

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



*Tesis presentada en opción al título de Máster en
Automática y Sistemas Informáticos*

**“Diseño de sistema SCADA para la supervisión de
grandes consumidores de energía eléctrica”**

Autor: Ing. José Omar Padrón Ramos

Tutor: Dr. Roberto Ballesteros Horta

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



*Tesis presentada en opción al título de Máster en
Automática y Sistemas Informáticos*

**“Diseño de sistema SCADA para la supervisión de
grandes consumidores de energía eléctrica”**

Autor: Ing. José Omar Padrón Ramos

*Prof. Asistente, Dpto. Automática y Sistemas Computacionales
Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central de Las Villas.*

Email: jpadron@uclv.edu.cu

Tutor: Dr. Roberto Ballesteros Horta

*Jefe de la carrera Ingeniería Automática, Prof. Titular, Dpto. Automática y Sistemas
Computacionales, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central de Las Villas.*

Email: rball@uclv.edu.cu

Santa Clara

2011

"Año 53 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de maestría fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de postgrado correspondientes a la maestría en Automática y Sistemas Informáticos, 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 único autógrafo digno de un hombre,
es el que deja escrito con sus obras."*

José Martí

DEDICATORIA

Este trabajo marca una etapa importante de mi vida donde han dejado su huella muchísimas personas, pero a esas que han sido imprescindibles dedico esta obra:

a mi papá

a mi hermana

a Meyli

a mami y abuelo, que estarán siempre en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

En momentos como este corresponde recordar a muchas personas que han sido partícipes de una forma u otra de este gran esfuerzo. Quisiera agradecer a todos mis amigos de estudio, unos muy cerca, otros lejos, a los que vinieron después y que son hoy parte inseparable de mi vida.

Agradezco a mi novia y a mi familia.

Los ojos se me llenan de lágrimas recordando hoy a quienes son los responsables de que hoy pueda ser quien soy. Mami y abuelo, los llevaré siempre conmigo, aunque no estén presentes hoy, este es el resultado de su amor, de su vigilia apasionada, de su objetivo en la vida, que fui siempre yo.

TAREA TÉCNICA

- 1) Análisis bibliográfico sobre la actualidad mundial, nacional y regional de los sistemas SCADA en función de supervisar y controlar el consumo eléctrico industrial y doméstico.
- 2) Diseño del sistema de telemedición, lo cual incluye:
 - a) Selección de los sensores para la telemedición.
 - b) Selección del medio de comunicación.
 - c) Selección de los dispositivos de comunicación.
- 3) Definición de la arquitectura del software SCADA.
- 4) Diseño del software SCADA a través del lenguaje UML.
- 5) Codificación de un prototipo de software SCADA basado en el diseño realizado anteriormente.
- 6) Implementación del software para validar su empleo.
- 7) Análisis de los resultados de las mediciones.
- 8) Confección del informe final.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

El trabajo que se presenta en este informe, surge de la necesidad de supervisar en tiempo real el gasto de energía eléctrica de los grandes y medianos consumidores en la provincia de Villa Clara, con el fin de ahorrar este portador energético. Para dar resultados concretos a este problema se diseñó un sistema SCADA con características específicas para variables eléctricas, e inherente a esto, se creó el diseño de la red de comunicación para llevar la información desde los sensores hasta el centro de gestión. Sistemas similares se han desarrollado con fuerza en la última década, fundamentalmente en Europa y Estados Unidos, pues ha crecido el interés de las compañías eléctricas nacionales y los usuarios de tener un control más riguroso sobre el consumo eléctrico, debido al alza de sus costos. Como parte del trabajo se crea además un prototipo experimental, con el objetivo de validar el diseño propuesto. Este prototipo estuvo en fase de pruebas durante algunos meses, durante los cuales supervisó el estado energético de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, y de la empresa “TRASVAL S.A.” en la ciudad de Santa Clara, reafirmando con objetividad la certeza de los resultados esperados.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO _____	i
DEDICATORIA _____	ii
AGRADECIMIENTOS _____	iii
TAREA TÉCNICA _____	iv
RESUMEN _____	v
INTRODUCCIÓN _____	1
Organización del informe _____	7
Capítulo 1: Los sistemas SCADA para la supervisión de energía eléctrica. _____	8
1.1. Introducción al capítulo. _____	9
1.2. Gestión, ahorro y eficiencia de la energía eléctrica. _____	9
1.2.1. Conceptos. _____	9
1.2.1.1. Energía Eléctrica _____	9
1.2.1.2. Eficiencia Energética. _____	9
1.2.1.3. Gestión Energética. _____	10
1.2.2. Situación eléctrica en Cuba. Historia y actualidad. _____	10
1.2.2.1. Objetivos del Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC). ____	13
1.2.3. Necesidad de lograr la máxima eficiencia energética. _____	13
1.3. Sistemas SCADA en función de gestión eléctrica. _____	14
1.3.1. Características generales de los sistemas SCADA. _____	15
1.3.1.1. Definición. _____	15

1.3.1.2.	Arquitectura.	15
1.3.1.3.	Características funcionales.	16
1.4.	Telemedición.	17
1.4.1.	Características de los sistemas de telemedición.	17
1.4.1.1.	Definición.	17
1.4.1.2.	Clasificación.	17
1.4.1.3.	Elementos de un Sistema de Telemedición.	18
1.4.2.	La telemedición en los sistemas SCADA.	18
1.5.	Supervisión Energética a través de los sistemas SCADA.	19
1.5.1.	Necesidad de supervisar la energía eléctrica.	20
1.5.2.	Desarrollo de aplicaciones en el mundo.	20
1.5.2.1.	Sistema TELGECS.	21
1.5.2.2.	Sistema Control Vision.	22
1.5.2.3.	Sistema TelevisNet.	23
1.5.2.4.	Sistema E.online.	24
1.5.2.5.	Sistema Power Logic Ion Enterprise de Schneider Electric.	25
1.5.2.6.	Sistema Power Studio de CIRCUTOR.	27
1.5.2.7.	Sistema de Telegestión de Endesa.	28
1.5.2.8.	Sistema Telegestore.	29
1.5.2.9.	El proyecto “Meters and More”.	30
1.5.3.	Actualidad en Cuba.	31
1.5.4.	Valoración sobre los sistemas creados en Cuba.	32
1.6.	Significado del sistema SCADA en el presente trabajo	34
1.7.	Consideraciones finales del capítulo.	34
Capítulo 2: Diseño de la arquitectura del sistema SCADA.		36
2.1.	Introducción al capítulo.	37
2.2.	Requisitos funcionales del sistema de supervisión y metodología de trabajo.	37
2.3.	Diseño del sistema SCADA.	39

2.3.1.	Sistema de Comunicaciones.	39
2.3.2.	Dispositivos de comunicaciones.	40
2.3.2.1.	Radiomodem.	40
2.3.2.2.	Tecnología Celular.	41
2.3.3.	Variantes de arquitectura según la forma de comunicación.	43
2.3.3.1.	Primera Variante: Células municipales con cobertura provincial.	43
2.3.3.2.	Segunda Variante: Comunicación centralizada con tecnología celular.	45
2.3.3.3.	Simple análisis de las variantes de comunicación para la selección.	49
2.4.	Arquitectura y diseño del SCADA (software).	49
2.4.1.	Arquitectura del software.	50
2.4.2.	Modelado del software.	51
2.4.2.1.	Casos de uso generales del sistema.	51
2.4.2.2.	Diagramas de clase de la aplicación.	53
2.4.2.3.	Diagrama de secuencia de la aplicación.	55
2.5.	Consideraciones finales del capítulo.	57
Capítulo 3: Implementación codificada y pruebas funcionales del sistema SCADA.		58
3.1.	Introducción al capítulo.	59
3.2.	Implementación del prototipo de software SCADA.	59
3.3.	Pruebas funcionales del prototipo.	63
3.4.	Análisis de los resultados.	64
3.5.	Consideraciones finales del capítulo.	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		68
Conclusiones		69
Recomendaciones		70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		71
ANEXOS		74
Anexo I	Diagramas UML del software SCADA.	75

Anexo II Líneas de T-Box disponibles. _____ 77

Introducción

INTRODUCCIÓN

Thomas Fuller¹ sentenció: *“El ahorro consiste en poner cuidado al gastar los medios de que se dispone. No es una virtud y no requiere destreza ni talento”*. Las palabras de este gran hombre deberían traducirse en leyes universales, pues el acelerado consumo de los recursos energéticos ha comenzado a fomentar el desarrollo de conflictos bélicos en varias partes del mundo, los cuales se harán cada vez más frecuentes en un futuro cercano. Y es que el sistema capitalista/imperialista mundial cada día incentiva más el consumismo y el derroche de todo tipo de productos. Como contraparte a ello, personas, instituciones y hasta empresas, con verdadero sentido humanitario, aprovechan las bondades de la tecnología moderna para fomentar y aplicar formas novedosas de ahorro. El trabajo que describe este informe, pretende ser un estímulo que ayude al hombre a ser más consciente del futuro, más responsable con su entorno y más comprometido con su deber.

El descubrimiento de la electricidad, fruto del esfuerzo de hombres de ciencia brillantes, ayudó a la humanidad a dar un salto colosal en la historia, pero por otra parte, los recursos fósiles que se han utilizado históricamente para generarla, se están agotando a un ritmo acelerado, fruto sobre todo, del mal control para su empleo. Es por ello, que ante la imposibilidad de almacenar la energía eléctrica, la única solución viable es usarla de forma racional, fomentando su utilización sin gastar más de lo debido, o sea ahorrándola.

Para lograr una efectiva planificación del uso de la energía eléctrica, es imprescindible tener una idea exacta de cuanto se gasta, es por ello que la medición del consumo constituye el punto medular en este sentido. La supervisión del consumo eléctrico, no es

¹ Sacerdote y escritor inglés, célebre por sus frases acertadas y de profundo contenido.

otra cosa que la medición constante del valor y posterior procesamiento, con objeto de análisis. Si cada usuario del servicio eléctrico fuera capaz de supervisar su propio consumo, le sería mucho más fácil planificarlo; esta misma experiencia puede aplicarse a la inversa, si la empresa que brinda el servicio puede supervisar el consumo de los clientes, la misma podría planificar su uso con medidas orientadas al ahorro, en caso de violaciones, varias medidas de rigor pueden ser aplicadas.

El presente trabajo, es fruto de la urgencia de poner la ciencia y la tecnología en función del ahorro de electricidad. En Cuba esta cuestión es una prioridad constante, pues depende de la importación de portadores energéticos que no se poseen para generarla, esta causa es la que incentiva iniciativas como la que se describen en este informe.

Actualmente en el país ocurre la siguiente situación: la nación tiene un plan específico para la generación eléctrica, estructurado por horarios y zonas. El incumplimiento de este plan debido al crecimiento de la demanda en determinadas horas y en determinados sectores, obliga a utilizar más combustible para no afectar el servicio, trayendo consigo un gasto de divisa adicional que le cuesta al país desviarla de otros objetivos para los cuales generalmente no sobra y en muchos casos no alcanza. Ante la situación descrita, la única solución es el ahorro de la electricidad, tanto en el sector doméstico como en el empresarial.

Analizando la situación anteriormente descrita, se puede concluir que no existe en Cuba una forma efectiva de supervisar en tiempo real el consumo eléctrico. Si esto fuera posible, permitiría detectar el gasto innecesario de la electricidad y por consiguiente ahorrar divisas por concepto de no generar más energía de la necesitada.

En este trabajo se plantea el diseño de un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) para la supervisión del consumo eléctrico de los centros estatales de la provincia de Villa Clara que tienen el mayor consumo de energía eléctrica. Este sistema, de llevarse a vías de hecho, permitiría las ventajas económicas descritas en el párrafo anterior. Además, el trabajo contempla la implementación y ejecución de pruebas de un prototipo a escala de laboratorio para validar la certeza del diseño. A partir de esta idea se concretan las siguientes metas:

Objetivo general:

- Diseñar un sistema SCADA, para la medición y supervisión en tiempo real del gasto de energía eléctrica de los grandes consumidores de este portador en la provincia de Villa Clara, lo cual permitirá detectar a tiempo el sobreconsumo de electricidad y ahorrar divisas al país al tiempo que se daña menos el medio ambiente.

Objetivos específicos:

- Analizar el contenido bibliográfico donde existe información acerca de los sistemas SCADA que actualmente se encuentran en función de gestionar y supervisar el consumo de energía eléctrica.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos remotos a través de dispositivos de telemedición.
- Crear dos diseños del sistema de telemedición para dejar la selección de uno de ellos a los directivos de la Organización Básica Eléctrica.
- Crear el diseño de un software SCADA apropiado y ajustado a las necesidades de los clientes, que permita supervisar el consumo eléctrico en tiempo real.
- Programar un prototipo de software basado en el diseño del sistema SCADA creado.
- Poner en funcionamiento el prototipo creado en centros con posibilidades e interés de conocer en tiempo real el consumo de electricidad.
- Analizar los resultados obtenidos en las pruebas del prototipo en uno de los centros donde fue instalado.

Para llevar a cabo los objetivos propuestos se definieron las siguientes tareas:

- 1) Análisis bibliográfico sobre la actualidad mundial, nacional y regional de los sistemas SCADA en función de supervisar y controlar el consumo eléctrico industrial y doméstico.
- 2) Diseño del sistema de telemedición, lo cual incluye:
 - a) Selección de los sensores para la telemedición.

- b) Selección del medio de comunicación.
- c) Selección de los dispositivos de comunicación.
- 3) Definición de la arquitectura del software SCADA.
- 4) Diseño del software SCADA a través del lenguaje UML.
- 5) Codificación de un prototipo de software SCADA basado en el diseño realizado anteriormente.
- 6) Implementación del software para validar su empleo.
- 7) Análisis de los resultados de las mediciones.

Para lograr un resultado satisfactorio, las tareas se desarrollaron de la siguiente forma:

Primeramente se analizaron muchos artículos de actualidad, la mayoría comprendidos entre los años 2005 y 2010, para conocer si en el mundo y en Cuba se estaba tratando la problemática de supervisar en tiempo real el consumo eléctrico, pues el ahorro es la única forma de contrarrestar el alto precio de los combustibles utilizados para generarla y los efectos del cambio climático, que también influyen en la generación. Como resultado de este análisis se determinó que en nuestro contexto específico, lo mejor era diseñar un sistema SCADA, simple pero con las funcionalidades necesarias y además diseñar la forma de adquirir los datos remotamente, pues la mayoría de los lugares previstos para ser supervisados están relativamente alejados de áreas urbanas. Una vez creados ambos diseños se necesitó una forma de validarlos y fue creado un prototipo sencillo, a partir del diseño UML² presentado. Este prototipo se instaló en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y en la gerencia de la empresa TRASVAL y estuvo en funcionamiento varios meses. El análisis de los resultados brindados por el sistema SCADA permitió planificar mejor el uso de la energía eléctrica, lo cual reafirmó la utilidad del sistema diseñado.

El trabajo realizado en este informe, no es el único en Cuba, como bien se analiza en el capítulo 1, existen otros desarrollos nacionales, pero al igual que los internacionales, estos

² Unified Modeled Language

tienen restricciones que no permiten adaptarlos y utilizarlos con mayores dimensiones en la provincia de Villa Clara. El principal aporte novedoso de este sistema SCADA es que puede ser capaz de implementar varios *drivers*, a través de la interfaz genérica, para adquirir datos de los tres tipos de metrocontadores instalados en Villa Clara y Cuba, y en caso de necesitar más *drivers*, solo habría que adicionarlo a la interfaz genérica sin hacer cambios sustanciales en los demás módulos de software, manteniendo la misma infraestructura de comunicaciones. También el sistema está diseñado para adquirir datos de múltiples metrocontadores, relativos a cantidad, lo cual permite abarcar los requisitos presentados por la UNE³ de 127 consumidores en la provincia, mientras los sistemas que ya existen solo comunican con un solo metrocontador. Esta última característica constituye una novedad importante.

Desde el punto de vista del software, la interfaz genérica de *drivers*, no es algo tan novedoso en el mundo pero merece la pena resaltarlo pues a pesar de ser una solución muy eficiente, en Cuba no se ha utilizado prácticamente. Esta idea es tomada del sistema SCADA “GALBA” (Guardián del ALBA), utilizado en Venezuela para la supervisión y el control en la industria petrolera, en cuyo desarrollo el autor de este trabajo participó.

Con la posterior implementación del sistema de comunicaciones y el desarrollo del software SCADA, la OBE⁴ de Villa Clara podrá contar con un efectivo sistema de control sobre el consumo eléctrico, identificando cuales son los centros donde este es más elevado y dónde se requiere una mayor acción en cuanto a uso racional. La supervisión en tiempo real permite analizar la tendencia de las variables eléctricas y por lo tanto, prevenir un consumo por encima del plan establecido antes de que este ocurra, evitando las pérdidas por concepto de sobreconsumo eléctrico y ahorrando el combustible que se hubiera invertido en generarlo. También ofrece importancia el hecho de hacer, a través del sistema SCADA, estudios de carga, con lo cual se podrían tomar acciones para mejorar la eficiencia en el servicio eléctrico.

³ Unión Eléctrica

⁴ Organización Básica Eléctrica

Todo lo expresado en el párrafo anterior, no hace sino reafirmar y explayar la importancia de carácter científico, social y económico del trabajo descrito en este informe. Es importante destacar que el mismo nace de una necesidad real de la dirección nacional de Uso Racional de la Energía (URE) y la OBE de Villa Clara, por lo cual cuenta con el respaldo de ambas instituciones.

Organización del informe

El informe del trabajo está estructurado en tres capítulos con diferentes subsecciones cada uno.

El capítulo uno esclarece algunos términos y presenta el contexto del trabajo, más adelante se hace un análisis del estado de los sistemas SCADA en función de supervisar y controlar el consumo eléctrico. Se analizan soluciones internacionales y nacionales.

El capítulo dos se divide semánticamente en dos partes, la primera aborda el diseño y los criterios para la selección del sistema de telemedición o adquisición remota de los datos, brindando dos variantes posibles. El hecho de que se propongan dos variantes obedece al caso de que la dirección nacional del URE⁵ planea en un futuro cercano no solo hacer la supervisión sino controlar el consumo a través de dispositivos de telecontrol. La segunda parte del capítulo plantea el diseño del software SCADA a través de las herramientas del lenguaje UML, como diagramas de casos de uso, diagramas de clases y diagramas de actividad.

El capítulo tres describe la implementación práctica de un prototipo del software diseñado en el capítulo dos, además muestra como se instaló y probó satisfactoriamente. Una cuestión importante que se encuentra al final del capítulo es el análisis de los resultados de las variables medidas como parte del proceso de pruebas, similar a como se haría en la realidad de estar funcionando el sistema a escala provincial.

⁵ Uso Racional de la Energía

Capítulo 1

Capítulo 1: Los sistemas SCADA para la supervisión de energía eléctrica.

1.1. Introducción al capítulo.

El presente trabajo contribuye a profundizar 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.

1.2. Gestión, ahorro y eficiencia de la energía eléctrica.

1.2.1. Conceptos.

1.2.1.1. Energía Eléctrica

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.

1.2.1.2. Eficiencia Energética.

El profesor Pedro Valdés (2006), de la Universidad Autónoma de Santo Domingo, en sus artículos de clases, brinda conceptos que definen muy bien la eficiencia energética y la conservación de la energía. Según él, la eficiencia energética y la conservación de la energía son dos conceptos muy relacionados entre sí pero diferentes. La conservación de la energía es obtenida cuando se reduce el consumo de la energía, medido en sus términos físicos. Es el resultado, por ejemplo, del incremento de la productividad o el desarrollo de tecnologías de menores consumos de energía. Sin embargo, la eficiencia energética es obtenida, 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. La eficiencia energética contribuye a la

conservación de la energía. En el primer caso se espera reducir el valor total del consumo y en el otro ser más eficiente en el uso.

1.2.1.3. Gestión Energética.

También de la autoría del profesor Pedro Valdés (2006), la gestión energética puede definirse como el análisis, planificación y toma de decisiones con el fin de obtener el mayor rendimiento posible de la energía que se dispone; esto es: lograr un uso más eficiente de la energía reduciendo pérdidas y optimizando el consumo sin disminuir la calidad de los productos, los servicios y el confort de la población.

1.2.2. Situación eléctrica en Cuba. Historia y actualidad.

El conocimiento del desarrollo de la energía eléctrica en Cuba puede ayudar en la definición de las estrategias para llegar a los objetivos que persigue este trabajo. Rodríguez Castellón (2002) en su artículo “Sector Energético”, pone de manifiesto aspectos interesantes en retrospectiva de la situación eléctrica cubana.

Según su investigación, en la etapa colonial y neocolonial se desarrolló la electrificación en Cuba, iniciándose fundamentalmente, con el servicio público de alumbrado por arco eléctrico. Seguidamente se instaura un sistema eléctrico para el servicio público, con generación centralizada y redes de distribución dirigidas a algunas zonas de la capital. Con la intervención norteamericana, comenzaron a aparecer y a expandirse algunos negocios como el establecimiento del servicio de tranvías en la capital. Paralelamente la “Compañía Cubana de Electricidad” continuó desarrollándose aceleradamente, para aumentar la capacidad de generación de electricidad, la cual llegó a finales del año 1957, a 430 MW⁶ instalados.

Rodríguez Castellón (2002) en su obra continúa relatando que el triunfo de la Revolución marcó un salto en el desarrollo energético del país, iniciándose una nueva etapa en su historia, pues se llevó a cabo la nacionalización de la compañía de electricidad, se

⁶ Mega Watt

implementaron nuevas tareas en progreso y bienestar del pueblo, se electrificó más del 95% de la población y se multiplicó la capacidad generadora. Ya en 1989 se obtiene una potencia instalada de 2967.5 MW, que representa un 530% de incremento con respecto a 1959, cuando solo había una capacidad instalada de 470.6 MW.

El desarrollo de la industria eléctrica en Cuba se apoyó en un programa inversionista de construcción de varias termoeléctricas, lo que trajo consigo un salto en el incremento de las capacidades de generación y en la producción de energía eléctrica. Las principales termoeléctricas que tiene el país son: Máximo Gómez (Mariel), Antonio Guiteras (Matanzas), Carlos Manuel de Céspedes (Cienfuegos), 10 de Octubre (Nuevititas), Antonio Maceo (Santiago de Cuba), Santa Cruz (La Habana), Felton (Holguín), Otto Parellada (Ciudad de La Habana) y Antonio Maceo (Regla) (Rodríguez-Castellón 2002).

Actualmente la producción de electricidad 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).

En el “Programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía” de la revista cubana “Cubaenergía” (1993) se complementa muy bien la historia antes mencionada por Rodríguez Castellón (2002): Ante la llamada crisis del petróleo de 1973, en los países industrializados comenzó a desarrollarse una política en varios frentes simultáneos, entre los que estaban el potenciar la búsqueda de fuentes energéticas alternativas al petróleo y el incremento máximo de la eficiencia en el uso de todas las formas de energía, especialmente con el desarrollo de tecnologías y equipos de uso final de una alta eficiencia energética, técnicas fuertemente controladas por las transnacionales. La realidad histórica es que Cuba no se vio afectado por la crisis petrolera de 1973, ni por las subsiguientes, lo cual permitió, en esos años de crisis para muchos países, continuar el desarrollo en forma sostenida.

No obstante esa estabilidad, desde los primeros años de la década de 1980-1990 el país se planteó la necesidad de establecer una política energética orientada a alcanzar una máxima eficiencia y ahorro de energía, especialmente en el petróleo y sus derivados, así como a intensificar el aprovechamiento de los recursos energéticos nacionales. Con el derrumbe del campo socialista en Europa, se agudiza la situación económica en el país y se ve seriamente afectado el sector energético, lo que provoca un llamado a crear una conciencia de ahorro, y por ello se emiten diferentes programas electroenergéticos (Rodríguez-Castellón 2002).

Entre los años 1990 y 1993, como consecuencia de la crisis económica, se produjo un decrecimiento significativo en la disponibilidad de generación de energía eléctrica, provocando grandes déficit y en consecuencia prolongados cortes de electricidad, a pesar de que en este período el consumo de energía decreció en un 6 % promedio anual, según información del sitio web del PAEC⁷ (1997), el cual se abordará más adelante.

A partir del año 1993 y hasta el año 1996 se produce una recuperación en la generación de electricidad la cual registra una tasa de crecimiento promedio anual de 6.6 %, producto de la revitalización de la economía nacional y del aumento del consumo del sector residencial. Se incrementa la disponibilidad de generación con la puesta en marcha de diferentes unidades en plantas termoeléctricas que se encontraban fuera de servicio, con lo cual disminuyen los cortes eléctricos pero aumenta el consumo de combustible en un 6.2 % promedio anual, lo que significó que en 1996 se consumieron alrededor de 550 000 toneladas más de combustible que en el año 1993 (PAEC 1997).

En este periodo, específicamente en el año 1997 a partir de la imposibilidad del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) de ser consecuente con las variaciones de la demanda de electricidad que se producían en las diferentes horas del día, siendo entre las 6 y las 10 de la noche el horario en que se alcanzan los valores de máxima demanda, causado fundamentalmente por el consumo del sector residencial, la demanda del sector industrial y las pérdidas en las redes; conjuntamente con el déficit de disponibilidad de generación en el horario pico, que implica un incremento de las interrupciones eléctricas si no se ponen en funcionamiento nuevas capacidades generadoras o se reducen los valores pronosticados de

⁷ Programa de Ahorro de la Electricidad en Cuba

la máxima demanda; se decide proyectar una estrategia para cubrir la demanda y eliminar los apagones a lo largo de todo el país (PAEC 1997).

Dentro de la estrategia elaborada se trazaron tres pautas fundamentales:

- Modernizar las capacidades de generación instaladas.
- Instalar nuevas capacidades de generación.
- Desarrollar un Programa de Ahorro de Energía.

Así surge el “Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba” (PAEC) que garantizaría reducir las tasas de crecimiento que en esos momentos registraba el consumo y la máxima demanda del sistema.

El proceso de electrificación en Cuba hasta el surgimiento del PAEC, en 1997, constituye uno de los principales antecedentes de una etapa compleja y de grandes perspectivas: La Revolución Energética.

1.2.2.1. Objetivos del Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC).

- Dentro del PAEC se crearon varios frentes de trabajo los cuales tributaban a objetivos específicos definidos en su conjunto de la siguiente manera:
- Reducir la máxima demanda del sistema y la tasa de crecimiento anual del consumo según los planes que se establezcan.
- Lograr desarrollar hábitos y costumbres en el uso racional de la energía y protección del medio ambiente en las nuevas generaciones.
- Desarrollar una base normativa y una política de precios que garanticen una buena eficiencia energética de todos los nuevos equipos eléctricos que se instalen en el país.

1.2.3. 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, pero para lograr una elemental comprensión de los objetivos que se persiguen en el 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?

Un sinnúmero de respuestas pueden contestar esta pregunta, todas enfocadas en materias específicas, pero una conclusión general la brinda Pedro Valdés (2006) en la obra referenciada al inicio del capítulo: 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.

1.3. Sistemas SCADA en función de gestión eléctrica.

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; en esto han influido las fluctuaciones económicas del mercado internacional en las últimas décadas.

Un concepto relativamente novedoso que se ha incorporado a la difícil tarea de contribuir 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 análisis de las características de los sistemas SCADA y como estos influyen mundial y regionalmente en elevar la eficiencia energética contribuyendo al ahorro de portadores de energía.

1.3.1. Características generales de los sistemas SCADA.

1.3.1.1. Definición.

En el libro “Sistemas SCADA” del profesor mexicano Aquilino Rodríguez Penín (2007), se encuentra una definición de sistema SCADA con una concepción general. Según este autor, se da el nombre de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) a cualquier software que posea acceso a datos remotos de un proceso y además permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo.

Según la definición de Rodríguez Penín (2007) dada anteriormente, 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 interface entre los niveles de control (PLC) 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).

1.3.1.2. Arquitectura.

La arquitectura de un sistema SCADA no tiene un patrón internacional ni está estandarizada, varios autores y empresas de desarrollo conforman sus propias ideas al respecto. Pese a lo anterior señalado, se puede presentar en términos generales un diseño arquitectónico adecuado. Esto es lo que hace Hernández Valdelamar (2006) en su artículo “El mundo de los Sistemas SCADA”. Según él, los sistemas SCADA constan de cuatro niveles:

- Nivel de Instrumentación: El sistema maneja instrumentación de tipo electrónico donde la variable física se convierte en una señal eléctrica.
- Nivel RTU: El RTU (Unidad Terminal Remota), es un dispositivo microprocesador que recoge, almacena y procesa la información que viene de la instrumentación de campo.
- Nivel de Comunicaciones. Encargado de tomar la información de la RTU y transmitirla por el medio escogido hasta el Centro de Control.

- Centro de Control. Está compuesto por un conjunto de computadoras, periféricos y software que realiza el procesamiento de las señales y la presentación de los datos al operador.

1.3.1.3. Características funcionales.

Un sistema SCADA posee muchas características, tanto funcionales como estructurales, ya que son programas creados para objetivos muy específicos. En este momento se mencionan algunas de las características funcionales más importantes, las cuales se pueden extraer de las notas de Rodríguez Penín (2007).

Cuando se va a implementar un sistema SCADA, para que su instalación sea perfectamente aprovechada, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Funcionalidad completa de manejo y visualización en sistema operativo de alto nivel sobre cualquier computadora estándar.
- Arquitectura abierta que permita combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario, que posibiliten a los integradores crear soluciones de mando y supervisión optimizadas (*Active X* para ampliación de prestaciones, OPC⁸ para comunicaciones con terceros, OLE-DB⁹ para comunicación con bases de datos, lenguaje estándar integrado como *Visual Basic* o C, acceso a funciones y datos mediante API¹⁰).
- Sencillez de instalación, sin exigencias de hardware elevadas, fáciles de utilizar, y con interfaces amigables con el usuario.
- Permitir la integración con las herramientas ofimáticas y de producción.
- Fácilmente configurable y escalable, debe ser capaz de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.

⁸ OLE for Process Control

⁹ Object Linking and Embedding-Data Base

¹⁰ Application Program Interface

- Ser independiente del sector y la tecnología.
- Funciones de mando y supervisión integradas.
- Comunicaciones flexibles para poder comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión). La topología de un sistema SCADA (su distribución física) variará adecuándose a las características de cada aplicación. Unos sistemas funcionarán bien en configuraciones de bus, otros en configuraciones de anillo. Unos necesitarán equipos redundantes debido a las características del proceso.

1.4. Telemedición.

Se incluyen en este capítulo varias sub-secciones sobre el tema de la telemedición porque el perfil del sistema SCADA que se pretende elaborar incluye la adquisición de datos a grandes distancias.

1.4.1. Características de los sistemas de telemedición.

1.4.1.1. Definición.

De acuerdo al profesor Carlos Ramírez (2010), de la Universidad de Los Andes en el estado de Mérida, Venezuela, la telemedición consiste en una medición efectuada con ayuda de elementos intermedios, que permiten que la medida sea interpretada a una cierta distancia del detector primario. La característica distintiva de la telemedida es la naturaleza de los sistemas de transmisión, que incluyen la conversión de la cantidad medida en una magnitud representativa de otra clase, que puede transmitirse convenientemente para la medición a distancia. La distancia real no tiene importancia. La cantidad a medir es la magnitud física, propiedad o condición que debe medirse.

1.4.1.2. Clasificación.

En los últimos años se ha producido un rápido aumento en el uso de la telemedición en aviación, meteorología y en el material de guerra, como los proyectiles teledirigidos. Esto, según Ramírez (2010), ha conducido a una marcada separación de las filosofías y técnicas de la telemedición en dos clases:

- La telemedición móvil.
- La telemedición fija.

En la telemedición móvil, el instrumento ha de funcionar durante un periodo de tiempo muy corto, a menudo solamente durante unos segundos. Al menos el elemento de transmisión debe considerarse como fungible; en este caso, la combinación suele someterse a una calibración global para cada prueba aislada en la cual se utiliza. Evidentemente, no puede existir ningún circuito físico de interconexión, con lo que el enlace por radio constituye una parte esencial del sistema.

Los sistemas fijos, en general, suponen la situación de los elementos transmisor y receptor en puntos fijos. Dichos elementos son de naturaleza permanente y se proyectan para funcionamiento durante largos periodos de tiempo. La transmisión de la señal entre las estaciones, generalmente, supone un circuito físico y aunque se utilizan los principios de transmisión por radio, las ejecuciones más corrientes requieren la transmisión de la señal mediante un camino conductor más o menos continuo.

1.4.1.3. Elementos de un Sistema de Telemedición.

Las notas de Ramírez (2010) describen que un sistema de telemedición se compone de tres elementos esenciales: una unidad de emisión, una unidad receptora, y un circuito de enlace, o canal, mediante el cual la variable (señal) originada en el emisor se traslada y se introduce en el receptor.

1.4.2. La telemedición en los sistemas SCADA.

Los sistemas SCADA son elementos cotidianos en la vida moderna, sobre todo en el sector industrial y en los servicios. Cuando se proyecta cómo adquirir los datos en un sistema SCADA, siempre se debe tener en cuenta el medio de transmisión que se empleará, y en muchas ocasiones, este determinará la arquitectura del sistema de adquisición a emplear, porque los costos pueden ser considerables.

En este momento también se debe esclarecer un término que se utilizará a continuación: medio de comunicación. En el artículo electrónico de Sierra Arias (2010), muy bien

documentado al respecto, se define como medio de transmisión, de forma general, al material físico cuyas propiedades de tipo electrónico, mecánico, óptico, electromagnético o de cualquier otro tipo se emplea para facilitar el transporte de información entre terminales distantes geográficamente. A través del medio de comunicación empleado para la telemedición o el telecomando se establecen uno o varios canales de medición por los cuales viaja la información.

Los medios de comunicaciones más comunes que existen actualmente para lograr la adquisición de datos en un sistema SCADA son:

- Cables de protocolos específicos (por ejemplo: *profibus*).
- Cable par trenzado (apantallado o sin apantallar).
- Cable de fibra óptica.
- Cable coaxial.
- Línea telefónica.
- Sistemas de radiocomunicaciones

La selección del medio de comunicación implica la selección de los elementos transmisores y receptores de la información, por ejemplo: tarjetas de comunicación o tarjetas DAQ, amplificadores de señal, conversores de protocolo. En el caso de utilizar canales de comunicación vía radio es muy común el empleo de dispositivos modem vía radio, también conocidos como **radiomodem**, y dispositivos de comunicación celular.

Cuando se emplea un bus de campo, este provee la tecnología necesaria para el traslado de las variables medidas: dispositivos de comunicaciones, medio de comunicación y protocolo.

1.5. Supervisión Energética a través de los sistemas SCADA.

Teniendo a disposición toda la información circunstancial al tema del trabajo concentrada y perfilada, las secciones posteriores se encargan de analizar qué sistemas similares al proyectado en este trabajo existen en el mundo y en Cuba, cómo han evolucionado, hasta

dónde ha llegado su desarrollo y si han existido las mismas necesidades que promueven el presente material. Una vez terminado este análisis se podrá validar la novedad de lo que aquí se pretende.

1.5.1. Necesidad de supervisar la energía eléctrica.

La energía eléctrica tiene como cualidad que no se puede almacenar, por tanto la mejor forma de hacer un uso eficiente de la misma es administrando o gestionando su consumo con políticas acertadas de ahorro y uso racional. Para lograrlo se requiere supervisar el consumo eléctrico a cada momento, lo cual permite gestionarlo, ya sea con medidas domésticas o empresariales.

Con el desarrollo de la electrónica y la informática en las últimas décadas se ha logrado un salto enorme en la fabricación de elementos de medición eléctrica más eficientes, robustos y con amplias capacidades de operación. Ello ha permitido integrar estos sensores a sistemas de supervisión y control (sistemas SCADA), los cuales son ampliamente utilizados en el mundo moderno.

1.5.2. Desarrollo de aplicaciones en el mundo.

El empleo de sistemas SCADA para la supervisión del consumo eléctrico es una práctica que se ha extendido en los últimos diez años muy rápidamente, incentivado por los costos cada vez más altos de la electricidad, lo que ha sido consecuencia a su vez de factores como: la menor disponibilidad de combustibles fósiles, agotamiento de los recursos energéticos minerales, conflictos armados que generan inestabilidad económica, desastres naturales, entre otros.

Muchas empresas en el mundo brindan soluciones al respecto, algunas utilizan sistemas SCADA de propósito general como *Loockout*, *WinCC*, *Intouch*, *Cx-Supervisor*, *Movicon*; y otras brindan sus propios productos diseñados a la medida. A continuación se presentan algunas de las soluciones vanguardistas en el mundo sobre este tema, pero si se quiere lograr un análisis efectivo de la funcionalidad y actualidad en cada caso, es necesario plantear una pregunta básica y argumentar su respuesta:

1. ¿Cuáles son sus limitaciones funcionales principales?

1.5.2.1. Sistema TELGECS.

El primer análisis es sobre el proyecto TELGECS (Telemedición y Gestión de la Calidad del Servicio) creado por la Empresa Distribuidora de Energía de Tucumán en la ciudad de San Miguel de Tucumán en Argentina. Este proyecto lo detallan los Ingenieros Pablo González y Sebastián Lizárraga (2010) en el evento "CIDEL" en el año 2010.

Según estos profesionales, desde el año 2004, el sistema TELGECS se diseñó y se ha venido actualizando con el objetivo de que los usuarios del sistema puedan acceder a la información del Producto Técnico (valores promedio e instantáneos) y del Servicio Técnico (cortes de energía) de cada estación remota en forma transparente y en tiempo real. Se puede ver en la figura 1.1 la arquitectura general del sistema completo.

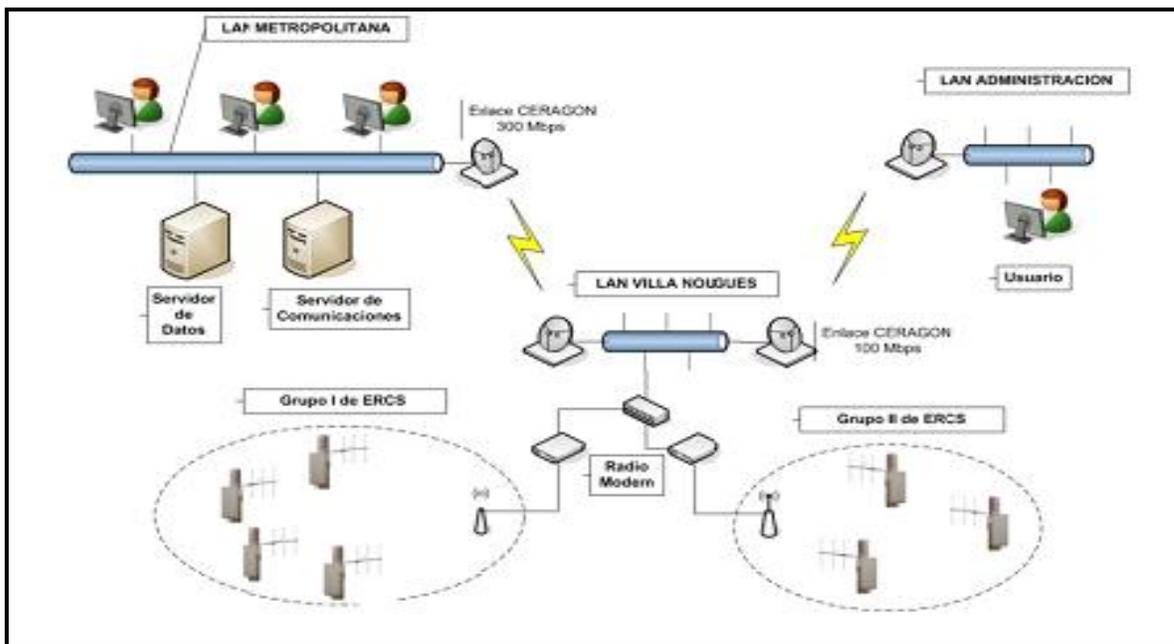


Figura 1.1: Esquema topológico del sistema TELGECS.

El sistema TELGECS es una solución creada para supervisar en tiempo real los consumos de energía de los clientes en la ciudad y como se puede observar ya llevan un tiempo de casi siete años en el perfeccionamiento de este producto, por lo que la calidad del servicio que brindan ha ido creciendo.

En respuesta a la pregunta planteada se puede expresar con seguridad, según González y Lizárraga, que TELGECS cumple a cabalidad sus objetivos, pero por otra parte, no es una

solución generalizable para otras necesidades pues por ejemplo, los medios de comunicación para la transmisión de las señales medidas son radiomodem, los cuales tienen un alcance limitado y sería inviable utilizarlos para supervisar clientes más allá de las fronteras del área de cobertura de dichos dispositivos.

1.5.2.2. 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 (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 1.2.

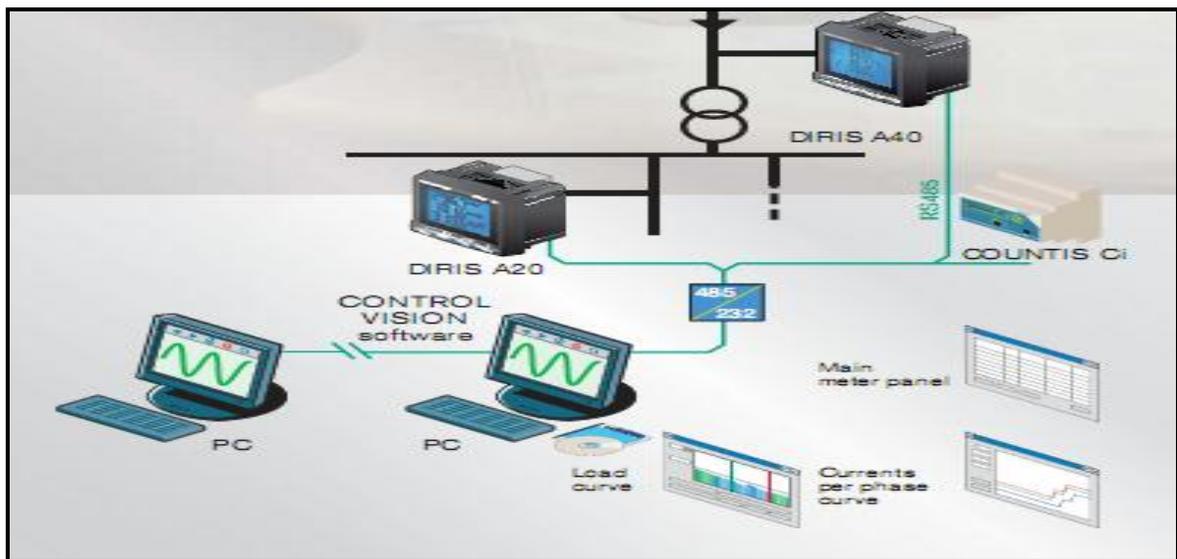


Figura 1.2: Esquema topológico del sistema “Control Vision”.

La propaganda que respalda este sistema (SOCOMEC-Inc. 2010) alaba sus capacidades, ya que las mismas le permiten una gran funcionalidad, por ejemplo: el sistema está diseñado para comunicarse con todos los dispositivos conectados a él, a través de lo cual puede mostrar todos los valores eléctricos medidos. El usuario puede crear reportes de muchas variables eléctricas en un periodo de tiempo seleccionado y también 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 mas duraderas en cuanto a supervisión de energía según el fabricante.

Como análisis de este sistema se puede ver que las capacidades de expansión geográfica de Control Vision también son limitadas, incluso menos que el TELGECS, pues su medio de comunicación es un bus RS-485, el cual sin repetidores alcanza una distancia máxima de 1200 metros, pero aun así, sería muy difícil utilizarlo en el área metropolitana de una ciudad. Preferentemente su uso es para empresas, oficinas y sitios domésticos.

1.5.2.3. Sistema TelevisNet.

En el continente europeo se encuentran varios ejemplos de sistemas supervisorios acoplados a elementos de medición de consumo eléctrico. Ilustrativo es el caso del sistema TelevisNet diseñado por la empresa española “Eliwell”, especializada en equipos de refrigeración. Como bien dice el argumento de sus creadores (Momplet 2006), el software Televis ha evolucionado desde un simple paquete de software hasta convertirse en una solución completamente integrada, compuesta por una serie de programas, cada uno desarrollado para satisfacer necesidades concretas.

Se hace necesario aclarar que el sistema Televis está diseñado específicamente para la supervisión de equipos de refrigeración, pero ello incluye los dispositivos que miden el consumo eléctrico de estos equipos ya que es una cualidad de dispositivos de refrigeración ser altos consumidores de energía eléctrica.

Un caso particular de uso lo brinda la misma revista “Momplet” antes citada en otro de sus artículos. Según este artículo (Momplet 2007), la cadena de tiendas española “Eroski”, solicitó los servicios de la empresa “Eliwell”, para la supervisión de sus instalaciones, sobre todo el área de medidores de electricidad y cámaras frías, logrando un notable ahorro energético. Los datos del sistema llegan al centro de control “Eroski”, en el País Vasco, donde personal adecuadamente preparado por “Eliwell” mantiene bajo control mediante un sencillo navegador de Internet y una interfaz de usuario particularizada el funcionamiento de las instalaciones, así como el estado de las alarmas que llegan de todos los supermercados de la cadena, activando en caso de ser necesario intervenciones de mantenimiento realizadas por una red de instaladores especializados. El equipo de “Eliwell Ibérica” puede acceder de manera remota al TelevisNet para supervisar los consumos energéticos de la instalación, una función particularmente útil en esta instalación concreta, donde se ponen a prueba en vivo distintos sistemas de ahorro energético.

Concluyendo la referencia al sistema TelevisNet, se puede analizar en los artículos revisados que la solución brindada es muy completa, pero está sobredimensionada para el caso de la supervisión de energía eléctrica, pues el sistema monitorea muchos otros parámetros relacionados con la refrigeración, por lo cual tiene un valor añadido que es necesario pagar de más, en caso de ser utilizado únicamente como supervisor de energía eléctrica.

1.5.2.4. Sistema E.online.

Otra solución interesante al respecto es brindada por la empresa “*Enerdis Chauvin Arnoux Group*” de Francia. En un artículo electrónico (Enerdis 2010), informan las novedades y bondades del sistema para la supervisión de parámetros energéticos: E.online.

Según “Enerdis” (2010), E.online es un software especializado en el procesamiento y el análisis de datos energéticos (electricidad, agua, gas, calorías, etc.), adquiridos a través de dispositivos para la medición de estos. En el caso específico de la electricidad, E.online ayuda a estabilizar las redes eléctricas ante los desbalances de energía y determina los factores que la provocaron. La supervisión del consumo eléctrico es otra de sus potencialidades. Para estas operaciones se apoya en la medición de los metrocontadores de los modelos Ulys, Mémo 3 y CCT/Enerium. En la figura 1.3 se puede observar la arquitectura utilizada por E.online para adquirir los valores desde los dispositivos de campo.

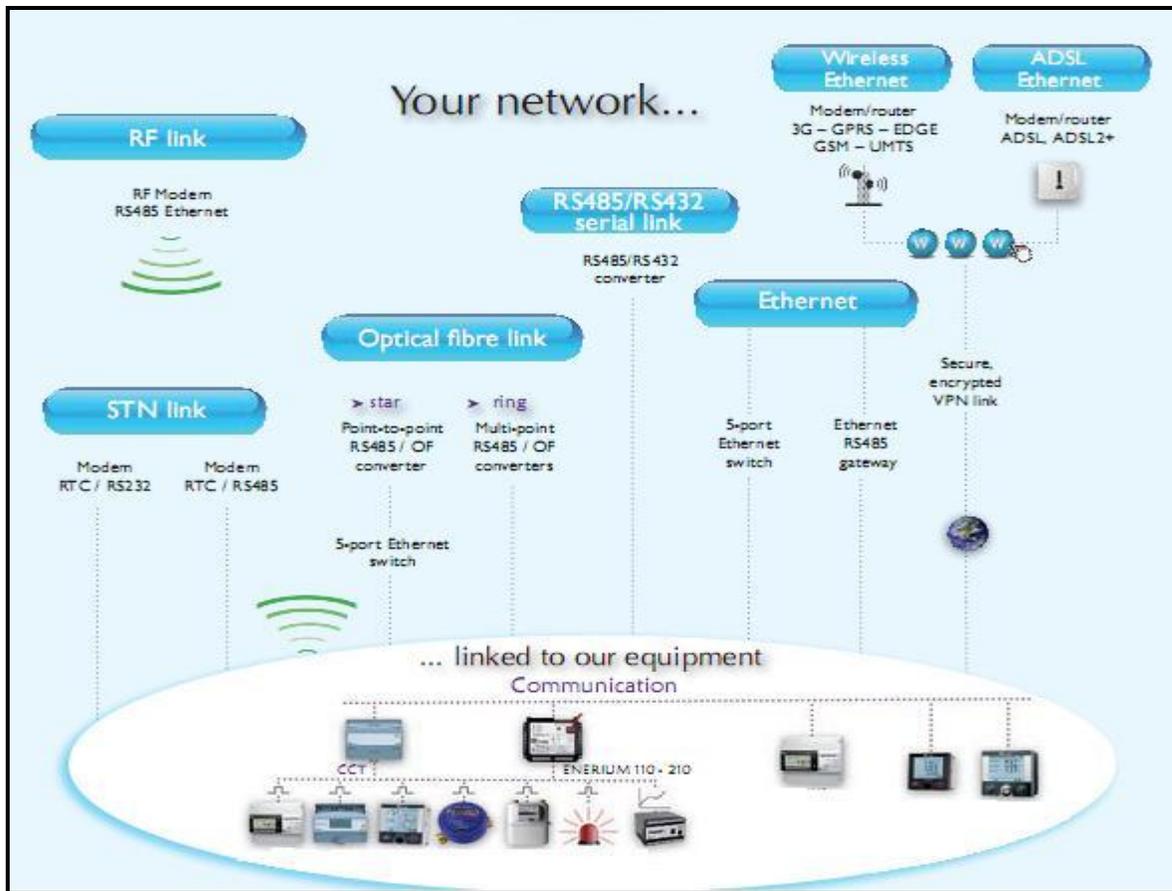


Figura 1.3: Arquitectura de *E.online* para la adquisición de datos.

Como valoración final de este sistema se puede concluir que es excelente en cuanto a funcionalidad y prestaciones, sobre todo tiene una amplia gama para la telemedición remota que puede abarcar zonas tan grandes como se desee. Pero tiene una característica al igual que el caso anterior analizado: de ser empleado solamente en supervisión del consumo eléctrico, se encontraría subutilizado, teniendo potencialidades adicionales por la cuales hay que pagar al adquirir el producto.

1.5.2.5. Sistema Power Logic Ion Enterprise de Schneider Electric.

Power Logic Ion Enterprise, es uno de los sistemas SCADA más utilizados en la supervisión de parámetros de potencia. Creado por la firma Schneider Electric, el Ion Enterprise, como se le conoce comúnmente, es un poderoso conjunto de herramientas de software muy útiles para el manejo de sistemas de potencia y el análisis de los datos procesados, ayudando a reducir los costos de la energía eléctrica que se consume

(referenciar). Este sistema puede procesar, analizar, almacenar y compartir datos para lograr una gestión energética más eficiente. En la figura 1.4 se puede observar la arquitectura de planta del *Ion Enterprise* (Schneider-Electric 2010).

Algunas características del *Ion Enterprise* son:

- Ayuda a reducir el pico de máxima demanda.
- Reduce las penalizaciones por concepto de mejora del factor de potencia.
- Habilita la participación de programas externos para estudios de carga.
- Valida la calidad de la energía.
- Gestiona los contratos de energía.
- Verifica la vez operación del equipamiento.

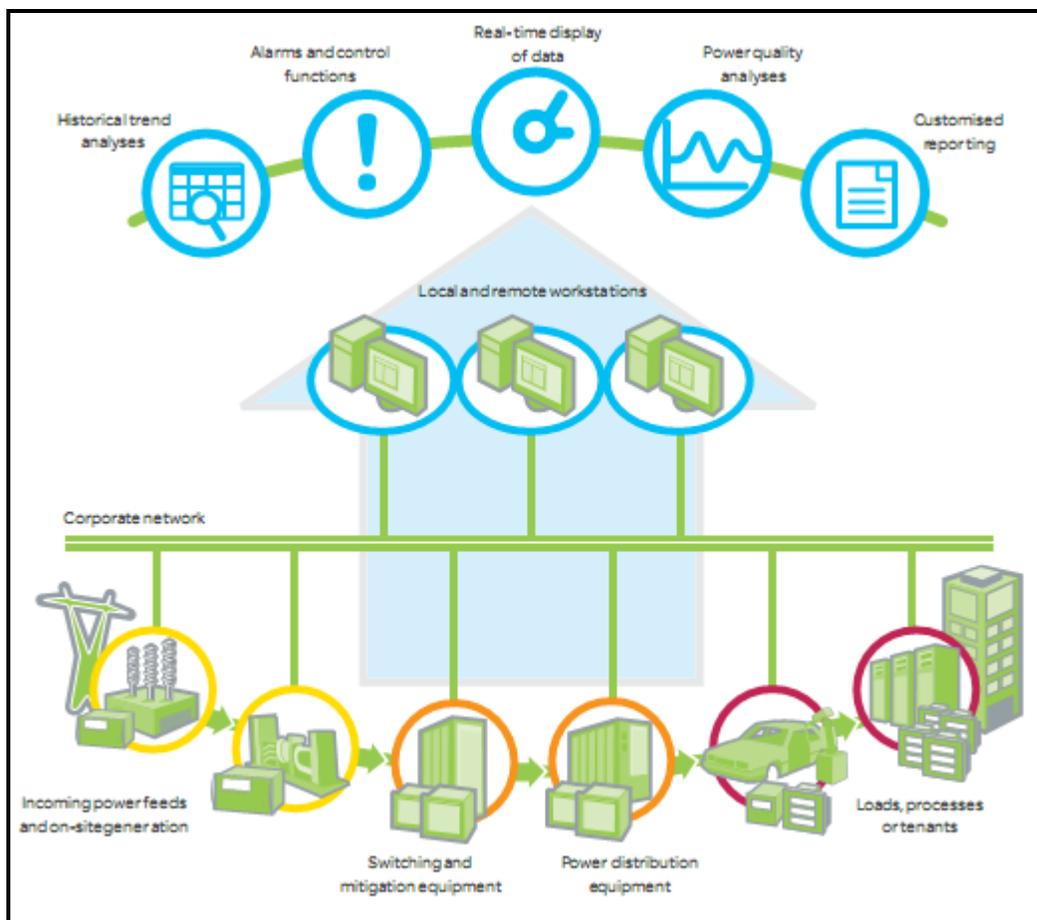


Figura 1.4: Esquema arquitectónico y funcional del *Ion Enterprise*.

Según el grupo Schneider (2010) el *Ion Enterprise* es una solución inteligente para supervisar energía eléctrica a través de un sistema SCADA, pero tiene algunos factores negativos.

- Requiere de altas capacidades de recursos de hardware.
- No posee drivers para la gama de metrocontadores que se utilizan en Cuba.
- Su costo es elevado.

1.5.2.6. Sistema Power Studio de CIRCUTOR.

CIRCUTOR es una empresa fundada en 1973 cuyo objetivo principal es la fabricación de equipos de protección eléctrica industrial y la medida y control de la energía eléctrica. Cuenta con un grupo de I+D¹¹ con mas de 50 ingenieros y ha desarrollado sistemas para la gestión energética dentro de los cuales se destaca el SCADA Power Studio (CIRCUTOR 2006). La principal función de Power Studio es la comunicación con los equipos CIRCUTOR, y la elaboración posterior de tablas y gráficas de los históricos registrados. Algunas de las principales prestaciones de Power Studio son:

- Visualización de parámetros en tiempo real.
- Módulo de alarmas.
- Software multipuesto (Servidor Web) mediante pantallas estáticas.
- Gran versatilidad y muy fácil uso.
- Acceso a través de Internet con contraseña y posibilidad de creación de perfiles de acceso.

Si se quisiera instalar un sistema SCADA a base de sensores CIRWATT, sin duda alguna la mejor solución sería Power Studio, pero en un sistema concebido con sensores o

¹¹ Investigación + Desarrollo

analizadores de redes de diferentes firmas, su uso se ve limitado, pues como indican sus características solo posee *drivers* para equipos de la firma CIRCUTOR, que en su mayoría implementan el protocolo *Modbus*.

1.5.2.7. Sistema de Telegestión de Endesa.

Un proyecto muy ambicioso lo lleva a cabo la empresa Endesa en Sevilla, España lo cual se informa a través un artículo de la agencia “Europa Press” (2010), donde se ha puesto en marcha el “Centro de Operación del Sistema de Telegestión”, el cual permitirá gestionar y supervisar desde Sevilla todas las actuaciones de control remoto sobre la red eléctrica a través de los 13 millones de telecontadores que quedarán instalados en España en 2015 y que suponen una inversión de 1.600 millones de euros, de los que unos 500 millones serán para Andalucía.

Este sistema de telegestión (supervisión remota), permite al cliente conocer los datos de su consumo eléctrico en tiempo real, lo cual le permite planificarlo, y además supone realizar de manera remota e instantánea todas las operaciones de alta y baja de contrato, reconexiones, control de potencia y cambios de tarifa. También proporciona información fiable y constante sobre el comportamiento de la red, lo que permite una mejor toma de decisiones de explotación; mejora la eficiencia global del sistema eléctrico y podrá evitar sobrecargas; además contribuye a disminuir las pérdidas de distribución; y favorece la gestión de la demanda energética, contribuyendo a la eficiencia energética y a la reducción de emisiones de dióxido de Carbono.

Detalla el texto del artículo de la agencia europea (Europa-Press 2010), que Endesa comenzó a trabajar en el proyecto de telegestión en 2002, ante la necesidad de aplicar la telegestión a los clientes domésticos para que puedan planificar de forma eficiente, flexible y exacta los consumos eléctricos. En 2007 y 2008 se realizaron las primeras pruebas piloto con 12.000 clientes en Andalucía y Cataluña.

Endesa presentó en septiembre del año 2009 su solución de telegestión, en el marco del salón "*Metering Europe 2009*", celebrado en Barcelona (Diario-El_Dia 2010).

Este es uno de los sistemas más completos y específicos para la supervisión de energía eléctrica de lo que se han analizado en este trabajo. Su funcionalidad es amplia y aumenta su espectro de visión a los propios clientes, quienes pueden conocer en detalle y en tiempo real los detalles de su consumo eléctrico, lo cual permite hacer una planificación del mismo.

1.5.2.8. Sistema Telegestore.

Los últimos sistemas SCADA que se analizan aquí son soluciones muy recientes y al igual que el de Telegestión de Endesa, constituyen productos muy completos y centrados en la medición directa de los consumos eléctricos de los clientes.

Según el ingeniero italiano Marco Cotti (2011) de la empresa italiana de electricidad ENEL, en un artículo publicado en la revista "Electroindustria", el sistema SCADA Telegestore le permite a la empresa distribuidora de electricidad leer, monitorear y controlar de manera remota los medidores de más de 30 millones de sus usuarios en Italia.

En este proyecto, el medidor no sólo mide el consumo de energía, sino que también supervisa parámetros importantes para la gestión de la red. Asimismo, tiene funcionalidades que permiten, por ejemplo, el prepago y diseñar nuevas tarifas "verticales", según franjas horarias o cantidad de energía utilizada.

De acuerdo a la opinión de Cotti (2011), respecto a los metrocontadores usados por el sistema Telegestore, a nivel de hardware, no hay otro medidor en el mundo con un nivel similar de funcionalidades, que forme parte de un sistema que está funcionando con más de 25 millones de clientes, manejando hoy día más de 100 mil transacciones y 600 mil lecturas diarias. Sin embargo, el verdadero éxito de Telegestore no está en el diseño del hardware, sino que se encuentra en haber integrado exitosamente los distintos aspectos del proyecto, que incluyó el diseño de nuevos procesos y de un sistema central que pudiera intercambiar datos con las plataformas existentes de la empresa, de modo que pudiera permitir una gestión eficaz y que brindara ganancias tanto para el usuario como para ENEL.

También expresa Cotti (2011) en su publicación, que ENEL e IBM anunciaron hace 2 meses una alianza para ofrecer a las empresas de todo el mundo este sistema. De esta forma

se espera que aumenten el número de instalaciones alrededor del globo, lo que asegurará, en parte, la renovación y desarrollo de esta plataforma.

1.5.2.9. El proyecto “*Meters and More*”.

El proyecto más completo y abarcador de cuantos existen en el mundo lo lleva a cabo una asociación fundada por dos de las empresas que ya se han mencionado anteriormente como parte de este trabajo; “*Meters & More*” fue creada por Endesa y ENEL las más grandes compañías de electricidad de España e Italia respectivamente, como una asociación internacional sin ánimo de lucro para la implantación de soluciones globales de medición inteligente.

En la web de la propia asociación se puede encontrar información detallada sobre sus objetivos (Meters&More 2010). Esta asociación se ocupará del funcionamiento y de la promoción del protocolo de comunicación de nueva generación y estará abierta a terceros. Estará ubicada en Bruselas y recibirá personalidad jurídica mediante Real Decreto. El protocolo hace posible la transferencia bidireccional de datos entre contadores inteligentes y sistemas centrales de facturación en un entorno avanzado de medición inteligente (*Advanced Smart Metering*). La iniciativa es un paso tangible hacia la implantación del Mandato 441 de la Comisión Europea de conseguir soluciones paneuropeas estándar de medición inteligente.

En 2001, “Enel” inició un programa de inversión de 2.000 millones de euros, cuyo propósito era sustituir los contadores electromecánicos tradicionales por nuevos y modernos dispositivos electrónicos en un periodo de 5 años. Hoy, los nuevos contadores inteligentes proporcionados por la solución AMM de “Enel”, que ya se han instalado a los 32 millones de clientes del grupo en Italia, pueden gestionarse localmente y por control remoto (Diario-El_Dia 2010).

Gracias al establecimiento de “*Meters and More*”, “Enel” y “Endesa” pondrán su tecnología probada en la práctica a disposición de proyectos como “Open Meter”, por los que se está llevando a cabo la implantación del mandato de la Comisión Europea de estandarizar las soluciones de gestión de medición remota en todo el continente (Diario-El_Dia 2010).

La telegestión permite al cliente conocer los datos de su consumo y de su coste de forma detallada y casi instantánea, ofreciéndole la posibilidad de elegir las mejores tarifas para sus necesidades. Asimismo, todas las operaciones comerciales se podrán realizar de manera remota e inmediata para mayor comodidad del cliente.

Informa además “*Meters and More*” (2010), que el sistema diseñado utilizará el Telegestore de “Enel”, el cual es la solución que ya funciona en todo el mundo para 32 millones de clientes.

Hasta aquí, como se mencionó a inicio de la sección, este es el esfuerzo de mayor envergadura que se encuentra en proyecto para supervisar el consumo de cada uno de los clientes afiliados. No solo brinda información de operación y consumo a las empresas que brindan el servicio eléctrico sino que cada cliente puede tener acceso remotamente a los datos de su propio consumo, además de un cúmulo de información adicional que le orienta en el uso racional de la energía que se le brinda.

1.5.3. Actualidad 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.

Una de las primeras aplicaciones al respecto surge en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas donde se crea un software para la supervisión en tiempo real del consumo eléctrico utilizando los metrocontadores *ABB Vision*. Este software se crea por necesidad de la empresa eléctrica del territorio de Villa Clara, para monitorear los parámetros energéticos de las subestaciones de la provincia. Aquel trabajo constituye la

base del que se presenta en este proyecto de maestría y en el capítulo tres se detallará aun más su arquitectura y funciones.

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 ASPELFAC (Adquisición Automática de Parámetros Eléctricos, Supervisión y Facturación) 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 *Circutor 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.

1.5.4. Valoración sobre los sistemas creados en Cuba.

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 aun 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.

En un país donde cada gota de combustible cuenta y hay que importarlo, sería de gran utilidad que la Unión Eléctrica en conjunto con cada uno de sus clientes, pueda tener un mecanismo para automatizar la gestión de la energía eléctrica que se le brinda a cada usuario. Este mecanismo debería basarse en un sistema SCADA de gran alcance, donde se pudieran supervisar los consumos de grandes y medianos consumidores en tiempo real, lo cual permitiría crear un eficiente mecanismo de gestión que puede incluso, ser incorporado al sistema SCADA, automatizando aun más las acciones que se pudieran realizar. Todos estos recursos contribuirían a lograr un uso cada vez más racional de la energía eléctrica que se consume en Cuba.

Cada uno de los sistemas extranjeros analizados utiliza medidores eléctricos específicos, por tanto, de pensarse en importar uno de ellos, como el Telegestore, habría que incurrir en un gasto enorme, al tener que cambiar toda la infraestructura de metrocontadores existente hoy en el país, 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 para la telemedición 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.

1.6. Significado del sistema SCADA en el presente trabajo

La dirección nacional del URE en Cuba (Uso Racional de la Energía) ha planteado la necesidad que en el país se incrementen las soluciones que motiven el ahorro de portadores energéticos, sobre todo aquellos relacionados con la generación eléctrica. De esta forma surge una propuesta de proyecto para supervisar el gasto eléctrico de los grandes y medianos consumidores de este recurso. Surge la idea de crear una solución SCADA para instalarlo en forma de sistema piloto en la provincia Villa Clara, ya que las aplicaciones creadas hasta el momento no cubren el alcance necesitado. De implementarse esta primera idea, sería un antecedente para una extensión más exigente a nivel de nación.

El presente trabajo pretende dar solución a esta necesidad, que de implementarse en la práctica: equipararía a Cuba con los países desarrollados en el máximo nivel de aplicación de la informática aplicada al ahorro de portadores energéticos; se obtendría de inmediato una sustancial mejora en el empleo racional de la electricidad que se consume, lo cual llevaría a gastar menos energía eléctrica y por lo tanto un ahorro de combustible considerable. Lo antes mencionado justifica con creces el desarrollo de la aplicación.

1.7. Consideraciones finales del capítulo.

El empleo de los sistemas supervisorios o sistemas SCADA, en función del ahorro de energía eléctrica, ha venido creciendo ininterrumpidamente en los últimos 10 años, influenciado por la necesidad de un empleo más racional de la energía eléctrica. El desarrollo de los elementos electrónicos de medición también ha potenciado que se haga con mayor facilidad y calidad. Del proceso investigativo realizado en este capítulo se puede comprobar que, sobre todo en los países europeos, se llevan a cabo los mayores esfuerzos para lograr un sistema unificado de telemedición de la energía eléctrica para controlar consumos y operación de las redes eléctricas, lo cual se torna un poco contradictorio pues la filosofía capitalista actual es continuar con el estímulo al consumismo desmedido. Por suerte para el mundo hay personas e instituciones que se dan cuenta que el ritmo de gasto de los materiales fósiles llevará a que se agoten antes de lo planificado, por tanto es mejor

hacer un uso racional de ellos y el control de la energía eléctrica es un punto importante en este sentido.

Por otra parte, de la situación nacional, los sistemas que se han creado hasta el momento solo se encuentran experimentalmente y en alguna medida en aplicaciones puntuales como es el caso del software de la empresa “Copextel” división Villa Clara. Pese a estos discretos avances, no se ha diseñado nunca un sistema de mayor magnitud, que contemple la supervisión energética de miles de usuarios, domésticos y empresariales, sobre todo en un país como Cuba, donde se genera casi toda la electricidad con petróleo y la mayoría hay que importarlo, pues nuestras fuentes son muy escasas y de mala calidad.

Capitulo 2

Capítulo 2: Diseño de la arquitectura del sistema SCADA.

2.1. Introducción al capítulo.

Un punto importante en el presente trabajo lo constituye la selección de la arquitectura y las particularidades del sistema SCADA, para la supervisión de consumos eléctricos en la provincia de Villa Clara. Para lograr este propósito, se toma como punto de partida los requisitos funcionales brindados por las instancias rectoras del proyecto, en este caso: la Organización Básica Eléctrica de Villa Clara y la Dirección Nacional de Uso Racional de la Energía. Un peso fundamental en las decisiones estructurales, lo brinda la forma de comunicación que se empleará para adquirir los valores eléctricos de los centros consumidores a través de los metrocontadores, o sea, la forma en que se realiza la telemedición; es por ello que se pone especial énfasis y detalle en el diseño de las comunicaciones del sistema SCADA. El resto del capítulo detalla la ingeniería de software utilizada para diseñar el programa SCADA.

2.2. Requisitos funcionales del sistema de supervisión y metodología de trabajo.

Cuando se crea una solución personalizada en cualquier ámbito de la técnica, es indispensable tener en cuenta los requisitos exigidos por el cliente, ya que la entidad o persona que solicita el servicio o el producto es la que paga y hace uso final del mismo. Los requisitos funcionales responden a la pregunta: ¿cómo debe operar o funcionar determinada solución para que satisfaga las necesidades del cliente? Para ello la empresa o persona que funge como cliente, exige ciertas pautas que deben cumplirse a fin de que el producto final sea funcional en el ámbito donde se utilizará.

En el caso del sistema SCADA que requiere la OBE, los requisitos funcionales que brindó esta empresa se detallan a continuación:

- 1) El sistema SCADA tiene que supervisar los consumos eléctricos de al menos 127 consumidores en la provincia de Villa Clara.
- 2) El periodo de medición para cada empresa será de 15 minutos como máximo.
- 3) El sistema SCADA debe tener capacidad para manejar los datos de los contratos con las empresas, a fin de evaluar el gasto de energía eléctrica en cada medición.

- 4) El sistema SCADA debe ser escalable para en el futuro adicionar nuevos centros a supervisar.
- 5) La comunicación deberá tener una cobertura total en toda la provincia.
- 6) El equipamiento tecnológico que se utilice debe ser robusto y fiable para el trabajo en ambientes industriales y en condiciones climatológicas adversas.

El diseño estructural del sistema SCADA como software requiere un arduo trabajo, pero a través de la metodología correcta del diseño orientado a objetos, la complejidad del mismo se ve reducida a la codificación y la implementación del protocolo o los protocolos, en caso de no disponer de bibliotecas que ya los contienen.

Sin embargo, la fase más compleja de este trabajo radica en la forma de llevar los datos adquiridos por los metrocontadores hasta el sistema central, o sea, hasta la computadora donde se ejecuta el supervisor, ya que el alcance del sistema exige que pueda adquirir datos de consumo energético en empresas distanciadas hasta un centenar de kilómetros del centro de control. Es por ello que se ha puesto interés marcado en este capítulo en describir el diseño de la red de telemedición que podría utilizarse en la adquisición de los datos remotos.

Para ordenar y facilitar el trabajo se hace necesario crear una metodología de diseño a través de tareas concretas y con objetivos muy bien definidos en cada caso. Las tareas y el orden de su ejecución se mencionan a continuación.

1. Selección de los dispositivos de medición de energía.
2. Selección del medio de comunicación.
3. Selección de los dispositivos y la forma de transmisión de los datos.
4. Selección de la topología de la red.
5. Diseño y modelado del software de supervisión (SCADA).
6. Implementación del software (SCADA).
7. Ejecución de pruebas reales y análisis de los resultados.

El primer paso de esta secuencia operativa se encuentra ya realizado, pues los sensores eléctricos que se utilizarán en el sistema son los mismos metrocontadores digitales programables que ha instalado la OBE de Villa Clara desde el año 1998, fecha en la cual estos comenzaran a sustituir los antiguos contadores electromecánicos del sector industrial. Los metrocontadores en cuestión son los modelos: *ABB A1700*, *DTSD 341 Shangsha*, *Circuitor Cirwatt C*.

Los pasos anteriormente presentados como metodología para el desarrollo del trabajo, constituyen el hilo conductor de las secciones del presente capítulo, en ellos se describe el desarrollo de cada una de las tareas profundizando en los aspectos más neurálgicos.

2.3. Diseño del sistema SCADA.

2.3.1. Sistema de Comunicaciones.

A través de la información brindada por la OBE Villa Clara sobre la ubicación de los mayores centros consumidores de la provincia, y tomando como base el conocimiento de los medios de comunicación necesarios para la adquisición de datos, analizado en el capítulo 1, se determinó que la mejor forma de establecer un enlace con los metrocontadores de las empresas es por el espacio radioeléctrico. Esta decisión se justifica ya que el otro medio viable es la línea telefónica, pero en muchos casos estas no existen, como en los motores de las turbinas de bombeo de agua para la agricultura y en los lugares donde existe el teléfono, este se utiliza para funciones específicas lo cual generaría un problema costoso adicional.

El espacio radioeléctrico tiene como ventajas:

- Se reducen los costos de instalación de cableado y el tiempo de instalación.
- Se facilita la comunicación a áreas de difícil acceso, posibilitando controlar algún proceso remoto, monitorear datos o variables remotas para sistemas SCADA.
- Permite portabilidad, es decir, se puede tener acceso a la red donde se quiera y se mejoran las capacidades de mantenimiento.

Para emplear la comunicación por radioondas se necesita seleccionar un equipamiento que lo permita pero que además cumpla con los requisitos funcionales exigidos por la OBE,

básicamente con el último requisito: el equipamiento tecnológico que se utilice debe ser robusto y fiable para el trabajo en ambientes industriales y en condiciones climatológicas adversas. Esta exigencia está dada porque los dispositivos de comunicaciones tienen que enfrentarse a diversas condiciones adversas como: vibraciones, altas temperaturas, humedad, polvo, ruido, líneas de alta potencia, descargas eléctricas, lluvia, fuertes vientos; algunas de estas condiciones pueden presentarse en los diferentes consumidores en los cuales se llevará a cabo la supervisión remota.

2.3.2. Dispositivos de comunicaciones.

Ante estas condiciones se seleccionaron dos dispositivos comunicacionales, diseñando con cada uno de ellos una variante para una red de metrocontadores.

- 1- Radiomodem.
- 2- Tecnología Celular.

2.3.2.1. Radiomodem.

Como se mencionó en el contenido del primer capítulo, el radiomodem, no es otra cosa que un modem que en lugar de transmitir datos por la vía telefónica, la realiza usando como canal el espacio radioeléctrico. Para tener idea exacta de su aspecto véase la figura 2.1. Los radiomodems, según la empresa especializada “Sistemas & Control” (2009), se conectan físicamente a los dispositivos y al transmitir los datos, a través del espacio, eliminan la mayor parte de las siguientes debilidades:

- Interferencias generadas por los inversores, las cuales solo pueden tener relevancia si afectan al propio radiomodem, pero superado esto, no pueden afectar al resto de la red.
- Degradación del cable instalado a la intemperie, los radiomodems no se degradan, siempre y cuando el tipo seleccionado esté preparado para un largo ciclo de vida y operar en un entorno agresivo como el de una industria.
- Posibles cortes mecánicos, una vez realizadas las comprobaciones de cobertura (teniendo en cuenta las condiciones más desfavorables, especialmente en el caso de industrias con seguidores) las comunicaciones están garantizadas. No pueden

producirse cortes permanentes, y en todo caso estos son puntuales y no afectan la disponibilidad de los datos gracias a las estrategias de reintentos del protocolo.

- Descargas de rayos y sobretensiones, un radiomodem se verá afectado indudablemente por una descarga eléctrica o sobretensión, pero por otro lado incorpora sus propias protecciones y cuando estas sean insuficientes, producirán un daño localizado en los dispositivos conectados, pero no se propagará el daño a toda la red.



Figura 2.1: Radiomodem.

El costo de los radiomodem es variable, pues depende de sus características funcionales y especialmente de su alcance y frecuencia, el rango de precios en los que se pueden encontrar es de 50 USD¹² a 300 USD.

2.3.2.2. Tecnología Celular.

El dispositivo para la comunicación con tecnología celular seleccionado fue el T-Box. Este equipo es una moderna invención constituida básicamente por la unión de un PLC y una

¹² United States Dollar

RTU con facilidades extraordinarias para la comunicación, incluyendo un módulo de transmisión celular. Observar la figura 2.1.

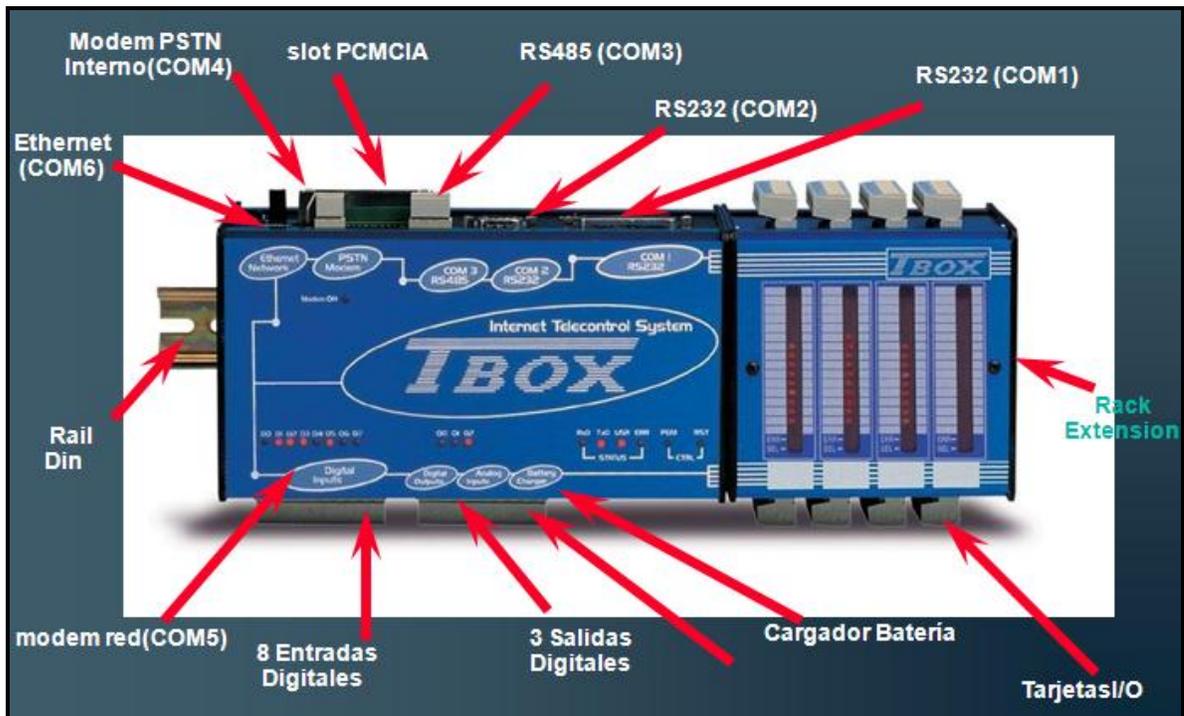


Figura 2.2: Dispositivo T-Box estándar.

El T-Box, de acuerdo a la información brindada por “Copextel” (2009), posee seis funciones dentro de un mismo equipo:

1. Automatización local, ya que es un poderoso PLC¹³, con funciones de RTU¹⁴ incorporadas.
2. Compatible TCP/IP¹⁵, lo cual flexibiliza el equipo, permitiendo al usuario desarrollar sus propias aplicaciones. No es necesario contar con un software SCADA.
3. *Data-Logger* inteligente.

¹³ Programmable Logic Controller

¹⁴ Remote Terminal Unit

¹⁵ Transmission Control Protocol/Internet Protocol

4. Multiplataforma de comunicaciones.
5. Sistema de alarmas múltiples.
6. Interface para protocolos específicos.

Estas características hacen del T-Box un dispositivo ideal para utilizarlo en áreas de la automática donde se necesiten técnicas eficientes de telemedición y telecontrol.

Los T-Box a diferencia de los radiomodem son dispositivos caros en cuanto a su precio monetario, el cual depende del modelo y de las funcionalidades, pero usualmente se cotizan en el rango de 1500 USD a 3000 USD por cada unidad, con mayor o menor cantidad de módulos.

2.3.3. Variantes de arquitectura según la forma de comunicación.

Una vez realizada la selección del medio y los dispositivos a utilizar se presentan dos variantes para la transmisión de los datos. Las mismas se nombran y detallan a continuación:

1-Células municipales con cobertura provincial.

2-Comunicación centralizada con tecnología celular.

2.3.3.1. Primera Variante: Células municipales con cobertura provincial.

En la figura 2.3 se puede observar el esquema arquitectónico de las comunicaciones de la primera variante.

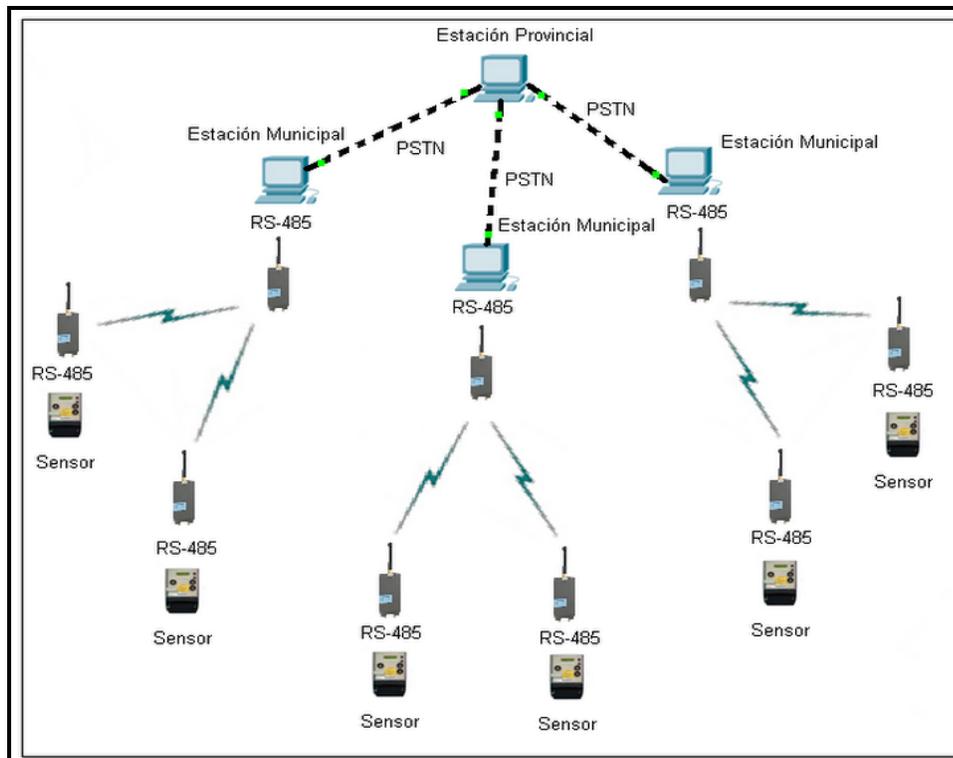


Figura 2.3: Representación esquemática de la variante 1.

Esta variante tiene como características:

Topología: Estrella

Norma de Cx: RS-485

Protocolo: Modbus RTU

Medio de Cx: Radiofrecuencia y PSTN¹⁶

Descripción:

La provincia se divide en células, cada municipio constituye una célula de medición y cada célula estaría compuesta por los siguientes elementos:

- 1 Una estación maestra de recepción de los datos (computadora personal) donde se encuentra el software que realiza la encuesta a todos los dispositivos de medición.
- 2 Una red física de enlace de los metrocontadores digitales programables, instalados en

¹⁶ Public Service Telephone Network

los consumidores, unidos con la estación maestra de recepción de datos por dispositivos de comunicación “Radiomodems”.

- 3 Una línea telefónica dedicada para la transmisión de los datos en tiempo real desde la estación maestra de la célula con las estaciones de supervisión y control en el despacho central en la provincia.

Funcionamiento a nivel de municipio:

- Existirá un metrocontador digital programable en cada centro consumidor, unido a un radiomodem a través de un puerto de comunicación RS-232/RS-485 o IEC61130 (terminal óptico).
- En un lugar habilitado en el municipio, existirá una computadora, enlazada a un hardware de red en cuyos terminales se encuentra la pareja de los radiomodem ubicados en los centros consumidores. Dicha computadora es la base del sistema de medición ya que en ella se ejecuta el software que encuesta los metrocontadores.
- Los radiomodems tendrán un alcance entre 10 y 60 kilómetros, dependiendo de la distancia del centro municipal de medición hasta las empresas consumidoras, y deberán operar en frecuencias libres. Las líneas de transmisión deberán ser protegidas ante eventos meteorológicos.

Funcionamiento a nivel de provincia:

- Las PC de cada célula municipal se conectan a través de una línea telefónica dedicada a las PC de gestión del sistema provincial, los datos son almacenados en una base de datos acoplada al software.
- Las PC de gestión en el despacho provincial hacen los cálculos y análisis gráficos y estadísticos necesarios, en tiempo real para su presentación inmediata.
- El tiempo transcurrido desde el inicio de la medición del metrocontador hasta la presentación de la información en las pantallas del operador en la provincia, no sobrepasa un minuto.

2.3.3.2. Segunda Variante: Comunicación centralizada con tecnología celular.

La segunda variante diseñada para este proyecto, constituye básicamente un bus RS-485 con transmisión *half-duplex*, por tanto, comparte todas las características de una red de este tipo. Véase la figura 2.5.

Características de una red RS-485 con transmisión *half-duplex*:

Para implementar una red RS-485 se debe tener varios dispositivos conectados con una computadora personal, mediante un par de cables en forma de bus lineal. Los dispositivos se conectan al cable como podemos ver en la figura 2.4, pasando el cable de un instrumento al siguiente.

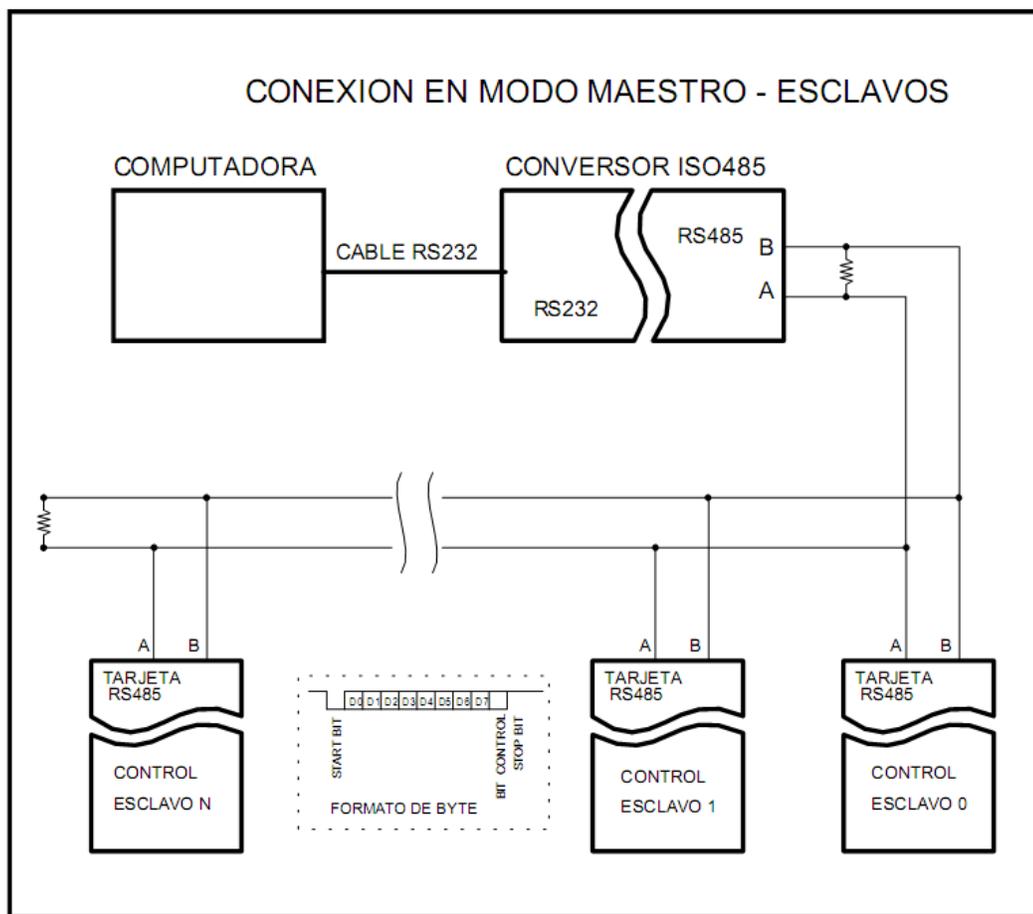


Figura 2.4: Forma de conexión de la red RS-485 a implementar.

Es conveniente colocar una resistencia en cada uno de los extremos de la línea de transmisión para acoplar las impedancias y evitar rebotes de la señal. Esta resistencia debe ser de la misma cantidad de *ohm* de la impedancia característica del cable, la cual es

especificada por cada fabricante. Además el cable del bus debe ser adecuado para la transmisión digital de poca velocidad (menos de 10 Mbps¹⁷).

La computadora personal realiza la labor de maestro (coordina la comunicación), mientras que los dispositivos de medición son esclavos y solo responden a las preguntas o comandos del maestro.

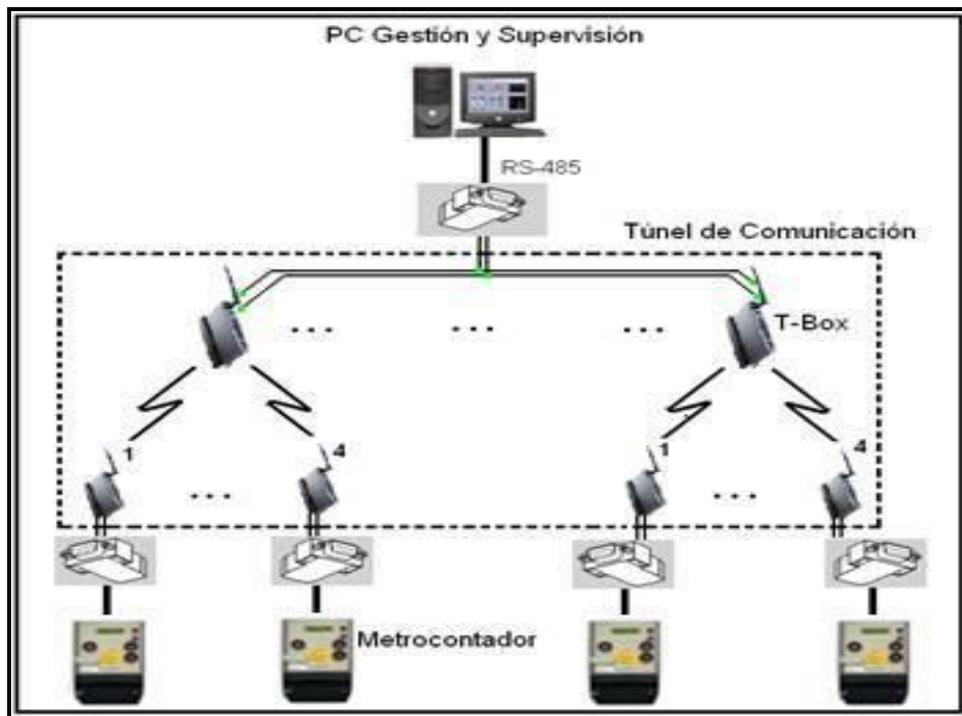


Figura 2.5: Representación esquemática de la variante 2.

Esta variante tiene como características:

Topología: Bus

Norma de Cx: RS-485

Protocolo: Modbus RTU

Medio de Cx: Radiofrecuencia

Descripción:

¹⁷ Mega bits por segundo

En esta variante desde el mismo centro de gestión provincial se realiza la encuesta a todos los metrocontadores en la provincia utilizando las ventajas de la comunicación de datos por vía celular. En este caso se aprovecharán los servicios de la red GSM¹⁸ que brinda ETECSA¹⁹. La red está conformada de la siguiente manera:

- 1 Una estación maestra de recepción de los datos (computadora personal) donde se encuentra el software que realiza la encuesta a todos los dispositivos de medición, esta se encontraría en el despacho provincial.
- 2 Los dispositivos de transmisión de datos T-Box, los cuales se conectan a la estación maestra a través del bus RS-485, estableciendo el túnel de comunicación entre los metrocontadores y el centro de supervisión y control. Estos dispositivos son parte del proyecto de los NULEC, por tanto su empleo ya ha sido aprobado por todas las instancias competentes.
- 3 Una red física de enlace de los metrocontadores digitales programables, instalados en los 127 consumidores, unidos con la estación maestra de recepción de datos por los dispositivos de comunicación T-Box.

Funcionamiento general:

Como se ha eliminado la célula municipal de la variante anterior, el esquema sería una red de telemedición provincial, donde los datos viajan directamente desde los sensores hasta el centro de gestión en la cabecera provincial. El funcionamiento en este caso sería de la siguiente manera:

- Existirá un metrocontador digital programable en cada centro consumidor, unido a un T-Box utilizando su capacidad de hacer túneles de comunicación, a través de un puerto de comunicación RS-232/RS-485 o IEC61130 (terminal óptico).
- En el despacho provincial se encontrará una estación de recepción de datos donde se ejecutará el software que hace las lecturas de los metrocontadores y una estación central

¹⁸ Global System for Mobile Communications

¹⁹ Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.

que hará todos los cálculos y análisis estadísticos necesarios, en tiempo real para su presentación inmediata.

El tiempo transcurrido desde la lectura del metrocontador hasta la presentación de la información en las pantallas del operador en la provincia no sobrepasa los 30 segundos.

En este punto del informe culmina la descripción de las variantes arquitectónicas del sistema de telemedición, lo cual da paso, dentro del mismo capítulo, a la descripción del diseño del software SCADA.

2.3.3.3. Simple análisis de las variantes de comunicación para la selección.

Ya que el diseño de la red de telemedición en este trabajo queda como propuesta para que una de las variantes sea seleccionada, se presenta un pequeño análisis operativo-económico para facilitar la selección por parte de la OBE.

En cuanto a arquitectura, la segunda variante se presenta más funcional, ya que se elimina un nivel de comunicación, al no existir el enlace entre el sensor y el centro de recolección de datos en el municipio, pues se realiza directamente con el centro de gestión provincial. Esto es una ventaja de la comunicación celular, siempre que haya cobertura.

En cuanto a costo, la primera variante sería más económica, pues como se vio anteriormente el precio de los radiomodem es muy inferior al de los T-Box y dado que se necesitan cientos de unidades, el costo final sería muy elevado en la segunda variante.

2.4. Arquitectura y diseño del SCADA (software).

Como fue descrito en el capítulo 1, utilizar un software SCADA de los analizados u otros no mencionados, pero igual de funcionales, es una opción válida en este trabajo. No obstante, las características peculiares del mismo, sugieren crear un software supervisorio propio, justificado por las siguientes razones:

- Los software SCADA propietarios son muy costosos, el precio varía desde los 1500 dólares hasta las 10000 dólares, dependiendo de la cantidad de variables que pueden manejar según la licencia comercial que se compre.
- Ninguno de los programas analizados u otros, poseen todos los *drivers* para la comunicación con los diferentes metrocontadores que se utilizan en Cuba.

- Un software propio puede ser mejorado, incorporándole funcionalidades y escalando sus capacidades.
- Un software propio se ajusta exactamente a los requerimientos de los clientes ya que estos participan en su diseño y desarrollo.

Atendiendo a estas justificaciones, el trabajo se enfoca en adelante a seleccionar la arquitectura y diseñar el software supervisorio para el sistema de telemedición con el alcance y los requisitos pedidos por los clientes.

2.4.1. Arquitectura del software.

La bibliografía analizada y la experiencia señalan, que para realizar un sistema SCADA de medianas prestaciones, este debe tener previsto en su arquitectura cinco módulos fundamentales, los cuales se señalan a continuación:

- El módulo de *drivers*.
Este módulo implementa los protocolos de comunicación propietarios de cada metrocontador, permitiendo la adquisición de los datos medidos por el dispositivo. (En el diseño presentado en el informe, se ha creado en el módulo de *drivers* una Interfaz Genérica, que no es más que una porción de código que implementa los tres protocolos que se utilizan, permitiendo la lectura a través de tres *drivers* diferentes.)
- El módulo de procesamiento.
Este módulo es el encargado de hacer la conversión de los datos a unidades de ingeniería, seleccionarlos y distribuirlos acorde a categorías y prepararlos para su presentación.
- El módulo de base de datos.
Este módulo se encarga de adaptar los datos a las sentencias SQL²⁰ y su inserción o extracción en el gestor de bases de datos.
- El módulo de comunicaciones.

²⁰ Structure Query Language

Este módulo se encarga de la transmisión de los datos. Implementa un servidor DDE²¹, otro servidor TCP/IP.

- El módulo de presentación.

Es el encargado de presentar la información al usuario final.

Aunque no es un estándar, los cinco módulos mencionados anteriormente se ajustan de forma general a la arquitectura de un sistema SCADA. En las próximas secciones se describirá en detalle el diseño de cada módulo a partir de los casos de uso del sistema y de los diagramas de clase correspondientes.

2.4.2. Modelado del software.

Para el diseño del software SCADA se utilizaron las técnicas del Diseño Orientado a Objetos (*Object Oriented Design*) lo cual es un recurso fundamental cuando se aplica la filosofía de Programación Orientada a Objetos (*Object Oriented Programming*). La arquitectura del sistema se describe a través de los diferentes diagramas que posee el lenguaje UML (*Unified Model Language*) para el diseño de programas orientados a objetos: diagramas de Casos de Uso, diagramas de Clase y diagramas de Secuencia.

2.4.2.1. Casos de uso generales del sistema.

En la sección 2.3 se describieron los requisitos funcionales fundamentales del sistema de supervisión, de la forma más general posible, lo cual era necesario para comprender la necesidad de diseñar el sistema de comunicaciones. En esta sección, se describirán los casos de uso del SCADA como utilidad de software para obtener en profundidad todos los requisitos funcionales. Los casos de uso están expresados en los diagramas correspondientes definidos por UML y se puede tener una idea general con la vista ofrecida en la figura 2.6.

²¹ Dynamic Data Exchange

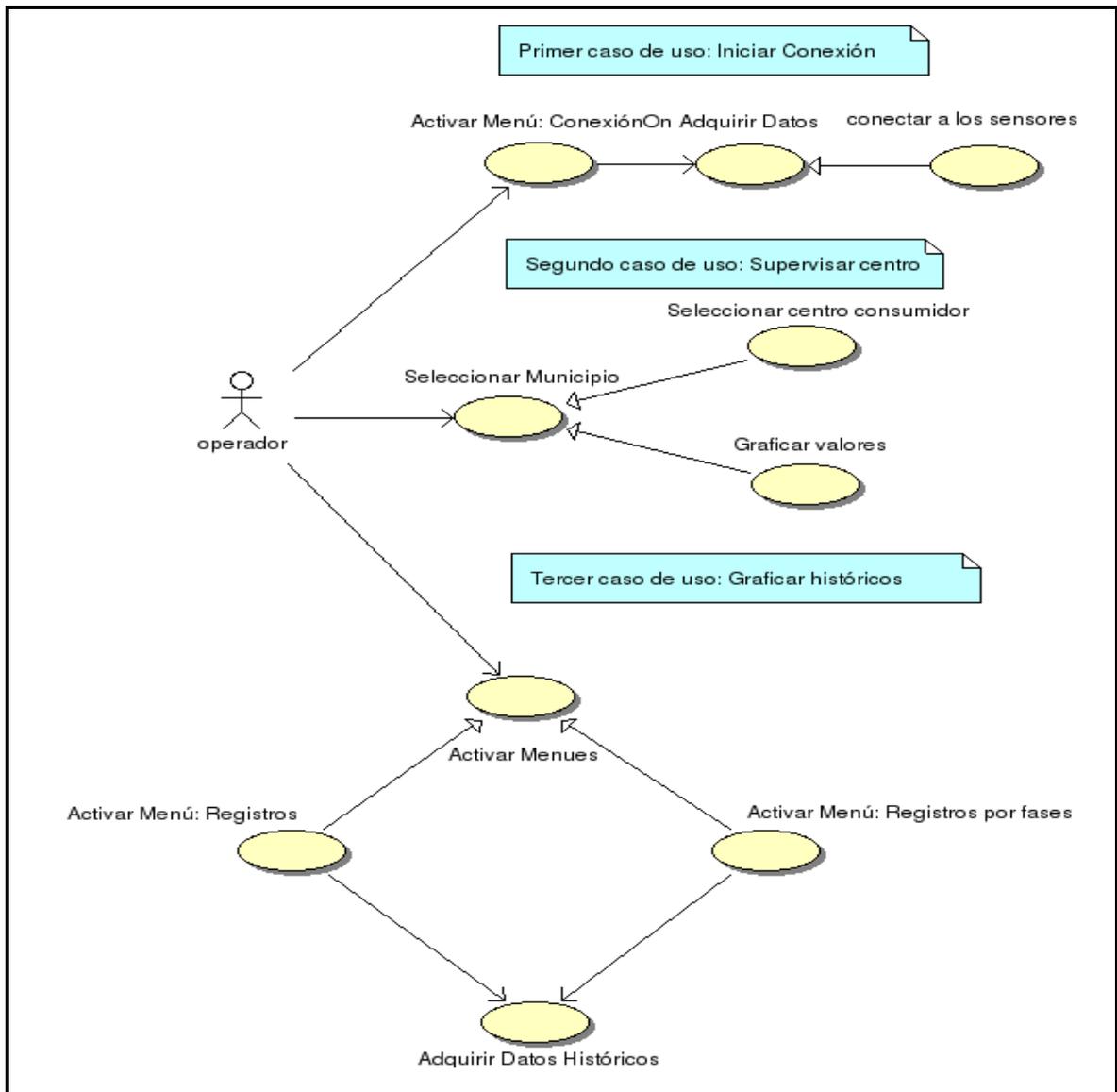


Figura 2.6: Casos de uso más representativos del sistema.

El primer caso de uso describe como se ejecuta la adquisición de los datos. El “**operador**”, representado por un actor UML, inicia el caso de uso activando la adquisición a través del menú “**Conectar**”, lo cual a su vez genera otro caso de uso, “**adquirir datos**”, el cual es una generalización de otros casos de uso, como ejemplo el que se representa en el diagrama, llamado “**conectar a los sensores**”.

El segundo caso de uso describe en forma general como se ven los valores instantáneos de variables energéticas para cada centro. El caso de uso lo inicia, al igual que el primero, el actor: “**operador**”, el cual selecciona en el mapa de la provincia, el municipio

correspondiente, generando un caso de uso con un nombre similar. Este caso de uso es una generalización de los casos de uso “**seleccionar municipio**” y “**graficar valores**”. Una vez ejecutadas estas acciones, el operador del sistema SCADA, puede ver en tiempo real los valores de consumo instantáneo de la empresa en cuestión.

El tercer caso de uso descrito en la figura 9 permite analizar los valores históricos de consumo de una determinada empresa. El actor “**operador**” puede activar las opciones de menú: “**Registros**” y “**Registros por fases**”, las cuales se generalizan con el caso de uso “**Activar menues**”. Cuando estos casos de uso son ejecutados, los valores de consumo históricos son extraídos de la base de datos que contiene el historial de cada empresa y mostrados al usuario u operador a través una interfaz gráfica.

2.4.2.2. Diagramas de clase de la aplicación.

En la figura 2.7 se puede observar el diagrama de clases general del sistema SCADA diseñado. Para una información complementaria se debe recurrir al anexo 1 donde se puede observar el diagrama de las clases que tienen que ver con las interfaces gráficas.

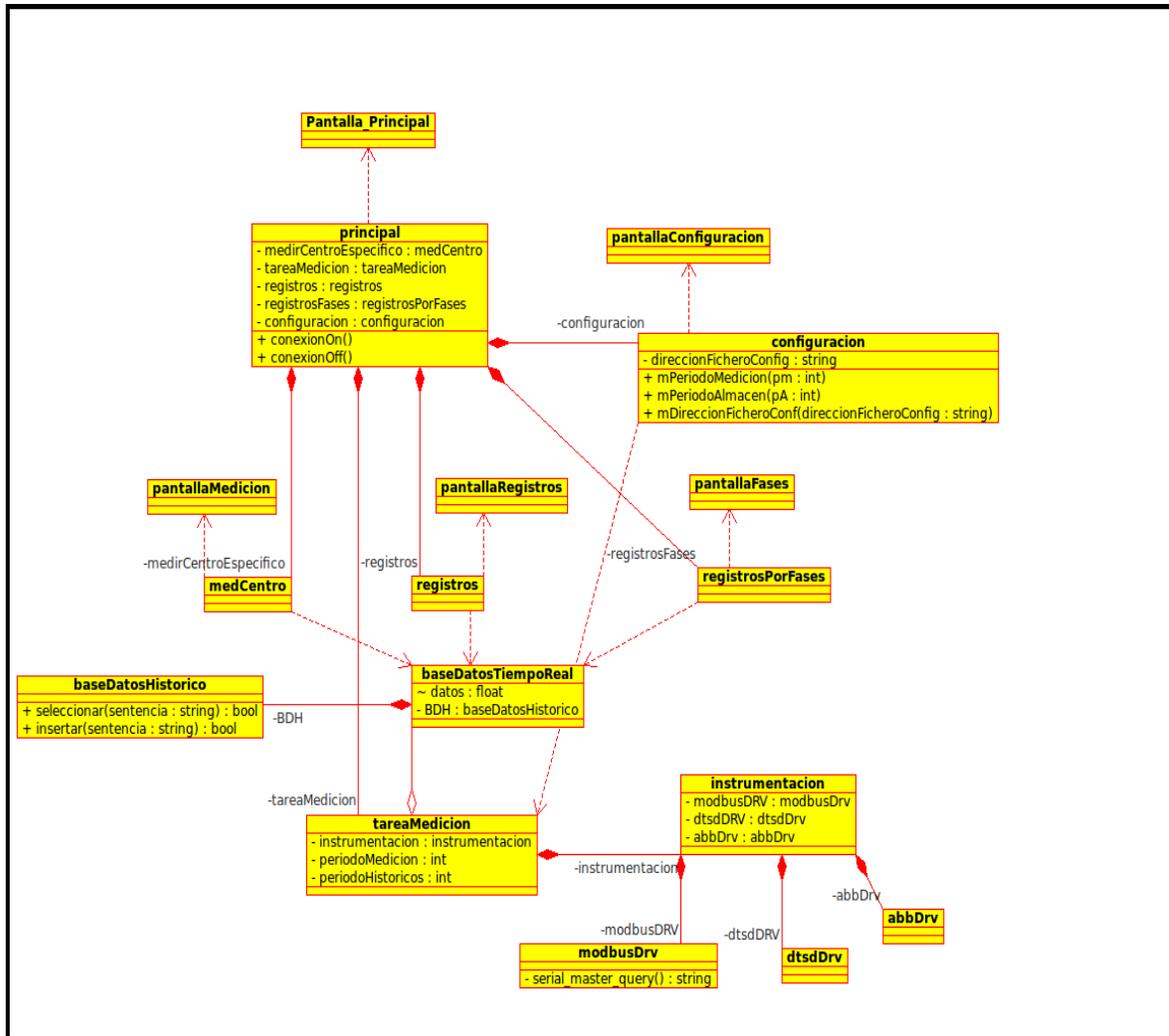


Figura 2.7: Diagrama de clases general del sistema SCADA²².

El programa tiene como columna vertebral a la clase “**principal**”, la cual tiene asociada una interfaz gráfica llamada “**pantallaPrincipal**” que es a su vez el gráfico fundamental del software SCADA, esta es una relación de dependencia en el entorno de UML. La clase “**principal**” está compuesta por otras clases que también se asocian a gráficos, lo cual permite una mejor organización para presentar la información relativa al gasto energético, estas clases son: “**medCentro**” la cual tiene como dependencia a “**pantallaMedicion**”, “**registros**” tiene como dependencia a “**pantallaRegistros**” y la clase “**registrosPorFases**” que tiene como dependencia a “**pantallaPorFases**”.

²² Ver más diagramas en el Anexo 1.

El módulo de configuración está representado por la clase “**configuracion**”, a esta se accede a través de la interfaz gráfica “**pantallaConfiguracion**”, esta clase organiza el funcionamiento del sistema SCADA pues le permite al operador la selección de los periodos de medición y almacenamiento de los valores medidos, la selección de la base de datos y la forma de adquisición de estos por parte de la computadora, entre otros parámetros.

La clase encargada de manejar las mediciones es “**tareaMedicion**”, que implementa a la clase “**instrumentacion**”, la cual constituye el módulo de *drivers* del sistema. A través de esta última clase, “**tareaMedicion**” obtiene los datos de variables eléctricas desde los sensores.

Otra pieza fundamental de la estructura lo es la clase “**baseDatosTiempoReal**” la cual almacena los valores recibidos desde “**tareaMedicion**” en una matriz de datos reales. Desde “**baseDatosTiempoReal**” se guardan los datos en una base de datos de históricos, la cual se maneja por la clase “**baseDatosHistorico**”, esta es en realidad una interfaz para manejar gestores de bases de datos a través de sentencias en lenguaje SQL. Todas aquellas clases que necesitan de procesar los valores de las variables tienen relación de dependencia con la clase “**baseDatosTiempoReal**” y esta solo depende para su instanciación de la clase “**principal**”.

2.4.2.3. Diagrama de secuencia de la aplicación.

En la figura 2.8 se puede observar el diagrama de secuencia de un caso práctico cuando el sistema SCADA entra en funcionamiento.

En este ejemplo, la actividad se inicia cuando la clase principal, a través del método “**conexionOn**”, instancia la clase “**tareaMedicion**”, la cual a su vez, hace lo mismo con la clase “**instrumentacion**”. Esta última selecciona el tipo de *driver* a partir de una tabla que forma parte de sus atributos, en la cual se identifica cada centro consumidor con el tipo de metrocontador que posee. En este ejemplo se crea una instancia del objeto “**modbus**” que a través del método “**serialMasterQuery**” hace la lectura de los valores. Una vez que estos estén disponibles, se envían a una matriz de tipo real que posee la clase “**baseDatosTiempoReal**” en donde estarán habilitados para que las clases “**medCentro**”, “**registros**” y “**registrosPorFases**” los muestren, por intermedio de sus pantallas gráficas correspondientes, al operador. Siempre que llegan datos a la matriz de la clase “**baseDatosTiempoReal**” estos son enviados inmediatamente al gestor de base de datos a través de la clase “**baseDatosHistoricos**” de donde pueden ser extraídos siempre que ocurra una petición desde las clases superiores “**registros**” y “**registrosPorFases**”.

2.5. Consideraciones finales del capítulo.

En el capítulo que finaliza con esta sección, concluye también la parte teórica de la propuesta que se le brinda a las entidades que propiciaron el trabajo, la dirección nacional de Uso Racional de la Energía y la Organización Básica Eléctrica de Villa Clara. Hasta este momento no se brinda una solución ya implementada pues queda por decisión de estos organismos seleccionar el diseño de las variantes de comunicación y llevar a la práctica el diseño de software propuesto. A partir de la documentación generada en el trabajo se puede crear sin dificultad, una aplicación SCADA con las características fundamentales y que cubra a cabalidad las necesidades de los clientes. En el próximo capítulo por iniciativa del grupo de desarrollo a cargo, se crea una aplicación SCADA basada en los modelos descritos en el capítulo 2, con el fin de evaluar y validar de forma práctica las premisas que dieron nacimiento al sistema de supervisión de energía.

Capitulo 3

Capítulo 3: Implementación codificada y pruebas funcionales del sistema SCADA.

3.1. Introducción al capítulo.

En este capítulo se describe la creación de una aplicación prototipo de software SCADA y los resultados de su implementación práctica. Para ello se utilizó el sistema de programación gráfica *LabVIEW*²³, en su versión 7.1, lo cual se justifica porque:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

La posibilidad de aplicación en un centro empresarial, permitió evaluar el funcionamiento del SCADA y llegar a conclusiones respecto a la validez de las premisas que dieron forma a su creación.

3.2. Implementación del prototipo de software SCADA.

A partir del diseño descrito en el capítulo dos del presente trabajo, se llevó a cabo la implementación del software SCADA. Como resultado del esfuerzo se lograron los siguientes resultados. En la figura 3.1 se puede observar la pantalla principal del software implementado. En esta figura se muestra la implementación de la clase “**pantallaPrincipal**”. La interfaz le permite al operador ver el consumo total de los altos consumidores por cada municipio y el consumo total a nivel de provincia. Para ver el

²³ *Laboratory Virtual Instrument Electronic Workbench.*

consumo de un centro específico, es necesario presionar en el mapa sobre el municipio correspondiente, lo cual lleva a que se muestre la implementación de la clase “**medCentro**”, la misma se muestra en la figura 3.2.

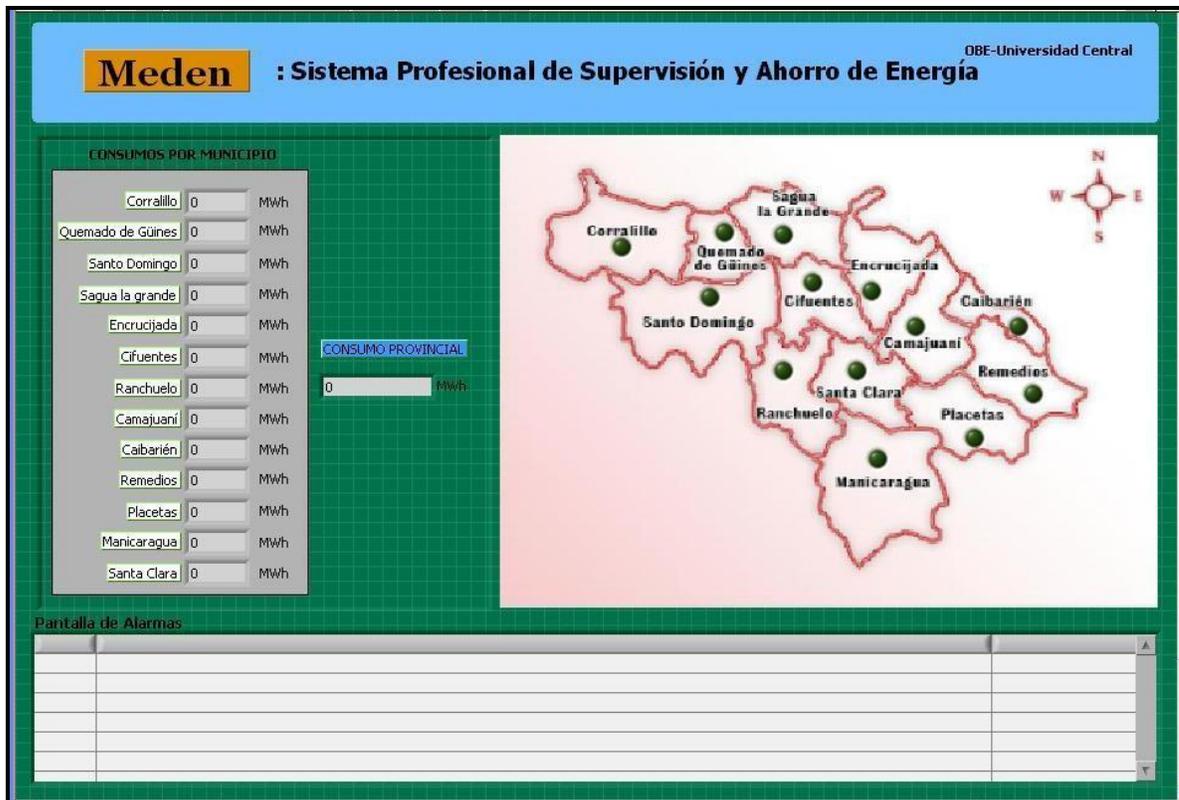


Figura 3.1: Interfaz principal del SCADA.

En la pantalla de “**medCentro**”, mostrada en la figura 3.2, el operador selecciona en una lista desplegable los centros del municipio donde se está midiendo el consumo eléctrico. Al hacerlo, inmediatamente se obtienen los valores instantáneos de voltaje, intensidad, factor de potencia, el consumo hasta ese momento y el costo en moneda nacional del mismo. Además en forma de gráficas se presentan los valores de la potencia activa, en kW²⁴, y la energía consumida, en kWh²⁵, ambos parámetros en un periodo de 24 horas.

²⁴ Kilo Watt

²⁵ Kilo Watt * hora

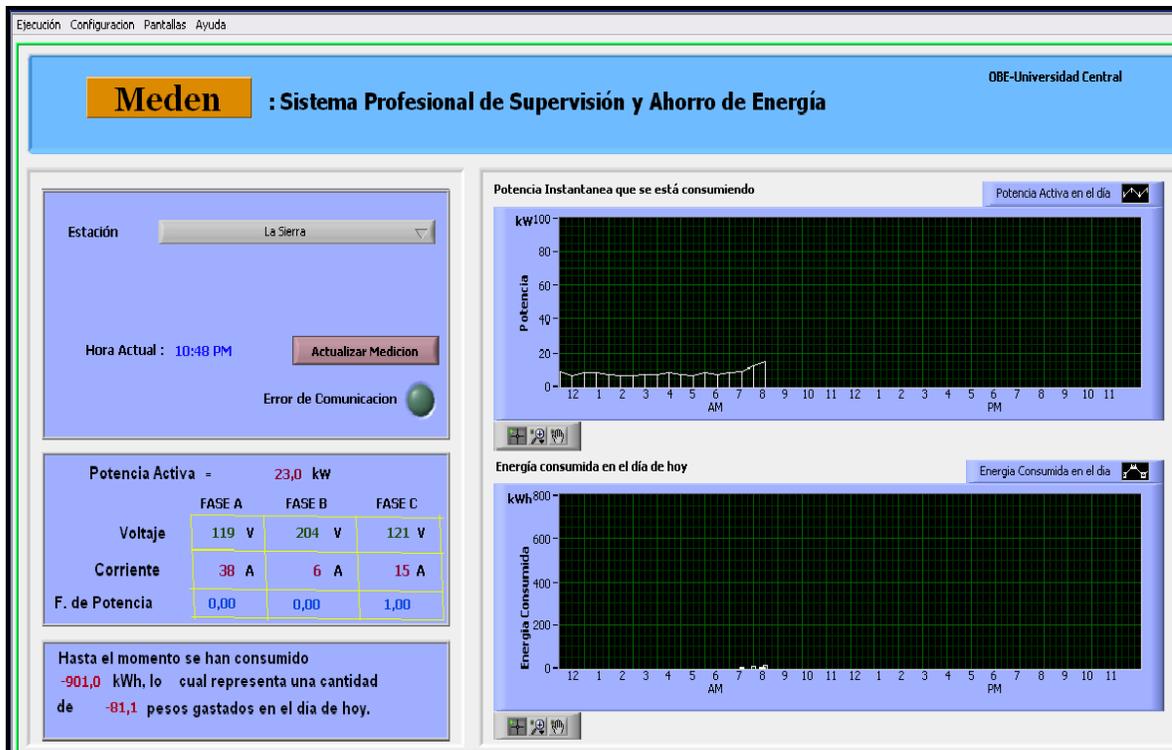


Figura 3.2: Interfaz de la clase “MedCentro”.

Otra de las pantallas principales es la implementación de la clase “registros”, la misma se muestra en la figura 3.3. En esta interfaz, el usuario puede observar, seleccionando el día deseado, la curva de carga y el comportamiento gráfico del consumo, además se brinda el gasto en moneda nacional del mismo. Otra funcionalidad importante de esta clase es la posibilidad de poder seleccionar un rango de días deseado y el programa calcula el gasto en moneda nacional de la energía consumida correspondiente.

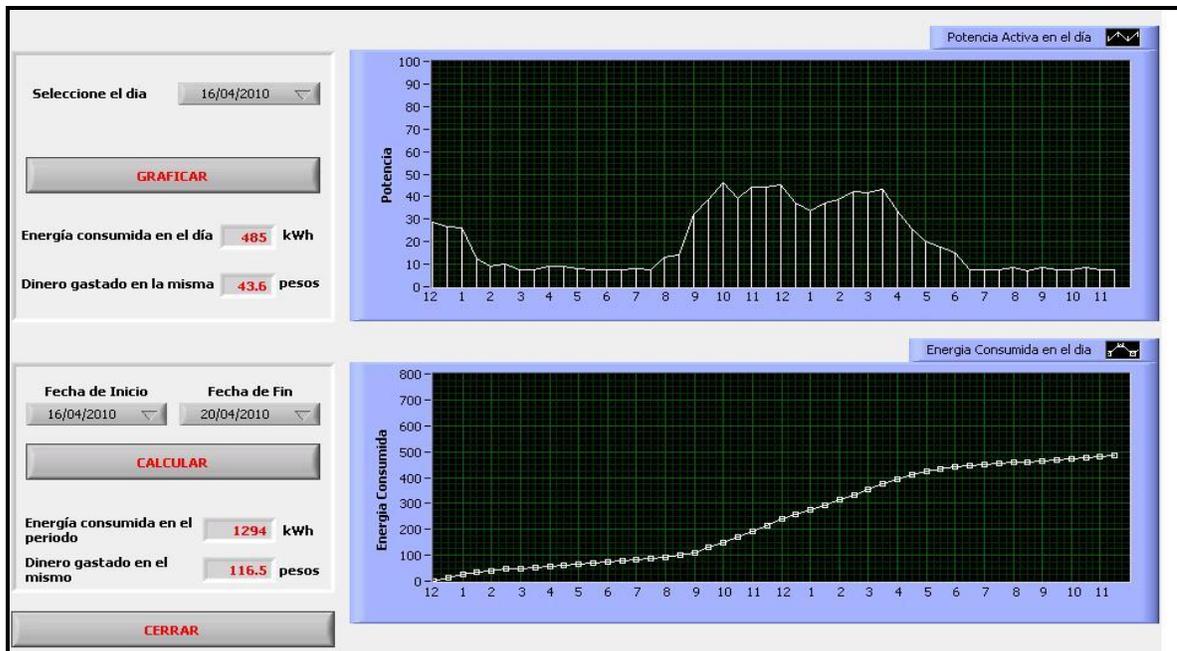


Figura 3.3: Interfaz de la clase “registros”.

La pantalla que representa a la clase “registrosPorFases” es similar a “registros” pero a diferencia de esta, muestra en tres gráficas, los valores históricos por fases, previa selección del día, del voltaje, la corriente, la potencia activa y la potencia reactiva. Esta pantalla se muestra en la figura 3.4.

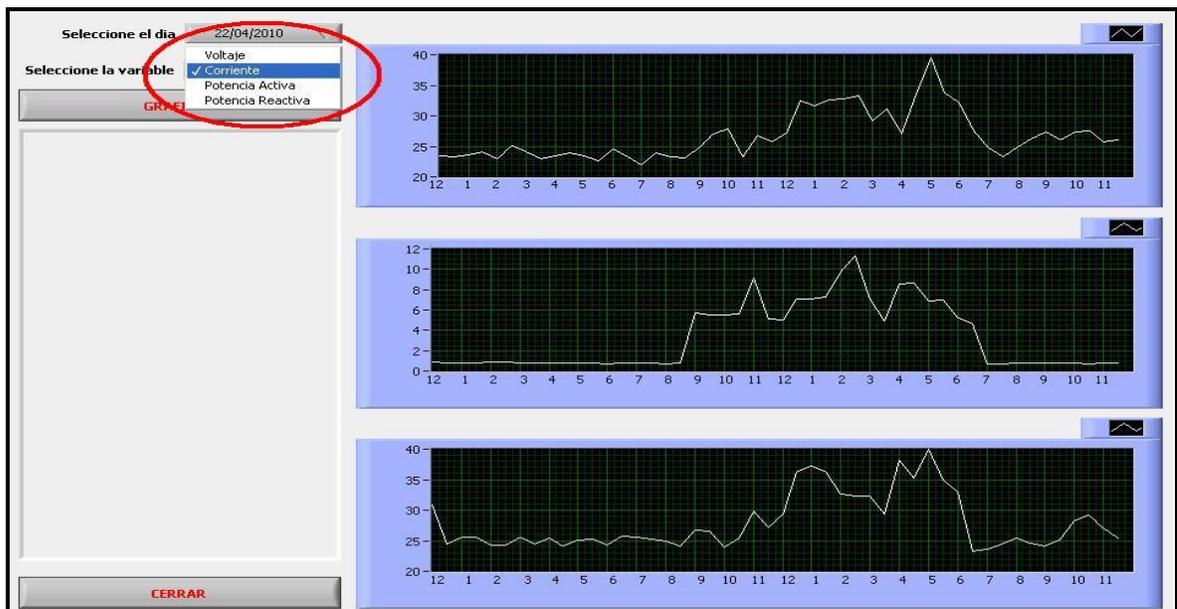


Figura 3.4: Interfaz de la clase “registrosPorFases”.

3.3. Pruebas funcionales del prototipo.

La puesta en práctica del prototipo de sistema SCADA creado, dio respuesta a dos necesidades fundamentales derivadas de este trabajo:

- Validar el diseño realizado del software SCADA.
- Validar que es posible lograr a través de la supervisión, aun en ambiente de laboratorio, el ahorro del consumo eléctrico de una entidad determinada.

Para llevar a cabo el ambos puntos, se creó un experimento:

1. Supervisar los datos de consumo eléctrico de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, durante el periodo de varios meses y hacer un análisis de los valores medidos y procesados.

Para lograr este objetivo se creó un enlace físico a través de un par trenzado con norma de comunicación RS-485, entre una computadora donde se ejecutó el software SCADA y el metrocontador *Circuitor Cirwatt C* que se encuentra en la acometida eléctrica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica. En la figura 3.5 se puede tener una idea del esquema que se empleó. Este esquema constituye básicamente un modelo a escala más pequeña del que se necesita en toda la provincia, con la diferencia principal en el medio de comunicación.



Figura 3.5: Esquema de la instalación realizada en la Facultad de Ingeniería Eléctrica.

Como se puede ver en la figura 3.5, se empleó un convertor de norma RS-232/RS-485 para lograr que los datos viajen una distancia cercana a los 100 metros, la cual separa el local donde se encuentra la computadora, de la acometida de la facultad.

El software trabajó desde el mes de abril hasta el mes de junio del año 2010, con algunas intermitencias debido a falta de fluido eléctrico, lo cual no afectó llegar a conclusiones importantes que se describen en la siguiente sección.

3.4. Análisis de los resultados.

Para lograr una mejor comprensión del análisis de los resultados, se utilizan las gráficas de la clase “registros”. La figura 3.6 muestra la curva de carga y el valor de energía consumida en un día correspondiente al receso docente, o sea un día que no se trabaja y solo hay algunos servicios eléctricos conectados como los servidores de la red; y la figura 3.7 muestra un día típico con plena carga.

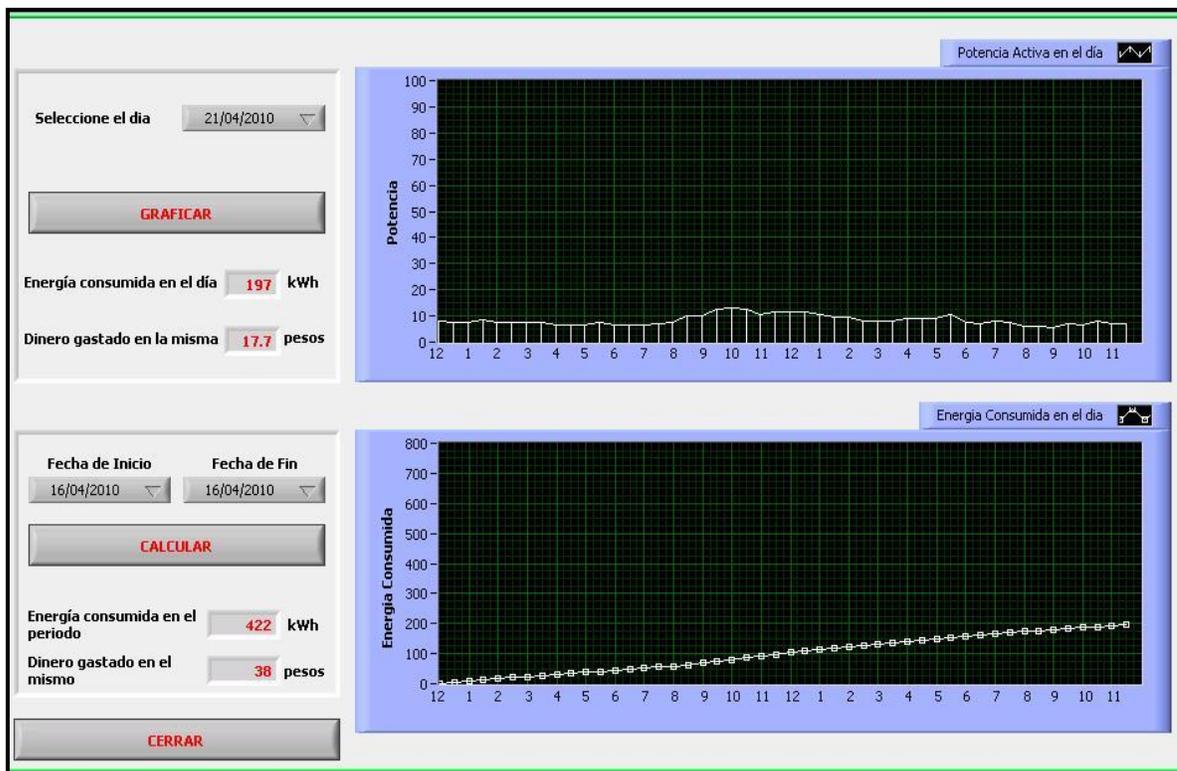


Figura 3.6: Gráficas del consumo correspondiente a un día de receso docente (21/Abril/2010).

La curva de carga del gráfico de la figura 3.7 muestra como se comportan durante todo el día las variaciones de la carga, distribuidos por horarios, por ejemplo: entre 8:30 am y 6:00 pm el consumo es mayor que en el horario de la madrugada, como es lógico. Pero más allá de este comportamiento, aparentemente normal, se puede observar, al detallar un poco más, que no se cumplen a cabalidad las medidas de ahorro previstas en los horarios pico. Estas medidas contemplan el apagado de todas las computadoras y equipos de aire acondicionado en los horarios comprendidos entre las 11:00 am y la 1:00 pm y entre las 6:00 pm y las 9:00 pm, las cuales, según muestran las gráficas, en el primer horario no se acatan.

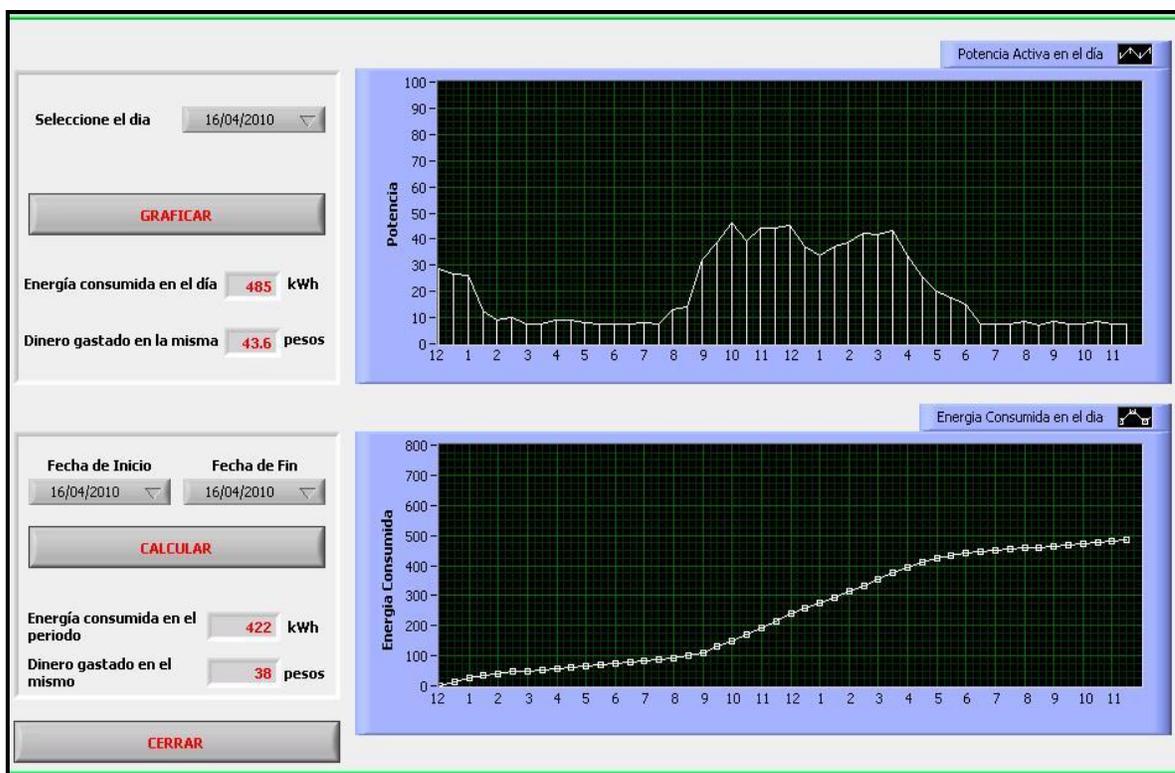


Figura 3.7: Gráficas del consumo correspondiente a un día de trabajo (16/Abril/2010).

También en los gráficos correspondientes a otros días, se puede observar como se incumple repetidamente el plan de ahorro de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, tanto en el horario pico del medio día, como en el de la madrugada, lo cual lleva a pagar mayor precio por la energía, ya que se consume más e influye en un mayor consumo de combustible por concepto de generación en termoeléctricas y grupos electrógenos.

El análisis de tendencia de los gráficos puede predecir como se comportará, en uno o varios instantes futuros, el consumo eléctrico. Esto significa una gran ventaja pues la mejor energía ahorrada es aquella que no se gasta y esto se logra tomando medidas para evitar la ocurrencia de violaciones.

Lo descrito anteriormente es solo un ejemplo de cómo se puede, a través de la supervisión del consumo eléctrico, ahorrar energía eléctrica, pero la importancia tiene un alcance mucho mayor. El análisis de los datos también puede servir para hacer estudios de cargas, balances de cargas, comportamiento de las variables ante determinados factores climatológicos y sociales. Todo ello ayuda en gran medida a establecer un uso más racional de la energía eléctrica.

Valoración económica del sistema probado.

El gasto de electricidad en la Facultad de Ingeniería Eléctrica, por concepto de incumplimiento de los horarios de apagado de los equipos eléctricos, obviamente genera un gasto monetario por concepto de generación, con un cálculo aproximado se puede tener una idea de su cuantía.

Durante el período de pruebas en nuestra facultad se detectó que en una semana se gastan de más 255 kWh, que al mes serían 1020 kWh; teniendo en cuenta que para generar 1 kWh se necesitan 207 g²⁶ de Fuel Oil, para generar la cantidad estimada en el mes harían falta 0,2 Tn²⁷ (211 Kg). Teniendo en cuenta que 1 Tn son 6,84 barriles entonces se necesitarían 1,368 barriles para generar el sobreconsumo de un mes solamente en nuestra facultad. Viendo que el precio de dicho combustible está actualmente en 73.54 USD²⁸ harían falta **100.60 USD²⁹** para generar tal sobreconsumo.

Considerando ocho áreas en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas con características similares a la facultad el gasto sería de **804,80 USD**. Esto es solamente lo

²⁶ Gramos

²⁷ Toneladas

²⁸ Este dato depende del precio del barril a nivel internacional, el cual es variable

²⁹ United States Dollar

que se emplearía para generar los 8160 kWh (8,2 MWh) que se gastan, de más, en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas en un mes.

Como se puede apreciar el ahorro monetario anual (con respecto a la Universidad solamente) para el país estará en el orden de los miles de dólares, por lo que si se implementa este sistema a nivel provincial y nacional el ahorro con seguridad sería considerablemente grande desde el punto de vista energético y monetario.

Comentario sobre la instalación del sistema SCADA en la empresa TRASVAL

Al igual que se hizo en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, el prototipo de sistema SCADA creado se puso en funcionamiento en la sucursal de la empresa TRASVAL S.A. en la ciudad de Santa Clara, previa coordinación por parte de la OBE provincial. En este lugar se posee un metrocontador modelo CIRWATT C. Se instaló el software en una computadora de la recepción, y a través de un servidor web, los datos pueden ser accedidos por todos los usuarios de la red, especialmente por aquellos encargados de la gestión de energía. Para lograr la adquisición de los datos se utilizó un cable par trenzado directamente desde la computadora al metrocontador, utilizando la norma de comunicación RS-232. Se configuró el software para que realizara las mediciones cada 10 minutos.

La satisfacción mostrada por el cliente con la aplicación expresa por sí misma la magnitud de los resultados alcanzados. Con el sistema, la dirección de la empresa ha podido hacer una mejor gestión de la energía eléctrica que se consume, implementando de forma más eficiente las medidas de ahorro, lo cual ha generado menos gastos para la empresa.

3.5. Consideraciones finales del capítulo.

El capítulo que concluye en esta sección demostró, de forma práctica la viabilidad y las ventajas de llevar a desarrollo el sistema SCADA de parámetros eléctricos diseñado en el capítulo dos, lo cual constituye el centro del presente trabajo de maestría. La codificación a partir de los diseños expuestos, puede hacerse en cualquier lenguaje de programación, siempre que cumpla con los requisitos funcionales y no funcionales obtenidos a través de los casos de uso o brindados por el propio cliente.

Conclusiones y Recomendaciones

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. Los objetivos planteados fueron llevados a feliz conclusión, se logró incluso más de lo propuesto ya que algunas acciones y resultados secundarios no se describen en el informe pero son igualmente importantes. 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 expande por el país, cada día son más personas las que adquieren la convicción de que ahorrar los recursos no renovables y vivir en armonía con el medio ambiente es la única manera de aumentar nuestras posibilidades de supervivencia.

Como proyección futura es importante conocer, que al término de esta etapa de trabajo y del informe, la OBE de Villa Clara recibió un importante suministro de radiocomunicadores modelo TM-800, adaptados para transmitir datos, con el objetivo de llevar a cabo la implementación del diseño del sistema de comunicaciones y la aplicación práctica del sistema SCADA en la ciudad de Santa Clara

Como conclusiones generales:

- 1) La supervisión de energía es una práctica que se extiende cada día más en el mundo y en Cuba.
- 2) Los diseños creados son viables, funcionales y hechos a la medida, lo cual permite que puedan ser implementados en corto tiempo.

- 3) La amortización económica en mediano tiempo y el valor agregado de utilidad y beneficio aseguran la fiabilidad y la certeza del producto propuesto.
- 4) El SCADA como software aportó elementos novedosos de algoritmos y módulos como la Interfaz Genérica de los drivers.
- 5) Las pruebas del prototipo del sistema SCADA implementado demostraron la validez de su diseño.
- 6) El prototipo de software desarrollado experimentalmente y la infraestructura de comunicaciones tienen un elevado valor docente y práctico para los estudiantes de las especialidades de Ingeniería en Automática y de Ingeniería en Telecomunicaciones.
- 7) El trabajo constituye un aporte al objetivo de mejorar la gestión energética en el país.

Recomendaciones

- 1) Desarrollar el software SCADA en una plataforma potente de aplicaciones visuales, manejo de bases de datos y comunicación con dispositivos, por ejemplo el *framework* QT.
- 2) Implementar el sistema de supervisión en toda la provincia en el menor tiempo posible, para obtener beneficios a favor de la economía nacional.
- 3) Extender las aplicaciones del software SCADA para buscar más funcionalidad en todo el sistema.
- 4) Expandir las capacidades de visualización del SCADA en clientes Web para facilitar la gestión operativa y empresarial.

Referencias

Bibliográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antón-Rodríguez, S. (2010). Desarrollan software capaz de controlar el consumo de electricidad. Juventud Rebelde. Habana.
- CIRCUTOR (2006). Power Studio, Manual de Usuario. Madrid. from www.circutor.es
- Copextel-SA. (2009). "T-BOX: Inteligencia, comunicación y gestión remota. La Solución Integral." from www.copextel.co.cu.
- Copextel (2010) "Aporta Copextel soluciones para el ahorro energético."
- Cotti, M. (2011) "No hay otro sistema similar a Telegestore con más de 25 millones de clientes." Electroindustria.
- Cubaenergía, C. N. d. E.-. (1993). "Programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía." from <http://www.energia.inf.cu/programa/introduccion.htm>.
- Diario-El_Dia (2010). Telegestión: soluciones inteligentes para contadores y centrales de facturación. El día. Barcelona.
- Enerdis (2010) "Energy efficiency in action." Enerdis Chauvin Arnoux Group.
- Europa-Press (2010) "Endesa instala en Sevilla su centro de operaciones para supervisar 13 millones de telecontadores en España." Europa Press.
- Farrar, R. (2010). "Protocolos de comunicacion."
- González, P. and S. Lizárraga (2010). Tele Medición de Registradores de Variables Eléctricas y Gestión de la Calidad de Servicio CIDEL.

- Hernández-Valdelamar, J. (2006). "El mundo de los sistemas SCADA." from <http://www.rosenblueth.mx/InterFAR/Vol1Num1/doc/Vol1Num1-50.htm>.
- Meters&More (2010) "Enel y Endesa crean la asociación "Meters and more" para la implantación de soluciones globales de medición inteligente." Meters&More.
- Momplet (2006) "Sistemas y Conectividad." Momplet.
- Momplet (2007) "Eliwell conecta los supermercados Eroski y optimiza su ahorro energético." Momplet.
- PAEC (1997). Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba.
- Ramírez, C. (2010). "Sistemas de Telemedición." from <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/cramirez/materias/instrumentacion/GUIA%20SISTEMAS%20DE%20TELEMEDICION.pdf>.
- Rodríguez-Castellón, S. (2002). "Sector Energético." Estructura económica de Cuba 2.
- Rodríguez-Penin, A. (2007). Sistemas SCADA. Ciudad México.
- Sarmiento H., Perez H., et al. (2009). Sistemas Eléctricos Inteligentes. Consejo Mundial de Energía. Mexico D.F.
- Schneider-Electric (2010). Enterprise Energy Management Software.
- Schneider-Electric (2010). Gain energy insight and control with Power Logic.
- Sierra-Arias, M. (2010) "Administración del ensamble y mantenimiento de computadoras y redes."
- Sistemas&Control. (2009). "Equipo de Radiofrecuencia." from <http://www.syc.cat/html/er.html>.
- SOCOMEK-Inc. (2010). Control Vision Software.
- Torres-Rizo, R. (2010). "Energía-Conceptos- Tipos- Características y propiedades." from <http://www.slideshare.net/rafoso30/energa-5814295>.
- Valdés, P. B. (2006). "Gestión y Eficiencia Energética." Eficiencia Energética, from <http://bpm.uasd.edu.do/Members/pvaldez05/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica.doc>.

Anexos

ANEXOS

Anexo I Diagramas UML del software SCADA.

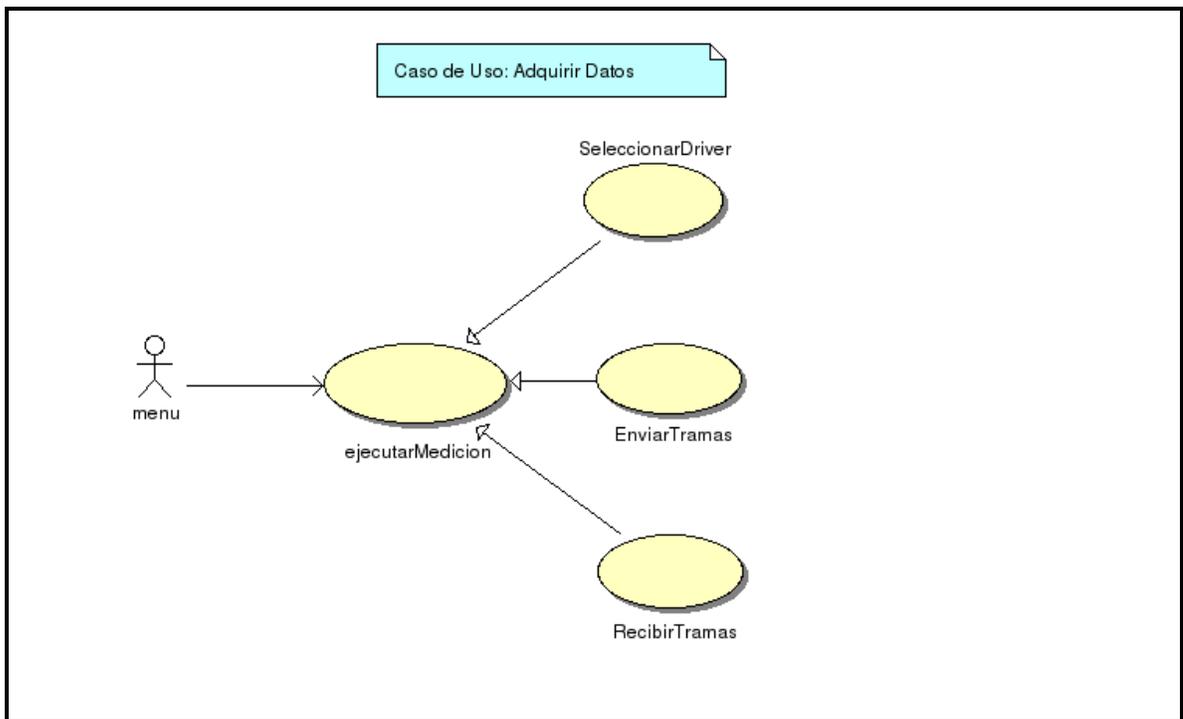


Figura A1.1: Caso de Uso “Adquirir Datos”

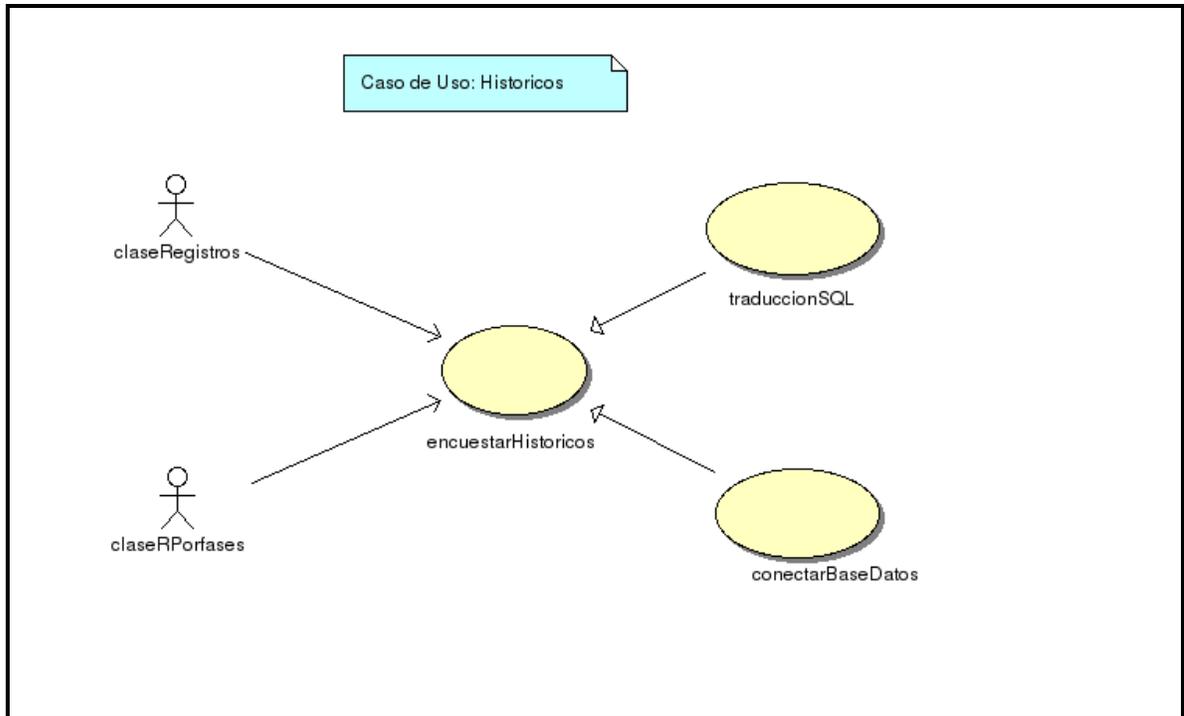


Figura A1.2: Caso de Uso “Históricos”

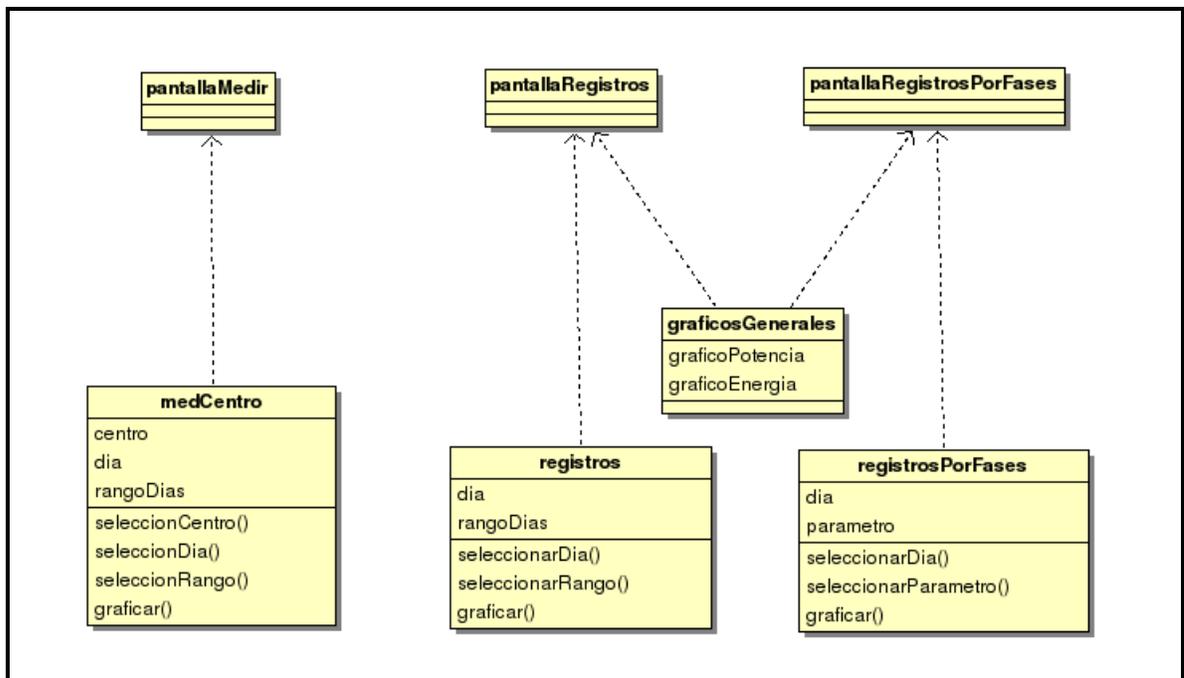


Figura A1.3: Diagrama de clases para las clases que tienen relación con las interfaces gráficas.

Anexo II Líneas de T-Box disponibles.

1. T-Box Estándar

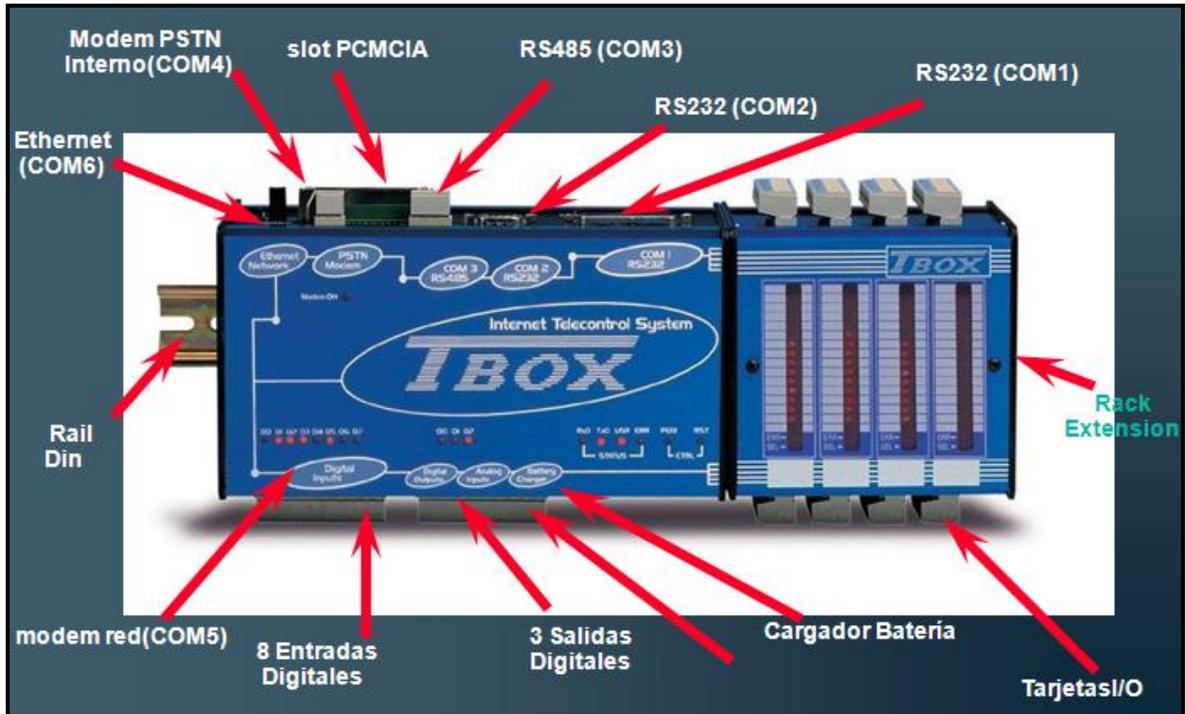


Figura A2.1: T-Box estándar.

Características:

- Múltiples tarjetas de Entradas/Salidas (Digitales y analógicas).
- Alimentación: 12 VDC, 24 VDC, -48 VDC, 120 VAC, 220 VAC.
- Módulos de comunicación: Ethernet, RS-232, RS-485, Modem PSTN, ISDN, XDSL, GSM, Radio UHF, Radiomodem 900Mhz y 2.4 GHz.

2. T-Box MS



Figura A2.2: T-Box MS.

Características:

- Modularidad total (MS: Modular System).
- Sistema más rápido y potente.
- Alta inmunidad al ruido.
- Procesador de 16 y 32 bits.
- Alta velocidad de procesamiento.
- 14 bits de resolución de las entradas analógicas.
- 512 Mb de extensión de memoria.
- Soporta tarjetas multimedia.
- 10/100 Base T Ethernet.
- Protección de las entradas.
- Múltiples módulos de Entrada/Salida.
- Módulos de comunicación: Ethernet, RS-232, RS-485, Modem PSTN, Modem XDSL, Modem GSM/GPRS.
- Fuente de alimentación: 24 VDC, 48VDC, 90-260 VAC.
- Rack de: 5, 10, 15 y 20 slots. Opción de montaje en pared y en rack de 19´´.
- LED indicador de error para cada módulo.
- Fuentes de alimentación avanzadas (cargador de baterías).
- CPU redundante.

3. T-Box Lite



Figura A2.3: T-Box Lite.

Características:

- Integración total, todo en un solo módulo.
- Diseño compacto.
- Precios económicos.
- No es posible expansión de entradas y salidas.
- Ideal para aplicaciones con gran número de terminales.
- Existen varios modelos:

Reference	COM1	COM2	COM3	COM4	DI	DO Relays	Dig In or Out	AI	Temp Input	AO	Counters	battery charger
TBOX LITE LT-200-E	-	Ethernet	RS232	RS485	-	4	8	6	2	0	2	yes
TBOX LITE LT-200-PE	PSTN 56K	Ethernet	RS232	RS485	-	4	8	6	2	0	2	yes
TBOX LITE LT-200-GE	GSM/GPRS	Ethernet	RS232	RS485	-	4	8	6	2	0	2	yes
TBOX LITE LT-201-E	-	Ethernet	RS232	RS485	-	4	8	2	6	0	2	yes
TBOX LITE LT-201-PE	PSTN 56K	Ethernet	RS232	RS485	-	4	8	2	6	0	2	yes
TBOX LITE LT-201-GE	GSM/GPRS	Ethernet	RS232	RS485	-	4	8	2	6	0	2	yes
TBOX LITE LT-300-E	-	Ethernet	-	RS485	4	0	16	8	0	2	2	yes
TBOX LITE LT-300-PE	PSTN 56K	Ethernet	-	RS485	4	0	16	8	0	2	2	yes
TBOX LITE LT-300-GE	GSM/GPRS	Ethernet	-	RS485	4	0	16	8	0	2	2	yes

Figura A2.4: Tabla de modelos de T-Box.

4. T-Box Low Power



Figura A2.5: T-Box *Low Power*.

Características:

- Posibilidad de conectar 2 baterías. Autonomías de hasta 10 años.
- 8 entradas digitales (0-12 VDC), frecuencia de muestreo: 8 veces/segundo.
- Modem PSTN de bajo consumo.
- Consumo en modo Stand by: 10uA.
- Entrada de panel solar (12V nominales) con regulador de conexión de baja potencia (disminución gradual).
- Comunicación por radiomodem en banda no licenciada (2.4 GHz FHSS) o modem GSM.
- Puerto RS-232, RS-485.

5. T-Box Gateway



Figura A2.6: T-Box gateway.

Características:

- Conversor de protocolos por excelencia.
- Ofrece acceso inmediato a través de TCP/IP a cualquier dispositivo electrónico conectado a un puerto del Gateway.
- Posibilidad de re-enrutamiento para realizar “túneles” de comunicación que permitan la configuración directa de los equipos remotos.

Ventajas del equipo.

- Soporta disímiles variantes de comunicación.
- Concepción 3 en 1: RTU + PLC + SCADA Web embebido.
- Arquitectura modular.
- Diseñado para trabajar en entornos ruidosos y bajo condiciones climáticas difíciles.
- Listo para Internet.
- Puede enviar alarmas y reportes por E-mail y FTP.
- Envío de alarmas por SMS. Facilidad de telecontrol por SMS.
- Puede actuar como “Dial up router”. A través de una red conmutada (PSTN, GSM) se puede acceder a dispositivos IP conectados en puertos Ethernet.
- Lenguajes de programación dual. (*Ladder diagram & Basic*).
- Todos sus puertos de Cx trabajan de forma independiente y simultáneamente.
- Es posible direccionar 255 dispositivos MODBUS en puertos RS-485 y Ethernet.

- Disponibilidad de diversos accesorios y drivers.
- Cada puerto puede funcionar independientemente como dispositivo MODBUS RTU *master/slave* (RS-232, RS-485, PSTN, GSM) o MODBUS TCP *master/slave* (Ethernet, GPRS).
- Capacidad de lectura y escritura de variables en bloques.
- Optimización del tráfico en la red. A cada variable o bloque se le puede asignar una condición (*trigger*) para que lea o escriba en los equipos remotos.
- Poderoso colector de datos (*data logger*) capaz de almacenar las últimas 65000 lecturas analógicas/digitales muestreadas de forma periódica y los últimos 4000 cambios de estados de variables analógicas/digitales en forma cronológica.
- Compatible con la mayoría de los software SCADA del mercado.
- Empleo de la tecnología “*Push*”. Los históricos de datos y alarmas pueden ser enviados bajo ocurrencia de eventos vía FTP o e-mail para que sean recolectados por el TVIEW. Los datos pueden ser exportados a cualquier formato de base de datos ODBC compatible.