caudal puede ser calculado. El sensor de caudal más sencillo es la placa de orificio, el cual es una simple restricción en la tubería que provoca una caída de presión. Este sensor requiere dos tomas de presión; una, aguas arriba y otra, aguas abajo de la restricción (Gómez Sarduy et al., 2007).

2.2.3 Sensores de nivel

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.

2.3 Criterios de selección de sensores

Para la selección adecuada de un sensor debe considerarse: (Gómez Sarduy et al., 2007)

- La magnitud que se mide: Es importante tener en cuenta el tipo y rango de la magnitud a medir.
- El principio básico de transducción más adecuado para la medida. Hay que garantizar que exista compatibilidad entre las características de entrada salida del sensor y del resto del sistema.
- La exactitud requerida: Hay que considerar características de comportamiento que afectan la exactitud que se desea tales como no linealidad, histéresis, comportamiento en frecuencia, efectos de la temperatura, aceleraciones, golpes y vibraciones.

Otras consideraciones a tener en cuenta pueden estar relacionadas con la disponibilidad, factores de costo, condiciones ambientales a las que se someterá, etc.

2.4 PLC. Familia TBox

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. A continuación relacionamos una tabla de las principales compañías y su PLC líder en el mercado actual (Bolton, 2009, Ferreira, 2005, Montejo, 2006)

Tabla 2.2: Compañías principales en desarrollo de autómatas

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
Semaphore	TBox-MS	Malasia

Desde que hizo su entrada, los TBox han tenido un gran éxito a nivel mundial, y es que la versatilidad, eficiencia y magnífico trabajo están a la orden del día cuando se trabaja con estos dispositivos. Esta familia tiene características comunes tales como: (COPEXTEL, 2009)

1. Puede funcionar como PLC y como RTU.
2. Compatible con TCP/IP (INTERNET).
3. Interfaz con varios protocolos (ModBus/TCP, GSM, GPRS entre otros).
4. Gran cantidad de puertos de comunicación.
5. Sistema de alarmas múltiples.
6. Programación mediante un amistoso software llamado TWinSoft basado en *ladder diagram* o *BASIC*.

7. Funciones matemáticas (*boolean*, incrementales, *ASCII-Text*, relacionales, entre otras).
8. Lazos PID integrados.
9. *Drivers* específicos diseñados y programados en C.
10. Puede funcionar como:
 - Servidor Web embebido para visualización y control remoto.
 - Cliente E-Mail para notificación por alarmas y reportes estadísticos.
11. Soporta cronologías digitales y analógicas, tablas de muestreo con base de tiempo (valores min, max, promedio), así como guardar datos por acciones que ocurran.
12. Compatible con múltiples vendedores de equipos y SCADA.

Esta familia es muy numerosa algunos de sus miembros son: (TBox, 2010)

- TBox CPU3 o Estándar
- TBox MS
 - TBox MS CPU 16
 - TBox MS CPU 32
- TBox LP
 - TBox WM ULP (series 100 y 20X)
 - TBox LP 100 Estándar
 - TBox LP 200 Estándar
- TBox LT
 - TBox LT serie 100
 - TBox LT serie 200



Figura 2.2: Familia de TBox

2.4.1 Ventaja de la utilización de los TBox.

En la ponencia “Sistema de Automática Acueducto Cayo Santa María. Descripción del Sistema” del autor Liodán Valdivia Coca (Coca, 2012), se propuso la utilización de la familia TBox debido a que presentan las siguientes ventajas:

1. Cada autómata puede trabajar de manera autónoma, aún si falla el enlace entre ellos y el puesto de control.
2. Tienen potencialidades inigualables en cuanto a telegestión y comunicación.
3. Poseen bajo consumo de energía.
4. Son capaces de trabajar con baterías, paneles solares, en lugares donde la energía eléctrica no está disponible.
5. Tienen excelentes resultados, probados en múltiples aplicaciones automática y de telemedición en Cuba, en condiciones de trabajo difícil, ambiente agresivo y de elevada humedad.
6. Desde el año 2000, COPEXTEL es distribuidora en Cuba de TBox, realizando las compras directas en fábrica, con facilidades preferenciales.
7. La división cuenta con personal capacitado, entrenado y con una amplia experiencia en el trabajo y programación de autómatas.
8. Presenta una excelente relación entre precios y prestaciones.

Estos PLC han tenido un gran éxito en la automatización y telemetría. Esto último es de gran importancia puesto que permite la medición remota de magnitudes físicas, la

recolección, almacenamiento y posterior envío de datos digitales y analógicos, así como eventos de alarmas, desde una estación remota hacia un centro de control.

2.4.2 Selección del tipo de TBox para el diseño de la propuesta

Para el diseño de la propuesta se seleccionó el TBox-MS por las siguientes consideraciones (CSE-Semaphore-Inc., 2012).

- ✓ T-BOX MS incorpora tecnología “Plug & Go”, que permite distribuir toda la configuración del sitio en una tarjeta SD/MMC.
- ✓ El sistema T-BOX MS incorpora tecnología de servidor web integrada.
- ✓ T-BOX proporciona acceso en tiempo real a gestión de alarmas, registros de eventos, estado de E/S y control, todo ello desde un navegador web estándar. Pueden haber conectados varios clientes simultáneamente al mismo dispositivo.
- ✓ Los módulos de procesador proporcionan potencia de procesamiento:
 - MS-CPU16: procesador de 16 bits
 - MS-CPU32: procesador de 32 bits
 - MS-CPU32X: procesador de 32 bits + 2 x SHDSL
- ✓ Ilimitados números de puertos COM.
- ✓ Concepción 3 en 1: RTU + PLC + SCADA Web embebido.
- ✓ Muy ergonómicos.
- ✓ Alta velocidad de procesamiento.
- ✓ 14 bits de resolución de las entradas analógicas.
- ✓ 512 Mb extensión memoria.
- ✓ Soporta tarjetas Multimedia.
- ✓ 10/100 BaseT Ethernet.
- ✓ Protección de las entradas.
- ✓ Múltiples módulos de entradas/salidas.

- ✓ Puede actuar como “*Dial up router*”. A través de una red conmutada (PSTN, GSM) se puede acceder a dispositivos IP conectados en puertos Ethernet.
- ✓ Contiene una amplia gama de módulos y opciones de comunicación disponibles lo cual garantiza una gran flexibilidad. Los módulos disponibles incluyen fuentes de alimentación, CPU, entrada/salida, módems (PSTN, GSM, RDSI, etc.), puertos serie RS-232/485, Ethernet y GPS.
- ✓ Se pueden direccionar hasta 255 dispositivos ModBus en puertos de comunicación como el RS485 y el de Ethernet.
- ✓ Cada puerto puede funcionar independientemente como ModBus RTU maestro o esclavo (RS-232, RS-485, PSTN, GSM) o ModBus TCP maestro o esclavo (Ethernet, GPRS).
- ✓ Fuente alimentación: 24 VDC, 48VDC, 90-260 VAC.
- ✓ LED indicador de error para cada módulo.
- ✓ Poderoso colector de datos capaz de almacenar las últimas 65000 lecturas analógicas/digitales muestreadas de forma periódica y las últimos 4000 cambios de estados de variables analógicas / digitales en forma cronológica.
- ✓ Compatible con la mayoría de los software SCADA del mercado.
- ✓ Puede trabajar en rangos de temperatura ambiente de -5°C a +65°C.
- ✓ Fuentes de alimentación avanzadas (cargador de baterías).
- ✓ CPU y alimentación redundante.

2.4.3 Características del TBox MS

El TBox MS (*Modular System* o Sistema Modular) 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 (Burton, 2009).

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.

Las tarjetas por su parte están montadas en una base de aluminio, que asegura el mejor blindaje contra la recepción o emisión de ruidos (interferencia electromagnética, emisión radial entre otras). Hay muchos modelos de tarjetas tales como: (Burton, 2009)

- ✓ Sistema Modular Alimentación 230 VAC (*MS-PS230V*).
- ✓ Sistema Modular CPU de 16 bits (*MS-CPU16*).
- ✓ Sistema Modular 16 entradas digitales con aislamiento por grupos de ocho, donde las entradas pueden ser usadas como entradas pulso (*MS-16DI*).
- ✓ Sistema Modular 16 salidas digitales con aislamiento por grupos de ocho (*MS-16DO*).
- ✓ Sistema Modular de ocho entradas analógicas de 4 a 20 mA aisladas una por una (*MS-8AI420*).
- ✓ Sistema Modular con Modem GSM/GPRS (*MS-GSM*).
- ✓ Sistema Modular con Modem PSTN (*MS-PSTN*).
- ✓ Sistema Modular con múltiples entradas/salidas, posee un grupo de ocho entradas digitales aisladas, un grupo de cuatro salidas digitales aisladas y un grupo de tres entradas analógicas (*MS-COMBO-1*).

A continuación se detallan todas las tarjetas de entrada / salida. (CSE-Semaphore-Inc., 2012)

Tabla 2.2: Tarjetas de entrada / salida

Tarjetas	Descripción
MS-8DI	8 entradas digitales
MS-10DI-HS	10 entradas digitales, de contador 0-5 kHz
MS-16DI	16 entradas digitales

MS-16DO	16 salidas digitales
MS-16DIO	8 entradas digitales, 8 salidas digitales
MS-COMBO	8 entradas digitales, 4 salidas digitales, 3 entradas analógicas
MS-8AIVC	8 entradas analógicas
MS-6RTD	6 entradas de temperatura
MS-4AOVC	4 salidas analógicas aisladas
MS-Relay	8 salidas aisladas de relé
MS-4AI420	4 entradas analógicas aisladas
MS-8AI420	8 entradas analógicas aisladas
MS-48DI	48 entradas digitales

2.4.3.1 Opciones de comunicaciones

Los módulos de comunicaciones proporcionan funciones de comunicaciones y están disponibles en varias configuraciones. (CSE-Semaphore-Inc., 2012)

Tabla 2.3: Módulos de comunicaciones

Módulos de comunicaciones	Descripción
MS-PSTN	Módem PSTN + puerto extra RS-232/485
MS-GSM	CSD/GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA + RS-232/485
MS-GSM-3G-EU	GSM 3G + RS-232/485 EU
MS-GSM-3G-US	GSM 3G + RS-232/485 US
MSR-GSM-R	GSM para los ferrocarriles
MS-GPS	Receptor de GPS + puerto extra RS-232/485
MS-SERIAL	2 puertos serie RS-232/485
MS-ETHER-4	4 puertos Ethernet 10/100

Las comunicaciones se pueden realizar por Ethernet (10/100Base-T), PSTN, GSM/GPRS (admite lectura/escritura), serie (RS-232/RS-485), por satélite, radio, RDSI y xDSL.

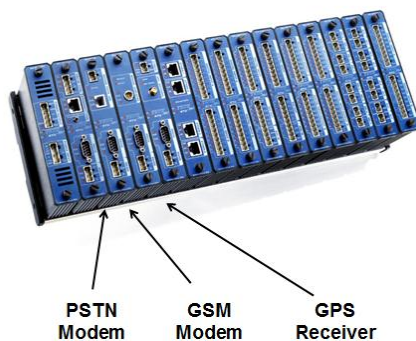


Figura 2.3: Algunos módulos integrados de comunicaciones en un TBox MS.

La programación de este dispositivo se realiza utilizando el software TWinSoft Suite.

Presenta gran compatibilidad con SCADA: T-VIEW, InTouch, iFix, WIZCON, CITECT, Topkapi, Cube, Labview, Panorama, entre otros.

Presenta gran compatibilidad de protocolos pues admite más de 40 controladores, incluido Modbus (maestro/esclavo, RTU, TCP, ASCII), DNP 3.0 e IEC 60870-5.

Es muy importante tener en cuenta que cuando se usa tarjeta de alimentación, siempre se localiza en la primera posición en el *rack*, esto es de mucha importancia por razones térmicas. Luego en la segunda posición se coloca la CPU. Las tarjetas de comunicaciones y las de entradas/salidas se colocan después, siempre coincidiendo su posición en las ranuras con las direcciones definidas en el software TWinSoft durante la programación del TBox MS (Burton, 2009).

2.5 Protocolos industriales

Los protocolos industriales deben poseer algunas características muy importantes para su utilización en los Sistemas de Control de Procesos y en los SCADA. Estas características son: (Serbiula, 2013)

Deben ser sistemas fáciles de reparar y mantener: Las operaciones en un sistema industrial son muy sensibles a retardos producidos por fallas o mantenimiento. Si las operaciones no demandan un alto nivel de intercambios y altas velocidades, se puede utilizar el protocolo más sencillo, por ejemplo, el protocolo ASCII.

Deben poseer un alto nivel de integridad en la transferencia de datos: En un ambiente industrial con altos niveles de ruido eléctrico y donde no se permite errores en la transferencia de datos, por ejemplo, en el control de operaciones críticas, los protocolos deben poseer sistemas muy robustos para la detección y recuperación de errores. En este aspecto los códigos CRC son muy utilizados.

Alta velocidad en la actualización de parámetros: En sistemas industriales puede ser necesaria la actualización simultánea de un gran número de parámetros de control de operaciones. La naturaleza de muchas operaciones de control y supervisión no permite retardos entre los primeros y los últimos dispositivos en una cadena de transmisión de los datos. Los protocolos empleados deben cumplir con esta condición.

2.5.1 Protocolo HART

El Protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) permite la transmisión simultánea de información analógica y digital pues generalmente opera superpuesto sobre el lazo de corriente de 4-20 mA, y utiliza una señal FSK para la transmisión digital binaria a 1200 bps (Figura 2.4). La frecuencia máxima de la señal analógica no va más allá de 10 Hz.

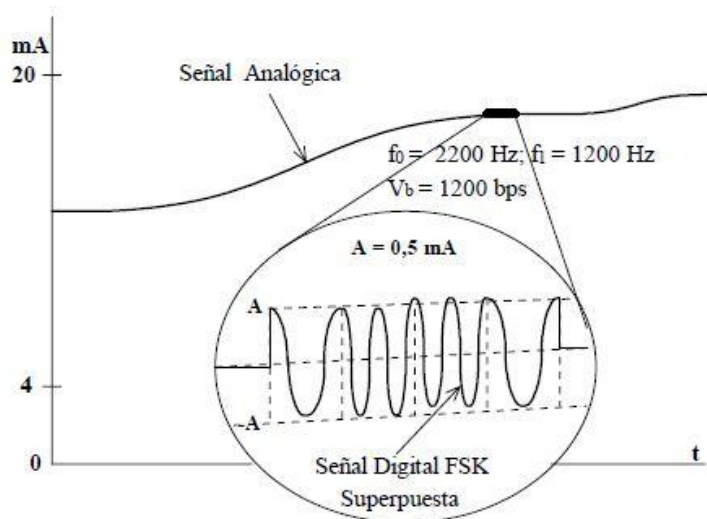


Figura 2.4: Mecanismo de transmisión en el Protocolo HART

Como el valor promedio de una señal FSK es cero, ella no afecta los valores analógicos presentes en el lazo de corriente. La impedancia mínima del lazo requerida para la

comunicación está entre 230 y 1200 Ohm, y es compatible con las barreras de seguridad intrínseca normalmente utilizadas en áreas peligrosas (la seguridad intrínseca es una metodología de diseño de circuitos en los cuales una chispa o un efecto térmico producido en condiciones de trabajo normales o en condiciones de falla especificadas, no puede causar la ignición de una atmósfera explosiva determinada).

El Protocolo HART se utiliza típicamente en configuración punto a punto, para la configuración remota, ajuste de parámetros y diagnóstico de dispositivos de campo inteligentes.

Las características del protocolo HART son: (Serbiula, 2013)

- Control por Conteo de Bytes
- Transmisión Asincrónica HDX, punto a punto y multipunto
- Carácter Básico de un bit de arranque, ocho de información, uno de paridad impar y uno de par; NRZ
- Una Maestra puede controlar hasta 15 Remotas.
- Operación en Modo de Respuesta Normal.
- Permite hasta 250 variables en cada dispositivo de campo.
- Distancia máxima: hasta 3000 m con par trenzado apantallado calibre AWG 24; hasta 1500 m con cable multipar, par trenzado común apantallado calibre AWG 20.
- Modulación FSK, 1200 bps, con Módems Tipo Bell 202.
- Medio de transmisión: par trenzado y el lazo de corriente de 4-20 mA.
- Interfaces asociadas: RS-232D y RS-485.

2.5.2 Protocolo Modbus

Modbus es un protocolo de transmisión desarrollado por la Gould Modicon (ahora AEG Schneider Automation) para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) 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.

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 (por Modbus Binario), es el tipo más común y es el que describiremos a continuación. En el modo de transmisión ASCII los mensajes generalmente son de duración casi del doble que en el modo de transmisión RTU (Serbiula, 2013).

Características (Modo RTU):

- Control por Conteo de Caracteres.
- Transmisión FDX/HDX asincrónica.
- Carácter Básico NRZ de ocho dígitos de información (transmitidos como dos caracteres hexadecimales de cuatro dígitos), un dígito de arranque, un dígito de paridad y un dígito de pare; si no hay paridad, se toman dos dígitos de pare.
- Una Maestra puede controlar hasta 247 Remotas.
- Operación en Modo de Respuesta Normal.
- Topología en Estrella.
- Interfaces de Capa Física: RS-232D, RS-422A, RS-485, o lazo de 4-20 mA.
- Velocidades de Transmisión: 1200 a 19200 bps.
- Medios de Transmisión: par trenzado, cable coaxial, radio.

Trama Modbus RTU:

Cada trama está compuesta por cuatro tipos de información (Jiménez, 2009):

- Campo de Direcciones. En este campo se indica siempre la dirección de la RTU de destino.
- Campo de Funciones. En este campo se indica la función que debe ejecutar (lectura de n palabras, escritura de una palabra, etc).
- Campo de Información. Este campo contiene la información que la RTU necesita para realizar la función específica requerida por la MTU (dirección de la palabra a escribir, valor de esta palabra, etc).

- CRC. En este campo va una información que le permite a la MTU y RTU verificar si se ha producido errores en la transmisión. El contenido de este campo se calcula sobre los tres campos anteriores mediante el Código de Redundancia Cíclica CRC-16. El error se recupera mediante retransmisión de la trama en error.

Los parámetros para la comunicación con el analizador de red son:

- 1 bit de comienzo
- 8 bits de datos
- 1 bit de parada
- velocidad de 2400, 4800, 9600 o 19200 baudios
- Paridad: Par, Impar o ninguna.

Es importante destacar que existe el parámetro de configuración “dat” que establece el orden de los datos de la siguiente manera:

- Si su valor es “A”, el orden del byte a transmitir será LSB-MSB.
- Si su valor es “B”, el orden del byte a transmitir será MSB-LSB.

2.6 GPRS

En el artículo nombrado Sistema GPRS del autor Christian Bettstetter de la Universidad Técnica de Munich (Bettstetter, 2000), se expresa que 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.

Una ventaja de la tecnología GPRS es que proporciona velocidades de transferencia de datos superiores, la velocidad de transmisión de datos es de 115,000 kbps. Además 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. Algunos ejemplos de tamaños de información: (Bettstetter et al., 1999)

1. Envío de un e-mail de 5 líneas de texto con un anexo (documento tipo de Word de 4 páginas), consumiría alrededor de 95 kbytes.
2. Acceder a un buscador, buscar un término (ej. viajes) y recibir una pantalla de respuesta podría ocupar 100 kbytes aproximadamente.
3. Recibir una hoja de cálculo (documento tipo Excel de 5 hojas), consumiría aproximadamente 250 kbytes.
4. Bajarse una presentación (documento tipo PowerPoint de 20 diapositivas y con fotos) equivale a unos 1.000 kbytes.

2.6.1 Empresa de Telecomunicaciones (ETECSA) como proveedor del servicio GPRS

El servicio de transmisión de datos GPRS será a través de un proveedor de servicios, en este caso la empresa ETECSA.

La división de telefonía móvil de ETECSA, Cubacel, trabaja con la frecuencia de 900MHz en todo el país y en algunas regiones como La Habana, Varadero, Cayo Coco y Cayo Largo también lo hace con la frecuencia de 850MHz. La cobertura de la empresa llega a casi todo el país. En la zona central la mayoría de los municipios de Villa Clara, cuentan con buena cobertura, exceptuando algunas regiones rurales y montañosas como se muestra en la figura siguiente. Las zonas en color blanco significan que no existe cobertura (Cubacel, 2012).

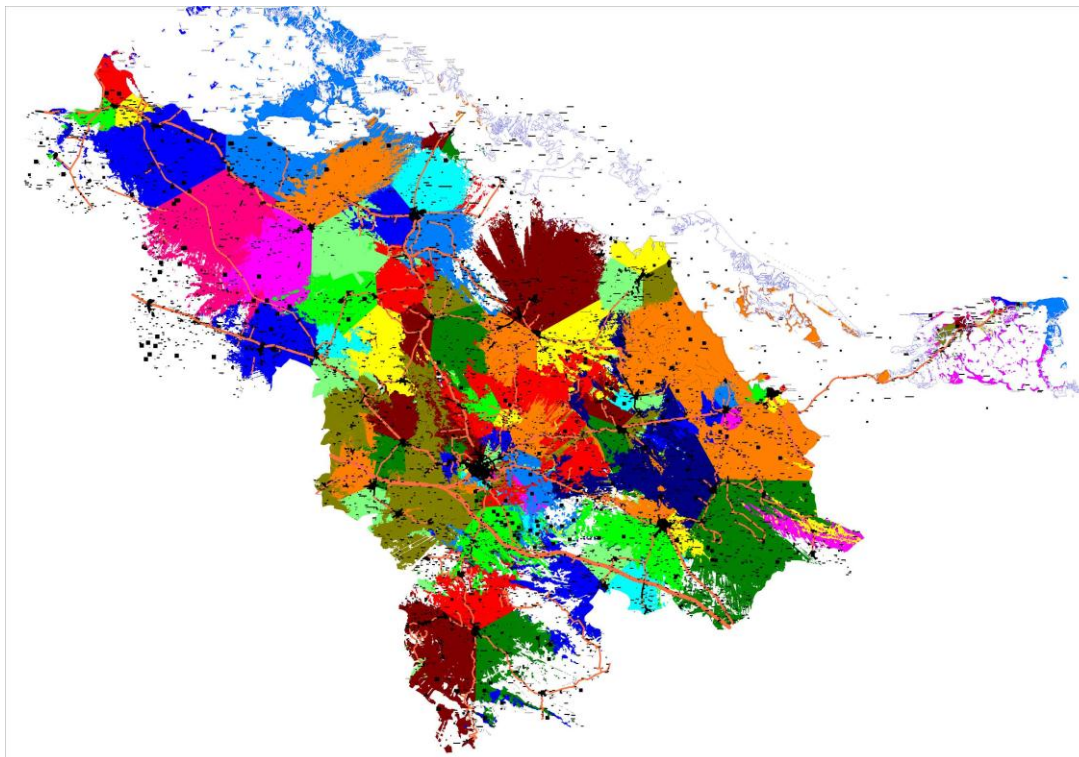


Figura 2.5: Mapa de Cobertura de Cubacel en la provincia de Villa Clara

2.6.2 Modem GSM/GPRS NEXO DATA.

El modem GSM/GPRS NEXO DATA permite realizar transferencias de datos a través de la red celular GSM, por medio del servicio GPRS, utilizando la tecnología más avanzada para comunicaciones a través de un módulo Motorola G24.



Figura 2.6: Modem GSM/GPRS NEXO DATA

El modem GSM/GPRS NEXO DATA está equipado de fábrica con los siguientes componentes: (Motorola, 2007)

- Módulo NEXO DATA MODEM GSM/GPRS.
- Antena externa con adaptador para conector SMA.

- Fuente de alimentación switching de 12 Vcc 1.5 A (sólo modelos NEXO DATA RJ45 y DB9)
- Cable de extensión para comunicación serie RS-232 (con conectores RJ45 y DB9 ó DB9 en ambos extremos, según el puerto de datos) o USB (para el modelo con puerto de datos USB).

2.6.2.1 Instalación del Modem GPRS NEXO DATA para operación con puerto serie RS-232 (NEXO DATA RJ45 y NEXO DATA DB9)

1. [NEXO DATA RJ45] Colocar la tarjeta SIM con los contactos del chip hacia arriba, respetando la ubicación de la muesca en la tarjeta en la bandeja porta-tarjeta SIM e insertar el conjunto en la ranura correspondiente.

[NEXO DATA DB9] Deslizar la tapa del porta-tarjeta SIM hacia la posición <OPEN> e introducir la tarjeta SIM. Girar la tapa hacia abajo para cerrar y luego deslizarla hacia la posición <LOCK>. La tapa debe estar asegurada en la posición <LOCK> para una correcta operación del modem.

2. Conectar la antena del equipo al conector SMA asegurándose que se encuentre firmemente ajustado para evitar falsos contactos.

3. [NEXO DATA RJ45] La conexión para datos del modem GSM/GPRS NEXO DATA a la PC requiere el cable adaptador que dispone de un conector RJ45 en un extremo y un conector DB9 en el otro. Este cable está provisto con el equipo. Conectar el RJ45 al modem GSM/GPRS y el DB9 al puerto serie RS-232 de la PC.

[NEXO DATA DB9] En este caso se utiliza el cable de conexión que posee conectores DB9 en ambos extremos. El conector DB9 hembra debe conectarse al puerto serie de la PC.

NOTA: Tener en cuenta que, el puerto elegido: COM1, COM2,... para esta conexión serie debe utilizarse para la configuración del software de comunicación.

4. Conectar el plug de la fuente de alimentación de 12 Vcc, 1.5 A al jack correspondiente en el modem GSM/GPRS. El encendido del led indica la presencia de la tensión de alimentación en el circuito del modem.
5. Este dispositivo arranca con la siguiente configuración de fábrica para el puerto de comunicación serie: 9600 bps, 8 bits de datos, 1 bit de parada y sin paridad.
6. Desde Windows, utilizando una herramienta de comunicaciones tal como el HyperTerminal puede realizarse una prueba inicial para comprobar la correcta conexión del modem GSM/GPRS y verificar su funcionamiento.

Configurar la aplicación HyperTerminal de la siguiente forma:

Desde Windows ejecutar:

Inicio --> Programas --> Accesorios --> Comunicaciones --> HyperTerminal

Crear una conexión nueva ingresando:

Nombre: ModemGPRS

Conectar a -> Conectar usando: COM1

Configuración del puerto

Bits por segundo: 9600

Bits de datos: 8

Paridad: Ninguno

Bits de parada: 1

Control de flujo: Ninguno

7. Para obtener una respuesta del modem GSM/GPRS NEXO DATA, una vez completado todos los pasos anteriores, deben enviarse comandos AT de la siguiente forma (Motorola, 2007):

AT

OK

ATI3

Motorola Mobile Phone

OK
AT+CSQ
+CSQ: 25, 99

OK

Esta secuencia básica de comandos AT sirve para verificar rápidamente que: el modem se encuentra energizado y correctamente conectado a la PC, el módulo de comunicación celular funciona correctamente, la antena se encuentra conectada al equipo y el nivel de señal recibido de acuerdo a la orientación de la antena y la ubicación geográfica del dispositivo es adecuado.

A partir de este punto, el modem GSM/GPRS NEXO DATA acepta datos a través del puerto serie RS-232.

2.7 Aplicaciones para el diseño del SCADA

En el mundo de la automatización industrial existe un gran número de aplicaciones diseñadas para la supervisión y control de procesos entre los que se pueden nombrar LabView de National Instrument; WinnCC de la Siemens y SYSMAC SCS de OMROM (Ambrose, 2004, Autómatas, 2006).

MOVICON X2 puede ser el software de desarrollo para el diseño del SCADA dado que en nuestro país la empresa COPEXTEL S.A comercializa este producto. La compañía italiana Progea es el proveedor de MOVICON (Monitoreo, Visión Y Control) y fue diseñado originalmente para la utilización de las empresas dedicadas a la automatización y control de procesos y edificios inteligentes. Luego de varios años de utilización y constantes mejoras, es hoy una aplicación con un gran prestigio internacional y amplio uso, en gran medida porque ha sido capaz de mantener los conceptos de simplicidad, potencia y funcionando siempre como sistema abierto (Contreras, 2011).

2.8 Consideraciones finales del capítulo

La comunicación de cualquier infraestructura hoy en día es compleja y requiere seleccionar adecuadamente la tecnología a emplear. Por ello se hace necesario un estudio exhaustivo de la tecnología instalada en la infraestructura y la que se propone utilizar. El centro de la comunicación lo constituye el autómata programable pues es el encargado de la adquisición

de los datos medidos y transmitirlos al resto del sistema. Por ello se selecciona el autómata TBox MS que incorpora un módulo de comunicación con tecnología GPRS esencial en la red de comunicación.

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE COMUNICACIÓN

En este capítulo se expone la selección de la instrumentación de campo a partir de los requerimientos de cada estación. Se conforma el TBox MS y se diseña la red de comunicación en cada tipo de estación. Enfatizando en la comunicación entre todos los elementos del sistema. Por último se hace un análisis económico y ambiental para valorar el impacto positivo de la presente investigación.

3.1 Selección de la instrumentación de campo

A partir de los requerimientos de cada una de las estaciones y teniendo en cuenta los criterios de selección de sensores se selecciona la instrumentación como se refiere en los subepígrafes siguientes.

3.1.1 Medición de presión

Para la medición de presión se selecciona el sensor Cerabar M PMC41 comercializado por COPEXTEL. Esta variable puede estar entre 0 y 8 bar por esta razón se selecciona de 0-10 bar con salida analógica de 4-20 mA y una precisión de 0,1%. Este sensor es el encargado de obtener los datos de la presión en la conductora y enviarlos al PLC. Ver figura 3.1. (Endress+Hauser, 2011a)



Figura 3.1: Sensor de presión en la línea

3.1.2 Medición de Flujo

La medición del flujo se realiza con un sensor tipo Promag 30 F de 36 pulgadas de diámetro (Figura 3.2). Su gama es de 690 a 22902 m³/h y se usa para medir un flujo nominal de 3240 m³/h soportando una temperatura de trabajo de -40 °C a +130 °C. Presenta una salida de 4 a 20 mA protocolo HART. Está equipado con un display que permite que todas las variables importantes puedan ser leídas y controladas directamente en el punto de medición (Endress+Hauser, 2011b)



Figura 3.2: Sensor de flujo Promag 30 F

3.1.3 Medición de Nivel

Para la medición del nivel de agua en los tanques se seleccionó el sensor Deltapilot S DB 53. Los equipos de esta familia sirven para la medición de nivel continua en todos los

líquidos y productos pastosos. La versión DB 53 está específicamente diseñada para medir nivel en aguas y aguas residuales. Presenta una salida de 4 a 20 mA protocolo HART y está equipado con un *display* que permite conocer el valor de las variables en el punto de medición. Este instrumento puede medir el nivel en tanques de hasta 5 m de altura, para ello cuenta con una sonda ajustable de entre 1 y 5 m, 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 m e incorpora otro protocolo de comunicación como es el MODBUS PA. La altura de los dos tanques con que cuenta el sistema no excede los 3 m. (Endress+Hauser, 2010).



Figura 3.2: Sensor de flujo Promag 30 F

3.2 Módulos del TBox MS

El TBox MS es un producto modular basado en una arquitectura de rack. A continuación se muestran los módulos utilizados en cada TBox MS. La descripción de cada uno de estos módulos se puede observar en el anexo I.

- ✓ Un rack de 5 Slots (MS-RACK-5)
- ✓ Un Sistema Modular de CPU de 16 bits (MS-CPU16E). Este sistema incorpora una fuente de alimentación de 24 VDC, un puerto RS232, un puerto RS485 y Ethernet.
- ✓ Un Sistema Modular de 4 entradas analógicas 4/20mA (MS-4AI420).
- ✓ Un Sistema Modular con Modem GSM/GPRS (MS-GSM). Incorpora además un conector RS232 y RS485.

Se requieren además otros accesorios como cables y protecciones.

3.3 Esquema de comunicación en las estaciones de bombeo

En las estaciones de bombeo se requiere medir la presión en la conductora, el flujo de agua bombeado y varios parámetros eléctricos de los motores acoplados a las bombas. Todas las mediciones serán llevadas a los módulos de entrada del PLC TBox MS como se muestra en la figura.

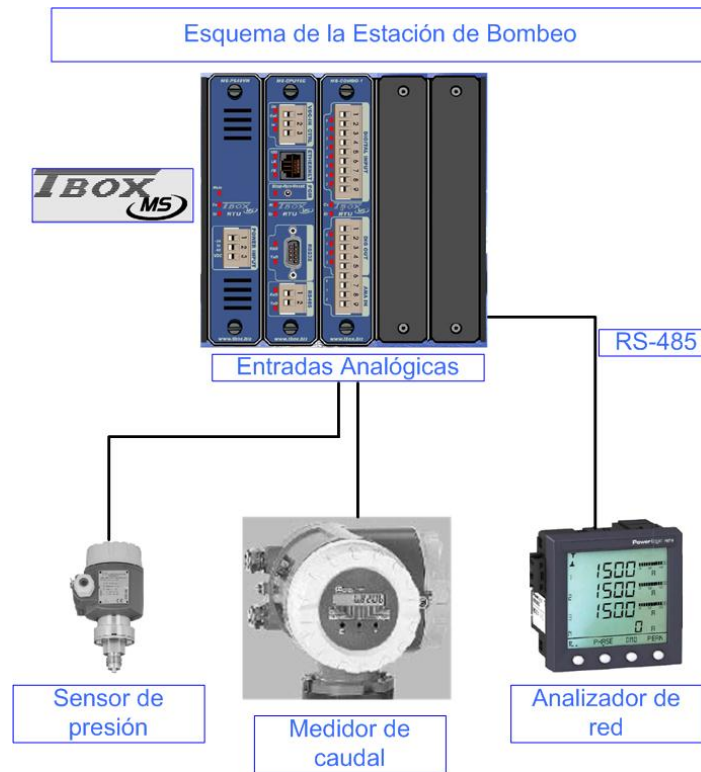


Figura 3.4: Esquema de la estación de bombeo

3.3.1 Comunicación entre los elementos de la estación de bombeo

El módulo de entradas analógicas del PLC se encarga de adquirir los valores medidos por el sensor de presión y el de flujo para su posterior envío al centro de control. Ambos dispositivos poseen comunicación física por dos hilos y protocolo HART 4 a 20 mA, conectándose a las entradas analógicas 1 y 2 del PLC.

En el caso del sensor de presión Cerabar M PMC41 es necesario insertar una resistencia de $250\ \Omega$ entre este y el PLC con el objetivo que la entrada analógica pueda medir la caída de voltaje en sus terminales de entrada; Figura 3.6. El PLC asignará un valor digital entre 0 y

4000 a esta entrada en función del voltaje leído, es por ello que, partiendo de la gama del sensor, se hace necesario multiplicar este por 0,0025 para obtener la presión en bar.

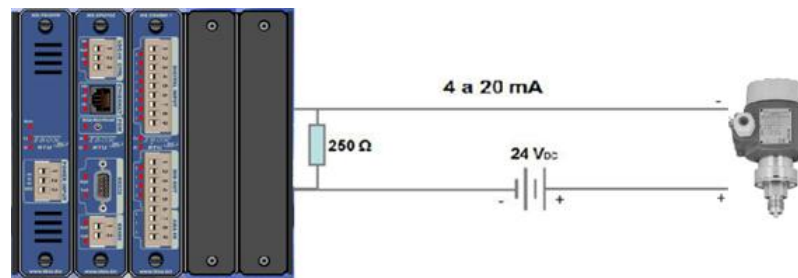


Figura 3.5: Conexión del sensor y el TBox MS

En el caso del medidor de flujo Promag 30 F este sensor se conecta a la entrada analógica del TBox MS de forma similar a la mostrada en la figura 3.5 pero con una resistencia $R_L < 700 \Omega$. . Otra vez el PLC asignara un valor digital entre 0 y 4000 en función del voltaje leído. La gama máxima del sensor es $22902 \text{ m}^3/\text{h}$ por lo tanto se hace necesario multiplicar este valor digital por 5,7255 para obtener el valor real de la medición.

El analizador de red establece la comunicación con el módulo de comunicaciones del PLC mediante una interfaz serie RS485 y el protocolo de comunicación MODBUS RTU. Este posee una estructura lógica del tipo maestro-esclavo, con acceso al medio controlado por el maestro. Las velocidades de transmisión van desde los 75 baudios hasta 19200 baudios. La máxima distancia entre estaciones depende del nivel físico, pudiendo alcanzar hasta 1200 metros sin repetidores (Schneider-Electric, 2008).

Para la realización de una consulta, el maestro comienza la comunicación enviando la trama correspondiente. Cada trama está compuesta por cuatro tipos de información (Jiménez, 2009):

Octetos →	1	1	Variable	2	
Gap > 3,5 Caracteres	Campo de Direcciones	Campo de Funciones	Campo de Información	CRC	Marca de 3,5 Caracteres

Figura 3.6: Estructura de la trama Modbus RTU

Las variables eléctricas son enviadas con el formato especificado en la Tabla 2.1 para luego ser procesadas en dependencia del punto decimal y las unidades de ingeniería que presentan. Es importante destacar que estos valores deben ser multiplicados por las relaciones de transformación de voltaje y/o corriente en dependencia del tipo de variable con excepción del contador. En el Anexo II se detalla el listado de registros de las variables transmitidas.

Tabla 3.1. 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

3.4 Esquema de comunicación en las plantas de tratamiento

En las plantas de tratamiento se mide el nivel de agua en el tanque, el flujo de entrada a la planta y el flujo de salida a la población. La estructura queda como la mostrada en la figura (Figura 3.7).

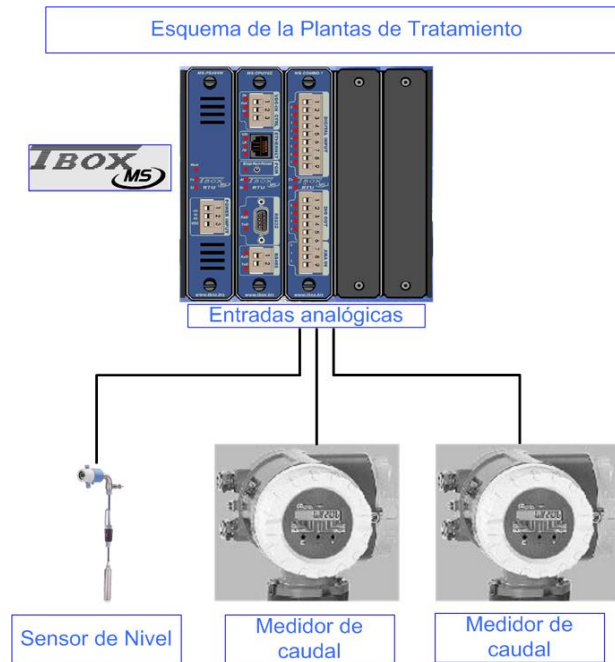


Figura 3.7: Esquema de las plantas de tratamiento

Las plantas de tratamiento de agua cuentan con un sensor de nivel Deltapilot S DB 53 para medir el nivel del agua contenido en el tanque de almacenamiento. Este sensor se conecta al módulo de entradas analógicas del PLC mediante una capa física de dos hilos y una señal analógica de 4 a 20 mA protocolo HART. Se necesita una resistencia de carga de 250 Ω entre la entrada analógica del PLC y los terminales del sensor para efectuar la lectura. Ahora es necesario corregir el valor medido multiplicándolo por 1.25 para tener el valor real del nivel en milímetros.

Los sensores de flujo que se usan en las plantas de tratamiento se comunican con el PLC de la misma manera que las estaciones de bombeo. Esta comunicación se explica detalladamente en el epígrafe 3.3.1, recordando que se usa el mismo modelo de sensor para de flujo en toda la infraestructura.

3.5 Esquema General de Comunicación

En la figura 3.8 se muestra el diseño de la red de transferencia de datos para el Sistema de Abasto a la ciudad de Santa Clara.

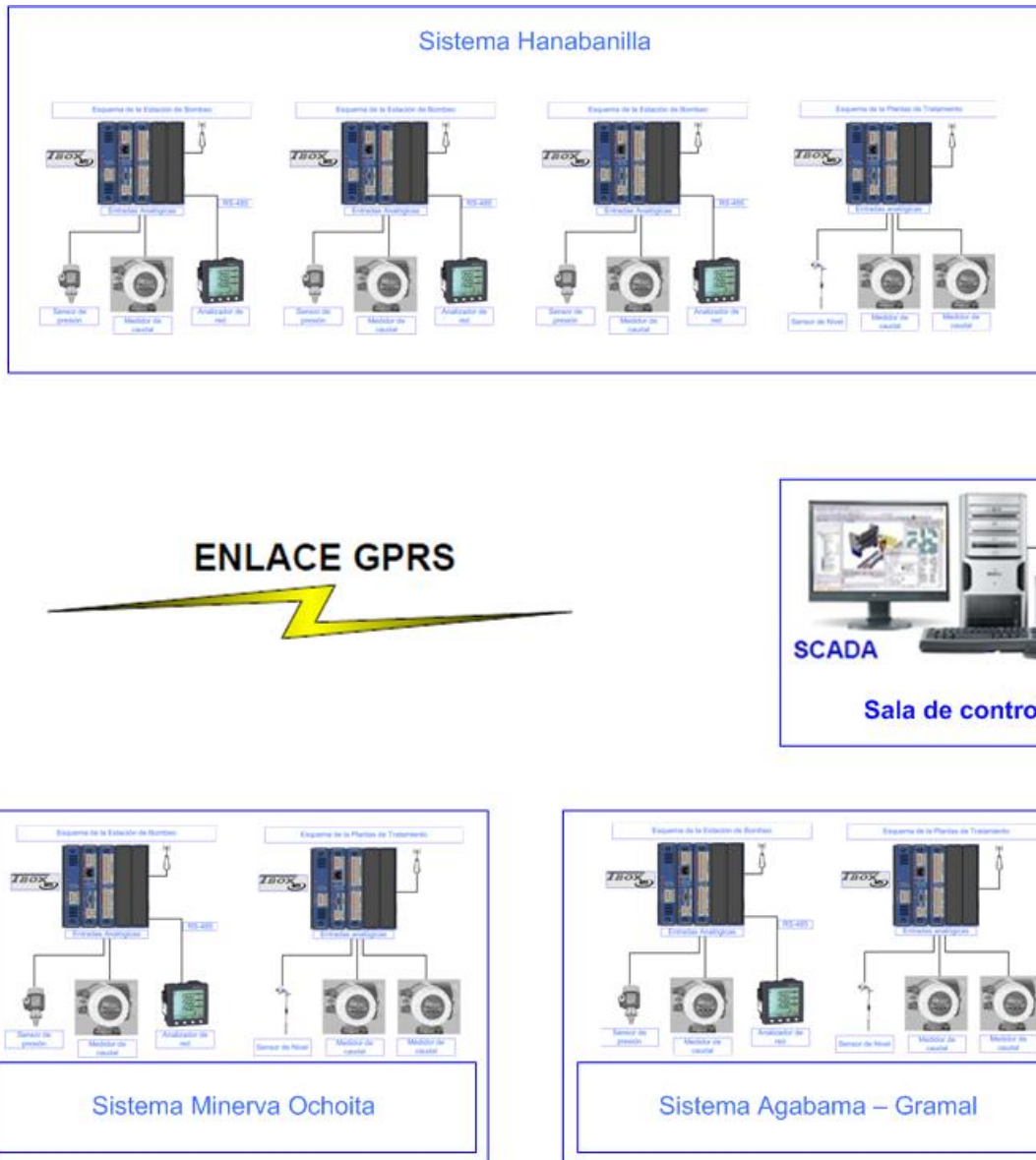


Figura 3.8: Arquitectura del sistema de automatización y esquema de comunicaciones

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 equipo de cómputo (PC) deberá tener instalado un modem GSM/GPRS NEXO DATA.

La comunicación entre la PC y todos los Automatas será empleando la red GSM/GPRS. El servicio de transmisión de datos GPRS será a través de un proveedor de servicios, en este caso ETECSA, donde el cliente (Empresa Provincial Acueducto y Alcantarillado de Villa Clara (EAAVC)) pagará una cuota mensual según el tráfico de datos (el cual estimamos oscile alrededor de 15 MB pagando como renta mensual 15 CUC) a dicho proveedor de servicios.

El flujo de datos es a partir de mensajes SMS. El tamaño máximo es de 160 caracteres.

El mensaje SMS contendrá la siguiente información:

- ✓ Día y hora que se genera el mensaje.
- ✓ Presión.
- ✓ Flujo de entrada.
- ✓ Flujo de salida.
- ✓ Nivel.
- ✓ Potencia activa total.
- ✓ Potencia reactiva total.
- ✓ Factor de potencia total.
- ✓ Frecuencia.
- ✓ Intensidad N.
- ✓ Tensión 1–N.
- ✓ Tensión 2–N.
- ✓ Tensión 3–N.
- ✓ Potencia activa total máximo.

Cada uno de estos parámetros es un número entero de cuatro cifras en decimal, separado por un espacio del siguiente parámetro. El primer dígito del día corresponderá al año y el

resto al día dentro del año. Ej: 25 agosto 2013 será 3237. La hora militar y en algunos parámetros como el nivel la unidad de medida estará en milímetros.

El autómata se programará de forma tal que confeccione y envíe los mensajes en la estructura planteada. En el SCADA se programarán *script* para la interpretación de cada uno de los mensajes, conociendo el lugar de donde proviene el sistema interpretara cada valor a que variable pertenece.

La frecuencia de envío estará delimitada por las horas de bombeo. Cuando se esté bombeando los mensajes se generarán cada 10 minutos y si ocurriese un mal funcionamiento de alguna estación se generará un reporte al instante.

Una de las funciones del SCADA es generar una base de datos con los datos recogidos de las diferentes estaciones para facilitar la confección de históricos.

3.6 Análisis económico y 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.

Al determinar el impacto económico del trabajo que se propone, es necesario tomar en cuenta el significado económico de una afectación en el suministro de agua por motivo de una operación ineficiente del sistema de bombeo o de una avería. Teniendo en cuenta que los sistemas proporcionan un volumen de agua de 7560 m³/h a un precio de 1,50 CUP/m³, podemos calcular las pérdidas económicas por concepto de roturas o salideros que puedan presentarse.

Para realizar este análisis partiremos de que el costo inicial de la propuesta de automatización oscila por los \$ 175 685,42, cifra que resulta de la compra de los medios necesarios para conformar la estructura de supervisión (Anexo III). En este análisis no se incluyen los costos de la elaboración del proyecto, ni de la ejecución por considerar que esta propuesta sería anexada a la rehabilitación y modernización que se va a acometer en los próximos años.

La amortización de la inversión está determinada porque se disminuye el tiempo entre que ocurre una avería y se conoce en la sala de control. Transcurren como promedio poco más de una hora entre que el personal encargado de reportar la avería y el designado a ubicarla se comuniquen, esto depende en gran medida del factor humano. Producto de la extensión de la conductora es necesario aun cuando exista una rotura en la misma seguir bombeando, para saber al revisar donde está el salidero.

Estadísticamente ocurren 6 averías promedio al mes, por lo que reduciríamos 6 horas de bombeo incensario, teniendo presente que aun cuando existe una avería se aprovecha el 50% del agua bombeada, se calcula que el ahorro por concepto de agua no cobrada y energía eléctrica no consumida es \$ 15 849,6 al mes. Este trabajo no presenta una alternativa para saber en qué tramo de la conductora ocurrió la avería, por ello no se incluye en el trabajo el tiempo en que se está bombeando para detectar el lugar de la rotura.

Se incluye en el análisis económico el costo de la instrumentación adecuada para las estaciones, aclarando que no solo contribuyen a esta propuesta, sino que proporcionan un beneficio aun mayor por la trascendencia que tienen para todo el sistema. Baste ejemplificar la protección que brindan a los equipos instalados en las estaciones de los malos manejos del personal poco calificado que allí trabaja, cada estación tiene equipos con un costo superior a los 60 000 USD.

Como se muestra en la figura 3.9 la inversión se recupera en doce meses. Por todo esto es necesaria esta inversión, no solo con el objetivo de amortizar una cantidad de dinero determinada, sino de prevenir en el futuro una pérdida significativa que pueda arruinar el correcto funcionamiento de estos sistemas y la fiabilidad de los mismos.

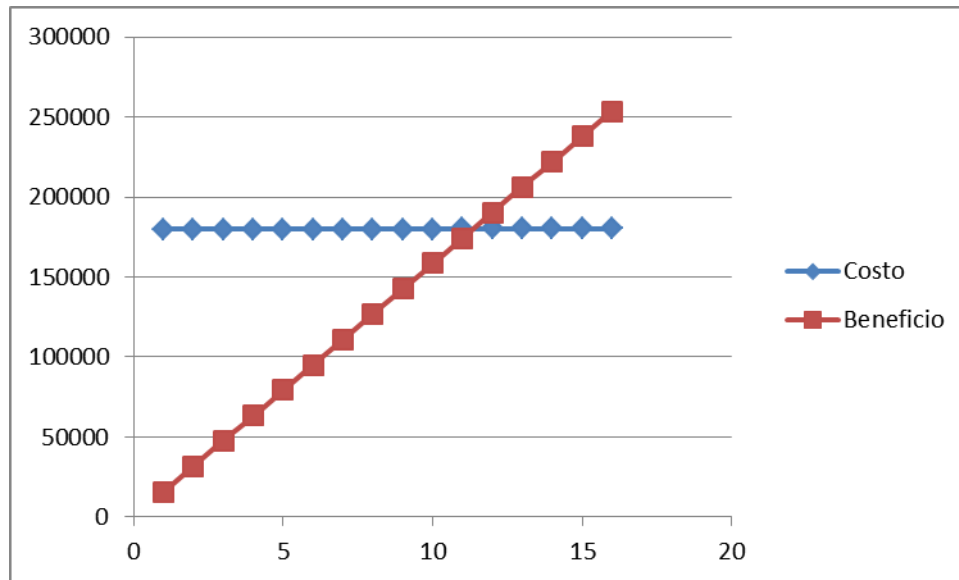


Figura 3.9: Gráfico de resultados económicos de la modernización.

En relación con todo lo anterior, 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 de las aguas, además de que estén en estrecha armonía con el entorno.

3.7 Consideraciones finales del capítulo

La red diseñada abarca la infraestructura hidráulica en su totalidad permitiendo la rápida y fiable comunicación entre todos los elementos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con el estudio de las infraestructuras hidráulicas se obtuvieron las principales características técnicas de la misma permitiendo la adecuada selección de la instrumentación a utilizar.

La asesoría técnica de la empresa acueducto y alcantarillado permitió la adecuada selección de las variables a medir y los sensores a utilizar.

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica de las estaciones y la cobertura de telefonía celular se diseñó una red basada en la comunicación GPRS.

El análisis económico realizado demuestra la viabilidad y efectividad real del proyecto dado que la inversión se recupera en el período de doce meses.

Recomendaciones

- ✓ Extender el proyecto para abarcar la parte de control local y remoto de las estaciones.
- ✓ A partir de las experiencias del proyecto de cayo Santa María incluir sensores de presión en la conductora para identificar en qué lugar de la misma ocurre una avería.
- ✓ Incluir en el proyecto general la modernización de las plantas de tratamiento de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acueducto-de-Bogotá (1996). Proyecto Centro de Control. Bogotá.
- Ambrose, A. G. (2004). *Sistema de supervisión y control del pasteurizador en la cervecería "Antonio Díaz Santana"*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Arocha, Emilio Berasategui. (2012). *Propuesta de programación de los autómatas de la estación de tanques y de la conductora principal del Sistema de Abasto de la cayería norte de Villa Clara*.
- Autómatas. (2006). *Sistemas SCADA* [Online]. Available: <http://www.autómatas.org/Scada.htm> [Accessed].
- Bettstetter, C. (2000). *Sistema GPRS Universidad Técnica de Munich*. Alemania.
- Bettstetter, C., Vögel, H.J. & Eberspächer, J. (1999). GSM phase 2+ General Packet Radio Service GPRS: Architecture, protocols and air interface. IEEE Communications Surveys, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>. Third Quarter 1999, vol. 2 no. 3.
- Bolton, W. (ed.) (2009). *Programmable Logic Controllers*.
- Burton, J. (2009). TBox MS. User's Guide.
- Carrazana, Denis Castillo. (2011). *Propuesta de automatización del acueducto de la cayería norte de Villa Clara*. . Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Castells, M. (2006). *Comunicación móvil y Sociedad. Una perspectiva global*. Barcelona.
- CIGET. (2013). *Empresa Acueducto y Alcantarillado. Villa Clara*. [Online]. Available: www.villaclara.cu/paginas-amarillas/acueducto-alcantarillado [Accessed].
- CMKC-Radio-Revolución (2011). *La rehabilitación del acueducto de Santiago de Cuba*. . Santiago de Cuba.
- Coca, Liodán Valdivia (2012). *Sistema de Automática Acueducto Cayo Santa María. Descripción del Sistema*.
- Contreras, Y. A. (2011). *Implementación de la Interfaz Hombre-Máquina para el Sistema de Automática Dunas 5*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- COPEXTEL (2009). *TBox: Inteligencia, comunicación y gestión remota. La Solución Integral*. COPEXTEL.

- Creus Solé, Antonio (ed.) (2010). *Instrumentación industrial*, Ciudad de México: Alfaomega Group Editor.
- CSE-Semaphore-Inc. (2012). Semaphore T-BOX MS.
- Cubacel (2012). Cobertura de Cubacel en Cuba.
- 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. . E. Hauser. Rehim, Alemania, GmbH+Co. KG.
- Endress+Hauser (2011b). Technical Information Electromagnetic Flow Measuring System promag 30 (Model '99).
- Ferreira, F. (2005). Experiencias en la utilización de Software de Programación de PLC Comerciales en Asignaturas de Grado de Ingeniería. 34^o JAIIO.
- Gómez Sarduy, Julio R., Reyes Calvo, Roy & Guzmán del Río, Daniel (2007). Temas Especiales de Instrumentación y Control. In: CIENFUEGOS, U. D. (ed.) 1ra edición ed. Cuba.
- Hernández Solís, Jorge Rafael (2011). *Soluciones teóricas a los problemas de radiocomunicación para el telecomando de dispositivos electrónicos de redes eléctricas*. Marta Abreu de las Villas.
- Izaguirre, Eduardo (2008). Sistemas de automatización In: VILLAS, U. C. M. A. D. L. (ed.). Santa Clara: Editorial Feijóo.
- Jiménez, M. (2009). *Protocolo Modbus*. Informe de investigación, Universidad de Cartagena.
- Mendiburu Díaz, Henry (2006). *Sistemas SCADA* [Online]. Trujillo. Available: <http://hamd.galeon.com> [Accessed febrero 2013].
- Montejo, M. A. (2006). "SCADA." [Online]. Available: From <http://www.automatas.org/redes/scadas.htm>. [Accessed].
- Motorola. (2007). *Manual de Instalación y Programación NEXO DATA*. [Online]. Available: www.centralesnexo.com.ar [Accessed].
- Sanchez Ortiz, J. A. (2003). Comunicaciones Móviles.
- Schneider-Electric (2008). Manual de referencia. Central de medida 710
- Serbiula. (2013). *Capítulo V: Comunicaciones Industriales* [Online]. Venezuela: Servicios Bibliotecarios de la Universidad de Los Andes. Available: <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/> [Accessed].
- Suárez Vargas, Alberto José (2005). *Diseño de estaciones modelo de telemetría como guía para su implementación en el sistema SCADA del AyA*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- TBox. (2010). Available: <http://www.conlab.com.au/tbox.html> [Accessed].

Tomasi, Wayne (ed.) (2003). *Sistema de Comunicaciones Electrónicas*, México: Pearson Educación.

ANEXOS

Anexo I: Descripción de los módulos del TBox MS

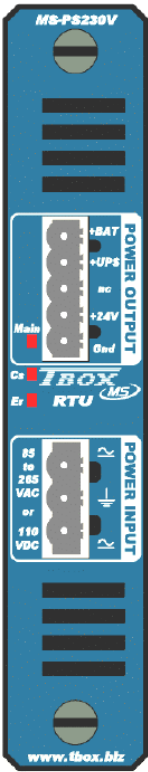
- Sistema Modular de Alimentación 230 VAC (*MS-PS230V*)



Ref.:
MS-PS230V

Power Supplies 230VAC

MS-PS230V



- Power supply 230 Volt AC

Technical Specifications

Output

Battery charger:	Constant current / limited voltage Maximum: 13.8 V Typical: 90 mA
Output connections:	- to the Battery (+12V) - Backup power supply to another rack MS: +24VCC when the "main" voltage present otherwise +8V to +13.8V - No connection +24VCC when "main" is present - Ground and 0V of Battery
Output current on the BUS (3.3V)	3 A
Total current used by all secondary outputs: battery charger, BUS, 24 V output. I out (on 24 V)	Maximum: 0.625 A

Protection

Test	Automatic test of the access of the card by the CPU (see LED 'CS' below)
Over load and short-circuit	Maximum 1 second every minute Above this time, risk of permanent damage (output line is opened)
FUSE <i>primary voltage</i>	Soldered Fuse of 1.25 A. Not replaceable by user.
FUSE <i>battery</i>	Standard Glass Fuse of 2A fast (5x20). Replaceable by user.

Isolation

Input between Earth and secondary	Isolation reinforced according to IEC60950 standard. 3000 Vrms during 1 minute
-----------------------------------	---

- Sistema Modular de CPU de 16 bits (*MS-CPU16E*).



Ref.:
MS-CPU16E

CPU-16 bits

MS-CPU16E



- Power supply input
- Button for selection of the mode of working
- RS232
- RS485
- I/O for synchronization
- Internal temperature measurement
- Input voltage measurement
- Ethernet

Technical Specifications

General

Processor	16 bits, 7.37 Mips
Clock	Real Time Clock, backed-up
Button	Push button : RUN - STOP - RESET

Power Supply

Voltage	6 .. 30 VDC
Supply Current	Maximum: 1 A (on 3.3 Volts of the BUS)
Consumption	200 mA

Internal Battery

Voltage	3 V
Use	Backup of Clock and RAM (datalogging)
Lifetime	CPU under voltage: 10 years CPU stopped and plugged on the Rack: - Typical 265 days WARNING: After this time, the battery must be replaced to maintain the clock and datalogging.

Memory

Flash	Internal: 256 kbytes - OS: 192 kbytes - application: 32 kbytes - program (BASIC/Ladder): 16 kbytes - loader: 16 kbytes External: 512 kbytes: Web Files, Report
RAM	Internal: 20 kbytes External (backed up): 128 kbytes - datalogging: 72 kbytes - application: 32 kbytes - buffer TCP: 24 kbytes

- Sistema Modular con Modem GSM/GPRS (MS-GSM).



Ref.:
MS-GSM

GSM / GPRS modem

MS-GSM

- Tri Band (900 Mhz, 1800 Mhz, 1900 Mhz)
- 1 port RS232/RS485 non isolated



Technical Specifications

General

Replacement	Hot insertable/removable. There is no risk to damage hardware, but a reset is required.
Test	Automatic test of the access of the card by the CPU (See LED 'CS' below)

LED

CS	Card Selection: the card corresponds to a card declared in TWinSoft.
ER	Error: The type of the card does not correspond to the one declared in TWinSoft.

Modem GSM/GPRS

Frequencies	TRI-BAND : EGSM900 / DCS1800 / PCS1900 MHz								
GPRS	Class 10 (4+1/3+2) with support PBCCH , SMS and DATA								
Emitting power	CLASS 4 (2W) pour EGSM900 CLASS 1 (1W) pour DCS1800 et PCS1900								
LEDs	<table border="0"> <tr> <td>Network</td> <td>Indicates that the GSM/GPRS is connected to the network</td> </tr> <tr> <td>On Line</td> <td>Indicates that the GSM/GPRS is communicating</td> </tr> <tr> <td>RxD</td> <td>Indicates that the GSM/GPRS is receiving data</td> </tr> <tr> <td>TxD</td> <td>Indicates that the GSM/GPRS is transmitting data</td> </tr> </table>	Network	Indicates that the GSM/GPRS is connected to the network	On Line	Indicates that the GSM/GPRS is communicating	RxD	Indicates that the GSM/GPRS is receiving data	TxD	Indicates that the GSM/GPRS is transmitting data
Network	Indicates that the GSM/GPRS is connected to the network								
On Line	Indicates that the GSM/GPRS is communicating								
RxD	Indicates that the GSM/GPRS is receiving data								
TxD	Indicates that the GSM/GPRS is transmitting data								
Antenna connector	Screw connector, type FME Plug								

RS232 – RS485

Mode	RS232 <u>or</u> RS485 (no simultaneous use of both modes)
Isolation	No isolation. Gnd is linked to earth by internal connection
RS232	Signals: RxD, TxD, CTS, RTS, DTR, DSR, DCD, RI Connector: 9 pin Sub-D (male)
RS485	• 2 wires (A+ and B-) for multi-points connection • No need for termination resistor (<i>failsafe bias</i> resistors included: pullup and pulldown resistors which assures a logical level TRUE when A and B are open or in short circuit) • Number of slaves: 256 (if RS485 technology of slaves allows it too) • Screw connector: female with a step of 5.08 mm
LEDs (common to 2 ports)	RxD Indicate reception of data TxD Indicate transmission of data

Anexo II: Listado de registros de las variables transmitidas por el analizador de red

Datos medidos			
Reg	Nombre	Tipo	Unidades
1006	Potencia activa, total	Flotador	kW
1010	Potencia reactiva, total	Flotador	kVAR
1012	Factor de potencia, total	Flotador	-
1020	Frecuencia	Flotador	Hz
1040	Intensidad, N	Flotador	Amperio
1060	Tensión, 1–N	Flotador	Voltio
1062	Tensión, 2–N	Flotador	Voltio
1064	Tensión, 3–N	Flotador	Voltio
4080	Potencia activa, total Máximo	Número entero	kW

Anexo III: Costo de los medios necesarios para conformar la estructura de supervisión.

Tipo	Materiales	\$	Moneda	Cantidad	Valor de Conversión	\$ Subtotal
Medición de presión	Cerabar M PMC41	250,00	€	5	1,32	1.650,00
Medición de Flujo	Promag 30 F, 36	10444,50	€	11	1,32	151.654,14
Medición de nivel	Deltapilot S DB 53	450,00	€	3	1,32	1.782,00
PLC TBox MS	rack de 5 Slots (MS-RACK-5)	121,85	cuc	8	1,00	974,80
PLC TBox MS	CPU de 16 bits (MS-CPU16E)	816,39	cuc	8	1,00	6.531,12
PLC TBox MS	4 entradas analógicas 4/20mA (MS-4AI420).	426,46	cuc	8	1,00	3.411,68
PLC TBox MS	Modem GSM/GPRS (MS-GSM)	426,46	cuc	8	1,00	3.411,68
Modem	GSM/GPRS NEXO DATA	1270,00	cuc	1	1,00	1.270,00
Accesorios	Conectivos y otros accesorios	5000,00	cuc	1	1,00	5.000,00
total						175.685,42

Tarifa de GPRS según el tráfico de datos.

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