

**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS**  
**VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Automática y Sistemas Computacionales**



# *TRABAJO DE DIPLOMA*

**Sistema SCADA para la supervisión del consumo eléctrico  
en la Ronera Central "Agustín Rodríguez Mena"**

**Autor:**

*Idelvys Cruz Bacallao*

**Tutores:**

*MSc. José Omar Padrón Ramos*

*Ing. Gustavo Otero Barroso*

**Santa Clara, Cuba**

**2011**

**"Año 53 de la Revolución"**

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Automática y Sistemas Computacionales**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Sistema SCADA para la supervisión del consumo eléctrico  
en la Ronera Central “Agustín Rodríguez Mena”**

**Autor:** *Idelvys Cruz Bacallao.*

[icbacallao@uclv.edu.cu](mailto:icbacallao@uclv.edu.cu)

**Tutores:** *MSc. José Omar Padrón Ramos.*

[jpadron@uclv.edu.cu](mailto:jpadron@uclv.edu.cu)

*Ing. Gustavo Otero Barroso*

[gustavo@ronvc.co.cu](mailto:gustavo@ronvc.co.cu)

**Santa Clara, Cuba**

**2011**

**"Año 53 de la Revolución"**



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

---

Firma del Autor

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

---

Firma del Autor

---

Firma del Jefe de Departamento  
donde se defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica



## PENSAMIENTO

*El principio de la sabiduría es el temor a Jehová.*

*Proverbios 1.7a*



## DEDICATORIA

*A mi Dios y padre celestial que me ha dado la sabiduría y el conocimiento necesario para llegar hasta este nivel.*

*A mi toda mi familia en especial a mi padre Delio Cruz, a mi madre Isabel Bacallao y mi hermana Yayné Cruz que con su ejemplo y dedicación ha influido en mi formación como persona y como futuro profesional.*

*A mis pastores, hermanos y amigos.*



## AGRADECIMIENTOS

*A todos los que de una forma u otra hicieron posible, con su apoyo, la realización de este trabajo. A todos nuestros profesores, amigos, compañeros de estudio y de trabajo, y en especial a:*

- ✓ *A nuestro creador y Señor dador de toda la sabiduría.*
- ✓ *A mis padres y mi hermana por su amor y gran apoyo.*
- ✓ *A mis pastores Abel, Raquel, Oroman y Gladis.*
- ✓ *A mi tutores: José Omar Padrón Ramos y Gustavo Otero Barroso*
- ✓ *A mis amigos y asesores Yoel y Yilien*
- ✓ *A mis compañeros de cuarto Javier, Capó y Yadrián.*
- ✓ *A mis compañeros de aula los cuales con su ayuda han hecho posible llegar a este nivel.*
- ✓ *A todos los trabajadores de la Ronera Central por la atención brindada y en especial a los del departamento de mantenimiento por su buen trato.*

*¡A todos, gracias, muchas gracias por su inestimable ayuda!*



## **RESUMEN**

El objetivo principal del presente trabajo de diploma, constituye la realización de una aplicación SCADA para la supervisión del consumo eléctrico en la Ronera Central “Agustín Rodríguez Mena” del municipio de Santo Domingo perteneciente a la Empresa Cubaron S.A. Para lograrlo se restableció la comunicación serie RS-485, del nivel de gestión con los equipos de campo y se analizaron varios de los sistemas actuales utilizados en Cuba y el mundo para supervisión y control de la energía eléctrica.

Desde el 2006, en varias de las áreas de la ronera hay instalados analizadores redes eléctricas, los cuales se encuentran subutilizados, ya que no se cuenta con software de monitoreo que se encargue de la adquisición y registro sus datos.

Este programa permite conocer el comportamiento energético real de la fábrica, reanalizar el contrato con la Empresa Eléctrica, hacer un análisis del comportamiento de cada área por separado y tener datos históricos para poder comparar con períodos de tiempos anteriores.



# TABLA DE CONTENIDOS

<b>PENSAMIENTO .....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IV</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS.....</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>Organización del informe: .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I: LOS SISTEMAS SCADA PARA LA SUPERVISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	<b>4</b>
1.1 <i>Introducción al capítulo. ....</i>	4
1.2 <i>Algunas especificaciones sobre energía eléctrica y ahorro energético. ....</i>	4
1.2.1 <i>Energía eléctrica.....</i>	4
1.2.2 <i>Ahorro energético y su importancia. ....</i>	5
1.2.3 <i>Ahorro eléctrico. ....</i>	6
1.3 <i>Situación energética actual de Cuba y el mundo.....</i>	7
1.3.1 <i>Necesidad actual de ahorrar la energía eléctrica.....</i>	7
1.4 <i>Formas de ahorrar energía eléctrica.....</i>	8
1.4.1 <i>Eficiencia energética.....</i>	8
1.4.2 <i>Gestión energética. ....</i>	9
1.5 <i>Analizadores de redes de energía.....</i>	13
1.5.1 <i>Datos específicos para cada analizador de calidad de red.....</i>	14
1.6 <i>Los sistemas SCADA como elemento para el ahorro energético.....</i>	17
1.6.1 <i>Definición general del SCADA.....</i>	17



1.6.2	<i>Necesidad de un sistema SCADA.</i>	18
1.6.3	<i>Principales funciones de un sistema SCADA.</i>	18
1.6.4	<i>Arquitectura de los sistemas SCADA y elementos que lo conforman.</i>	20
1.6.5	<i>Ventajas y desventajas de los sistemas SCADA.</i>	22
1.6.6	<i>Los sistemas SCADA en el mundo. Panorámica cubana en la actualidad.</i>	23
1.6.7	<i>Revisión de la temática en Cuba.</i>	30
1.7	<i>Análisis y valoración.</i>	31
1.8	<i>Consideraciones finales del capítulo.</i>	32
<b>CAPÍTULO II: DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA SCADA.</b>		<b>33</b>
2.1.	<i>Introducción al capítulo.</i>	33
2.2.	<i>Herramientas de software utilizadas en el trabajo.</i>	33
2.2.1.	<i>Bus de campo MODBUS, JBUS.</i>	33
2.2.2.	<i>OPC y Kepservers.</i>	34
2.2.3.	<i>Movicon X2.</i>	34
2.3.	<i>Ventajas del uso de la plataforma Movicon X2 para el presente trabajo.</i>	35
2.4.	<i>Requerimientos del sistema SCADA.</i>	35
2.5.	<i>Diseño del sistema SCADA.</i>	36
2.5.1.	<i>Comunicación y adquisición de datos.</i>	36
2.5.2.	<i>Jerarquía de pantallas y menús del sistema.</i>	36
2.5.3.	<i>Descripción técnica de la jerarquía de pantallas.</i>	37
2.5.4.	<i>Descripción funcional.</i>	40
2.6.	<i>Consideraciones finales del capítulo.</i>	48
<b>CAPÍTULO III: PUESTA EN MARCHA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SCADA.</b>		<b>49</b>
3.1.	<i>Introducción al capítulo.</i>	49
3.2.	<i>Infraestructura para la puesta en marcha del sistema.</i>	49
3.3.	<i>Análisis de resultados de la puesta en práctica.</i>	50
3.3.1.	<i>Problemas y desventajas detectados.</i>	50
3.3.2.	<i>Beneficios y bondades.</i>	51
3.4.	<i>Proyecciones futuras.</i>	52
3.5.	<i>Consideraciones finales del capítulo.</i>	52
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>53</b>
<b>Conclusiones</b>		<b>53</b>



Recomendaciones.....	54
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>59</b>
Anexo I: Glosario de siglas.....	59
Anexo II: Es quema de conexión serie RS-485 a dos hilos para el analizador Wm2-96. ....	61
Anexo III: Configuración de los <i>DIP-Switch</i> para el analizador WM2-96 .....	62
Anexo IV: Mapa de memoria del analizador Wm2-96. ....	63
Anexo V: Es quema de conexión serie RS-485 a dos hilos para el analizador Wm3-96.....	64
Anexo VI: Áreas de memoria de analizador WM3-96.....	65
Anexo VII: Mapa de memoria del analizador WM3-96.....	65
Anexo VIII: Porción del mapa de los contadores de energía.....	66
Anexo IX: Es quema de conexión serie RS-485 a dos hilos para el WM14-DIN.....	67
Anexo X: Mapa de memoria del analizador WM14-DIN.....	68



## INTRODUCCIÓN

La crisis económica mundial, el cambio climático y la especulación sobre el posible agotamiento de las fuentes no renovables de energía han provocado un incremento desmedido del precio del petróleo. Debido a esto el país se encuentra inmerso en una lucha diaria por lograr una mayor eficiencia energética y el ahorro de la electricidad surge como una de las mejores vías para lograrla. Para contribuir con la política de sustitución de importaciones, en el área energética, se han implantado nuevas medidas que contribuyen a potenciar el ahorro, dentro de las que se encuentran, penalizar con la suspensión del servicio eléctrico a aquellos centros laborales que no cumplan con el plan de consumo de energía asignado.

Para cumplir con estas medidas la Ronera Central “Agustín Rodríguez Mena” debe contar con un sistema que permita gestionar y controlar el consumo eléctrico de cada una de las áreas existentes en la fábrica, el cual es de suma importancia para estimar los índices energéticos a la hora de discutir la planificación del consumo de energía de acuerdo a la producción en los despachos con la Empresa Eléctrica.

La Ronera Central está ubicada en calle 2da, CAI George Washington, Manacas, Santo Domingo, Villa Clara. Se encuentra enclavada entre la carretera Central al norte y los alrededores del CAI George Washington por el sur. Debido a su ubicación geográfica puede realizar el abastecimiento de sus materias primas y la comercialización de sus productos tanto por carretera como por vías férreas. Dicha entidad en perfeccionamiento empresarial está subordinada a la corporación Cuba Ron S.A., perteneciente a la rama de bebidas y licores dentro de la Industria Alimenticia, la cual está destinada a producir, añejar y comercializar con calidad y eficiencia rones y otras bebidas alcohólicas de distintos tipos, alcoholes y sus derivados, manteniendo la compatibilidad y sostenibilidad con el medio ambiente. Sus actividades de producción son de suma importancia pues sus ventas están destinadas a la obtención de divisas para cubrir los gastos en esta rama y además constituyen una importante fuente de ingreso monetario para el país. Esta entidad cuenta con varias áreas para la fabricación de sus productos, dentro de las que se destacan:

- Una planta de destilería dedicada a la producción de alcohol mediante la rectificación de alcohol flema.



- Cinco naves de añejamiento equipadas con envase de roble blanco americano, destinado a darle color y sabor a los rones.
- Una planta para la fabricación de diferentes tipos de rones.
- Una línea para el embotellado, tapado y etiquetado de rones, la cual es de nueva adquisición y por tanto representa una tecnología de punta a nivel internacional.

Todas estas áreas incluyendo el edificio administrativo poseen equipos altamente consumidores de energía eléctrica. Por lo que se hace necesaria la creación de un sistema de gestión energética que permita mejorar la eficiencia y así contribuir al ahorro de electricidad.

El problema específico que brinda la base del presente trabajo, radica en la ausencia dentro de la fábrica, de un sistema supervisorio de perfil eléctrico que pueda realizar el registro, visualización y brindar reportes sobre los datos energéticos que consume la planta. En el momento actual, la adquisición de los referidos datos eléctricos, se realiza de forma manual por parte del encargado de la parte energética de la empresa, el cual tiene que trasladarse diariamente de un lugar a otro para efectuar la lectura y registro del consumo de cada una de las áreas, o sea no se aprovechan las potencialidades de comunicación y gestión que brindan los analizadores de redes instalados en las diferentes áreas de la fábrica. Producto a esto la tecnología existente ha llegado hasta el grado del abandono, perdiendo en muchos casos la intercomunicación a través de sus módulos especializados. Para darle solución a esta problemática se planteó como objetivo general:

**Objetivo General:**

Elaborar un sistema SCADA para adquirir, procesar y visualizar los datos de analizadores de redes eléctricas en la Ronera Central “Agustín Rodríguez Mena”.

**Objetivos específicos:**

- Elaborar el marco teórico referencial que fundamentará desde una perspectiva teórica este proyecto, profundizando en el tema de los sistemas SCADA y el ahorro energético.
- Crear la comunicación del nivel de gestión con los equipos de campo.



- Realizar el diseño e implementación de una aplicación SCADA con la plataforma Movicon X2, donde se elaboren interfaces gráficas sencillas para una mejor comprensión de los datos.
- Poner en marcha el sistema en la empresa.
- Analizar los resultados obtenidos.

Con el cumplimiento de estos objetivos se logrará hacer más eficiente el trabajo del operador energético al evitar que tenga que recorrer cada área diariamente y a su vez el programa será capaz de realizar eficientemente los cálculos necesarios, guardar en una base de datos un registro de los históricos de las variables, así como enviar reportes y hacer público vía *Web* los principales datos de las variables eléctricas de la fábrica.

### **Organización del informe:**

El informe del trabajo está estructurado en tres capítulos con diferentes subsecciones en cada uno de ellos donde se abordan diferentes temas organizados según la metodología de tesis:

CAPÍTULO I: Se hace una búsqueda bibliográfica de las temáticas nacionales e internacionales relacionadas con el tema de la gestión energética como una forma de ahorro de electricidad. Se mencionan las principales características de los equipos de campo que se utilizan para la medición de parámetros eléctricos. De la misma manera que se da una pequeña descripción de los sistemas SCADA que se utilizan en el mundo para el monitoreo de la electricidad.

CAPÍTULO II: Se describe el diseño y la implementación de la aplicación en la plataforma Movicon X2. Además se detalla el logro de la comunicación con cada uno de los analizadores de redes eléctricas con la computadora y se hace una descripción técnica y funcional de las pantallas o menús con que cuenta el sistema SCADA.

CAPÍTULO III: Se describe la puesta en marcha de forma práctica del sistema creado, evaluando las deficiencias y capacidades del *software*.



# Capítulo I: Los sistemas SCADA para la supervisión de energía eléctrica.

## *1.1 Introducción al capítulo.*

El presente trabajo contribuye a profundizar en el uso eficiente de la energía eléctrica en Cuba a través de la automatización. Para comprender el significado de la labor realizada es necesario conocer y diferenciar algunos conceptos importantes relacionados con la energía eléctrica, y además tener el conocimiento histórico y las causas actuales que llevaron a la realización de este trabajo, pasando por la política económica de desarrollo de Cuba y sin olvidar las limitaciones que posee el país. Para lograrlo se hará una búsqueda bibliográfica de las temáticas nacionales e internacionales relacionadas con el tema y de los equipos de campo que se utilizan para la medición de parámetros eléctricos, de los cuales se darán sus principales características. De la misma manera que se dará una pequeña descripción de los sistemas SCADA que se utilizan en el mundo para el monitoreo de la electricidad.

## *1.2 Algunas especificaciones sobre energía eléctrica y ahorro energético.*

### *1.2.1 Energía eléctrica.*

Hace poco más de cien años, cuando comenzó a expandirse el servicio eléctrico, su disfrute era algo extraordinario. Hoy es tan natural disponer de electricidad, que solo apreciamos su importancia cuando ocurren los indeseados apagones, ya sea por causas meteorológicas como el paso de ciclones o por fallas en el servicio, debido a interrupciones en las unidades de generación o en las redes que llevan el fluido eléctrico hasta nuestras viviendas, centros de trabajo, de recreación, de estudio u otros ([Arrastía Ávila 2009](#)).

De acuerdo al concepto de Torres Rizo ([2010](#)), se denomina energía eléctrica a la forma de energía resultante de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se les coloca en contacto por medio de un conductor eléctrico para obtener trabajo. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, la energía mecánica y la energía térmica. De sus múltiples beneficios emanan sus aplicaciones para la sociedad actual y para la vida diaria, lo que a su vez conlleva altas demandas y grandes capacidades de generación.



### *1.2.2 Ahorro energético y su importancia.*

Ahorrar energía es responsabilidad de todos, especialmente en el sector industrial, el cual demanda una mayor cantidad de la misma, una necesidad económica que significa hacer de ella un uso racional, en especial, cuando su generación se produce mediante la quema de combustibles fósiles.

La mayoría de los combustibles con que se produce la electricidad son de origen fósil y constituyen recursos no renovables que al ser quemados emiten contaminantes que afectan la calidad del aire. Por cada kilowatt-hora que se produce en el país se emiten a la atmósfera unos 700 gramos de Gases de Efecto Invernadero (GEI), fundamentalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El CO<sub>2</sub> no provoca afectaciones directas a la salud humana, pero contribuye al calentamiento global del planeta. Según datos de la Oficina Nacional de Estadísticas, alrededor del 93 por ciento de las emisiones brutas de GEI del país, proviene del sector de la generación de electricidad. Aunque la contribución del país a las emisiones globales es muy pequeña (Cuba ocupa el puesto 109 en emisiones por habitante) y por acuerdo del Protocolo de Kyoto no está obligada a reducirlas en este momento. Este es un asunto importante, pues ahorrando electricidad se disminuyen las emisiones y así se combate el cambio climático ([Arrastía Ávila 2009](#)), del cual ya se aprecian sus efectos con el aumento del nivel del mar, el derretimiento de las zonas polares, reducción o desaparición de las corrientes marítimas, erosión y pérdida de biodiversidad.

Durante los últimos años la reducción del consumo de energía en la industria ha sido objeto de cuidadosa atención, debido a los altos costos de los combustibles que se utilizan para su generación. En el artículo “Importancia del Ahorro Energético” ([Santizo 2011](#)) se puede ver el considerable aumento del precio del barril de petróleo, cifras que actualmente son superadas en el mercado internacional. La reducción del consumo en Cuba se ha logrado con la aceptación e incorporación de medidas que permitan implementar los proyectos de ahorro y establecer un programa sostenible a través de los estudios de Optimización del Uso de la Energía Térmica y Eléctrica ([Santizo 2011](#)). Las medidas de eficiencia energética implementadas en Cuba entre 2006 y 2008, permitieron ahorrar 2 365 000 toneladas de petróleo, por lo que se evitó emitir a la atmósfera unos cinco millones de toneladas de GEI ([Arrastía Ávila 2010](#)).



### *1.2.3 Ahorro eléctrico.*

Según lo expresado por Mario Alberto Arrastía Ávila (2009) en su artículo “Forjar una cultura del ahorro energético”, ahorrar electricidad es consumirla con racionalidad, sin banalidades ni despilfarros. La energía eléctrica debe ser usada racionalmente siempre, pero en especial cuando su generación se produce quemando combustibles fósiles. Ahorrar energía eléctrica significa usar la cantidad necesaria al realizar las diferentes actividades, sin renunciar a su empleo y despreciar los servicios que ella nos brinda.

En el ámbito doméstico, el ahorro de electricidad permite ahorrar dinero que puede ser destinado a cubrir otras necesidades de la familia. Asimismo, esta práctica alarga la vida útil de los equipos eléctricos que tenemos en los hogares y los que son puestos a disposición de todos en los lugares de trabajo. A escala industrial permite mejorar los índices de producción, reduciendo a su vez el costo de fabricación de la mercancía y se reporta como ingresos a la empresa y al trabajador. A escala de todo el país, el ahorro de electricidad permite aumentar la intensidad energética y la eficiencia de los procesos en las organizaciones de diversos sectores. Ello se revierte en beneficios para todos, ya que pueden destinarse recursos financieros a otros sectores de la economía nacional con alto impacto social. Ahorrar electricidad contribuye a disminuir la demanda en los horarios picos, lo cual tiene un impacto en la eficiencia del sistema eléctrico y en el costo de la electricidad producida, alarga la disponibilidad de los combustibles fósiles que se utilizan en su generación y permite un aprovechamiento óptimo de la capacidad instalada en las unidades generadoras. Por otro lado, es una forma efectiva, económica y al alcance de todos de preservar el medio ambiente. La práctica del ahorro lleva implícito el ejercicio de la responsabilidad ciudadana y la solidaridad energética. Además nos prepara para la transición hacia un paradigma energético basado en fuentes renovables, a lo que contribuye progresivamente la Revolución Energética. El desarrollo de sistemas de supervisión de energía procedente de fuentes renovables es de importancia crucial para equilibrar las necesidades de producción y consumo. El inconveniente común con energía solar y eólica es su naturaleza impredecible, para solucionar este problema se han diseñado e implementado diferentes estrategias de control en la Universidad de Evora, Portugal. (Figueiredo and Costa 2008)



### ***1.3 Situación energética actual de Cuba y el mundo.***

Según un artículo en el diario Juventud Rebelde ([Arrastía Ávila 2009](#)), en el mundo hay unos dos mil millones de personas que no pueden ahorrar energía eléctrica y no es porque no quieran, es porque no tienen acceso a ella. Continua mostrando que los problemas ambientales relacionados con el consumo de energía eléctrica, han hecho que se tome conciencia de la relación entre consumo de electricidad y medio ambiente. En muchos países se realizan acciones encaminadas al uso racional de la energía, aunque contradictoriamente al mismo tiempo se promueve el consumo desenfrenado de bienes materiales. La promoción de cultura energética y del ahorro de energía, son actividades que se realizan por países de todos los continentes y diferente nivel de desarrollo. Aun así en la mayoría de los casos no se aprecian sus resultados debido al poco esfuerzo que prestan los países desarrollados ante dicha situación y en otros casos a la incapacidad de los países subdesarrollados para tomar medidas al respecto, producto a la escasez de sus recursos o a políticas inherentes al país, como lo es el bloqueo económico de Estados Unidos para Cuba, el cual no solo limita sus importaciones sino que también eleva sus costos.

Actualmente la producción de electricidad en Cuba se divide en:

- Servicio público (88% del total producido nacionalmente)
- Autogeneración (12 % restante, el cual le corresponde a los centrales azucareros, a las empresas productoras de níquel, y otras como el papel y el cemento).

#### ***1.3.1 Necesidad actual de ahorrar la energía eléctrica.***

Una buena parte de los combustibles que se emplean para generar electricidad son recursos nacionales, el resto son importados. Como expresa el autor del artículo “Forjar una cultura del ahorro energético” ([Arrastía Ávila 2009](#)), más del 96 por ciento de la energía eléctrica que satisface nuestras necesidades, se obtiene a partir de combustibles fósiles. Alrededor del 60 por ciento de ésta se genera en centrales termoeléctricas (CTE) que usan fundamentalmente petróleo crudo nacional. Cerca del 14 por ciento se produce empleando el gas acompañante del petróleo y el 24 por ciento se garantiza con los grupos electrógenos de alta eficiencia. Los grupos que utilizan *fuel oil* trabajan las 24 horas. Los que emplean



diesel solo entran en funcionamiento cuando la demanda supera la potencia en línea de las restantes tecnologías pero el costo de generación de éstas es mucho mayor.

De aquí que, el deber de cada cubano y de cada industria cubana, radica en evitar el despilfarro, ahorrar electricidad, procurando consumir lo menos posible durante el horario pico y así contribuir a reducir la máxima demanda del sistema, evitando que el país tenga que incurrir en costos adicionales de materiales en su generación para poder satisfacerla. Por el momento y hasta que se produzca el descubrimiento de una nueva fuente de energía lo suficientemente ecológica como para que no afecte al medio ambiente, lo bastante económica como para que sea accesible por el país y lo bastante potente como para suplir la demanda de energía eléctrica de todo el Sistema Electroenergético Nacional, la mejor manera de contribuir con la situación energética actual de Cuba y el mundo es el ahorro.

#### ***1.4 Formas de ahorrar energía eléctrica.***

##### ***1.4.1 Eficiencia energética.***

Según Mario Alberto Arrastía Ávila autor en su artículo “Mayor eficiencia energética” (2010), expresa que eficiencia energética es la relación entre la cantidad de energía útil empleada en un servicio energético (cocción, transporte, climatización, etc.) y la cantidad de energía puesta en juego para ello. La cantidad de energía útil siempre es menor que la cantidad de energía puesta en juego, de modo que al dividir ambas se obtiene un número que es menor que uno, al multiplicarlo por 100 la eficiencia energética queda dada en por ciento. Hacer un uso eficiente de la energía significa producir, a partir de una cierta cantidad disponible, la mayor cantidad posible de cambios o transformaciones. Las acciones de eficiencia energética permiten optimizar la relación entre la energía usada y los productos y servicios obtenidos. Esto se logra mediante inversiones tecnológicas, medidas de gestión y modificando los hábitos de utilización de la energía por los usuarios. En otras palabras sacar el mayor provecho posible de los medios y componentes que se emplean para producir la energía primaria; ya sea cuando se reduce la intensidad energética de un producto dado (consumo de energía por unidad de producto), o cuando el consumo de energía es reducido sin afectar la cantidad producida o los niveles de confort.



#### *1.4.1.1 Necesidad de lograr la máxima eficiencia energética.*

Hasta este momento se ha visto la evolución histórica de la producción y uso de la energía eléctrica en Cuba, para lograr una mejor comprensión de los objetivos que se persiguen en este trabajo, así como el contenido de las secciones posteriores, es inevitable dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Por qué existe la necesidad actual de lograr la máxima eficiencia energética?

Innumerables respuestas pueden contestar esta pregunta, todas enfocadas en materias específicas, pero una conclusión general muy acertada la brinda Pedro Bienvenido Valdés (2006): es necesario lograr la máxima eficiencia energética para reducir las emisiones contaminantes y aumentar la contribución al desarrollo sustentable; a nivel de nación la conservación de los recursos energéticos límites, la mejora de la seguridad energética, la reducción de las importaciones de portadores energéticos y la reducción de costos que pueden ser utilizados para el desarrollo. A nivel de empresa el incremento de la eficiencia energética reduce las cuentas de energía, incrementa la competitividad, eleva la productividad y las ganancias. El gran beneficio que revierte esta necesidad es tanto económico como medioambiental ya que se paga menos energía eléctrica y se reduce la emisión de vertidos de gases contaminantes a la atmósfera, provocadores del efecto invernadero.

#### *1.4.2 Gestión energética.*

La gerencia de la eficiencia energética tiene un objetivo final: lograr la máxima reducción de los consumos energéticos con la tecnología productiva actual de la empresa y realizar los cambios a tecnologías eficientes en la medida que éstos sean rentables, de acuerdo a las expectativas financieras de cada empresa. Lograr este objetivo de forma continua requiere de organizar un sistema de gestión, cambios de hábitos y cultura energética.

Para esto en los grandes edificios públicos, representantes de la tercera parte del consumo en la ciudades, según se plantea en el artículo “*Supervisory and Energy Management System of large public buildings*” (Xudong, Cui et al. 2010), se podría reducir de forma significativa el consumo a través de un *software* de supervisión y gestión que realice la recopilación de la información, la medición del consumo de energía, el análisis de la eficiencia energética y los subsistemas de toma de decisiones a través de una computadora

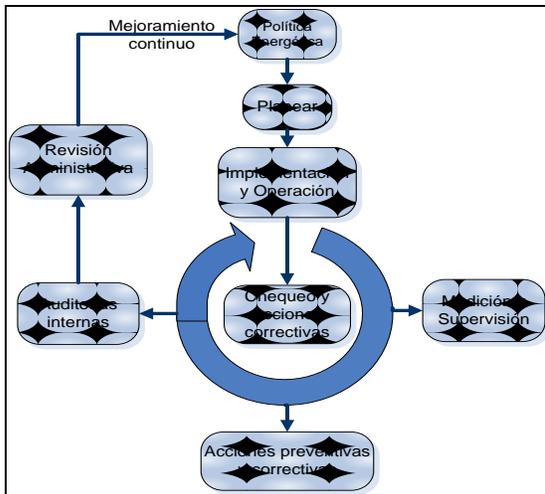


o un sistema informático integrado, ejecutando un *software* diseñado para Sistemas de Gestión de la Energía en Edificios (BEMS) conectado al sistema de medición de energía, a las redes inalámbricas de sensores e incluso a los sistemas convencionales de la automatización del edificio (BA).

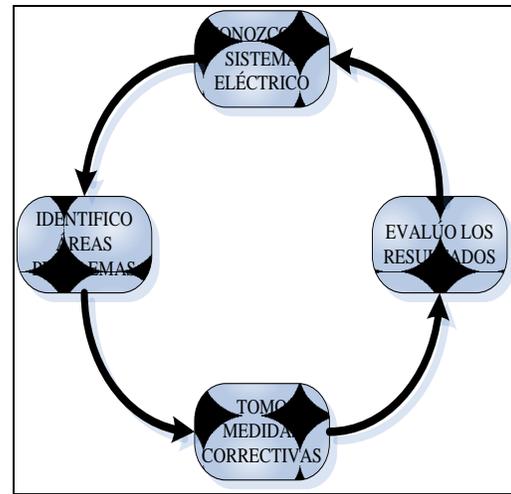
Tanto en la Norma Europea ([EN-16001 2009](#)) como en la *International Organization for Standardization* ([ISO/CD 50001 2009](#)) se enfocan en la conocida metodología: **Planear-Ejecutar-Verificar-Actuar**. Los requisitos necesarios para aplicar la norma son:

- **Planear:** Identificar los aspectos energéticos y las obligaciones jurídicas de energía y establecer objetivos y metas.
- **Ejecutar:** Asignar recursos y responsabilidades, aumentar la conciencia de la organización y proporcionar formación; comunicación interna y externa, establecer la documentación; aplicar los controles operacionales.
- **Verificar:** Establecer la medición y seguimiento del programa de gestión de la energía, evaluar el cumplimiento de las obligaciones legales; identificar y gestionar las no conformidades, el control de los documentos; llevar a cabo las auditorías internas del sistema de gestión de la energía.
- **Actuar:** Revisión del sistema de gestión de la energía por la alta dirección en los cambios potenciales.

El formato del sistema de gestión de **Planear-Ejecutar-Verificar-Actuar** puede ser utilizado por cualquier organización, independientemente de su tamaño, estructura o complejidad, tanto en beneficio de empresas multinacionales como pequeñas y medianas. Las bases de esta metodología se muestran en la figura 1.1, aunque para tener una idea más práctica de lo que esto implica se explicará un método muy parecido el cual se muestra en figura 1.2.



**Figura 1.1: Metodología del sistema de gestión energética Planear-Ejecutar-Verificar-Actuar.**



**Figura 1.2: Pasos en el sector industrial.**

El Ing. Santiago Sánchez M. (2004) presenta de parte de la Dirección de Energías Renovables y Eficiencia Energética perteneciente al Ministerio de Energía y Minas en Ecuador una metodología muy parecida a la antes expuesta (ver figura 1.2) los pasos a seguir para ahorrar energía en el sector industrial. Además de dar un grupo de medidas para lograrlo:

### **Paso 1. Conocimiento de la electricidad y sus relaciones.**

- a) **O sea conocer el medio eléctrico.** ¿Cómo funciona un sistema eléctrico? ¿Qué es la electricidad?, su generación, transmisión, y distribución. Cuáles son los parámetros eléctricos más importantes a tener en cuenta: corriente, voltaje, potencia, energía y tipos de cargas existentes. Los elementos eléctricos: motores, ventiladores, transformadores, bombas, sistemas de control, iluminación, conductores, capacitores.
- b) **La empresa eléctrica.** Aquí se refiere al proveedor del servicio y a los fabricantes de equipos así como los impuestos y adicionales.
- c) **El usuario (industria).** Los insumos, el producto, los residuos. La capacidad y experiencia del personal de planta y de ingeniería (diseño, planificación) además de estar informado de las nuevas tecnologías.

**Paso 2. Identificar los procesos susceptibles al mejoramiento o con problemas.**

Cálculo de la demanda eléctrica (consumo) mediante mediciones independientes y totalizadas. Contar con un inventario actualizado del equipamiento eléctrico con los parámetros de cada elemento, incluyendo tiempos de funcionamiento. Tener registros históricos de mantenimiento, reparaciones, costos, problemas. Elaborar de manera óptima los procesos productivos empezando por los de mayor consumo: bombas, grandes motores, transformadores, iluminación; haciendo un estudio financiero de las medidas correctivas.

**Paso 3. Tomar medidas de corrección.**

- a) **Exógenas.** Aquellas que no podemos controlar directamente como las condiciones del suministro de la Empresa Eléctrica: calidad, confiabilidad y precio.
- b) **Endógenas.** Aquellas que podemos controlar.
  - ✓ Técnicas: Mejoramiento del factor de potencia. Desconexión de motores eléctricos y transformadores trabajando en vacío. Selección adecuada de la potencia y tipo de los motores eléctricos. Uso de transformadores y motores de alta eficiencia.
  - ✓ Aplicación de accionamientos eficientes: Reparación eficiente de las máquinas eléctricas. Incremento de voltaje nominal de operación de los motores. Selección correcta de los calibres de los conductores. Revisión del medidor eléctrico.
  - ✓ Operativas: Control y programación de la demanda máxima y del consumo de energía eléctrica de acuerdo a los horarios de funcionamiento. Ubicación adecuada de los centros de carga. Realizar auditorías energéticas.
  - ✓ Autogeneración: Aprovechamiento de los residuos para producción de electricidad y calor así como de las capacidades de generación y cogeneración.

**Paso 4. Evaluar los resultados obtenidos.** A partir de las medidas tomadas y los cambios efectuados.



### 1.5 *Analizadores de redes de energía.*

Estructuralmente, las redes de energía eléctrica se componen de la generación (centrales), el transporte y los consumos. Para lograr el mejor aprovechamiento de estas, es necesario tener un control de sus principales parámetros, para lo cual se pueden utilizar voltímetros, amperímetros, vatímetros o multímetros que pueden combinar todos los anteriores en un solo equipo. Para determinar la calidad, cantidad, el flujo y optimización de estas redes, se utilizan los llamados **Analizadores de Redes** que son instrumentos capaces de analizar las propiedades anteriormente mencionadas de las redes eléctricas, y especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas. Existen dos tipos principales de analizadores de redes:

- **SNA (*Scalar Network Analyzer*)**. Analizador de redes escalar, mide propiedades de amplitud solamente.
- **VNA (*Vector Network Analyzer*)**. Analizador de redes vectoriales, mide propiedades de amplitud y fase.

Los analizadores de redes disponen de la más alta tecnología y pueden medir una gran variedad de parámetros eléctricos, con el principal objetivo de obtener el control y la gestión energética de una instalación, máquina, o industria, permitiendo optimizar al máximo sus costos. Existe una gran variedad de analizadores los cuales exportan o muestran los parámetros eléctricos de manera directa o indirectamente a través de pantallas y son capaces de transmitir a través de diferentes medios de comunicación, ya sea por cable o aire, todas sus magnitudes eléctricas medidas y/o calculadas. Algunos analizadores son expandibles o modulares, pudiendo dotarlos de funciones adicionales asociables a cualquier parámetro eléctrico medido o por calcular.

Los analizadores de potencia, marca *Carlo Gavazzi* ([2002a](#)) tienen la ventaja de ser módulos acoplables de poca complejidad en su instalación y mantenimiento, lo que les proporciona una máxima flexibilidad en cuanto a la posibilidad de añadir nuevas salidas cuando sean necesarias en la aplicación. Poseen una pantalla de gran tamaño para el fácil manejo de la información. Son medidores tanto para sistemas monofásicos como trifásicos. Todos tienen la funcionalidad de adaptarles un puerto serie RS-232 más RTC (Red Telefónica Conmutada), más una memoria de datos (2 MB). Además poseen salidas



analógicas, entradas digitales, salidas de pulso y alarma por puerto serie RS-485/422. Tienen una interfaz muy flexible para la comunicación con PLC, PC y RTU (Unidades Remotas de Control). Pueden controlar todos los parámetros de una línea o carga eléctrica, los que pueden ser supervisados desde cualquier punto del sistema. Su extraordinario diseño y sus excepcionales prestaciones lo convierten en el instrumento ideal para aplicaciones de hasta 5000 A y 200 kV ([Carlo Gavazzi 2001](#)).

### *1.5.1 Datos específicos para cada analizador de calidad de red.*

#### *1.5.1.1 Analizador de redes WM2-96.*

Según el manual del fabricante ([Carlo Gavazzi 2000](#)) es un analizador y medidor modular de energía basado en un microprocesador de 16 bits. El mismo se muestra en la figura 1.3. (Para más información ver los Anexos 2, 3, y 4).



**Figura 1. 3: Analizador de redes WM2-96.**

#### **Las características más importantes son:**

- ✓ Medidas TRMS (verdadero valor eficaz).
- ✓ Conexión a CT transformador de intensidad (hasta 5000/5A).
- ✓ Medidas de: kWh (total), KVArh (total), kWh (parcial), VArh(parcial), kW, KVAr, factor de potencia ( $\cos\varphi$ ), V (L-L) avg, V (L-N), A.
- ✓ Salidas: de pulso de CC (pulso programable para kWh, KVArh).

**Comunicación serie:** RS-232 o RS-422/RS-485 (opcional) multiterminal bidireccional (variables estáticas y dinámicas). Conexiones: 2 o 4 hilos, distancia máx. 1200 metros; terminación y/o polarización de línea mediante interruptores DIP ([Carlo Gavazzi 1998](#)). Direcciones de la 1 a 255 programables desde el teclado.



### **Protocolo: MODBUS/JBUS**

- ✓ Formato de datos: 1 *bit* de arranque, 8 *bits* de datos, sin paridad/paridad par, 1 *bit* de parada.
- ✓ Velocidad en baudios: 1200, 2400, 4800 y 9600 baudios.
- ✓ Aislamiento: mediante optoacopladores; 4000 Vrms entre salida y entrada de medida; 4000 Vrms entre salida y entrada de alimentación.

#### *1.5.1.2 Analizador de redes WM3-96.*

Gracias al manual de instrucciones que brinda el fabricante ([Carlo Gavazzi 2002a](#)) se sabe que el modelo WM3-96 figura 1.4 es un analizador de calidad de energía eléctrica basado en un microprocesador de 32 *bit* y consta de una pantalla gráfica (128 x 64 puntos).



**Figura 1. 4: Analizador de redes WM3-96.**

De sus múltiples variables medidas se pueden obtener: energía activa por hora (*kWh*), energía reactiva por hora (*kVArh*), potencia media (*kW avg.*), potencia activa (*kW*), potencia reactiva (*KVAr*), factor de potencia ( $FP = \cos\phi$ ), frecuencia (*Hz* armónico fundamental) con detección de fuentes armónicas, corrientes de líneas (*A*), tensión entre fases (*V*), tensión entre fases y neutro (*V*), potencia activa por fases (*kW*). Entradas de intensidad y tensión con autorrango con lectura de 4 x 4 dígitos de variables instantáneas, lectura de 4 x 9 dígitos de energías totales, lectura de 4 x 6 dígitos de energías parciales, además de 48 medidores de energía independientes para usar como gestores de energía de uno, dos, o múltiples tiempos. La velocidad de muestreo es de 10 lecturas/seg. El grado de protección (panel frontal) IP65. Alimentación universal: de 18 a 60 VCA/CC y de 90 a 260 VCA/CC.

También posee una función opcional de reloj de tiempo real con registro de datos de sucesos de alarma. Puede ser equipado con una interfaz serie RS-485 o RS-232. El



protocolo de comunicación serie que usa es MODBUS-RTU, el mismo para ambas interfaces. Cuando se usa RS-485 es posible conectar hasta 255 instrumentos que utilicen este protocolo. (Para más información ver los Anexos 5, 6, 7 y 8) Mientras que si se usa RS-232 solo es posible conectar un solo instrumento ([Carlo Gavazzi 2002b](#)).

### 1.5.1.3 Analizador de redes WM14-DIN.

Según las especificaciones dadas por el fabricante ([Carlo Gavazzi 2006](#)) es un analizador de potencia trifásica con teclado de programación incorporado. Especialmente recomendado para visualizar las principales variables eléctricas (Para más información ver los Anexos 9 y 10).



**Figura 1.5: Analizador de redes WM14-DIN.**

- Medidas de variables del sistema y de cada fase: W, Wdmd (demanda), VAR, VA, VAdmd (demanda), PF, V, A, An (neutro), Admd (demanda), Hz.
- Indicación de A máxima, Admd (demanda), Wdmd máx. (demanda máxima).
- Medidas de energía: kWh y kVARh
- Cuenta horas (5+2 dígitos).
- Valor TRMS de tensión/intensidad de ondas distorsionadas.
- Alimentación: 24V, 48V, 115V, 230V 50-60Hz; 18 - 60VCC
- Caja para montaje en carril DIN
- Grado de protección (panel frontal): IP 40
- Dimensiones del panel frontal:  
107,8x90 mm
- Salida serie opcional RS422/485.
- Alarmas (sólo visuales): VLN, An (neutro).
- Clase 2 (energía activa).
- Clase 3 (energía reactiva).
- Precisión  $\pm 0,5$  (intensidad/tensión).
- Analizador de potencia.
- Lectura de variables instantáneas: 3x3 dígitos.
- Lectura de energía: 8+1 dígitos.



### ***1.6 Los sistemas SCADA como elemento para el ahorro energético.***

Como se ha podido observar en los argumentos anteriores, ahorrar energía es una necesidad económica y significa hacer de ella un uso racional; en especial, cuando su generación se produce mediante la quema de combustibles fósiles y el nivel económico del país es bajo como lo es el de Cuba. Debido a ello, la eficiencia energética ha llegado a convertirse en una práctica universal adoptada en muchos países del mundo por las potencialidades que brinda.

Un concepto relativamente novedoso que se ha incorporado a la difícil tarea de contribuir a acelerar la gestión y a elevar la eficiencia energética es la supervisión. La supervisión del consumo eléctrico es una práctica ya antigua, pero hacerlo a través de modernos sistemas SCADA es de factura reciente. En las siguientes secciones se hará un exhaustivo análisis de lo que son los sistemas SCADA y cómo estos influyen mundial y regionalmente en elevar la eficiencia energética, contribuyendo al ahorro de portadores de energía.

#### ***1.6.1 Definición general del SCADA.***

SCADA es el acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition* (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Es una aplicación de *software* diseñada con la finalidad de controlar y supervisar datos a distancia, los cuales se basan en la adquisición de variables de los procesos remotos utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso ([Chavarría Meza 2007](#)).

En el libro “Sistemas SCADA” del profesor mexicano Aquilino Rodríguez Penín ([2007](#)), se brinda una definición muy parecida a esta en la que se puede comprender que un sistema SCADA no se trata de un sistema de control, sino de un *software* de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interfaz entre los niveles de control (como los PLCs) y los de gestión a un nivel superior. Un sistema SCADA puede controlar, monitorear y supervisar desde un centro de control los procesos de estaciones remotas distantes, empleando diversos tipos de enlaces de comunicaciones (sistema satelital, red de microondas, radiocomunicaciones, fibra óptica, telefonía celular, entre otros). Todos los programas necesarios y en su caso el hardware adicional que evidentemente siempre se necesita, se denomina en general sistema SCADA.



A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido (SCD), en un sistema SCADA el lazo de control puede ser generalmente atendido (cerrado) por el operador. Hoy en día es fácil encontrar un sistema SCADA realizando tareas de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador ([Izaguirre Castellanos 2008](#)).

#### ***1.6.2 Necesidad de un sistema SCADA.***

En el artículo “Sistemas de Automatización” del autor Eduardo Izaguirre Castellanos ([2008](#)) se menciona que para evaluar si un sistema SCADA es necesario para manejar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes características:

- a) El número de variables del proceso que se necesita monitorear es muy alto.
- b) El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un sistema SCADA para la supervisión y control de un proceso local.
- c) La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.
- d) La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.
- e) Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en un sistema SCADA. Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la efectividad de la producción, de los niveles de seguridad, etc.
- f) La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual lo puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLC, Controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos.

#### ***1.6.3 Principales funciones de un sistema SCADA.***

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA según Chavarría Meza ([2007](#)) están las siguientes:



- a) **Supervisión remota de instalaciones y equipos:** permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- b) **Control remoto de instalaciones y equipos:** mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.
- c) **Procesamiento de datos:** el conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.
- d) **Visualización gráfica dinámica:** el sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.
- e) **Generación de reportes:** el sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
- f) **Representación de señales de alarma:** a través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.
- g) **Almacenamiento de información histórica:** se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.
- h) **Programación de eventos:** está referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.



#### *1.6.4 Arquitectura de los sistemas SCADA y elementos que lo conforman.*

En el artículo: “El mundo de los Sistemas SCADA” de Jacobo Hernández Valdelamar (2006), se puede comprender de forma general la arquitectura de un sistema SCADA. De acuerdo a él los sistemas SCADA constan de cuatro niveles:

##### *1.6.4.1 Nivel de Instrumentación.*

El sistema maneja instrumentación de tipo electrónico donde la variable física se convierte en una señal eléctrica. En este nivel están los sensores-transductores y según la concepción de Chavarría Meza (2007) estos son dispositivos capaces de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente de salida. El nombre de dichos dispositivos de por sí indican cual es la transformación que realizan, aunque no necesariamente la dirección de la misma. Son dispositivos usados para obtener la información de entornos físicos y conseguir (a partir de esta información) señales o impulsos eléctricos y viceversa. En este caso permitirá la conversión de una señal física en una señal eléctrica. Su calibración es muy importante para que no haya problemas con la confusión de valores de las variables.

##### *1.6.4.2 Nivel RTU (Unidad Terminal Remota).*

En este nivel se encuentran los dispositivos microprocesadores que recogen, almacenan y procesan la información que viene de la instrumentación de campo. En este nivel propiamente están las RTU (Unidad Terminal Remota) y de acuerdo con Chavarría Meza (2007) estas unidades son dispositivos instalados en la posición remota en la que obtiene datos, los descifra en un formato y transmite los datos de nuevo a una unidad terminal maestra (MTU). La RTU también recoge la información del dispositivo principal y pone los procesos en ejecución que son dirigidos por la MTU. La RTU se conecta al equipo físicamente y lee los datos de estados, por ejemplo: abierto/cerrado desde una válvula o un intercambiador; lee las medidas como temperatura, presión, flujo, voltaje o corriente y así la RTU puede enviar señales que pueden controlar los dispositivos para abrirlos, cerrarlos, intercambiar la válvulas, configurar la velocidad de una bomba, etc.

La RTU es capaz de ejecutar programas simples autónomos sin la participación de la Unidad Terminal Maestra (MTU) del sistema SCADA, para simplificar el despliegue y



proporcionar la redundancia por razones de seguridad. La RTU en un sistema de gerencia tiene típicamente un código para modificar su comportamiento cuando los interruptores de invalidación físicos son accionados, por ejemplo el movimiento de una palanca durante el mantenimiento por el personal correspondiente. Esto se hace por razones de seguridad; una pérdida de comunicación entre los operadores del sistema y el personal de mantenimiento podría hacer que los operadores cometan un error al permitir el paso de energía, activar el funcionamiento de una bomba, etc.

#### 1.6.4.3 Nivel 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. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación encargados de tomar la información de la RTU y transmitirla por el medio escogido hasta el Centro de Control.

En el artículo “Sistemas de Automatización” su autor, Izaguirre (2008), expresa que la red o sistema de comunicación, puede realizarse por distintos soportes y medios: línea dedicada, línea telefónica, cable coaxial, fibra óptica, telefonía celular, radio VHF/UHF, microondas, satélite, etc. De esta manera los datos son transmitidos hacia múltiples partes (en ocasiones a un sitio central) mediante el medio físico más apropiado. La manera de direccionar los diferentes sitios hacia donde se envía y/o recibe información del proceso, está incorporada como parte integrante dentro del sistema SCADA. El soporte de la comunicación a tener en cuenta depende del tamaño del sistema SCADA, la distancia de las RTU, cantidad de datos a transmitir, velocidad y disponibilidad de servicio público de comunicación, características del proceso y tipo de aplicación, por solo mencionar algunas.

#### 1.6.4.4 Centro de Control.

Está compuesto por un conjunto de computadoras, periféricos y *software* que realizan el procesamiento de las señales y la presentación de los datos al operador. En este nivel están:

1. Las **MTU's (Unidad Terminal Maestra)**: cuando se habla de Unidad Terminal Maestra se refiere a los servidores y al *software* responsable para comunicarse con el equipo del campo (RTU's, PLC's, etc.). En estos se encuentra el *software* HMI corriendo para las estaciones de trabajo en el cuarto de control o en cualquier otro



lugar. En un sistema SCADA pequeño, la Unidad Terminal Maestra puede estar en una sola estación, pero en un sistema SCADA a gran escala la MTU puede incluir muchos servidores, aplicaciones de *software* distribuido, y sitios de recuperación de desastres. Esta terminal 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 ([Chavarría Meza 2007](#)).

2. Las **HMI's (Interfaces Hombre-Máquina)**: Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados. Un sistema SCADA incluye una interfaz, generalmente llamada *Human Machine Interface* propio de sus siglas en inglés. El HMI de un sistema SCADA 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. Esta interfaz incluye generalmente los controles donde el operador se puede interconectar con el sistema SCADA. El HMI es una manera fácil de estandarizar la supervisión de las RTU's múltiples o de los PLC's (Controlador Lógico Programable) ([Chavarría Meza 2007](#)).

### ***1.6.5 Ventajas y desventajas de los sistemas SCADA.***

#### ***1.6.5.1 Ventajas.***

1. Reducción de los costos de producción, operación y mantenimiento.
2. Aumento de producción.
3. Diversificación de la producción.
4. Mejoramiento de la coordinación con el área de mantenimiento.
5. Se dispone de información precisa para efectos de estudio, análisis y estadística.



6. No se requiere de personal para realizar labores de lectura de las variables ya que estos son leídos y enviados a centros de cómputos a través de la red.
7. Sistema de medición más rápido y confiable.

#### *1.6.5.2 Desventajas.*

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

#### *1.6.6 Los sistemas SCADA en el mundo. Panorámica cubana en la actualidad.*

Desde hace muchos años en el mundo se viene trabajando en la instauración de sistemas SCADA para la adicción de datos energéticos desde lugares remotos con el objetivo de disminuir el consumo eléctrico y muchas de las empresas multidisciplinarias existentes en el planeta han desarrollado metodologías, equipos y *software* que permiten una mejor gestión y control de la energía eléctrica, como un ejemplo están los estudios relacionados con la inteligencia artificial para el control a distancia de redes eléctricas ([Colson, Nehrir et al. 2009](#)). Los resultados obtenidos a partir de la puesta en marcha de estos sistemas en la industria papelera, prueban que el sistema tiene un buen efecto para la optimización del funcionamiento de la máquina de papel, el ahorro de energía y la reducción del consumo ([Yugang, Huanbin et al. 2010](#)). A continuación se mostrarán los trabajos realizados por algunas empresas desarrolladoras de sistemas supervisorios, así como una breve descripción de sus programas.

##### *1.6.6.1 Circuit Monitor 3000 de Merlin Gerin.*

*Circuit Monitor* CM3250 y CM3350 han sido diseñados para entornos industriales y grandes infraestructuras comerciales, con el fin de analizar la instalación eléctrica en puntos críticos (acometidas, cargas sensibles, consumos elevados). Este analizador posee una potencia de procesamiento que proporciona la información necesaria para tomar decisiones proactivas y correctivas: perfiles de consumo, detección de problemas en la instalación,



análisis de la calidad (según norma UNE 50160), supervisión y mantenimiento de los equipos ([Lizarraga de Miguel 2009](#)).

#### Aplicaciones

- Control de armónicos. Análisis espectral de armónicos.
- Control preciso de consumos a nivel interno (no como contador de energía).
- Supervisión exhaustiva de la instalación eléctrica en:
  - Cargas críticas.
  - Instalaciones sensibles o problemáticas.
  - Grandes consumos (en control de energía, cuando prima la precisión).

El problema de este *software* es que no sirve como contador de energía. Y esta es la principal prestación que debe ofrecer el sistema supervisorio para permitirle al usuario la lectura y el control diario del estado y la situación del consumo energético.

#### 1.6.6.2 *Power Studio y Power Studio Scada de Circutor.*

Para lograr la eficiencia el equipo técnico de *Circutor* ha recopilado información de más de diez años de experiencia en el tema, concluyendo que sus equipos ya no pueden verse aislados, sino que están unidos por redes de comunicación lo que les permiten realizar un resumen de las técnicas de medida, control, optimización y uso racional de la energía eléctrica; esto les permite un control global de la red a través de potentes programas SCADA ([Ros, García et al. 2010](#)).

La empresa *Circutor* tiene en el mercado diversos *software*, de los cuales el *Power Studio Scada* y el *Power Studio* podrían resultar de interés. Hay que diferenciar los dos *software*. Mediante el *Power Studio* se puede leer en tiempo real los valores instantáneos de todos los equipos *Circutor* y genera un histórico de datos que se guarda en un PC para su posterior estudio. En la siguiente figura 1.6 se puede observar un esquema típico de instalación enfocado hacia la medición de parámetros eléctricos en equipos de climatización ([Lizarraga de Miguel 2009](#)).

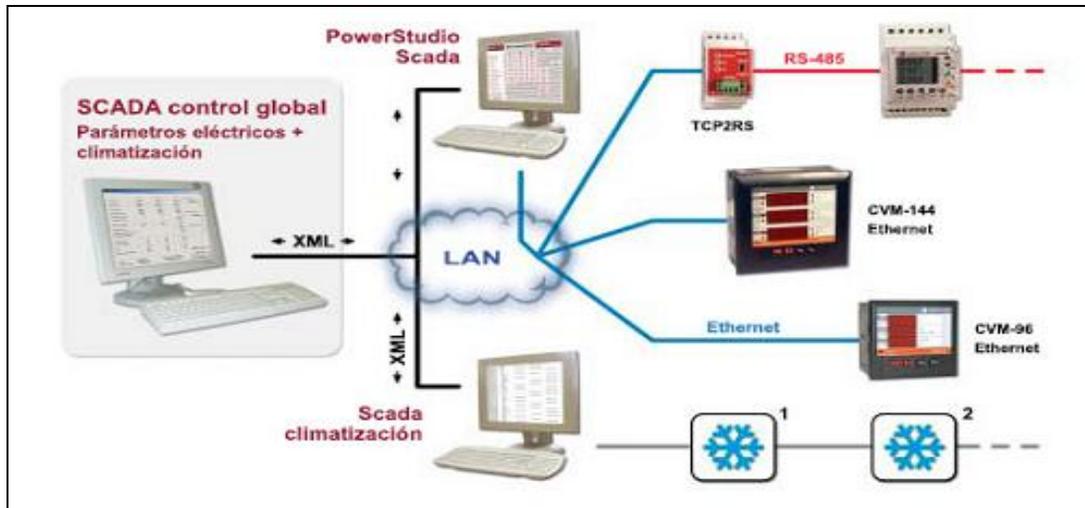


Figura 1. 6: Esquema de una instalación de *Circutor*.

Según Ane Lizarraga de Miguel (2009) este *software* permite al usuario tener un control absoluto de la instalación, conociendo en tiempo real y de primera mano, el estado de sus líneas de potencia e incluso de consumo general de su instalación tanto en baja como en media tensión. Dicho control es importante ya que puede realizarse un excelente mantenimiento preventivo, desde el cual se puede controlar una gran cantidad de parámetros eléctricos. Dentro de esta supervisión, mediante los captadores adecuados, se incluye el control de una gran cantidad de parámetros eléctricos y de proceso. La finalidad del *Power Studio Scada* es el procesamiento final de los datos y la elaboración de informes, con el objetivo de adoptar medidas preventivas o correctivas en la instalación. Está diseñado para actuar como centralizador y gestor de información. Debido al gran volumen de información que aporta cada central de medida, es necesario disponer de un sistema centralizado de recogida de datos. El *Power Studio Scada* además está pensado para que cualquier usuario pueda crear sus propias pantallas personalizadas.

Ambos *software* parecen mostrar grandes potencialidades para el trabajo y adquisición de parámetros energéticos. Pero su arquitectura se encuentra restringida solamente a equipos de su misma firma (*Circutor*), por lo que no se adapta a las necesidades ni a los medios disponibles en la empresa cubana que da origen a la problemática de este trabajo. Además para su empleo habría que incurrir en gastos adicionales en su adquisición, elevando el costo del sistema.



### 1.6.6.3 PSS/E de Siemens.

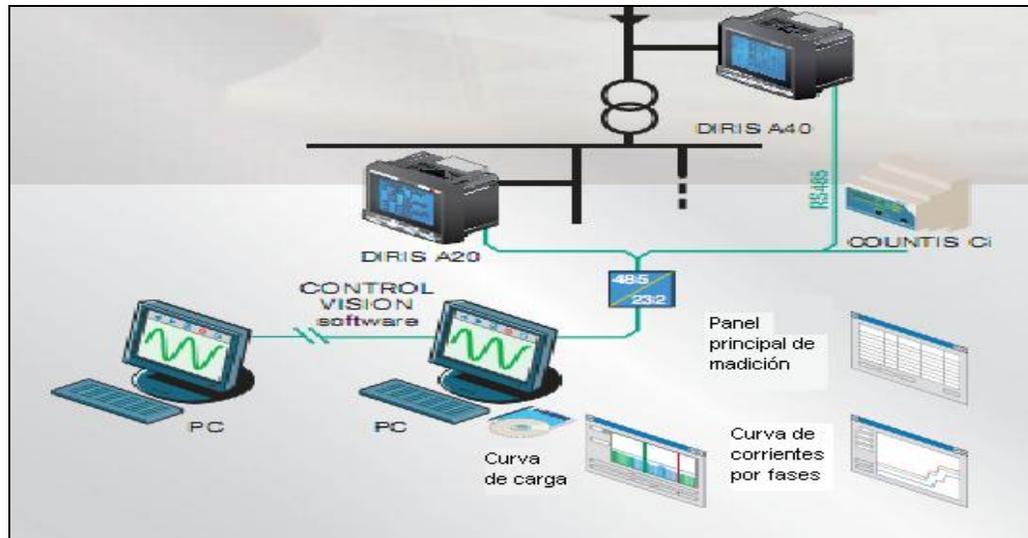
Según expresa Ane Lizarraga de Miguel (2009) en su tesis de maestría, desde su creación en 1976, el PSS/E se ha convertido en el programa comercial de su tipo más completo, más técnicamente avanzado y más empleado en el mercado. El PSS/E ha sido probado en el tiempo y es ampliamente considerado como la herramienta para el análisis de sistemas de potencia de mejor ejecución. PSS/E cubre muchas de las necesidades de simulación de Sistemas de Potencia. Es un programa integrado e interactivo, que se emplea para simular, analizar y optimizar, el comportamiento de un sistema de potencia. Pone a la disposición del usuario los métodos más avanzados y probados en muchas áreas técnicas, incluyendo:

- Flujo de carga.
- Flujo de Carga Óptimo (OPF)
- Análisis de fallas balanceadas o desbalanceadas
- Simulación dinámica
- Simulación dinámica a término extendido
- Acceso abierto y precios
- Análisis de transferencias
- Reducción de redes

Este es un programa muy completo pero dirigido a la simulación de sistemas de potencia desde la perspectiva de generación y distribución, por lo que no se ajusta completamente a las necesidades y posibilidades de la empresa.

### 1.6.6.4 Sistema "Control Vision".

Otro ejemplo ilustrativo es el *software Control Vision*, un sistema SCADA diseñado específicamente para la supervisión del consumo eléctrico por la empresa norteamericana SOCOMEC (SOCOMEC-Inc. 2010). *Control Vision* opera directamente con los sensores eléctricos DIRIS Am, A20, A40, A41, A60, Ap, M, Mh, C, CC, CM, CMv2, N300, N600 y COUNTIS Ci. Su esquema estructural se puede apreciar en la figura 1.7.



**Figura 1. 7: Esquema topológico del sistema “Control Vision”.**

La propaganda que respalda este sistema ([SOCOMEK-Inc. 2010](#)) dice que: el sistema *Control Vision* está diseñado para comunicarse con todos los dispositivos conectados a él. El *software* muestra todos los valores eléctricos medidos y lee el consumo de energía total. El usuario puede crear reportes de muchas variables eléctricas en un período de tiempo seleccionado. El usuario está habilitado para importar o exportar los parámetros de configuración con *Excel*. La facilidad de integración y modificación del número de productos en la red RS-485 hace de este sistema una de las soluciones más duraderas en cuanto a supervisión de energía según el fabricante.

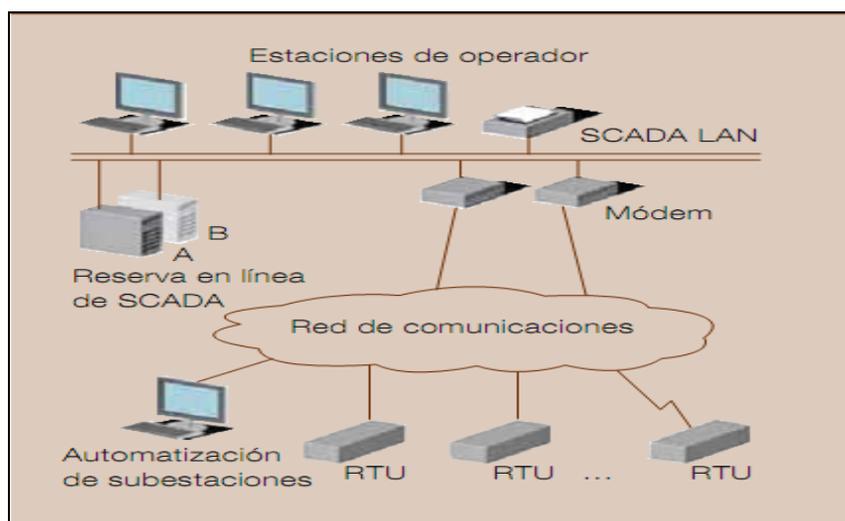
Este *software* podría satisfacer las necesidades de la empresa pero producto a que es un *software* propietario de los Estados Unidos y al bloqueo económico impuesto sobre el país puede que se haga difícil la adquisición y actualización del mismo.

#### 1.6.6.5 El Network Manager de ABB.

Según el artículo “*Con el impulso de la energía*” ([Vetter, Mayur et al. 2008](#)), las soluciones de ABB van desde un simple sistema SCADA hasta sistemas avanzados de transmisión y distribución que garantizan un funcionamiento seguro y estable y evitan apagones. Además, se dispone de modernos sistemas de información de energía para ayudar al operador a garantizar que la red se explota de forma óptima desde el punto de vista económico. Toda la información empresarial se puede obtener con un solo clic del ratón. El *Network Manager* de ABB ofrece una amplia gama de funciones para satisfacer las necesidades de

los operadores de redes de transmisión y de las de redes combinadas y generación de energía. Éstas van desde el análisis y la optimización de operaciones del día a día y programación a corto plazo, hasta la gestión y control de generación en tiempo real.

La plataforma *Network Manager* de ABB proporciona una arquitectura de sistema abierta y una integración versátil de las aplicaciones empresariales de ABB en el *software* de terceros como se muestra en la figura 1.8. Además, hace posible el sistema SCADA las soluciones de gestión de generación y transmisión, las funciones de gestión de distribución y parada, así como los sistemas de gestión empresarial (BMS) para la comercialización de energía. Los BMS son sistemas de operaciones de mercado que proporcionan soluciones completas de *software* para gestionar mercados centrales de energía para operadores independientes de sistemas, organizaciones comunes para energía y organizaciones regionales de transmisión. También se adapta a las cambiantes topologías de las redes debidas a ampliaciones, mantenimiento o paradas locales temporales, y permite una visión geográfica de la red de distribución ([Vetter, Mayur et al. 2008](#)).



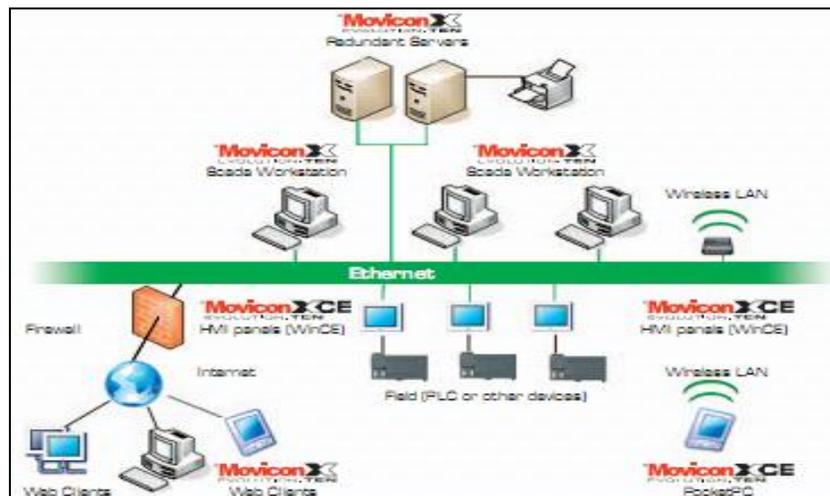
**Figura 1. 8: Arquitectura para una red de distribución para *Network Manager* de ABB.**

Este sistema posee grandes potencialidades para el control de la distribución y generación de electricidad bajo demanda, o sea, en tiempo real. Pero aun así no es viable la utilización de este *software* de monitoreo en la empresa ronera ya que, si se utiliza solamente para llevar un registro del consumo y calidad del servicio, esto sería subutilizar un sistema de mayores prestaciones por las cuales habría que pagar innecesariamente.

#### 1.6.6.6 *MoviconX de Progea.*

Movicon (*Monitoring, Vision, and control*) es un paquete de *software* genérico diseñado para la creación de interfaces hombre-máquina (HMI o MMI), una estación de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) basada en una Computadora Personal (PC) o en una plataforma RISC (*Workstation*). Los *drivers* de Movicon permiten la comunicación con el proceso con el que Movicon tiene que interactuar vía los puertos series, módems, redes de comunicación, etc. El propósito de un proyecto Movicon es supervisar los procesos de producción usando páginas de pantalla animadas llamadas ventanas de sinóptico, o permitir que los comandos del proceso o los *set-points* sean establecidos usando páginas de pantalla llamadas cuadros de diálogo, así como un amplio rango de otras funciones que permiten el control completo de los procesos de una manera simple y confiable ([Progea 2007](#)).

Movicon X ha renovado completamente el manejo en cuanto a la conectividad en redes. La sofisticada tecnología adoptada, incrementa la eficiencia y la funcionalidad debido al uso de tecnologías multiplataforma emergentes tales como SOAP (*Simple Object Access Protocol*) y SOA (*Service Oriented Application*). También soporta protocolos como TCP, UDP y HTTP. La conectividad soporta automáticamente conexiones remotas RAS. Movicon X introduce también las tecnologías de los servicios *Web*. En la figura 1.9 se muestra una configuración típica de red en Movicon para la comunicación a los diferentes niveles de campo ([Progea 2007](#)).



**Figura 1. 9: Arquitectura típica de red de Movicon X.**



Este *software* ya ha sido utilizado en aplicaciones ingenieriles para el monitoreo de sistemas de potencia. El artículo “*Intelligent SCADA for Load control*” ([Fernandes, Sousa et al. 2010](#)) presenta un sistema SCADA, en el cual su principal objetivo es la gestión del consumo eléctrico en el sector residencial, manteniendo un balance de cargas activas por debajo de un punto de ajuste determinado ya sea por distribuidor o por la capacidad de generación disponible, este sistema utiliza Movicon como SCADA.

#### ***1.6.7 Revisión de la temática en Cuba.***

Las aplicaciones en nuestro país sobre supervisión eléctrica han dado un salto cuantitativo y cualitativo a partir de la entrada en Cuba de modernos metrocontadores digitales inteligentes, los cuales poseen capacidades para la intercomunicación con otros sistemas. Los primeros metrocontadores inteligentes entrados al país fueron los modelos: *ABB Vision*, *Shangsha DTSD 341* y *Circuitor Cirwatt C*. Estos metros comenzaron a ser importados a partir del año 1999 pero no es hasta el año 2004 que se inicia una serie de proyectos con el fin de leer en tiempo real los consumos que generaba el cliente al cual se le tenía incorporado y así poder aplicar un racionamiento de las cargas conectadas al sistema eléctrico.

Otra aplicación, con menores prestaciones, solo para la lectura en tiempo real, se desarrolló en el año 2005 en la OBE de la provincia de Cienfuegos. En este caso los parámetros eléctricos se adquirirían desde un metrocontador *Shangsha DTSD 341*. La implementación de esta aplicación no pasó del ambiente de laboratorio. Actualmente el equipo de trabajo que ejecutó aquella versión, ha desarrollado otra similar pero utilizando el metrocontador *Cirwatt C*, con las mismas prestaciones que la primera.

En un artículo del ingeniero Antón Rodríguez ([2010](#)) se informa que, dentro de la provincia Villa Clara, fue creado el sistema RAS, por la Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad (INEL). Este *software* de supervisión eléctrica y facturación obtiene los datos energéticos de contadores de la serie *Circuitor Cirwatt C*.

Se ofrece información de otro ejemplo en el sitio *Web* de la empresa cubana “Copextel” ([2010](#)): un sistema parecido al anterior, creado en la división Villa Clara de “Copextel”, donde nació el “Sistema Automatizado de Supervisión de Parámetros Energéticos”, que ya se aplica en instalaciones hoteleras de la Isla con excelentes resultados.



De acuerdo a “Copextel”(2010), esta poderosa herramienta para el monitoreo y análisis del consumo de energía, aplica la más avanzada tecnología para la medición, el control, la adquisición de datos y el análisis de históricos de los indicadores energéticos de una gran instalación en su conjunto, como puede ser un complejo hotelero o de partes del mismo. Dentro de las bondades del sistema está la posibilidad de medir en tiempo real el consumo de energía eléctrica y otros parámetros en los circuitos principales del hotel, sin necesidad de salir de la oficina. Permite también el análisis de históricos y la comparación de los parámetros medidos con valores normalizados mediante una eficiente herramienta para graficar, que posibilita al usuario cambiar de la base de datos actual por otra.

Las soluciones SCADA creadas en Cuba en los últimos años para la supervisión del consumo eléctrico, ofrecen una idea de la actualidad que está tomando el tema y la importancia que le comienzan a tomar las autoridades de entidades afines al tema energético, pero se puede comprobar que es aún insuficiente el trabajo realizado. Los productos diseñados por empresas independientes se instalan en empresas contratistas de las primeras, en general son soluciones enfocadas al cliente, donde este puede supervisar los consumos eléctricos de su entidad y planificar el gasto eléctrico según medidas administrativas. Estos sistemas adolecen de capacidades de integración a sistemas mayores y capacidades de expansión a áreas mayores, limitados por el diseño arquitectónico del *software* y por el diseño de los sistemas de adquisición de datos.

### **1.7 Análisis y valoración.**

Los sistemas extranjeros analizados utilizan medidores eléctricos específicos, por tanto, de pensarse en importar uno de ellos, como el *Control Vision*, habría que incurrir en un gasto enorme, al tener que adquirir un hardware nuevo además, gasto que es imposible asumir en la actualidad.

La solución más clara y menos costosa sería crear un *software* SCADA con un diseño arquitectónico que abarque áreas extensas para la supervisión de los grandes y medianos centros consumidores de energía eléctrica. El gasto más significativo se encontraría en los medios de comunicación de los datos, pero es una inversión que realmente vale la pena, lo demuestran las aplicaciones europeas, norteamericanas y otras que ya se encuentran en funcionamiento alrededor del mundo. En Cuba existe una mala cultura de ahorro, a pesar de



los planes y las medidas encauzadas en este sentido, por ello, de materializarse una solución de este tipo, la amortización económica se lograría relativamente en poco tiempo, debido al logro de un ahorro más efectivo, ya que la supervisión del consumo se enfoca en prevenir el aumento de este.

### ***1.8 Consideraciones finales del capítulo.***

Se pudo ver hasta aquí la importancia de la medición de la energía eléctrica en los tiempos actuales y la necesidad de administrar su consumo. Se ha explicado detalladamente en qué consiste la gestión energética, pero se hace necesario aclarar que no es el único método para lograr una mejor eficiencia práctica en el manejo de la energía eléctrica. Lo que sí es imprescindible si queremos mantener un buen índice de eficiencia en el consumo de energía, es hacer una medición eficaz y eficiente de todos los parámetros energéticos. Para ello se han dado las principales características y especificaciones técnicas de los analizadores de calidad de energía WM2-96, WM3-96 y WM14-DIN, modelos todos de la marca *Carlo Gavazzi*.



## Capítulo II: Diseño de la arquitectura del sistema SCADA.

### 2.1. *Introducción al capítulo.*

En este capítulo se aborda todo lo referente al diseño de la arquitectura del sistema SCADA, su estructura jerárquica y descripción funcional. Para ello se brinda primero una breve explicación de las herramientas de *software* utilizadas para la realización del trabajo y del bus de campo empleado para la comunicación con los equipos de campo. De la misma manera se presentan las ventajas del uso de la plataforma Movicon X2 para la realización del presente trabajo. Del diseño del sistema supervisorio se expone cómo se logra la comunicación con cada uno de los analizadores de redes eléctricas, así como la descripción técnica y funcional de las pantallas o menús con que cuenta.

### 2.2. *Herramientas de software utilizadas en el trabajo.*

#### 2.2.1. *Bus de campo MODBUS, JBUS.*

El bus de campo MODBUS, como un bus estándar se puede ubicar dentro del modelo OSI de 7 capas y proporciona una comunicación cliente/servidor entre los distintos tipos de dispositivos conectados a esta vía de interconexión ([Modbus 2006a](#)), ([Modbus 2006b](#)). JBUS es una designación utilizada por la firma APRIL para un bus propio que presenta gran similitud con MODBUS, con protocolos prácticamente idénticos, donde la arquitectura de la red, el formato general de la trama y muchos de los códigos de función de ambos buses coinciden exactamente. Las diferencias más relevantes vienen dadas por poseer un registro de estado en cada estación que permite un diagnóstico de la estación y que el número de esclavo para JBUS (1er *byte* de la trama) permite valores que van del 01H hasta el FFH. Permite, por tanto, direccionar 255 esclavos en vez de 63. El número 00H se reserva igualmente para mensajes difundidos. La comunicación para ambos buses puede ser iniciada solamente por la unidad maestra (*master*) cuando envía una trama de pedido a un esclavo (*slave*) ([Jiménez Buendía 2006](#)).



### 2.2.2. OPC y Kepserver.

El OPC (*OLE for Process Control*) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos. Este estándar permite que diferentes fuentes envíen datos a un mismo servidor OPC, al que a su vez podrán conectarse diferentes programas compatibles con dicho estándar. De este modo se elimina la necesidad de que todos los programas cuenten con *drivers* para dialogar con múltiples fuentes de datos, basta que tengan un *driver* OPC.

El KEPServer es un *software* diseñado para la correcta comunicación y la rápida configuración e interoperabilidad entre aplicaciones clientes, dispositivos industriales y diferentes sistemas. El servidor proporciona un amplio rango de conexiones con controladores de dispositivos y componentes que pueden satisfacer las comunicaciones necesitadas. El diseño de conexión y su simple interfaz de usuario provee un acceso constante a partir de aplicaciones basadas en estándares (tales como OPC) y no estándares interfaces nativas.

### 2.2.3. Movicon X2.

Durante más de quince años Movicon ha sido el punto de referencia en tecnologías de *software* para automatización, siempre manteniendo los conceptos de simplicidad, escalabilidad, potencia y siempre como sistema abierto. Movicon puede ser usado con micro paneles de operador y/o dispositivos móviles basados en Windows CE, PC en grandes plantas con arquitectura de cliente/servidor redundante, en conexión con todo tipo de PLC's y redes industriales o buses de campo. Movicon X2 introduce una nueva generación de *drivers* de comunicación. Los *drivers* garantizan la total configuración y posibilidad de comunicarse por eventos en modo personalizado usando lógica implementada en VBA ([Progea 2007](#)).

Movicon X2 renueva su tecnología de cliente *Web* gracias a la tecnología JAVA que se integra perfectamente con XML, SVG y servicios *Web*, la nueva arquitectura permite al servidor ser accedido por medio de navegadores *Web* en cualquier plataforma (Windows, Linux, Palm y teléfonos JAVA gracias a J2ME).



### **2.3. Ventajas del uso de la plataforma Movicon X2 para el presente trabajo.**

Movicon X2 aporta todas las herramientas necesarias para optimizar el tiempo y el trabajo. Posee asistentes para la auto-creación de proyectos, ahorra tiempo debido a la gran cantidad de herramientas de configuración. Los proyectos creados en Movicon X2 son basados en XML donde todos los elementos, objetos o recursos del proyecto pueden ser copiados y agregados en otros editores (Excel, editores XML u otros). Se utiliza la programación de objetos usando una única clase de objetos gráficos vectoriales (con la tecnología SVG). Posee la importación automática de *tags* desde las bases de datos de los PLC's. Además incluye bibliotecas de símbolos, poderosas plantillas y *drivers* con bibliotecas de entrada/salida directas. Posee potentes funciones de depurado para llevar a cabo análisis, simulación y pruebas del proyecto.

A partir de las ventajas y posibilidades que brinda este *software* para aplicarse a cualquier proceso industrial, se pretende utilizar el mismo para realizar la adquisición, supervisión y registro de cada uno de los parámetros eléctricos provenientes de cada una de las estaciones de trabajo. Además de tener en Cuba proveedores como Copextel que garantizan licencias, actualizaciones y asesoría técnica para el mejor uso de la plataforma. También la empresa que lo utilizará ya dispone de licencias para el uso de un número ilimitado de variables, por lo que no habría que incurrir en ningún gasto adicional para su obtención.

### **2.4. Requerimientos del sistema SCADA.**

Para el diseño del sistema SCADA se tuvieron en cuenta los principales requerimientos funcionales de la empresa, estos fueron pedidos de la siguiente manera: el sistema debe constar de varias pantallas para visualizar de distintas formas los datos adquiridos desde los diferentes puntos de medición; debe elaborar reportes del estado de los consumos de cada área y tener un gestor de alarmas configurable para visualizar aquellos datos fuera del rango permisible; debe poseer una barra de menús por medio de los cuales se pueda acceder a cada una de las pantallas o sinópticos.

## 2.5. Diseño del sistema SCADA.

### 2.5.1. Comunicación y adquisición de datos.

La comunicación con los instrumentos de campo se realiza para los equipos de la ronera por medio del propio *driver Modbus-serial* de Movicon agregando cada una de las estaciones de trabajo según el área y asociando cada *tasks* a su variable, aunque esto implica tener que recurrir a un *software* de redireccionamiento de puertos serie hacia el puerto *Ethernet* y que permita el enrutamiento y encapsulado del paquete *Modbus-serial* hasta TCP/IP, para enlazarse con los analizadores de calidad de energía eléctrica por medio de la pasarela creada por el convertor “*e-NET Serial To Ethernet*” de la figura 2.1.

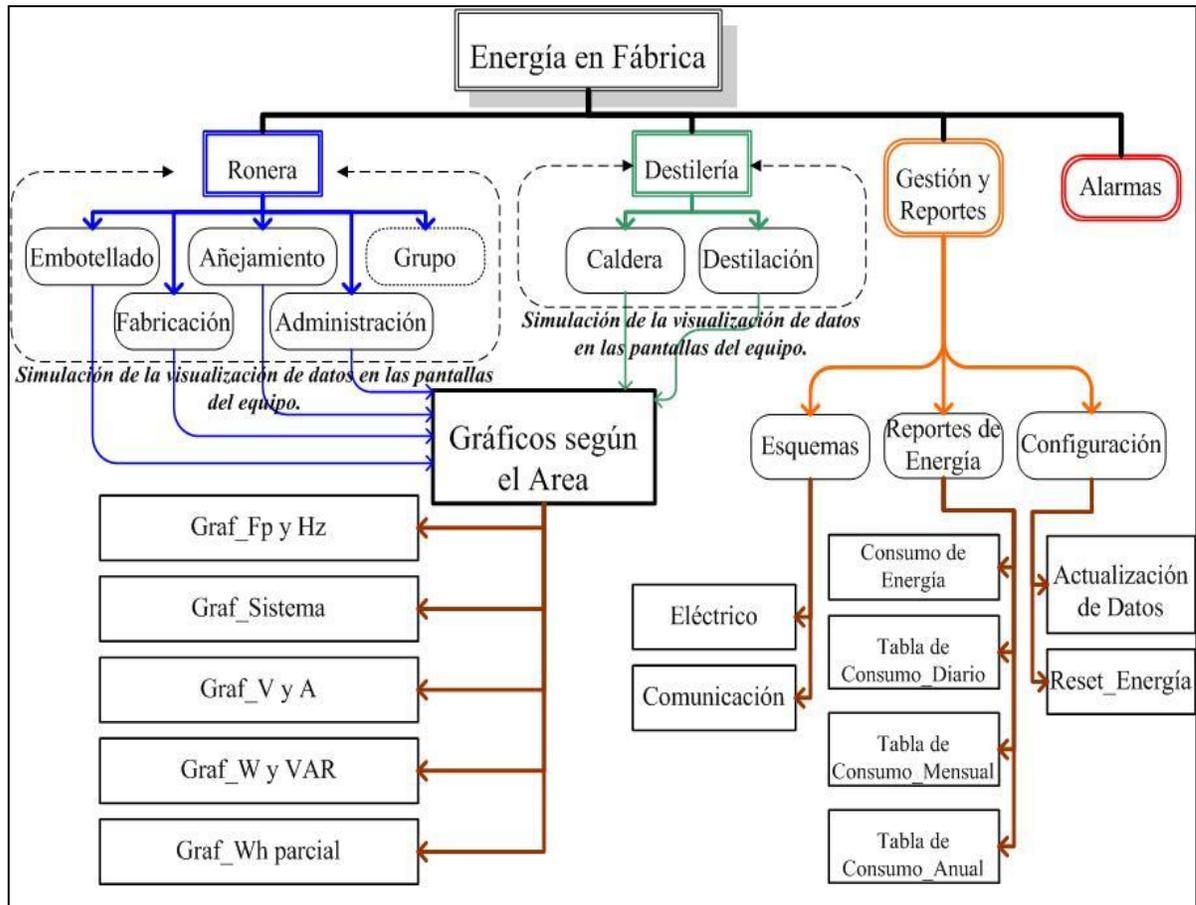


**Figura 2. 1: Convertidor e-NET Serial To Ethernet.**

Para los equipos ubicados en el área de la Destilería se utilizó un Servidor OPC sobre el *software KEPServer*, que se puede configurar para alcanzar las mismas prestaciones que el *driver* de Movicon y a su vez garantiza directamente el enrutamiento de paquetes para TCP/IP, sin tener que utilizar ningún programa adicional para el redireccionamiento de puertos y también facilita la detección de fallas y el chequeo de los datos adquiridos.

### 2.5.2. Jerarquía de pantallas y menús del sistema.

En el diagrama de la figura 2.2 se muestra la forma en que están dispuestas las pantallas o sinópticos y los menús del sistema para tener una mejor idea de cómo se encuentran ubicados estos elementos, con el objetivo de facilitar su comprensión en la descripción técnica y funcional.



**Figura 2. 2: Diagrama jerárquico de las pantallas del sistema SCADA.**

### 2.5.3. Descripción técnica de la jerarquía de pantallas.

Primeramente se hace necesario aclarar, que el sistema supervisorio de energía se encuentra anexado como un proyecto hijo dentro del sistema SCADA principal de la fábrica, por lo que para acceder al mismo habrá que seleccionarlo, desde el proyecto superior, dentro uno de sus menús, específicamente el de “Areas” en el ítem “Energía\_Fábrica”.

A partir de este ítem se despliegan dos opciones a seleccionar de acuerdo con la zona que el usuario quiera visualizar, las cuales serían “Ronera” y “Destilería”, ubicadas en el segundo nivel del esquema, entrando de esta forma al sistema SCADA encargado de la medición y registro de los diferentes parámetros energéticos, como se muestra en la figura 2.3



**Figura 2. 3: Submenú de Energía\_Fábrica dentro del menú Areas.**

Ingresando dentro de cualquiera de uno de estos sinópticos el operario tendrá acceso a una serie de cuadros destinados a la simulación en tiempo real de cada uno de los posibles parámetros medidos, de manera que se pueda imaginar que en frente tiene a cada uno de los equipos analizadores de redes eléctricas, ubicados en cada una de las áreas correspondientes. Para el caso Ronera, están las áreas “Embotellado”, “Fabricación”, “Añejamiento”, “Administración” y “Grupo” (grupo electrógeno), de este último es importante señalar que las variables visualizadas tendrán que verse desde el punto de vista de generación y no de consumo (ver figura 2.2) . Por otra parte está la Destilería, con sus dos principales áreas, “Caldera” o generación de vapor y “Destilación” (ver figura 2.2). Una vez dentro de cualquiera de los sinópticos anteriormente mencionados se podrá ir de manera directa a través del botón “Graficar” en el cuadro del instrumento o por medio de la opción “Gráficos”, disponible en la parte superior de la pantalla en la barra de menús como se puede ver en la figura 2.4.



**Figura 2. 4: Menú de Gráficos.**

De acuerdo con el área seleccionada se mostrará una pantalla en forma de tabulador en la cual los usuarios más expertos encontrarán información de los históricos de cada una de las variables medidas por el sistema, en forma de gráficos y agrupadas de la siguiente manera: “Graf\_Fp y Hz”, “Graf\_Sistema”, “Graf\_V y A”, “Graf\_W y VAR”, “Graf\_Wh parcial”.



Además de esto en la barra de menús se encuentra la opción “Gestión y Reportes” (segundo nivel del diagrama y en color naranja) mediante la cual los administrativos y/o usuarios autorizados accederán a los diferentes “Reportes de Energía” para así observar los sinópticos correspondientes con el “Consumo de Energía” y a las tablas: “Tabla de Consumo\_Diario”, “Tabla de Consumo\_Mensual” y “Tabla de Consumo\_Anuual” como se puede ver en la figura 2.5.



**Figura 2. 5: Submenú Reporte\_Energía en el menú Gestión y Reportes.**

También dentro de “Gestión y Reportes” se pueden localizar los “Esquemas”, ejemplo el de “Comunicación” para comprobar la funcionalidad de la red y cada uno de los equipos, y el “Eléctrico” para la gestión energética del consumo mediante la desconexión de equipos altamente consumidores de electricidad, que puedan ser sacados de su funcionamiento sin afectar la producción (ver figura 2.6).



**Figura 2. 6: Submenú Esquema en el menú Gestión y Reportes.**

Solo resta comentar el menú de “Configuración” por el cual se podrá accionar el ítem “Actualización de Datos”, que muestra la pantalla por la cual se pueden actualizar manualmente los consumos de energía propios del período de tiempo anterior a la puesta en marcha del sistema o a posibles fallos, y “Reset\_Energía” para hacer cero la potencia activa parcial en caso de realizarse un análisis exhaustivo del comportamiento de esta variable, en un plazo determinado de tiempo a petición del energético de la industria como se muestra en la figura 2.7.



**Figura 2. 7: Submenú Configuración en el menú Gestión y Reportes.**

Por último se comenta el ítem Alarma mostrado en la figura 2.8, disponible en la barra de menús, mediante el cual pueden observarse en una pantalla la detección de los posibles fallos y en otra pantalla para configurar los valores de aquellos parámetros del sistema que no impliquen graves problemas o posibles roturas para los equipos.



**Figura 2. 8: Menú de Alarmas.**

#### ***2.5.4. Descripción funcional.***

Como se había mencionado anteriormente, al seleccionar desde la pantalla principal del sistema SCADA en el menú “Areas”, una de las opciones relacionadas con la energía en fábrica, aparecerá en pantalla uno de los dos sinópticos mostrados en la figuras 2.9 y 2.10, con la simulación de los equipos analizadores ubicados en cada una las áreas chequeadas.

Como se muestra en las figuras 2.9 y 2.10 cada uno de los cuadros representativos posee una serie de botones por los cuales el operador puede acceder a la medición en tiempo real de cada una de las variables muestreadas por el sistema, de manera que al dar *clic* sobre una de las flechas del *spin* ubicado en la parte inferior de cada cuadro gris de cada área, por medio de los cuales se visualizarán un grupo de variables agrupadas por ocho cuadros en blanco: tensión de línea y del sistema en V, corriente de línea y del sistema en A , potencia activa de línea y del sistema en kW, potencia reactiva de línea y del sistema en kVA, factor de potencia de línea y del sistema, kW demanda, kVA demanda, Fp promedio, Frecuencia en Hz, Kwh Total, kVARh, kWh Total, kWh Parcial.

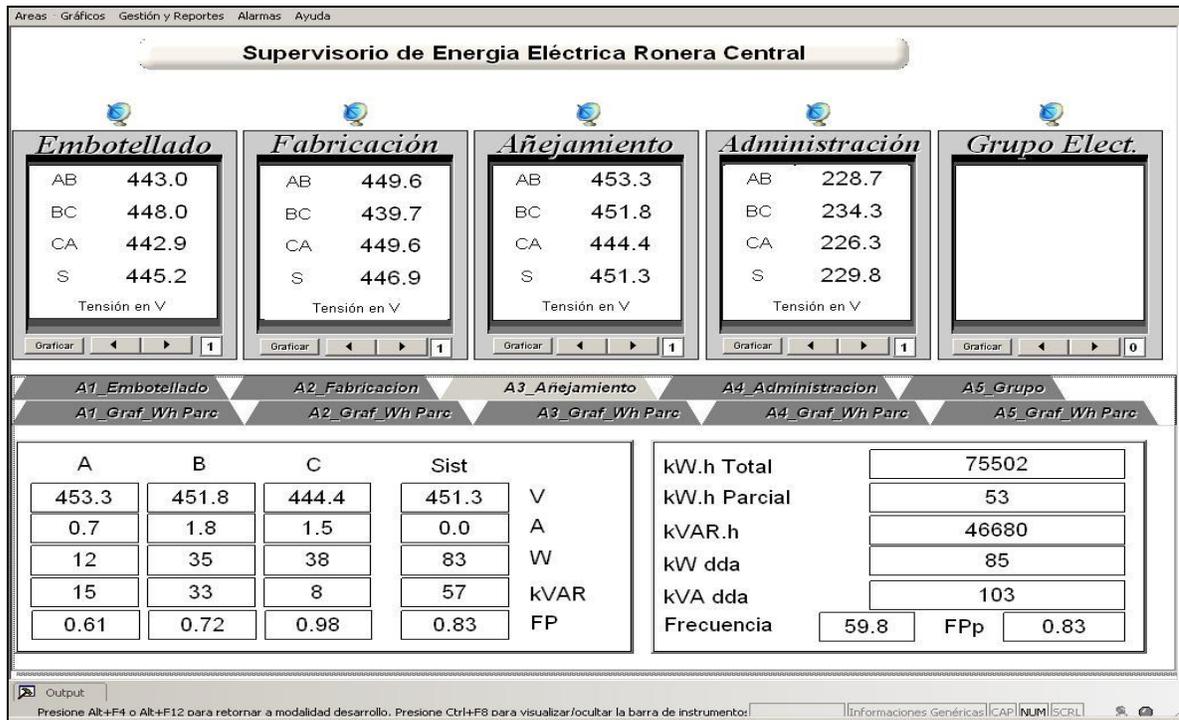


Figura 2.9: Sinópticos con los equipos de Ronera.

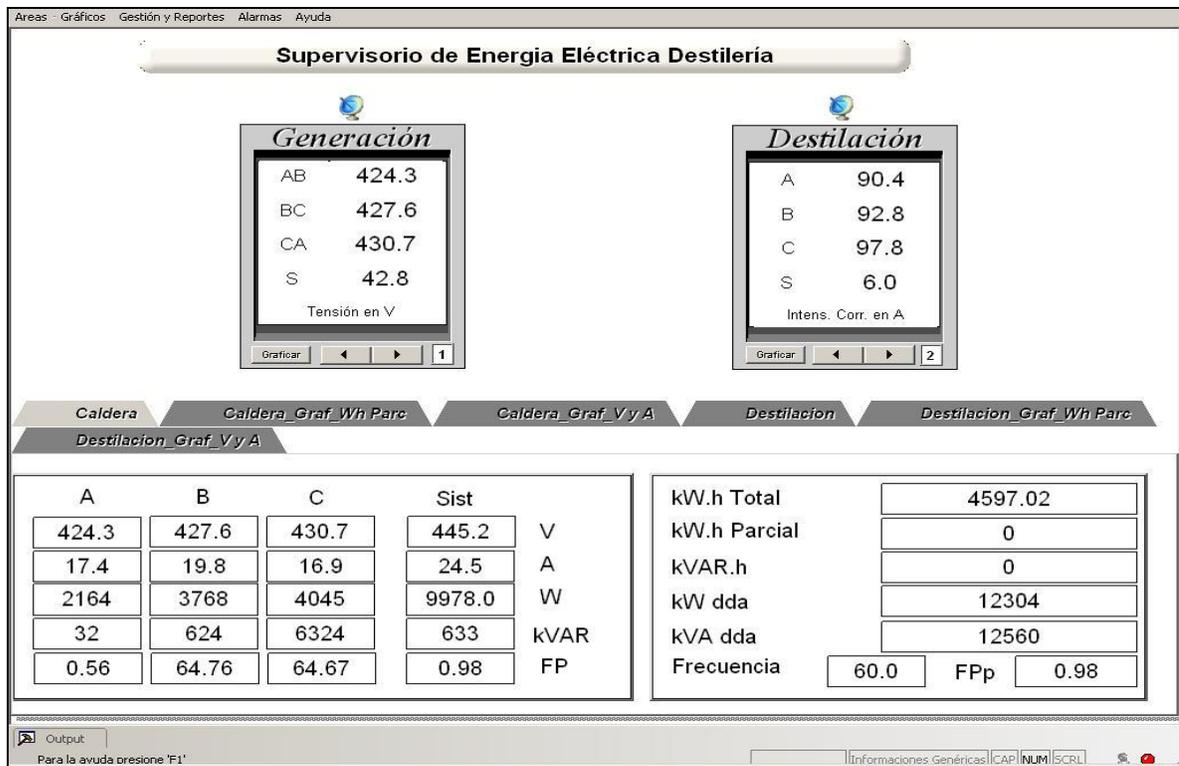


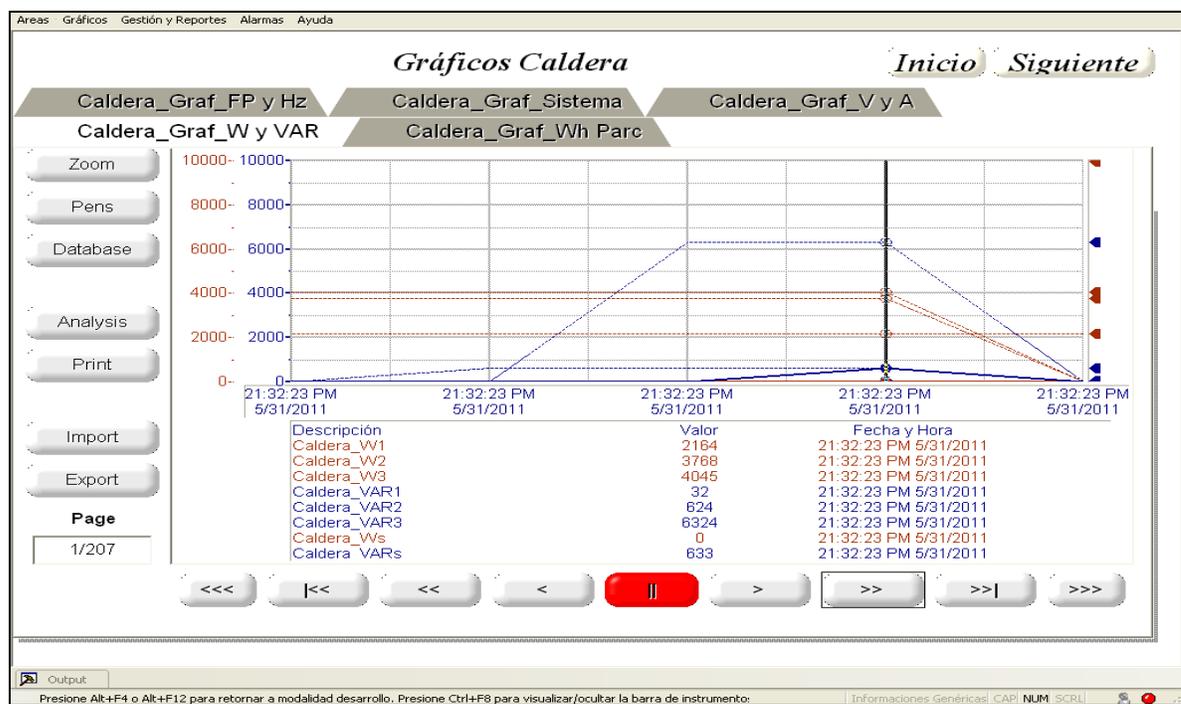
Figura 2.10: Sinópticos con los equipos de Destilería.



A la izquierda de estos *spines* está el botón Graficar, por el cual se pasará un sinóptico donde se encuentran en forma de gráficos los históricos de cada una de las variables anteriores.

En esta misma pantalla, un poco más abajo está presente un tabulador con un resumen de los cuadros anteriores, además de algunos históricos que pudiesen resultar útiles.

A la hora de realizar un análisis más profundo del sistema es necesario tener un grupo de elementos a los cuales referenciar, para ello el sistema cuenta con varias bases de datos en *Microsoft Office Access*, que permiten llevar un registro histórico del comportamiento de las variables medidas. Según el área que sea, estos históricos son visualizados en otra pantalla por un grupo de gráficos que contienen varias herramientas en forma de botones que facilitan la búsqueda de información. Como ejemplo de esto se muestra el sinóptico de la figura 2.11 que contiene en forma de tabulador todos los gráficos del área de Caldera.



**Figura 2. 11: Gráficos del área de Caldera.**

Como se puede ver en la figura anterior, justo debajo de la barra de menú se encuentra un cuadro de texto indicando el nombre del área seleccionada y a la derecha de este varios botones de avances los cuales permiten moverse directamente de un área a otra dentro de



una misma zona así como retornar a la pantalla principal de la misma. Más abajo se encuentran los títulos de cada uno de los gráficos a visualizar en forma de tabulador, los cuales cuentan con un área de graficado compuesto por varias plumas de diferentes colores, las cuales corresponden con cada una de las variables medidas y se pueden relacionar con sus nombres por medio del área de leyenda que se encuentra más abajo, que además muestra el valor de cada una de las variables de acuerdo con la ubicación en que pueda estar el cursor (raya vertical en negro dentro de la zona de gráficos).

Alrededor de estas zonas de graficado y leyenda se encuentran una serie de botones que permiten el desplazamiento del cursor en el tiempo, siempre y cuando el gráfico esté en Pausa (botón en rojo) al igual que en la figura 2.11 lo cual no detiene el trazo, solo lo congela visualmente en pantalla y para que así se pueda maniobrar sobre el mismo, de lo contrario estará en *Run* justo al final del trazo, mostrando casi instantáneamente los valores de las variables, y en este caso el mismo botón de pausa estará de color gris al igual que el resto. Específicamente debajo están los botones de deslizamiento para ir al principio, al final de una página a otra y de un tiempo de muestreo a otro. También a la izquierda de zonas de graficado y leyenda hay varios botones de los cuales los de mayor importancia son el *Zoom* para ampliar el área de gráfico, *Pens* para adicionar o quitar plumas, *Analysis* para ajustar el gráfico a una fecha e instante de tiempo determinado.

Para llevar un reporte de electricidad de la fábrica, el sistema cuenta con una pantalla como la de la figura 2.12 donde se muestra el cálculo del consumo del día actual y el anterior, del mes en curso y el anterior, así como el del año en curso y el del año anterior. Señalando que cada uno de estos cálculos se realiza por medio de una lógica IL (*Internal Logic*) que va restando el valor de inicio del período con el final del mismo y al finalizar asigna el cálculo a período anterior.



SISTEMA AUTOMATIZADO DE GESTIÓN ENERGÉTICA  
**Cuba Ron** CORPORACIÓN S.A.  
Ronera Central, Agustín Rodríguez Méndez

KWh	Embotellado	Fabricación	Añejamiento	Administración	Mantenimiento y transporte	Total Ronera	Generación Vapor	Destilación	Total Destilería	Total Fábrica
Cons_Dia_Ant	31.0	22.0	0.0	261.0		314.0	285.0	1122.0	1407.0	1407.0
Cons_Dia_Inst	1221	812	0	2145		4178	1084	4478	5562	5562
Cons_Mes_Ant	0	0	0	0		0	1237	5332	6569	6569
Cons_Mes_Inst	2293	1611	405	5210		9519	3360	13564	16924	16924
Cons_Año_Ant	0	0	0	0		0	0	0	0	0
Cons_Año_Inst	17545	14476	7074	41111		80206	4597	18895	23492	23492

6/1/2011 12:50:35 AM El OPC Server DA .KEPware,KEPServerEx.v4 (Grupo WM396\_Destilacion) no está mas disponible

Figura 2. 12: Sinóptico para el Consumo de Energía.

En las siguientes figuras 2.13, 2.14 y 2.15 se muestran los registros de consumos eléctricos por áreas y los subtotales y totales de fábrica ubicados en el tiempo. En dichas tablas existen dos botones que permiten actualizar los datos de la tabla y filtrar los datos en un período de tiempo determinado.

Tratándose de un registro diario en la figura 2.13 están presentes las columnas Día y Mes para dar una ubicación en el tiempo de los datos de la tabla y evitar confusiones.

Tabla\_RegistroDiario\_VWh

**Cuba Ron** CORPORACIÓN S.A.  
Ronera Central, Agustín Rodríguez Méndez

Registro de Diario del Consumo

Día	Mes	Embotel...	Fabricac...	Añejami...	Adminis...	Total R...	Caldera	Destilería	Total D...	Total Fá...
-----	-----	------------	-------------	------------	------------	------------	---------	------------	------------	-------------

Actualizar      Filtrar

Figura 2. 13: Tabla de Consumo\_Diario.



Para el caso de la tabla de la figura 2.14 solo se puso la columna del mes pues solamente interesa saber de cuál mes se trata.

Mes	Embotell...	Fabricaci...	Añejamie...	Administr...	Total_Ro...	Caldera	Destilería	Total_De...	Total_Fá...
-----	-------------	--------------	-------------	--------------	-------------	---------	------------	-------------	-------------

**Figura 2. 14: Tabla de Consumo\_Mensual.**

En el registro anual estará solo la columna Año para visualizar el consumo histórico de los datos de Fábrica. (Ver figura 2.15)

Año	Embotell...	Fabricaci...	Añejamie...	Administr...	Total_Ro...	Caldera	Destilería	Total_De...	Total_Fá...
-----	-------------	--------------	-------------	--------------	-------------	---------	------------	-------------	-------------

**Figura 2. 15: Tabla de Consumo\_Anual.**

En la figura de 2.16 se muestra un esquema eléctrico para la gestión energética del ahorro de electricidad, por el cual los directivos podrán desconectar y conectar aquellos equipos altamente consumidores en caso de estar muy cerca o pasados del consumo planificado para la producción, lo cual se pondrá en funcionamiento cuando se creen las condiciones para poder accionar a distancia sus mandos.

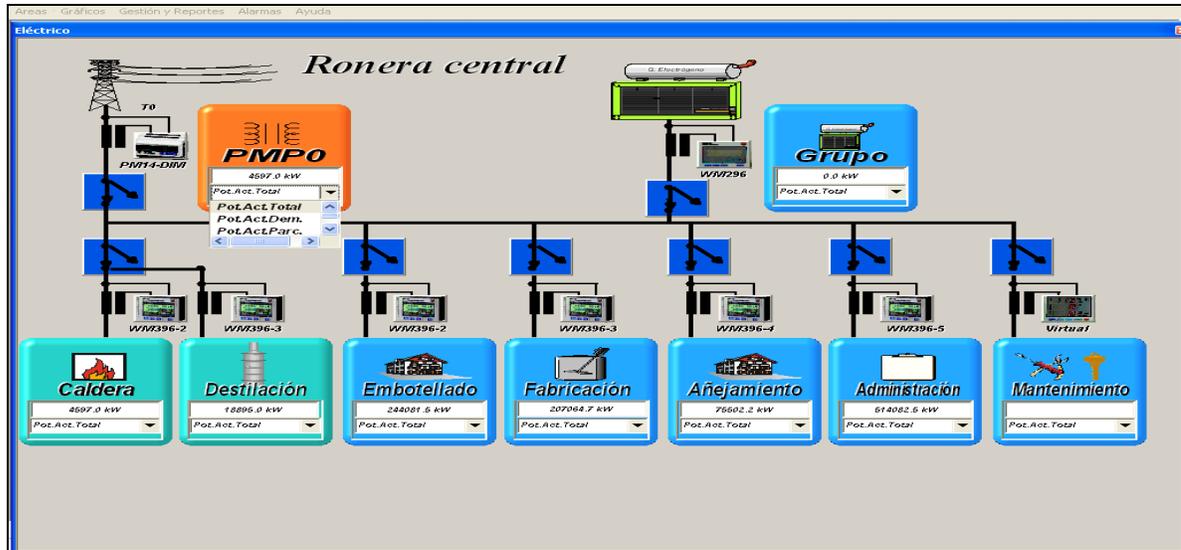
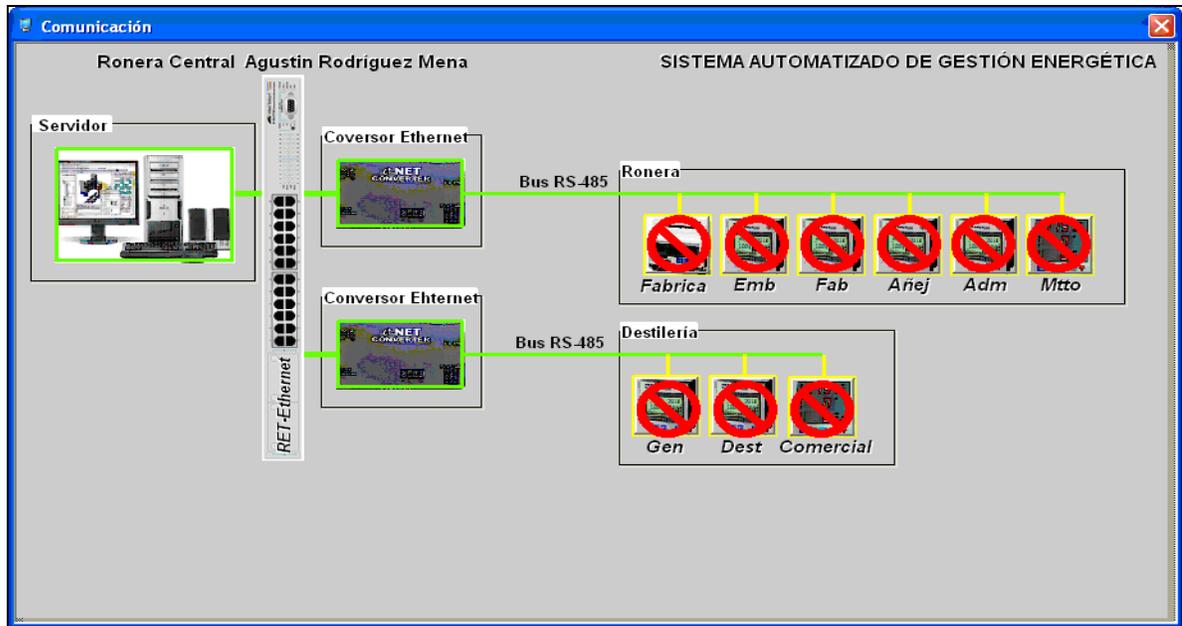


Figura 2. 16: Esquema Eléctrico para la gestión energética.

El esquema de comunicación de la figura 2.17 solo está disponible para mostrar con cuáles analizadores de redes eléctricas el sistema se está o no comunicando para así facilitar la labor de detección de fallos. De manera que si el estado de conexión es bueno se mostrará claramente la imagen del equipo en el esquema, si no, se pondrá sobre la imagen del mismo una notificación en rojo en forma de cero cancelado para indicar el fallo.



**Figura 2. 17: Esquema de comunicación.**

En la figura 2.18 se muestra el gestor de alarmas que posee Movicon, el cual ha sido configurado para visualizar como alarmas a aquellas variables que pudieran provocar daños a las maquinarias o equipos del sistema, sobre todo la salida del rango establecido de los voltajes de alimentación y caída del factor de potencia por debajo de su valor permisible.



**Figura 2. 18: Pantalla de visualización de alarmas.**



Como se puede apreciar en la figura 2.19, existe una tabla mediante la cual se pueden relacionar las áreas con cada una de sus variables de alarmas y éstas a su vez con sus umbrales, de manera que se pueden configurar la máxima demanda soportada por el sistema eléctrico, el mínimo valor que puede tomar el factor de potencia, y el rango de trabajo típico para los voltajes de alimentación, ya sea 110, 220, 440 volt.

Areas	kW demanda	Factor de Potencia	Tensión
Embotellado	↑ [ ] ↓	↓ [ ]	↑ [ 0 ] ↓
Fabricación	↑ [ ] ↓	↓ [ ]	↑ [ 0 ] ↓
Añejamiento	↑ [ ] ↓	↓ [ ]	↑ [ 0 ] ↓
Administración	↑ [ ] ↓	↓ [ ]	↑ [ 0 ] ↓
Grupo	↑ [ ] ↓	↓ [ ]	↑ [ 0 ] ↓
Caldera	↑ [ ] ↓	↓ [ ]	↑ [ 0 ] ↓
Destilación	↑ [ ] ↓	↓ [ ]	↑ [ 0 ] ↓

**Figura 2. 19: Pantalla de configuración de las variables de alarmas.**

Además de ser vistas todas estas pantallas en la máquina donde se encuentra corriendo el *software* de supervisión, los sinópticos de tablas de registro de consumo de energía y la del esquema eléctrico para la gestión energética pueden ser vistos desde otra computadora de la red utilizando simplemente cualquier navegador de *Web* como *Internet Explorer* o *Mozilla Firefox*.

### **2.6. Consideraciones finales del capítulo.**

En este capítulo se proporcionó la descripción técnica y funcional de las pantallas y menús del sistema SCADA. Se realizó el diseño del supervisor acorde a los principales requerimientos funcionales de la empresa. Se pudo desde Movicon configurar la comunicación de los equipos de campo y aunque se dejó de las dos formas, se recomienda optar por medio del Servidor OPC pues resulta más fácil la adquisición de los datos y la detección de fallos.



## Capítulo III: Puesta en marcha y análisis de resultados del SCADA.

### 3.1. *Introducción al capítulo.*

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos durante el período de pruebas y la puesta en marcha del sistema SCADA en la Ronera Central, además se pretende analizar los resultados a través de los beneficios y bondades del mismo, valorando en todo caso los problemas y las desventajas detectados.

### 3.2. *Infraestructura para la puesta en marcha del sistema.*

El sistema SCADA fue puesto en marcha por primera vez a principios del mes de mayo del año 2011, más tarde fueron actualizados los datos de energía y se reiniciaron las bases de datos para así comenzar el mes de junio desde cero, tomando realmente validez los registros de cada uno de los consumos calculados por el sistema en este mes. Durante la etapa de pruebas se logró la comunicación con cada uno de los equipos de campo y además se adquirieron sin problemas la mayoría de las variables eléctricas, aunque hubo problemas con algunas que más adelante se detallarán.

Este sistema supervisorio se encuentra ejecutando sobre el servidor principal de la red de área local específica para instrumentación, este servidor es una máquina marca DELL diseñada para ejercer como servidor de redes de datos. El sistema operativo sobre el cual corren todos sus programas es *Windows Server 2003 SP2* por lo que se adapta fácilmente a la plataforma de trabajo *Movicon X*. La arquitectura de máquina se compone de una placa base, con un micro *Intel Core 2 Duo* con enfriamiento por nitro, 4 GB de memoria RAM DDR-2 a 800 MHz de frecuencia en el bus de datos, dos discos duros configurados como RAID 1 para tener una garantía de la seguridad de los datos, de manera que en caso de fallar uno no ocurran pérdidas del contenido almacenado. En uno de seis puertos USB de la computadora se encuentra conectada la licencia operativa de *Movicon*, sin la cual el sistema no podría ejecutarse, pues se cerraría el *software* a las dos horas de haber ejecutado el supervisorio. La computadora con su monitor LCD de pantalla plana de 19" se muestra en la figura 3.1.



**Figura 3. 1: Servidor DELL del sistema SCADA principal.**

### ***3.3. Análisis de resultados de la puesta en práctica.***

#### ***3.3.1. Problemas y desventajas detectados.***

Con la puesta en marcha del sistema se detectaron varios errores de conexión de los equipos de campo que producían fallas en la comunicación del sistema, existían roturas en dos de los módulos de comunicación RS-485 (modelos AR1032), producto a esto no se podía lograr la comunicación entre dichos equipos, lo que provocó que hubiese que comprarlos a la empresa Copextel, incurriéndose en un gasto adicional con el cual no se contaba. Además de esto se detectó que el módulo de alimentación del analizador WM2-96 puesto en el grupo electrógeno estaba roto y fue remplazado por WM14-DIN hasta que se adquiriese. Como también se descubrieron falsas mediciones producto a la mala conexión o roturas de los transformadores TC lo que fue solucionado con el reemplazo y reconexión de los mismos.

Durante la medición de alguno de los valores de potencia, voltaje, corriente y del factor de potencia salieron a relucir fallos a la hora de poner la coma, producto a un mal cálculo del punto decimal en la Lógica IL (*Internal Logic*) y los escalizadores, los cuales fueron corregidos inmediatamente.

Luego de estar trabajando en un período relativamente corto se notó que las bases de datos (BD) del sistema tenían un ritmo de crecimiento muy acelerado, ya que en solo un mes contaban con un tamaño de 4 GB, lo que es muy grande teniendo en cuenta que el sistema va a estar trabajando varios años seguidos. Para evitar este crecimiento desmedido se ajustó el tiempo de muestreo y almacenamiento en las BD, además de aplicar varias políticas de



depuración de tablas para eliminar todos aquellos datos que pasado cierto tiempo dejan de ser útiles.

Se publicó vía *Web* los sinópticos relacionados con los registros y reportes de consumo, pero debido a problemas de seguridad y permisos de los administradores de redes, ajenos al departamento de automatización, la página aún no se encuentra pública para todos los usuarios.

### **3.3.2. Beneficios y bondades.**

Con este *software* de monitoreo los directivos cuentan con una herramienta muy útil para llevar el control del gasto de electricidad de cada una de las áreas por separado, ya que permite realizar la recopilación de la información, la medición del consumo de energía y el análisis de la eficiencia energética.

Se adquirieron dos equipos adicionales, que aunque significaron un gasto adicional de dinero, permitieron recobrar la medición de principales fuentes de suministro energético pues uno fue ubicado en el grupo electrógeno, mientras que el otro fue puesto justo al lado del contador analógico de la empresa por el cual pasa toda la energía que entra a la fábrica, lo que permitirá en proyecciones futuras al *software* de monitoreo realizar la facturación con la compañía eléctrica, facilitando el trabajo del energético en el despacho provincial de electricidad.

El sistema SCADA permite tener, con una base de datos y gráficos, aquellos valores que en un momento determinado pueden ser de gran utilidad para reclamaciones a la Empresa Eléctrica por irregularidades en el servicio eléctrico (baja o alta tensión, caída de una fase, etc), y permite hacer análisis de históricos y comparaciones con períodos de tiempos anteriores.

Conocer el comportamiento energético real de la fábrica permite volver a analizar el contrato con la empresa eléctrica, incluso, volver a contratar la máxima demanda que en la mayoría de los casos implica el monto fundamental de lo que paga una empresa por el servicio eléctrico, permite hacer un análisis del comportamiento de cada área por separado, lo cual posibilita hacer acomodos de carga y tomar decisiones acertadas en cuanto al horario y secuencia del arranque y parada de máquinas. También permite detectar



transformadores sobrediseñados que son una causa frecuente de bajos factores de potencia y sobreconsumo de energía. De la misma forma que se le puede exigir a cada área por el cumplimiento de los niveles de energía asignados.

### **3.4. *Proyecciones futuras.***

Con vista futura, los directivos de la fábrica en acuerdo con la Empresa Eléctrica, pretenden realizar la facturación del consumo eléctrico por medio del mismo *software* de supervisión, teniendo en cuenta los posibles factores de fluctuación en el precio de la tarifa eléctrica. Luego de un análisis más profundo de los registros históricos de cada una de las áreas de la fábrica, se pretende comparar el consumo de corriente con la producción realizada y con esto poder estimar los índices de producción energéticos por cada una de las áreas y de la fábrica en general, ya que este parámetro es muy importante para la gerencia de la empresa y debe permanecer siempre por debajo de los valores establecidos para que la producción sea rentable.

De acuerdo a la energía contratada con la empresa eléctrica, se realiza un plan de consumo para el mes, por el cual en ocasiones se hace necesario tomar ciertas medidas de ahorro para ajustarse al mismo. El sistema SCADA debe contar con cada una de las pantallas de mando en el esquema eléctrico para accionar todos aquellos equipos altos consumidores de energía eléctrica que no estén involucrados directamente a la producción como: aires acondicionados, cámaras de frío, el alumbrado perimetral, entre otros y mostrando en éstas su estado de encendido o de apagado.

### **3.5. *Consideraciones finales del capítulo.***

En este capítulo se muestra la infraestructura sobre la cual se encuentra funcionando el *software* de monitoreo. También se expusieron los resultados obtenidos durante la puesta en marcha del *software* analizando los problemas que incapacitaron en un inicio la implementación del sistema SCADA y los beneficios que ofrecen a la empresa tener un *software* encargado del registro y la supervisión de cada uno de los parámetros eléctricos. Además se dieron como proyecciones futuras las nuevas acciones que pretenden realizar para mejorar el sistema.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones.

Se puede definir que el trabajo resaltado en este informe es viable y necesario, ya que cada día en Cuba se precisa crear soluciones tecnológicas que permitan emplear más racionalmente la energía eléctrica. Se puede ver gran satisfacción por parte de los líderes de la empresa al aceptar al sistema SCADA de perfil energético como una herramienta útil para llevar a cabo las labores de gestión y control de consumo de electricidad de la fábrica. A pesar de las buenas metas logradas, lo mejor queda para el futuro, ya que este trabajo es parte de un proyecto que continúa en desarrollo y se puede expandir hacia las demás zonas del país.

Resumiendo las conclusiones:

- 1) La supervisión de energía es una práctica que se extiende cada día más en el mundo y en Cuba.
- 2) La bibliografía existente en el mundo sobre el tema de los sistemas SCADA y el ahorro eléctrico se encuentra bien actualizada, lo que permite elaborar un marco teórico referencial, que fundamenta desde una perspectiva teórica a este proyecto.
- 3) El restablecimiento de la comunicación del nivel de gestión con los equipos de campo, permite adquirir satisfactoriamente los parámetros medidos por los analizadores de redes eléctricas.
- 4) El Movicon X2 es una herramienta que ofrece la posibilidad de realizar potentes y compactos sistemas de supervisión y control, lo que permite elaborar interfaces gráficas sencillas para la mejor comprensión de los datos.
- 5) Los diseños creados son viables, funcionales y hechos a la medida, lo que les permite ser implementados y puestos en marcha en un corto plazo de tiempo.
- 6) El prototipo de software desarrollado experimentalmente y la infraestructura de comunicaciones tienen un elevado valor docente y práctico para los estudiantes de la especialidad de Ingeniería en Automática.

**Recomendaciones.**

- 1) Crear las condiciones necesarias en cada una de las áreas para poder accionar a distancia por medio del sistema SCADA los controles de encender y apagar
- 2) Implementar el sistema de supervisión en todas las roneras de la corporación Cuba Ron S.A. en el menor tiempo posible, para obtener mayores beneficios a favor de la economía nacional.
- 3) Expandir las capacidades de visualización del SCADA en clientes *Web* para facilitar la gestión operativa y empresarial.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antón Rodríguez, S. (2010). Desarrollan software capaz de controlar el consumo de electricidad. Juventud Rebelde. Habana from: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2010-01-23/desarrollan-software-capaz-de-controlar-el-consumo-de-electricidad/>.
- Arrastía Ávila, M. A. (2009). Forjar una cultura del ahorro energético. Juventud Rebelde. La Habana. Cuba from: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2009-06-02/forjar-una-cultura-del-ahorro-energetico/>.
- Arrastía Ávila, M. A. (2010). Mayor eficiencia energética. Juventud Rebelde La Habana. Cuba from: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2010-06-23/mayor-eficiencia-energetica/>.
- Bienvenido Valdés, P. (2006). "Gestión y Eficiencia Energética." Eficiencia Energética from: <http://bpm.uasd.edu.do/Members/pvaldez05/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica.doc>.
- Carlo Gavazzi (1998) "Technical Manual WM2-DIN / EM2-DIN Serial Communication."
- Carlo Gavazzi (2000) "Energy Management Modular Power Analyzers Type WM2-96." from: <http://productsonline.carlogavazzi.com>
- Carlo Gavazzi (2001). Soluciones para la gestión de la energía. Catálogo de productos Hoja Técnica. EQUISET S.A. Caracas. Venezuela 23/02/2011 from: <http://www.equissetsa.com>.
- Carlo Gavazzi (2002a). Gestión y Control de Energía Eléctrica Analizador de Calidad de Energía Eléctrica. C. G. S.A. from: <http://productsonline.carlogavazzi.com>
- Carlo Gavazzi (2002b). WM3-96 Serial Communication Protocol. C. G. Controls from: <http://productsonline.carlogavazzi.com>
- Carlo Gavazzi (2006) "Analizador de potencia. Modelo WM14-DIN." Analizadores de calidad de energía eléctrica. from:



<http://www.automatizacionesindustriales.com/Downloads/CarloGavazzi/WM14-DIN%20DS%20ESP%200904.pdf>.

Colson, C. M., M. H. Nehrir, et al. (2009). Ant colony optimization for microgrid multi-objective power management. Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE '09. IEEE/PES. M. S. U. Electr. & Comput. Eng. Dept., Bozeman, MT. Seattle, WA

Copextel. (2010). "Aporta Copextel soluciones para el ahorro energético." from: [http://www.copextel.com/index.asp?module=noticia/articulo\\_detalle&id=23](http://www.copextel.com/index.asp?module=noticia/articulo_detalle&id=23).

Chavarría Meza, L. E. (2007). Scada System's & Telemetry México, Atlantic International University from: <http://aiu.edu/publications/student/spanish/SCADA%20System's%20%20Telemetry.html>.

EN-16001. (2009). "Publicada la EN 16001 para mejorar la Eficiencia energética en las organizaciones." Retrieved 10/02/2011 from: <http://www.bsigroup.es/es/certificacion-y-auditoria/Sistemas-de-gestion/Novidades/Noticias-2009/LD-News-Source-/Publicada-la-EN-16001-para-mejorar-la-Eficiencia-energetica-en-las-organizaciones/>.

Fernandes, F., T. Sousa, et al. (2010). Intelligent SCADA for Load control. IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC), 2010 I. o. E.-P. o. P. I. I. Knowledge Eng. & Decision Support Res. Center - GECAD, Porto, Portugal. Istanbul

Figueiredo, J. M. and J. M. G. S. d. Costa (2008). An efficient system to monitor and control the energy production and consumption. Electricity Market, 2008. EEM 2008. 5th International Conference on European E. U. CEM/IDMEC, Evora Lisboa.

Hernández Valdelamar, J. (2006). "El Mundo de los Sistemas SCADA." Retrieved 02/03/2011 from: <http://www.rosenblueth.mx/InterFAR/Vol1Num1/doc/Vol1Num1-50.htm>.



- ISO/CD 50001 (2009). Energy management systems — Requirements with guidance for use. New York, ANSI from: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/archivos/ISO-CD-50001.pdf>.
- Izagirre Castellanos, E. (2008). Sistemas de Automatización. F. d. I. E. D. d. A. y. S. C. U. C. M. A. d. L. Villas. Villa Clara, Cuba, Santa Clara, Editorial Samuel Feijóo.
- Jiménez Buendía, M. (2006). Tema 7. Protocolo Modbus. Comunicaciones Industriales from: [http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6\\_Comunic\\_Ind/pdfs/Tema%207.pdf](http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Comunic_Ind/pdfs/Tema%207.pdf).
- Lizarraga de Miguel, A. (2009). Implantación del software Power Studio Scada en una empresa para la gestión de la energía. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Projectes d'Enginyeria. Catalunya, Universitat Politècnica de Catalunya. **Master thesis** from: <http://hdl.handle.net/2099.1/7677>.
- Modbus. (2006a). "MODBUS over Serial Line Specification and Implementation Guide V1.02." Retrieved 17/01/2011 from: <http://www.modbus.org/>
- Modbus. (2006b). "MODBUS Application Protocol Specification V1.1b." Retrieved 17/01/2011 from: <http://www.Modbus-IDA.org>.
- Progea (2007). Programmer Guide Italia from: <http://www.progea.com>.
- Progea (2007). We present you the future. Italia from: <http://www.progea.com>.
- Rodríguez Penín, A. (2007). Sistemas SCADA. Ciudad México.
- Ros, J., B. Garcia, et al. (2010). Eficiencia en el uso de la energía eléctrica. MARCOMBO S.A. from: [http://www.llibreriaha.com/spa/eficiencia\\_en\\_el\\_uso\\_de\\_la\\_energia\\_electrica\\_9788426716958.html](http://www.llibreriaha.com/spa/eficiencia_en_el_uso_de_la_energia_electrica_9788426716958.html)
- Sánchez M., S. (2004). Ahorro de Energía en Sistemas Eléctricos Industriales. Dirección de Energías Renovables y Eficiencia Energética. Ecuador.
- Santizo, M. (2011). "Importancia del Ahorro Energético." from: <http://www.proenergia.com/id20.html>.



SOCOMECH-Inc. (2010). Control Vision Software.

Torres Rizo, R. (2010). "Energía-Conceptos- Tipos- Características y propiedades."  
from: <http://www.slideshare.net/rafoso30/energa-5814295>.

Vetter, C., N. Mayur, et al. (2008). Con el impulso de la energía. Revista ABB 1/2008  
from:  
[http://library.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/323d7757f1df7b26c125742700413b74/\\$File/39-43%201M814\\_SPA72dpi.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/323d7757f1df7b26c125742700413b74/$File/39-43%201M814_SPA72dpi.pdf).

Xudong, M., R. Cui, et al. (2010). "Supervisory and Energy Management System of large public buildings." International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), 2010

Yugang, L., L. Huanbin, et al. (2010). Development and application of online energy analysis system based on software integration and communications. S. C. U. o. T. State Key Lab. of Pulp & Paper Eng., Guangzhou, China. Chengdu 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010 5.



## ANEXOS

### Anexo I: Glosario de siglas.

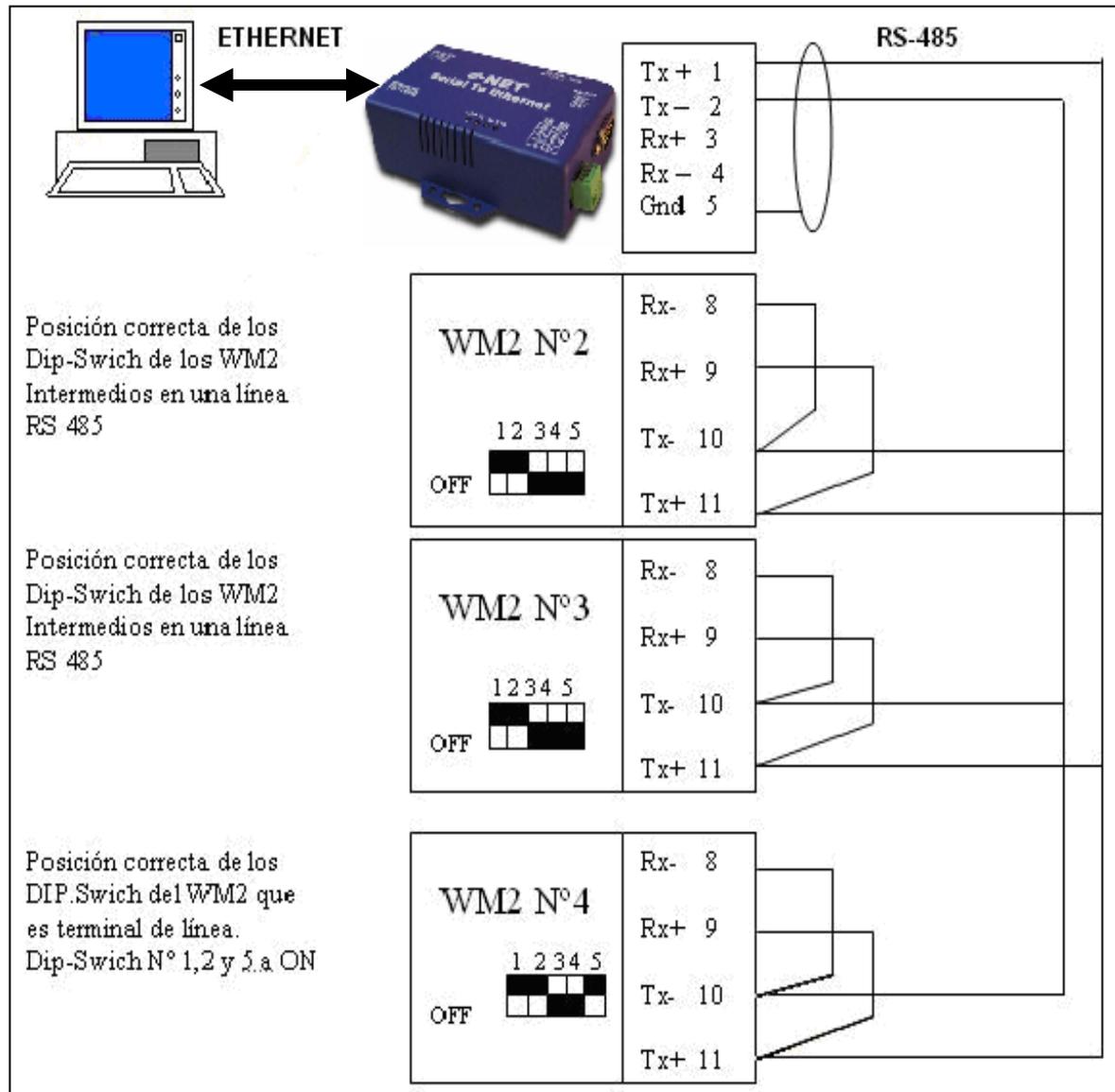
A	Ampere (unidad de corriente)
BA	Building Automation
BD	Bases de Datos
BEMS	Building Energy Management Systems
BMS	Building Management System (Sistemas de gestión empresarial)
CTE	Centrales termoelectricas
EN	Norma Europea
Fp	Factor de potencia
GB	Giga Byte (unidad de almacenamiento de datos)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HMI	Human Machine Interface
HTTP	HyperText Transfer Protocol
Hz	Hertz (unidad de Frecuencia)
IL	Internal Logic
IP40	Grado de protección del panel frontal
IP65	Grado de protección del panel frontal
ISO	International Organization for Standardization
J2ME	Java 2 Micro Edition
JAVA	Lenguaje de programación orientado a objetos
kVA	kiloVoltAmpere (unidad de potencia reactiva)
kVAdmd	kiloVoltAmpere demanda
kVARh	kiloVoltAmpereHora (consumo reactivo)
kW	kiloWatt (unidad de potencia activa)
kWdmd	kiloVoltAmpere demanda
kWh	kiloWattHora (consumo activo)
LSW	Least Significant Word



Movicon	Monitoring, Vision, and Control
MSW	Most Significant Word
MTU	Master Terminal Unit (Unidad terminal maestra)
OBE	Organización Básica Eléctrica
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	OLE for Process Control
OPF	Optimal Power Flow (Flujo de Carga Óptimos)
PC	Personal Computer
PLC	Programmable Logic Controller
RAS	Remote Access Services
RTC	Red Telefónica Conmutada
RTU	Remote Terminal Unit (Unidad Terminal Remota)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SCD	Sistemas de Control Distribuido
SNA	Scalar Network Analyzer
SOA	Service Oriented Application
SOAP	Simple Object Access Protocol
SVG	Scalable Vector Graphics
TC	Tap Center
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UNE	Unión Nacional Eléctrica
V	Volt (unidad de voltaje)
VBA	Visual Basic for Applications
VHF/UHF	Very High Frequency/Ultra High Frequency
VNA	Vector Network Analyzer
XML	Extensible Markup Language



**Anexo II: Esquema de conexión serie RS-485 a dos hilos para el analizador Wm2-96.**

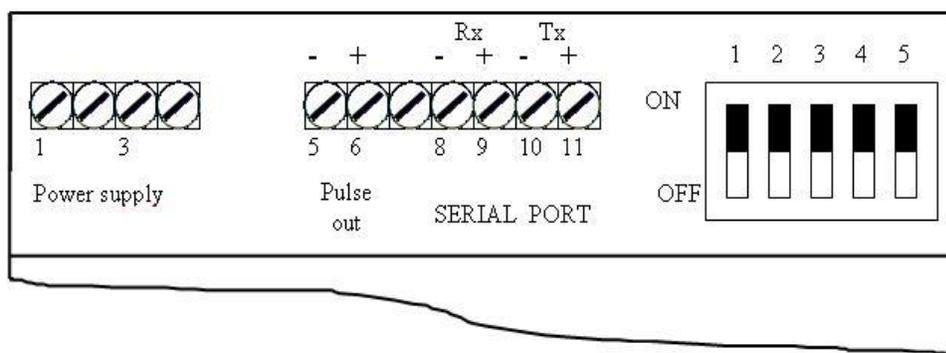




**Anexo III: Configuración de los *DIP-Switch* para el analizador WM2-96**

DIP-SWITCH	Function	Position
SW1	2 wires / 4 wires	2 wires: ON - 4 wires: OFF
SW2	2 wires / 4 wires	2 wires: ON - 4 wires: OFF
SW3	biasing -	bias: ON - no bias: OFF
SW4	biasing +	bias: ON - no bias: OFF
SW5	terminalization	terminating: ON - not terminating. OFF

DIP-SWITCH Descripción de funciones



DIP-SWITCH Posición y numeración.

**Anexo IV: Mapa de memoria del analizador Wm2-96.**

ADDR.		MEASUREMENT	UNIT	FORMULA
003Eh	62	Voltage phase 1	V	VALUE / 16
0040h	64	Current phase 1	A	CTratio x VALUE / 1600
0042h	66	Active power phase 1	W	CTratio x VALUE / 4
0044h	68	Reactive power phase 1	VAR	CTratio x VALUE / 4
0046h	70	cos $\phi$ phase 1	adim.	VALUE / 1600
0056h	86	Voltage phase 2	V	VALUE / 16
0058h	88	Current phase 2	A	CTratio x VALUE / 1600
005Ah	90	Active power phase 2	W	CTratio x VALUE / 4
005Ch	92	Reactive power phase 2	VAR	CTratio x VALUE / 4
005Eh	94	cos $\phi$ phase 2	adim.	VALUE / 1600
0026h	38	Voltage phase 3	V	VALUE / 16
0028h	40	Current phase 3	A	CTratio x VALUE / 1600
002Ah	42	Active power phase 3	W	CTratio x VALUE / 4
002Ch	44	Reactive power phase 3	VAR	CTratio x VALUE / 4
002Eh	46	cos $\phi$ phase 3	adim.	VALUE / 1600
0062h	98	System voltage	V	VALUE / 16
0064h	100	System current	A	CTratio x VALUE / 1600
0066h	102	System active power	W	CTratio x VALUE / 2
0068h	104	System reactive power	VAR	CTratio x VALUE / 2
006Ah	106	System cos $\phi$	adim.	VALUE / 1600
0076h	118	2° word active energy	Wh	See Equation 1
0078h	120	2° word reactive energy	VARh	See Equation 1
007Eh	126	3° word active energy	Wh	See Equation 1
0080h	128	3° word reactive energy	VARh	See Equation 1
0084h	132	2° word partial active energy	Wh	CTratio x VALUE / 2
0088h	136	2° word partial reactive energy	VARh	CTratio x VALUE / 2

Las medidas de energías: los valores de las energías parciales activas y reactivas se guardan en una sola palabra de 16 *bit* y deben procesarse al igual que las medidas instantáneas. Las energías activa y reactiva totales son números de 32 *bit*, debido a que este equipo posee un microprocesador de 16 *bit* y no se puede leer directamente un dato de 32 *bit*, por lo que es necesario emitir dos instrucciones consecutivas de lectura y adquiriendo dos números de 16 *bit* representando al MSW y al LSW de los contadores de energía. Y las dos partes pueden ser combinadas por la ecuación para conseguir la energía total medida.

NOTA:

2°word = Energía LSW

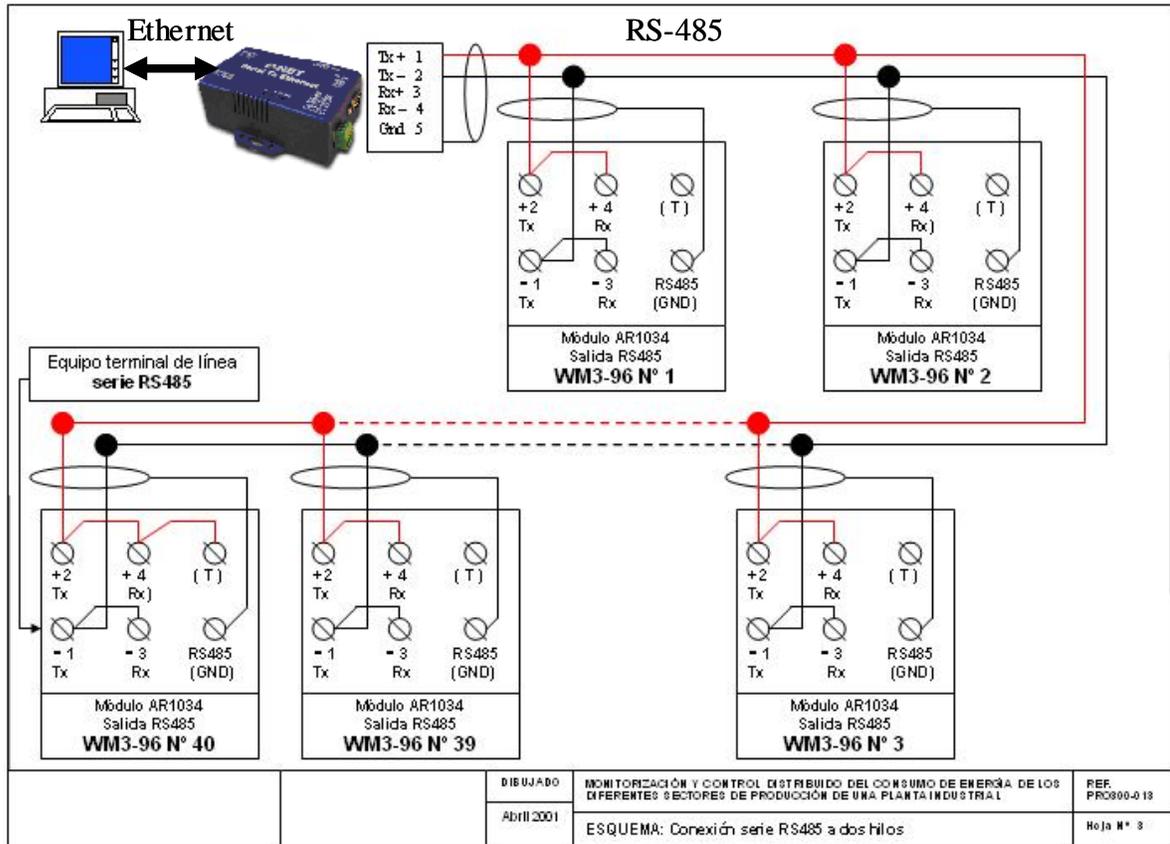
$$En_{tot.} = \frac{2^{16} \cdot 3^{\circ} \text{word}_{en} + 2^{\circ} \text{word}_{en}}{2} * CT_{RATIO}$$

3°word = Energía MSW

CTratio = relación del TC.



Anexo V: Esquema de conexión serie RS-485 a dos hilos para el analizador Wm3-96.





**Anexo VI: Áreas de memoria de analizador WM3-96.**

Memory area	Area		Byte reading order
Internal RAM	0000h	00E7h	MSB, LSB
Internal RAM	00E8h	1fffh	LSB, MSB
Data storage EEPROM	2000h	3fffh	MSB, LSB
Real Time Clock	4000h	5fffh	LSB

**Anexo VII: Mapa de memoria del analizador WM3-96.**

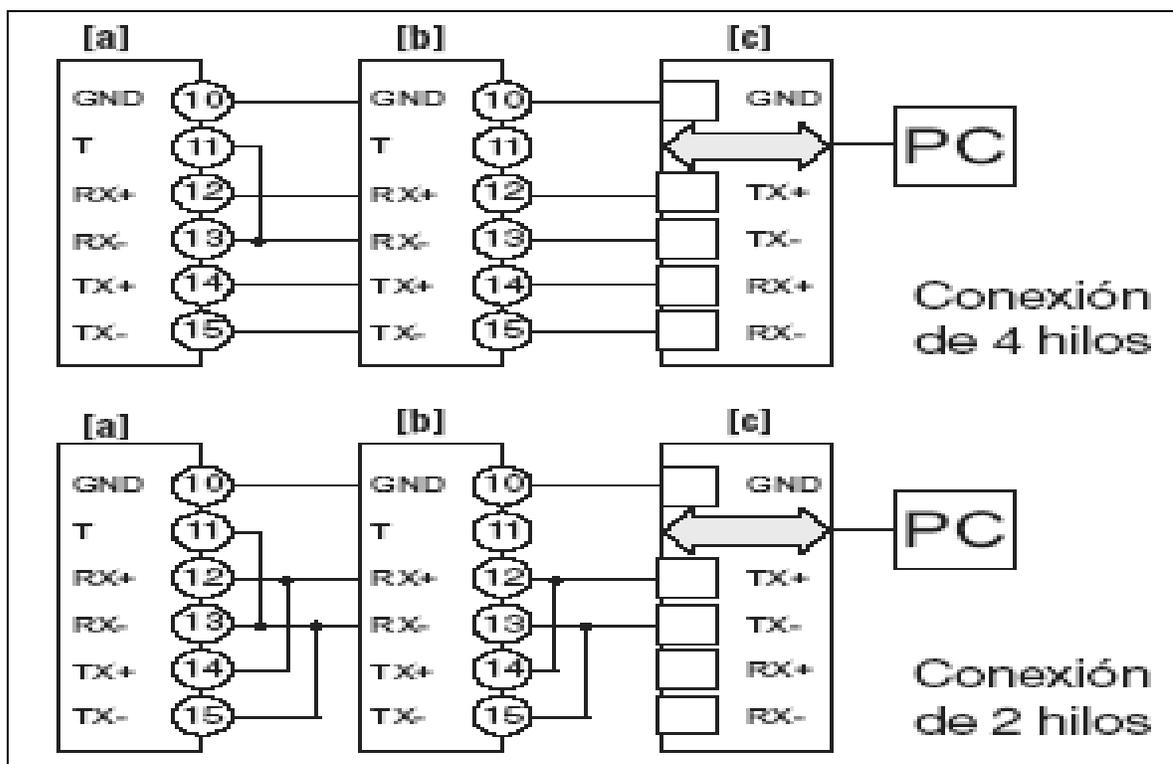
Word	ADDRESS		BYTE	VARIABLE	Type	Word	ADDRESS		BYTE	VARIABLE	Type
1	000	0	2	V L1-N	V	31	078	120	2	THD V2	D
2	004	4	2	A L1	A	32	07C	124	2	THDe V2	D
3	008	8	2	W L1	P	33	080	128	2	THDo V2	D
4	00C	12	2	V L2-N	V	34	084	132	2	THD V3	D
5	010	16	2	A L2	A	35	088	136	2	THDe V3	D
6	014	20	2	W L2	P	36	08C	140	2	THDo V3	D
7	018	24	2	V L3-N	V	37	090	144	2	THD A1	D
8	01C	28	2	A L3	A	38	094	148	2	THDe A1	D
9	020	32	2	W L3	P	39	098	152	2	THDo A1	D
10	024	36	2	V L1	V	40	09C	156	2	THD A2	D
11	028	40	2	V L2	V	41	0A0	160	2	THDe A2	D
12	02C	44	2	V L3	V	42	0A4	164	2	THDo A2	D
13	030	48	2	VA L1	P	43	0A8	168	2	THD A3	D
14	034	52	2	var L1	P	44	0AC	172	2	THDe A3	D
15	038	56	2	PF L1	C	45	0B0	176	2	THDo A3	D
16	03C	60	2	VA L2	P	46	0B4	180	2	A dmd	A
17	040	64	2	var L2	P	47	0B8	184	2	VA dmd	P
18	044	68	2	PF L2	C	48	0BC	188	2	PF avg	C
19	048	72	2	VA L3	P	49	0C0	192	2	W dmd	P
20	04C	76	2	var L3	P	50	0C4	196	2	Hz	H
21	050	80	2	PF L3	C	51	0C8	200	2	ASY	D
22	054	84	2	V $\Sigma$	V	52	0CC	204	2	VL-N $\Sigma$	V
23	058	88	2	A $\Sigma$	A	53	0D0	208	2	UN	V
24	05C	92	2	W $\Sigma$	P	54		0			
25	060	96	2	VA $\Sigma$	P	55		0			
26	064	100	2	var $\Sigma$	P	56		0			
27	068	104	2	PF $\Sigma$	C	57		0			
28	06C	108	2	THD V1	D	58		0			
29	070	112	2	THDe V1	D	59	0E8	232	1+1	Unit V, A	inf1
30	074	116	2	THDo V1	D	60	0EC	236	1+1	Unit P	inf2

**Anexo VIII: Porción del mapa de los contadores de energía.**

ADDRESS		BYTE	SEASON	PERIOD	COUNTER TYPE
0EC	236	4	TOTAL		Kwh+ (LSB)
0F0	240	4			Kwh- (LSB)
0F4	244	4			KVARh+ (LSB)
0F8	248	4			KVARh- (LSB)
0FC	252	1			Kwh+ (MSB)
0FD	253	1			Kwh- (MSB)
0FE	254	1			KVARh+ (MSB)
0FF	255	1			KVARh- (MSB)
100	256	4	WINTER	1	Kwh+ (LSB)
104	260	4			KWh- (LSB)
108	264	4			KVARh+ (LSB)
10C	268	4			KVARh- (LSB)
ADDRESS		BYTE	SEASON	PERIOD	COUNTER TYPE
E8	232	1	WINTER	1	KWh+ (MSB)
E9	233	1			KWh- (MSB)
EA	234	1			KVARh+ (MSB)
EB	235	1			KVARh- (MSB)



Anexo IX: Esquema de conexión serie RS-485 a dos hilos para el WM14-DIN



a) Último instrumento; b) 1...n Instrumento; c) Conversor a RS485

**Anexo X: Mapa de memoria del analizador WM14-DIN.**

ADDRESS	BYTES	VARIABLE	Type	ADDRESS	BYTES	VARIABLE	Type
0280h	2	V L1-N	VN	02A6h	2	VA $\Sigma$	P $\Sigma$
0282h	2	A L1	A	02A8h	2	var L1	P
0284h	2	W L1	P	02AAh	2	var L2	P
0286h	2	V L2-N	V	02ACh	2	var L3	P
0288h	2	A L2	A	02AEh	2	var $\Sigma$	P $\Sigma$
028Ah	2	W L2	P	02B0h	2	W dmd	P $\Sigma$
028Ch	2	V L3-N	V	02B2h	2	VA dmd	P $\Sigma$
028Eh	2	A L3	A	02B4h	2	W dmd MAX	P $\Sigma$
0290h	2	W L3	P	02B6h	2		
0292h	2	V L1-L2	VC	02B8h	2	Hz	H
0294h	2	V L2-L3	VC	02BAh	2	Admdmax	A
0296h	2	V L3-L1	VC	02BCh	1+1	PF L1/PF L2 *	PF
0298h	2	VL-L $\Sigma$	VC	02BEh	1+1	PF L3/ PF $\Sigma$ *	PF
029Ah	2	A max	A	02C0h	2	A L1 dmd	A
029Ch	2	A n	A	02C2h	2	A L2 dmd	A
029Eh	2	W $\Sigma$	P $\Sigma$	02C4h	2	A L3 dmd	A
02A0h	2	VA L1	P	02C6h	4	kWh	E
02A2h	2	VA L2	P	02CAh	4	varh	E
02A4h	2	VA L3	P	02CEh	4	Hourmeter	HM