

# Comunicación de calidad y facturación de energía eléctrica utilizando la red ethernet del itson náinari

Enrique Aragón Millanes, Manuel Domitsu Kono, Armando García Berumen, Hugo O. Romero Ledezma y Gabriel Núñez Román

**Resumen**— En este trabajo se reporta el diseño e implementación de un sistema de comunicación de calidad y facturación de energía eléctrica, para lograr lo anterior fue necesario primero investigar las características de la fuente de información de parámetros de voltaje, corriente, potencia, energía y armónicos, para después investigar los equipos comerciales en el mercado que ofrecen este tipo de medición.

Posteriormente se identificaron las opciones de comunicación de los equipos antes mencionados resultando los siguientes: serial, modem, infrarrojos, radiofrecuencia, fibra óptica y Ethernet. Después se avocó a diseñar el sistema de comunicación utilizando la red Ethernet del ITSON Náinari, para lo cual se evaluaron técnica y financieramente las propuestas de solución al sistema de comunicación recibidas por tres diferentes proveedores. El sistema más factible consiste en la instalación de un medidor inteligente en el punto de entrada del servicio eléctrico y otro en la subestación 1 de la red de potencia, ambos medidores con puertos de comunicación Ethernet para formar un sistema cliente/servidor utilizando la infraestructura de la institución.

A continuación se implementó un prototipo del sistema, utilizando un analizador de potencia ION7500 con puerto de comunicación serial RS232 conectado a la red Ethernet mediante

una computadora con el software Pegasys, previamente instalado y configurado en campo, se conectó el ION en diferentes puntos de la red de potencia, se transmitió la información sobre la calidad y facturación de la energía a las estaciones de trabajo ubicadas en los edificios AV-100, LV-1115 y CAD.

Se realizaron predicciones y ajustes sobre la operación, mantenimiento y planeación de la red de potencia del ITSON Náinari.

**Palabras clave**— Aplicaciones de redes, calidad de la energía eléctrica, facturación de la energía eléctrica, monitoreo de señales eléctricas.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones e informática han tenido un mercado muy creciente en los últimos diez años, debido al uso generalizado de los protocolos de Internet, la apertura de la industria a nuevas tecnologías de telecomunicaciones y a la tecnología de comunicaciones ópticas. Dichos avances han propiciado un mayor interés en el contexto académico y profesional, por la administración, diseño, gestión, desarrollo e implementación de dichos sistemas (Stallings, 2000).

En una tecnología de telecomunicaciones, la conmutación de paquetes, se utiliza en el intercambio flexible de información sobre la red de potencia, entre las computadoras de la red, en instituciones, comercios e industrias. Además, de las aplicaciones tradicionales en las compañías proveedoras del servicio eléctrico, en las naciones del mundo ([www.pml.com](http://www.pml.com)).

Las redes de computadoras se conectan a dispositivos inteligentes en la red de potencia, a fin de disponer de información en la oficina de ingeniería, para el análisis de la calidad de energía, en la oficina de mantenimiento para la administración de la demanda, en la oficina de contabilidad para la supervisión de los costos y fuera de la organización, para comunicar situaciones de emergencia y de supervisión ([www.squared.com](http://www.squared.com)).

La información sobre la red de potencia del ITSON, proviene del medidor inteligente instalado en el punto de entrada del servicio eléctrico, dicho medidor adquiere, procesa, almacena y transmite, vía telefonía celular, la información sobre los parámetros de facturación, a una computadora localizada en la oficina de la Comisión Federal

Manuscrito recibido el 4 de agosto del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista especializada en eléctrica, electrónica y sistemas computacionales.

Enrique Aragón M., está con el Departamento de Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; Tel: (644) 4109000, ext. 1200; Fax: (644) 4109001. (e-mail: [earagon@itson.mx](mailto:earagon@itson.mx)).

Manuel Domitsu K., está con el Departamento de Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; Tel: (644) 4109000, ext. 1200; Fax: (644) 4109001. (e-mail: [mdomitsu@itson.mx](mailto:mdomitsu@itson.mx)).

Armando García B, Actualmente se encuentra en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el área de comunicaciones en el Instituto Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; Tel: (644) 4109000, ext. 1200; Fax: (644) 4109001. (e-mail: [argarcia@itson.mx](mailto:argarcia@itson.mx)).

Hugo Romero, esta en el Departamento de Matemáticas, Tecnologías de Información y Diseño del Instituto Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; Tel: (644) 4109000, ext. 1200; Fax: (644) 4109001. (e-mail: [hromero@itson.mx](mailto:hromero@itson.mx)).

Gabriel Núñez Román hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Instituto Tecnológico de Sonora; Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; Tel: (644) 4109000, ext. 1200; Fax: (644) 4109001. (e-mail: [gnunez@itson.mx](mailto:gnunez@itson.mx))

de Electricidad (CFE), para elaborar el aviso recibo de pago, el cuál es enviado mensualmente, vía mensajería postal, al ITSON. Además, dicha información se sube al portal de la CFE, para su consulta y análisis <http://www.cfe.gob.mx/www2/home.asp>.

La información contenida en el aviso recibo de la CFE, referente a la energía y al precio en base, en intermedia y en punta así como la demanda facturable, permiten el cálculo del monto a pagar. Dicha información se interpreta como los valores históricos acumulados, correspondientes al mes inmediato anterior, por lo que no es posible tomar decisiones tan acertadas, como lo sería si la información estuviera disponible en línea o en tiempo real en las oficinas de ingeniería, de mantenimiento y de contabilidad.

La información histórica en el aviso recibo, referente a los meses del año actual e inmediato anterior, sobre demanda facturable, consumo total, factor de potencia y el factor de carga, representan valores puntuales acumulados y no muestran el comportamiento diario, semanal o mensual de dichos parámetros, por lo que su administración resulta una tarea casi imposible.

Por otro lado, el aviso recibo no contiene información sobre disturbios de voltaje ni transitorios que ocurrieron en la red de potencia y pudieron haber sido la causa de fallas en los equipos instalados.

Por lo anterior, el problema es la comunicación de datos pertinentes en línea, sobre los parámetros eléctricos en la red de potencia, para modelar el comportamiento de la red y así tomar mejores decisiones tendientes a reducir el gasto y mejorar la calidad del servicio eléctrico a la comunidad interna de la institución.

## II. DESARROLLO

Se presenta un bosquejo analítico de los sistemas de comunicación con arquitectura orientada a objetos y la red de área local Ethernet. Además se presentan los requerimientos, la evaluación técnica y financiera de tres propuestas de solución, se listan las actividades posteriores a la firma del contrato con el proveedor y los resultados de la implementación de un prototipo.

### A. Sistema de comunicación de datos

Un sistema de comunicación de datos cliente\servidor, realiza funciones de monitoreo, control y administración de información. Obtiene datos de muchos dispositivos inteligentes en la red de potencia y los distribuye a uno o más computadoras. Una estación de trabajo primaria, actúa como un servidor anfitrión de la base de datos, almacena la configuración del sistema y distribuye los datos de los dispositivos electrónicos inteligentes a estaciones de trabajo secundarias, a través de una red con sistema operativo como Windows.

La arquitectura de sistema orientada a objetos, define las trayectorias lógicas utilizadas para controlar la información, cuando se mueve entre bloques de función dentro de un dispositivo y entre dispositivos y otras partes del sistema. La flexibilidad de esta arquitectura reside en la facilidad y rapidez

con que se añaden nodos al sistema y con que se configuran dispositivos para satisfacer la demanda de información.

Los objetos fundamentales como los módulos y los registros se organizan jerárquicamente en manejadores. Los manejadores contienen todos los módulos disponibles en un nodo. Ellos están arriba de la jerarquía para organizar los módulos. Hay un manejador para cada tipo de módulo. Siempre que un nodo necesita información de otro nodo, este simplemente pregunta a los manejadores.

Los módulos son bloques de funcionalidad virtual que pueden enlazarse y configurarse, por ejemplo el módulo medidor de potencia, es similar en función a un multímetro digital; el módulo de demanda es similar a un medidor de demanda convencional; el módulo integrador puede hacer cualquier cosa que hace un medidor de energía.

Cada módulo tiene uno o más registros de configuración y uno o más registros de salida. Los registros son lugares de almacenamiento de datos para valores numéricos, eventos y formas de onda. El módulo lee datos en su entrada, los manipula de acuerdo a su función y los registros de configuración y escribe el resultado en sus registros de salida.

Cada nodo se hace al enlazar módulos. La entrada de cada módulo puede enlazarse a registros de salida de otros módulos. Esto permite el flujo de datos de un módulo a otro. Los registros de configuración son internos a cada módulo, por lo que generalmente no se enlazan.

Al enredar nodos de dispositivos y nodos de software, se puede crear un sistema de comunicación de datos eficiente a las necesidades de información sobre calidad y facturación de energía eléctrica.

### B. Red Ethernet

La comunicación entre diferentes nodos de dispositivos y nodos de software en una red, permite a los usuarios compartir recursos locales y remotos. Una red de área local (LAN) existe en un edificio o en una universidad. En una LAN con estructura punto a punto, todos los nodos de dispositivos y estaciones de trabajo se conectan entre sí. Se dedica parte de los recursos a recibir y pasar información a otras computadoras, es económica para redes pequeñas.

En una LAN con estructura servidora dedicada, a una computadora central se le conectan las demás computadoras y dispositivos inteligentes. Esta estructura utiliza la filosofía cliente\servidora, en la cual una computadora dedicada está pendiente de las solicitudes que le hagan las computadoras cliente, para dar respuesta a ellas. La estructura cliente – servidora es más compleja y costosa que la estructura punto a punto.

Las estaciones de trabajo, dispositivos inteligentes y medios de comunicación, se hacen compatibles al someterse a la Organización Internacional de estándares (ISO). En el modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos (OSI), se establecen las funciones que deben realizarse en forma estándar, para lograr la comunicación entre diferentes aplicaciones o usuarios. El modelo ISO/OSI, define las reglas (protocolos) para que dos o más dispositivos se puedan comunicar.

La especificación Ethernet realiza las mismas funciones que los niveles físico y de enlace de datos del modelo OSI. Estas

especificaciones afectan a cómo se conecta el hardware y a cómo se intercambia la información. Ethernet es el medio de acceso más conocido para equipos de sobremesa, se utiliza en entornos de red pequeña y grande, es un estándar que no pertenece a ninguna industria y ha tenido gran aceptación por los fabricantes de hardware de red. En la década de los ochenta el IEEE publicó el proyecto 802. Este proyecto generó estándares para el diseño y compatibilidad de componentes hardware que operaban en los niveles físico y de enlace de datos. El estándar que pertenece a Ethernet es la especificación 802.3 del IEEE.

Ethernet es la arquitectura de red más popular, trabaja con los sistemas operativos de red más populares, utiliza una topología bus lineal o en estrella, normalmente transmite a una velocidad de 100Mbps y utiliza CSMA/CD como método de acceso para regular el segmento de cable principal. El medio Ethernet es pasivo, es decir, no requiere una fuente de alimentación, el tipo de cable que utiliza es coaxial grueso o fino o par trenzado con o sin pantalla.

Un método de acceso es un conjunto de reglas que definen la forma en que un equipo, coloca los datos en la red, toma los datos del cable y regula el flujo del tráfico en la red. Los equipos toman turnos para acceder a la red durante breves períodos de tiempo. Varios equipos pueden compartir el acceso al cable, pero si dos equipos tratan de colocar datos en el cable a la vez, los paquetes de datos de un equipo colisionan con los paquetes de datos del otro equipo y ambos conjuntos de paquetes de datos se dañan.

En el método de acceso múltiple por detección de portadora por detección de colisiones (CSMA/CD), cada uno de los equipos de la red, incluyendo a los clientes y a los servidores, comprueban el cable para detectar el tráfico de la red. Los equipos solo pueden transmitir datos si el cable está libre. Una vez que el equipo haya transmitido los datos al cable, ningún equipo puede transmitir datos hasta que estos hayan llegado a su destino y el cable vuelva a estar libre.

Si dos o más equipos tratan de enviar datos en el mismo instante de tiempo, habrá una colisión de datos. Cuando eso ocurre, los dos equipos implicados dejarán de transmitir datos durante un período de tiempo aleatorio y volverán a transmitir los datos. Cada equipo determina su propio período de espera, por lo que se reduce la posibilidad de que los dos equipos vuelvan a transmitir simultáneamente.

Los equipos oyen o “detectan” el cable (detección de portadora). Normalmente, muchos equipos de la red intentan transmitir datos (acceso múltiple); primero, cada uno oye para detectar posibles colisiones. Si un equipo detecta una posible colisión, espera un período de tiempo aleatorio antes de poder volver a intentar transmitir (detección de colisiones). La posibilidad de detección de colisiones es el parámetro que limita a 2,500 m, la distancia entre equipos, pues la atenuación o debilitamiento de la señal transmitida a medida que se aleja del origen, impide su detección, por lo que no se puede asegurar que un equipo en el otro extremo esté transmitiendo.

CSMA/CD es un método de contención debido a que se contiene o retiene a los equipos de la red, hasta que haya una oportunidad para enviar los datos. Parece una forma pesada de colocar los datos en la red, pero es tan rápido que los usuarios no percibimos que se está utilizando este método.

A mayor cantidad de equipos en la red, mayor tráfico de red, más colisiones y red más lenta. Después de cada colisión, ambos equipos tendrán que retransmitir sus datos, si la red está muy saturada, los intentos de ambos equipos pueden producir colisiones en la red con los paquetes de otros equipos. Si ocurre esto se tiene cuatro equipos que tienen que volver a transmitir. Este aumento de las retransmisiones hace que la red quede paralizada. Este problema depende del número de usuarios que intenten utilizar la red y de las aplicaciones que estén utilizando. Las aplicaciones de bases de datos tienden a colocar en la red más datos que las aplicaciones de procesamiento de textos.

Normalmente los datos existen como archivos de gran tamaño. En cambio las redes no pueden funcionar si los equipos colocan a la vez grandes cantidades de datos en la red. Un equipo que envía grandes cantidades de datos, hace que otros equipos tengan que esperar mientras transmiten los datos, esto no es lo que se llama compartir, esto es, monopolizar la red.

Para evitar lo anterior, Ethernet divide los datos en paquetes o tramas. Una trama es una unidad de información transmitida como una entidad desde un dispositivo a otro de la red. Una trama Ethernet puede tener entre 64 y 1,518 bytes, pero la propia trama necesita utilizar al menos 18 bytes; así pues, el tamaño de los datos de una trama está entre 46 y 1,500 bytes. Cada trama contiene información de control y tiene la misma estructura básica.

Los componentes de una trama Ethernet utilizada por el estándar para la transmisión de datos en redes son: preámbulo (indica el principio de la trama), destino y origen (direcciones de origen y destino), tipo (identifica el protocolo de nivel de red, IP o IPX) y comprobación de redundancia cíclica (CRC) para detección de errores.

Las redes Ethernet incluyen varias alternativas de cableado y topologías. A 10 Mbps están las topologías 10BaseT, 10Base2, 10Base5, 10BaseFL y 10Broad 36, las cuales se están viendo reemplazados por los estándares IEEE a 100 Mbps y 1 Gbps, que incluyen la posibilidad de atender a aplicaciones que requieren un ancho de banda elevado como: diseño asistido por equipo (CAD), fabricación asistida por equipo (CAM), video y almacenamiento de imágenes y documentos.

Las especificaciones Ethernet 10BaseT del IEEE 802.3 son: topología bus en estrella, cable par trenzado sin apantallar de categoría 3, 4 o 5, conexión a la NIC con RJ-45, impedancia de 85 a 115  $\Omega$  en par trenzado sin apantallar y de 135 a 165 en par trenzado apantallado, distancia 100 m entre el equipo y el concentrador, longitud máxima de un segmento de cable 100m, cada estación tiene su propio cable al concentrador. Puede haber hasta 12 equipos por concentrador y un máximo de 1,024 equipos por LAN sin ningún tipo de conectividad.

### C. Requerimientos

La primera etapa del proceso de innovación tecnológica de recursos computacionales consiste en determinar los requerimientos del nuevo equipo que será adquirido, a fin de transmitir las necesidades de manera clara a los proveedores.

El sistema de comunicación dará apoyo a las decisiones en la vicerrectoría administrativa, en la dirección de recursos

materiales y servicios generales, en el departamento de obras y adaptaciones, en la coordinación de mantenimiento de aire acondicionado y electricidad y a la dirección de ingeniería y tecnología del ITSON. La información requerida por cada una de estas dependencias se refiere al comportamiento y predicción de los pagos que se hacen a Comisión Federal de Electricidad cada mes, así como el gasto relativo al mantenimiento de la red de potencia eléctrica debido a la calidad de la energía.

Los requerimientos de aplicación del sistema, consideran que el índice de crecimiento en infraestructura eléctrica estimado durante los diez años del horizonte de planeación es de 2%, durante el cual surgirán nuevas aplicaciones a resolver con arquitecturas cliente- servidor y estaciones de trabajo.

Los requerimientos obligatorios que se especificaron para el sistema de comunicación son:

- Integración con la red Ethernet
- Monitoreo de calidad de la energía: subidas / bajadas de voltaje, transitorios y armónicos (orden y resolución en muestras por ciclo ).
- Medición de la facturación de acuerdo a tarifa contratada con CFE: Reportes semanales de consumo, factor de potencia y demanda máxima.
- Administración de la demanda máxima de potencia
- Requerimientos de hardware y software de las estaciones de trabajo
- Memoria, precisión, resolución y microprocesador del medidor
- Requerimientos de instalación y configuración del sistema de monitoreo: Costo, espacio físico, temperatura ambiente, ups, reguladores de voltaje y equipos de refrigeración
- Costo del equipo, plazos de pago, opciones de compra y tiempo máximo de entrega
- Soporte para entrenamiento de personal y mantenimiento del hardware y del software.
- Condiciones legales del contrato y garantía del sistema.

*D. Evaluación técnica*

La segunda etapa del proceso de innovación tecnológica de recursos computacionales consiste en evaluar las características y los factores técnicos de los equipos disponibles presupuestados por los proveedores.

El proveedor I.D.E.A.S., propone la instalación en gabinete y programación de un medidor ION8500 Power Measurements, con puerto de comunicación Ethernet 10Base-T, un software ION Enterprise versión 5.0, para acceder a la información sobre calidad y facturación de energía eléctrica, vía la red Ethernet del Itson o vía Internet, utilizando un buscador estándar instalado en una estación de trabajo (fig. 1).

Para conectar el medidor en la acometida de la red de potencia, I.D.E.A.S., propone el suministro de un equipo compacto integrado con transformadores de corriente de 100/5 A y de voltaje de 8,400/120 V con exactitud de 3%, su instalación en gabinete tipo pedestal, alambrado, desconexión, conexión, y redistribución de la acometida subterránea con cable XLPE de aluminio calibre 1/0.

El proveedor Schneider, propone un sistema supervisorio de la red de potencia, compuesto de dos equipos de monitoreo de la familia PowerLogic, conectados a la red Ethernet del ITSON, es decir, la instalación de un monitor de circuitos CM4000T en la acometida a media tensión, con dos transformadores de potencial de 14,400/120 V y tres transformadores de corriente de 200/5 A, y la instalación de un monitor CM4000 en la subestación 1 a baja tensión, con transformadores de corriente de 800/5 A. Ambos monitores con puerto de comunicación Ethernet (fig. 2).

Así también, Schneider, propone la instalación de un software cliente/servidor manejador del sistema, SMS1500ESP en una estación de trabajo, desde donde podrán observarse los parámetros eléctricos de calidad y facturación de energía, utilizando la red Ethernet del ITSON y en donde se creará la base de datos. Además, sugiere el uso del módulo de facturación con algoritmo de CFE modelo 9789BILL y el software para gráficos GFX1000ESP.

El proveedor Mabrex, propone un sistema de comunicación compuesto de: un medidor/analizador multifunción PML 7600ION, con puertos de comunicación Ethernet y RS-485, para ser instalado en la acometida a media tensión; tres medidores/analizadores multifunción PML 7500ION o tres PML 7350ION, en red, utilizando puertos RS-485 y conectados al 7600 ION; la actualización del software Pegasys 2.0 versión lite al software ION Enterprise 4.5, para soportar un máximo de 5 medidores y con opción de Web Reach que permite a varias computadoras extraer información del servidor a través del Web Explorer (fig. 3).

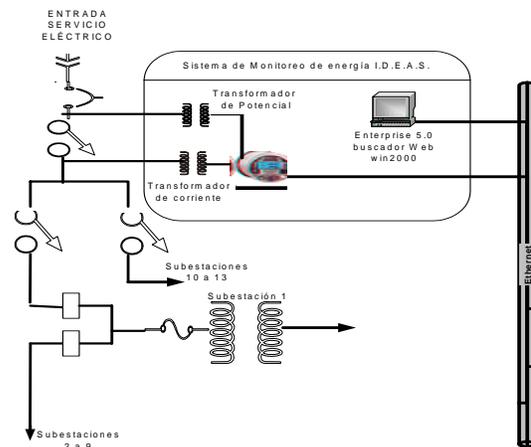


Fig. 1. Propuesta de solución I.D.E.A.S.

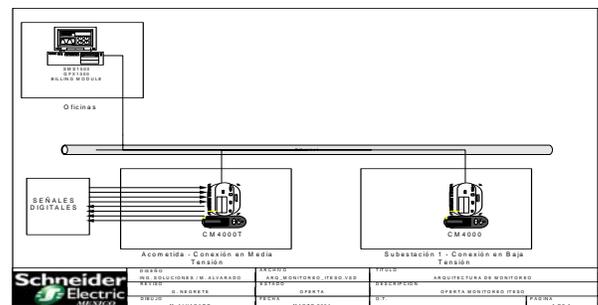


Fig. 2. Propuesta de solución Schneider.

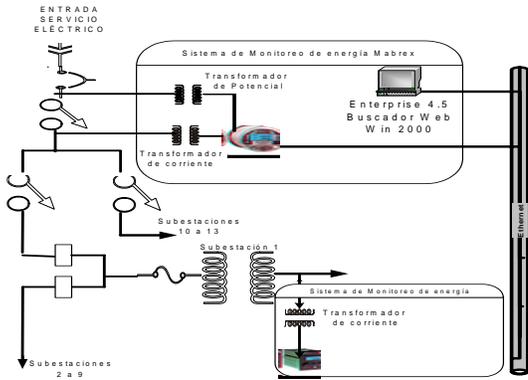


Fig. 3. Propuesta de solución Mabrex.

**E. Método de Kernel**

El núcleo de las aplicaciones típicas a realizar por el sistema de comunicación son: facturación, administración de demanda y calidad de energía. El tiempo de ejecución de cada una de estas aplicaciones en los sistemas de comunicación propuestos por los proveedores, se midió a partir de que se tiene en memoria la configuración de la red y la estación de trabajo se encuentra apagada, hasta que se elaboran los reportes mencionados.

Los análisis muestran que los sistemas de comunicación propuestos, realizan rápida y satisfactoriamente reportes de: consumo, factor de potencia, demanda máxima, subidas/bajadas de voltaje, armónicos y transitorios. Además, anuncian cuando se alcanzan valores predeterminados de demanda, corriente y regulación de voltaje.

**F. Método de factores ponderados**

Se asignó un peso de 25 puntos a cada uno de los factores ponderados de Hardware, de Software y de proveedor. Se asignó una calificación de 0 a 25 puntos a cada solución propuesta de acuerdo con la medida en que cumple con el factor considerado.

Los resultados obtenidos muestran que las tres propuestas de sistemas de comunicación, son capaces de integrarse a la red Ethernet 10/100 Base-T y utilizan una tecnología orientada a objetos, con tiempo de vida mayor a los 10 años que es la vida del proyecto, por lo que la calificación obtenida en estos factores fue de 25 puntos.

Respecto a soporte para entrenamiento de personal y mantenimiento del hardware y software, los tres proveedores tienen sus oficinas de distribución en la Cd. de México, por lo que se asignó una calificación de 15 puntos.

La confianza que se tiene con el proveedor Mabrex (20 puntos), se debe a que en el año 2001 suministró al ITSON, un sistema portátil y didáctico de comunicación, que ha funcionado adecuadamente. La serie 8500 propuesta por I.D.E.A.S., es para instalación tipo enchufe y no en tablero como la serie 7600 de Mabrex. Schneider, propone la serie CM4000, la cuál es muy fiable e implica emigrar a otra tecnología. La propuesta que obtuvo el mayor número de puntos totales, fue Mabrex, con 85 puntos.

**G. Comparación de medidores**

En la tabla 1 se comparan las características de los equipos medidores, se observa que el ION 7600 sensa más armónicos, hasta el 127avo. y tiene la mayor resolución, 256 muestras/ciclo, por lo que resulta el mejor para satisfacer los requerimientos de monitoreo sobre calidad de energía.

De acuerdo con los resultados técnicos obtenidos podemos concluir que, técnicamente la propuesta más factible de solución al sistema de comunicación de calidad y facturación de energía es la realizada por Mabrex.

**H. Evaluación financiera**

La tercera etapa del proceso de innovación tecnológica de recursos computacionales, consiste en la definición y evaluación de las características y los factores económicos de los equipos a considerar en el sistema de comunicación.

Las propuestas financieras al sistema de comunicación, muestran que la liquidación debe hacerse en dos pagos, por lo que, no se consideró la posibilidad de renta del equipo ni su arrendamiento financiero, porque en este trabajo, no se contempla buscar arrendadora que pague el equipo al proveedor y retenga su propiedad, hasta que el ITSON le liquide cada uno de los pagos.

**I. Costo de los sistemas propuestos**

El sistema de comunicación contempla la instalación de un medidor en la acometida eléctrica en media tensión junto al medidor de CFE y la instalación de un medidor en el lado de baja de la subestación No1. Las propuestas de los proveedores fueron uniformizadas para cumplir con este requerimiento.

El proveedor Mabrex, presentó la cotización mostrada en la tabla 2.

El costo por el suministro de equipo mínimo requerido por el sistema, es decir, al considerar un PML 7600ION, un PML 7500ION y la actualización del software Pegasys a ION Enterprise versión 4.5 con opción Web Reach y soporte de hasta 5 medidores, es de :  $(\$5,077 + \$3,347 + \$2,100) * 11.6 = \$122,078$

Puesto que Mabrex no cotizó los transformadores de corriente necesarios para alimentar al medidor 7500, se encontró que su costo es de \$2,100. Los transformadores de potencial y de corriente en media tensión, para el medidor 7600, tienen un costo de \$10,000 y su instalación \$1,000. Así, el costo por estos conceptos es de:  $(\$2,100 + \$10,000 + 1,000) * 11.6 = \$151,960$ .

TABLA 1. PARÁMETROS DE MEDIDORES.

Factor/medidor	ION8500	ION7600	CM4000	CM4000 T	ION7500
Microprocesador	32 bits	32 bits	32 bits	32 bits	32 bits
Memoria	4 Mbyte	4 Mbyte	4 Mbytes	4 Mbytes	1 Mbyte
Armónicos	Hasta 63 avo.	Hasta 127 avo.	Hasta 63 avo	Hasta 63 avo	Hasta 63 avo.
Resolución Muestras x ciclo	128	256	128	128	128
precisión	Alta (0.3%)	Alta	Alta	Alta	Alta

El costo total del sistema Mabrex es: \$122,078 + \$151,960 = **\$274,038**

El proveedor, I.D.E.A.S., cotizó en dos partes el sistema. Los precios por cada concepto se muestran en la tabla 3.

El sistema I.D.E.A.S. contempla la instalación de solo un medidor 8500 en la acometida eléctrica a media tensión, mediante equipo compacto, gabinete y cable.

La propuesta del proveedor I.D.E.A.S., se complementó con la instalación de un medidor 7500 en el lado de baja tensión de la subestación No. 1, mediante transformadores de corriente, para posibilitar su comparación con los otros proveedores.

TABLA 2. COTIZACIÓN DEL PROVEEDOR MABREX.

**Partida:** 1  
**Cantidad:** 1  
**Modelo:** PML 7600ION  
**No. Catalogo:** P7600 A0 C 0 B 6 E 0 A 0 A  
**Precio Unitario (USD):** \$5,077.00  
**Precio Total (USD):** \$5,077.00

**Partida:** 2  
**Cantidad:** 3  
**Modelo:** PML 7500ION  
**No. Catalogo:** P7500 A0 C 0 B 6 A 0 A 0 A  
**Precio Unitario (USD):** \$3,347.00  
**Precio Total (USD):** \$10,041.00

**Partida:** 3  
**Cantidad:** 3  
**Modelo:** PML 7350ION  
**No. Catalogo:** P7350 A0 B 0 B 0 A 0 A 0 A  
**Precio Unitario (USD):** \$2,116.00  
**Precio Total (USD):** \$6,348.00

Partida No. 4: Actualización de Software

1 Pza. Actualización de Software Pagasys Versión Lite, a software Ion Enterprise 4.5 con soporte para un máximo de 5 medidores, incluye opción de Web Reach, que permite a varias computadoras extraer información del servidor a través del Web Explorer.

Precio Unitario (USD): \$2,100.00

Partida No. 5: Actualización de Software

1 Pza. Igual a la partida anterior, excepto que no incluye la opción de Web Reach,

Precio Unitario (USD): \$410.00

El proveedor Schneider, cotizó en dos partes el sistema como se muestra en la tabla 4.

Se cotizan dos tarjetas Ethernet Gateway para el acceso desde Internet o Intranet, a la información de los medidores y una tarjeta de cuatro entradas y cuatro salidas digitales, para posibilitar a futuro, la administración automática de la demanda.

TABLA 3. COSTO DEL SISTEMA I.D.E.A.S.

1	Software ION Enterprise versión 5.0 y medidor ION8500	\$ 238,093
1	Equipo compacto integrado, gabinete y cable XLPE	\$ 345,023
1	Medidor ION7500	\$ 38,825
3	Transformador de corriente	\$ 24,360
	<b>T O T A L</b>	<b>\$ 646,302</b>

TABLA 4. COTIZACIÓN DEL PROVEEDOR SCHNEIDER.

Desglose de software y accesorios sistema supervisorio ITESO					
Software					
Cantidad	Catálogo	Descripción	Marca	Precio Unitario	Precio Total
1	SMS1500 ESP	Software supervisorio Cliente/Servidor	Square D	11,821.86	11,821.86
1	GFX1000ESP	Software de gráficos	Square D	3,400.81	3,400.81
1	9789BILL	Billing Module	Square D	49,535.22	49,535.22
Accesorios generales de comunicaciones					
Cantidad	Catálogo	Descripción	Marca	Precio Unitario	Precio Total
2	ECC21	Tarjeta Ethernet Gateway para CM4000	Square D	5,883.40	11,766.80
Equipos					
Cantidad	Catálogo	Descripción	Marca	Precio Unitario	Precio Total
1	CM4000T	PowerLogic Circuit Monitor para transitorios	Square D	24,291.50	24,291.50
1	CM4000	PowerLogic Circuit Monitor serie CM4	Square D	17,240.49	17,240.49
2	CMD-VF	Pantalla para CM4000T Fluorescente	Square D	5,344.13	10,688.26
1	IOC44	Tarjeta de 4 entradas/ salidas digitales para CM4	Square D	2,351.42	2,351.42

TABLA 4. COTIZACIÓN DEL PROVEEDOR SCHNEIDER(Continuación).

2	KPL CM325 008	Kit de instalación de power logic con TC's	Squa reD	20,40 4.86	40,80 9.72
1	sección n	sección de TP's y TC's media tensión	Squa reD	94,14 9.58	94,14 9.58
Ingeniería					
	Horas	Descripción		Precio Unitario	Precio Total
	8	Ingeniería de hardware y comunicaciones		534.41	4,275.30
	16	Ingeniería de software		534.41	8,550.61
	24	Puesta en marcha y pruebas		534.41	12,825.91
	16	Capacitación	SEM	534.41	8,550.61
		Mano de obra	SEM	37,244.87	37,244.87
TOTAL COTIZADO M.N.					\$ 337,502.95

TABLA 5. COMPARACIÓN DE COSTOS EN LOS SISTEMAS PROPUESTOS

Propuesta	Suministro de equipo	Instalación y configuración	Costo total
I.D.E.A.S.	\$501,279	\$145,023	\$646,302
Schneider	\$266,055	\$71,447	\$337,502
Mabrex	\$122,078	\$151,960	\$274,038

Por concepto de suministro de software, accesorios generales de comunicaciones y equipos, el precio total es de \$266,055.65. Por concepto de ingeniería, configuración y capacitación es de \$71,447.3. El total cotizado es **\$337,502.**

*J. Análisis de costos*

El sistema de comunicación de calidad y facturación de energía, involucra tanto costos por el suministro de equipo y software como por su instalación y configuración. En la tabla 5, se presentan los costos correspondientes a cada una de las propuestas recibidas, cuando se uniformizan a la instalación de dos medidores, uno en la acometida y otro en la subestación 1.

Se concluye que la opción más económica es que el proveedor Mabrex suministre el equipo (\$122,078.4.), que se complemente, se configure y se instale (\$151,960) en la acometida y en la subestación 1, utilizando sus puertos

Ethernet. Así el costo total del sistema de monitoreo es \$ **274,038.**

*K. Estimación de los beneficios*

A fin de estimar los beneficios que el sistema de comunicación puede generar, se analizó la tarifa horaria a media tensión (H-M) y la demanda contratada por el ITSON a CFE (1816 kW). Así también se analizaron los datos históricos de facturación correspondientes a un año anterior (2003). La información recopilada se encuentra en el aviso recibo de febrero 2004 localizada en (<http://www.cfe.gob.mx/www2/home.asp>) así como el documento de la tarifa H-M, localizado en la dirección de Internet

[http://www.cfe.gob.mx/www2/Tarifas/Tarifas.asp?seccion=otros&seccion\\_nombre=Conoce+tu+tarifa&Tarifa=HM&Publicacion=45&Anio=2004&mes=5](http://www.cfe.gob.mx/www2/Tarifas/Tarifas.asp?seccion=otros&seccion_nombre=Conoce+tu+tarifa&Tarifa=HM&Publicacion=45&Anio=2004&mes=5).

Los datos históricos de demanda facturable, muestran que durante el año 2003, dicha demanda superó dos veces la demanda contratada a CFE (1816 KW), en Agosto (1871 KW) y en Septiembre (1882 KW). Además en dos ocasiones, en Junio (1368 KW) y en Julio (1387 KW), fue ligeramente menor. Si en el 2004, la demanda facturable, supera tres veces la demanda contratada, por disposición de la tarifa H-M, se deberá contratar una demanda mayor que la actual, lo cual es un proceso sin costo, pero evitable con la implementación de un sistema de comunicación.

La estrategia a utilizar para generar información que permita reducir la demanda facturable de acuerdo a su monitoreo, consiste en limitar dicha demanda en agosto y septiembre 2004 a un valor de 1,800 Kw., la cual es ligeramente menor que la demanda contratada de 1816 Kw. y representa un ahorro del 3.8 en agosto y 4.3% en septiembre.

El medidor mostrará en tiempo real la carga conectada en Kw. y nos avisará cuando esta sea de 1,700 Kw, es decir, 100Kw menos que la permitida, con esto podremos tener la oportunidad de controlar manualmente su valor al desenergizar las cargas de poca prioridad.

Durante los meses de Junio y Julio 2004, la demanda facturable se limitará a 1,300 Kw., la cual es menor en 68 y 87 Kw. que la demanda correspondiente a dichos meses en el año anterior. El sistema nos avisará cuando la carga conectada sea de 1200 Kw., es decir, 100 kw menos que la permitida.

Haciendo lo anterior se tendrán los beneficios mostrados en la tabla 6 (**48,779 \$/año**). Obsérvese que se consideran los meses del año en que el comportamiento de la carga y las condiciones de la tarifa, permiten tener mayores ahorros.

Se medirá continuamente el consumo de energía en Kwh. Cuando la lectura sea 50 Kwh menor que el consumo del mes correspondiente del año anterior. El medidor emitirá una alarma, alertando al analista para que se disponga a controlar manualmente el consumo. Así se obtendrán los beneficios estimados siguientes:

$$50 \text{ Kwh. / mes} * 12 \text{ meses} * 1.498 \text{ $ / Kwh.} = 750 \text{ $ / año}$$

TABLA 6. BENEFICIOS DEL SISTEMA POR MES.

Mes	Demanda facturable KW 2004	Demanda facturable KW 2003	Reducción de demanda facturable KW	Costo por KW en 2003	Ahorro \$
Junio	1300	1368	68	158.44	10,774
Julio	1300	1387	87	158.44	13,784
Agost	1800	1871	71	158.44	11,249
Septie	1800	1882	82	158.44	12,992
T O T A L					48,799

Los beneficios estimados totales al año por concepto de reducción de demanda y reducción del consumo son:

$$\$48,799 + \$750 = \$49,549$$

Los beneficios por reducción de mantenimiento debido a la mejora de la calidad de energía en la red de potencia no se estimaron por ser una limitante del proyecto.

#### L. Valor presente neto

El sistema de monitoreo tiene un costo inicial de \$274,038, se estima que los beneficios anuales (prescindiendo de cualquier costo de mantenimiento) del usuario del sistema de monitoreo es de \$49,549 y se estima un valor de rescate de \$1,000. Determinamos si el sistema de comunicación es económicamente justificable, utilizando el método del valor presente, suponiendo una tasa de interés del 10% y un periodo de análisis (vida del sistema) de 10 años.

Puesto que el valor presente neto es positivo (\$106,548), el sistema de monitoreo es factible económicamente.

#### M. Recuperación de la inversión

El tiempo necesario para recuperar la inversión en datos del sistema de comunicación, se calcula al igualar a cero la suma de los costos y los beneficios a la tasa de interés predeterminada y despejando el valor de n, que es el número de años en que se recupera la inversión. La inversión se recupera en 5.42 años.

#### N. Actividades posteriores

La cuarta y última etapa del proceso de innovación tecnológica de recursos computacionales, consiste en definir las actividades posteriores a la firma del contrato con el proveedor seleccionado (Mabrex), para asegurar la implantación correcta del sistema de comunicación de calidad y facturación de energía.

La capacitación del personal que operará el sistema, las políticas y los procedimientos de operación tendientes a detectar y resolver problemas de demanda, consumo, voltaje y corriente en la red de potencia, son algunas de las actividades que deben desarrollarse.

El ambiente de red en el sistema de comunicación se muestra en la figura 4. La operación del sistema estará a cargo

del departamento de obras y adaptaciones, un analista, un supervisor y un técnico eléctrico. En la ruta de los datos desde el medidor fuente hasta el cliente destino, se utilizarán Switches Avaya y Cisco, así como cable cat 5e y fibra multimodo a 100 Mbps y 1Gbps.

El equipo servidor de base de datos será la computadora del laboratorio de electrónica, las estaciones de trabajo serán las ya asignadas para el sistema de comunicación prototipo ya implementado, los nodos de red ya han sido instalados por el DTSI.

El procedimiento de administración de demanda consta de los siguientes pasos.

1. Capacitar a los operadores de los equipos eléctricos en el análisis y entendimiento de la factura de energía eléctrica.
2. Analizar y desarrollar los perfiles de carga mensual, semanal y diario, mediante las facturas eléctricas y el analizador de potencia del laboratorio de electrónica, con el fin de determinar: el patrón de demanda durante el año y saber cuales meses contribuyen más a la demanda facturable, el día y la hora en que ocurrió la demanda máxima mensual en el año.
3. Responder a las preguntas ¿Porqué un determinado mes tuvo el mayor consumo?, ¿Porqué la variación de demanda de mes a mes?, ¿Porqué la demanda no es constante entre un día y otro?, ¿Porqué el pico diario ocurre en un momento en particular?.
4. Identificar las cargas eléctricas que afectan más en los picos de demanda, mediante el analizador de potencia del laboratorio de electrónica cuando se instala en cada una de las subestaciones de la red de potencia, para cuantificar su contribución al pico de la demanda.
5. Identificar las cargas eléctricas que no contribuyen significativamente al pico de demanda, por lo que pueden apagarse con muy poco efecto negativo sobre el proceso.
6. Asignar prioridades a las cargas, las que tengan poco o ningún impacto sobre el proceso o confort, pueden considerarse como prioritarias para ponerlas fuera de operación. Las cargas con mayor efecto negativo sobre el proceso deben ser las últimas en la lista de prioridades.
7. hacer un itinerario o programación de la operación de diferentes cargas, como prohibir ciertas cargas durante un tiempo específico (horario pico), definir tiempos de operación para ciertos departamentos e involucrar cambios en las costumbres de operación simples pero permanentes.

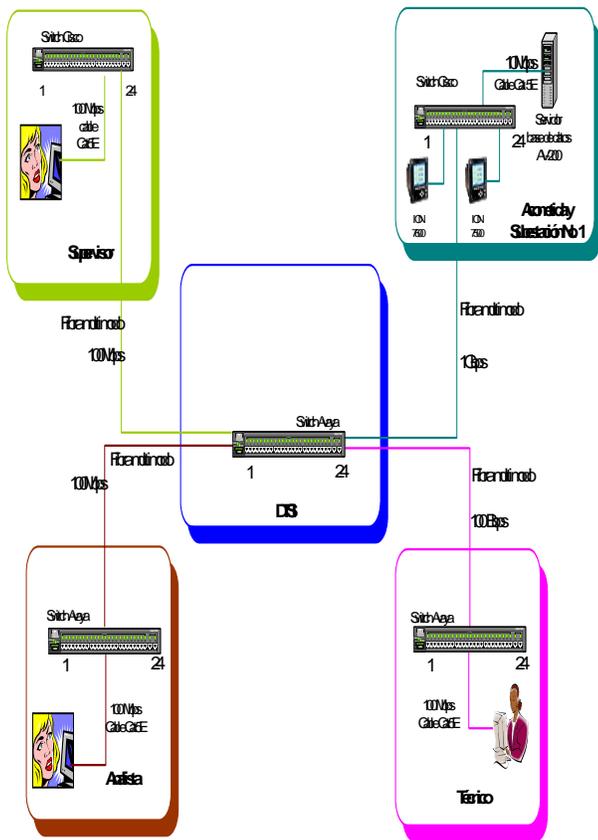


Fig. 4. Ambiente de red del sistema.

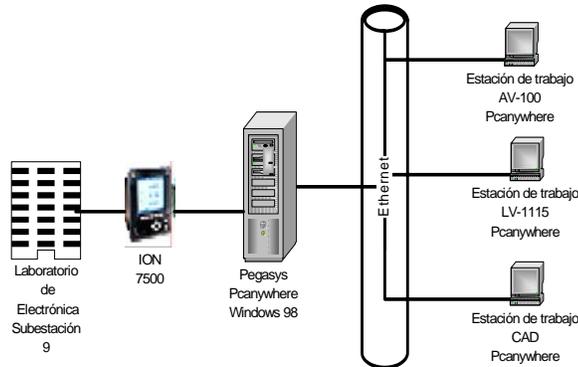


Fig. 5. Prototipo de sistema de comunicación.

8. Monitorear en pantalla del medidor de la acometida, la demanda total de la red. El medidor deberá anunciar en forma sonora cuando la demanda exceda un valor preseleccionado, 10% menor que el mismo mes del año anterior, para que los operadores tengan oportunidad de desconectar el equipo que potencialmente puede ser apagado y para que el tiempo de respuesta pueda minimizarse.
9. Liberar las restricciones de encendido de cargas una vez que la demanda haya disminuido a un valor 20% menor que el mismo año anterior.

O. Prototipo de sistema de comunicación

El sistema de comunicación que se implementó (figura 5) consta de 4 estaciones de trabajo cuyos requerimientos de software, hardware y sistema operativo necesarios para su operación, se detallan a continuación.

El software requerido consta de las aplicaciones incluidas en el CD de distribución de Pegasys Workstation Lite Ver. 2.0, para Windows 95/98 en Inglés con Service Pack 3, Microsoft Excel 97 para crear reportes de base de datos usando la utilidad Report Generator y Microsoft Internet Explorer 4.0 a fin de utilizar el sistema de ayuda Pegasys.

El hardware requerido consta de una o más computadoras Pentium con procesador de 200 MHz, 4 GB de disco duro, CD-ROM, 128 MB de RAM, tarjeta adaptadora de red Ethernet 100 Base-T. Se recomienda además una fuente de poder ininterrumpible, monitor de 12 pulg. SVGA Multisync y adaptadores gráficos de alta velocidad, un cable de extensión serial NO cruzado, con conector DB9 hembra en un extremo y conector DB9 macho en el otro extremo y uno o más discos compactos de 700 MB para el respaldo de los datos.

Los equipos y accesorios del sistema de monitoreo implementado son propiedad del DTSI y del Departamento. de Laboratorios. Estos incluyen un medidor de la marca Power Measurements tipo ION 7500, con puerto serie RS232, utilizado para comunicación con una estación de trabajo Pentium II, 333 MHz, 64 MB de RAM, 1 GB de disco duro, con software Pegasys, Windows 98 en español y pcAnywhere.

Ésta PC se conectó a la red Ethernet del ITSON, mediante una tarjeta de red ISA EtherLink III 3 Com en modo PnP y cable par trenzado categoría 5 con conector RJ-45. Además, se utilizaron 3 estaciones de trabajo prestadas para este proyecto, ubicadas en los edificios AV-100, LV-1115 y CAD, con programa de control remoto pcAnywhere, desde donde se consultó la información sobre calidad y facturación de energía.

La conexión indirecta de un medidor a la red Ethernet, requiere de un puerto de comunicación serie RS-232 en el medidor, una estación de trabajo con puerto RS-232 y tarjeta de red Ethernet, además, un programa computacional edición estación de trabajo (menos sofisticado que el de edición de red) y un programa para el control remoto de dicha PC desde otra PC conectada a la red (tal como el pcAnywhere).

Con lo anterior, es posible un sistema de comunicación punto a punto para obtener datos de múltiples medidores, almacenarlos en un servidor de base de datos y distribuirlos a una o más estaciones de trabajo remotas conectadas a la red, para que en el modo conferencia con el Host, puedan ver las cantidades de un mismo Host.

El medidor ION7500 se conectó a la red de potencia en el alimentador de la subestación 9 hacia el edificio de electrónica LV1100, utilizando tres transformadores de corriente tipo pinza, con relación de transformación de 1000/5 A y tres fusibles de protección de 2 A para la entrada de voltajes de línea.

Es importante recalcar que se tuvo mucho cuidado en no abrir el devanado secundario de los transformadores de corriente cuando su devanado primario estuviera activo, pues si se llegara abrirse se inducen voltajes peligrosos en el secundario que pueden lesionar al operador.

La instalación del software Pegasys en una PC con Windows 98 en español, requiere crear una carpeta common files en archivos de programa, copiar el programa system de archivos comunes en archivos de programa y pegar system en carpeta common files. Además es necesario bajar del sitio de Microsoft, el paquete DCOM 98 e instalarlo en la PC. Una vez hecho lo anterior, debe ejecutarse el archivo set up del CD Pegasys, para ser guiado en su instalación si se tiene el número de serie de la licencia de uso.

Una vez instalado Pegasys, debe utilizarse el componente Network Builder, para configurar el sistema, para insertar una estación de trabajo cuyo nombre debe coincidir con el nombre de la PC, deben insertarse los nodos de software especificados y un sitio serial, después debe insertarse un dispositivo ION 7500 con los datos correspondientes a la configuración por defecto del medidor.

A continuación deben ejecutarse los componentes de Pegasys, Comm Server, Log Server y VIP, para establecer la comunicación entre el medidor y la estación de trabajo, formar la base de datos y preparar el procesador de instrumentos virtuales.

*P. Información generada*

Una vez establecida la comunicación entre el medidor y la estación de trabajo, es posible observar en pantalla, la información detectada y procesada por el medidor, para lo cual, utilizamos el componente Vista. Así también es posible generar reportes de calidad de energía, perfil de carga y energía – demanda, utilizando la utilidad de Pegasys, Report Generator.

El reporte de perfil de carga de la figura 6 muestra una demanda máxima de 148.25 Kw. ocurrida a las 12.12 hrs. Del 24 de marzo de 2004.

El reporte de energía y demanda de la figura 7 muestra una facturación por concepto de energía de \$275.53 y por concepto de demanda de \$296.52.

La pantalla con información necesaria para el control de la demanda se muestra en la figura 8. Es posible que el sistema nos avise cuando la demanda, las corrientes de línea o el desbalance del voltaje (debe ser menor de 5 %), excedan de los valores Set Point predeterminados de acuerdo a las normas o a las estrategias de administración.

En la figura 9 se presenta una pantalla con información sobre la calidad de la energía. Se muestran los valores de distorsión armónica total en los voltajes de fase (debe ser menor de 5 %) y las corrientes de línea (debe ser menor de 20 %), así como los disturbios en Sags y Swells (bajadas y subidas) de voltaje.

III. CONCLUSIONES

Es posible el diseño e implementación de sistemas de comunicación, que permitan sensar y comunicar de manera remota y en línea, tanto la calidad y facturación de energía eléctrica como otros tipos de energía, utilizando la infraestructura de red de las organizaciones.

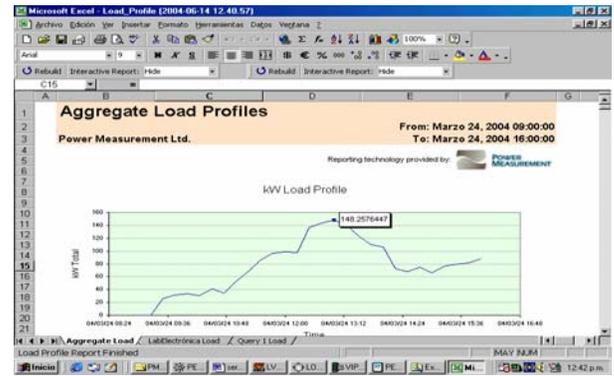


Fig. 6. Reporte de perfil de carga.

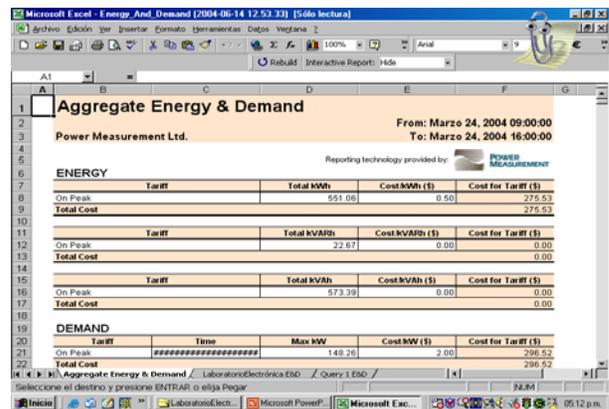


Fig. 7. Reporte de energía y demanda.

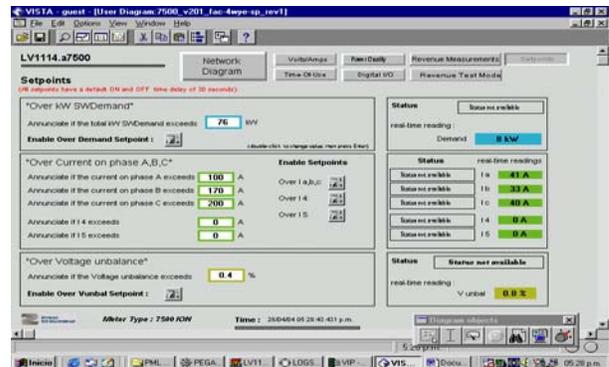


Fig. 8. Pantalla para el control de la demanda.

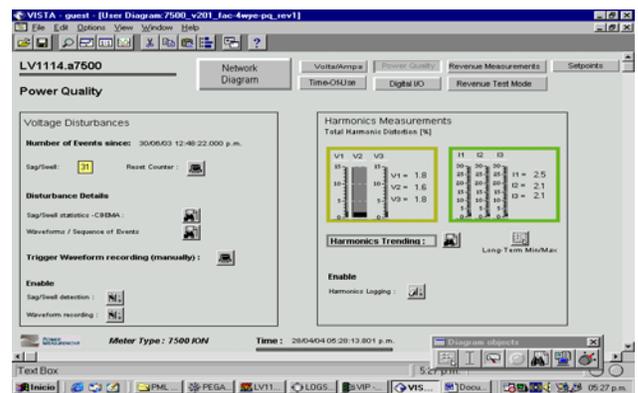


Fig. 9. Pantalla de calidad de la energía.

Después de determinar los requerimientos del sistema deben realizarse las evaluaciones técnicas/financieras de las alternativas de solución y seleccionar la óptima. Esto permitirá la extensión futura del sistema a menor costo y calcular el tiempo de recuperación de la inversión

Se recomienda actualizar el medidor ION7500 con la utilidad Firmware Upgrade de Pegasys y el archivo 7500V236\_7500\_v230\_FAC-4WYE\_V1.5.0. Además programar la tarifa horaria en el medidor con la utilidad ION Designer de Pegasys y administrar la demanda eléctrica mediante el procedimiento descrito en las actividades posteriores a la firma del contrato.

#### REFERENCIAS

- [1] Kroenke David M.. “*Procesamiento de bases de datos, fundamentos, diseño e implementación*”. Ed. Pearson Prentice Hall, octava edición. 2003.
- [2] Stallings William. “*Comunicaciones y redes de computadoras*”. Ed. Prentice Hall. Sexta edición. 2000.
- [3] Cohen Daniel- Asín Enrique. “*Sistemas de información para los negocios un enfoque de toma de decisiones*”. Ed. McGrawHill. Tercera edición. 2000.
- [4] Presuman Roger S. “*Ingeniería del software un enfoque práctico*”. Ed. Mc GrawHill. Quinta edición 2002.

**Enrique Aragon M.** Maestro de tiempo completo en el departamento de eléctrica y electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora.

**Manuel Domitsu Kono.** Obtuvo el grado de Ingeniero Ing. Mecánico Electricista en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Guadalajara, Jal, 1979 y el grado de Maestro en Ciencias Computacionales, especialidad en redes Computacionales en el ITESM, Campus Cd. Obregón, 2001. Participó en la Universidad de Bradford, Inglaterra como parte del proyecto: Recepción de Imágenes del Satélite Metereológico GOES.1989. Ha participado en el diversos proyectos como el Desarrollo del software de Recepción de Imágenes del Satélite Metereológico GOES, Programa de Procesamiento de Imágenes. 1989 a 1990. Actualmente es Maestro de Tiempo completo adscrito al Departamento de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora de 1976 a la fecha.

**Armando García Berumen** obtuvo el grado de Ingeniero Electrónica con acentuación en sistemas digitales del Instituto Tecnológico de Durango en 1994, egresado de la maestría en sistemas electrónicos opción telecomunicaciones del ITESM campus Mty en 1998. Actualmente se desempeña como investigador de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en el Departamento de Ingeniería Eléctrica en el área de comunicaciones.

**Hugo O. Romero Ledezma** estudió Ingeniero en Electrónica (IE, 1996) en el Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Son, y Maestría en Ciencias Computacionales (MCC, 1998 - 99), especialidad en Ingeniería de Software en el ITESM, Campus Monterrey. Ha participado diversos proyectos de desarrollo de software, Recepción y procesamiento de Imágenes del Satélite Metereológico GOES.1995 – 97 y proyectos para la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2002 - 2005), con Clearinghouse, Sistemas de Información Geográfica. Actualmente es Maestro de Tiempo completo adscrito al Departamento de Matemáticas, Tecnologías de Información y Diseño del Instituto Tecnológico de Sonora de 2000 a la fecha.

**Gabriel Núñez Román** egresó del Instituto Tecnológico de Sonora en 1985 como Ingeniero Industrial, en 2003 obtuvo el grado de Maestría en Ingeniería en Administración de la Tecnología Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Sonora. Desde 1993 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.