

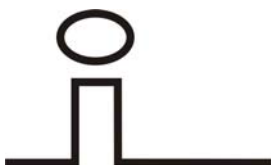
Diciembre 2005  
Año 1  
Volumen 1  
Número 1



# Impulso

**Revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales**

Revista publicada por el departamento  
de eléctrica y electrónica del  
Instituto Tecnológico de Sonora



# Impulso

Revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales

## **Editor en jefe:**

Javier Pérez Ramírez

## **Grupo editor ejecutivo:**

José Manuel Campoy Salguero

Rafael León Velázquez

José Antonio Beristáin Jiménez

Juan Carlos Murrieta Lee

Manuel Domitsu Kono

## **Editores asociados:**

Adolfo Espinoza Ruiz

Adolfo Soto Cota

Andrés Othón Pizarro Lerma

Armando Ambrosio López

Armando García Berumen

Eduardo Romero Aguirre

Enrique Aragón Millanes

Erica Ruiz Ibarra

Gabriel Nuñez Román

Héctor Hernández López

Ismael Murillo Verduzco

Juan José Padilla Ybarra

## **Equipo editorial:**

Jessica Beltrán Márquez

José Gamaliel Rivera Ibarra

Karla Janeth Romero Ledezma

Héctor Zamora Contreras

Impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales. Editor en jefe: Javier Pérez Ramírez. Publicación semestral editada por el departamento de eléctrica y electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora. Dirección Ave. Antonio Caso s/n Col. Villa ITSON C.P. 85130 Ciudad Obregón, Sonora, México, e-mail [jperez@itson.mx](mailto:jperez@itson.mx), <http://www.itson.mx/revistaimpulso>.

Esta edición fue completada en octubre del 2005 y consiste en un tiraje de 50 ejemplares.

# La automatización modular: una nueva opción para procesos automatizables

Javier Pérez Ramírez, Griselda González Díaz Conti, Juan José Padilla Ybarra

**Resumen**— En este artículo se presenta una nueva forma de llevar a cabo la automatización de un proceso productivo. La idea principal de esta nueva forma de automatizar se basa en una idea muy simple: “no es necesario automatizar el proceso en su totalidad para lograr mejoras en él”; dicho de otra forma, automatizando algunas partes del proceso se pueden lograr sustanciosas mejoras. Esto involucra la realización de un estudio de cómo se puede dividir en etapas o módulos la automatización y en que orden deben ser implantados dichos módulos, de aquí que se le haya llamado a esta metodología: automatización modular. A primera vista esto pudiera parecer una tarea trivial; sin embargo, son varios los aspectos que hay que tomar en cuenta para realizarla, en este artículo se presentan dichos aspectos y una forma sistematizada de llevarla a cabo. Esta forma de automatizar está orientada principalmente para aquellos casos en los que los empresarios no cuente con suficientes recursos económicos para automatizar sus procesos en su totalidad y que sin embargo estén interesados en mejorar: la calidad de su producto, las condiciones de trabajo de sus empleados o la productividad con una inversión inicial reducida.

**Palabras clave**— Automatización, mipyme, modular.

## I. INTRODUCCIÓN

La participación de la micro, pequeña y mediana empresa (MIPYME) en el desarrollo de la economía de México es fundamental, éstas constituyen más del 90% de las empresas establecidas a nivel nacional, generando el 42% del producto interno bruto y el 64% del empleo [1]. El PIB aportado por la MIPYME es bajo en comparación con el aportado por las grandes empresas, constituyendo éstas el 10% restante. Por ello es importante trabajar para incrementar la productividad de la MIPYME.

Sérvulo Anzola en el 2002 realizó un estudio a pequeñas empresas dedicadas a la producción, llegando a la conclusión

de que el 80% de éstas cuentan con un equipo de producción de baja tecnología y/o es obsoleto [2].

Las empresas del sector industrial centran su éxito directamente en la producción, por lo que el equipo utilizado en la producción juega un papel importante. El hecho de no contar con el equipo adecuado influenciará negativamente en la productividad de la empresa y hasta en la calidad del producto. En nuestro país se ha puesto en marcha programas de apoyo para la micro, pequeña y mediana empresa, siendo esta una buena opción para modernizar la maquinaria del tan alto número de empresas dedicadas a la producción que cuentan con equipo obsoleto o carecen de él. Sin embargo; la propuesta, de automatización modular que aquí se presenta está orientada a la administración de la tecnología; es decir, como utilizar eficientemente la tecnología para mejorar los procesos productivos en caso de que los empresarios no tengan la capacidad económica para hacer un fuerte inversión inicial.

## II. AUTOMATIZACIÓN MODULAR

La automatización modular se define como el conjunto de técnicas que subdividen el proceso identificando y jerarquizando las necesidades de la línea de producción para automatizarla mediante etapas; siendo su principal ventaja la disminución de la inversión inicial. La figura 1 muestra las fases que conforman la metodología las cuales son:

1. Identificación de módulos independientes.
2. Jerarquización de los módulos.
3. Planificación de la implantación.

Aunque pudiera parecer sencilla la idea de segmentar el proyecto de automatización son diversos los aspectos que hay que tomar en cuenta. Antes de dividir en módulos (segmentar) el proyecto de automatización, es necesario:

- a) Conocer el proceso productivo a automatizar.
- b) Contar con un proyecto de automatización.

La idea de segmentar el proyecto de automatización inicia, identificando módulos productivos, los cuales serán traducidos a módulos automatizables, para finalmente identificar su independencia.

Manuscrito recibido el 29 de junio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Javier Pérez Ramírez en la actualidad labora como profesor de tiempo completo en Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; e-mail: jiperez@itson.mx.

Griselda González Díaz Conti labora como profesora auxiliar en el ITSON Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; e-mail: ggdc78@yahoo.com.mx).

Juan José Padilla Ybarra responsable del programa de maestría en ingeniería en administración de la tecnología 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: jjpadilla@itson.mx.

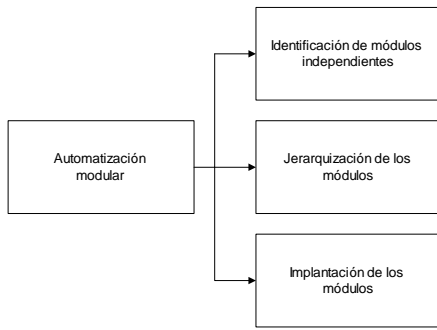


Fig. 1. Fases de la metodología de automatización modular.

No sólo es necesario dividir el proyecto de automatización, también hay que determinar el orden de implantación de los módulos, de acuerdo a la conveniencia de la empresa, para lo cual será necesario definir criterios, sobre los que se basará la evaluación de los módulos. Generalmente son de mayor importancia aquellos criterios que tienen mayor relación con el dinero.

Los criterios para la evaluación son: capacidad de producción, calidad, merma, eliminación de tareas manuales, seguridad del equipo o del personal, costo del módulo, periodo de recuperación de la inversión, costo de mantenimiento, tiempo de vida, costo de mantenimiento, costo de utilización.

Finalmente, una vez determinado el orden de implantación de los módulos se deberá contar con un programa de instalación, el cual señale los tiempos requeridos para la misma, fechas de inicio de la instalación y de operación del módulo, así como el costo y el periodo de recuperación de la inversión.

Con todas las ideas dadas anteriormente ya estamos listos para profundizar en cada una de las fases de la automatización modular.

*A. Fase 1. Identificación de módulos independientes*

La primera fase de la metodología involucra tres tareas (figura 2):

- a) Estructuración del proceso productivo.
- b) Segmentación de la automatización.
- c) Diagrama de la automatización modular.

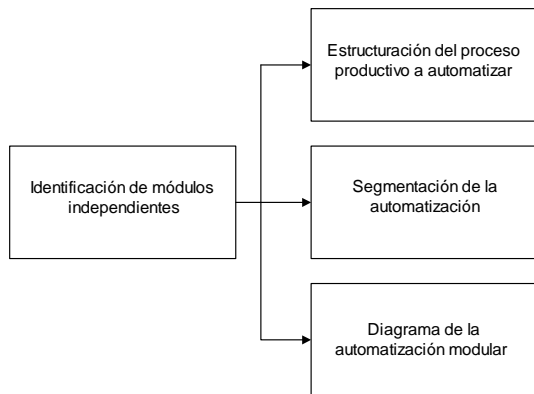


Fig. 2. Tareas de la Identificación de módulos independientes.

ETAPA			
DESCRIPCIÓN			
OPERACIONES			
IDENTIFICADOR	DESCRIPCIÓN		
ENTRADAS		SALIDAS	
FUNCIÓN		ELEMENTO	

Fig. 3. Formato para la identificación de entradas, salidas y elementos necesarios para realizar operaciones.

La primera tarea consiste en estructurar el proceso productivo, apoyándose en los diagramas de flujo de proceso para el producto y la operación, así como en el diagrama funcional del proceso [3]. Los diagramas de flujo describirán cada una de las operaciones requeridas para la elaboración del producto, las cuales de acuerdo a su afinidad serán ligadas para determinar las etapas del proceso.

Una vez estructurado el proceso productivo y reconocidas las etapas del mismo, se procede a la segmentación de la automatización; es aquí donde se traduce el proceso productivo al proyecto de automatización, identificando entradas y salidas, así como elementos necesarios para realizar las operaciones de cada una de las etapas, todo ello a través del llenado de un formato preestablecido, como el de la figura 3.

Posteriormente se determina el presupuesto de construcción de cada una de las operaciones descritas en el diagrama de flujo de proceso, mediante el llenado del formato de la figura 4.

✓ **PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN**

**OPERACIÓN** \_\_\_\_\_ **CLAVE** \_\_\_\_\_

✓ Nombre de la maquinaria que se diseña \_\_\_\_\_

Compañía para la que se realiza el diseño \_\_\_\_\_ Fecha de evaluación \_\_\_\_\_

Unidades	Identificador	✓ Descripción	Costo Unitario	Flete y seguro	Costo puesto en planta	Costo total		
Dispositivos y Herramientas								
Mano de Obra y Servicios								
Otros								
✓ <b>COSTO TOTAL</b>								
<b>COSTO DE ELEMENTOS REUTILIZABLES</b>								
✓ <b>COSTO DE ACOPLAMIENTO ANTERIOR</b>								
<b>COSTO DE ACOPLAMIENTO POSTERIOR</b>								
<b>INVERSIÓN NECESARIA</b>								

SÍMBOLOS: \* el mismo dispositivo es utilizado en distintas operaciones.  
+ el elemento se utiliza actualmente en el proceso.

Fig. 4. Formato para determinar el presupuesto.

La estimación del presupuesto involucra una selección previa de los dispositivos adecuados para realizar una determinada operación, así como una revisión de los dispositivos que actualmente utiliza el proceso, ya que si el proyecto de automatización puede reutilizar dispositivos existentes en el equipo de producción actual, ayudará a disminuir el costo de construcción de éste. Para identificar aquellos dispositivos que son utilizados actualmente se coloca el símbolo “+” en la casilla de identificación del formato para el presupuesto.

Como algunos dispositivos pueden ser utilizados en diversas operaciones es necesario identificarlos ya que pueden verse duplicados en varios presupuestos. Estos dispositivos son identificados con el símbolo “\*”. En un primer momento es necesario incluir el costo de dichos dispositivos en el presupuesto de todas las operaciones que requieran del dispositivo, más adelante sólo se cargará a aquella operación que resulte ser la primera en instalarse.

La inversión necesaria para realizar una determinada operación se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I = CT - CR + CAPR + CAPO$$

donde:

- I → Inversión necesaria
- CT → Costo total de la operación
- CR → Costo de elementos reutilizables
- CAPR → Costo de Acoplamiento anterior
- CAPO → Costo de acoplamiento posterior

La última tarea para la identificación de módulos independientes es precisamente la verificación de la independencia de las operaciones, la cual se realiza de acuerdo a un diagrama de flujo de la figura 5. Para ello se elige una operación del proceso y se toman en cuenta los siguientes criterios:

- a) ¿La operación posterior se realiza de forma secuencial a ésta?
- b) ¿Hay necesidad de realizar transporte entre esta operación y la posterior?
- c) ¿La operación por si misma mejora algún aspecto del proceso (productividad, calidad, etc.)?
- d) Puede darse el caso de que algunos materiales que son utilizados por la operación que se esta analizando también sean utilizados por otra operación. En este caso cabe la pregunta: ¿el costo de los materiales que utilizan en común ambas operaciones es mayor al 50% del costo de la operación en cuestión?

La respuesta a estas preguntas se encuentra en los diagramas de flujo de proceso y diagrama funcional. Al finalizar el análisis de la segmentación se cuenta con módulos independientes automatizables, los cuales deberán ser jerarquizados para determinar el orden de instalación.

**B. Fase 2. Jerarquización de los módulos**

La jerarquización de los módulos contempla las tareas de la figura 6: recopilación de la información y evaluación de los módulos. La recopilación de la información se centra en la concentración del valor de desempeño de los diferentes módulos para cada uno de los criterios de evaluación, figura 7, así como también recoge las escalas de ponderación utilizadas

para la evaluación; cada uno de ellos en el formato correspondiente. El valor de desempeño es una cifra que cuantifica el comportamiento de esa parte del proceso (módulo) con relación al criterio en cuestión, se obtiene mediante fórmulas predefinidas para cada criterio, las cuales requieren información específica de la producción.

La herramienta utilizada para la evaluación es la matriz de decisión[4], figura 8, donde se deberán llenar las columnas de “ponderación” para cada módulo en los diferentes criterios, la cual traduce el valor de desempeño recopilado a la escala de ponderación antes definida.

La ponderación se calcula mediante una fórmula definida de acuerdo al aspecto que se evalúe. Son tres las formulas definidas para obtener la ponderación de los módulos para cada criterio, figura 9, de acuerdo al comportamiento del mismo:

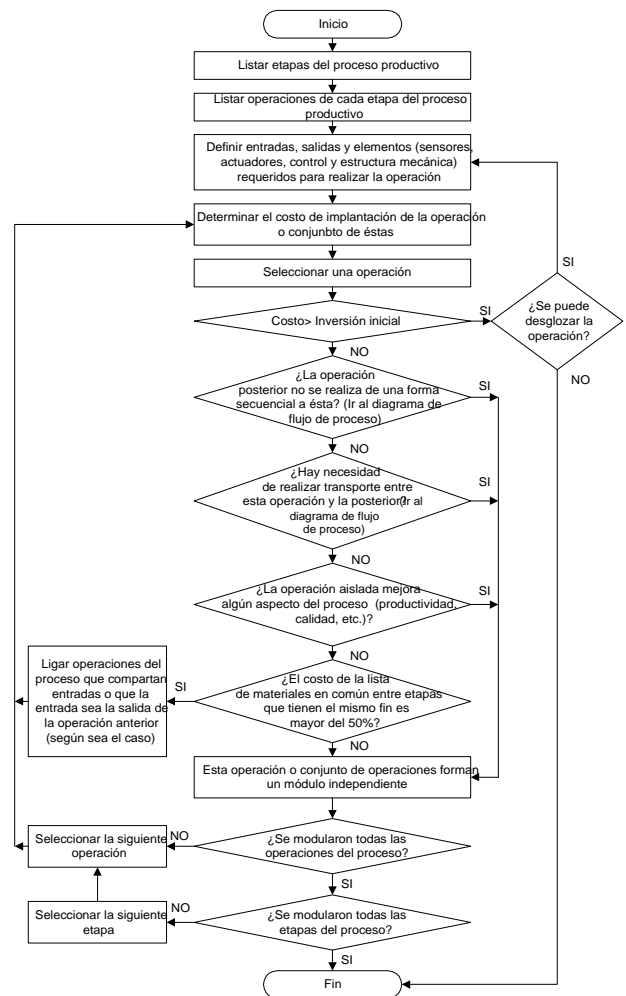


Fig. 5. Diagrama de flujo para la identificación de módulos independientes.

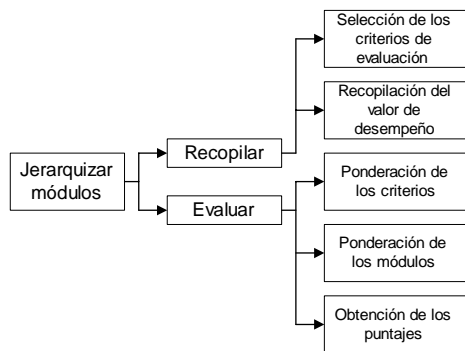


Fig. 6. Tareas de la segunda fase de la metodología.

✓ *“Línea de Producción o maquinaria que se diseña”*  
*“Compañía para la que se realiza el diseño”* Fecha de evaluación:

Criterio	Unidad	MÓDULO A1	MÓDULO B1	MÓDULO B2
		Valor	Valor	Valor
Capacidad real de producción				
Merma				
Calidad				
Eliminación de tareas manuales				
Seguridad del equipo o personal				
Cuellos de botella				
Periodo de recuperación de la inversión				
Costo del módulo				
Reducción del costo de mantenimiento				
Tiempo de vida				
Costo de utilización				

Fig. 7. Formato para la recopilación del valor de desempeño.

✓ *“Línea de Producción o maquinaria que se diseña”*  
*“Compañía para la que se realiza el diseño”*  
 Fecha de evaluación:

Criterios	Ponderación del aspecto	Módulo A1		Módulo B1	
		Ponderación	Puntaje	Ponderación	Puntaje
Descripción					
Capacidad real de producción					
Merma					
Calidad					
Eliminación de tareas manuales					
Seguridad del equipo o personal					
Cuellos de botella					
Periodo de recuperación de la inversión					
Costo del módulo					
Costo de Mantenimiento					
Tiempo de vida					
Costo de utilización					
TOTAL					

Fig. 8. Formato para la evaluación de los módulos.

Una vez llenadas todas las columnas correspondientes al campo “ponderación” de la figura 8, se procede a calcular el puntaje de cada módulo, obteniendo inicialmente el puntaje de cada criterio para el módulo, determinado por el producto de la ponderación determinada para el criterio y la ponderación del módulo del mismo criterio; finalmente la suma de los puntajes calculados por el producto para todos los criterios dará la puntuación correspondiente a cada módulo.

1) 
$$P = \frac{M}{|N - C|} * V$$
 Esta fórmula se aplica en aquellos criterios en los que un valor grande del valor de desempeño significa un mayor beneficio al proceso. Ej. Capacidad de producción

Donde: P → Valor ponderado  
 M → Límite superior de la escala de ponderación.  
 N → Cifra mayor del valor de desempeño recopilado en el criterio por todos los módulos.  
 C → Cifra menor del valor de desempeño recopilado en el criterio por todos los módulos.  
 V → Valor de desempeño del módulo en un criterio específico.

2) 
$$P = \frac{M}{N - C} * (N - V)$$
 Esta fórmula se aplica en aquellos criterios en los que un valor pequeño del valor de desempeño significa un mayor beneficio al proceso. Ej. Merma

Donde: P → Valor ponderado  
 M → Límite superior de la escala de ponderación.  
 N → Cifra mayor del valor de desempeño recopilado en el criterio por todos los módulos.  
 V → Valor de desempeño del módulo en un aspecto específico.

3) 
$$P = \begin{cases} M - \frac{D}{|U - D|} * |U - V| & D \neq U \\ 0 & D = U \end{cases}$$
 Esta fórmula se aplica en aquellos criterios en los que una desviación del valor central significa un perjuicio al sistema. Ej. Cuellos de botella

Donde: P → Valor ponderado  
 M → Límite superior de la escala de ponderación.  
 U → Valor central.  
 V → Valor de desempeño del módulo en un aspecto específico.  
 D → Máxima desviación con respecto al valor central. (superior o inferior)

Fig. 9. Formulas y descripción de las mismas.

A continuación se deberán comparar las puntuaciones de cada uno de los módulos, siendo el módulo con mayor puntaje el primero a instalar. Posteriormente se deberá realizar de nuevo el proceso de evaluación, rectificando los valores de desempeño utilizados para la primera evaluación, puesto que las condiciones en las que se encuentra la línea de producción, pudieran cambiar al instalar el primer módulo, modificándose así el valor de desempeño de criterios como: capacidad de producción, costo de los módulos, mermas, etc. No obstante

que en realidad el módulo no se encuentre instalado al momento de realizar las evaluaciones subsecuentes, se deberá verificar el impacto de su instalación en la línea de producción. Por ejemplo, si el primer módulo contiene dispositivos que también son utilizados por otros módulos, éstos deberán deducirse del costo de instalación de los módulos posteriores, pues al instalar el primer módulo se realizará su compra. De tal forma, al reducir el costo de instalación de los módulos, se reducirá también el periodo de recuperación de la inversión. Sin embargo puede darse el caso, que la instalación de un nuevo módulo no modifique el valor de desempeño para los módulos restantes; si esto sucede, no es necesario iterar la ponderación, sólo bastará con seleccionar el módulo con mayor puntaje de la evaluación. Entonces la siguiente iteración sucederá hasta que la instalación de un nuevo módulo modifique los valores de desempeño de los módulos restantes. El proceso de jerarquización termina en el momento que todos los módulos han sido organizados jerárquicamente.

C. Fase 3. Planificación de la implantación.

Por último la *planificación de la implantación de los módulos* consiste en la elaboración de un programa de instalación del proyecto de automatización modular, a través del llenado de una tabla, figura 10, que indica aspectos como: nombre del módulo, costo del módulo, capacidad de producción real, recuperación de la inversión, fecha de inicio de instalación, duración de la instalación y fecha de inicio de trabajo del módulo.

El costo del módulo, capacidad de producción y recuperación de la inversión, deberán ser tomados de los cálculos realizados en la fase anterior, mientras que las fechas de instalación e inicio de trabajo del módulo se determinarán tomando en

cuenta la planificación de la empresa y del ingeniero dedicado a la instalación.

III. CONCLUSIONES

El sector industrial de la micro y pequeña empresa en nuestra región, son empresas con un futuro prometedor y posibilidad de ampliar su mercado, sin embargo su equipo de producción actual las limita. La metodología de automatización modular ayudará a todas estas empresas a lograr modernizar su equipo, gracias a la reducción de la inversión inicial, vislumbrándose un gran número de empresas que pudieran beneficiarse con su aplicación. El hecho de automatizar su equipo de producción les ayudará a elevar su productividad, mejorar la calidad, eliminar riesgos, etc.; impulsando su presencia en el mercado local, nacional e internacional.

En la actualidad no se ha publicado alguna herramienta para automatización similar, es decir, que contemple la segmentación del proyecto de automatización para implantarlo en etapas buscando reducir la inversión inicial, siendo ésta una muy buena opción para aquellos empresarios que no cuenten con recursos suficientes para realizar una automatización total.

Una de las desventajas de la metodología de automatización modular, es el probable aumento del costo total de la automatización, debida a la necesidad de acoplamiento entre módulos anterior y posterior al nuevo módulo instalado, el cual no se realizaría de instalarse el proyecto completo.

La metodología de automatización modular es una herramienta útil para aquellas personas que se dedican a la elaboración de proyectos de automatización, su aplicación es fácil puesto que se apoya de herramientas para la identificación de problemas y evaluación, ya conocida. Además de que define fórmulas sencillas para la evaluación, las cuales eliminan la subjetividad al momento de evaluar.

Es importante que para su aplicación se realice un correcto análisis del proceso actual, ya que de la información recopilada dependerán las ponderaciones dadas a los módulos y por lo tanto influirá en la jerarquización de los módulos. Otro aspecto que cabe señalar, es la importancia de la participación de los empresarios para los que se realiza el proyecto, en el momento de decidir las puntuaciones dadas a los diferentes criterios de evaluación.

Puesto que la jerarquización depende de las puntuaciones dadas a los diferentes criterios de evaluación no hay un orden único de implantación de los módulos, éste dependerá de las necesidades de la empresa traducidas en ponderaciones para los aspectos.

Se recomienda realizar varias corridas si no se está seguro de las ponderaciones dadas a los aspectos, de tal manera que se visualice los cambios en el orden de implantación de los módulos.

Otro aspecto que pudiera no ser ventajoso para la automatización modular, son los paros que tendrá que realizarse en la línea, cada vez que se introduzca un nuevo módulo, pues si la automatización se realizará en un sólo periodo se dejaría de producir menos tiempo. Sin embargo

✓ “Línea de Producción o maquinaria que se diseña”  
“Compañía para la que se realiza el diseño” Fecha de evaluación

Orden de Implantación	Módulo	Costo del módulo	Capacidad de producción real	Periodo de recuperación de la inversión (tiempo)	Fecha de Inicio de la instalación	Duración de la instalación	Fecha de Inicio de trabajo del módulo	Fecha de liquidación del módulo
1	A 1							
2	B 1							
3	B 2							
4								
5	⋮							

Fig. 10. Formato para la planificación de la instalación.

este aspecto puede ser librado con una correcta planeación entre los encargados de la automatización y la producción.

Finalmente, no queda mas que recalcar que la metodología de automatización modular es hoy, una buena opción para que la micro, pequeña y mediana empresa de la localidad, puedan actualizar su equipo de producción.

#### REFERENCIAS

- [1] Secretaría de Economía. Consulta:12/octubre/2003. “Fondos de apoyo a la Mipymes”. <http://www.amiti.org.mx/eventos/logos/Fondos.pdf>
- [2] Sérvulo Anzola. 2002. “Administración de pequeñas empresas”. Mc Graw Hill. Segunda edición. México D.F. Págs. 55-57
- [3] Baca U. Gabriel. 1990. “Evaluación de proyectos de inversión”. Mc Graw Hill. Segunda edición. Edo. de México. Págs. 116-119
- [4] William K. Hodson. 1996. “MAYNARD Manual de Ingeniería Industrial”. Mc Graw Hill. Cuarta edición. México D.F. Págs. 7.38-7.43

**Javier Pérez Ramírez**, obtuvo el título de Lic. en electrónica en la Universidad Autónoma de Puebla en 1996, el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Electrónica en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, en Cuernavaca Morelos, en el 2000, del 2000 a la fecha labora como profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Sonora.

**Griselda González Díaz Conti**, está por obtener el grado de Maestría en Ingeniería en Administración de la Tecnología en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica en el 2001 en el ITSON, del 2002 a la fecha labora como profesora auxiliar en el ITSON.

**Juan José Padilla Ybarra**, Investigador Nivel I – SNI. Egresó del Instituto Tecnológico de Sonora en 1991 como Ingeniero Electrónico, en 1995 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Bioelectrónica en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. En 1999 obtuvo el grado de Doctor del INPL con especialidad en Automatización y Procesamiento Digital de Señales en el Instituto Politécnico Nacional de Lorena, Francia. 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.



---

# Circuito decodificador de señales IF de control remoto, para el manejo de aplicaciones en la PC

---

Eduardo Romero Aguirre

**Resumen**— Es tal el uso de la PC en aplicaciones tradicionalmente consideradas domésticas, que ha comenzado a reemplazar en los hogares (de la clase media alta) a reproductores de música, películas y sintonizadores de radio o TV.

A pesar de lo anterior, se ha limitado al usuario a tener que manipular cada una de las aplicaciones a través del teclado o del ratón, siendo que en la vida cotidiana, nuestra interacción con dichos aparatos caseros es a través de un dispositivo de mando inalámbrico regularmente infrarrojo.

Por tal motivo, en este artículo presenta a detalle el diseño del *hardware* y *firmware*, necesarios para la implementación de un circuito decodificador de señales infrarrojas provenientes de un mando remoto para su utilización en el manejo de aplicaciones, en especial las multimedia.

Se describe además en forma concisa el protocolo RC-5 y sus características. Se expone el uso del microcontrolador PIC 16F628 como parte fundamental del circuito, debido a que es el encargado de decodificar la señal, identificar el comando de control y enviar dicho comando en forma serial a la PC.

También se verifica en forma exhaustiva la compatibilidad del dispositivo diseñado con el software de aplicación PC Remote Control 4.0©, el cual es el encargado de traducir los datos enviados de manera serial a la PC, a un conjunto de acciones o tareas que debe tomar ejecutar la aplicación que se quiera manejar.

**Palabras clave**— Protocolo RC-5, señal infrarroja, microcontrolador, software de aplicación, codificación Manchester, decodificación.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el control remoto de aparatos electrónicos es algo habitual. Es notoria la cantidad de aparatos electrónicos con mando a distancia que hoy en día podemos encontrar en los hogares.

Resulta evidente que los mandos a distancia han sido una revolución en todos los ámbitos, incluyendo al de la computación. Por otro lado, las computadoras son un recurso muy comúnmente usado en ambientes laborales y educativos,

que poco a poco se está trasladando hacia la mayoría de los hogares, desplazando a la mayoría de los aparatos domésticos tales como: reproductores de música, películas, juegos de video y sintonizadores de radio o TV.

Pero a pesar de lo anterior, la PC tiene la desventaja de no contar con un dispositivo inalámbrico que permita al usuario ejecutar de manera remota, tareas cotidianas como: subir el volumen, comenzar la reproducción de un video, avanzar a la siguiente dispositiva de una presentación, etc. En vez de esto se tiene que acercarse físicamente a donde se encuentra el teclado o el ratón para poder manejar la aplicación en curso.

## II. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA POR INFRARROJO

El espectro infrarrojo es una radiación por debajo del rango de frecuencias visibles. Este es empleado más a menudo que la radiofrecuencia en aplicaciones domésticas debido a su inmunidad a la interferencia electromagnética y su bajo costo de implementación.

Sin embargo, otras fuentes pueden contener luz infrarroja e interferir con la comunicación de los dispositivos, tal es el caso de la luz del sol. Cualquier fuente de calor genera rayos infrarrojos, incluso nuestro cuerpo, por tal razón se debe establecer una clave de comunicación para que nuestro receptor discrimine las emisiones de rayos infrarrojos que no sean parte del mensaje que deseamos recibir.

El método preferido para eliminar tales interferencias es modular a una cierta frecuencia el haz infrarrojo. Así, el receptor sólo interpretará esta frecuencia infrarroja, desechando las demás [1].

Actualmente se ha establecido que una frecuencia de 30 a 60KHz de pulsaciones infrarrojas es una forma adecuada de transmitir información a baja velocidad. Por tal motivo, la mayoría de los mandos o controles remotos hacen uso de ella (36-40KHz).

En particular, generar una señal pulsante infrarroja de 36KHz no representa una gran complicación, la problemática, como suele suceder la mayoría de las veces, estriba en el desarrollo de la etapa que se encargará de recibir e identificar esta frecuencia.

---

Manuscrito recibido el 30 de junio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de, electrónica, eléctrica y sistemas computacionales. Eduardo Romero A. actualmente esta en Dpto. de Ing. Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora. Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; (e-mail eromero@itson.mx).

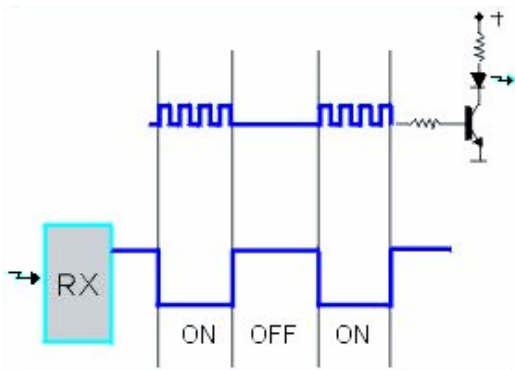


Fig. 1. Circuito típico de transmisión por infrarrojo.

Un circuito típico para un transmisor puede observarse en la figura 1. Un tren de pulsos, que denotará un estado lógico, es inyectado a la base de un transistor, el cual a su vez controlará la activación de un led infrarrojo para generar la señal pulsante [2].

Del lado del receptor, éste tratará de identificar esta frecuencia pulsante y le asignará el estado lógico correspondiente para convertirla en una secuencia de bits.

Protocolo de comunicación por infrarrojo, RC-5.

A continuación se describe éste protocolo que fue inventado por la compañía Phillips© para uso en sus equipos de control remoto [3].

Un mensaje individual es transmitido por un total de 14 *bits* en codificación Manchester. Cada *bit* tiene una duración de 1.776 ms. La codificación Manchester utiliza una transición del nivel bajo al alto para representar un 1 lógico y una transición del nivel alto al bajo para el 0 lógico [2, 4]. En la figura 2 puede visualizarse un ejemplo de mensaje del protocolo RC-5.

Los primeros 2 *bits* de inicio son usados para sincronización y ajuste del receptor, el *bit* de control (*toggle*) cambia cada vez que se presiona una tecla y permanece constante cuando se mantiene presionada una tecla del control. Los *bits* de dirección proporcionan, una característica muy poderosa, ya que cambiándolos podemos controlar más de un dispositivo con el mismo control, por ejemplo controlar dos televisores, uno con la dirección 00000 y otro con la dirección 00001. Por último, los 6 *bits* de comando determinan la función o la orden que se da al dispositivo, como por ejemplo, subir o bajar volumen [2].

### III. DESARROLLO DEL HARDWARE Y EL FIRMWARE

El diagrama a bloques del sistema puede ser visto en la figura 3. En primer término se encuentra el transmisor, el cual es un control remoto universal de la marca Zenith© modelo ZEN100 [5], al cual se le introdujo el código de programación 807, que corresponde al de un televisor Philips® con protocolo infrarrojo RC-5.

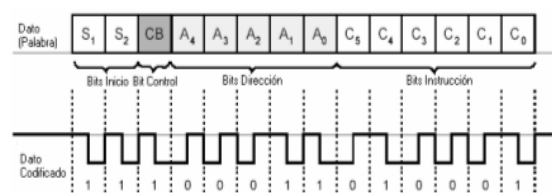


Fig 2: Ejemplo de mensaje del protocolo RC-5.

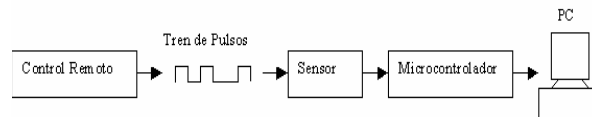


Fig. 3. Diagrama esquemático del sistema [6].

Con respecto a la parte receptora, que es la que se desarrolla en este trabajo, podemos identificar al sensor inalámbrico, el cual capta el haz infrarrojo modulado. Un microcontrolador PIC 16F628 recibe las variaciones de señal provenientes del sensor y las convierte en una serie de *bits*, los cuales son decodificados y traducidos en comandos RC-5 que son enviados por el puerto serie (ya con niveles de voltaje compatibles con RS-232).

Aunque no tan evidente, pero no por eso menos importante, están tanto el programa de control (*firmware*) para el PIC 16F628 como el *software* de interfaz que debe ejecutar la PC.

Para el diseño del *hardware* receptor por principios de cuenta se procedió a caracterizar la señal entregada por el sensor infrarrojo. En la figura 4, se puede ver la pantalla del osciloscopio mostrando distintas formas de la señal a la salida del sensor para diferentes comandos RC-5 (ver tabla 1). Vale la pena mencionar que con esta prueba se pudo constatar que el sensor infrarrojo invierte la señal original transmitida por el control remoto.

El algoritmo del programa de control (*firmware*) para el PIC 16F628 [7, 8, 9], representado en el diagrama de estados de la figura 5, está diseñado para monitorear constantemente el tren de pulsos que genera el sensor infrarrojo. En el instante que se detecta que el primer *bit* es un "1" en la trama, el programa ignora los siete *bits* siguientes, los cuales corresponden a: un segundo *bit* de inicio, un *bit* de control (*toggle*), y los *bits* de dirección (constantes porque el dispositivo a controlar no cambia). Posteriormente, el *firmware* debe extraer del tren de pulsos los seis *bits* que corresponden al comando de control del protocolo RC-5.

TABLA 1. DATOS RC-5 MOSTRADOS EN LA FIGURA 4.

Señal	Descripción	Bits de inicio	Bit de control (Toggle)	Bits de dirección	Bits de comando
A	Chan +	1 1	X	00000	100000
B	Chan -	1 1	X	00000	100001
C	Mute	1 1	X	00000	001101

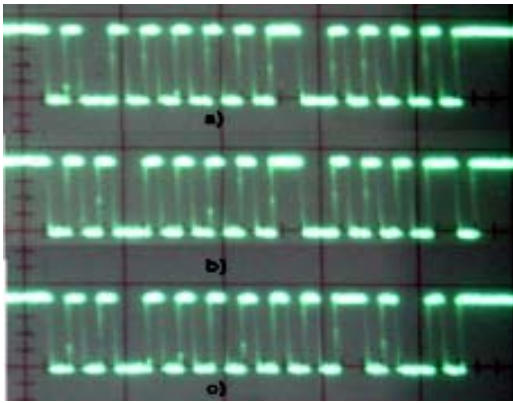


Fig. 4. Formas de la señal a la salida del sensor infrarrojo correspondiente a: a) chan +, b) chan -, c) mute.

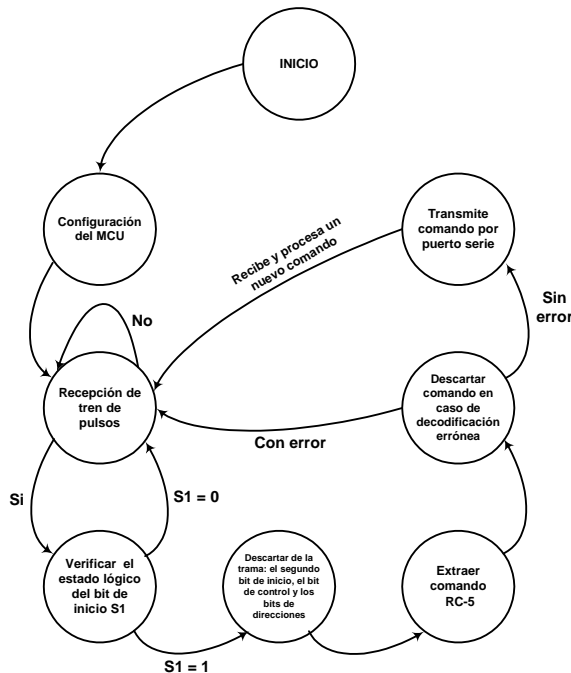


Fig. 5. Diagrama de estados del programa del control (firmware) para el microcontrolador PIC16F628.

En la decodificación de la secuencia de bits al comando RC-5 (6 bits), el programa del microcontrolador debe agregar dos bits en “0” en la parte más significativa para poder formar un dato de un byte (ver la tabla 2), mismos que envía al puerto serie de la computadora a través de un convertidor de voltaje TTL/RS-232; MAX232.

En una versión anterior del decodificador [10] se empleó un conector serial tipo DB-25 y el voltaje de alimentación era proporcionado por una batería cuadrada de 9 V.

En esta versión, con la finalidad de reducir el tamaño del circuito, se sustituyó el conector por un DB-9 y para evitar energizar el circuito con baterías, se optó por obtener el voltaje directamente desde el puerto serie de la PC al cual se conecta. Esto requirió de la inclusión de un C.I. regulador, debido a que el voltaje entregado por el puerto serie es diferente en cada PC. Esto es consecuencia de las distintas variantes del estándar RS-232, que sólo definen como un nivel lógico válido cualquier voltaje que sea superior a  $\pm 3$  V.

TABLA 2. LECTURA DEL PUERTO SERIE POR CADA TREN DE PULSO ENVIADO POR EL CONTROL REMOTO.

Botón del control remoto	IV. DATO ENVIADO AL PUERTO	
	Hexadecimal	Decimal
0	00	0
1	01	1
2	02	2
3	03	3
4	04	4
5	05	5
6	06	6
7	07	7
8	08	8
9	09	9
Vol +	10	16
Vol -	11	17
Chan +	20	32
Chan -	21	33
Enter	0A	10
Sleep	26	38
Power	0C	12
Mute	0D	13

La figura 6 muestra el circuito final del decodificador de comandos RC-5. Se puede notar que su tamaño es reducido (más aun que el propio control remoto), lo cual facilita su portabilidad. Lo único que se necesita para su conexión a la PC, es de un cable serial.

#### IV. SOFTWARE DE INTERFAZ

Para validar el funcionamiento del circuito, se desarrolló un programa (figura 7), en Visual Basic 6.0© para manejar las presentaciones en PowerPoint©. La técnica empleada en este punto es la de construcción de prototipos de software [11], en la cual se unen el desarrollo del software y el diseño de la interfaz en un solo punto.

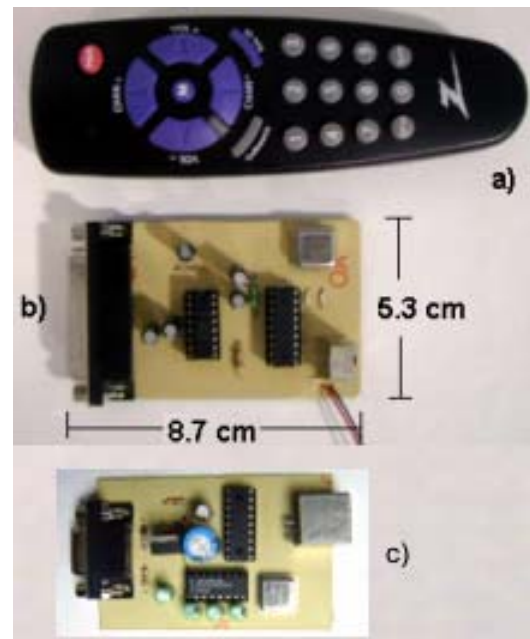


Fig. 6. a) Control universal ZEN100 marca Zenith©; b) Circuito decodificador (baterías); c) Circuito decodificador (energizado desde la PC).



Fig. 7. Panel principal del programa desarrollado.

Uno de los puntos relevantes del programa desarrollado es el referente a su interacción con la API de Windows®, ya que a través de ella, cada dato que se recibe se interpreta como si se hubiera introducido a través del teclado de la PC [12], haciendo esto transparente a PowerPoint®.

#### Funcionamiento con PC Remote Control®

Para investigar en que grado era compatible el decodificador diseñado con los programas comerciales para manejo en forma remota de aplicaciones se optó por PC Remote Control (figura 8) debido a que es el que cuenta con más funciones y comandos para el manejo de aplicaciones.

PC Remote Control es una aplicación de tipo shareware desarrollado por Moisés Cambra [13] y está disponible en idioma español. Además es capaz de procesar información recibida por puerto serial (genérico o propietario), TCP/IP, etc. y asignarle cualquiera de las siguientes acciones:

- ❑ Pulsación de tecla (incluyendo a aquellas que requieran combinarse con Alt, Ctrl y Shift).
- ❑ Movimiento del mouse (incluyendo las pulsaciones de los botones derecho, central e izquierdo).
- ❑ Acceso a la función *PostMessage* de la API de Windows.
- ❑ Control del volumen maestro.
- ❑ Cierre de sesión, apagado o reinicio de la PC.
- ❑ Manipulación de ventanas.

Lo anterior es particularmente útil ya que lo que se requiere manejar con el decodificador son:

- ❑ Presentaciones multimedia.
- ❑ Lectura de archivos extensos o navegación a distancia de páginas.
- ❑ Reproducciones de CD-ROM's, DVD's, VCD's o archivos de audio.
- ❑ Cualquier aplicación que pueda ser manejada con teclas rápidas o el ratón.

#### V. PRUEBAS REALIZADAS

Una vez integrados todos los elementos de *hardware* y *firmware*, se procedió a validar el funcionamiento de todo el sistema.

En las primeras pruebas se utilizó el software de interfaz diseñado para PowerPoint®. El resultado fue satisfactorio con las versiones para Windows 98® y 2000®, no así para la de Windows XP®, en donde a pesar de que los comandos eran recibidos correctamente en la PC, no era posible transferirlos a

la aplicación. Para corregir ese error, se rediseñó de forma total el módulo del programa encargado de tal tarea.

El siguiente conjunto de pruebas fue con PC Remote, para esto el software requirió de un corto periodo de aprendizaje, en el que se compara los datos que provienen del puerto serie con los previamente aprendidos, y si la comparación resulta cierta, se ejecuta la acción especificada para ese comando infrarrojo de forma transparente en la ventana activa.

De esta forma, PC Remote Control se configuró para manejar PowerPoint®, Winamp® y PowerDVD® en forma inalámbrica con el control remoto. Habilitando funciones comunes tales como: avanzar diapositiva, retroceder diapositiva, reproducir siguiente canción, disminuir volumen, detener/reanudar reproducción, etc. El resultado fue satisfactorio, independientemente del sistema operativo.

En lo que respecta al hardware del decodificador, se tuvo el contratiempo de que funcionaba correctamente en PC's de escritorio, no así cuando se conectaba a PC's portátiles. Al realizar pruebas adicionales se llegó a la conclusión de que la falla era producto de que el voltaje que entregaban las PC's portátiles era mucho menor que el de las PC's de escritorio (pero sin salirse del estándar), lo que ocasionaba que el voltaje de alimentación al circuito no fuera el adecuado. Esto se solucionó cambiando el tipo de regulador.

También se determinó que otros parámetros fundamentales a evaluar eran el alcance y la direccionalidad, y con ellos establecer los límites adecuados para la operación del sistema. Debido a que la luz es un factor que influye en la recepción del sensor infrarrojo, fue necesario establecer su magnitud por medio de un medidor de intensidad luminosa.

La figura 9 engloba los resultados de las pruebas de alcance y dirección entre el transmisor (control remoto) y el receptor (circuito decodificador). En línea recta se obtuvo una distancia máxima de operación de 9.68 metros con una iluminación de 1.31 pie-candelas, mientras que a una iluminación mayor, 7.22 pie-candelas, la distancia máxima de operación fue de 8.57 metros. El ángulo de apertura máximo fue de 80° (40° izquierda y 40° derecha) a una iluminación de 1.31 pie-candelas, con una distancia máxima de operación de 6 metros.

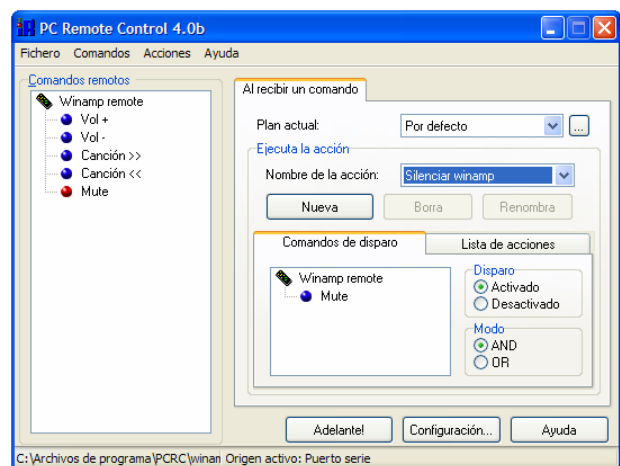


Fig. 8. Pantallas de PC Remote Control.

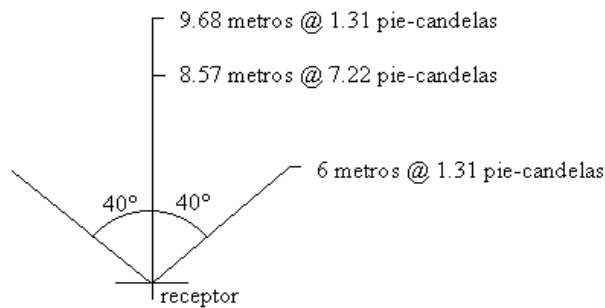


Fig. 9. Alcance y dirección del decodificador.

## VI. CONCLUSIONES.

Se puede observar que el diseño del circuito final es muy simple, sin embargo; el desempeño obtenido es bueno. En la actualidad se planea usarse en las salas audiovisuales y de videoconferencia del ITSON. Sin embargo debido a su flexibilidad, no se descarta la posibilidad de introducirle más mejoras.

También se pudo corroborar que la funcionalidad del circuito se incrementa cuando opera en conjunto con PC Remote Control. Con lo que es posible controlar cualquier aplicación de Windows© que soporte teclas de acceso rápido (*HotKeys* o *KeyShortcuts*) o manejo a través del ratón, con la ventaja de que puede especificarse una ventana de destino preferida para que tenga lugar la acción simulada, de esta forma no es necesario cambiar la aplicación activa.

En lo que respecta a su precio, cabe mencionar que comparado con versiones comerciales, su bajo costo (\$200) resulta atractivo.

## REFERENCIAS

- [1] Vishay (2001), Photo Modules for PCM Remote Control Systems, PA, U.S.A: Vishay Intertechnology, Inc. Disponible en: <http://www.vishay.com/ir-receiver-modules/devices-tsop17x-list/> [2003, 05 de octubre]

- [2] San Bergmans (2001), Philips RC-5 Protocol, Oisterwijk, Holanda: SB-Projects. Disponible en: <http://www.xs4all.nl/~sbp/knowledge/ir/rc5.htm> [2003, 15 de septiembre].
- [3] Infra Red Protocols, Koninklijke Philips Electronics N.V. Disponible en: [www.remotecontrol.philips.com](http://www.remotecontrol.philips.com) [2003, 15 de septiembre].
- [4] Vleeschauwer David, Phillips RC5 infrared remote protocol, Denderleeuw, Belgica: Davshomepage, Disp. en <http://users.pandora.be/davshomepage/rc5.htm> [2003, 15 de septiembre].
- [5] Instructivo control ZEN100., Zenith Electronics Corporation.
- [6] Núñez, Rogelio, Et al. (2002), "Manejo de presentaciones PowerPoint con un control de televisión usando el microcontrolador MC68HC11", Reporte Técnico, Departamento de Ingeniería Eléctrica, ITSON, México.
- [7] Microchip (2003), PIC16F62X Data Sheet, U.S.A., Microchip Technology Incorporated. Disponible en: <http://www.microchip.com/1010/pline/picmicro/category/embctrl/8kbytes/devices/16c628/index.htm> [2003, 05 de octubre].
- [8] Microchip (2003), Complete Reference Manual Mid-Range, U.S.A., Microchip Technology Incorporated. Disponible en: <http://www.microchip.com/1010/pline/picmicro/category/embctrl/8kbytes/devices/16c628/index.htm> [2003, 05 de octubre].
- [9] VALLEJO, Horacio Daniel. "Microcontroladores PIC: funcionamiento, programación, diseños". Ed. Quark. 2002, Argentina. Cap. II Manejo de las instrucciones de un PIC.
- [10] [PRESSMAN, R. S. "Ingeniería del software: un enfoque práctico". Ed. McGraw-Hill. Quinta edición 2002, España. Cap. XII Modelado del análisis. Pág. 205.
- [11] MSDN Library Visual Studio 6.0 (1998). La función SendKeys, [CD-ROM]. Estados Unidos: Microsoft Corporation, [2003, 10 de octubre].
- [12] <http://www.premotecontrol.com> [2004, 30 de Agosto]

**Eduardo Romero Aguirre** obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica opción Instrumentación en el Instituto Tecnológico de Orizaba en 1995 y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el área de Sistemas Digitales, en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CENIDET de Cuernavaca, Morelos, México en 1999. Ha realizado diversos proyectos relacionados con sistemas de adquisición de datos. Actualmente labora como profesor/investigador de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora y es profesor con perfil PROMEP.



# Diseño y construcción de una fuente de corriente basada en un sintetizador digital directo para tomografía de la impedancia eléctrica

Juan Carlos Murrieta Lee

**Resumen**—Se presenta el diseño y construcción de una fuente de corriente de multi-frecuencia con la finalidad de ser utilizada en un sistema de adquisición de datos de tomografía de la impedancia eléctrica (TIE). Como fuente de voltaje, se utilizó un circuito sintetizador digital directo (DDS), el AD 7008 de la compañía Analog Devices, para aprovechar sus características y bondades de alto desempeño. El DDS fue programado mediante el uso de circuitos microcontroladores denominados PIC. Como resultado, se obtuvieron frecuencias de oscilación en la banda de interés de 10 kHz con valores de relación señal a ruido en el orden de los 52 dB, la cual es considerada como muy adecuada para aplicaciones en TIE [3].

**Palabras clave**— Tomografía, fuentes de corriente, sintetizador digital directo.

## I. INTRODUCCIÓN

El término sintetizador de frecuencia se aplica a un dispositivo electrónico que se basa en una frecuencia de referencia para generar una o más señales de diferentes-frecuencias mediante una palabra de control. La calidad de la señal de salida se juzga mediante varios factores, siendo uno de los más importantes la degradación que sufre el cristal de referencia a lo largo de la síntesis. Un buen sintetizador presenta una muy alta correlación entre la referencia y la señal de salida, en términos de estabilidad y precisión. Esta función se puede acometer mediante las dos siguientes técnicas:

1. **La síntesis directa o analógica** (figura 1), también denominada mezclador/filtro, utiliza multiplicadores de señal y divisores analógicos para producir la frecuencia deseada.

El proceso se denomina directo porque la etapa de corrección del error se anula, por lo que la calidad de la salida está directamente relacionada con la calidad de la entrada; es decir, se trata de un sistema de control el cual no tiene una realimentación para corregir posibles errores de estabilidad o precisión. Una de las características que lo hacen más potente

es que cuando conmuta de frecuencia de referencia en la salida siempre se obtiene la misma correspondencia entre fase de entrada y salida, a este fenómeno se le denomina memoria de fase. En práctica, debido a que un diseño de mezclador/filtro conmuta entre diferentes frecuencias, se requiere de un banco de osciladores. Esto implica que el sistema se encarezca en función del número de referencias que se requieren en alguna aplicación. Por otro lado, el uso de divisores reduce el costo ya que con una sola referencia se pueden conseguir varias con el simple hecho de dividirla, pero en este caso se produce una pérdida de fase a no ser que se añadan etapas de control para mantener la memoria de fase.

2. **Los sintetizadores indirectos**, también denominados “Phase lock loop” o PLL’s, comparan la salida de un oscilador controlado por tensión (VCO) con alguna referencia. Cuando la salida se desplaza se produce un error y se provoca una corrección sobre el VCO, el cual responde adecuadamente. La detección del error se lleva a cabo en el detector de fase, el cual introduce ruido de fase muy cercano a la portadora sobre todo cuando se pretende una precisión muy alta. Mediante este método se pueden alcanzar frecuencias muy altas, pero la conmutación entre frecuencias podría no ser lo suficientemente rápida para algunas aplicaciones.

## II. ARQUITECTURA DE LOS DDS

Los DDS también son conocidos como Osciladores Controlados Numéricamente (NCO), pero hay que tener presente que ningún elemento del DDS oscila. Su estructura puede parecer simple (figura 2), y aun así proporciona ventajas difíciles de conseguir mediante otras técnicas de síntesis. Estas ventajas incluyen la alta velocidad de conmutación entre frecuencias, factor muy importante en sistemas de analizadores de espectro o rastreo multi-frecuencia (scanner).

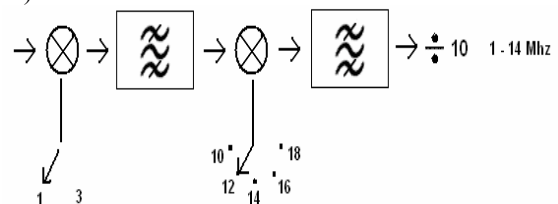


Fig. 1. Utilización de multiplicadores para la generación de frecuencia.

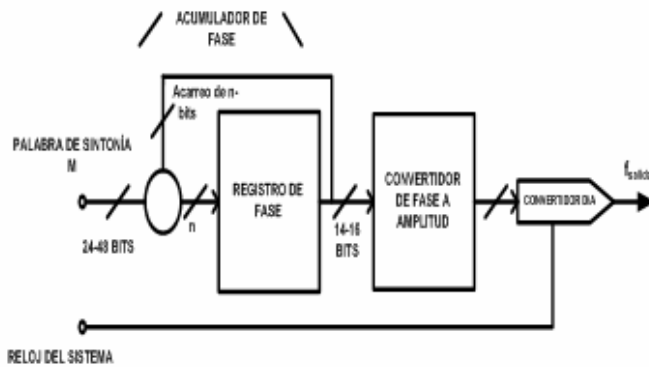


Fig. 2. Principio de funcionamiento del acumulador de fase.

El segundo componente en un DDS es esencialmente memoria o dispositivo de mapeo, o bien un dispositivo que realiza la función no lineal de transformar la rampa acumulada de fase  $\omega t$  en  $sen(\omega t)$ . Generalmente se realiza mediante una tabla denominada 'Look Up Table' (LUT). Las señales de gran calidad requieren una gran cantidad de bits para definir  $\omega t$  y el valor de  $sen(\omega t)$ , y por lo tanto requiere una gran capacidad de memoria.

Por lo general es el circuito Convertidor Digital Analógico (DAC) el que limita las características del sistema. El circuito DAC tradicional consiste en una matriz de conmutación más un conjunto de fuentes de corriente. La linealidad depende del error de la fuente de corriente. Por otra parte, la precisión de la fuente de corriente que corresponde al MSB (bit de mayor peso) debe ser mayor a la que corresponda al LSB (bit de menor peso). Adicionalmente, el tiempo de establecimiento de la fuente limita la velocidad del sistema. Asumiendo un DAC perfecto, con linealidad ideal, el ruido aún está presente por el error de cuantificación. Y aunque se ha experimentado mucho en el tema aún no se han obtenido resultados prácticos. Otro aspecto del DAC es la energía de 'glitch', que es un transitorio de la señal producido durante la transición del proceso de conversión.

Las ondas sinusoidales son descritas en función de su amplitud como:  $a(t) = \sin(\omega t)$ . No obstante, éstas son no lineales y por consiguiente no son fáciles de generar. Por otra parte, la información angular es lineal por naturaleza. El ángulo de fase gira al rededor de un ángulo fijo por unidad de tiempo (esta relación se observa en la figura 3). La velocidad angular depende de la frecuencia de la señal con la típica relación:

$$\omega = 2\pi f$$

Sabiendo que la fase de una onda sinusoidal es lineal y dado un intervalo de referencia (periodo del reloj), la rotación de la fase durante el periodo se puede determinar como:

$$\Delta Fase = \omega dt \quad (1)$$

Resolviendo para W:

$$\omega = \frac{\Delta Fase}{dt} = 2\pi f \quad (2)$$

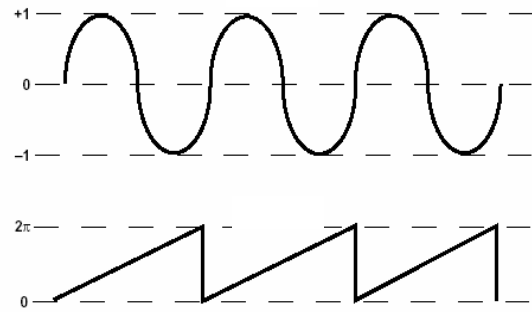


Fig. 3. Relación entre la el incremento de fase y la onda de salida.

Resolviendo para  $f$  y relacionando la frecuencia de reloj con el periodo de referencia:

$$\frac{1}{f_{reloj}} = dt \quad (3)$$

$$f = \frac{\Delta Fase * f_{reloj}}{2\pi} \quad (4)$$

El AD7008 construye la salida a partir de esta simple fórmula. Sólo cabe definir el registro de incremento de fase mediante 32 bits de resolución. De este modo un periodo queda definido mediante 32 bits y el incremento de fase entre cualquier valor comprendido entre 0 y  $2^{32}$ . Para un periodo comprendido de una fase igual a  $2\pi$ , se afirma que en términos del registro de acumulador de fase  $2\pi = 2^{32}$ .

Así, sustituyendo  $2\pi$  por la cuantificación binaria en 4 se obtiene:

$$f = \frac{\Delta Fase * f_{reloj}}{2\pi}; \quad 0 \leq \Delta Fase \leq 2^{32} \quad (5)$$

Aparentemente si se programa el incremento de fase con un valor de  $232=2\pi$  la frecuencia de salida seria igual a  $f_{reloj}$ , pero no es así ya que se debe considerar el teorema de muestreo de Shannon.

### III. EL DDS AD7008 Y SU IMPLANTACIÓN EN EL PROTOTIPO

El AD7008 (figura 4) es un DDS fabricado por Analog Devices, es especialmente diseñado para implementar modulaciones digitales. Esta característica se puede ver por los dos registros que aparecen en la entrada del acumulador de fase.

### IV. NIVELES DE TENSIÓN DE SALIDA DEL DDS

La salida del conversor digital analógico es señal de corriente, ésta se debe transformar a tensión para ser amplificada. Mediante una resistencia conectada masa y teniendo en cuenta el valor de corriente que pasará por ella, se puede realizar la transformación,  $V=R.I$ . (el valor de tensión no puede exceder 1 volt de pico a pico. La intensidad de fondo

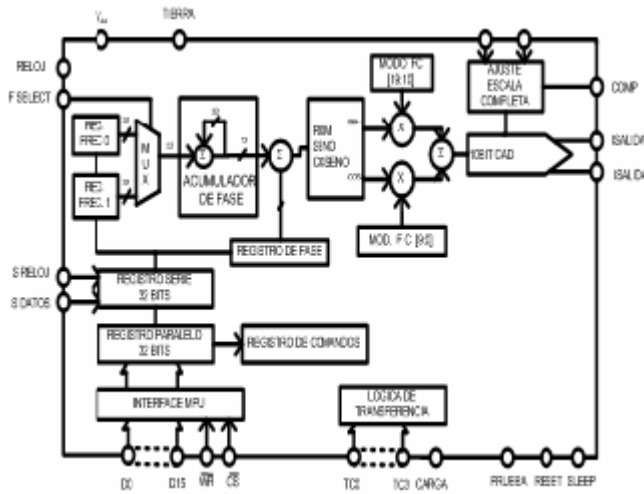


Fig. 4. Esquema de conexiones del AD7008.

( $I_{salida\ escala\ completa}$ ) de escala del convertor digital analógico lo define el fabricante mediante la Ec. (6), en la que una resistencia  $R_{set}$  puede hacer variar este valor, la cual determina el fondo de escala de intensidad. El dispositivo posee una tensión de referencia interna  $V_{ref}$  de 1.27V.

$$I_{salida\ escala\ completa} = \frac{6233 * V_{ref}}{R_{set}} \quad \text{Ec. (6)}$$

Teniendo en cuenta estos parámetros se resuelve Rset para obtener un margen dinámico máximo y una impedancia de salida de 50 ohms. El valor típico de  $R_{set} = 50 \Omega$ .

En el caso práctico, se escogió un potenciómetro de 10kohms, el cual trabajó en un rango de 392 a 8 kohms, teniendo incrementos de corriente 0.1 mA.

La figura 6 muestra el diagrama de conexiones eléctricas de la implementación discreta del prototipo.

Con la finalidad de reducir las frecuencias armónicas producidas por el oscilador local de DDS y que estaban presentes a la salida del circuito, fue necesario diseñar y construir un filtro RLC tipo Butterworth pasa bajos de segundo orden, el cual se muestra en la figura 7.

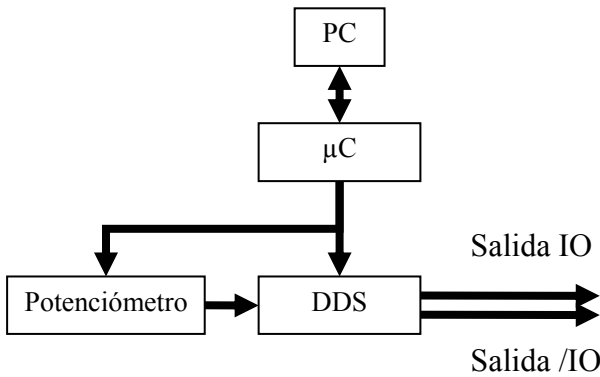


Fig. 5. Diagrama general del prototipo AD7008.

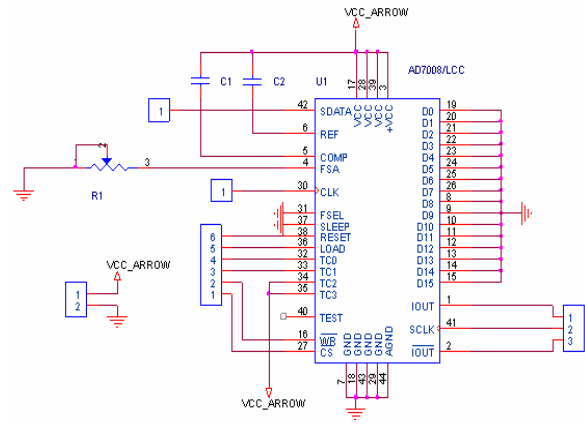


Fig. 6. Implementación en modo serial del AD7008.

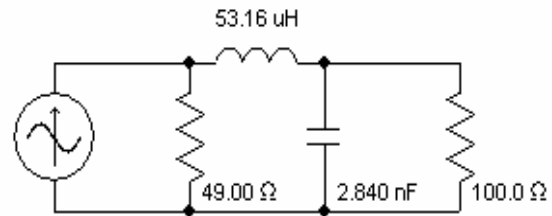


Fig. 7. Circuito pasa bajos segundo orden de Butterworth.

La frecuencia de corte de este filtro es de 1MHz .

### V. CONTROL DIGITAL

El AD7008, posee dos modos de comunicación para su programación en línea, el modo paralelo y el modo serial, en modo paralelo es utilizado para aplicación que demanden velocidades, teniendo como consecuencia el incremento del costo en el diseño por las líneas adicionales. El modo serial reduce este costo, sacrificando la velocidad de programación del DDS.

Para programar el DDS en línea es necesario seguir cinco secuencias lógicas

1. Carga de la frecuencia deseada por medio del la comunicación serial síncrona (PC), al microcontrolador.
2. Transmitir sincrónicamente cuatro bytes del microcontrolador al DDS, siendo capturados por el registro de 32 bits.
3. Direcccionamiento del las líneas T3-T0, adecuadas para cargar el registro FREQ0 o FREQ
4. Establecer una configuración en los pines de D0 a D4 para posteriormente habilitar las características del DDS, como son: Configuración para la omisión de los bits D15-D8, Configuración para la no omisión de los bits D15-D8 (modo paralelo de 16 bits), bajo consumo de corriente, modulador en amplitud.
5. Carga de los características especiales del DDS, por medio del direccionamiento al registro COMMAND.



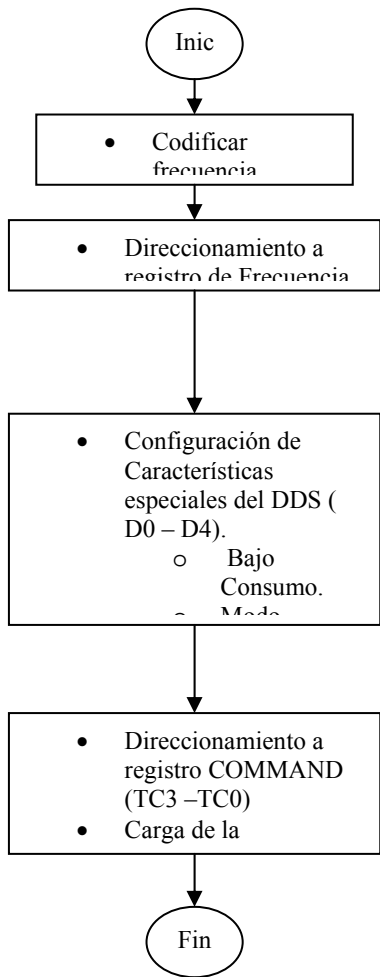


Fig. 8. Diagrama de flujo empleado en la programación del circuito DDS AD7008.

El diagrama de flujo que se implementó para programar el circuito DDS AD7008 se presenta en la figura 8.

El código de control que ejecuta las funciones del diagrama de flujo se muestran a continuación:

```

*****
;
*****
; CONFIGURACION DEL DDS
*****
;
*****
*****
DDS
*****
;
*****
*****
BCF    PORTC,2
BSF    PORTE,1

clrw
CALL SPI
clrw
CALL SPI
clrw
CALL SPI

```

```

clrw
CALL SPI
NOP
NOP
NOP
NOP
BCF    PORTD,7      ;TC0 = 0
BSF    PORTD,6      ;TC1 = 1
BSF    PORTD,5      ;TC2 = 1
BSF    PORTD,4      ;TC3 = 1
BSF    PORTC,2      ; LOAD HABILITA

LA CARGA DE REGISTRO SERIAL A DDS
NOP      ; CARGA
NOP      ;
NOP      ;
NOP      ; EN PROCESO
NOP      ;
BCF    PORTC,2      ; DESHABILITA

LA CARGA DE REGISTRO SERIAL A DDS
NOP
NOP
NOP
;
BCF    PORTD,5      ;TC2 = 0
DIRECCIONA AL REGISTRO COMMAND
BCF    PORTD,4      ;TC3 = 0
DIRECCIONA AL REGISTRO COMMAND
; BCF    PORTC,1      ; CM0 (por el
momento no se usa)
; BcF    PORTC,0      ; CM3 (por el
momento no se usa)
BSF    PORTC,2      ; HABILITA LA
CARGA DE REGISTRO SERIAL COMMAND
NOP
NOP
NOP      ; EN PROCESO
NOP      ; EN PROCESO
BCF    PORTC,2      ; DESHABILITA

LA CARGA DE REGISTRO SERIAL A DDS
BcF    PORTE,1      ; habilita la carga paralela
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
BSF    PORTE,1

*****
*****
BCF    PORTC,2
BSF    PORTE,1
MOVFWDDS#1_MSW
CALL SPI
MOVFWDDS#1_LSW
CALL SPI
MOVFWDDS#2_MSW
CALL SPI
MOVFWDDS#2_LSW
CALL SPI
NOP
NOP
NOP
BCF    PORTD,7      ;TC0 = 0
BCF    PORTD,6      ;TC1 = 0
BSF    PORTD,5      ;TC2 = 1
BSF    PORTD,4      ;TC3 = 1
BSF    PORTC,2      ; LOAD HABILITA

LA CARGA DE REGISTRO SERIAL A DDS
NOP      ; CARGA

```

```

NOP
NOP
NOP
BCF PORTC,2 ; DESHABILITA
LA CARGA DE REGISTRO SERIAL A DDS
NOP
NOP
NOP
NOP
;
BCF PORTD,5 ; TC2 = 0
DIRECCIONA AL REGISTRO COMMAND
BCF PORTD,4 ; TC3 = 0
DIRECCIONA AL REGISTRO COMMAND
; BCF PORTC,1 ; CM0 (por el
momento no se usa)
; BcF PORTC,0 ; CM3 (por el
momento no se usa)
BSF PORTC,2 ; HABILITA LA
CARGA DE REGISTRO SERIAL COMMAND
NOP
NOP
NOP
NOP
BCF PORTC,2 ; DESHABILITA LA
CARGA DE REGISTRO SERIAL A DDS
BCF PORTE,1 ; habilita la carga paralela
NOP
NOP
NOP
NOP
BSF PORTE,1 ; PONE EN UNO RW
NOP
RETURN
*****
*
*****
; RESET DEL DDS
*****
****
RESET_DDS
BSF PORTE,2
NOP
NOP
NOP
BCF PORTE,2
RETURN
*****
****

```

VI. RESULTADOS

Por medio del programa de control gráfico mostrado en la figura 9, se manejó la programación del circuito DDS para las frecuencias de interés. Los resultados obtenidos se presentan en esta sección.

Una vez programado el DDS, se procedió a medir la señal de salida a las frecuencias de interés. En la figura 10 se muestra el espectro de salida para una señal de 10 kHz. En la gráfica se aprecia que posee una relación de señal a ruido aproximadamente de 55dB.

En la figura 11 se muestra el espectro de una señal de 50k Hz. En la gráfica se aprecia que, como en el caso anterior, se

tiene una relación señal a ruido aproximadamente igual 55dB.

El espectro de salida para una señal de 100 KHz. se muestra en la figura 12. Es posible apreciar también una relación señal a ruido de aproximadamente 55dB.

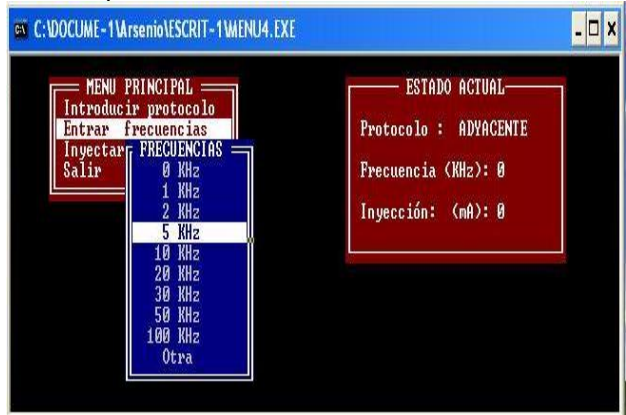


Fig. 9. Programa para el control grafico del AD7008.

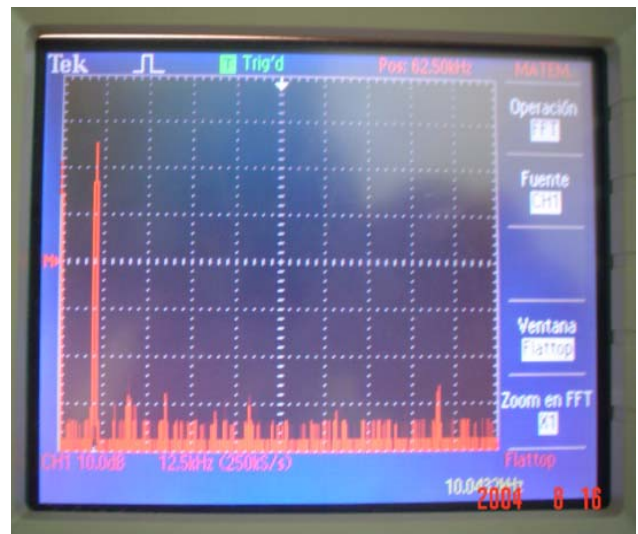


Fig. 10. Espectro de la salida del DDS a 10kHz.

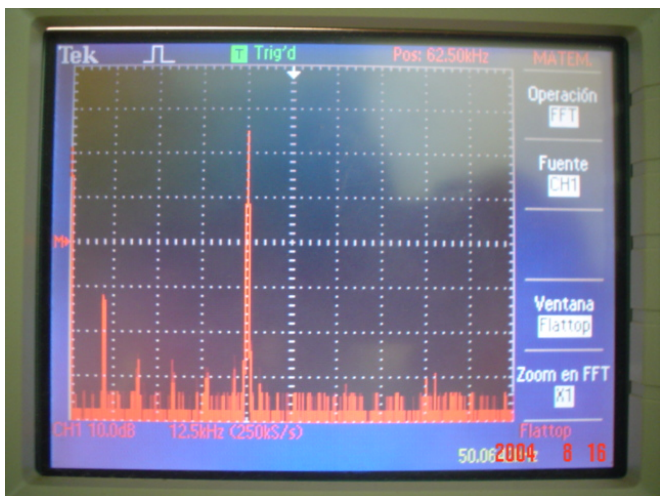


Fig. 11. Espectro de la salida del DDS a 50kHz.

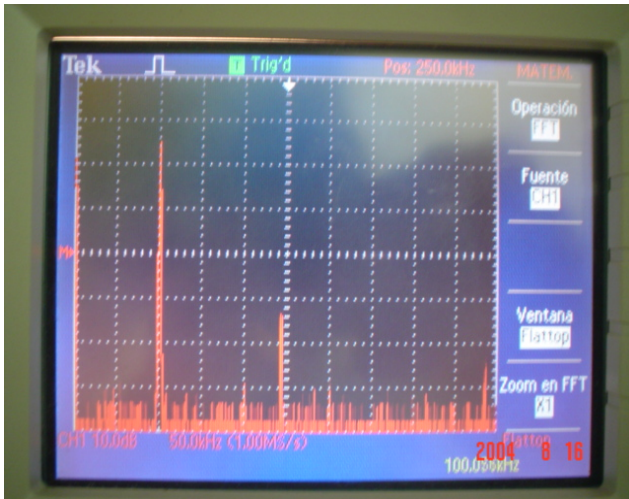


Fig. 12. Espectro de la salida del DDS a 100kHz.

Para frecuencias mayores a 1MHz el DDS, pierde sus cualidades de estabilidad, esto se debe principalmente a dos cosas el estado del oscilador de referencia y la calidad que este haya sido fabricado.

## VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado los resultados del diseño y la implementación de una fuente de corriente multi-frecuencia utilizando un circuito oscilador digital DDS, el AD 7800. Las ventajas de éste novedoso diseño es que es posible trabajar en un amplio rango de frecuencias, sin la necesidad de cambios

en los componentes del oscilador de voltaje o la fuente de corriente. Además sirven como una guía más completa para el usuario del DDS en relación a la hoja de datos aportada por los fabricantes. En este trabajo, relaciones de señal a ruido en el orden de los 55 dB fueron obtenidas de manera consistente para el rango de 10 KHz. a 1 MHz. Estos resultados cumplen con las necesidades requeridas en términos de calidad de las fuentes de corriente para aplicaciones como lo es la obtención de imágenes en la tomografía de la impedancia eléctrica.

## REFERENCIAS

- [1] AD 7800. Hoja de datos. Compañía Analog Devices. (www.analog.com)
- [2] Analog Devices. High Speed Design Seminar (1990), p.IX-17-IX 22.
- [3] Boone and Holder, "Current approaches to analogue instrumentation design in electrical impedance tomography" Physiological Measurements, 17, 1996, p. 229-247.

**Juan Carlos Murrieta Lee.** Nació en Ciudad Obregón, Sonora. Es Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1986. En 1997 obtuvo su grado de maestría en ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones en el CICESE en Ensenada, BC. En 1997, fue galardonado con el premio "Mejor tesis de Maestría en Ingeniería" por la Academia Nacional de Ingeniería, México, D.F.

En el 2001 recibió el grado de doctor (PhD) por la University of Manchester Institute of Science and Technology, en Manchester, Reino Unido.

Ha trabajado como técnico auxiliar en el canal 28 de Televisión en Monterrey, Nuevo León y desde 1987 es profesor de tiempo completo por el Departamento de Ingeniería Eléctrica en el ITSON. Sus intereses incluyen: medición y automatización, procesamiento digital de señales, comunicaciones por fibras ópticas y sistemas de sensores para tomografía eléctrica.

# Metodología para realizar una automatización utilizando PLC

José Guadalupe Castro Lugo, Juan José Padilla Ybarra, Eduardo Romero A.

**Resumen—** En el presente artículo se expone una metodología que ayuda, gracias a los pasos propuestos, generar una automatización de manera más sencilla, utilizando PLC. Su importancia radica en la evaluación de las diferentes técnicas de administración de la tecnología, para de una manera eficaz, poder dar solución de forma sistematizada a la toma de decisiones, para incrementar la productividad de los sistemas empleados por las compañías.

**Palabras clave—** Automatización, PLC, technology management.

## I. INTRODUCCIÓN

La automatización nació con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas anteriormente efectuadas por seres humanos y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana. En comunicaciones, aviación y astronáutica, se han estado utilizando dispositivos como los equipos automáticos de conmutación telefónica, los pilotos automáticos de guía y los sistemas automatizados de control para efectuar diversas tareas con mayor rapidez y precisión. Mejor de lo que podría hacerlo un ser humano [4]

La automatización para la industria, es usar tecnología que integre un proceso de control a través de dispositivos capaces de tomar decisiones e interactuar con otros, basándose en un programa establecido por el integrador para el manejo de algunas variables, mediante su monitoreo y comparación con un valor esperado del proceso; esto se realiza de manera automática, generando en el sistema mayor productividad, confiabilidad, estabilidad y calidad en sus resultados.

Un proyecto de automatización se inicia cuando una empresa identifica una oportunidad de mejora dentro de sus procesos productivos susceptibles de ser automatizados. Tal oportunidad puede ser un incremento en la producción, el perfeccionamiento en los atributos y cualidades de alguna

línea de productos para enfrentar la competencia de otros proveedores o lo más común, mantener la fabricación y calidad dentro de las normas actuales pero disminuyendo los costos totales asociados a la producción [6].

En fin, cualquiera de los motivos anteriores puede ser que desligue una serie de decisiones para iniciar un proyecto de automatización.

Iniciar un proyecto de automatización industrial es una decisión que implica involucrar todos los niveles directivos de la organización. También obliga a invertir una gran cantidad de recursos económicos, materiales, humanos y tecnológicos.

Por la complejidad de la mayoría de los sistemas de automatización y la diversidad de tecnologías existentes, así como las necesidades muy particulares de cada proyecto, es muy difícil que un solo proveedor de productos de automatización pueda satisfacer todas las expectativas que tiene un cliente sobre los resultados que desea obtener, como son tecnología de punta, largo ciclo de vida del sistema, bajo costo de inversión en el proyecto, asistencia técnica, etc.

Los actuales retos que impone la globalización de la economía, con mercados cada vez más exigentes y cambiantes, hacen que la industria adquiera estrategias para el desarrollo competitivo y la adaptación de nuevas prácticas productivas que integren amplia y ordenadamente los recursos con los que cuenta, para alcanzar mejores niveles de producción.

La automatización de los procesos productivos se establece como una herramienta fundamental que permite a las empresas un desarrollo propio, dinámico y competitivo, facilitando la relación entre las diferentes áreas de la organización o empresa. Por lo que es muy importante encontrar una buena metodología o procedimiento adecuado y eficaz, que permita a la industria regional, automatizar bienes de producción particularmente con el uso de PLC's.

Por otro lado, hay un costo asociado a la adquisición de nueva tecnología en equipos y programas; y aún, teniendo la tecnología más moderna, la automatización puede ser ineficiente y no operativa si no se realizó previamente un análisis de las necesidades de la organización, de las diferentes ofertas tecnológicas existentes en el mercado y un diseño de los sistemas adecuado a las funciones de la organización como a la tecnología empleada.

Por lo tanto, antes de iniciar una automatización es importante tener en cuenta que:

- Las organizaciones son complejas y realizan diversas funciones que están relacionadas entre sí, que sus

Manuscrito recibido el 6 de julio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

José Guadalupe Castro Lugo se desempeña como maestro de asignatura en el Instituto Tecnológico de Sonora y en el Instituto Tecnológico Superior de Cajeme en el departamento de Matemáticas.

Juan José Padilla Ybarra esta con 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: jjpadilla@itson.mx).

Eduardo Romero A. actualmente esta en Dpto. de Ing. Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora. Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; (e-mail eromero@itson.mx)

necesidades de manejo de información cambian y crecen, y que además del manejo operativo de la información hay una necesidad de contar con un acceso global que permita una mejor toma de decisiones.

- La tecnología es muy cambiante, cada vez hay mayor variedad de equipos y sistemas más poderosos de costos diversos, lo que complica la selección de la tecnología adecuada.
- El diseño, la programación y la operación de los sistemas requieren en la mayoría de los casos de especialistas.

Por todo lo antes mencionado, si se pretende que una automatización no solamente cause una mejora de la producción, sino que además resulte una inversión rentable en cuanto a la adquisición de una tecnología adecuada, es necesario contar con una metodología para llevar a cabo dicha automatización.

## II. DESARROLLO

Los pasos por seguir para aplicar la metodología son: descripción del sistema, diagrama de flujo, descripción de los equipos del sistema, requerimientos del cliente, selección del autómata programable, programación del PLC.

### A. Paso No. 1 (Descripción del sistema).

Para llevar a cabo la descripción del sistema o proceso se requiere recabar la siguiente información: procedimiento que se debe seguir en la operación (arranque, paro), dispositivos que intervienen en el proceso (sensores, transductores, motores, variadores, etc.), variables a medir, variables a controlar, variables a monitorear, rangos de operación, función de los dispositivos, entradas y salidas. Esta actividad se lleva a cabo mediante entrevistas con los operadores y encargados de mantenimiento del proceso, visitas de campo y la experiencia del integrador.

### B. Paso No. 2 (Diagrama de flujo).

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos en un proceso. Dicho diagrama es útil para determinar cómo funciona realmente el proceso. El diagrama se utiliza en gran parte de las fases del proceso de mejora continua, sobretodo en definición de proyectos, diagnóstico, diseño e implantación de soluciones, mantenimiento de las mejoras, traslado de materiales, pasos para ventas y procedimientos del proceso.

### C. Paso No. 3 (Descripción de los equipos del sistema).

Aquí se agrupan todos los dispositivos que intervienen en el proceso, se describe bien su función e identifica las entradas y salidas del sistema. Esto ayuda a conocer con mayor detalle el sistema y las funciones para las cuales fueron diseñados los dispositivos. Además sirve para conocer más a detalle el proceso y entenderlo mejor; es decir, tener una amplia visión para la siguiente etapa.

### D. Paso No. 4 (Requerimientos del cliente).

Estos se obtienen, de las entrevistas realizadas con los operadores y jefes de mantenimiento, los cuales indican características de operación, características de los equipos, rango de operación y en algunos casos el rango del costo de los equipos a utilizar.

### E. Paso No. 5 (Selección del autómata programable).

Para llevar a cabo la selección del autómata se deben de realizar dos evaluaciones, una para seleccionar el tipo de autómata y la otra para seleccionar la marca, esto debido a las diferentes opciones que brinda el mercado actualmente. Aquí solamente se concentra la información obtenida hasta Mayo de 2004 debido a que la tecnología es muy cambiante y es casi imposible concentrar los diferentes cambios.

### F. Paso No. 5.1 (Matriz de decisiones para la selección de PLC).

Para realizar la matriz de selección se deben seguir los siguientes pasos: Elaborar una lista de características de selección, ordenar la lista de características, asignación de ponderación relativa a cada característica de la selección, establecer parámetros de rendimiento o calificación de utilidad para cada una de las características y calcular los valores de utilidad relativa de los diseños alternativos además de comparar los valores de utilidad relativa [3].

### G. Paso No. 5.2 (Matriz de decisiones para la selección de la marca del PLC).

Para generar esta matriz se debe realizar un procedimiento similar al del paso anterior solamente que aquí se compararan por lo menos cuatro marcas diferentes de autómatas programables seleccionado en la etapa anterior.

### H. Paso No.6 (Programación del PLC).

Existen dos formas de programación para el PLC: El método heurístico o informal (función memoria) y el método formal (redes de Petri o GRAFCET), se recomienda éste último. Primero se debe de realizar el diagrama GRAFCET [2], el cual consiste en un diagrama gráfico de etapas y transiciones, por medio del cual se puede llevar a cabo con facilidad la programación del PLC elegido de acuerdo con el software del mismo.

#### Paso No. 6.1 (GRAFCET del proceso).

Los pasos esenciales que debe realizar son:

- ✓ Se debe caracterizar el funcionamiento del automatismo con total independencia de los componentes con los que vaya a ser construido. Esto equivale a centrar el interés no tanto en la estructura física o en la tecnología empleada para implementar el automatismo, sino en la función que debe realizar.
- ✓ El elemento fundamental de un proceso es la operación (denominada etapa en el lenguaje de GRAFCET), entendiendo como tal una acción realizada por el automatismo. Obsérvese que en una

primera aproximación se puede dividir el proceso en unas pocas operaciones relativamente complejas, llamadas macroetapas. Estas operaciones podrán ser subdivididas a su vez en operaciones más elementales a medida que se avanza en el nivel de detalle.

- ✓ Se debe dividir el proceso en macroetapas y éstas en etapas más elementales, hasta conseguir que las acciones a realizar en cada una de ellas dependa sólo de relaciones combinatorias entre entradas y salidas.
- ✓ Establecer un gráfico de evolución que indique la secuencia de las operaciones (secuencia de etapas) y las condiciones lógicas para pasar de una etapa a otra. (denominada condiciones de transición en el lenguaje de GRAFCET) Como resultado de este paso se obtienen las ecuaciones lógicas y queda resuelta la parte secuencial del automatismo.
- ✓ Establecer para cada operación elemental (etapa) las relaciones lógicas entre entradas y salidas, utilizando eventualmente otras variables internas combinatorias.
- ✓ Finalmente implementar el sistema utilizando el programa de las relaciones lógicas de los dos puntos anteriores.

*Paso No. 6.2 (Descripción de entradas y salidas del proceso).*

De acuerdo con el diagrama del GRAFCET se describen las entradas y salidas que intervienen en el programa para tener una mejor visualización del mismo. Esto ayuda en mayor parte para la siguiente etapa que se refiere a la programación del PLC.

*Paso No. 6.3 (Programa del PLC).*

Este se realiza en el software del autómatas elegido, usando el diagrama de GRAFCET realizado anteriormente. Cada línea de programa se puede ir leyendo directamente del GRAFCET.

### I. Validación

Para validar la metodología se efectuaron los pasos de la misma en el proceso de producción de "Doritos" de la planta Sabritas de Cd. Obregón, constatándose que se podía utilizar y que aportaba lo necesario al realizar proyectos de automatización, sobre todo en el proceso de la toma de decisiones, pues éstas deben de ser evaluadas por criterios bien definidos los cuales se consensan por los usuarios, gracias a la propia metodología.

En el proceso se describe perfectamente el sistema, diagnosticándose las áreas de oportunidad a ser automatizadas, por los problemas recurrentes y los cuellos de botella en la línea son particularmente en las etapas de freído, enfriamiento y sazonado. Gracias a la descripción del proceso y a las entrevistas con los operarios, se establecieron los requerimientos necesarios para incrementar la productividad: 6 entradas/salidas analógicas, 40 digitales, un control PID, interfaz con el usuario (pantalla touch screen) y comunicación serial. Con ayuda de las políticas de la empresa y las características necesarias de los PLC's se evalúa la selección del mismo, con base a los criterios especificados con anterioridad, dando como resultado el microPLC de Allen-Bradley 1 y por último su correspondiente programación,

realizada en base al método formal GRAFCET con el software RSLogix 500.

### III. CONCLUSIONES

Podemos concluir que debido a que los sistemas de automatización la mayoría de las veces son muy complejos y diversos. La metodología planteada proporciona una herramienta útil para llevar a cabo proyectos de automatización.

Pero para poder realizar con éxito un proyecto de automatización es necesario obtener con el mayor detalle la información de la descripción de sistema, ya que ésta es la que abre todas las brechas para adquirir la tecnología (existente), además de ayudar a tener una visión amplia de lo que se puede y quiere hacer. También al momento de considerar las características necesarias para el PLC, proporcionará más apoyo.

Podemos afirmar que el objetivo o el cuestionamiento antes planteado fue cumplido debido a que la metodología propuesta satisface las necesidades mínimas para seleccionar el PLC, y además esa herramienta de selección puede ser utilizada para otro tipo de tecnología.

Las herramientas que sirvieron de mucho apoyo para la realización de la metodología, fueron la elaboración de las matrices de evaluación de alternativas, la cual otorga la ventaja de concentrar una amplia gama de PLC y evaluarlos para sus selección de acuerdo a los requerimientos del proceso, además de la elaboración del GRAFCET del proceso debido que al realizarlo te brinda una perspectiva más amplia y lógica de cómo elaborar el programa del PLC, y si a eso le agregamos la elaboración de forma estructurada todavía amplía más la visión del programa.

Por otro lado, un reto para alguna gente que realiza proyectos de automatización, es utilizar la metodología, debido a que la mayoría de las veces se trabaja sobre resultados tangibles dentro de producción, la toma de decisiones no es sistematizada y además no se documenta el proyecto realizado.

### REFERENCIAS

- [1] Aguilar, Horacio (2003) Revista de manufactura industrial, Estados Unidos.
- [2] Balcells Joseph, Romeral José Luis (1999) Autómatas programables, Alfaomega, México D. F.
- [3] Dieter George (1991) Engineering Desig: A Materials and Processing Aproach, Mc Graw Hill, Estados Unidos.
- [4] Ogata, Katsuhiko (2003) Ingeniería de Control Moderno, Prentice Hall, Madrid.
- [5] Sánchez Carmona Arturo (2002) Automatización y flexibilidad de la industria, México D. F.
- [6] Vázquez Coronel Modesto (2003) Revista manufactura industrial, Estados Unidos.

**José Guadalupe Castro** Lugo egresó en 2000 de la Universidad de Sonora como Licenciado en Matemáticas. Actualmente es candidato a obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Administración de la Tecnología Eléctrica del ITSON. Desde 2000 se desempeña como maestro de asignatura en el Instituto Tecnológico de Sonora y en el Instituto Tecnológico Superior de Cajeme en el departamento de Matemáticas.

**Juan José Padilla Ybarra** Investigador Nivel I – SNI. Egresó del Instituto Tecnológico de Sonora en 1991 como Ingeniero Electrónico, en 1995 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Bioelectrónica en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. En 1999 obtuvo el grado de Doctor del INPL con especialidad en Automatización y Procesamiento Digital de Señales en el Instituto Politécnico Nacional de Lorena, Francia. 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.

**Eduardo Romero A.** (1972). Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica opción Instrumentación en el Instituto Tecnológico de Orizaba en 1995, y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el área de Sistemas Digitales, en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CENIDET de Cuernavaca, Morelos, México en 1999. Ha realizado diversos proyectos relacionados con sistemas de adquisición de datos. Actualmente labora como profesor-investigador de tiempo completo, con perfil PROMEP, en el Dpto. de Ing. Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora.

# Diseño de un enlace universal remoto

Armando García Berumen, Erica Ruiz Ibarra, Manuel Domitsu Kono, Benjamín Moran Medina

**Resumen**—En este trabajo se presenta el diseño de un enlace de RF que cuenta con tres funciones:

1. Transmisión de voz en forma analógica convencional en la banda de VHF.
2. Transmisión datos digitales mediante la codificación FSK sobre el mismo enlace, para su posterior despliegue en un sistema digital.
3. Transmisión de voltajes analógicos que representan parámetros físicos recolectados mediante un ADC de ocho canales.

El Enlace Universal Remoto (EUR), está basado en radios comerciales haciendo uso de la característica del PTT para tener el control sobre la transmisión. La velocidad de transmisión con la que se trabaja es de 1200 bps, velocidad suficiente para el tipo de información que se desea transmitir.

En el apartado de diseño se muestran los bloques correspondientes a la etapa de transmisión y recepción resaltando el uso del PIC y los codificadores utilizados. Se presentan algunas aplicaciones en las cuales se puede utilizar el sistema, además de dar recomendaciones para mejorar el mismo. Finalmente se presentan las pruebas realizadas al sistema.

**Palabras clave**— Enlaces de radio, radiomodems, transmisión digital.

## I. INTRODUCCIÓN

En el área de telecomunicaciones, el recurso más escaso y costoso ha sido el ancho de banda, lo cual se ve mayormente reflejado en los enlaces RF, esto debido a la regulación gubernamental. Hoy en día, las personas desean estar comunicadas en cualquier lugar y a cualquier hora, la movilidad es un factor importante. Para lograr dicha movilidad un enlace RF es de vital importancia con las limitantes que conlleva. La restricción aparece aún más cuando se trata de transmitir datos.

Manuscrito recibido el 5 de agosto del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Armando García B, Actualmente se encuentra en el Departamento de Ingeniería Eléctrica en el área de comunicaciones en el Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 Sur, Cd. Obregón, Sonora México (e-mail argarcia@itson.mx).

Erica Ruiz I., Actualmente labora como profesora/investigadora de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del ITSON 5 de Febrero 818 sur, Cd. Obregón, Sonora México. (e-mail eruiz@itson.mx).

Manuel Domitsu K., está en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 Sur, Cd. Obregón, Sonora México (e-mail: mdomitsu@itson.mx).

Benjamín Moran Medina. Egresado con el grado de Ingeniero en Electrónica en el ITSON en 2004.

En la actualidad es común para las empresas tener enlaces de RF en las bandas UHF/VHF para la comunicación de voz entre sus empleados. Estos enlaces pueden ser propios o contratados con un proveedor del servicio. La mayoría de las veces este enlace no se utiliza ni el 20% del tiempo, por lo que se está desperdiciando dicho enlace, al cual se le pueden dar otras aplicaciones. La propuesta de este trabajo consiste en aumentar la utilización del canal mediante la adición de otros servicios sobre el mismo canal, como lo pueden ser mensajería en lugares remotos donde no se tiene acceso a comunicación alambrada, en la agricultura se puede sensar variables en los campos de riego a una distancia considerable en forma inalámbrica, y un sin fin de actividades. Identificando la gran cantidad de aplicaciones que tiene un enlace RF, se propone utilizar el mismo para darle un valor agregado con otras aplicaciones.

Actualmente se está realizando la transmisión de datos sobre enlaces de RF, la limitante para alcanzar altas velocidades ha sido el ancho de banda que es asignado por el gobierno. Por otro lado, el canal inalámbrico por su naturaleza presenta muchas desventajas, propiciando un sin fin de problemas en la transmisión de datos.

Una de las técnicas de transmisión digital que no es muy eficiente en cuanto ancho de banda se refiere, pero que se compensa con su sencillez al implementarla, es la técnica FSK (Frequency Shift Keying, o conmutación por desplazamiento de frecuencia) esta técnica es semejante la técnica FM, excepto que la señal modulante es un flujo de pulsos binarios. La expresión general para una señal FSK binaria es [1]:

$$v(t) = V_c \cos \left[ \left( \omega_c + \frac{v_m(t)\Delta\omega}{2} \right) t \right] \quad (1)$$

Donde  $v(t)$  = Forma de FSK binaria

$V_c$  = Amplitud pico de la portadora no modulada

$\omega_c$  = Frecuencia de la portadora en radianes

$V_m(t)$  = Señal modulante digital binaria.

$\Delta\omega$  = Cambio en frecuencia de salida en radianes

El índice de modulación para el FSK al igual que para FM es:

$$IM = \frac{\Delta f}{f_a} \quad (2)$$

IM = Índice de modulación

$\Delta f$  = Desviación de frecuencia

$f_a$  = Frecuencia modulante

Un microcontrolador es un sistema cerrado, es decir, con



todos los módulos de E/S y de memoria integrados en el mismo chip. Este tiene prestaciones limitadas o específicas las cuales no se pueden modificar.

El microcontrolador "PIC" ha sido diseñado con una arquitectura Harvard, en dicha arquitectura son independientes la memoria de instrucciones y la memoria de datos y cada una dispone de su propio sistema de buses para el acceso. Esta dualidad, además de propiciar el paralelismo, permite la adecuación del tamaño de las palabras y los buses a los requerimientos específicos de las instrucciones y de los datos, también la capacidad de cada memoria es diferente.

El procesador de estos microcontroladores responde a una arquitectura tipo RISC, que se identifica por poseer un repertorio de instrucciones máquina corto y simple, de forma que la mayor parte de las instrucciones se ejecuta en un ciclo de instrucción. Uno de los PICs que se utiliza mucho en el desarrollo de proyectos es el PIC16F628 [4].

La necesidad de proveer un mejor servicio, con mayor seguridad, ha llevado a muchas empresas a hacerse de sistemas de comunicación, adaptados dependiendo de las necesidades de la empresa, éstas están directamente relacionadas con el número de usuarios, el alcance que requiera cada uno de ellos, y el volumen de tráfico.

Tratándose de transmisiones con una potencia considerable (de 30 Watts en adelante), es muy difícil competir en calidad con empresas reconocidas, es por eso que para la etapa de transmisión en RF se considera un radio comercial, dicho sistema ofrece la posibilidad de adecuación para diversas necesidades de potencia, es decir, a menor potencia menor costo por el equipo de radiocomunicación. En el caso de la mayoría de los radios comerciales cuentan con un conector externo de accesorios que permite el acceso a las líneas de PTT (Push To Transmit), RX Audio, y MIC Audio; las cuales son requeridas para conectar el radio-módem con este equipo, además de estar estandarizadas en cualquier radio. Una manera de realizar la conexión del sistema propuesto a los radios se muestra en la Figura 1.

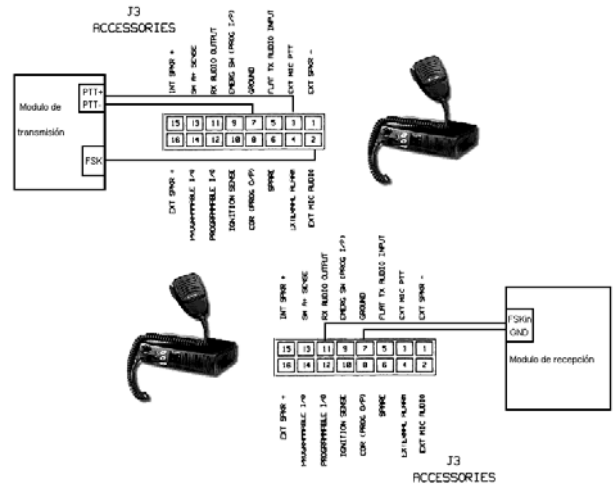


Fig. 1. Diagrama de conexión del EUR al Radio SM50

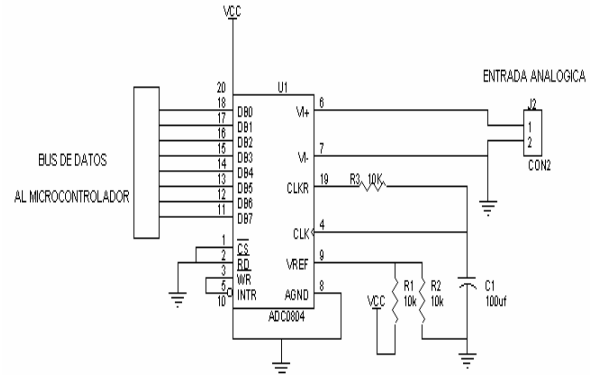


Fig. 2. Diagrama de conexiones del ADC0804.

Para el caso del convertidor, su resolución es de 8 bits, con un tiempo de conversión de 377.4 μs, el cual es suficiente para el tipo de aplicación considerado. Ésta es obtenida de la siguiente relación dada por el fabricante.

$$T_c = 73 / F_{reloj} \quad (3)$$

Este convertidor está configurado en modo carrera libre, gracias a esto, el microcontrolador no tendrá la tarea de asignar un bit para hacer inicios de conversión sobre el ADC, para dedicarse a capturar la información cuando sea necesario, la conexión se muestra en la Figura 2.

Para obtener la frecuencia de reloj se utiliza el arreglo formado por R3 y C1, y con los datos de la hoja de especificaciones, para una frecuencia 193.42 KHz cuando R3 = 10KΩ y C1 = 470pf, la frecuencia está dado por la siguiente relación:

$$F_{reloj} = 1 / 1.1 \times R3 \times C1 \quad (4)$$

1) CONVERSIÓN PARALELO-SERIE Y TEMPORIZACIÓN (PICTX\_ADC)

II. DISEÑO DEL EUR

Para lograr la transmisión se parte del diagrama de conexiones de la Figura 1. Considerando las características de conexión, el diseño se divide en la parte transmisora y receptora.

A. ETAPA DE TRANSMISIÓN

En esta etapa además de la señal de voz, se pueden procesar dos tipos de información:

- Una señal analógica la cual proviene del convertidor y que posteriormente se convierte en forma serial.
- La otra señal corresponde a un mensaje digital que proviene en este caso de la computadora a través del puerto serie con el estándar RS-232.

Ambas señales son multicanalizadas en tiempo, con un formato TTL y un baud rate de 1200 bps. Esta información digital es codificada mediante el esquema FSK, que finalmente es entregada al SM50, el cual tiene como función modularla en FM

Control automático de transmisión.

Este control se realiza mediante RB0, poniéndolo en un nivel lógico de "1", el cual acciona el PTT del radio por el tiempo necesario para que se transmita la trama más un par de retardos de 196 ms., que permiten que la transmisión esté establecida antes de enviar dicha trama. Lo anterior se ilustra en la Figura 3.

El microcontrolador está programado para trabajar con una tasa de transferencia de 1200 Baudios, esto se logra introduciendo en el registro "SPBRG" el número hexadecimal correspondiente a 51(h), tanto en transmisión como en recepción (Es opcional), la conexión se ilustra en la Figura 4.

$$\text{Tasa de transferencia} = \text{Fosc} / (64(X+1)) \quad (5)$$

2) CODIFICACIÓN FSK

En esta etapa se desarrolla una codificación digital de manera que los ceros y unos son representados por dos frecuencias que están dentro de un rango audible, es decir 1400 y 1800 hz., respectivamente. Se seleccionaron estos valores considerando los filtros pasa-bandas en los radios transmisor y receptor. Estos radios poseen filtros con rango de 300 a 3000Hz de un orden muy alto, y considerando el ancho de banda de aproximadamente 3 Khz y una desviación de frecuencia ( $\Delta f$ ) de 200Hz, la tasa de transferencia máxima es de 1200 bps aproximadamente.

$$F_a = (B/2) - \Delta f \quad (6)$$

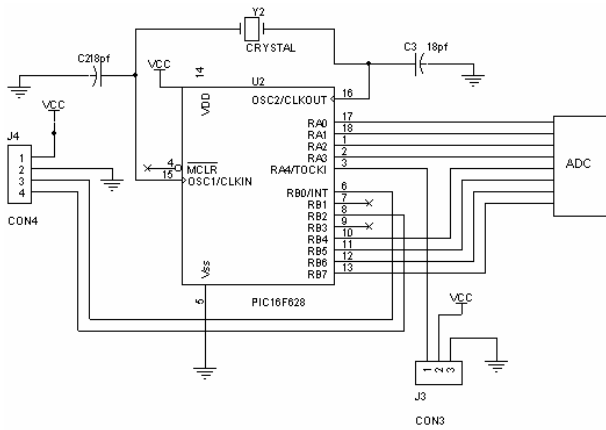


Fig. 3. Conexión del convertidor ADC al PIC.

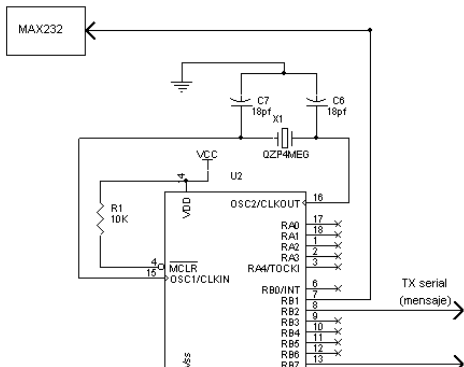


Fig. 4. Diagrama de conexión del PIC para transmisión serial.

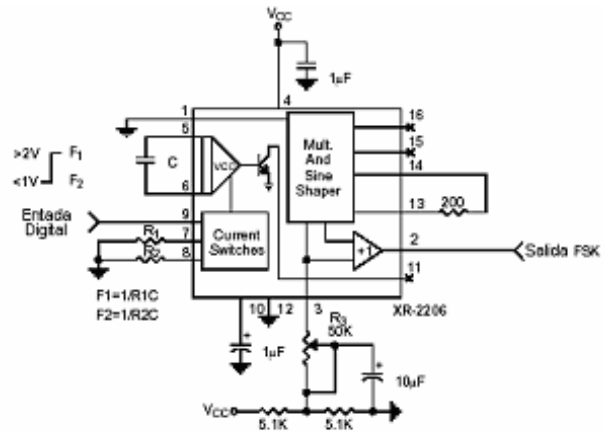


Fig. 5. Codificación FSK mediante el XR-2206.

Con las frecuencias propuestas para la marca y el espacio se genera el diagrama de la Figura 5

Al integrar todas las etapas que corresponden al sistema de transmisión, el diagrama esquemático resultante se muestra en la Figura 6.

B. ETAPA DE RECEPCIÓN

El módulo de recepción es el encargado de procesar la información que le llega de manera serial a través del dispositivo de radio SM50, aquí se decodifica la señal de FSK para convertirla de nuevo a TTL, luego es identificada como mensaje de texto o dato de captura analógica por el microcontrolador (PIC16F628), para ser transferida a una salida serial (RB2) y/o una salida en paralelo (RA0-RA3:RB4-RB7), respectivamente.

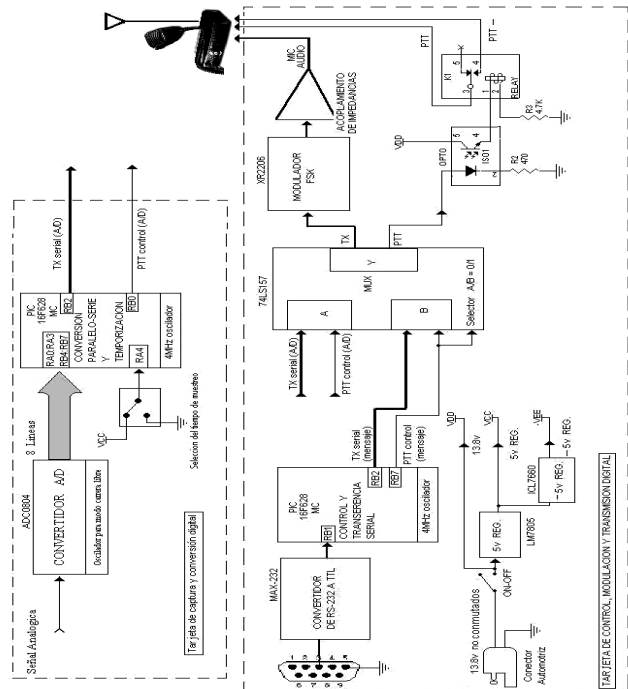


Fig. 6. Diagrama esquemático del transmisor del EUR.

Los mensajes de texto van a una salida o puerto DB-9, regido por un protocolo RS-232, estos pueden ser desplegados en una PC usando el software de mensajes o manipulados según las necesidades de la aplicación.

Los datos de captura analógica, son entregados a un registro paralelo (74LS374) para esto, la salida es actualizada por un instante cuando llega un dato nuevo, esta información es introducida a un DAC (Convertidor Analógico Digital),

1) *DECODIFICACIÓN FSK*

Al igual que en la codificación se opta por utilizar un dispositivo del fabricante EXAR, este modelo es un PLL monolítico que de hecho se puede considerar el complemento para el modulador (XR2206CP), el circuito PLL considerado es el XR2211CP. Una característica que posee este chip es de permitir valores muy estrechos entre las frecuencias FSK recibidas, hasta 300 hz. de separación.

Esta última característica citada, ha hecho posible que se alcance una tasa de transferencia de 1200 Baudios, debido a las delimitaciones que se tienen para las frecuencias FSK, si se tuvieran que separar más las frecuencias, la desviación de frecuencia sería mayor y el ancho de banda aumentaría. El circuito que hizo posible la decodificación se muestra en la Figura 7.

2) *CONTROL E IDENTIFICACIÓN DE DATOS (PIC\_RX)*

En la recepción el PIC16F628, como lo muestra la Figura 8, lleva a su cargo labores como: identificación de cadenas, transferencia de cadenas de texto a un puerto DB-9, control y transferencia de información para conversión digital a analógica.

1. Identificación de cadenas:

Una vez convertida a TTL la trama de información es capturada en la línea de recepción serial del PIC, que ocasiona una interrupción por la entrada serial, como lo muestra la Figura 8, gracias a lo cual se ingresa a la rutina de interrupción donde se toma el primer byte para identificar el tipo de dato que se está recibiendo, es decir, que si es “&” será una cadena de texto y si es “#” será una cadena de dato analógico.

2. Transferencia de cadenas de texto:

Cuando se identifica el primer byte como “&”, los siguientes caracteres son considerados como parte de un mensaje hasta llegar al carácter “@”, el cual representa el fin de cadena, estos se transmiten carácter por carácter al puerto DB-9, después de ser convertido a RS-232.

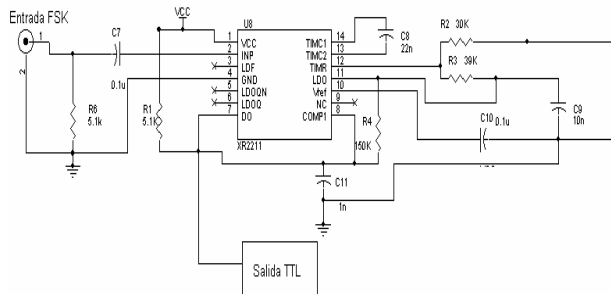


Fig. 7. Decodificador FSK con el chip XR2211.

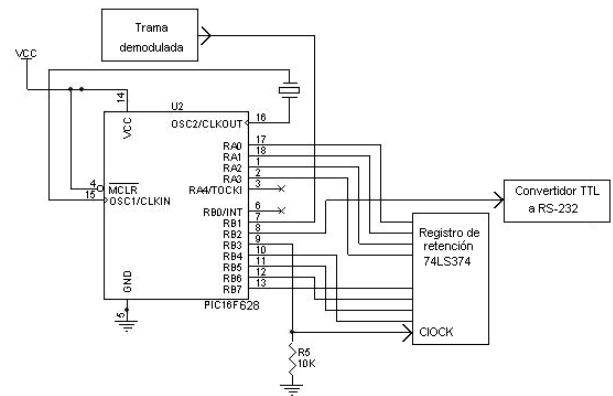


Fig. 8. Recuperación de los datos en recepción con el PIC.

3. Control y transferencia de información para conversión digital a analógica:

Si el carácter identificado al recibir el primer byte es “#”, entonces se toma el siguiente byte de la trama y se separa por nibbles, poniendo el menos significativo en la mitad menos significativa del puerto A y el más significativo en la parte correspondiente del puerto B. Además, se utiliza una línea de control para actualizar el registro donde se almacena el byte que permanece en la entrada del DAC.

Después de unir todas las etapas correspondientes a la parte receptora se generó el diagrama mostrado en la Figura 9.

III. DESEMPEÑO DEL ENLACE

Las pruebas realizadas hasta el momento, han llegado a una distancia de 6 Km. utilizando una antena tipo monopolo, montada sobre un tubo telescópico de 9 mts., para el transmisor y una antena yagui de 5 elementos montada a 4 mts., para el receptor. Además se disminuyó la potencia del radio transmisor, de 45 a 7W considerando que la distancia era pequeña y no se quería forzar el sistema, cosa que nunca sucedió. El sistema opera de una manera aceptable, obteniendo errores en la transmisión de mensajes sólo cuando se interponía el carácter “@” en la cadena, perdiéndose momentáneamente la parte final del texto, lo que impide mandar direcciones de correo.

A. *DESPLIEGUE FINAL*

El software de despliegue está dividido en dos partes, una interfaz para la generación de mensajes realizado en Visual Basic, donde se introducen los mensajes que se desean transmitir y se procesa la lectura analógica, y por la parte receptora una interfaz de captura y despliegue, elaborada en el mismo lenguaje, donde se recupera el mensaje, además de desplegar el valor de la captura analógica en voltaje, como se muestra en la Figura 10.

En la recuperación analógica, a la salida del DAC08 se obtuvo un error máximo de  $\pm 20$  mV y mínimo de  $\pm 2$  mV, siendo equivalente a un error máximo de 0.4%. La Figura 11, en la parte de recuperación de voltaje analógico, muestra decimales de más, esto es debido al comando de conversión de Visual.

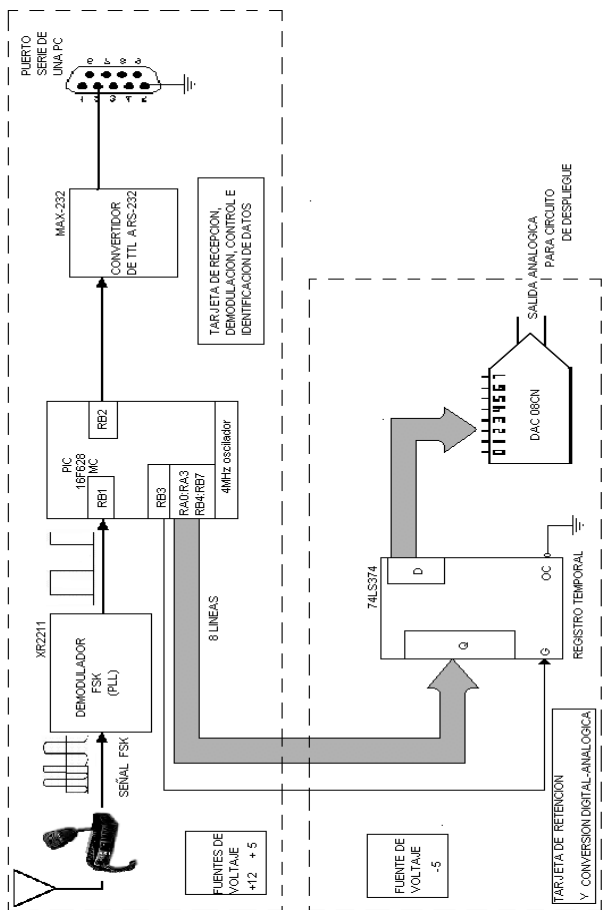


Fig. 9. Etapa de recepción del EUR.

FIGURA 13.- DIAGRAMA A BLOQUES DEL MÓDULO DE RECEPCIÓN DEL E.U.R.

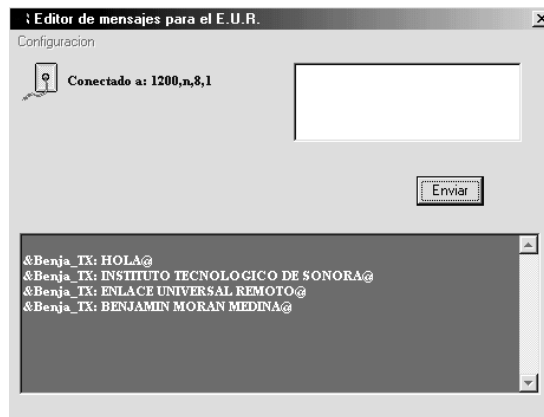


Fig. 11 Interfaz gráfica para la etapa de recepción.



Fig. 12. Vista de la etapa de transmisión.

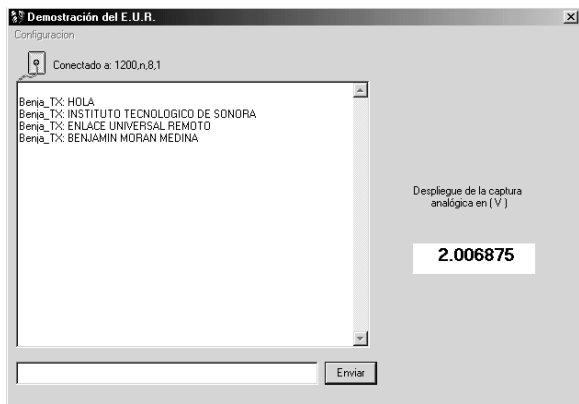


Fig. 10. Interfaz gráfica mediante Visual Basic para la etapa de transmisión.



Fig. 13. Vista de la etapa de recepción.

Las Figuras 12 y 13, muestran el equipo físico implementado. Se puede apreciar en la Figura 14, la parte de transmisión incluidos el radio, el codificador FSK y una computadora para la transmisión de los mensajes por el puerto serie. La Figura 15, muestra lo correspondiente a la recepción.

#### IV. CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- El esquema de modulación FSK resulta adecuado para la transmisión de datos digitales a tasas bajas, considerando la restricción del ancho de banda, para el caso de FSK, impuesto por los filtros de los radios

alcanzando en este caso una tasa de transferencia de 1200 bps.

- La integración adecuada de un radio profesional, proporciona un gran alcance, aunado a la calidad en la transferencia de información, da una clara muestra de la viabilidad de la integración, aún así, el sistema podría ser adecuado a otro equipo de radiofrecuencia, no se encuentra limitado en este aspecto.
- El hecho de utilizar fuentes derivadas que otorgan  $\pm 5$  volts, a partir de los voltajes de alimentación de los radios, da un sentido práctico al sistema, facilitando el manejo de este para el usuario, además de permitir la versatilidad de aplicaciones, al adecuarse a un gran número de circunstancias.
- El enlace cumplió con el objetivo general trasladando de un punto a otro la información, siendo estos un dato analógico, una cadena de caracteres, o voz, de manera automática.

Como mejoras al sistema se recomienda:

- Contribuir con el estado del arte del enlace convirtiéndolo en un sistema semi-duplex con radios de dos vías.
- Utilizar un esquema de detección de errores, en el caso de existir un error en la transmisión pedir la retransmisión del mensaje.
- Modificar la captura de datos analógicos, utilizando el PIC16F873 con su ADC interno, esto simplificaría el sistema físicamente, además de disminuir el error de conversión.

Algunas aplicaciones que se le pueden dar al sistema EUR consisten en:

- Mensajes escritos: mensajería a móviles de empresas de entrega a domicilio.
- Transmisión de Mensajes punto-multipunto.
- Telemetría: Medición de parámetros físicos y control a distancia, y otros.

## REFERENCIAS

[1] Tomasi, Wayne. "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas". Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, segunda edición, Naucalpan de Juárez, Edo. De México, 1996.

- [2] Coughlin Robert F, Frederick F. D. "Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales". Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, cuarta edición, Naucalpan de Juárez, Edo. De México, 1992.
- [3] Boylestad, Robert. "Electrónica Teoría de Circuitos". Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, cuarta edición, Naucalpan de Juárez, Edo. De México, 1989.
- [4] Angulo Usastegui, José Ma. "Microcontroladores PIC diseño práctico de aplicaciones, primera parte". Ed. McGraw Hill/Interamericana de España, segunda edición, Edificio Valrealty, 1ª. planta Basauri 17, Aravaca (Madrid), 1999.
- [5] Angulo Usastegui, José Ma. "Microcontroladores PIC diseño practico de aplicaciones, segunda parte". Ed. McGraw Hill/Interamericana de España, primera edición, Edificio Valrealty, 1ª. planta Basauri 17, Aravaca (Madrid), 2000.
- [6] Motorola, Radius Division. "Mobile Radios Service Manual". Ed. Motorola, Radius Division. 1301 East Algonquin Road Schaumburg, Illinois, 1999.
- [7] B. Moran M., A. García B.: "Diseño e implementación de un Enlace Universal Remoto", Tesis de licenciatura, ITSON Obregón Sonora, Febrero 2004.

**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 profesor/investigador de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en el Departamento de Ingeniería Eléctrica en el área de comunicaciones.

**Erica Cecilia Ruiz Ibarra** obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en 1997 y el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones, en CICESE, Ensenada Baja California, México en 2000. Ha realizado diversos proyectos relacionados con sistemas de comunicaciones ópticas así como en el performance de redes de alta velocidad. Actualmente labora como profesor/investigador de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del ITSON.

**Manuel Domitsu Kono** obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico Electricista en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) en 1979 en Guadalajara Jalisco, el grado de Maestro en Ciencias Computacionales, en el ITESM Campus Cd. Obregón en 2001 y el grado de Maestro en Administración en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en 1980. Ha participado en diversos proyectos relacionados con el desarrollo de software para varias empresas, realizó una estancia en la Universidad de Bradford, Inglaterra, como parte del proyecto: Recepción de Imágenes del Satélite Meteorológico GOES. Actualmente labora como profesor/investigador de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del ITSON.

**Ing. Benjamín Moran Medina**, obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica en el ITSON en 2004. Ha trabajado en diversos proyectos relacionados con sistemas de comunicaciones en RF. El presente artículo corresponde a su trabajo de tesis.

# Implementación de un control activo de ruido acústico de baja frecuencia en el DSP TMS320C50, utilizando un filtro adaptable en configuración Feedback

Andrés O. Pizarro, E. Romero Aguirre

**Resumen**—En este artículo se describe a detalle el desarrollo de un sistema de control activo de ruido acústico, usando un filtro digital adaptable en configuración Feedback, basado en el algoritmo de adaptación de mínimos cuadrados (LMS), e implementado en un Módulo para principiantes DSP Starter Kit (DSK) del DSP TMS320C50 de Texas Instruments; con la meta final de eliminar el efecto nocivo del ruido producido por aires acondicionados de ventana en las aulas del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON).

**Palabras clave**— Ruido, control activo de ruido acústico, filtros adaptables, LMS, Feedback, TMS320C50.

## I. INTRODUCCION

El sistema planteado en este artículo surge de la necesidad de contar con un elemento capaz de eliminar el ruido acústico producido por los aires acondicionados de ventana que se encuentran en funcionamiento desde mayo hasta octubre en las aulas del ITSON. Este ruido afecta de manera ostensible la comunicación verbal maestro-alumnos y alumnos-alumnos, lo cual provoca en consecuencia una disminución en la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Dado que el ancho de banda del ruido producido por estos aparatos se encuentra en el rango de 30 a 200 Hz, los medios pasivos que se utilizan comúnmente para adecuar acústicamente un recinto (como cubiertas de absorción) no son aplicables en este caso, ya que su rango de utilización es en frecuencias mayores a 600 Hz.

## II. ANTECEDENTES

El *sonido* es una alteración física en un medio, ya sea líquido, sólido o gaseoso que puede ser detectada por el oído [1].

El sonido se propaga, y se atenúa en magnitud conforme se

aleja de su fuente, debido a que el medio que sirve de medio de propagación, absorbe o disipa parte de la energía del sonido.

El *ruido acústico* se refiere a todo sonido no deseado, también puede definirse como el sonido generalmente de naturaleza aleatoria, cuyo espectro no exhibe componentes de frecuencia con diferencias notables entre ellos [2].

El fenómeno por el cual es posible la cancelación del ruido es la interferencia destructiva de dos o más trenes de ondas que pasan al mismo tiempo por el mismo lugar, un ejemplo de este fenómeno se muestra en la figura 1.

La interferencia destructiva es un fenómeno físico que se da al combinar dos ondas de igual frecuencia y amplitud, pero desfasadas  $180^\circ$  entre sí, de manera que se tengan en la misma zona y en el mismo momento, compresiones y expansiones opuestas. Resultando de esto zonas de equilibrio (en las que no hay cambio de presión), acústicamente denominadas zonas de silencio [3].

Este es el principio de funcionamiento básico del control activo de ruido, donde se controla una fuente de sonido que da el sonido anti-fase de los sonidos no deseados.

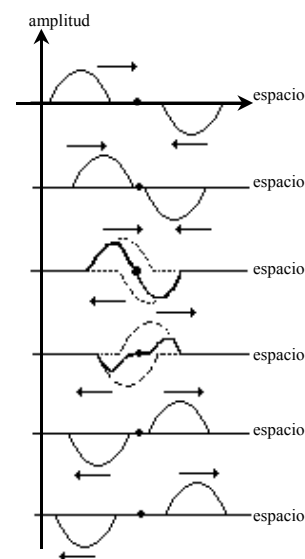


Fig. 1. Interferencia de Ondas.

Manuscrito recibido el 14 de junio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Andrés O. Pizarro L, se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo del dpto. de Ing. Eléctrica del ITSON Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; e-mail: ).

Eduardo Romero A. actualmente esta en Dpto. de Ing. Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora. Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; (e-mail eromero@itson.mx)

La efectividad de la cancelación activa del ruido depende de la correcta combinación entre sus aspectos acústicos y los de control. Dentro de los aspectos acústicos, se consideran:

- Principio de cancelación.
- Cancelación global o local.
- Complejidad espacial del ruido.
- Tipo de ruido.
- Origen del ruido
- Configuración geométrica de las fuentes y sensores.

Se ha determinado que el control activo de ruido acústico resulta más efectivo y funcional para controlar ruido de frecuencias menores a 600 Hz [4,5].

Se consideran como los aspectos de control:

- Diseño de la estrategia de control.
- Elección del algoritmo de control.
- Implementación o hardware del sistema.

El diseño del sistema de control también depende del tipo de ruido a controlar (banda ancha o estrecha); si las características del ruido varían con el tiempo, será necesario utilizar un controlador adaptable capaz de sobreponerse a esos cambios.

Las estructuras de control adaptables se dividen en dos tipos básicos: De configuración Feedforward (control en adelante) y de configuración Feedback (retroalimentados) [5].

En la implementación del control activo de ruido acústico se pueden utilizar cualquiera de los tipos de controladores Feedforward o Feedback, incluso es posible utilizar una combinación de ambos. A continuación se describen los tipos básicos de controladores adaptables desde el punto de vista de su aplicación en el control activo de ruido:

**A. Feedforward**

En esta configuración (figura 2) se utilizan dos micrófonos, uno sirve para monitorear la señal del ruido que se desea controlar y el otro es el micrófono de error, el cual sirve para medir el ruido residual.

La información proporcionada por el micrófono de error actualiza un vector de pesos, coeficientes o tap's, lo que representa un cambio en la función de transferencia del filtro, entonces se procesa la señal proveniente del micrófono monitor con el filtro resultante, y se obtiene así la señal que se enviará a la salida. La figura 3 muestra el diagrama a bloques de la estructura de control tipo Feedforward.

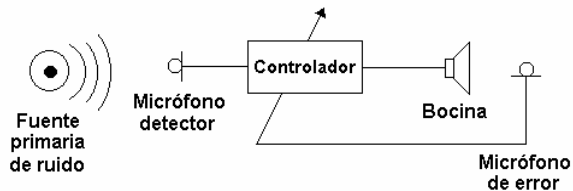


Fig. 2. Configuración Feedforward para control activo de ruido acústico.

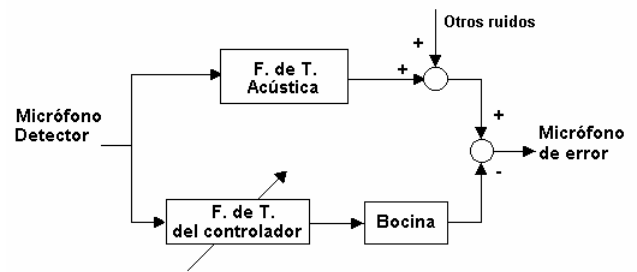


Fig. 3. Estructura Feedforward de control adaptable.

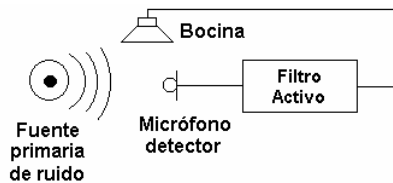


Fig. 4. Configuración Feedback para control activo de ruido.

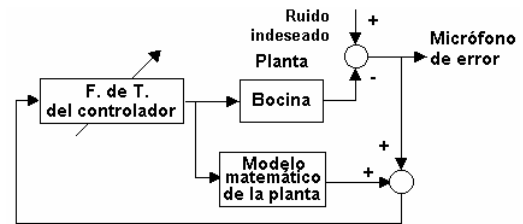


Fig. 5. Estructura Feedback de control adaptable.

**B. Feedback**

En el caso de la configuración Feedback, figuras 4 y 5, el procedimiento es más sencillo, se tiene un micrófono que monitorea el ruido, esta señal se envía directamente a un filtro, que deberá tener una función de transferencia apropiada, de manera que a su salida se tenga la señal de fase contraria de que se aplica a la bocina.

La función de transferencia para el filtro se calcula en referencia a la función de transferencia del medio acústico donde se realizará el control de ruido, es decir, depende del efecto de la bocina y la propagación de la señal sonora en el medio.

**C. Filtros adaptables.**

En general una controlador adaptable se puede ver como un filtro adaptable. Una aproximación usual para el problema de optimizado de filtros es minimizar el valor de la media cuadrática de la señal de error (mínimos cuadrados o *least squares*), que se define a su vez como la diferencia entre alguna respuesta deseada y la salida actual del filtro.

Para entradas estacionarias (estocásticamente hablando), el resultado es conocido comúnmente como el filtro Wiener, del cual se dice que es el óptimo, en el sentido de la media cuadrática [6]. Para operaciones en tiempo real un método más eficiente es usar un *Filtro Adaptable*. El filtro adaptable usa un algoritmo recursivo, el cual hace posible que el filtro tenga un



desempeño satisfactorio en un ambiente donde no están completamente disponibles las características de la señal relevante.

El algoritmo comienza utilizando datos predeterminados como condiciones iniciales. En un ambiente estacionario y después de algunas iteraciones el algoritmo converge a la solución óptima de Wiener en un sentido estadístico[9]. En un ambiente no estacionario, el algoritmo ofrece la capacidad de rastrear variaciones de tiempo en las estadísticas de los datos de entrada, siempre que dichas variaciones sean suficientemente lentas.

Una variedad de algoritmos recursivos se desarrollan en la literatura de filtros adaptables, de los que se menciona el siguiente:.

*D. Estructura y operación del algoritmo LMS*

La operación del algoritmo LMS (*Least Mean Squares*: Mínimos cuadrados) consiste básicamente de la combinación de dos procesos:

- 1- Un *proceso adaptable*, que consiste en el ajuste automático de un conjunto de taps de peso.
- 2- Un *proceso de filtrado*, que produce una estimación de una respuesta deseada, y un error de estimación por la comparación de la primera estimación (salida), con el valor actual de la respuesta deseada (referencia). El error de estimación es utilizado de vuelta para actuar en el proceso de adaptación cerrando el lazo de retroalimentación.

La estructura del algoritmo LMS está formada por dos componentes básicos (figura 6). Un filtro transversal alrededor del cual se construye el algoritmo LMS, y un mecanismo de control adaptable que calcula el valor de los taps de peso del filtro transversal.

El algoritmo LMS está basado en las siguientes relaciones:

1. Salida del filtro:

$$y(n) = \hat{w}^H(n) \cdot u(n) \tag{1}$$

2. Error de estimación:

$$e(n) = d(n) - y(n) \tag{2}$$

3. Adaptación de los taps de peso:

$$\hat{w}(n + 1) = \hat{w}(n) + \mu u(n)e^*(n) \tag{3}$$

El algoritmo descrito por las ecuaciones anteriores, es la forma compleja del algoritmo LMS[8]. Y es un miembro de la familia de algoritmos de gradiente estocástico.

La implementación del filtro adaptable utiliza un Procesador Digital de Señales (DSP-Digital Signal Processor), en el cual se corre un programa con el algoritmo de control. Existen en el mercado DSP's de diferentes marcas, cada uno con ventajas y desventajas; siendo los más comerciales aquellos manufacturados por Texas Instruments (TI).

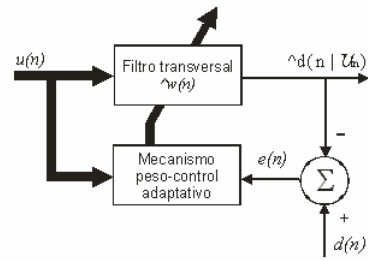


Fig. 6. Diagrama a bloques del filtro LMS adaptable transversal.

III. DESARROLLO

*A. Descripción general del sistema.*

El sistema de control activo de ruido, que se plantea en este trabajo, consiste de 7 etapas básicas. La figura 7 presenta el diagrama a bloques, donde se aprecian cada una de las etapas que lo componen.

La primera etapa consiste en la detección del ruido, para lo cual se utiliza un micrófono del tipo de condensador, la señal proveniente del micrófono se aplica a una etapa de preamplificación y adecuación para lograr que llegue con el nivel de voltaje adecuado a la siguiente etapa. La tercera etapa consiste de la conversión analógica a digital, esta información es tomada por el DSP el cual se encarga de hacer el procesamiento digital de la señal y generar una salida de acuerdo al algoritmo de control. La salida del DSP es convertida de digital a analógica y aplicada a un preamplificador. El amplificador de audio toma la señal del preamplificador y le da la potencia necesaria para excitar la bocina. La bocina de control convierte la señal eléctrica en ondas sonoras.

*B. Sensor*

El sensor utilizado es un micrófono de condensador del tipo para computadora, se analizaron otros tipo de micrófonos como los dinámicos de bobina pero complicaban el diseño del preamplificador de entrada, además su tamaño introduce variaciones en la propagación del sonido. En cambio este pequeño micrófono utilizado resulta fácil de montar, ligero y muy económico, siendo esto último un factor importante.

Especificaciones del micrófono.

- ◆ Patrón de direcciones: Omnidireccional.
- ◆ Impedancia de salida: 1.4Ω± 30 %.
- ◆ Frecuencia de respuesta: 50 ~ 13000 Hz.
- ◆ Sensibilidad: -58dB±3dB (0dB=1V/μBar a 1KHz, RL=1KΩ, Vs=3V, T=20°C).
- ◆ Voltaje de operación: 1V ~ 10V (Voltaje estándar: 3V).
- ◆ Consumo ordinario: 350μA máx.
- ◆ Proporción S/N: 40dB o más
- ◆ Largo del cable: 8 pies.

Conector: Plug de micrófono estéreo de 3.5mm.



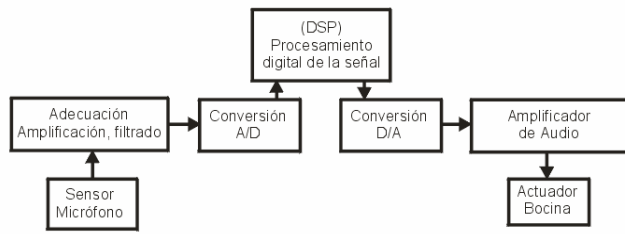


Fig. 7. Diagrama a bloques del sistema de control activo de ruido acústico.

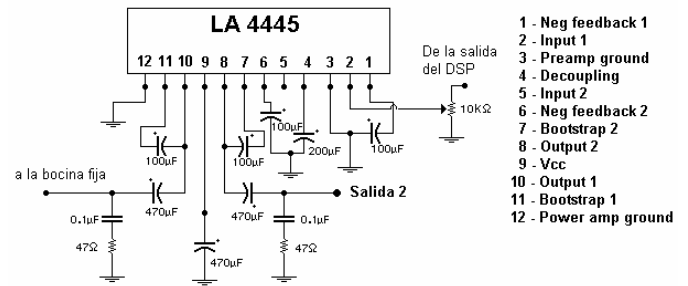


Fig. 9. Diagrama electrónico del amplificador de audio usado.

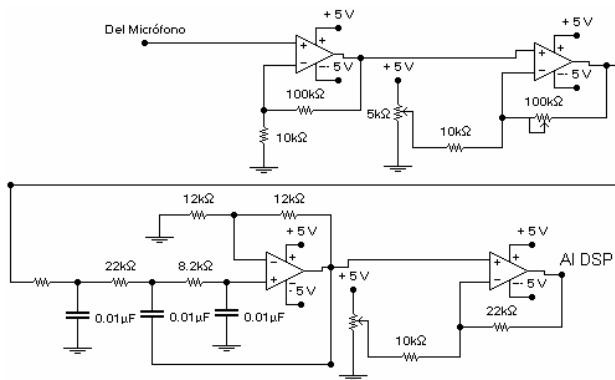


Fig. 8. Diagrama esquemático de la etapa de adecuación para la señal del micrófono.

C. Adecuador.

Para que el DSP pueda utilizar la señal del micrófono, es necesario darle un nivel de voltaje adecuado. Ya que la salida del micrófono es del orden de los 10 a 30 mVpp, es necesario amplificarla para poder excitar el convertidor analógico-digital del DSK. Para no saturar la entrada se debe cuidar que la excursión de la señal no pase del nivel  $V_{dd}+0.3V$  [7]. Como se utiliza una alimentación  $V_{dd} = 5V$ , los Op-Amp's deben manejar 4.5 Vpp. Basado en lo anterior se diseñó el siguiente circuito adecuador, ver figura 8, que consiste de tres amplificadores en configuración no inversor, y con ajuste del nivel de offset, más un filtro pasa bajas de tercer orden, con frecuencia de corte a 1KHz.

D. Actuador (Bocina)

Como fuente secundaria y de control se utiliza una bocina circular con las siguientes especificaciones:

- ◆ Diámetro: 10 cm.
- ◆ Impedancia: 8 Ohms
- ◆ Potencia máxima: 10 W

La selección de la bocina se hizo tomando en cuenta que debe reproducir frecuencias bajas. Se hicieron pruebas con bocinas de menor diámetro y menor potencia, pero se observó que el nivel de voltaje producido en el micrófono para una distancia de 70 cm es muy pequeño y es necesario que los niveles que provoca la fuente primaria sean comparables a los logrados por el conjunto DSP-Amplificador-Bocina. Para mejorar el desempeño de la bocina se colocó en una caja acústica.

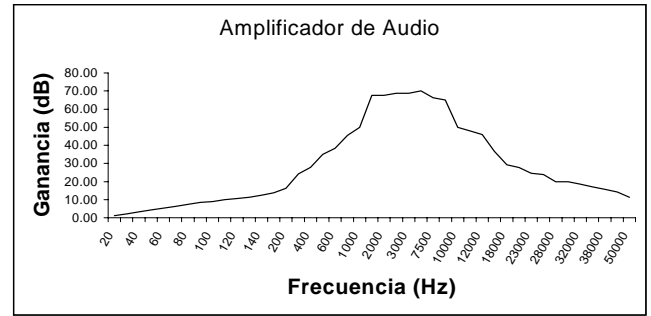


Fig. 10. Respuesta en frecuencia del amplificador de audio.

E. Amplificador de Audio.

Un amplificador de audio es necesario ya que el DAC conectado al DSP, genera una señal de salida de muy poca potencia que es incapaz de excitar la bocina de control. El amplificador de audio, además de darle la potencia necesaria, debe hacerlo sin distorsionar la forma de onda generada por el DSP. Para realizar esta función se utiliza un circuito integrado LA4445 que es económico, fácil de conseguir y se utiliza en una configuración muy sencilla de pocos elementos externos. La figura 9 muestra el diagrama electrónico del amplificador de audio LA4445 utilizado.

La respuesta en frecuencia de este amplificador (obtenida en el laboratorio) se muestra en la figura 10

F. Módulo de desarrollo del DSP TMS320C50.

El procesamiento digital de la señal se realiza con un módulo de desarrollo de Texas Instruments, ver figura 11. Este módulo incluye el DSP. Incluye también la interfaz analógica TLC32040C, que contiene en un solo encapsulado un ADC y un DAC, configurables por software a través de un puerto serie que se conecta al DSP, entre otras características posee una entrada normal y una auxiliar, pero sólo es posible configurarlo para utilizar una entrada a la vez, es decir, dentro del programa principal no es posible cambiar de una entrada a otra.

G. Aproximación Feedback

El diagrama a bloques de la configuración Feedback implementada se presenta en la figura 12, donde se aprecia que la señal tomada por el micrófono pasa a través de un filtro adaptable transversal de respuesta finita al impulso (FIR).

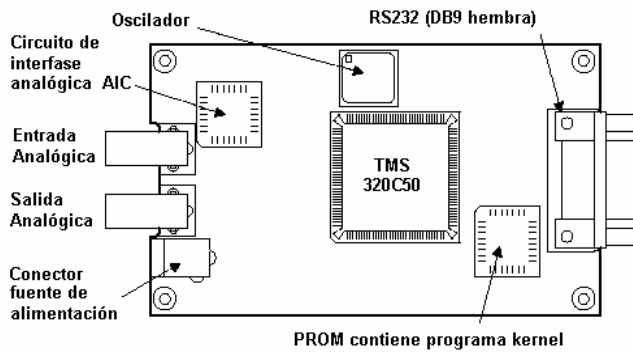


Fig. 11. Principales componentes del módulo de desarrollo para el DSP TMS320C50.

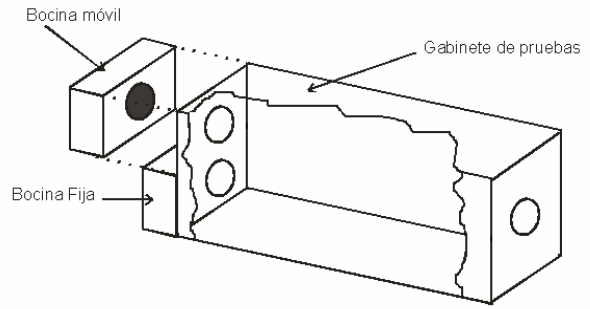


Fig. 14. Gabinete de pruebas acústicas.

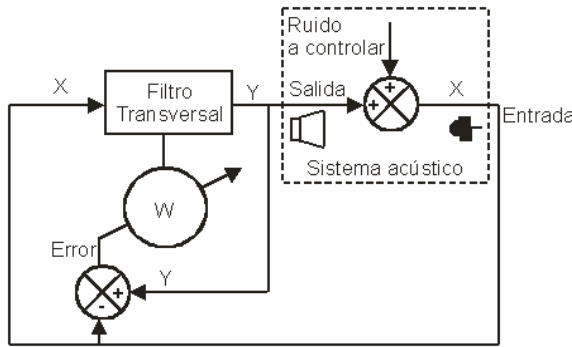


Fig. 12. Diagrama a bloques de la configuración Feedback.

Es notable que en esta configuración el sistema de control desconoce por completo el comportamiento del sistema, es decir, no toma en cuenta ninguna función de transferencia, el algoritmo de mínimos cuadrados (LMS) ajusta los coeficientes del filtro transversal  $W(n)$ , tratando de disminuir el error, logrando así reproducir la forma de onda detectada y enviarla a la salida, pero con signo contrario.

G. Implementación de la aproximación Feedback en el DSP

El diagrama de flujo del algoritmo se muestra en la figura 12.

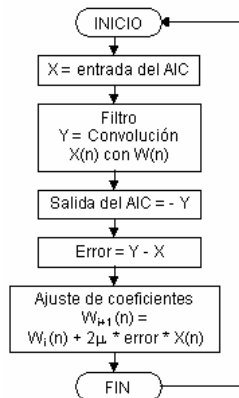


Fig. 13. Diagrama de flujo del algoritmo para la configuración Feedback.

IV. RESULTADOS

Buscando que todas las pruebas se realizaran bajo las mismas condiciones, se construyó un gabinete acústico. Este gabinete construido en madera, tiene una forma rectangular, las dimensiones físicas son: 30 x 40 x 90 cm, cuenta con un par de bocinas montadas en cajas acústicas independientes. Una de las bocinas es fija y está montada a un costado en la parte inferior, la otra bocina es móvil. La figura 14 muestra el detalle del gabinete de pruebas acústicas construido.

El micrófono se introduce dentro del gabinete, también es posible moverlo, buscando realizar pruebas con el micrófono a diferentes distancias de la fuente primaria.

Se documentaron en total un conjunto de 106 pruebas agrupadas en 6 tablas, de acuerdo a la ubicación y orientación que guardaban entre sí la bocina y el micrófono; y el número de taps usados en el filtro adaptable del control. Se midió directamente el nivel de ruido detectado por el micrófono para un conjunto de valores de ruidos tonales (de una sola frecuencia, o de un ancho de banda muy reducido) en el rango de 20 a 600Hz, que es un rango mayor que el ancho de banda de ruido a eliminar; antes y después de poner en funcionamiento el control activo de ruido, y se procedió a calcular los niveles de atenuación presentados. En la columna de observaciones se incluyeron (cuando se consideró importante), algunos de los emitidos por un auditorio de 10 personas (en promedio) acerca del desempeño del control de ruido, basados en su opinión perceptual.

Se hace notar que en algunas de las combinaciones de orientación de bocina y micrófono, el algoritmo tenía un comportamiento inestable, ya que mostraba una salida oscilatoria de magnitud creciente.

A continuación se muestran dos tablas que recopilan algunas de las pruebas más interesantes realizadas al sistema:

V. CONCLUSIONES

Este trabajo representa un primer paso para lograr la meta final de eliminar el ruido de fondo producido por los aires acondicionados de ventana, que afecta la comunicación verbal en los salones de clase.

Con respecto al sistema acústico, micrófono-bocina, se debe considerar que la bocina de control debe lograr los mismos niveles de voltaje en el micrófono, que el ruido no deseado, sin control.

TABLA 1. BOCINA A FAVOR, MICRÓFONO 30CM, 128 TAPS.

Control Activo de Ruido				
Frecuencia (Hz)	Nivel en micrófono S/Control (Vpp)	Nivel en micrófono C/Control (Vpp)	Atenuación (dB)	Observaciones
20	-	-	-	-
30	-	-	-	-
40	-	-	-	-
50	-	-	-	-
60	0.4	0.4	0.00	Distorsion
70	0.8	1.2	3.52	Distorsion
80	0.2	0.2	0.00	Distorsion
90	1.32	1.2	-0.83	
100	0.40	0.40	0.00	
120	0.60	0.40	-3.52	
140	0.60	0.40	-3.52	Distorsion
160	0.80	0.36	-6.94	
180	1.44	0.80	-5.11	
200	1.20	1.20	0.00	
220	0.60	0.80	2.50	
240	-	-	-	Inestable
260	0.20	0.24	1.58	
280	0.28	1.70	15.67	
300	0.24	0.58	7.66	
350	0.12	0.16	2.50	
400	0.24	0.20	-1.58	
450	0.18	0.08	-7.04	
500	0.24	0.20	-1.58	
550	0.16	0.12	-2.50	
600	0.28	0.32	-	

TABLA 2. BOCINA EN CONTRA, MICRÓFONO AL CENTRO, 128 TAPS.

Control Activo de Ruido				
Frecuencia (Hz)	Nivel en micrófono S/Control (Vpp)	Nivel en micrófono C/Control (Vpp)	Atenuación (dB)	Observaciones
20	-	-	-	-
30	-	-	-	-
40	-	-	-	-
50	-	-	-	-
60	0.40	0.40	0.00	
70	0.24	0.24	0.00	
80	0.24	0.24	0.00	
90	0.16	0.16	0.00	
100	0.52	0.52	0.00	
120	0.28	0.24	-1.34	
140	0.72	0.60	-1.58	
160	0.32	0.20	-4.08	
180	1.50	1.50	0.00	
200	1.48	1.40	-0.48	
220	0.72	1.08	3.52	
240	1.70	2.00	1.41	
260	1.20	1.08	-0.92	
280	0.72	0.72	0.00	
300	0.56	0.60	0.60	
350	0.56	0.60	0.60	
400	1.70	1.00	-4.61	
450	0.40	1.00	7.96	
500	0.36	0.40	0.92	
550	0.20	0.20	0.00	
600	0.12	0.16	2.50	

La configuración Feedback, se presenta un retardo de la señal de salida del DSP con respecto a la señal de ruido a controlar, por esto, no se elimina totalmente el ruido.

Con la bocina de control en contra, se logran áreas con una relación de amplitud y frecuencia de la señal de ruido (de menor tamaño) donde se obtiene una disminución casi total del mismo, pero es notable que el tiempo que lleva lograrlo es mucho mayor.

También se colocó un segundo micrófono para observar la zona de silencio formada, para una frecuencia de 166 Hz, cuya longitud de onda es de 1.49 m, calculada para una velocidad del sonido de 248m/s a una temperatura de 27 °C, se realizaron mediciones desde 8 hasta 16 cm en las cuales no se detectó señal (0 mV medidos en el micrófono), por lo que se consideró como zona de silencio. Por lo que la zona de silencio formada alrededor del micrófono de error fue mayor de un décimo de la longitud de onda (14.9 cm) que era el máximo, que de acuerdo a la teoría se podía conseguir con un control activo de ruido[5].

A su vez, para futuros trabajos se recomienda:

Implementar un sistema de control que incluya un arreglo de bocinas y micrófonos que primeramente utilice un algoritmo que realice un control de manera independiente para cada uno de ellos, y posteriormente se realice otro algoritmo de control donde se interrelacionen entre ellos.

Utilizar un filtro IIR en vez de un FIR, en la estructura adaptable.

Utilizar una configuración Feedforward, con la que se pueda eliminar el retardo presentado en la configuración Feedback, y lograr así una eliminación perceptual total del ruido acústico.

REFERENCIAS

[1] L. Rodríguez y H. Vallejo, Curso completo de audio y HI-FI, p. 5  
 [2] C. Harris, Manual de medidas acústicas y control del ruido, p. 1.2  
 [3] A. Efron, El mundo del sonido, Argentina, p. 63  
 [4] J. Atrio, Eliminación activa del ruido en sistemas de aire acondicionado, Internet, [www.tsc.uvigo.es/~jatrio/proyecto.htm](http://www.tsc.uvigo.es/~jatrio/proyecto.htm)  
 [5] P. Cobo P., Control activo de ruido de baja frecuencia en el instituto de acústica del CSIC, España, Internet, <http://www.ia.csic.es/Ambiental/Antirruido/publicacion.htm>  
 [6] Saposhkov, M. A., Electroacústica, España, p.73  
 [7] Texas Instruments, TMS320C5X DSP Starter Kit User's Guide, p. B18  
 [8] Widrow, B., Glover, J. R., Jr., McCool, J. M., Kaunitz, J., Williams, C. S., Hearn, R. H., Zeidler, J. R., Dong, E., and Goodlin, R. C., 1975, Adaptive noise cancelling: Principles and applications: Proc. IEEE, 63, 1692-1716.  
 [9] B. Widrow, E. Walach., Adaptive Inverse Control, Prentice Hall, EUA 1996. Páginas 40 a 45.

**Andrés O. Pizarro L.** (1973). Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Durango, en 1995. Realizó estudios de posgrado en Ingeniería Eléctrica en control en el Instituto Tecnológico de La Laguna de 1995-1997. De enero de 1998 a la fecha se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo del dpto. de Ing. Eléctrica del ITSON. Ha dirigido 15 tesis de licenciatura. Sus áreas de interés incluyen procesamiento digital de señales y la implementación de sistemas de control utilizando DSP's.

**Eduardo Romero A.** (1972). Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica opción Instrumentación en el Instituto Tecnológico de Orizaba en 1995, y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el área de Sistemas Digitales, en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CENIDET de Cuernavaca, Morelos, México en 1999. Ha realizado diversos proyectos relacionados con sistemas de adquisición de datos. Actualmente labora como profesor-investigador de tiempo completo, con perfil PROMEP, en el Dpto. de Ing. Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora.

# Desarrollo de un estudio energético en el sistema de aguas de la empresa CEMONOSA

Francisco G. Valenzuela Cázares, Eduardo Romero A. , Juan José Padilla Ybarra

**Resumen**— El trabajo que se expone tuvo lugar en Cervecería Modelo del Noroeste (CEMONOSA) con la intención de identificar las áreas de oportunidad para el ahorro de energía eléctrica y emprender acciones de control consecuentes. Del estudio energético se desprende como área de oportunidad, el sistema general de aguas, el cual cuenta con aproximadamente el 13% del consumo total de la planta cervecera. Este sistema de aguas comprende la extracción de los mantos subterráneos, las fases de transportación entre etapas y almacenaje, los distintos tratados que recibe dicho líquido dependiendo de la aplicación y su previa recuperación de agua proveniente de distintos procesos en las áreas.

Asimismo después se plantea el objetivo de “disminuir el cobro por concepto de energía eléctrica en el sistema general de aguas, apoyándonos en los resultados del estudio energético”, aplicando técnicas usadas en los proyectos de inversión para validar cada una de las actividades realizadas. En lo que respecta a la implantación de las acciones de control se siguió la filosofía de control distribuido.

**Palabras clave**— Energía eléctrica, control de la demanda, estudio energético, consumo de energía eléctrica.

## I. INTRODUCCION

La energía se utiliza para realizar cualquier actividad o trabajo, ésta puede ser de varios tipos como calorífica, mecánica, hidráulica, eléctrica, entre otras. Si bien es cierto la energía eléctrica es una de las más conocidas en la actualidad, no es difícil poder imaginarse lo que sería del mundo sin ella, ya que gran parte de los satisfactores actuales la requieren.

Es importante mencionar que en los inicios de la energía eléctrica existía abundancia en combustibles, lo cual traía como consecuencia precios bajos en cuestión de generación y por consecuencia precios bajos en el costo de energía eléctrica. Esto alentaba a las grandes ciudades a seguir construyendo industrias y con esto aumentar su demanda

eléctrica y por lo tanto se tenían que construir cada vez más plantas generadoras de energía.

Sin embargo, conforme han ido disminuyendo las reservas de combustibles se ha ido encareciendo la generación y el suministro de energía eléctrica. De tal manera, las grandes industrias a nivel mundial han empezado a prestar atención en el cuidado de la energía eléctrica, siendo su principal motor de cambio la cuestión de facturación en el recibo eléctrico y no el factor ecológico; mismo que se ve grandemente afectado debido a que alrededor del 90% de la producción de energía en el mundo se basa en la combustión de hidrocarburos. De acuerdo a datos de estudios recientes, de continuar con este uso irracional y si para la generación eléctrica se sigue teniendo al petróleo como elemento primario, sólo se podrá cubrir la demanda de los próximos 30 años [1].

En nuestro país la situación es similar, la fuente primaria de generación de energía eléctrica es la quema de hidrocarburos [2]. Asimismo, debido a los pocos recursos invertidos en la generación de energía, no es de extrañar las altas pérdidas que se tiene en la propia generación, las cuales alcanzan valores de aproximadamente 4% (tabla 1), el resto de la generación eléctrica, se utiliza básicamente en el uso residencial e industrial.

Como puede apreciarse en la tabla 1, el consumo residencial contribuye en un 22.7%, a pesar que este tipo de usuarios corresponde a 88.4% del total de usuarios, en contraparte a los clientes industriales, mismos que son el 0.41% de la totalidad de clientes, estos contribuyen con un consumo de casi el 60% del total generado [4].

Queda demostrada la gran presencia que tiene la industria en el consumo total de energía eléctrica, esto debido a la gran cantidad de cargas con las que se cuenta; formadas principalmente por motores eléctricos utilizados para la generación de recursos como el aire comprimido, vapor, compresión de amoníaco para refrigeración, sistemas de enfriamiento, bombeo de agua, etc. Otra proporción aceptable

TABLA 1. USOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO [3].

USO	PORCENTAJE
Generación	3.9%
Residencial	22.7%
Comercial	7.6%
Agropecuario	5.9%
Industria y Minería	59.9%

Manuscrito recibido el 3 de agosto del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Francisco G. Valenzuela Cázares  
email: frankgvc2000@yahoo.com.mx

Eduardo Romero A. actualmente esta en Dpto. de Ing. Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora. Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; (e-mail eromero@itson.mx).

Juan José Padilla Ybarra responsable del programa de maestría en ingeniería en administración de la tecnología 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: jjpadilla@itson.mx.

de consumo eléctrico lo llevan a cabo los equipos electrónicos de control y comunicación. El conjunto de equipos antes mencionados conduce a pagos altos debido a la alta facturación de consumo y también a cobros elevados por demanda máxima.

## II. CONTROL DE LA DEMANDA

La CONAE [4], en la realización de sus estudios ha demostrado que se puede ahorrar sin inversión o bien con inversiones muy rentables, alrededor de 20% en el consumo de combustibles y energía eléctrica de casi cualquier instalación.

Una de las estrategias más recomendables para ahorrar en la facturación de energía con el menor costo es el control de la demanda, la cual consiste en encender la mínima cantidad de cargas posibles en las horas punta, esto con el fin de reducir los cobros por demanda máxima en la facturación de la energía eléctrica. Además también se consigue ahorro en el consumo en horario punta, ya que en este período aumenta hasta tres veces el valor del Kilowatt (kW) con respecto al horario intermedio [5].

A pesar de que el control de la demanda parezca sencillo, se requiere de un gran conocimiento de los distintos procesos y una interacción a fondo con las personas encargadas de los mismos, todo esto con el fin de no afectar en un momento dado la calidad o requerimientos del producto y/o procesos.

La CONAE [6], recomienda los siguientes pasos para controlar la demanda máxima:

- Conocer los horarios punta de acuerdo con la tarifa y región de suministro de energía eléctrica.
- Identificar las cargas eléctricas que operan en período punta y que son posibles de desconectar o trasladar su operación a horarios en donde el costo de energía sea menor que en punta.
- Determinar el tiempo y el horario en que ocurren los picos de demanda.
- Determinar la magnitud de la carga para poder tomar la decisión de restringir o diferir la operación de las cargas.
- Evitar el arranque y la operación simultánea de los motores y otros equipos eléctricos.
- Modificar los turnos de trabajo de tal manera que se utilicen menos equipos eléctricos durante el período punta.
- Emplear equipos de control manual o automáticos que limiten los niveles de demanda eléctrica principalmente en período punta.

El estudio de la energía eléctrica nos permite conocer la naturaleza de la misma, pero en las industrias es necesario la realización de estudios energéticos, con el fin de obtener áreas de oportunidad para el desarrollo de actividades de control.

## III. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS ENERGÉTICOS

La relevancia del estudio energético en las empresas estriba básicamente en dos grandes objetivos: el primero es saber qué

tipo o comportamiento energético se tiene, es decir cuando entran las cargas más fuertes en una empresa y si éstas se presentan en los horarios punta, tratar de desplazar el encendido de las mismas a un horario de menor costo energético. La segunda cuestión y la más importante, es que, como resultado final del estudio se plantean áreas de oportunidad para ahorrar energía eléctrica.

En esta investigación en particular la metodología que se propone, tiene que sustentarse en la estructura seguida en los proyectos de ahorro de energía, misma que contempla implícitamente metodologías básicas en la elaboración de proyectos de inversión, que incluyen planeación, organización, dirección y control. De igual forma debe complementarse con pasos intermedios para llevar a cabo los proyectos de automatización necesarios. Adicionalmente debe de reforzarse con una etapa de estandarización, la cual básicamente contempla la modificación de instructivos, mismos que pueden ser de calidad, ambiental o seguridad industrial.

Debido a lo expuesto en párrafos anteriores, es evidente el gran esfuerzo que debe desarrollarse para realizar un estudio de esta naturaleza, pero por fortuna puede resumirse en los siguientes pasos.

### 1. Planificación del diagnóstico.

Por principios de cuenta se lleva a cabo la elaboración de un plan de actividades o cronograma, en que se definan los tiempos de realización de cada uno de los pasos que a continuación se mencionan. Se consolida el equipo de trabajo por parte de la empresa, la que será responsable de proporcionar los datos que sean requeridos.

### 2. Recopilación y revisión de datos

Es necesario una revisión de los recibos de energía eléctrica de por lo menos un año atrás y poner especial atención en datos como cobro por consumo, cobro por demanda máxima, cobros o bonificaciones por factor de potencia, tipo de tarifa contratada, entre otros. Por otra parte es necesario analizar también los datos de producción de la empresa.

### 3. Complementar trabajo preparatorio.

En esta parte ya se tiene una perspectiva de la empresa en estudio, de igual forma se cuenta con datos históricos suficientes.

### 4. Trabajo de campo y mediciones.

Esta etapa se basa en la realización de entrevistas, inspección de planta, mediciones no solo en el área eléctrica, sino también mecánica, térmica los procesos de distribución y los horarios de operación.

TABLA 2. CONSUMOS POR ÁREA EN CERVECERÍA [7].

Área	Consumo (kWh)
Sala de máquinas	14,783,734
Envasado	7,026,316
<b>Sistema Gral. de aguas (PRAE)</b>	<b>2,567,719</b>
Salas Frías	2,050,462
PTAR	1,683,974
Cocimientos	1,142,267
Oficinas Grales.	357,675
<b>TOTAL</b>	<b>29,612,147</b>

**5. Sistematización y análisis de datos.**

Los datos recopilados en el paso anterior, son analizados basándonos en horarios energéticos, parámetros eléctricos como factor de potencia, factor de carga, etc.

**6.- Identificación y análisis de oportunidades, y medidas de ahorro de energía.**

Se determinan las áreas de oportunidad y el tipo de control que se debe de realizar en cada una de ellas para lograr un ahorro de energía.

**7.- Elaboración de conclusiones con el personal de la empresa.**

Se analizan las áreas detectadas en el paso anterior, así como la acciones mencionadas anteriormente; todo esto con el personal de la empresa asignado que se mencionó anteriormente.

**8.- Elaboración del informe definitivo.**

Una vez estando de acuerdo personal que realiza el estudio y empresa, se lleva a cabo un informe detallado sobre la situación energética presente, identificación y cuantificación de las pérdidas, medidas correctivas propuestas, ahorro de energía y análisis económico.

**IV. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN CEMONOSA**

En la búsqueda constante de un mejor control del consumo y a su vez poder identificar las posibles áreas de oportunidad dentro de CEMONOSA, se llevó a cabo un estudio energético, arrojando los siguientes resultados referentes a consumo de energía eléctrica por áreas en el año de 2003 (Tabla 2).

En la tabla anterior podemos ver que el sistema general de agua (PRAE) se sitúa en tercer lugar en cuestión de consumo eléctrico.

**V. DATOS DE ESTUDIO ENERGÉTICO PARA SISTEMA GENERAL DE AGUA.**

Como se planteó en la sección de “pasos para realizar un estudio energético”, se tienen que analizar cada una de las áreas y determinar la de oportunidad. Una de ellas fue la de sistema de aguas (PRAE), en la que su consumo eléctrico durante el 2003 se comportó de la siguiente manera:

En la gráfica anterior se puede observar claramente la fuerte relación que existe entre el agua extraída de los pozos con el consumo total del sistema general de aguas, ya que al momento de extraer una cierta cantidad de agua, que repercute en el encendido de los equipos de tratado, transportación y por su puesto una parte de la misma es recuperada.

Lo siguiente es analizar los subsistemas del sistema de aguas para identificar en cada uno de ellos con claridad las cargas más representativas, realizando un levantamiento de cargas. Posterior a esto, se elaboran a cabo propuestas de control en relación a estas cargas.

Así, como primera actividad se tomaron algunos de los datos sobre consumos de energía y de agua de extracción, con el fin de conocer más a fondo el sistema de estudio. Posterior a esto se realiza la planeación de las actividades que van a llevar a cabo.

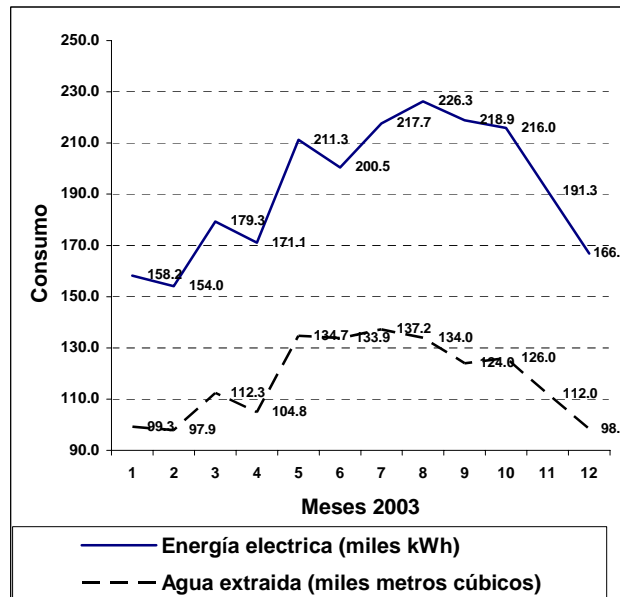


Fig. 1. Relación entre consumo eléctrico y agua extraída en sistema de aguas [7]

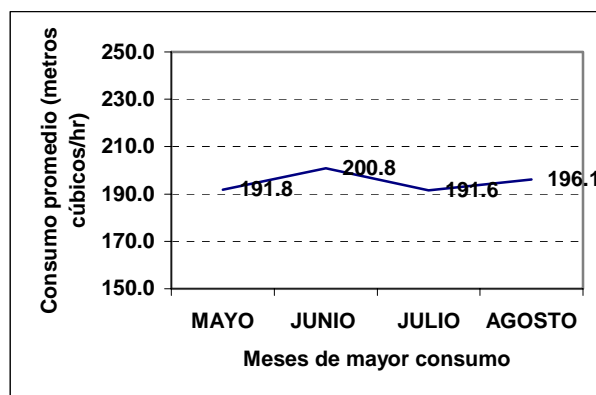


Fig. 2. Gasto promedio de extracción en el subsistema de pozos para los meses de mayor consumo (2003)

El indicador principal del sistema general de agua, como es la cantidad de agua de los distintos tipos por cada kilowatt de energía eléctrica que es consumido, pero para el estudio energético (cuidando seguir los pasos de descritos en la metodología) son necesario los indicadores por subsistemas, mismos que se describen a continuación,

**Subsistema de pozos**

En esta área se cuenta con cuatro pozos para tener un promedio de extracción de los pozos, se analizaron los meses de mayo a agosto del 2003, mismo que es el de mayor consumo por tener mayor producción de cerveza. El resultado fue el comportamiento de la gráfica de la figura 2.

**Subsistema de tanque elevado.**

La cisterna de agua general cuenta con cinco bombas, estas se utilizan para proporcionar agua a la red de tuberías que distribuye agua de servicios y a un tanque elevado, mismo que

cuenta con un arreglo que proporciona agua apoyándose de la gravedad, en caso de no estar encendida ninguna bomba.

#### **Planta de electrodiálisis inversa (PEDR)**

El sistema cuenta con tres plantas de tratado de la marca Ionic's AQUAMITE, de las cuales cada planta cuenta con un procesador lógico programable (PLC), mismo que es el encargado de todas las operaciones de control de la planta, además le proporciona datos de visualización y control al usuario.

A excepción de los voltajes de operación de las etapas, donde el control es totalmente manual, de acuerdo a los voltajes aplicados en cada torre es la cantidad de sales que se remueve del agua tratada. La capacidad de tratado de cada una de las tres plantas es de 48 m<sup>3</sup>/hr y alimentan una cisterna de agua dializada con una capacidad de almacenamiento de 1200 m<sup>3</sup>.

#### **Subsistema tanque elaboración**

Esta área es muy similar a la CAG en cuanto a modo de operación y controles. La cisterna de agua dializada cuenta con cuatro bombas, que se utilizan

para proporcionar agua a un tanque de elaboración mismo que cuenta con un arreglo que proporciona agua apoyándose de la gravedad, en caso de no estar encendida ninguna bomba.

En el área de agua elaboración se unen para este análisis las plantas de tratado con las bombas de envío para tanque elevado. También es representativo en esta sección el consumo de cada una de las tres plantas de tratado si lo vemos como un sólo equipo.

#### **Planta recuperación agua envasado.**

Incluye todos y cada uno de los equipos que demanden energía eléctrica de la planta de recuperación agua envasado (PRAE).

Se determinó que los equipos de mayor consumo en PRAE son las bombas necesarias para transportación entre procesos, seguidas de los ventiladores en torres de enfriamiento.

## VI. ANALISIS Y PROPUESTAS DE ACCIONES DE CONTROL DE LA DEMANDA

Una vez identificados los equipos de mayor consumo en cada una de las áreas se procede a describir las distintas acciones realizadas en cada una de las etapas del proceso general de aguas y las consideraciones previas que llevaron a realizar dichas modificaciones. Las necesidades a resolver para cada una de las etapas, son como ya se ha mencionado el ahorro en el cobro por energía eléctrica, siendo los medios de ahorro la reducción del consumo y el control de la demanda máxima. Para un mejor entendimiento, se desglosarán por cada uno de los subsistemas anteriormente mencionados.

#### **Area de pozos**

De acuerdo al historial en el consumo de agua del 2003, se tiene un gasto promedio de alimentación a cisterna de agua general (CAG) de 183.3 m<sup>3</sup>/hr, pero en los meses de mayor producción (Mayo, Junio, Julio, Agosto), mismos que coinciden con el horario de verano donde se establece el horario punta, el promedio de gasto aumenta a 200 m<sup>3</sup>/hr, por lo que sobre la base de un acuerdo con operación y personal de proyectos se maneja un gasto promedio de 220 m<sup>3</sup>/Hr.

Como ya se ha mencionado la cisterna que alimentan los pozos cuenta con una capacidad de operación de 2300 m<sup>3</sup>, tomando en consideración esto se hizo una corrida de almacenamiento semanal parando todos los pozos en horario punta en dos ocasiones durante la semana, en los demás horarios punta sombreados se puede ver que se considera el encendido de un pozo con el fin de mantener nivel.

Se escoge realizar los cálculos con el pozo 2 como pozo encendido en horario punta ya que tiene un gasto abajo del promedio para el peor de los casos. Además, este pozo en conjunto con el pozo 1 cuentan con un permiso en volumen de extracción mayor y en un momento dado se evitarían problemas de extraer más agua de la establecida en el permiso. En los horarios fuera del punta se consideran encendidos los cuatro pozos con los que se cuenta. Los resultados de la corrida se muestran en la tabla 4.

TABLA 3. CARGAS MÁS REPRESENTATIVAS PARA AGUAS DE SERVICIOS.

EQUIPO	POTENCIA HP	POTENCIA kW	HRS. PROM. SEMANA	kWh TEORICOS	kWh MEDIDOS
Pozo profundo Num.2	60.00	44.76	121.50	5,438.34	
Pozo profundo Num.1	60.00	44.76	108.47	4,854.97	
Pozo profundo Num.4	60.00	44.76	78.10	3,495.76	
Pozo profundo Num.3	60.00	44.76	75.50	3,379.38	
Bomba 3 C.A.G.	30.00	22.38	89.85	2,010.84	
Bomba 4 C.A.G.	30.00	22.38	63.23	1,415.01	
Bomba 2 C.A.G.	15.00	11.19	114.21	1,278.01	
Bomba 5 C.A.G.	30.00	22.38	9.12	204.11	
Destructor de Ozono.	0.50	0.37	148.33	55.33	
Generador de Ozono # 1.	0.33	0.25	46.67	11.59	
Bomba 7 C.A.G.	15.00	11.19	0.73	8.21	
Compresor de Aire.	5.00	3.73	0.00	0.00	
Total				22,151.54	17,853.00







### Área de tanque elevado

Las bombas encargadas de suministrar agua al tanque elevado basan su encendido en el nombramiento de una bomba líder misma que es la primera en arrancar al momento de disminuir el nivel de agua en tanque elevado por debajo de un valor establecido (segunda columna de la tabla 6), en caso de bajar más el nivel por debajo de un segundo valor también definido, se enciende una segunda bomba llamada seguidor 1 y así sucesivamente hasta llegar a seguidor 7.

Debido a que cuenta con un consumo fijo y existen eventos variables que provocan que baje el nivel de tanque elevado de forma acelerada. Estos provocan el encendido de varias bombas de forma casi continua, a consecuencia de los valores tan cercanos entre el encendido de una bomba y otra.

Para evitar este tipo de problemas se propone el encendido de una bomba líder a un valor menor que el actual mismo que sería de 75%, la siguiente bomba (seguidor 1) a encender sería a un nivel de 65 % y así los demás seguidores como se muestra en la tercera columna de la tabla 6.

Una vez que este encendida la bomba líder y una o más de las bombas seguidores; éstas últimas dejaran de funcionar cuando el nivel supere el valor de encendido de bomba líder, es decir, cuando el nivel este por encima de 75%. Así sólo la bomba líder seguirá operando tratando de mantener el nivel de tanque elevado.

En pruebas realizadas, se pudo observar que para bajar un 25% del volumen actual de operación del tanque elevado es necesario que transcurran alrededor de 24 minutos. Lo anterior nos indica que previo un nivel adecuado de tanque (aprox. 75% de capacidad) fácilmente podríamos prescindir de las bombas de CAG por un intervalo de 20 minutos en lo que baja el valor de demanda máxima sin ningún problema ya que nos llevaría a un nivel de 50%. Todo con el fin de evitar un cobro elevado por demanda máxima.

Por otra parte, analizando la parametrización del tanque elevado se puede observar que es posible aumentar la capacidad de almacenamiento del tanque elevado en un 21%, esto elevando el umbral de paro de las bombas a 95 % y a su vez aumentar el nivel de llenado al 100% de 6.0 m. de nivel de agua que tiene actualmente a 7.0 m. Con solo este volumen ganado de 35.75 m<sup>3</sup>, es posible parar las bombas aproximadamente 10.8 minutos en los días con máxima producción (gasto de 200 m<sup>3</sup>/hr).

TABLA 6. VALORES ACTUALES/PROPUESTOS DE ENCENDIDO DE BOMBAS PARA LLENAR TANQUE ELEVADO.

Equipo a encender	Nivel (Actual)	Nivel (Propuesto)
Bomba líder	85%	75%
Bomba Seguidor 1	82%	60%
Bomba Seguidor 2	78%	50%
Bomba Seguidor 3	75%	45%
Bomba Seguidor 4	70%	40%
Bomba Seguidor 5	60%	35%
Bomba Seguidor 6	50%	30%
Bomba Seguidor 7	45%	25%

### Planta de electrodiálisis inversa

Debido a que dichas plantas trabajan en conjunto con cada una de sus cargas y son diseños sumamente probados, la realización de una mejora debe ser muy cuestionable.

De acuerdo al historial en el consumo de agua del 2003, nos da un gasto promedio de extracción a cisterna de agua dializada (CAD) de 91.66 m<sup>3</sup>/hr, pero en los meses de mayor producción (Mayo, Junio, Julio, Agosto), mismos que coinciden con el horario de verano donde se establece el horario punta el promedio de gasto aumenta a 99.0 m<sup>3</sup>/hr, por lo que sobre la base de un acuerdo con operación y personal de proyectos manejar un gasto promedio de 105 m<sup>3</sup>/Hr.

La cisterna de agua dializada cuenta con una capacidad de operación de 1200 m<sup>3</sup>, tomando en consideración esto se hizo una corrida de almacenamiento semanal, tomando las consideraciones que en las corridas anteriores con los pozos. En los horarios punta requeridos se enciende cualquiera de las plantas ya que las tres tienen el mismo gasto. Se considera que fuera de los horario punta las tres plantas se encuentran operando correctamente.

También el día Lunes antes del primer horario punta que es a las 13:00 hrs, se considera que durante el fin de semana se recuperó nivel y la cisterna tiene el 100% de almacenaje, después de las 4.5 hrs. que dura el horario punta no se mantiene ninguna planta encendida y se sale de este horario con un volumen de 727.5 m<sup>3</sup>, posterior a esto son 2.5 hrs. en que se trabajan las 3 plantas para recuperar nivel antes de entrar al segundo horario de energía del día el cual dura 3.5 hrs.

Al salir de este segundo horario de energía en el que se prende una planta para que no baje tanto nivel, así se puede ver el comportamiento durante la semana. Posterior a esto se lleva a cabo una segunda corrida, sólo que esta vez se considera que el apagado de los equipos será de forma automática, motivo por el cual no es necesario apagar los equipos 15 minutos antes por parte de operación, como se hace actualmente de forma precautoria. Si no que el mismo sistema de control los desconectará 5 minutos antes, siempre y cuando las condiciones de operación lo permitan. La conexión de los equipos será 5 minutos después, y no los 15 minutos que se trabajan actualmente al igual que en el proceso de desconexión.

Es notable la mejoría en cuanto a encendido de plantas en horario punta durante la semana, más sin embargo, al igual que el control de los pozos son necesarias ciertas restricciones:

- Que la CAD cuente con al menos 900 m<sup>3</sup> de agua, a la entrada de horario punta de 13:00 a 17:00 y de 800 m<sup>3</sup> en horario de 19:00 a 23:00 hrs, esto cuando se requieran apagar todas las plantas.
- Que se encuentre en modo automático sistema de control de demanda por parte de operación.

### Área de tanque elaboración

Esta etapa es muy similar a la que se tiene en la CAG, solo que aquí se cuenta con solo cuatro bombas. Mismas que proveen agua dializada a un tanque llamado de elaboración con una capacidad de operación de 46 m<sup>3</sup>.

TABLA 7. VALORES ACTUALES/PROPUESTOS DE ENCENDIDO DE BOMBAS PARA LLENAR TANQUE ELABORACIÓN.

Equipo a encender	Nivel (Actual)	Nivel (Propuesto)
Bomba líder	75%	75%
Bomba Seguidor 1	70%	60%
Bomba Seguidor 2	65%	50%
Bomba Seguidor 3	60%	45%

Estas bombas se basan para su encendido en una bomba líder al igual que en CAG, teniendo una rutina de control con una lógica idéntica. Los valores de encendido actuales y propuestos se engloban en la tabla 7.

En este tanque el consumo es muy variado debido a que el principal proveedor es casa de cocimientos, donde se llenan las ollas para preparar el mosto, se vio que el macerador es el equipo que más consume agua en un evento, siendo de aproximadamente 20 m<sup>3</sup>. De acuerdo a lo anterior, se cambio la lógica de control para que la bomba “seguidor 1” arranque por debajo de 60 %, ya que con respecto a la capacidad de operación en almacenaje hay una tolerancia de 27.6 m<sup>3</sup>, lo cual es suficiente para absorber un evento como el de macerador y con esto tratar de mantener encendida solo una bomba con el fin de evitar encendidos de bombas por tener valores de encendido muy próximos entre si.

**Planta recuperación agua envasado**

Como parte de las modificaciones en esta sección se comprende la automatización de las torres de enfriamiento basándonos en la temperatura del agua de salida, esto se llevará a cabo mediante la instalación de dos elementos sensores de temperatura de tipo RTD, uno para cada de las torres de enfriamiento. Dependiendo de los valores de temperatura para apagado y encendido de los ventiladores definidos en la computadora que se encuentra en la oficina de este proceso. De tal forma que las temperaturas serán definidas por el usuario.

Así, se espera que al momento de bajar la temperatura por un cierto tiempo de un valor definido por operación, el sistema apague el ventilador correspondiente y con esto tener un ahorro en el consumo de energía eléctrica. Por otra parte, el sistema contará con alarmas de tipo visual en computadora en caso de que temperatura exceda de un valor establecido.

Otra de las acciones de control involucran la cisterna de agua filtrada, donde se utilizan bombas para el envío de agua hacia lavadoras de envasado, allí mismo se cuenta con una bomba de 40 HP de capacidad, la cual es utilizada la mayoría del tiempo. Dicha bomba debe mantener una presión en la línea de agua de alrededor de 70 libras, para tener controlada la presión se cuenta con una válvula de desfogue de agua hacia la misma cisterna; revisando los gráficos de historiales se puede observar que la válvula reguladora en la mayoría del tiempo se encuentra abierta al 100 %, además que en ocasiones comenta operación se tiene que ayudar abriendo una válvula de “bypass” manual con la que se cuenta. Por lo que en esta etapa se instalará un variador de frecuencia con el fin de regular el motor y no estar bombeando agua que al final se regresa a la misma cisterna al cuando se encuentra la reguladora abierta completamente. Al tener el variador, este disminuirá sus

revoluciones al aumentar la presión del sistema y a su vez aumentará las revoluciones al disminuir dicha presión.

VII. RESULTADOS

Una evaluación de los resultados obtenidos se expone a continuación, analizando el comportamiento total del sistema de general de aguas basándonos en la cuestión energética. Bajo ese contexto, la figura 3 muestra el comportamiento de la demanda en el sistema de aguas antes y después del estudio energético. También es posible apreciar como el consumo de energía eléctrica en el sistema aumenta en los horarios intermedios y disminuye en los horarios punta, lo cual se refleja en ahorro en cobro de energía eléctrica, ya que como se ha mencionado el costo de ésta en horario punta es hasta tres veces mas el costo en horario intermedio. De igual forma se tiene un ahorro considerable en cuestión de cobro por demanda máxima en horario punta. Donde una disminución en la carga total de la planta de 100 HP repercute aproximadamente un ahorro de \$50,000 pesos en el periodo de verano.

Para analizar el ahorro económico en el sistema de aguas en forma global, nos vamos a basar en el desglose de aportaciones de la tabla 8, donde además se visualiza la aportación promedio de cada área de oportunidad, tanto para demanda máxima, como la energía eléctrica que es consumida fuera de horario punta.

Así, considerando un disminución de 162.34 kWh de nuestra demanda eléctrica máxima, tenemos un ahorro en cobro por demanda máxima calculado de \$21,495.30 para el mes de Junio 2004. Para el caso de energía eléctrica consumida en el mes fuera de horario punta se tiene un ahorro de \$22,040.83 para el mismo mes. Teniendo en cuenta que el sistema general de aguas en el mes de Junio tuvo un cobro por energía eléctrica de \$221,695.57 y siendo la suma de los ahorros anteriores igual a \$43,536.13 pesos. Lo cual, viene a representar un ahorro porcentual del 19.64% en el cobro por energía eléctrica en el mes de Junio de 2004.

En lo que respecta a eficiencia, el consumo eléctrico representa un 13.66% del total de gastos para el sistema general de aguas. La eficiencia se ve mejorada con estas acciones de control en un 2.68 % total como sistema de aguas. Que por los volúmenes de agua tratados impacta en una mejoría considerable en los indicadores departamentales.

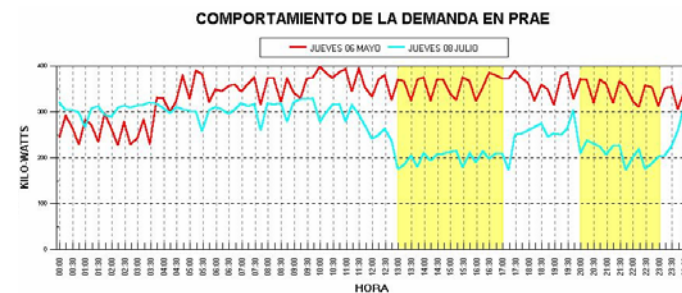


Fig. 3. Comparativo consumo antes y después de implantación de control (JUNIO 2004).

TABLA 8. APORTACIÓN POR AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR ÁREAS.

Área	Aportación (HP horario punta)	Aportación (kW horario punta)	Energía consumida fuera de punta. (kWh)	Observaciones (Equipos que paran)
Pozos	120.00	89.52	12532.80	2 pozos fuera.
CAG	30.00	22.38	3133.20	1 bomba promedio.
PEDR	47.61	35.52	4972.39	1 planta fuera.
CAD	15.00	11.19	1566.60	1 bomba promedio.
PRAE	5.00	3.73	522.20	Abanicos de torres.
<b>TOTAL</b>	<b>217.61</b>	<b>162.34</b>	<b>22727.19</b>	

Por último, al evaluar el tiempo dedicado por operación a realizar los recorridos por los distintos procesos, ya que gracias a la infraestructura de red establecida se pudieron concentrar los datos de equipos remotos en una computadora central. Se puede mencionar que antes se llevaban a cabo aproximadamente cuatro recorridos por turno para el levantamiento de variables y revisión de estado de los equipos con una duración de aproximadamente 15 minutos. El nuevo sistema les permite la visualización en pantalla de estos datos trayendo consigo un ahorro en dos de los recorridos por campo, con una disminución total de veinte minutos en promedio de lo habitual. Esto representa un ahorro en cuestión de tiempo del 33.33 % el cual podrían utilizar para adentrarse más en el funcionamiento de sus equipos y poder proponer mejoras a los mismos.

## VIII. CONCLUSIONES

En esta investigación se planteó una metodología genérica para elaborar estudios energéticos basada en la estructura seguida en los proyectos de ahorro de energía: como se pudo notar a lo largo de este artículo, se contemplan implícitamente técnicas empleadas en proyectos de inversión, que incluyen planeación, organización, dirección y control.

Esta metodología de estudios de energía eléctrica se complementó con pasos intermedios para llevar a cabo acciones de automatización con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica.

Es bien sabido que es imposible controlar algo si no se es medido, debido a esto, la base de los estudios energéticos está en la medición y análisis del comportamiento en el consumo energético de la planta en cuestión. Es muy notorio, de acuerdo a los resultados la efectividad de los estudios energéticos. Ya que nos ayudan a detectar las áreas de oportunidad y poder enfocarnos a las mismas.

Una vez detectadas las áreas de oportunidad, en la mayoría de ellas es posible la implantación de un control de demanda máxima, en el cual se busque encender el mayor número de cargas fuera del horario punta y con esto, encender el menor número de cargas dentro del mismo, con esto no sólo genera ahorro por cobro de demanda máxima en horario punta, sino que como ya se mencionó el costo de la energía eléctrica en este horario es tres veces mayor.

La propia integración de equipos de control deja abierta la posibilidad para proyectos futuros que aumentarían más la productividad al poder concentrar datos operativos (no sólo energéticos), es decir, gracias a la infraestructura establecida es posible concentrar en una sola unidad de monitoreo y control todo el sistema de aguas y desde allí obtener datos de estos, con ello el personal de operación se evita algunos recorridos por los distintos procesos, utilizando este tiempo en otras actividades propias del sistema.

Al aplicar la metodología en el sistema de aguas de la empresa cervecera, pudo apreciarse que el desarrollo del trabajo se enfocó en la integración de los distintos procesos del sistema general de aguas. Gracias a esto se logró una mayor eficiencia en la adecuación de agua y además, un ahorro considerable en el consumo de energía eléctrica.

## REFERENCIAS

- [1] Jiménez, B. 2002. Contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Segunda edición. Editorial LIMUSA, S.A. de C.V. México, D.F. pp 33-39, 63-612.
  - [2] Anónimo. (2002). Secretaría de energía. Energía en México. ([http://www.cna.gob.mx/publicaciones/estadisticas03/2\\_Usos\\_agua\\_infraestructura.pdf](http://www.cna.gob.mx/publicaciones/estadisticas03/2_Usos_agua_infraestructura.pdf)).
  - [3] Anónimo. (1997). Comisión federal de electricidad. Energía en México. ([http://www.conae.gob.mx/work/secciones/1357/imagenes/Informacion\\_control\\_demanda.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/secciones/1357/imagenes/Informacion_control_demanda.pdf)).
  - [4] Comisión nacional para el ahorro de energía (1997). Control de la demanda eléctrica. ([http://www.conae.gob.mx/work/secciones/1357/imagenes/Informacion\\_control\\_demanda.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/secciones/1357/imagenes/Informacion_control_demanda.pdf)).
  - [5] Anónimo. (2004). Comisión federal de electricidad. Precios de las tarifas eléctricas.
  - [6] Comisión nacional para el ahorro de energía (2003b). Recomendaciones para controlar la energía eléctrica.
- Grupo de trabajo "Energía". (2003). Diagnóstico energético en Cervecería Modelo del Noroeste, S.A. de C.V.

**Francisco G. Valenzuela Cázares** candidato al grado de Maestro en Ingeniería en Tecnología Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Sonora. Ha tomado cursos de automatización, redes de PLC, ISO 9000 e ISO 14000. Actualmente labora como supervisor en Cervecería Modelo del Noroeste, donde ha participado en diversos proyectos de automatización, control distribuido y de ahorro de energía.

**Eduardo Romero Aguirre** obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica opción Instrumentación en el Instituto Tecnológico de Orizaba en 1995 y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el área de Sistemas

Digitales, en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CENIDET de Cuernavaca, Morelos, México en 1999. Ha realizado diversos proyectos relacionados con sistemas de adquisición de datos. Actualmente labora como profesor/investigador de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Sonora y es profesor con perfil PROMEP.

**Juan José Padilla Ybarra**, Investigador Nivel I – SNI. Egresó del Instituto Tecnológico de Sonora en 1991 como Ingeniero Electrónico, en 1995 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Bioelectrónica en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. En 1999 obtuvo el grado de Doctor del INPL con especialidad en Automatización y Procesamiento Digital de Señales en el Instituto Politécnico Nacional de Lorena, Francia. 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.

# Diseño e Implementación de un sistema de transmisión de video remoto a través del protocolo TCP/IP

Erica Ruiz Ibarra, Armando García Berumen, Manuel Domitsu Kono y Alejandro Hernández L.

**Resumen**— En este trabajo se describe el proyecto desarrollado en ITSON que consiste en controlar una videocámara desde un punto remoto a través del protocolo TCP/IP, utilizando la plataforma Windows Media Server y una interfaz gráfica desarrollada en Visual Basic, que permite controlar la posición de la cámara desde la terminal cliente.

Primeramente se describe la tecnología de servidores del tipo streaming media y se analiza el funcionamiento de Windows Media así como las aplicaciones que ofrece para las etapas de streaming. Enseguida se detallan cada una de las etapas que conforman el proyecto y finalmente se presentan los resultados obtenidos en cuanto a velocidad de respuesta, desempeño de la tarjeta de red y rendimiento del CPU.

**Palabras clave**— Video sobre http, vigilancia remota.

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las tendencias actuales en la construcción y actualización de sitios Web, es el empleo de multimedia para hacer estos sitios más dinámicos y entretenidos. Streaming media es un concepto que hace referencia a material de audio y/o vídeo comprimido para poder ser visualizado en tiempo real a través de Internet. Esto significa que el material se puede ver inmediatamente, sin necesidad de descargar primero todo el clip. Dentro de la tecnología streaming, existen dos tipos básicos de difusión de contenidos: unicast y multicast. [2]

El empleo de unicast implica que el servidor streaming envía una copia distinta del contenido a cada uno de los

clientes que la solicitan. La ventaja principal de este método es que puede soportar controles de contenidos como una VCR (congelar la imagen, adelantar, retrasar, detener, etc.). Sin embargo, la gran desventaja es el consumo del ancho de banda, ya que al hacer una conexión dedicada con cada uno de los clientes, el ancho de banda, se incrementa considerablemente, si se compara con el uso de multicast. Por su parte, multicast, requiere de una mayor configuración de los equipos de red, además su difusión en la red debe ser programada de tal manera que los usuarios conozcan el momento en el que se inicia la difusión, de manera similar a la difusión en la TV comercial. [1]

El proceso de streaming consta de tres pasos principales: creación, distribución y reproducción. El proceso de la creación corre a cargo de los codificadores, que se encargan de adaptar las fuentes de contenido multimedia (ya sean en tiempo real o almacenadas) para su difusión a través de un servidor streaming y su formato depende de la plataforma que se esté utilizando. La difusión se hace con los servidores especializados en streaming media, como Windows Media Server o RealSystem Server, los cuales se encargan de administrar los contenidos y enviarlos a los clientes que los solicitan, es decir, controlan el ancho de banda, el número de clientes con acceso y hacen un uso más eficiente de la red, ya que ajusta la calidad del contenido que se está transmitiendo, en base a disponibilidad de la red [3].

Uno de los aspectos importantes dentro de este tipo de servicio, es la calidad de los contenidos, la cual está directamente relacionado con el ancho de banda disponible. En el caso de una institución cuyo propósito sea ofrecer el servicio para su red interna, es posible manejar una calidad aceptable (contenidos con compresión mayor a 100 Kbps), sin embargo, cuando se desea ofrecer los contenidos a través de Internet, es importante contemplar una ampliación en el ancho de banda en proporción al número de clientes que se tengan provistos para que puedan acceder a estos servicios.

## II. FUNCIONAMIENTO DE WINDOWS MEDIA

Dentro de esta plataforma, como se mencionó anteriormente, se ofrecen aplicaciones para cada una de las etapas del proceso de streaming (creación, distribución y reproducción). Para la creación, se cuenta con Windows

Manuscrito recibido el 3 de agosto del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Erica Ruiz I., Actualmente labora como profesora/investigadora de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del ITSON 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 er Ruiz@itson.mx).

Armando García B, Actualmente se encuentra en el Departamento de Ingeniería Eléctrica 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).

Manuel Domitsu K., esta 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).

Media Encoder, que realiza la codificación y formateo de contenidos, por su parte, Microsoft Producer, permite a los creadores de contenidos capturar, sincronizar y publicar audio, video, diapositivas, HTML e imágenes, creando presentaciones multimedia con resultados profesionales, las cuales pueden ser vistas bajo demanda. Por último se incluye AIST MovieXone, la cual es una herramienta muy eficiente dirigida a la producción digital de video en PC [4].

La distribución de los contenidos, se hace por medio de Windows Media Server, el cual emplea un administrador especializado con una interfaz muy amigable, que permite configurar un gran número de parámetros del servidor.

La última etapa, la reproducción, se hace con una popular aplicación que se incluye en los sistemas operativos de Microsoft, y que es muy fácil de usar, Microsoft Windows Media Player, el cual, en sus versiones más recientes, incluye un gran número de funciones, entre las que se cuentan las de reproductor de CD's, reproductor de MP3's, convertidor de CD's de audio a formato WMA, entre otros [5].

Windows Media utiliza un protocolo de nivel de aplicación denominado Microsoft Media Server (MMS) para enviar archivos ASF (Formato de Secuencias Avanzado), WMA y WMV por Internet e Intranets. Una dirección URL que señale un archivo ASF de transmisión incluye MMS como protocolo. El protocolo MMS busca automáticamente el transporte óptimo para transmitir multimedia, en el siguiente orden:

- UDP
- TCP
- HTTP

UDP es un protocolo de nivel de transporte sin conexión que resulta adecuado para multimedia en tiempo real debido a que no garantiza la entrega. Aunque pueda parecer un inconveniente en lugar de una ventaja, es una característica especialmente adecuada para transmitir multimedia. A diferencia de datos como archivos o correo electrónico, que se deben entregar por completo sin importar cuánto dure la transmisión, el valor de transmitir datos multimedia está limitado por el tiempo. Si se pierde un cuadro de vídeo, no tiene sentido incluirlo después. Volverlo a transmitir significa desperdiciar el ancho de banda. El inconveniente de UDP es que puede que no sea capaz de pasar por el servidor de seguridad de una organización, por lo que no se podría acceder a los contenidos si el usuario de la organización se encuentra en esta situación [6].

La siguiente opción, TCP, es el protocolo de transporte predominante en Internet. El inconveniente de TCP es que intentará volver a transmitir los datos y que tampoco puede pasar por el servidor de seguridad de una organización.

La última opción es HTTP. Aunque se trata de un protocolo de nivel de aplicación en vez de un protocolo de nivel de transporte y que no está diseñado para transmitir multimedia, HTTP puede pasar por servidores de seguridad. Cualquier usuario que pueda explorar el Web, puede recibir archivos mediante HTTP [6].

### III. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Antes de decidirse por un servidor especializado en streaming media, es necesario conocer qué es lo que se quiere lograr y cuáles son las necesidades, ya que se pueden obtener resultados aceptables sin la necesidad de instalar un servidor especializado. El uso de un servidor Web podría ser una alternativa viable para empresas que requieren un uso ocasional de este servicio y cuyo número de accesos es relativamente bajo, y que además sus necesidades no incluyan la difusión de contenidos en tiempo real.

El equipo propuesto para la instalación del sistema está dividido en dos partes: codificador y servidor. El codificador se encarga de la captura de videos procedentes de fuentes analógicas externas, como cámaras de video y videocasetes, para ser almacenados directamente en el disco duro del servidor y/o ser transmitidos simultáneamente al servidor de Windows Media, para su difusión a la red en tiempo real. También realiza la conversión de contenidos digitales (por ejemplo: .AVI o .MPG), es decir, convierte la información al formato utilizado por el servidor de Windows Media para su difusión en secuencias a través de una red de computadoras. Los dispositivos de entrada como la tarjeta de captura de video y sonido son los componentes más importantes del codificador ya que están directamente relacionados con la calidad de los contenidos multimedia que serán digitalizados, para posteriormente, ponerlos a disposición de los usuarios de la red a través del servidor streaming. Por su parte, el servidor de Windows Media se encarga de manejar las solicitudes de contenidos hechas por los usuarios.

En este caso, el proyecto consta básicamente de tres terminales: cliente, servidor de streaming media y servidor de aplicación, apoyado en el modelo de Windows Media Services, mostrado en la

Fig. 1. La terminal servidor de aplicación se encuentra conectada la videocámara y un motor a pasos a través del puerto paralelo, la cual, captura el video y lo envía al servidor de streaming media, que recibe las tramas de video y las envía a la computadora cliente para ser visualizadas por el programa desarrollado en Visual Basic, a través del cual controla el movimiento de la cámara.

Para lograr gobernar una máquina desde un punto remoto es necesario configurar una computadora como cliente, la cual transmite las instrucciones de movimiento a la cámara y además programar la máquina servidor cuya función es controlar el movimiento de la cámara.

En el diseño de este proyecto se contempla que la cámara se instalará en el servidor de aplicación para que las escenas de video que captura la cámara se transmitan a una estación remota para su visualización (cliente). Para que el servidor de aplicación transmita vídeo con la tecnología de Windows Media Services, es necesario que el video esté en forma digital y para hacer esto, se instala una tarjeta de captura e vídeo de la marca *Avermedia* que se encarga de convertir el

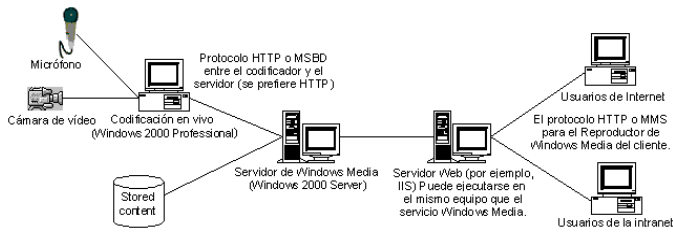


Fig. 1. Modelo de Windows Media Services.

video analógico de salida de la cámara a su formato digital. Después, mediante la aplicación del Windows Media Encoder, que pertenece a la familia Microsoft® Windows Media™ Technologies, la señal de vídeo proveniente de la cámara, se comprime y se codifica para transmitir las secuencias de video (Streaming Media) al servidor Streaming que se encuentra en la misma red.

Para fines de investigación y por limitantes económicas, se implementó un prototipo, para realizar pruebas de funcionamiento al servidor, el cual realiza las tareas de codificador y servidor a la vez, con las siguientes características:

- Procesador Intel Pentium III de 500 MHz
- 256 MB de memoria RAM
- 15 GB de almacenamiento en disco duro
- Tarjeta de red Realtek 10 Mb

#### A. Configuración De La Terminal Cliente

La característica principal de cualquier terminal cliente es la solicitud de un servicio. Dentro de las funciones que hace el host cliente se encuentran las siguientes:

- Solicitar la conexión al servidor.
- Esperar la respuesta de conexión del servidor
- Transmitir la posición de la cámara deseada por el cliente.
- Transmitir la solicitud de streaming media
- Desplegar el video que está capturando la cámara.

Atendiendo a las funciones que realiza la terminal cliente, el programa primeramente solicita la conexión al servidor, para ello es necesario proporcionar la dirección IP del servidor y especificar el puerto del protocolo TCP/IP por donde se transmiten y reciben los datos tanto de la terminal cliente y el servidor. Una vez llevado con éxito la petición de conexión al servidor, se envía la solicitud de servicio al servidor para mover la videocámara.

El programa desarrollado para la terminal cliente está dividido en la parte gráfica del programa, denominado formulario, y en su código de programación, que a su vez contiene grupos de instrucciones llamados eventos. A continuación se presenta el formulario principal del programa y se da una breve explicación de los controles que están involucrados en el mismo.

La fig. 2 muestra el formulario o interfaz gráfica de la terminal cliente, el cual contiene un diagrama de coordenadas y un cuadro de posición que especifica de una manera gráfica y numérica la posición actual de la cámara; una ventana de

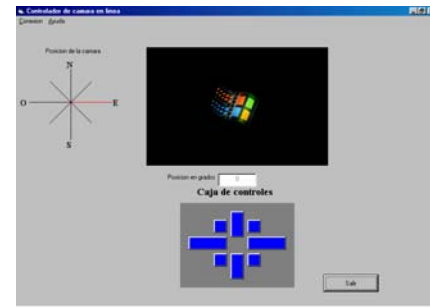


Fig. 2. Formulario del programa de la terminal cliente.

Windows Media para desplegar el vídeo capturado por ésta; una caja de controles, con botones distribuidos de acuerdo a los ejes cardinales, los cuales sirven para definir la posición a la que se desea mover la cámara; un botón para salir de la aplicación y una barra de menús: "Ayuda" y "Conexión". El menú "Ayuda", proporciona una breve descripción del funcionamiento de dicho software. Por su parte el menú "Conexión", está compuesto por dos opciones: "conectar" y "desconectar". La opción conectar al seleccionarla despliega otro formulario donde se introducen los datos de dirección IP del servidor de aplicación, así como los puertos de la máquina cliente y de la máquina servidor que permiten llevar la conexión con el servidor. La segunda opción desconexión permite finalizar la conexión con el servidor.

#### B. Configuración Del Servidor

La característica principal de un servidor, es estar alerta a las peticiones de conexión de los clientes [1]. En esta aplicación el servicio requerido es mover el motor de la cámara que se encuentra en el servidor. Por lo tanto las funciones que realiza el servidor en este proyecto son:

- Escuchar la petición de conexión del cliente.
- Posicionar la cámara en el ángulo deseado por el cliente.
- Capturar el video.
- Comprimir el video
- Enviar el video comprimido al servidor de Streaming media.

Para llevar a cabo la transmisión de video, las salidas de video de la cámara se conectan a las entradas de video de la tarjeta adquisitoras de video del servidor. Por otra parte, para realizar el movimiento de la cámara se utiliza un motor a pasos unipolar que aplica movimiento al soporte de la cámara.

Como se menciona anteriormente, el lenguaje utilizado para configurar el servidor fue el Visual Basic. El funcionamiento del programa consiste en recibir por un puerto de comunicación TCP/IP la posición deseada de la cámara, para ello es necesario que la terminal cliente sea configurado con el mismo puerto del servidor, de lo contrario la comunicación no tendrá éxito. Después de establecer la conexión con el cliente, el servidor estará preparado para recibir peticiones de servicio. Cuando el usuario en la terminal cliente presiona un botón de la caja de controles enviará el número del botón presionado





Fig. 3. Formulario del servidor.

por el usuario, los cuales representan órdenes al servidor de que tiene que mover la videocámara, para esto el programa del servidor guarda en una variable la posición del último botón que fue presionado y a partir de ahí calcula cuantos grados se quiere mover la videocámara y obtiene los corrimientos de bits que se mandarán al puerto del servidor de aplicación. Una vez que el servidor sabe que le están dando órdenes de servicio realiza los corrimientos y mientras estos ocurren, el cliente no puede enviar peticiones de servicio al servidor porque ocasionaría que la videocámara perdiera la ubicación. Una vez que el servidor termina de dar servicio, envía una señal por TCP/IP al cliente de que ya atendió el servicio solicitado para que pueda habilitar nuevamente los controles de la interfaz de usuario del programa del host cliente. En la Fig. 3 se muestra el formulario del programa.

#### IV. RESULTADOS

Se realizaron diferentes pruebas al sistema con la finalidad de asegurar el buen funcionamiento y rendimiento del sistema. Para ello, se evaluaron aspectos como: la velocidad de respuesta del disco duro, el desempeño de la tarjeta de red, así como el rendimiento de la CPU.

La prueba consistió en la simulación de un número variable de peticiones de servicio al servidor, que van desde menos de cinco, hasta un poco más de 500 conexiones al servidor, para los cuales se emplean contenidos multimedia de distintas calidades y velocidades, con el fin de observar la capacidad de la red y los límites de la misma.

Para realizar las simulaciones se utilizó Microsoft Windows Media Load Simulator, el cual simula la conexión de cientos de reproductores de Windows Media recibiendo contenidos del servidor de Windows Media.

Cuando el programa inicia la simulación, se despliegan los contadores de desempeño de la interfaz del Load Simulator, los cuales muestran información en tiempo real sobre el nombre y tipo de clientes conectados, la cantidad de datos recibidos y los errores de conexión. Se pueden obtener más datos en tiempo real haciendo uso de Windows Media Performance Monitor, que despliega información sobre el estado actual del sistema, como el número de streams activos, el número de lecturas tardías en el disco duro por segundo, y el

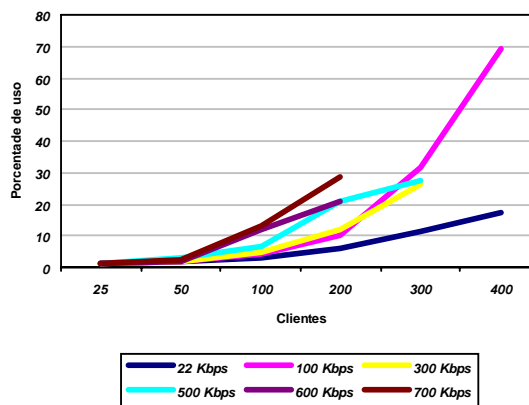


Fig. 4. Porcentaje de uso del CPU bajo distintas condiciones de compresión y demanda.

porcentaje de uso de la CPU del servidor que está en uso. También, es posible observar, en tiempo real, el estado de los clientes conectados al servidor, haciendo uso del Monitor Server, dentro del Windows Media Administrator, en el cual se concentran todos los elementos de configuración del servidor, como lo son qué tipo de clientes tienen derecho de acceso, el ancho de banda máximo para el uso del servidor, las velocidades de compresión de los contenidos, etc.

La simulación se realizó con el empleo de un mismo contenido, pero con diferentes velocidades de compresión (22 Kbps, 100 Kbps, 300 Kbps, 500 Kbps, 600 Kbps y 700 Kbps).

Uno de los factores más importantes que fueron observados durante la simulación, fue el uso del procesador, ya que, jugó un papel importante en el buen desempeño del servidor. A continuación se muestran resultados gráficos que muestran el comportamiento de los parámetros más importantes del servidor de Windows Media, como lo son el uso de la CPU, las lecturas tardías y las conexiones pendientes, sometidas ante distintas velocidades en la compresión de los contenidos, así como en distintos números de usuarios conectados.

En la

Fig. 4, se aprecia un incremento considerable en el porcentaje de uso del CPU a partir de los 50 y 100 usuarios sobre todo a velocidades a partir de los 500 Kbps, por su parte, a una velocidad de 100 Kbps se observa un 70% de uso del CPU para 400 usuarios simultáneos. Por la capacidad limitada en el equipo utilizado en la pruebas, no es posible medir el desempeño del CPU con más de 200 usuarios simultáneos a 600 y 700 Kbps.

Como se aprecia en la figura 5, en la mayoría de los contenidos, esta variable no fue un problema, ya que sólo se presentó (en algunos) cuando el número de clientes conectados era razonablemente alto, por lo que se puede considerar aceptable la velocidad del disco duro, factor determinante para la existencia de este problema. Cabe mencionar que si se desea incrementar la capacidad del servidor en cuanto al número de clientes, es necesario incrementar la velocidad del disco duro.



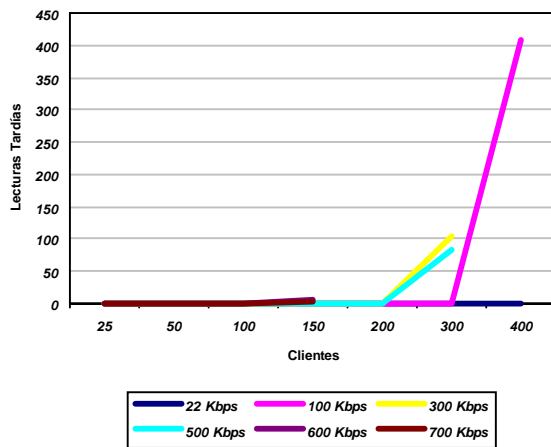


Fig. 5. Número de lecturas tardías.

Los resultados mostrados en la Figura 6 están relacionados, directamente, con la velocidad del procesador, ya que un procesador lento mostrará un alto número de conexiones pendientes, ante un número relativamente bajo de clientes, hecho que se puede observar en el servidor prototipo, aunque considerando que las simulaciones se hacen con una computadora personal de bajo rendimiento, los resultados podrían considerarse satisfactorios.

Estas tres variables anteriores son los factores más importantes en el rendimiento del servidor, ya que de ellos depende la generación de otros, desde los errores producidos en el servidor, hasta los paquetes perdidos y los errores generados en los clientes.

## V. CONCLUSIONES

Es posible controlar casi cualquier dispositivo remotamente a través de una red utilizando el protocolo TCP/IP ya que este protocolo asegura que los datos llegan a transmitirse de una forma segura en la red, con el inconveniente que el control no es exactamente en tiempo real, debido a que cuando se transmite una instrucción a través de un datagrama TCP/IP a un dispositivo, se envía demasiada información de cabecera, ocasionando que una simple instrucción se convierta en un datagrama de gran tamaño y que ocurra mucho retardo para llegar la instrucción.

En relación a la etapa de transmisión de video se puede concluir que mientras más se aumente la tasa de compresión en el Windows Encoder el vídeo tiene más retardo en su visualización, pero la calidad de video aumenta y mientras se disminuya la tasa de compresión el retardo es menor pero la calidad disminuye.

## REFERENCIAS

- [7] Microsoft Corporation. "Best Practices for Windows Media™ Technologies", USA 2000, 50 páginas.
- [8] Microsoft Corporation. "Checking Server Performance with Microsoft Windows Media Load Simulator", USA 2000, 10 páginas.
- [9] Microsoft Corporation. "Windows Media Services Deployment Guide", USA 2001, 61 páginas.

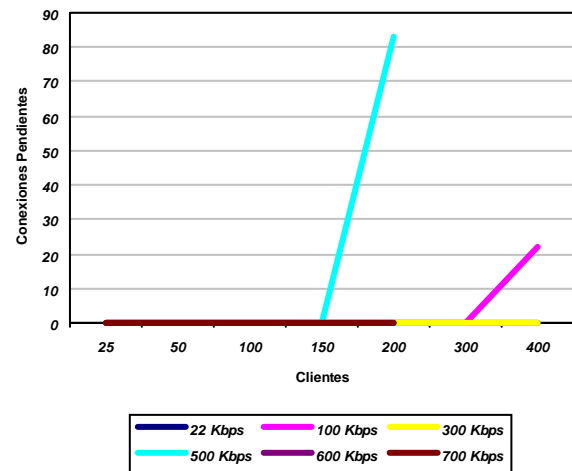


Fig. 6. Número de conexiones pendientes.

- [1] Northrup, Anthony. "Así es Windows 2000 Server", Editorial McGraw-Hill, España 1999, 201 páginas.
- [2] Realnetworks, Inc., "RealSystem™ G2 Administration Guide", USA 1998, 194 páginas.
- [3] Sánchez, Jesús; López, Joaquín. "Redes", Editorial McGraw-Hill, España 2000, 318 páginas.

**M. en C. Erica Cecilia Ruiz Ibarra** obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en 1997 y el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones, en CICESE, Ensenada Baja California, México en 2000. Ha realizado diversos proyectos relacionados con sistemas de comunicaciones ópticas así como en el performance de redes de alta velocidad. Actualmente labora como profesor/investigador de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del ITSON.

**M. en C 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.

**M. en C. Manuel Domitsu Kono.** obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico Electricista en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) en 1979 en Guadalajara Jalisco, el grado de Maestro en Ciencias Computacionales, en el ITESM Campus Cd. Obregón en 2001 y el grado de Maestro en Administración en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en 1980. Ha participado en diversos proyectos relacionados con el desarrollo de software para varias empresas, realizó una estancia en la Universidad de Bradford, Inglaterra, como parte del proyecto: Recepción de Imágenes del Satélite Meteorológico GOES. Actualmente labora como profesor/investigador de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del ITSON.

**Ing. Alejandro Hernández Lee,** obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica en el ITSON en el 2002, Ha trabajado en diversos proyectos relacionados con sistemas de comunicaciones en vía Internet. El presente artículo corresponde a su trabajo de tesis.

# Control adaptativo implantado en un micro-PLC

Javier Pérez Ramírez, José Manuel Campoy Salguero, Bruno Alfredo Gaxiola Soto

**Resumen**—El presente artículo expone como implantar un control adaptable, basado en un modelo de referencia, en un micro-PLC de la familia S7 de Siemens. La importancia de este trabajo radica en diseñar controladores más poderosos e implantarlos en un dispositivo comercial que sea del dominio de la mayoría de los ingenieros que trabajan en la industria. En este caso el dispositivo que más se presta, por su facilidad de programación, la aritmética en punto flotante, y su extensa utilización en la industria, es el PLC. Se presenta de una manera detallada, sencilla y clara la forma de diseñar el controlador usando la regla del MIT y también se describe con todo detalle la programación en el PLC. En este caso el diseño del controlador se aplica a un motor de CD como proceso y finalmente sobre esta aplicación se presentan las pruebas y los resultados obtenidos.

**Palabras clave**— Adaptativo, control, PLC, regla MIT

## I INTRODUCCIÓN

### Modelo de referencia

Un esquema importante de control adaptable es el sistema adaptable basado en un modelo de referencia (MRAS, model-reference adaptive system). En este esquema de control el funcionamiento deseado se especifica mediante un modelo y los parámetros del controlador se ajustan basados en el error, el cual es la diferencia entre la salida del sistema en lazo cerrado y el modelo, ver figura 3. El mecanismo para el ajuste de los parámetros se puede hacer de dos maneras: usando un método de gradiente o mediante la aplicación de la teoría de estabilidad. En este artículo se hace uso del método de gradiente usando la regla del MIT [1].

### La regla del MIT

La regla del MIT es el enfoque original para el control adaptable basado en el modelo de referencia. El nombre se deriva del hecho de que fue desarrollado en el Laboratorio de instrumentación (ahora the *Draper Laboratory*) en el *Massachusetts Institute of Technology*.

Manuscrito recibido el 16 de agosto del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Javier Pérez Ramírez en la actualidad labora como profesor de tiempo completo en Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; (e-mail jperrez@itson.mx)

José Manuel Campoy Salguero actualmente es Director Académico de la División de Ingeniería y Tecnología del Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 sur, Cd. Obregón, Sonora México.

Considérese un sistema de lazo cerrado en el cual el controlador tiene un parámetro ajustable  $\theta$ . La respuesta deseada en lazo cerrado se especifica mediante un modelo que tiene la salida  $y_m$ . Sea  $e$  el error entre la salida  $y$  del sistema de lazo cerrado y la salida  $y_m$  del modelo. Una posibilidad es ajustar los parámetros de una manera tal que se minimice una función de costo, ecuación 1.

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \quad (1)$$

Para minimizar  $J$  es razonable cambiar los parámetros en la dirección del gradiente negativo de  $J$ , como se muestra en la ecuación 2, la cual es conocida como la regla del MIT.

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (2)$$

La ecuación 2 aplica también cuando hay varios parámetros para ajustar, de aquí que el símbolo  $\theta$  debe ser interpretado como un vector y  $\partial e / \partial \theta$  como el gradiente del error con respecto a los parámetros.

### Aplicación de la regla de MIT para un sistema con variación en la ganancia

En este caso asumimos que el proceso es lineal con una función de transferencia  $kG(s)$ , donde  $G(s)$  es conocida y  $k$  es un parámetro desconocido. El problema de diseño consiste en encontrar un controlador que incluya un sistema con la función de transferencia  $G_m(s) = k_0 G(s)$ , donde  $k_0$  es una constante dada.

Para comenzar vemos que para una señal de entrada  $u$ , la planta  $kG(s)$  nos entrega una señal  $y$ . También para una entrada  $u_c$  el modelo de referencia  $k_0 G(s)$  nos entrega una salida  $y_m$ , figura 1.

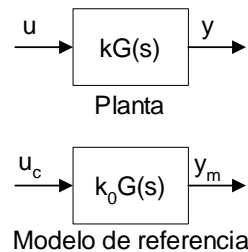


Fig. 1. Planta y modelo de referencia.

Se desea que la planta siga al modelo de referencia, es decir, el error  $e=y-y_m$  debe ser cero.

Si

$$y = y_m \Rightarrow kG(p)u = k_0G(p)u_c$$

$$u = \frac{k_0}{k} u_c$$

y como  $k$  es el parámetro que está variando podemos elegir  $\theta = k_0/k$ , para poder aplicar la regla de MIT, ecuación 2.

De esta manera podemos dejar el error en función de  $\theta$ , como se muestra en la ecuación 3.

$$\begin{aligned} e &= y - y_m = kG(p)u - k_0G(p)u_c \\ e &= kG(p)\theta u_c - k_0G(p)u_c \end{aligned} \quad (3)$$

De aquí encontramos que:

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = kG(p)u_c = \frac{k}{k_0} y_m$$

donde  $p=d/dt$ .

Con esto ya tenemos todos los elementos para utilizar la regla del MIT.

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma' e \frac{\partial e}{\partial \theta} = -(\gamma' \frac{k}{k_0}) y_m e = -\gamma y_m e \quad (4)$$

donde se ha elegido  $\gamma = (\gamma' k/k_0)$ .

Si aplicamos la transformada de Laplace a la ecuación 4, se obtiene la ecuación 5. Esta ecuación se representa en el esquema de la figura 2.

$$\theta = \frac{-\gamma}{s} y_m e \quad (5)$$

Finalmente con ayuda de las ecuaciones 3 y 5 y con las figuras 1 y 2 se construye el diagrama de control adaptable basado en el modelo de referencia, figura 3.

## II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

### Planta o proceso

Para la planta o proceso se utilizó el equipo de experimentación de control de velocidad RC-01 de Quanser Consulting. Consiste de un motor de CD equipado con un tacómetro. También contiene una fuente de poder de +/- 12 Vcd, una tableta de experimentación, un amplificador de potencia y un resistor sensible a la corriente. El equipo se usa para estudiar y diseñar sistemas de control de velocidad para motores de CD, figura 4.

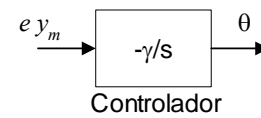


Fig. 2. Esquema del controlador.

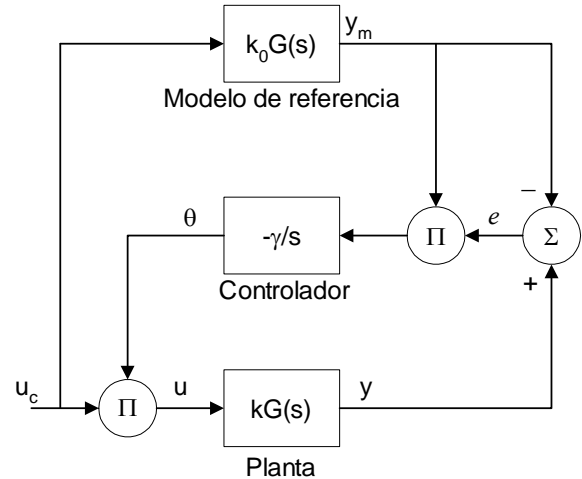


Fig. 3. Esquema completo del diseño de un controlador basado en el modelo de referencia.

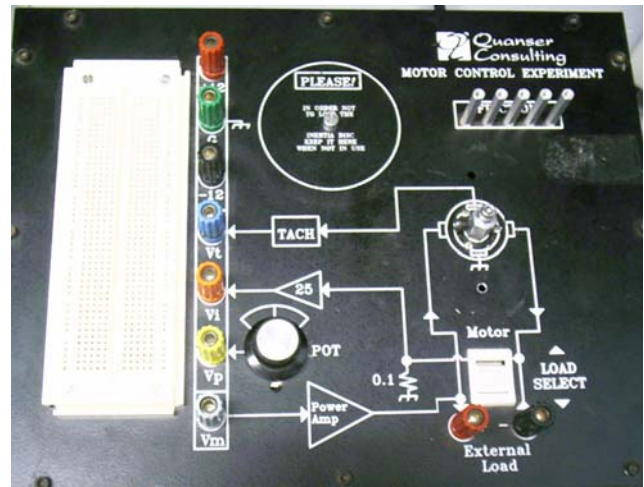


Fig. 4. Equipo de experimentación para control de velocidad de un motor de CD.

### Controlador

El controlador se implantó en un PLC modelo S7-200 con CPU 224 de la marca Siemens. También se utilizaron: un módulo analógico, de 4 entradas y 1 salida analógica, EM235 y un módulo analógico, de 2 salidas, EM232. Se utilizaron dos entradas analógicas: una para la referencia  $u_c$  y otra para ingresar al controlador la salida de la planta. También se utilizaron dos salidas analógicas: una para la salida del controlador  $u$  y la otra para mostrar la salida del modelo  $y_m$ . Tanto las entradas como las salidas se configuraron para que trabajaran como señales bipolares de +/- 10 V.

III DESARROLLO

**Determinación del modelo de la planta**

**Modelo Estático**

Es importante conocer el modelo estático ya que en estado estable nos interesa saber que salida debemos esperar de acuerdo a la entrada que se introduzca a la planta. Por otro lado también nos dice en que intervalo de voltajes de entrada la planta es lineal.

Para obtener el modelo estático de la planta, la entrada se alimentó con una serie de voltajes a intervalos de regulares de 0.5 Volts y se esperó, a que se estabilizará, los resultados se presentan en la gráfica de la figura 5.

Con estos datos, debido a que el proceso se comporta de manera lineal, se obtuvo la ecuación de la recta por medio de ecuación:

$$y = mx + b$$

Donde:

- y = Voltaje de salida del tacómetro.
- m = Pendiente de la recta o ganancia.
- x = Voltaje de entrada al motor de CD.
- b = *Offset* de la planta.

Tomando dos puntos extremos de la recta:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{4.48 - 0.45}{10 - 1.5} = 0.4741$$

De aquí se obtiene la ecuación de la recta:

$$y = 0.4741x - 0.2612$$

A partir de este modelo se puede ver que la referencia se puede mover de cero a 4.5 Volt sin problemas de saturar el actuador y movernos con libertad de 0 a 10 Volts a la entrada de la planta.

**Modelo Dinámico**

Para la obtención del modelo dinámico, se utilizó un osciloscopio digital Tektronix [2]. Se alimentó la planta con un escalón de 7.24V<sub>p-p</sub>. La respuesta se muestra en la figura 6.

A partir de esta respuesta obtenemos el modelo del sistema mostrado en la ecuación 6, [3].

$$G(s) = \frac{0.443}{0.015s + 1} \tag{6}$$

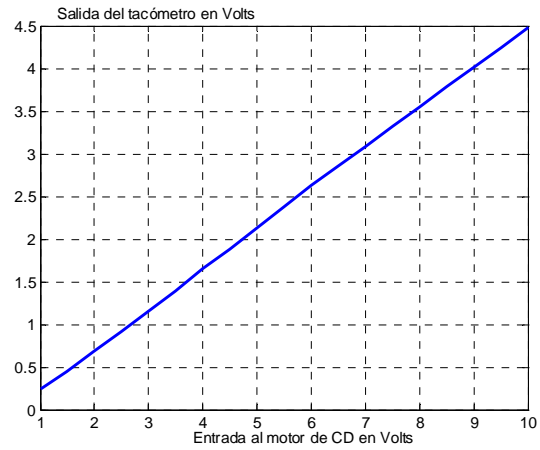


Fig. 5. Modelo estático del proceso.

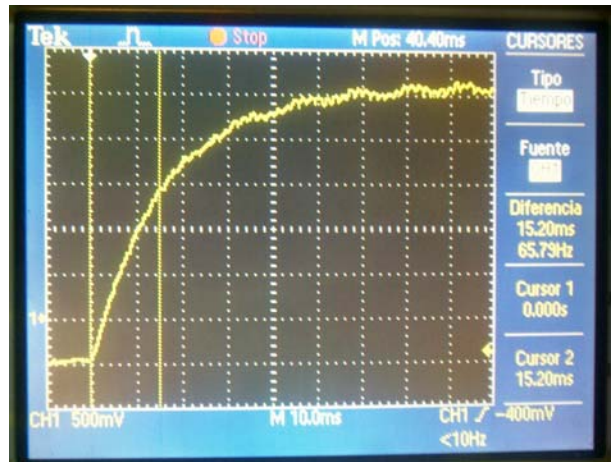


Fig. 6. Respuesta al escalón del proceso (motor de CD).

Para poder validar el modelo se utilizó la transformada Z para un tiempo de muestreo T=2 mseg y posteriormente se obtuvo la ecuación en diferencias, ecuación 7.

$$G_m(s) = \frac{Y_m(s)}{U_C(s)} = \frac{0.443 / 0.015}{s + 1 / 0.015}$$

Para digitalizar el sistema utilizamos el método de igualación polo-cero modificado [4].

$$G_m(z) = \frac{Y_m(z)}{U_C(z)} = k \frac{z0.443 / 0.015}{z + 1 / 0.015}$$

Para determinar la k hacemos que G<sub>m</sub>(s)= G<sub>m</sub>(z) cuando s tiende a cero y z tiende a uno.

$$k = (1 - e^{-\frac{1}{0.015}T})0.015$$

$$\frac{Y_m(z)}{U_C(z)} = \frac{0.0553}{1.0000 - 0.8752z^{-1}}$$

$$Y_m(z) = 0.0553U_C(z) + Y_m(z)0.8752z^{-1}$$

$$y_m(t) = 0.0553u_c(t) + 0.8752y_m(t - 1) \tag{7}$$

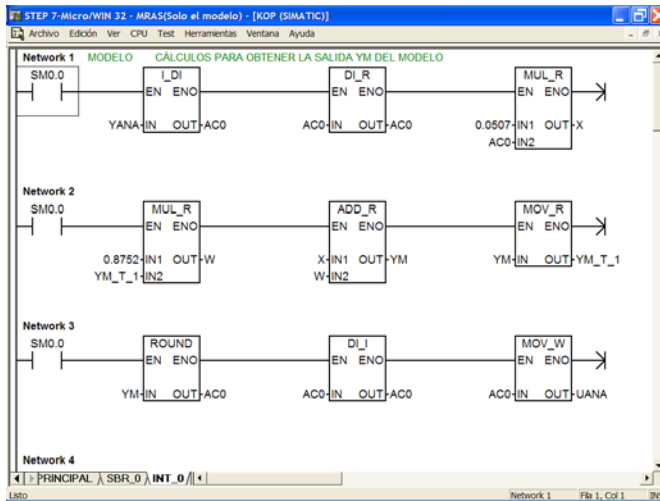


Fig. 7. Programa del modelo en el PLC S7-200 de Siemens



Fig. 8. Respuesta al escalón del modelo.

Este modelo realizado en el PLC [5] se muestra en la figura 7. Esta figura solo presenta la rutina de interrupción temporizada que es la que hace todo el modelo. Sin embargo, el programa principal solo consiste en habilitar dicha interrupción e inicializar con cero a  $y_m(t-1)$ .

Una vez realizado el modelo en el PLC se verificó su buen desempeño con la respuesta al escalón que se presenta en la figura 8. En la figura 9 presentamos tanto la respuesta del modelo realizado en el PLC como la respuesta del motor de CD. Hasta este punto ya se tiene lo necesario para implantar el esquema de control adaptable mostrado en la figura 3. Solo falta convertir la ecuación 5 a su correspondiente ecuación en diferencias para que pueda ser codificado en el PLC.

$$\theta(s) = \frac{-\gamma}{s} y_m e$$

$$\theta(z) - \theta(z)z^{-1} = -\gamma(y_m e)(z)$$

$$\theta(z) = -\gamma(y_m e)(z) + \theta(z)z^{-1}$$

$$\theta(t) = -\gamma(y_m e)(t) + \theta(t-1) \quad (8)$$



Fig. 9. Respuestas al escalón del motor de CD y del modelo realizado en el PLC.

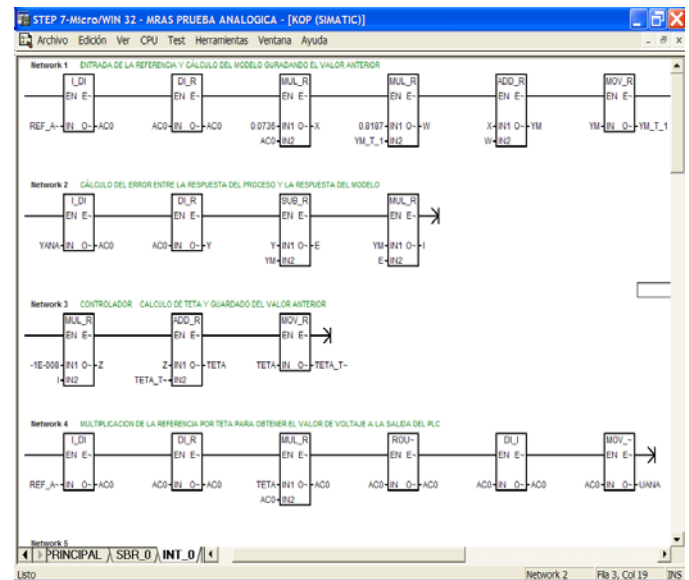


Fig. 10. Realización del sistema de control adaptable en un programa de PLC.

Ahora con ayuda de la figura 3 y de las ecuaciones 7 y 8 podemos realizar el sistema de control adaptable en el PLC. Para esto se tomó un periodo de muestreo de 3 mseg y una gamma de  $10^{-9}$ , el programa se muestra en la figura 10.

El programa principal solo consistió en habilitar una interrupción temporizada e inicializar las variables a cero como son  $y(t-1)=0$  y  $\theta(t-1)=0$ .

#### IV RESULTADOS

Una vez realizado el esquema de control se hicieron diferentes pruebas para poder observar su desempeño. Para las pruebas que se presentan se utilizó una gamma de  $10^{-9}$ .



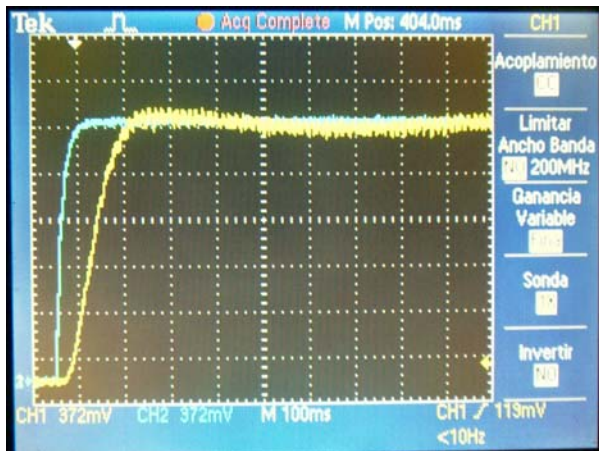


Fig. 11. Gráfica comparativa de la respuesta al escalón entre el modelo y el motor de CD para  $k_0=k$ .

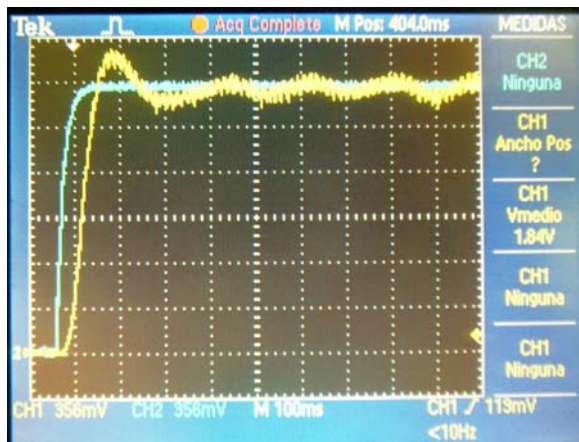


Fig. 12. Gráfica comparativa de la respuesta al escalón entre el modelo y el motor de CD para  $2k_0=k$ .

Se hicieron dos grupos de pruebas: un grupo consistió en graficar el transitorio de la respuesta al escalón, para ello se utilizó un nivel de CD de 5 V; el otro grupo consistió en graficar la respuesta transitoria para una entrada senoidal de 2.8Vp-p a 5Hz .

La primera prueba consiste en introducir un escalón cuando la ganancia  $k$  de la planta es igual a la del modelo  $k_0$ . Donde vemos que tarda algunas decenas de milisegundos para alcanzar a la salida del modelo, figura 11.

La segunda prueba también es la respuesta al mismo escalón pero ahora la  $k$  de planta ha sido cambiada acoplando un amplificador operacional en configuración no inversora de tal manera que  $k=2k_0$ . En la figura 12 se muestra la gráfica de la respuesta donde se nota que responde más rápido que la prueba anterior pero presenta un sobreimpulso mayor.

La siguiente prueba presenta la respuesta transitoria a una entrada senoidal cuando la ganancia de la planta  $k$  es igual a la ganancia del modelo  $k_0$ . Como podemos observar en la figura 13 la planta tarda dos ciclos en alcanzar la planta edemas de que presenta cierta distorsión en el pico de la señal lo cual no presenta ningún inconveniente.

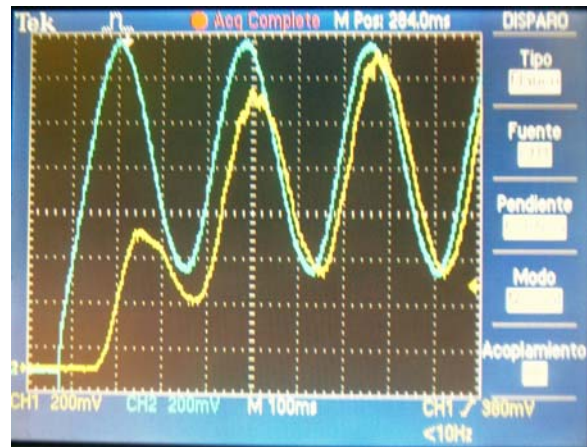


Fig. 13. Comparación de la respuesta a una excitación senoidal entre el modelo y el motor de CD para  $k_0=k$ .

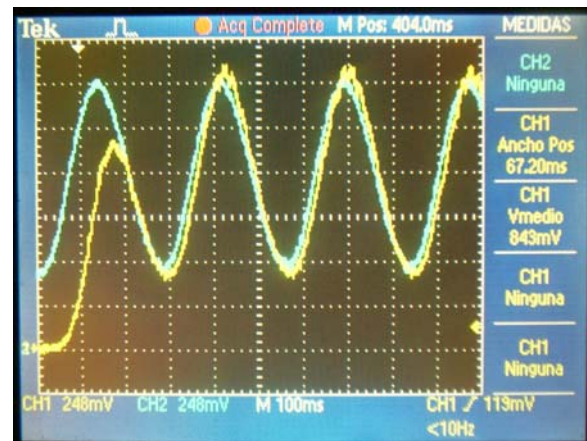


Fig. 14. Comparación de la respuesta al escalón entre el modelo y el motor de CD para  $k_0=k$ .

La última prueba es la respuesta transitoria a la señal senoidal de la prueba anterior solo que ahora la planta tiene una ganancia  $k$  del doble de la ganancia del modelo  $k_0$ . En la figura 14 se observa dicha respuesta en la que se nota la planta alcanza al modelo en el primer ciclo aun cuando presenta un poco de distorsión en los valores pico positivos.

## V CONCLUSIONES

En aquellos procesos en los que tenemos sistemas variantes en el tiempo el control adaptable resulta ser una herramienta muy buena; sin embargo, estos algoritmos de control muchas veces pueden parecernos muy complejos y difíciles implementar. En este trabajo podemos ver que el algoritmo de control basado en le modelo referencia se realizó en unas cuantas líneas de un programa de PLC, obteniendo un muy buen desempeño al cambio de ganancia de la planta.

Por otro lado, ya existen controladores adaptables en el mercado, este trabajo da una opción de muy bajo costo ya que consiste en utilizar tecnología existente (PLC) y del dominio de una gran mayoría de ingenieros en la industria.

También existen limitantes, una de ellas que es muy importante recalcar es que entre más líneas de código el tiempo de muestreo tiende a crecer y por lo tanto el desempeño del controlador reduciría. Sin embargo, esto se

puede arreglar si utiliza un PLC con mayor velocidad de procesamiento. En este caso se utilizó un micro-PLC y aun así los resultados fueron satisfactorios.

#### REFERENCIAS

- [1] Aström, Karl J.; Wittenmark, Björn; Adaptive Control; Second Edition. Addison-Wesley publishing Co.; 1995
- [2] TEKTRONIX, osciloscopio de almacenamiento digital de las series TDS1000 y TDS 2000, manual de usuario.
- [3] Ogata, Katsuhiko; Ingeniería de Control Moderna; Tercera edición. Prentice Hall; 1997.
- [4] Franklin Gene F., Powell J. David; Control de sistemas dinámicos con retroalimentación; Addison-Wesley Iberoamericana; E.U.A; 1991.
- [5] SIEMENS, S7-200 programmable controller user's manual.

**Javier Pérez Ramírez**, obtuvo el título de Lic. en electrónica en la Universidad Autónoma de Puebla en 1996, el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Electrónica en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, en Cuernavaca Morelos, en el 2000, del 2000 a la fecha labora como profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Sonora.

**José Manuel Campoy Salguero**, obtuvo el grado de maestro en ciencias computacionales en el Instituto Tecnológico de Monterrey en el 2002, y el título de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica en el Instituto Politécnico Nacional en 1988, es miembro del consejo técnico del EGEL de Ingeniería eléctrica y electrónica del CENEVAL, actualmente es Director Académico de la División de Ingeniería y Tecnología del Instituto Tecnológico de Sonora donde labora desde 1988.

# Control de estructura variable y perturbaciones singulares: Caso de estudio generador síncrono

Adolfo Soto-Cota, Leonid M. Fridman

**Resumen**— La máquina síncrona tiene un doble escalamiento de tiempo en sus dinámicas. Es por eso que para modelado y control de estas máquinas son muy usados los métodos de perturbaciones singulares. En este trabajo se analiza la posibilidad de usar un control por modos deslizantes. Los conceptos clásicos de perturbaciones singulares son revisados y complementados para ser usados en un control discontinuo. Los resultados obtenidos se usan en el diseño de un control estabilizante para un generador síncrono.

**Palabras clave**— Modos deslizantes, perturbaciones singulares, control no lineal.

## I. INTRODUCCIÓN

La simplificación de plantas es una herramienta clásica en sistemas eléctricos de potencia y la forma más común de implementarla es a través de perturbaciones singulares. (ver Sauer y Kokotovic 1998, Sauer y Pai 1998, Kokotovic *et al.* 1986, Krause 1986). Por otra parte, un eficiente y práctico enfoque de control; muy útil cuando se trata de controlar sistemas no lineales es el control de estructura variable con modos deslizantes (Utkin 1992). Sin embargo, aplicar un control discontinuo en sistemas singularmente perturbados acarrea algunos inconvenientes. Los métodos clásicos de perturbaciones singulares (ver Vasil'eva *et al.* 1995, y Kokotovic *et al.* 1986) son basados en separación de espectro y consecuentemente necesitan suavidad en los argumentos y control. Por esta razón, los métodos clásicos de perturbaciones singulares no son válidos para sistemas singularmente perturbados con control relevado (SSPCR).

Los métodos de descomposición para SSPCR fueron desarrollados por Heck 1991, Su 1999, Fridman 2002a,b, Innocenti *et al.* 2003. Este trabajo discute las ventajas y posibilidades de usar un control discontinuo por modos deslizantes en un sistema no lineal SSPCR que describe la dinámica de un generador síncrono. Para esto se diseña un control discontinuo a dos pasos (CDDP):

I Eliminar la dinámica del estator por medio de perturbaciones singulares y obtener el sistema reducido de sexto orden que describe sólo la dinámica mecánica y la dinámica del rotor.

II Diseñar un control de excitación por modos deslizantes usando la técnica de control por bloques (Loukianov 1998).

Para justificar el procedimiento CDDP, Primero se demuestra que la dinámica rápida no afecta el punto de entrada en el dominio de modos deslizantes y la dinámica lenta permanece en la capa frontera. Entonces las condiciones de estabilidad asintótica uniforme para el SSPCP original, son encontradas. Los resultados obtenidos son usados para diseñar un control por modos deslizantes para velocidad angular y voltaje del generador.

Este artículo está organizado como sigue. En la sección 2 se introduce las ecuaciones básicas para el generador síncrono. En la sección 3 los conceptos de perturbaciones singulares con modos deslizantes se justifican. En la sección 4 se diseña el controlador para el generador síncrono. Los resultados de las simulaciones se muestran en la sección 5.

## II. MODELO DEL GENERADOR SÍNCRONO

### A. Ecuaciones Básicas

El modelado matemático del generador síncrono está basado en las ecuaciones básicas de equilibrio eléctrico y mecánico. Las ecuaciones de equilibrio mecánico son

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_b \quad (1)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_b}{2H} (T_m - T_e) \quad (2)$$

donde  $\delta$  es el ángulo de potencia (rad.),  $\omega$  es la velocidad angular (rad./seg.),  $\omega_b$  es la velocidad síncrona (rad./seg.),  $H$  es la constante de inercia (seg.),  $T_m$  es el par mecánico (p.u.), y  $T_e$  el par electromecánico (p.u.). Por otra parte las ecuaciones de equilibrio eléctrico, afectadas por la transformación de Park (Park 1929), son

$$V = R i + \omega G \varphi + \frac{d\varphi}{dt} \quad (3)$$

$$\varphi = L i \quad (4)$$

donde  $\bar{t} = \omega_b t$ ,  $\omega_b$  es la velocidad angular base,  $t$  es el tiempo en segundos,  $\bar{t}$  es el tiempo en p.u.,

$$i = [i_d, i_q, i_f, i_g, i_{kd}, i_{kq}]^T, V = [V_d, V_q, V_f, 0, 0, 0]^T,$$

Manuscrito recibido el 21 de junio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Adolfo Soto-Cota esta en el departamento de eléctrica y electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora de Febrero 818 sur, Cd. Obregón, Sonora México (e-mail: adolfosoto@itson.mx).

Leonid M. Fridman esta con la Universidad Nacional Autónoma de México, DEP-FI, UNAM, Edificio "A", Ciudad Universitaria, A. P. 70-256, C.P. 04510, México, D.F., México (e-mail: fridman@verona.fi-p.unam.mx, Phone: 52 55 56223014).



$$\varphi = [\varphi_d, \varphi_q, \varphi_f, \varphi_g, \varphi_{kd}, \varphi_{kq}]^T \quad R = \begin{bmatrix} -r_s & & & & & \\ & -r_s & & & & \\ & & r_f & & & \\ & & & r_g & & \\ & & & & r_{kd} & \\ & & & & & r_{kq} \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} -L_d & 0 & L_{md} & 0 & L_{md} & 0 \\ 0 & -L_q & 0 & L_{mq} & 0 & L_{mq} \\ -L_{md} & 0 & L_f & 0 & L_{md} & 0 \\ 0 & -L_{mq} & 0 & L_g & 0 & L_{mq} \\ -L_{md} & 0 & L_{md} & 0 & L_{kd} & 0 \\ 0 & -L_{mq} & 0 & L_{mq} & 0 & L_{kq} \end{bmatrix}$$

$V$  es voltaje,  $i$  es corriente,  $\varphi$  es entrelazamiento de flujo,  $r$  es resistencia,  $L$  es inductancia, y los sufijos son:  $s$  estator,  $d$  eje directo (circuito),  $q$  eje en cuadratura (circuito),  $f$  circuito de campo,  $g$  circuito de campo cuadratura,  $kd$  compensador eje directo,  $kq$  compensador eje cuadratura,  $md$  eje directo magnetizante,  $mq$  eje cuadratura magnetizante.

La ecuación para el par electromecánico en términos de corrientes y flujos es

$$T_e = \varphi_d i_q - \varphi_q i_d \quad (5)$$

### B. Modelado en escalamiento de tiempo

Para simplificar el modelo transformaremos el sistema a una forma singularmente perturbada. Con este propósito se busca un parámetro "parásito" que multiplique la dinámica del estator. De (1)-(6) se obtiene

$$\frac{1}{\omega_b} \dot{\varphi}_d = \frac{\omega}{\omega_b} \varphi_q + r_s i_d + V_d \quad (6)$$

$$\frac{1}{\omega_b} \dot{\varphi}_q = -\frac{\omega}{\omega_b} \varphi_d + r_s i_q + V_q \quad (7)$$

### C. Modelo Completo

De (1)-(7), se obtiene el siguiente modelo del generador síncrono de 8vo orden:

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_1 \\ \dot{\mathbf{x}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{z}, T_m) \\ F_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{z}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} V_f \quad (8)$$

$$\mu \dot{\mathbf{z}} = F_3(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{z}) \quad (9)$$

donde  $\mathbf{x}_1 = (x_1, x_2, x_3)^T$ ,  $\mathbf{x}_2 = (x_4, x_5, x_6)^T$ ,  $\mathbf{z} = (z_1, z_2)^T$ ,  
 $x_1 = \delta$ ,  $x_2 = \omega$ ,  $x_3 = \varphi_f$ ,  $x_4 = \varphi_g$ ,  $x_5 = \varphi_{kd}$ ,  
 $x_6 = \varphi_{kq}$   $z_1 = \varphi_d$ ,  $z_2 = \varphi_q$ ,  $\mu = \frac{1}{\omega_b}$

$$F_1 = \begin{bmatrix} x_2 - \omega_s \\ d_m T_m - (a_{21} x_3 z_2 + a_{22} x_4 z_1 + a_{23} x_5 z_2 + a_{24} x_6 z_1 + a_{25} z_1 z_2) \\ a_{31} x_3 + a_{32} x_5 + a_{33} z_1 \end{bmatrix},$$

$$F_2 = \begin{bmatrix} b_{11} x_4 + b_{12} x_6 + b_{13} z_2 \\ b_{21} x_3 + b_{22} x_5 + b_{23} z_1 \\ b_{31} x_4 + b_{32} x_6 + b_{33} z_2 \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_3 \end{bmatrix} \text{ y } B_2 = 0,$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} c_{11} x_2 x_4 + c_{12} x_2 x_6 + c_{13} x_2 z_2 + c_{14} z_1 + c_{15} \sin x_1 \\ c_{21} x_2 x_3 + c_{22} x_2 x_5 + c_{23} x_2 z_1 + c_{24} z_2 + c_{25} \cos x_1 \end{bmatrix}.$$

Los coeficientes de (8)-(9) dependen de los parámetros.

## III. ENFOQUE PERTURBACION SINGULAR

### A. Modelo Singularmente Perturbado

Este trabajo trata sobre perturbaciones singulares de la forma:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, z, \mu, u), \quad x(0) = x_0 \quad (10)$$

$$\mu \frac{dz}{dt} = g(x, z, \mu), \quad z(0) = z_0 \quad (11)$$

donde  $x \in R^n$ ,  $z \in R^m$ ,  $u \in R$ ,  $\mu \in R$ ;  $f$  y  $g$  son funciones suaves en sus argumentos y lineales en  $z$  y  $u$ ,  $\mu > 0$  es un parámetro pequeño, y  $u$  es

$$|u| \leq u_0 \text{ con } u_0 > 0. \quad (12)$$

### B. Diseño del Control

El diseño del control consiste en dos pasos.

*Paso 1.* Con  $\mu = 0$  se hace instantánea la dinámica rápida (11)

$$0 = g(x, z, 0). \quad (13)$$

Se considera una solución suave aislada de  $z$  para (13)

$$\bar{z} = h(x) \quad (14)$$

donde  $\bar{z}$  representa el estado quasi-estable. Sustituyendo (14) en (10) se obtiene el modelo de orden reducido (MOR)

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = f(\bar{x}, h(\bar{x}), 0, u) \quad (15)$$

donde  $\bar{x}(t)$  define la solución de (15) para cierto control  $u(\bar{x})$ . Tomando en cuenta las características de (8) y (9), se asume que (14) es lineal con respecto a  $z$  y  $u$ , y la solución (14) existe. Consecuentemente, el MOR (15) es lineal en  $u$ .

*Paso 2.* Diseñar una superficie de deslizamiento no lineal  $s(\bar{x}) = 0$ ,  $s \in R$  para (15), tal que la solución de la ecuación

$$\frac{ds}{dt} = \bar{G} f(\bar{x}, h(\bar{x}), 0, u_{eq}) = 0, \quad \bar{G} = \left\{ \frac{ds}{d\bar{x}} \right\}$$

con respecto al control equivalente  $u_{eq}(\bar{x})$  (Utkin 1992), existe, y la ecuación de modos deslizantes (EMD)

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = f(\bar{x}, h(\bar{x}), 0, u_{eq}(\bar{x})) \quad (16)$$

$$s(\bar{x}) = 0 \quad (17)$$

tenga las propiedades deseadas. Segundo, se elige un control discontinuo

$$u(\bar{x}) = \begin{cases} u^+(\bar{x}) & \text{if } s(\bar{x}) > 0, \quad |u^+(\bar{x})| \leq u_0, \\ u^-(\bar{x}) & \text{if } s(\bar{x}) < 0, \quad |u^-(\bar{x})| \leq u_0 \end{cases} \quad (18)$$

tal que la superficie de modos deslizantes (24) sea atractiva.

Note que (8)-(9) es un caso particular de (10)-(11), cuando  $f$  y  $g$  dependen de  $z$  y  $u$  linealmente, entonces existe una solución en sentido de Fillipov al menos para pequeño  $t$  (ver por ejemplo Utkin 1992). Además de (17) uno de los vectores de  $\bar{x}$  puede ser expresado en función de los otros ( $n-1$ ).

Para justificar el control propuesto (CDDP), primero se analizan el comportamiento del sistema SSPCP original cuando el vector de estados cruza la superficie de deslizamiento y después durante la entrada en el dominio de modos deslizantes (subsección 3.3). Por último se exponen las condiciones de estabilidad para SSPCR (subsección 3.4).

### C. Análisis de SSPCR cruzando la superficie de deslizamiento

En esta subsección se estudiará el comportamiento del SSPCP original (10)-(11) y (18) fuera de la superficie de deslizamiento. Si una solución de SSPCR no cruza la superficie de deslizamiento (17) puede ser analizada por métodos clásicos de perturbaciones singulares (ver Vasil'eva *et al.* 1995, Kokotovic *et al.* 1986). Por otra parte, las características específicas del generador síncrono SSPCR es que las ecuaciones de las variables lentas dependen del control relevado (18), por tanto, después de un número finito de switcheos, la trayectoria de SSPCR entrará en la superficie de modos deslizantes. Se probará que en caso de switcheos finitos se puede usar el sistema de orden reducido para describir el SSPCR.

Denote los dominios de definición para  $z$  y  $x$  como  $Z$  y  $X$ . La superficie de discontinuidad  $s(x) = 0$  divide el dominio  $X$  en  $X^-$  para  $s < 0$  y  $X^+$  para  $s > 0$ ; y se define la estructura

$$\begin{aligned} f^+(x, z, \mu) &= f(x, z, \mu, u^+(x)) \quad \text{para } s \geq 0 \\ f^-(x, z, \mu) &= f(x, z, \mu, u^-(x)) \quad \text{para } s \leq 0, \text{ con} \\ f^+ &\in C^2[\bar{X}^+ \times [0, \mu_0]], \quad f^- \in C^2[\bar{X}^- \times [0, \mu_0]]. \end{aligned}$$

#### 1) Sistema en el dominio $s < 0$ .

Denote

$$\frac{ds^-}{dt}(x, z, \mu) = Gf^-(x, z, \mu), \quad \frac{ds^+}{dt}(x, z, \mu) = Gf^+(x, z, \mu).$$

Suponga que  $x_0 \in X^-$ ,  $z_0 \in Z$ . Es natural asumir que para el sistema original sistema (10)-(11) y (18) las siguientes condiciones del teorema de Tikhonov (ver, por ejemplo, Vasil'eva *et al.* 1995) se cumplen:

[a1] La función  $\bar{z} = h(\bar{x})$  es una solución aislada de  $0 = g(x, z, 0)$  para toda  $x \in X$ .

[a2] El problema de Cauchy para la dinámica lenta

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = f^-(\bar{x}^-, h(\bar{x}^-), 0), \quad \bar{x}^-(0) = x_0 \quad (19)$$

tiene solución única  $\bar{x}^-(t)$  en  $[0, \bar{t}_s]$ , donde  $\bar{t}_s$  es el punto de switcheo i.e. la raíz más pequeña de la ecuación  $s(\bar{x}^-(\bar{t}_s)) = 0$ .

[a3] El punto de equilibrio  $\Pi z = 0$  del sistema

$$\frac{d(\Pi z)}{d\tau} = g(\bar{x}, \Pi z + h(\bar{x}), 0)$$

donde  $\Pi z = z - h(\bar{x})$ ,  $\tau = t/\mu$ , es asintóticamente estable, además para toda  $x \in X$

$$\text{Re Spec } \frac{\partial g}{\partial \Pi z}(\bar{x}, h(\bar{x}), 0) < -\alpha < 0, \quad \alpha > 0.$$

[a4] La trayectoria del sistema reducido (19) cruza la superficie de deslizamiento  $s(x) = 0$ , no tangencialmente, i.e.

$$\frac{ds^-}{dt} = \bar{G}f^-(\bar{x}^-(\bar{t}_s), h(\bar{x}^-(\bar{t}_s)), 0) > 0.$$

**Nota1.** La función  $g$  depende de  $z$  linealmente. Esto implica que cada valor inicial de (11) pertenece al dominio de atracción del punto  $\Pi z = 0$ . Ahora del teorema de Vasil'eva (Vasil'eva *et al.* 1995) y el teorema de la función implícita dice que para  $\mu$  pequeña existe un tiempo  $t = t_s(\mu)$  tal que  $s(x(t_s(\mu), \mu)) = 0$  y para toda  $\mu \in [0, \mu_0]$

$$\frac{ds^-}{dt} = Gf^-(x(t_s(\mu), \mu), z(t_s(\mu), \mu), \mu) > 0, \quad G = \left\{ \frac{ds}{dx} \right\}$$

Se consideran dos alternativas para el comportamiento del SSPCR:

- la solución del sistema SSPCP original entra en el dominio  $X^+ \times Z$ ;
- la solución del sistema original SSPCR entra al dominio de modos deslizantes.

#### 2) Entrada en el dominio $s > 0$

De [a4] y el método boundary layer (Vasil'eva *et al.* 1995), sigue que la solución de SSPCR alcanzará la superficie de deslizamiento  $s(x(t_s(\mu), \mu)) = 0$  en el punto de switcheo

$$(x(t_s(\mu), \mu), z(t_s(\mu), \mu)) = (\bar{x}(\bar{t}_s) + O(\mu), h(\bar{x}(\bar{t}_s)) + O(\mu)).$$

Esto significa que el punto  $(x(t_s(\mu), \mu), z(t_s(\mu), \mu))$  no pertenece al dominio de modos deslizantes, y la solución de (10)-(11) y (18) entra en el dominio  $X^+ \times Z$ . Se considera la coordenada del punto de switcheo  $(x(t_s(\mu), \mu), z(t_s(\mu), \mu))$

como la condición inicial de SSPCR en el dominio  $X^+ \times Z$  y suponga que SSPCR en el dominio  $X^+ \times Z$ , las siguientes condiciones se satisfacen:

$$[b1] \quad \frac{ds^+}{dt} = \bar{G}f^+(\bar{x}^-(\bar{t}_s), h(\bar{x}^-(\bar{t}_s)), 0) > 0$$

entonces por el teorema de Tikhonov, para  $\mu$  pequeña

$$\frac{ds^+}{dt} = Gf^+(x(t_s(\mu), \mu), z(t_s(\mu), \mu), \mu) > 0$$

[b2] Suponga que el problema de Cauchy

$$\frac{d\bar{x}^+}{dt} = f^+(\bar{x}^+, h(\bar{x}^+), 0), \quad \bar{x}^+(\bar{t}_s) = \bar{x}^-(\bar{t}_s)$$

tiene solución única en  $[\bar{t}_s, T]$ .

El siguiente lema es verdadero (Fridman 2002b):

**A. Lema 1.** *Suponga que el sistema original (10)-(11) y (18) satisface la condición [a1]-[a4] y [b1]-[b2]. Entonces existe una pequeña  $\mu_0 > 0$  tal que para toda*

*$\mu \in [0, \mu_0]$  existe una única solución  $(x(t, \mu), z(t, \mu))$  del problema de Cauchy (10)-(11) en  $[0, T]$ , y*

$$\lim_{\mu \rightarrow 0} x(t, \mu) = \bar{x}(t) = \begin{cases} \bar{x}^-(t) & \text{para } t \in [0, \bar{t}_s] \\ \bar{x}^+(t) & \text{para } t \in [\bar{t}_s, T] \end{cases},$$

$$\lim_{\mu \rightarrow 0} z(t, \mu) = h(\bar{x}(t)) \text{ para } t \in (0, T].$$

**Nota 2.** También se puede probar que es posible usar las ecuaciones de la dinámica lenta para analizar el sistema (10)-(11) y (18) en el caso cuando la solución deja el dominio  $X^+ \times Z$  y entra al dominio  $X^- \times Z$ .

### 3.3.3 Transición al dominio de modos deslizantes

El comportamiento del SSPCP original (10)-(11) y (18) en el dominio de modos deslizantes se describe. Denote como

$$S_0 = \left\{ x : \frac{ds^-}{dt}(\bar{x}, h(\bar{x}), 0) > 0, \frac{ds^+}{dt}(\bar{x}, h(\bar{x}), 0) < 0 \right\},$$

$$S_\mu = \left\{ (x, z, \mu) : \frac{ds^-}{dt}(x, z, \mu) > 0, \frac{ds^+}{dt}(x, z, \mu) < 0 \right\}$$

Los dominios de modos deslizantes para (15) y (10)-(11) respectivamente. Suponga que el control permite la existencia de modos deslizantes (Utkin 1992):

$$[c1] \quad \frac{ds^-}{dt}(\bar{x}^-(\bar{t}_s), h(\bar{x}^-(\bar{t}_s)), 0) > 0,$$

$$\frac{ds^+}{dt}(\bar{x}^-(\bar{t}_s), h(\bar{x}^-(\bar{t}_s)), 0) < 0$$

Por el teorema de Tikhonov, sigue que para  $\mu$  pequeña

$$\frac{ds^-}{dt} = Gf^-(x(t_s(\mu)), z(t_s(\mu)), \mu) > 0,$$

$$\frac{ds^+}{dt} = Gf^+(x(t_s(\mu)), z(t_s(\mu)), \mu) < 0$$

lo que significa que una solución del sistema original (10)-(11) y (18) entra en  $S_\mu$  sin toque tangencial. Por esto se considera a  $(x(t_s(\mu), \mu), z(t_s(\mu), \mu))$  como la condición inicial de SSPCR en el dominio  $S_\mu$ . Así, una solución del problema de Cauchy (10)-(11) con (18) en  $S_\mu$  es descrita por (Utkin 1992):

$$\frac{dx^*}{dt} = f(x^*, z^*, \mu, u_{eq}(x^*, z^*, \mu)), \quad \mu \frac{dz^*}{dt} = g(x^*, z^*, \mu) \quad (20)$$

$$x^*(t_s(\mu), \mu) = x(t_s(\mu), \mu), \quad z^*(t_s(\mu), \mu) = z(t_s(\mu), \mu), \quad s(x^*) = 0.$$

donde  $t \in [t_0(\mu), T]$ ,  $x^* \in R^{n-1}$ ,  $z^* \in R^m$ ,  $u \in R$ ,  $\mu \in [0, \mu_0]$ , y  $u_{eq}(x^*, z^*, \mu)$  es el control equivalente calculado como una solución de

$$\frac{ds}{dt} = Gf(x^*, z^*, \mu, u_{eq}) = 0, \quad s(x^*) = 0. \quad (21)$$

Similarmente (como en subsección 3.3.2) se supone que para el sistema (20)-(21) las siguientes condiciones del teorema de Tikhonov se cumplen:

[c2] La ecuación de modos deslizantes reducida por ( $\mu = 0$ )

$$\frac{d\bar{x}^*}{dt} = f(\bar{x}^*, h(\bar{x}^*), 0, \bar{u}_{eq}(\bar{x}^*)), \quad \bar{x}^*(\bar{t}_s) = x^*$$

con  $\bar{u}_{eq}(\bar{x}^*) = u_{eq}(\bar{x}^*, h(\bar{x}^*), 0)$  tiene solución única  $\bar{x}^*(t)$

en  $[\bar{t}_s, T]$ , y  $\bar{x}^*(t) \in S_0$  para todo  $t \in [\bar{t}_s, T]$ .

El siguiente lema es verdadero (Fridman 2002b):

**Lema 2.** *Suponga que el SSPCP original (10)-(11) y (18) satisface las condiciones [a1]-[a4] y [c1]-[c2]. Entonces existe pequeña  $\mu_0 > 0$  tal que para toda  $\mu \in [0, \mu_0]$  hay una solución única  $(x(t, \mu), z(t, \mu))$  de (10)-(11) y (18) en  $[0, T]$  y:*

$$1) \lim_{\mu \rightarrow 0} u_{eq}(x(t, \mu), z(t, \mu), \mu) = \bar{u}_{eq}(\bar{x}^*(t)) \text{ para } t \in [\bar{t}_s, T],$$

$$2) \lim_{\mu \rightarrow 0} x(t, \mu) = \bar{x}(t) = \begin{cases} \bar{x}^-(t) & \text{para } t \in [0, \bar{t}_s] \\ \bar{x}^*(t) & \text{para } t \in [\bar{t}_s, T] \end{cases},$$

$$3) \lim_{\mu \rightarrow 0} z(t, \mu) = h(\bar{x}(t)) \text{ para } t \in (0, T].$$

**Nota 3.** Si una solución de (10)-(11) y (18) deja los modos deslizantes esto no afectará la aproximación cero de las ecuaciones dinámica, porque la variedad integral lenta es continua (Fridman 2002b).

### D Análisis de estabilidad

Considérese el caso cuando el SSPCP original tiene un equilibrio en  $S_\mu$ . Resolviendo (18) para  $u_{eq}^*(x(t, \mu), z(t, \mu))$  y sustituyendo en (10), se obtiene el sistema algebraico-diferencial suave (20) el cual describe la dinámica de modos deslizantes. De la ecuación (17), tomando  $G \neq 0$ , se puede expresar una coordenada de  $x$  como función de las otras  $(n-1)$  coordenadas. Entonces, la dinámica de modos deslizantes es gobernada por el sistema de orden  $(n+m-1)$ :

$$\frac{dx^\otimes}{dt} = f^\otimes(x^\otimes, z^\otimes, \mu), \quad \mu \frac{dz^\otimes}{dt} = g^\otimes(x^\otimes, z^\otimes, \mu) \quad (22)$$

donde el vector  $x^\otimes \in R^{n-1}$  consiste de  $n-1$  coordenadas independientes de  $x$ ,  $z^\otimes = z$ ,  $g^\otimes$  and  $f^\otimes \in R^{n-1}$  son los valores de  $g$  y el correspondiente componente de  $f$  en  $u = u_{eq}(x^\otimes, z^\otimes, \mu)$ . En el caso del generador síncrono,  $g^\otimes(\bar{x}^\otimes, h^\otimes(\bar{x}^\otimes), 0) = 0$  tiene solución única  $\bar{z}^\otimes = h^\otimes(\bar{x}^\otimes)$ , consecuentemente la dinámica rápida en (22) es descrita por

$$\frac{dx^\otimes}{dt} = \bar{f}^\otimes(\bar{x}^\otimes) = f^\otimes(\bar{x}^\otimes, h^\otimes(\bar{x}^\otimes), 0), \quad 0 = g^\otimes(\bar{x}^\otimes, h^\otimes(\bar{x}^\otimes), 0) \quad (23)$$

Denote  $x_{eq}^\otimes$  como el punto de equilibrio de (23). Entonces del teorema de Klimushchev-Krasovskii (Klimushchev y Krasovskii 1962) sigue que el punto de equilibrio del sistema (22) es uniformemente asintóticamente estable para  $\mu \in [0, \mu_0]$ , si las matrices en (23):

$$[ss] \quad \frac{\partial \bar{f}^\otimes}{\partial x^\otimes}(x_{eq}^\otimes, h^\otimes(x_{eq}^\otimes), 0) \text{ y}$$

[sf]  $\frac{\partial g^{\otimes}}{\partial z^{\otimes}}(x_{eq}^{\otimes}, h^{\otimes}(x_{eq}^{\otimes}), 0)$ , son Hurwitz.

Es por esto que se concluye que para verificar el control propuesto CDDP es suficiente con verificar las condiciones vistas en subsecciones 3.2 y 3.3.

#### IV. CONTROL DEL GENERADOR

En esta sección se obtendrá un modelo reducido y un control discontinuo para el generador síncrono.

##### A. Modelo reducido de la máquina síncrona

La dinámica rápida (8)-(9) puede ser eliminada con  $\mu = 0$ . Se obtiene el siguiente modelo de 6to orden:

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_1 \\ \dot{\mathbf{x}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{F}_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, T_m, h_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2), h_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)) \\ \bar{F}_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, h_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2), h_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix} V_f \quad (24)$$

donde

$$\bar{F}_1 = \begin{bmatrix} x_2 - \omega_s \\ d_m T_m - [(a_{22}x_4 + a_{24}x_6) \cdot h_1(\cdot) + (a_{23}x_3 + a_{25}x_5) \cdot h_2(\cdot) + a_{25}h_1(\cdot)h_2(\cdot)] \\ a_{41}x_3 + a_{42}x_4 + a_{43}x_5 + a_{44}x_6 + a_{45}\sin x_1 + a_{46}\cos x_1 \end{bmatrix},$$

$$\bar{F}_2 = \begin{bmatrix} b_{11}x_4 + b_{12}x_6 + b_{13}h_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \\ b_{21}x_3 + b_{22}x_5 + b_{23}h_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \\ b_{31}x_4 + b_{32}x_6 + b_{33}h_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \end{bmatrix}, \quad B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_3 \end{bmatrix}.$$

Los coeficientes de (24) dependen de los parámetros de la planta. Las condiciones [a2] en (24) se cumplen.

##### B. Control de velocidad angular

El primer subsistema de (24) tiene forma No Lineal Controlable a Bloques en tres bloques. Por esto se usa la técnica de control a bloques (Loukianov 1998). Para satisfacer estabilidad de ángulo, se define el error de control como

$$\varsigma_2 = x_2 - \omega_b \quad (25)$$

La derivada de (25) alrededor de la trayectoria de (24) es

$$\dot{\varsigma}_2 = f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, T_m) + b_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)x_3 \quad (26)$$

donde

$$f_2 = d_m T_m - (a_{22}x_4 h_1(\cdot) + a_{23}x_5 h_2(\cdot) + a_{24}x_6 h_1(\cdot) + a_{25}h_1(\cdot)h_2(\cdot)),$$

$b_2 = a_{21}h_2(\cdot)$ , y  $b_2(t)$  es una función positiva del tiempo. Para introducir la dinámica deseada se propone

$$x_3 = -b_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)^{-1} [f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, T_m) + k_0 \varsigma_2 - s_{\omega}], \quad k_0 > 0 \quad (27)$$

Con (27) la superficie de deslizamiento se define como

$$s_{\omega}(x) = b_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)x_3 + f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, T_m) + k_0(x_2 - \omega_b) = 0 \quad (28)$$

##### C. Análisis de estabilidad

###### 1) Estabilidad en modos deslizantes

Con el control relevado propuesto

$$V_f = -u_0 \text{sign}(s_{\omega}), \quad u_0 > 0. \quad (29)$$

Se puede ver que bajo la restricción

$$u_0 \geq |V_{feq}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, T_m)|, \quad V_{feq} = b_s^{-1}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)f_s(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, T_m),$$

las condiciones [a4], [b1] o [c1] se satisfacen. Esto significa que el vector de estados converge a (28) en tiempo finito  $t_s$ , y después permanece en modos deslizantes ocurre.

###### 2) Estabilidad de la dinámica de modos deslizantes

Una vez que ocurren modos deslizantes, la dinámica es gobernada por el sistema reducido de 5to orden:

$$\dot{x}_1 = \varsigma_2; \quad \dot{\varsigma}_2 = -k_0 \varsigma_2 \quad (30)$$

$$\dot{\mathbf{x}}_2 = \bar{F}_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, h_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2), h_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)) \quad (31)$$

donde el sistema lineal (30) describe la dinámica mecánica, con valores propios  $-k_0$ , mientras que (31) representa la dinámica de los flujos del rotor. El subsistema (30) es estable, esto es  $\lim_{t \rightarrow \infty} \varsigma_2(t) = 0$ . Mientras que  $\mathbf{x}_2$  es referido como la *dinámica zero*.

###### 3) Estabilidad de la dinámica rápida

La dinámica rápida reducida en (23) no depende de  $u$

$$\Pi z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \\ h_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \end{bmatrix}. \quad (32)$$

La derivada de la dinámica rápida es

$$\mu \frac{d(\Pi z)}{dt} = A_z(\mathbf{x}_1)\Pi z + \mu \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial \mathbf{x}_1} & \frac{\partial h_1}{\partial \mathbf{x}_2} \\ \frac{\partial h_2}{\partial \mathbf{x}_1} & \frac{\partial h_2}{\partial \mathbf{x}_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \Pi z + h(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)) + B_1 V_f \\ F_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \Pi z + h(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)) \end{bmatrix} \quad (33)$$

donde  $A_z(\mathbf{x}_1) = A_R$ , y el control toma valores  $u_0$  o  $-u_0$  si  $s_{\omega} \neq 0$ , e iguales a  $V_{feq}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, T_m)$  en  $s_{\omega} = 0$ . Haciendo  $\mu = 0$  se congelan las variables  $\mathbf{x}_1$  y  $\mathbf{x}_2$  en  $t = 0$  y se reduce (33) al sistema

$$\frac{d(\Pi z)}{d\tau} = A_z(\mathbf{x}_{1_0})\Pi z, \quad \mathbf{x}_{1_0} = \mathbf{x}_1(0).$$

la matriz  $A_z(\mathbf{x}_{1_0})$  es Hurwitz, así  $\Pi z = 0$  y a las condiciones [a2] y [sf] en este caso se cumplen.

#### V. RESULTADOS DE LA SIMULACION

El desempeño del control propuesto fue analizado en un modelo de alto orden de un generador síncrono conectado a un bus infinito. Fig.1.

Los parámetros de la máquina síncrona y la red externa en p.u. son (Kundur 1994):

$$T_{do}^i = 8.0 \text{ seg}, \quad T_{qo}^i = 1.0 \text{ seg}, \quad T_{do}'' = 0.03 \text{ seg}, \quad T_{qo}'' = 0.07 \text{ seg}$$

$$L_d = 1.81, \quad L_d' = 0.3, \quad L_d'' = 0.23, \quad L_q = 1.76, \quad L_q' = 0.6,$$

$$L_{ext} = 0.1, \quad R_{ext} = 0.001.$$

De esto, se obtienen los parámetros del modelo (15)-(16) y (30). La ganancia del controlador fue ajustada a  $k_0 = 10$ . Los valores propios de (31) son  $\lambda_4 = -38.77$ ,  $\lambda_5 = -0.5024$  y  $\lambda_6 = -27.04$ . Las figuras 2-4 muestran resultados sobre un corto circuito trifásico (150 mseg.) simulado en las terminales del transformador. Las figuras revelan algunos aspectos relevantes:

- 1 Las variables de estados rápidamente alcanzan una condición de estado estable ante pequeñas y grandes perturbaciones, mostrando estabilidad de lazo cerrado.
- 2 El voltaje en terminales recobra su valor en estado estable después de liberar el corto circuito.

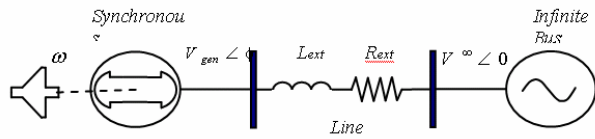


Fig. 1. Máquina bus infinito.

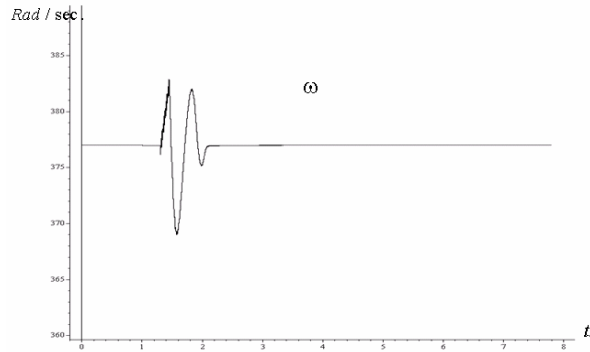


Fig. 2. Velocidad angular afectada por un corto circuito de 0.15 seg.

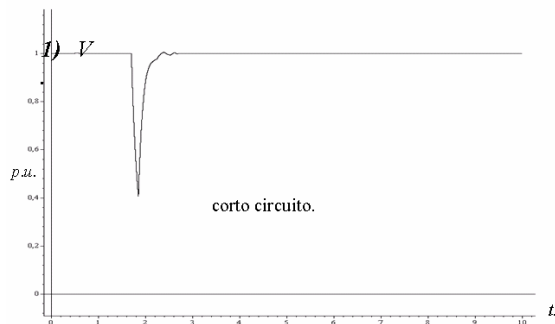


Fig. 3. Voltaje del generador afectado por un corto circuito de 0.15 seg.

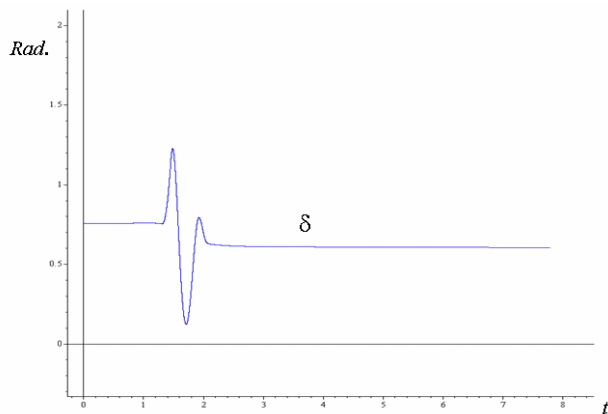


Fig. 4. Ángulo de carga afectado por un corto circuito de 0.15 seg.

## VI. CONCLUSIONES

En este trabajo la posibilidad de aplicar un control discontinuo por modos deslizantes en un sistema no lineal reducido por perturbaciones singulares SSPCR es analizado. Para SSPCR que describen la dinámica de un generador síncrono con la dinámica lenta dependiente de control. Para tales sistemas se propone el control a dos pasos (CDDP): primero el escalamiente natural de tiempos de las dinámicas de la máquina síncrona es utilizado para obtener un modelo de orden reducido, para después diseñar un control estabilizante por modos deslizantes garantizando el comportamiento deseado del generador. La efectividad del algoritmo de control propuesto es ilustrada en simulaciones con parámetros reales del generador.

## REFERENCIAS

- [1] FRIDMAN, L.M., 2002a, Singularly Perturbed Analysis of Chattering in Relay Control Systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **47**, No. 12 2079-2084.
- [2] FRIDMAN, L.M., 2002b, Slow periodic motions with internal sliding modes in variable structure systems. *International Journal of Control*, **75** No. 7, 524-537.
- [3] HECK, B.S., 1991, Sliding mode control for singularly perturbed system. *International Journal of Control*, **53**, 985-1001.
- [4] INNOCENTI, M, GRECO, L., and POLLINI, L., 2003, Sliding mode control for two-time scale systems: stability issues. *Automatica*, **39**(2),273-280.
- [5] KHALIL, H.K., 1996, *Nonlinear systems* (New Jersey: Prentice Hall).
- [6] KLIMUSHCHEV, A.I., and KRASOVSKII, N.N., 1962, Uniform asymptotic stability of systems of differential equations with a small parameter in the derivative terms. *J. Appl. Math. Mech.*, **25**, 1011-1025.
- [7] KOKOTOVIC, P.V., KHALIL, H.K., and O'REILLY, J., 1986, *Singular Perturbation Methods in Control: Analysis and Design* (London: Academic Press).
- [8] KRAUSE, P.C., 1986, *Analysis of Electric Machinery* ( New York: McGraw Hill).
- [9] KUNDUR, P., 1994, *Power System Stability and Control* (Toronto: McGraw Hill).
- [10] LOUKIANOV, A.G., 1998, Nonlinear Block Control with Sliding Mode. *Automation and Remote Control*, **59** (7),916-933.
- [11] PARK, R.H, 1929, Two-reaction Theory of Synchronous Machines – Generalized Method of Analysis – Part I. *AIEE Trans.*, **48**, pp. 716-727, 1929.
- [12] SAUER, P.W., and PAI, M.A., 1998, *Power system dynamics and stability* (New Jersey: Prentice Hall).
- [13] SU, W.-C., 1999, Sliding surface design for singularly perturbed system. *International Journal of control*, **72**, 990-995.
- [14] UTKIN, V.I., 1992, *Sliding Mode in Control and Optimization* (London: Springer Verlag).
- [15] VASIL'EVA, A.B., BUTOZOV, V.F., and KALACHEV, L.V., 1995, *The boundary Function Method for Singular Perturbation Problems*. (Philadelphia: SIAM).

# Desarrollo e implementación de estrategias enfocadas a la disminución del consumo de energía eléctrica en una empresa cervecera

Gilberto Díaz Caravantes, Jesús Héctor Hernández López, Rafael León Velázquez, Armando Ambrosio López

**Resumen**— En este artículo se presenta el desarrollo e implementación de las principales estrategias de uso eficiente de energía eléctrica en una industria cervecera, como resultado de la realización de un diagnóstico energético. En este trabajo se desarrolló una metodología para el estudio energético a partir de diversas fuentes de información, agregando además un enfoque de procesos para lograr la solución final, la cual se encontró, principalmente, en los sistemas de refrigeración y aire comprimido de sala de máquinas.

La metodología propuesta consta básicamente de dos etapas: en primer lugar se identificaron los principales equipos consumidores de energía eléctrica en la planta y posteriormente se desarrollaron e implementaron soluciones técnico-económicamente viables para eficientar el uso de energía eléctrica de estos equipos.

**Palabras clave**— Energía eléctrica, disminución de consumo.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha presentado una tendencia a nivel mundial en lo referente a la economía, la globalización, la cual ha repercutido en todos los países incluyendo el nuestro. Uno de los efectos de esta globalización es la disminución de costos de los productos por la amplia competencia que se presenta, obligando a las empresas a

disminuir costos eficientando los recursos utilizados en sus procesos.

La electricidad, a diferencia de otros productos energéticos, no es un recurso natural sino un bien que el hombre crea y provee dentro de las sociedades modernas para impulsar el desarrollo de sus actividades cotidianas y el crecimiento de sus economías. Sin energía eléctrica suficiente, el crecimiento económico que ha experimentado el mundo entero y por supuesto México durante el último siglo no hubiese sido posible y sin lugar a dudas se comprometería su desarrollo futuro.

México contaba con una capacidad instalada de generación de energía eléctrica de 36,666.3 MW en 1999 distribuidas como sigue: 60 % tuvo como destino el sector industrial, 23 % el residencial, 11 % el comercial y de servicios, y 6 % el agrícola; por otro lado, el 69.47% de la generación de energía eléctrica en México es a través de combustibles fósiles, contribuyendo el combustóleo, diesel y gas con el 60.39 %, el carbón con el 6.07 % y finalmente las nucleoelectricas con el 3.04 %, el resto de la generación eléctrica corresponde a plantas hidroeléctricas con el 27.9 %, geotermoeléctricas con el 2.31 % y eólica con el 0.004% [1].

A fin de garantizar un suministro adecuado y oportuno de este recurso, considerando el acentuado ritmo de crecimiento registrado en la década de los 80, a partir de 1990 se aplicaron en México tres estrategias básicas: la primera consistió en acelerar el proceso de construcción y entrada en operación de nuevas centrales eléctricas; la segunda se enfocó a cambiar algunos conceptos en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, a fin de permitir la participación del sector privado en la generación de este recurso; y por último, en la tercera se planteó como objetivo primordial el ahorro de energía eléctrica [2].

La empresa, en donde se realizó el estudio, no es ajena a esto, por lo que está en un proceso de mejora continua para la disminución de costos de sus productos, garantizando de esta forma su sobrevivencia dentro del mercado cervecero.

De esta forma surge la necesidad de eficientar el consumo de energía eléctrica dentro de la planta, no solo por su beneficio económico, sino también por su contribución al medio ambiente, la cual es otra importante preocupación dentro de la empresa, reflejada en la certificación obtenida en ISO 14000, con la cual se han presentado objetivos de disminución del consumo de energía eléctrica auditables para

Manuscrito recibido el 20 de julio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Gilberto Díaz Caravantes. Actualmente labora como Jefe de Mantenimiento Eléctrico en Cervecería Modelo del Noroeste, S.A. de C.V., gildiaze@hotmail.com

Jesús Héctor Hernández López actualmente labora como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica 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 jehdez@itson.mx)

Rafael León Velázquez actualmente se desempeña como Jefe del Departamento de Ingeniería 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 rleon@itson.mx)

Armando Ambrosio López hasta la fecha de ha desempeñado como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica 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 aambrosi@itson.mx)

el sistema de calidad de la planta. De allí surge el objetivo primordial del presente trabajo que es elaborar e implementar estrategias de solución técnica y económicamente viables a las principales causas que impactan al consumo de energía eléctrica en dicha empresa.

## II. DESARROLLO

### Procedimiento para realizar el diagnóstico energético

El método desarrollado para la realización de estudio es el siguiente:

Paso 1. Recolección de información básica e inventario general de las instalaciones.

- Identificación del proceso productivo y/o áreas principales.
- Identificación de las fuentes de energía.
- Identificación de los consumidores de energía, capacidad instalada y horas de operación.
- Información histórica de las facturas de los suministradores de energía

Paso 2. Elaborar balances de energía, con el objeto de conocer la distribución de energía en las diferentes fases del proceso productivo y/o áreas, es decir, la caracterización de la carga realizando un levantamiento de datos mediante registros y mediciones puntuales. Las diferentes formas de energía que entran o salen del sistema deben estar referidas a un mismo período de tiempo y expresadas en las mismas unidades.

Paso 3. Determinar la incidencia del consumo de energía de cada equipo o grupo de equipos en el consumo de energía total y por lo tanto en el costo total.

Paso 4. Obtener índices de consumo de energía los cuales pueden ser usados para determinar la eficiencia energética de las operaciones y consecuentemente, el potencial de ahorro de energía, que en este caso especial será kWh/hectolitro de mosto diluido.

Paso 5. Determinar los potenciales de ahorro de energía por equipos, áreas o centros de costos, mediante una evaluación técnica detallada en los diferentes campos, como:

- Sistemas eléctricos: evaluación de la transformación y distribución, cargas eléctricas, sistema tarifario, generación propia.
- Sistemas mecánicos: evaluación de sistemas de aire comprimido, sistemas de bombeo, sistemas de manejo de aire, manejo de materiales sólidos.
- Sistemas térmicos: generación de vapor, sistemas de recuperación de calor residual, redes de distribución de fluidos térmicos, sistemas de refrigeración y aire acondicionado, hornos industriales, sistemas de quemadores, etc.

Paso 6. Identificar las medidas apropiadas de ahorro de energía.

Paso 7. Evaluación de los ahorros de energía en términos de costos. Se lleva a cabo una evaluación económica que permite realizar un análisis en función de los

desembolsos requeridos para poner en práctica las recomendaciones del diagnóstico. (Eficiencia Energética, 2002).

De esta forma, destaca la importancia del paso 5 y 6, fundamentales para llegar a la evaluación financiera, por lo que a continuación se analizan los sistemas más importantes dentro del departamento de salas de máquinas y calderas que son el sistema de aire comprimido y de refrigeración.

### Resultados obtenidos de la aplicación del método

#### Recolección de información básica

Dentro de este primer punto se obtuvieron los consumos mensuales de energía eléctrica durante los meses del 2003 de la planta, los cuales se tomaron del recibo de CFE.

De la misma forma, se presenta la producción de hectolitros de comparación de cerveza y la relación kWh/hl de comparación como índice energético para la planta en la tabla 1. El hl de comparación es el promedio de los hectolitros producidos en el área de cocimientos más los hectolitros envasados.

Para interpretar mejor la información, se presenta la figura 1 con los datos graficados, dentro de lo que cabe resaltar que la tendencia de los kWh y la producción en hl es muy similar y aumenta en los meses de mayo a septiembre.

Sin embargo, la gráfica con el índice energético de la planta (kWh/hl de comparación) no sigue esa tendencia y tiene picos de variación significativos, lo cual nos indica que existe un potencial de ahorro de energía en la planta, principalmente en los meses de agosto a noviembre, donde a pesar de que el consumo en kWh y los hl de comparación bajan, la relación tiende a subir.

Después de haber observado la gráfica de consumo de energía eléctrica de la planta, obtenida de los recibos de C.F.E., es importante conocer como se distribuye ésta en las diferentes áreas de la planta.

TABLA 1. CONSUMO DE KWH, PRODUCCIÓN EN HL DE COMPARACIÓN Y RELACIÓN KWH/HL DE COMPARACIÓN TOTALES EN PLANTA EN EL 2003.

Mes	2003		
	kWh	hl comparación	kWh / hl
Enero	2,193,268	193,884	11.31
Febrero	2,024,231	195,934	10.33
Marzo	2,347,590	238,151	9.86
Abril	2,325,465	219,930	10.57
Mayo	2,844,502	285,928	9.95
Junio	2,840,306	285,260	9.96
Julio	3,057,969	299,129	10.22
Agosto	2,958,692	272,745	10.85
Septiembre	2,735,451	250,855	10.91
Octubre	2,661,518	242,770	10.96
Noviembre	2,365,458	229,190	10.32
Diciembre	2,172,874	211,381	10.28
<b>TOTAL</b>	<b>30,527,323</b>	<b>2,925,156</b>	<b>10.44</b>



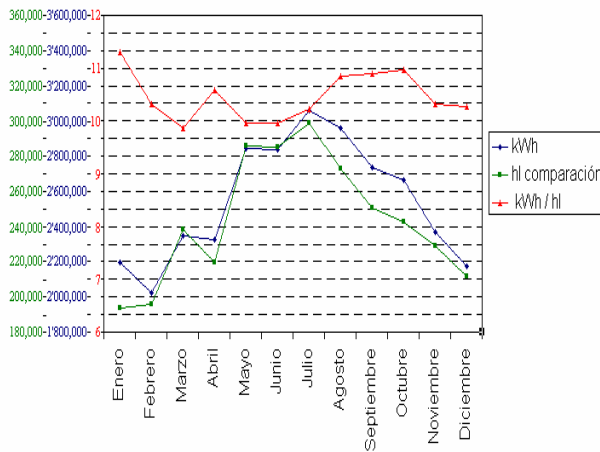


Fig. 1. Gráfica de consumo kWh, hl de comparación y relación kWh/hl .

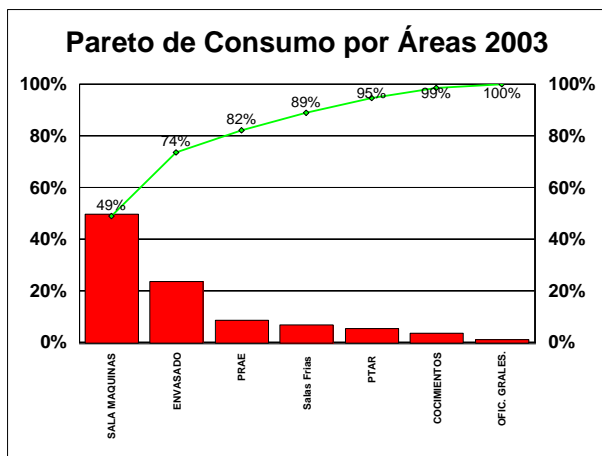


Fig. 2. Gráfico de pareto de consumo en kWh por áreas durante el 2003.

Dentro de la fábrica se tienen 7 áreas específicas con una o más subestaciones para satisfacer las demandas de consumo de energía eléctrica, las cuales son: Envasado (línea 1-5 y 6), planta de tratamiento de aguas residuales, planta de recuperación de agua de embotellado, oficinas generales, sala de máquinas (440 V y 4160 V), salas frías y cocimientos. Se tienen transformadores de 500, 750 y 1000 kVA en las diferentes áreas. Si se suman las capacidades de todos los transformadores de la planta arroja un total de 17,750 kVA.

Sin embargo, cabe señalar que sobresale de manera importante, como capacidad de transformación instalada, el área de sala de máquinas con 7000 kVA, lo que representa el 39.4% del total de la planta.

En la figura 2 se presentan los kWh consumidos en las diferentes áreas de la planta durante el 2003.

Es importante señalar que estos consumos de energía eléctrica se obtuvieron de los diferentes medidores de parámetros eléctricos (marca: Cutler Hammer, modelo: IQ-DP4000) instalados en cada una de las subestaciones, conectados en red a un software de monitoreo y adquisición de datos (Power Net), para registrar de esta forma los parámetros

eléctricos y poder obtener tendencias. De este pareto, se puede observar que el área de mayor consumo es sala de máquinas con casi la mitad del total de la planta (49 %), seguido de envasado y PRAE para completar entre estas tres áreas, el 82 % del consumo de energía eléctrica en la planta. Al final aparecen las áreas de salas frías, PTAR, cocimientos y oficinas generales como las de menor consumo, sumando el 18 % restante.

Una vez comprobado que la mayor área consumidora de energía eléctrica es sala de máquinas, se procede a realizar un levantamiento de las cargas de motores instalados, anotando la potencia en HP, kW, Volts y eficiencia, los cuales se presentan en una hoja de levantamiento de datos en la tabla 2.

Aquí se puede observar que la mayor carga instalada son los compresores de amoniaco Frick 13 y 14 , los cuales son motores de 500 HP cada uno, encontrando también motores de 400 HP, 250 HP, 150 HP, 100 HP, 40 HP, 30 HP, hasta motores fraccionarios.

**Determinación de incidencia del consumo de energía de cada área y equipos contra el total.**

Una vez localizada el área de mayor consumo y obtenido los datos de placa de los motores instalados, se procede a obtener las horas de operación de estos equipos de un mes en específico (para este estudio se tomó el mes de mayo del 2003) y realizar mediciones puntuales de los equipos para corroborar el consumo real en kWh .

Al terminar estas mediciones puntuales, apéndice B, se comparan con el consumo de los medidores de las subestaciones del área durante el mes del estudio, hasta obtener el consumo total de estos medidores con un porcentaje de error de +/- 5 %.

Ya que se ha encontrado el consumo de cada uno de estos equipos en particular, se ponen en orden del consumo mensual de estos y los de mayor impacto se tomarán para realizar propuestas de disminución en su consumo de energía eléctrica. En la tabla 3 se puede observar los equipos ordenados de mayor a menor consumo en kWh , dentro de los cuales el 81.1% del total en kWh son equipos del sistema de refrigeración (Mycom 9 y 10, Frick 1, 2, 11, 13 y 14, ventiladores y bombas de la torre de enfriamiento) y de aire comprimido (Cooper 4 y 5).

Una vez localizado los equipos con el mayor consumo en kWh dentro de Sala de Máquinas y Calderas, se procede a realizar un estudio técnico para encontrar posibilidades de disminución del consumo. En este caso, como lo habíamos mencionado, en los sistemas de refrigeración y aire comprimido.

**Análisis del sistema de refrigeración**

El Departamento de Sala de Máquinas y Calderas tiene como función principal proporcionar los servicios de aire comprimido, refrigeración, vapor y CO2 a las diferentes áreas que lo requieran. En la figura 3 se muestra brevemente las áreas que requieren servicio de este departamento.

Después de conocer que el mayor porcentaje de la refrigeración se está utilizando en la producción, se analizaron los consumos de los equipos usados para generar esta refrigeración, dividiéndolos en compresores y evaporadores, ventiladores y bombas de torres de enfriamiento y equipos booster.

Al analizar los consumos en kWh de estos diferentes equipos se obtuvo la figura 5, de la cual se puede notar claramente que el mayor consumo de energía eléctrica se tiene debido a los compresores y evaporadores del sistema de refrigeración.

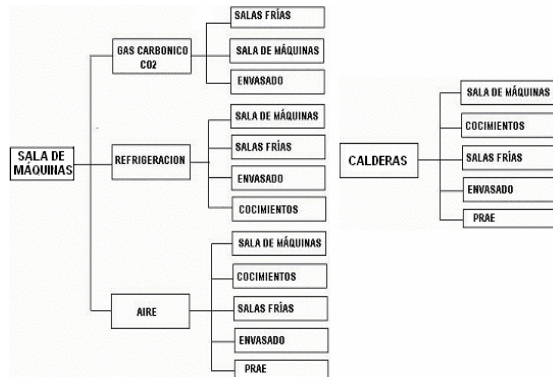


Fig. 3. Áreas de servicio de Sala de Máquinas y Calderas.

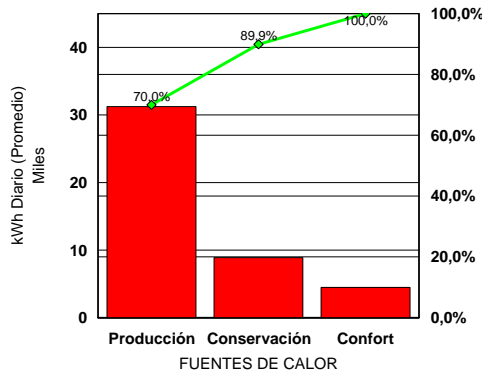


Fig. 4. Principales usos de la refrigeración en planta.

De allí que surge la necesidad de analizar a fondo el sistema de refrigeración de la planta, por lo que en la figura 6 se muestra un diagrama del ciclo de refrigeración, iniciando por la unidad compresora, (1) la cual succiona y comprime el refrigerante elevando a una alta presión para llevarlo al condensador (2) cuya función es hacer el cambio de estado de gas a líquido, posteriormente baja al recipiente termosifón (3) donde se hace la separación gas líquido, continuando el ciclo, el refrigerante baja al tanque de presión controlada (4) del cual se hace la distribución del amoniaco líquido a los evaporadores (5) donde se lleva a cabo el enfriamiento y la temperatura adecuada para el proceso, al evaporarse el líquido el gas es succionado al acumulador de succión (6) donde se separa el refrigerante líquido que baja a la trampa phillips (7) y el gas es succionado por el compresor, para iniciar nuevamente el ciclo.

TABLA 2. HOJA DE LEVANTAMIENTO DE DATOS DE MOTORES EN SALA DE MÁQUINAS Y CALDERAS.

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	H.P.	KW	Volts	Efic.
<b>SALA DE MÁQUINAS</b>				
* TORRE DE ENFRIAMIENTO No. 1				
Motor del ventilador celda 1	75	56,0	460	95,0
Motor del ventilador celda 2	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 1	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 2	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 3	75	56,0	460	95,0
Motobomba ácido sulfúrico	0,125	0,1	440	
Motobomba dióxido de cloro	0,125	0,1	440	
* TORRE ENFRIAMIENTO No. 2				
Motor del ventilador celda 1	75	56,0	460	95,0
Motor del ventilador celda 2	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 1	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 2	75	56,0	460	95,0
Motor bomba 3	75	56,0	460	95,0
Motobomba ácido sulfúrico	0,125	0,1	440	
Motobomba dióxido de cloro	0,125	0,1	440	
Bomba booster agua No. 1	10	7,5	460	87,5
Bomba booster agua No. 2	10	7,5	440	90,0
* COMPRESORES DE AMONIACO				
Motor Frick No. 1	250	186,5	460	95,8
Motor Frick No. 2	250	186,5	460	95,8
Motor Mycom No. 3	100	74,6	440	80,0
Motor Mycom No. 6	150	111,9	440	80,0
Motor Mycom No. 8	50	37,3	440	75,0
Motor Mycom No. 9	400	298,4	4160	81,0
Motor Mycom No. 10	400	298,4	4160	81,0
Motor Frick No. 11	500	373,0	4160	85,0
Motor Frick No. 12	40	29,8	460	91,0
Motor Frick No. 13	500	373,0	4160	93,0
Motor Frick No. 14	500	373,0	4160	93,0
Motor Frick No. 15	50	37,3	460	93,6
Motor de bomba de aceite del compresor Frick No. 11	0,75	0,6	440	86,5
Motor de bomba de aceite del compresor Mycom No. 9	7,5	5,6	440	91,0
Motor de bomba de aceite del compresor Mycom No. 10	7,5	5,6	440	91,0
Motor de bomba de desalojo del compresor Frick No. 14	1,5	1,1	440	84,0
Motor de bomba de aceite del compresor Frick No. 14	1,5	1,1	440	84,0
Motor de bomba de desalojo del compresor Frick No. 13	1,5	1,1	440	84,0
Motor de bomba de aceite del compresor Frick No. 13	1,5	1,1	440	84,0
Motor de bomba de aceite del compresor Frick No. 15	1	0,7	440	82,5
* COMPRESORES DE AIRE				
Motor Cooper No. 5	250	186,5	460	95,0
Motor Cooper No. 4	250	186,5	460	95,0
Motor Joy No. 1	100	74,6	440	79,0
Motor Joy No. 2	100	74,6	440	79,0
Motor Joy No. 3	150	111,9	460	95,8
Motor de bomba de aceite del compresor Cooper No. 5	3	2,2	440	81,5
Motor de bomba de aceite del compresor Cooper No. 4	1,5	1,1	440	87,0
* EQUIPO DE CO2				
Motor de compresor Joy No. 1	60	44,8	440	91,7
Motor de compresor Joy No. 2	60	44,8	440	91,7
Motor de compresor Hasselberg No. 3	40	29,8	440	78,5
Motor de bomba de llenado de tanques	5	3,7	440	84,0
<b>CALDERAS</b>				
* CALDERA No. 1				
Motor Ventilador de Tiro Forzado	30	22,4	440	82,0
Motor bomba No. 1 de combustoleo	3	2,2	440	83,0
Motor bomba No. 2 de combustoleo	3	2,2	440	83,0
* CALDERA No. 2				
Motor Ventilador de Tiro Forzado	30	22,4	440	91,0
Motor bomba No. 1 de combustoleo	3	2,2	440	80,0
Motor bomba No. 2 de combustoleo	3	2,2	440	80,0

De lo anterior se establece que la operación de los compresores esta directamente relacionado a la presión a la que se eleva el amoniaco en el sistema de refrigeración. Esta presión que se maneja en el sistema, presión de succión es de 28 psi y basándonos en que el incremento de presión de succión de los compresores de amoniaco reduce su consumo en kWh, se analiza en las diferentes unidades evaporativas la presión de succión en la cual operan obteniendo la tabla 4. Conociendo la presión de succión del sistema entre 28 y 30 lbs., la cual esta muy por debajo de las presiones de operación de las unidades evaporativas, se incrementa la misma hasta una presión de 35 psi, tomando lectura del comportamiento de la carga instantánea en kW de los compresores de tornillo de

250 HP y 500 HP, observando como disminuye la carga en la figura 7.

Al monitorear las unidades evaporativas se encontró que ocasionalmente el enfriador de agua No.1 de dilución (figura 8) se afectaba en su operación con esta presión de succión y no en el enfriador No.2, por lo que se revisaron las válvulas de corte de amoniaco líquido y reguladoras de amoniaco gas encontrando que para poder estabilizar la temperatura del agua era necesario abrir manualmente la válvula reguladora de alta presión.

Para resolver el problema de la válvula reguladora neumática de succión por cuestión de capacidad se instaló una válvula reguladora con solenoide tipo RS en paralelo con la automática, la cual se energizará cuando la presión suba por encima del setpoint de presión de operación para ayudar a desfogarla.

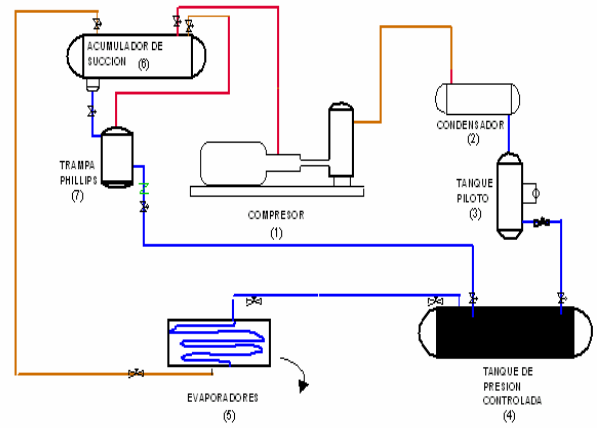


Figura 6. Ciclo de refrigeración en planta.

TABLA 3. RESUMEN DE EQUIPOS ORDENADOS POR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	H.P.	KW	HORAS DE OPERACIÓN MAYO					TOTAL	Kwh MAYO	MEDICIONES Kwh
			5-11	12-18	19-25	26-31				
Motor Frick No. 13	500.0	373.0	144	122	120	115	501	186.873	143.787	
Motor Frick No. 14	500.0	373.0	92	121	83	70	366	136.518	126.636	
Motor Cooper No. 4	250.0	186.5	128	123	164	115	530	98.845	98.792	
Motor Mycom No. 10	400.0	298.4	59	88	98	85	330	96.472	86.790	
Motor Cooper No. 9	250.0	186.5	123	132	149	121	525	97.913	97.860	
Motor Mycom No. 5	400.0	298.4	87	69	60	83	299	89.222	84.916	
Motor Mycom No. 9	250.0	186.5	47	45	55	63	210	39.165	42.210	
Motor Frick No. 1	250.0	186.5	68	35	29	62	204	38.046	41.004	
Motor Frick No. 2	100.0	74.6	127	124	101	109	461	34.391	33.985	
Motor VTF Caldera 3	75.0	56.0	137	134	120	112	502	28.143	28.005	
Motor bomba 3 TE 1	75.0	56.0	114	115	120	111	460	25.737	23.587	
Motor del ventilador celda 1 TE 1	75.0	56.0	131	125	108	95	459	25.681	24.563	
Motor del ventilador celda 2 TE 1	75.0	56.0	126	86	88	120	420	23.499	23.987	
Motor Frick No. 11	500.0	373.0	5	0	23	26	54	20.142	20.628	
Motor bomba 2 TE 1	75.0	56.0	145	135	16	56	352	19.694	19.985	
Motor compresor Joy No. 1 CO2	60.0	44.8	83	126	119	98	426	19.068	18.269	
Motor del ventilador celda 1 TE 2	75.0	56.0	83	78	88	57	306	17.121	16.598	
Motor bomba 1 TE 2	75.0	56.0	0	58	120	113	291	16.281	17.210	
Motor compresor Joy No. 2 CO2	60.0	44.8	76	91	103	85	355	15.890	15.425	
Motor bomba 3 TE 2	75.0	56.0	109	97	65	0	271	15.162	15.652	
Motor Frick No. 15	50.0	37.3	86	123	88	98	395	14.734	13.825	
Motor del ventilador celda 2 TE 2	75.0	56.0	73	121	42	13	249	13.932	13.568	
Motor bomba sulzer No. 4	40.0	29.8	127	124	101	109	461	13.756	14.025	
Motor Joy No. 3 Aire	150.0	111.9	21	23	33	43	120	13.428	13.920	
Motor bomba 1 TE 1	75.0	56.0	7	0	152	55	214	11.973	11.289	
Motor VTF Caldera 1	30.0	22.4	122	139	108	119	488	10.921	10.158	
Motor bomba sulzer No. 1	30.0	22.4	127	124	101	109	461	10.317	9.984	
Motor Joy No. 2 Aire	100.0	74.6	9	10	9	8	36	2.686	3.312	
Motor Mycom No. 3	100.0	74.6	3	6	10	15	34	2.536	2.451	
Motor Joy No. 1 Aire	100.0	74.6	13	11	5	2	31	2.313	2.852	
Bomba booster agua No. 1	10.0	7.5	126	126			252	1.880	1.880	
Motor bomba aceite Mycom No. 10	7.5	5.6	59	88	98	85	330	1.846	1.846	
Bomba booster agua No. 2	10.0	7.5	29	126	115	241	1.798	1.798		
Motor VTF Caldera 2	30.0	22.4	29	17	17	15	78	1.746	1.746	
Motor bomba No. 1 de combustión Caldera 3	5.0	3.7	127	124	101	109	461	1.720	1.720	
Motor bomba aceite Mycom No. 9	7.5	5.6	87	69	60	83	299	1.673	1.673	
Motor bomba No. 2 Envío de combustible	15.0	11.2	28	28	28	28	112	1.253	1.253	
Motor bomba aceite Cooper No. 5	3.0	2.2	123	132	149	121	525	1.175	1.175	
Motor bomba No. 1 de combustión Caldera 1	3.0	2.2	122	139	108	119	488	1.092	1.092	
Motor bomba No. 2 Recepción de comb.	15.0	11.2	24	24	24	24	96	1.074	1.074	
Motor bomba No. 1 Recepción de comb.	15.0	11.2	24	24	24	24	96	1.074	1.074	
Motor bomba No. 1 Envío de combustible	15.0	11.2	28	28			56	627.000	627.000	
Motor bomba No. 3 Envío de combustible	15.0	11.2			28	28	56	627.000	627.000	
Motor bomba No. 4	1.5	1.1	128	123	164	115	530	593.000	593.000	
Motor bomba aceite Frick No. 13	1.5	1.1	144	122	120	115	501	561.000	561.000	
Motor bomba aceite Frick No. 14	1.5	1.1	92	121	83	70	366	410.000	410.000	
Motor bomba aceite Frick No. 15	1.0	0.7	86	123	88	98	395	295.000	295.000	
Motor bomba No. 2 de combustión Caldera 2	3.0	2.2	29	17	17	15	78	175.000	175.000	
Motor bomba aceite Frick No. 11	0.8	0.6	5	0	23	26	54	30.000	30.000	

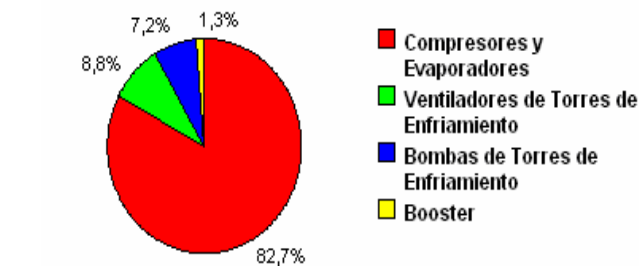


Fig. 5. Porcentaje de consumo de energía eléctrica de los equipos utilizados para el sistema de refrigeración.

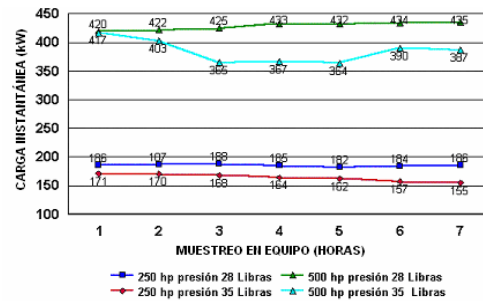


Fig. 7. Comportamiento de la carga (kW) en compresores de 250 y 500 HP.

TABLA 4. PRESIONES DE TRABAJO DE LOS EVAPORADORES EN PLANTA.

Evaporador	Presión en Libras
Difusores	45
Unitanques	36
Enfriadores de Cerveza	38
Enfriadores de agua	45
Banco de Hielo	45

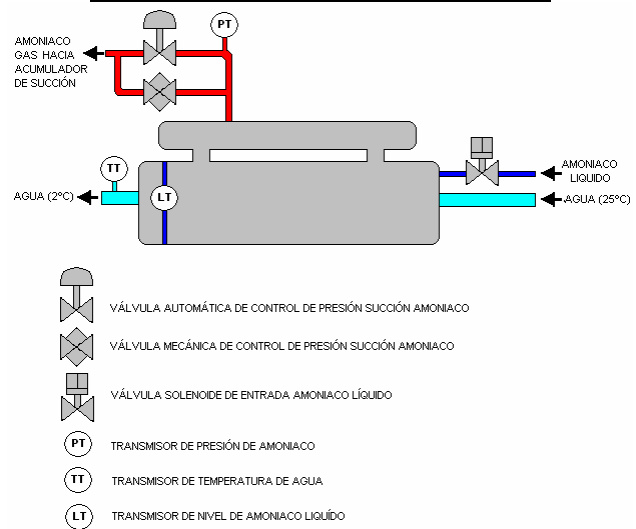


Fig. 8. Diagrama de flujo de enfriador de agua de dilución no. 1.

Después de esto, se evaluó la disminución que se logró con el incremento satisfactorio de la presión de succión del sistema de la siguiente forma:

- Se obtuvo el promedio en el que se disminuyó la demanda en kW de los compresores que normalmente se encuentran en operación que son de 500 HP, 400 HP y 250 HP (tabla 5).
- De la tabla 3 se obtuvieron las horas de operación mensuales de cada uno de los compresores obteniendo lo siguiente:  
 Compresores 500 HP = 867 horas  
 Compresores 400 HP = 683 horas  
 Compresores 250 HP = 414 horas
- Se multiplicaron las horas de operación por la diferencia promedio en kW obtenida en la tabla 5.  
 Disminución Compresor 500 HP = (867 horas) \* (46 kW) = 39,882 kWh  
 Disminución Compresor 400 HP = (683 horas) \* (33 kW) = 22,539 kWh  
  
 Disminución Compresor 250 HP = (414 horas) \* (21 kW) = 8,694 kWh

TABLA 5. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA EN KW EN COMPRESORES DE AMONIACO.

HORA	COMPRESOR 500 HP				COMPRESOR 400 HP				COMPRESOR 250 HP			
	28 PSI (kW)	35 PSI (kW)	Disminución (kW)	%	28 PSI (kW)	35 PSI (kW)	Disminución (kW)	%	28 PSI (kW)	35 PSI (kW)	Disminución (kW)	%
00:00	420	417	3	1%	285	267	18	6%	183	172	12	7%
01:00	422	403	19	5%	287	254	33	11%	187	170	17	9%
02:00	425	365	60	14%	290	254	36	12%	188	168	20	11%
03:00	433	367	66	15%	298	265	33	11%	185	164	21	11%
04:00	432	364	68	16%	297	265	32	11%	182	162	20	11%
05:00	434	390	44	10%	299	259	40	13%	184	157	27	15%
06:00	435	387	48	11%	300	267	33	11%	186	155	31	17%
07:00	429	390	39	9%	294	264	30	10%	185	163	22	12%
08:00	428	391	37	9%	293	256	37	13%	186	163	23	12%
09:00	415	372	43	10%	280	248	32	11%	185	164	21	11%
10:00	417	371	46	11%	282	249	33	12%	183	161	22	12%
11:00	430	393	37	9%	295	258	37	13%	182	161	21	12%
12:00	439	387	52	12%	304	263	41	13%	183	163	20	11%
13:00	410	374	36	9%	275	239	36	13%	184	164	20	11%
14:00	419	378	41	10%	284	254	30	11%	185	163	22	12%
15:00	421	379	42	10%	286	253	33	12%	185	164	21	11%
16:00	426	369	57	13%	291	259	32	11%	184	161	23	13%
17:00	429	386	43	10%	294	257	37	13%	183	162	21	11%
18:00	421	384	37	9%	286	249	37	13%	182	164	18	10%
19:00	429	381	48	11%	294	261	33	11%	182	163	19	10%
20:00	433	367	66	15%	298	268	30	10%	183	163	20	11%
21:00	432	364	68	16%	297	265	32	11%	184	164	20	11%
22:00	434	390	44	10%	299	259	40	13%	185	163	22	12%
23:00	429	379	50	12%	294	266	28	10%	185	162	23	12%
PROMEDIO	427	381	46	11%	292	258	33	11%	184	163	21	11%

Por lo tanto se tiene un ahorro mensual de 71,115 kWh por subir la presión de succión de 28 a 35 psi.

**Análisis del sistema de aire comprimido**

El sistema de generación de aire inicia en los compresores donde el aire del ambiente se incorpora al sistema de compresores y es comprimido, posteriormente pasa a través de un post-enfriador para eliminar humedad y bajar su temperatura, luego llega al tanque de aire húmedo el cual sirve de distribuidor para los departamentos que lo requieran en estas condiciones (envasado, tanques de combustóleo y tolvas de bagazo); después pasa por la secadora donde al aire se le elimina la humedad y por último llega al tanque distribuidor de aire seco. Éste alimenta de aire seco a los departamentos que lo requieran, tal como se puede ver en la figura 9.

El sistema de generación de aire cuenta con dos compresores de tipo centrífugos de la marca Cooper con una capacidad de 1200 ft<sup>3</sup>/min y cinco compresores auxiliares de la marca Joy de tipo recíprocante: dos de 850 ft<sup>3</sup>/min, uno de 600 ft<sup>3</sup>/min y dos de 435 ft<sup>3</sup>/min.

Se obtuvieron gráficas del comportamiento de la presión del sistema de generación de aire comprimido donde, como se había visto anteriormente, el ciclo inicia cuando el aire se incorpora al sistema para comprimirlo y elevar su presión a un setpoint de 100 PSI, al entrar en operación los compresores, éstos paran y vuelven a arrancar para mantener esta presión de operación y de las veces que operan los compresores depende el consumo en kWh.

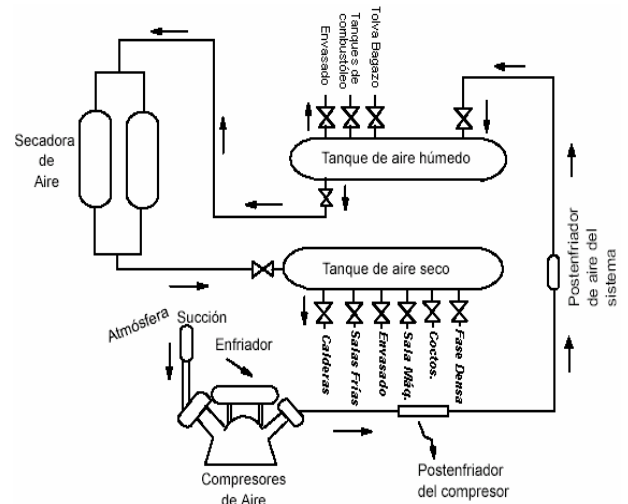


Fig. 9. Sistema de aire comprimido en planta.

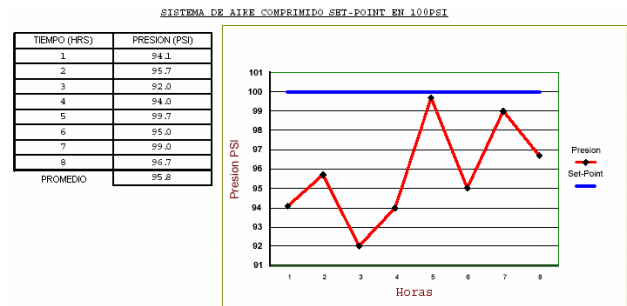


Fig. 10. Cambios en el setpoint de presión de aire comprimido en planta.

Una vez conociendo el setpoint de operación, se procedió a comprobar en un turno (ocho horas) el comportamiento del mismo, obteniendo la gráfica de la figura 10.

Aquí se puede observar que se tiene una variación de presión entre 92 y 100 psi, con un promedio de 95.8 psi, por lo que se procedió a verificar las presiones de operación de las diferentes áreas de servicio de aire comprimido.

Así, se elaboró un gráfico de barras, figura 11, para mostrar los equipos más importantes y su presión de operación, que en un momento dado pueden ser afectados por una disminución en la misma. Se observa que Kelcoloid y ozonador son los que operan con una presión más alta, que es de 80 psi, por lo tanto considerando el setpoint de 100 psi del sistema, está muy por arriba de este valor y tomando en cuenta que las bajas en la presión son en promedio 4.2 psi, existe la posibilidad de bajar la presión hasta 85 psi para obtener una reducción de energía en la generación de aire comprimido.

De esta forma se procedió a disminuir el setpoint de operación a 85 psi obteniendo una disminución en el consumo medido en el compresor de aire de 250 HP, de acuerdo a la tabla 6.



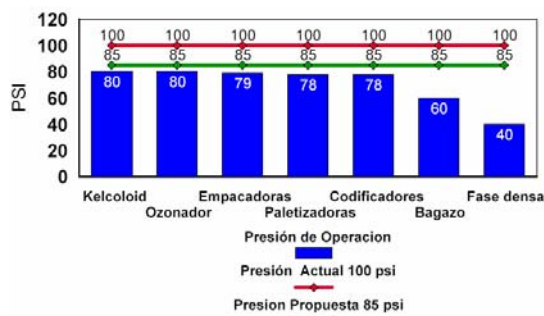


Fig. 11. Presiones de operación de aire en los diferentes equipos de planta.

TABLA 6. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA EN KW DE COMPRESOR.

COMPRESOR 250 HP				
HORA	100 psi (kW)	85 psi (kW)	Disminución (kW)	%
00:00	185	164	21	11%
01:00	189	170	19	10%
02:00	190	170	20	11%
03:00	187	166	21	11%
04:00	184	164	20	11%
05:00	186	168	18	10%
06:00	188	170	18	10%
07:00	187	167	20	11%
08:00	188	168	20	11%
09:00	187	168	19	10%
10:00	185	167	18	10%
11:00	184	166	18	10%
12:00	185	167	18	10%
13:00	186	168	18	10%
14:00	187	169	18	10%
15:00	187	166	21	11%
16:00	186	167	19	10%
17:00	185	164	21	11%
18:00	184	166	18	10%
19:00	184	165	19	10%
20:00	185	165	20	11%
21:00	186	166	20	11%
22:00	187	165	22	12%
23:00	187	164	23	12%
PROMEDIO	186	167	20	10%

TABLA 7. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE AMBAS ALTERNATIVAS.

Beneficios en cada sistema	Beneficios (pesos m.n.)	
	Sistema de aire acondicionado	Sistema de aire comprimido
Periodo Invierno	\$ 292,742.77	\$ 86,459.00
Periodo Verano	\$ 429,846.74	\$ 116,172.10
Total anual	\$ 722,589.51	\$ 202,631.10

De la tabla 3 se obtuvieron las horas de operación mensuales de cada uno de los compresores de aire, Cooper 4 y 5, los cuales funcionaron 1,055 horas.

Al multiplicar las 1,055 horas por la disminución promedio de la demanda en kW del compresor de 250 HP, que son 20 kW, se obtiene el ahorro mensual en kWh.

Al realizar la operación anterior, se obtiene una disminución mensual de 21,100 kWh en los compresores de aire comprimido por bajar la presión de operación de 100 a 85 psi.

**Evaluación económica de soluciones**

En este último punto se evalúa económicamente la implantación de las soluciones propuestas en el punto anterior, para lo cual se debe obtener en primer lugar los beneficios económicos que se obtienen debido a la disminución del consumo de energía eléctrica y en segundo lugar los gastos o inversiones realizadas para implementar las soluciones. Para obtener el beneficio económico de ambos sistemas se evalúa el

costo de disminuir el consumo de energía eléctrica obtenido en el punto anterior, de acuerdo a las tarifa de CFE, que en este caso es la tarifa HSL. Para esto se toma en cuenta los dos periodos con los que cuenta esta tarifa, el periodo de invierno y el periodo de verano, tomando en consideración los costos de kWh y demanda facturable del mes de julio de 2004, el cual es el dato más actualizado con el que se cuenta.

El beneficio obtenido en la disminución del consumo de energía eléctrica en los sistemas de refrigeración y de aire comprimido se resume en la tabla siguiente.

**III. CONCLUSIONES**

Se puede observar y comprobar la importancia del diagnóstico energético como herramienta de identificación de las principales cargas consumidoras de energía eléctrica dentro de un sistema.

La aplicación de este método lleva de lo general, el total de cargas que contribuyen al consumo total de energía eléctrica, a lo particular para llegar a las cargas específicas que están consumiendo el mayor porcentaje de energía eléctrica, ya sea por su potencia demandada o por sus horas de operación.

Otro aspecto a resaltar es la importancia de analizar un sistema de acuerdo a su diagrama de flujo de operación, con lo cual se logran soluciones buenas con poca inversión en su implementación, como lo fue el subir la presión de succión del sistema de refrigeración y el bajar la presión de operación del sistema de aire comprimido, acciones que tienen un impacto sobresaliente en la disminución del consumo de energía eléctrica y por ende en beneficio económico para la empresa.

La aplicación de este método es inductivo, llevando de todas las cargas que contribuyen al consumo total de energía eléctrica, a las cargas específicas que están consumiendo el mayor porcentaje de energía eléctrica, ya sea por su potencia demandada o por sus horas de operación.

**REFERENCIAS**

- [1] www.conae.gob.mx, 2003
- [2] www.sede.gob.mx, 2003
- [3] www.fide.org.mx
- [4] BACBOCK, Daniel L. Managing Engineering Technology.
- [5] DOSSAT, Roy J., 1988, Principios de Refrigeración, Editorial Continental.
- [6] EZQUERRA PIZÁ, Pere, 1988, Dispositivos y sistemas para el ahorro de energía, Editorial Marcombo,.
- [7] GAYNOR, Gerald., 1999, Manual de Gestión en Tecnología. McGraw-Hill. Colombia.
- [8] Improving Compressed Air System Performance, November 2003, U.S. Department of Energy,
- [9] DOE/GO-102003-1822.
- [10] NIGEL, Cross, 1999, Métodos de Diseño. Editorial Limusa. México.
- [11] Revista Informativa del Ahorro de Energía Eléctrica, FIDE, Año 11. Número 42, páginas 39-44.
- [12] WENDES, Herb, 1994, HVAC Retrofits: Energy Savings Made Easy,, The Fairmont Press Inc.,

**Gilberto Díaz Caravantes** candidato al grado de Maestro en Ingeniería en Tecnología Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Sonora. Actualmente labora como Jefe de Mantenimiento Eléctrico en Cervecería Modelo del Noroeste, S.A. de C.V., donde ha trabajado también como ingeniero de proyectos área electrónica de julio de 1997 a septiembre de 2001. Laboró como supervisor de materiales en Thomas & Betts en Empalme, Sonora de junio de 1996 a julio de 1997. [gildiazc@hotmail.com](mailto:gildiazc@hotmail.com)

**Jesús Héctor Hernández López** egresó en 1996 del Instituto Tecnológico de Sonora como Ingeniero Electricista, en 2001 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Desde el año 2001 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor–Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora. [jehdez@itson.mx](mailto:jehdez@itson.mx)

**Rafael León Velázquez** egresó de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1985 como Ingeniero Mecánico Electricista, de 1985 a 1988 se desempeñó como jefe de mantenimiento en un centro comercial; en 1995 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la UANL Desde 1984 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. [rleon@itson.mx](mailto:rleon@itson.mx)

**Armando Ambrosio López** egresó en 1997 del Instituto Tecnológico de Sonora como Ingeniero Electricista; de 1997 a 1999 cursó la Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, obteniendo el grado en 2001. Desde el año 1999 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor–Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora. [aambrosi@itson.mx](mailto:aambrosi@itson.mx)

# Autogeneración de energía eléctrica una alternativa para disminuir los gastos por consumo en los horarios punta

Rafael León Velázquez, Carlos Ybarra Frías, Jesús Héctor Hernández López

**Resumen—** En este artículo se realiza un análisis de las ventajas que se pueden tener al contar con un sistema de autogeneración, es por ello que se lleva a cabo este estudio para determinar si es factible instalar un sistema de este tipo en los horarios en donde el costo de energía es alto, más en aquellas empresas donde el consumo de energía representa un fuerte gasto de operación.

En la actualidad las empresas que tienen perfiles de carga altos y constantes pueden ser candidatas a ser evaluadas para instalar este tipo de sistemas.

**Palabras clave—** Autogeneración, horarios punta.

## I. INTRODUCCIÓN

La autogeneración de energía eléctrica es la producción de electricidad con motores de ciclo Otto a gas natural. Estos motores impulsan a un alternador (monofásico o trifásico) que suministra la energía necesaria para las distintas aplicaciones industriales y comerciales.

En la actualidad existen empresas que demandan grandes cantidades de energía en horario punta, por ello es recomendable evaluar alternativas y encontrar aquella que sea más viable para trabajar en los momentos en que la energía es más cara, en base a lo anterior nos hacemos la siguiente pregunta.

**¿Cuándo le conviene auto generar la electricidad a una empresa?**

Cuando su empresa tiene:

Manuscrito recibido el 5 de julio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

M. en C. Rafael León Velázquez actualmente se desempeña como Jefe del 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 rleon@itson.mx)

Carlos Everardo Ybarra Frías actualmente se encuentra laborando en la empresa American Safety Razor de México como Ing. de procesos. cybarra@asrco.com

M. en C. Jesús Héctor Hernández López actualmente labora como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica 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 jehdez@itson.mx)

- Un bajo factor de utilización de Potencia.
- Procesos que utilizan la potencia y /o consume la energía en horarios picos.
- Proceso de arranque de motores eléctricos de gran potencia en forma simultánea.
- Un servicio eléctrico de calidad deficiente (cortes imprevistos, baja tensión, etc.).

Es muy conocido por todos la importancia de saber vender la idea de cualquier proyecto a los empresarios, es por ello que el estudio costo beneficio de cualquier proyecto de ingeniería juega un papel muy importante, en el momento de tomar una decisión financiera.

En la actualidad en México se llevan a cabo diferentes estrategias que apoyen a los usuarios para que hagamos un buen uso eficiente de los recursos energéticos, como por ejemplo a través de programas de ahorro de energía impulsados por C.F.E., CONAE y FIDE.

## II. DESARROLLO

A continuación se describen cada uno de los pasos que se consideraron para la evaluación del sistema de autogeneración.

### A. Diagnóstico Energético

Se llevó a cabo un diagnóstico energético en la empresa AMERICAN SAFETY RAZOR COMPANY. (ASR).

El levantamiento de cargas consistió en el monitoreo individual del consumo energético de cada equipo instalado en la empresa, equipos tales como: *chillers*, A/A, moldeadoras, ensambladoras y compresores.

Con este monitoreo del equipo se obtuvo la gráfica del perfil de carga de la empresa, el cual tiene un valor promedio de 2800 Kwh, en la figura 1 se muestra el comportamiento de dicha carga, donde se tiene una producción continua de 24 horas los 7 días de la semana.

Esta gráfica de perfiles de carga es muy inusual, puesto que son pocas las empresas que cuentan con procesos de producción tan estables como esta gráfica lo ilustra.



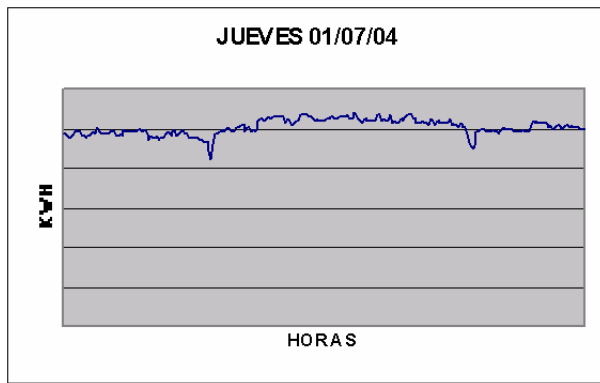


Fig. 1. Perfiles de Carga.

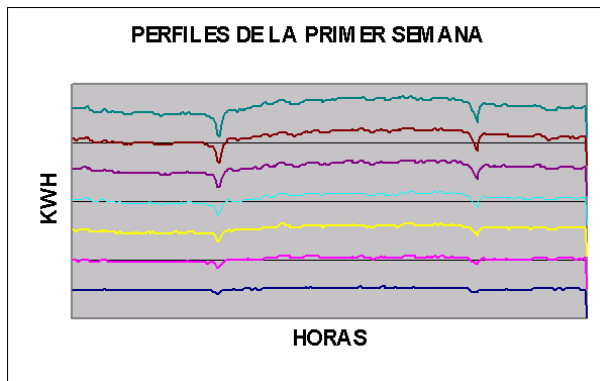


Fig. 2. Perfil de carga de una semana.

De la misma manera, se muestra una gráfica de los perfiles de carga de una semana de trabajo de la empresa para demostrar la continuidad de la demanda eléctrica con la que se cuenta.

**B. Propuesta**

La propuesta de auto generación está enfocada a la generación de energía eléctrica en el horario punta el cual consiste en un periodo de una duración en la región noroeste. Del 16 de mayo al sábado anterior al último domingo de octubre.

El tiempo en horas de consumo de energía en este período (Horario punta) corresponde a 840 horas al año. Tiempo en el cual el costo del kWh de energía eléctrica se duplica, a este costo se le debe de agregar el costo del kWh por concepto de Demanda Facturable (DF) en horario punta, el cual llega a ser un gasto tan considerable como el mismo costo de la energía consumida en el horario punta.

**C. Análisis de Factibilidad**

El proyecto de auto generación es un sistema que proporciona grandes ahorros a las empresas que lo implementan. Debido a que el costo real del Kwh que CFE proporciona a las empresas en horario punta es un 50 % más caro que el Kwh auto generado.

A estos ahorros provocados por la auto generación se les tiene que agregar los ahorros que se obtienen por el concepto de DF, puesto que al momento de auto generar energía en horario punta el cobro por DF desaparece. Este es uno de los

factores que convierten a los proyectos de auto generación en una alternativa más viable de lo que muchos piensan, debido a que el costo en el horario punta del Kwh en DF es de \$185.73.

En las siguiente información se muestra una comparación de lo que se paga por concepto de DF en un mes con horario punta en tarifa H-M contra lo que se pagaría en un mes con el mismo consumo de energía eléctrica, solo que en esta parte se auto genera la energía eléctrica en el horario punta.

DEMANDA FACTURABLE EN  
TARIFA H-M CON PUNTA

$$D.F.=DP + FRI(DI - DP) + FRB(DB - DPI)$$

$$D.F.=3300+0.162(3300-3300)+0.081(0-3300)$$

$$D.F.= 3300+0.081(-3300)$$

$$D.F.=3300-267.6$$

$$D.F.= 3,032.7 \text{ kWh} * 185.73 \text{ pesos}$$

$$D.F.= \$563,263.37$$

DEMANDA FACTURABLE EN  
TARIFA H-M SIN PUNTA

$$D.F.=DP + FRI(DI - DP) + FRB(DB - DPI)$$

$$D.F.= 0 + 0.162(3300-0)+0.081(0-3300)$$

$$D.F.= 0+0.162(3300)+0.081(-3300)$$

$$D.F.=\$534.6 - 267.3$$

$$D.F.=267.3 \text{ kWh} * 185.73 \text{ pesos}$$

$$D.F.= \$49,645.629$$

No obstante de los grandes ahorros que se logran con la auto generación, el diesel se encuentra subsidiado para el uso exclusivo de auto generación de energía, por el programa IESP, que otorga un 38% de descuento al diesel en la región de Sonora.

En la siguiente tabla se muestran los consumos de diesel para generar 4500 kWh.

Se muestra los litros consumidos por hora, día, semana, mes y durante todo el periodo del horario punta, esta tabla viene con el costo del diesel ya con el descuento aplicado del 38%.

Consumo en litros de diesel al año por auto generación

5.157 kwh	Por litros de aceite
-----------	----------------------

Esto es .193 litros de diesel por kwh generado cantidad de litros requerido al año de diesel para generar 2,772,000 kWh.  $(0.19391 * 2,772,000 \text{ kWh}) = 537,600$ . al año.

En la tabla 2 se muestran los consumos de litros de diesel en cada uno de los periodos.

TABLA 1. DATOS DE TARIFA H-M EN PUNTA.

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes		0:00 - 13:00 17:00 - 20:00 23:00 - 24:00	13:00 - 17:00 20:00 - 23:00
Sábado		0:00 - 24:00	
Domingo y festivo		0:00 - 24:00	

TABLA 2. CONSUMO Y COSTOS DE LOS LITROS DE DIESEL.

Litros de diesel	Costo por litro	Costo total
Año	537600	\$3.38
Semana	22400	\$3.38
Diario	4480	\$3.38
Hora	640	\$3.38
		\$2163.20

D. Amortización del equipo

A continuación se muestra el estudio de amortización en el tiempo del costo total del equipo, esta amortización está hecha tomando en cuenta los ahorros de la Demanda Facturable.

Costo por consumir 2,772,000 kwh al año en horario punta

*El costo del Kwh en horario punta es de \$1.7722.*

	KWH AL AÑO	COSTO AL AÑO
\$1.7722	2,772,000Kwh	<u>\$4,912,538.4</u>

Costo por unidad del equipo de auto generación con capacidad de 1500 kWh. Se requieren tres equipos, con un costo unitario de \$3,289,766.6 Pesos, que esto nos da un total de inversión de \$9,869,300 Pesos.

Ahorro real después de Demanda Facturable.

Costo al año por consumo a en Punta CFE = \$ 4,912,538.4

Costo al año por D.F. en Punta = \$3,346,281.1

Estos dos gastos en horario Punta nos dan un total de = \$ 8,258,819.5 Pesos.

A continuación presentamos el ahorro real que se obtendría con la auto generación de la energía en horario punta.

Costo real al año por consumos a CFE = \$ 8,258,819.5.

Menos el costo de los costos por auto generación \$ 1,817,088 menos el costo de la D.F. con auto generación que es de \$ 295,051.08. Esto nos arroja un ahorro total de \$ 6,146,680.5 Pesos.

A este ahorro de \$6,146,680.5 se le quita el costo por mantenimiento del equipo de auto generación que es de \$138,600 pesos al año, esto nos da un ahorro total de \$ 6,008,080.5.

Para obtener el tiempo de recuperación del equipo en el tiempo vamos a dividir el costo total del equipo entre el ahorro

real por auto generación, esto es \$9,869,300/\$6,008,080.5 con un tiempo de recuperación de 1.64 años.

III. CONCLUSIONES

Este tipo de alternativas “auto generación” son muy viables evaluarlas para cuando los perfiles de carga son muy planos y la demanda de energía es considerable, es por ello que es valido considerar otro tipo de fuente de energía mas en aquellos horarios donde el costo de energía es muy alto y a la vez sirven también para reducir picos en algunos perfiles que los presentan en horario punta.

Es importante en la actualidad crear conciencia y evaluar otras tecnologías como opciones de fuente de energía, como por ejemplo las energías renovables que a la vez ayudarán a la conservación del medio ambiente.

REFERENCIAS

- [1] Fideicomiso para el Ahorro de Energía, FIDE 2003, www.fide.org.mx. Normalización y eficiencia energética.
- [2] Revista del FIDE “Energía Racional”.
- [3] Comisión Nacional para el Ahorro de Energía: Normas oficiales mexicanas de eficiencia energética, 2003. www.conae.gob.mx
- [4] www.igsa.com.mx
- [5] www.cfe.gob.mx

**Rafael León Velázquez** egresó de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1985 como Ingeniero Mecánico Electricista, de 1985 a 1988 se desempeñó como jefe de mantenimiento en un centro comercial; en 1995 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la UANL Desde 1984 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. rleon@itson.mx

**Carlos Everardo Ybarra Frías** egresó de la carrera de Ingeniero Industrial Electromecánico en el Instituto Tecnológico de Sonora en el 2001, es estudiante de la Maestría en Ingeniería en Administración de la Tecnología Eléctrica, actualmente se encuentre laborando en la empresa American Safety Razor de México como Ing. de procesos. cybarra@asrco.com

**Jesús Héctor Hernández López** egresó en 1996 del Instituto Tecnológico de Sonora como Ingeniero Electricista, en 2001 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Desde el año 2001 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora. jehdez@itson.mx

# Estudio de iluminación de la planta sales del valle del parque industrial de Cd. Obregón, Sonora.

Felix Rodrigo Villegas Valenzuela, Gabriel Núñez Román

**Resumen**— El presente trabajo se llevó a cabo en la nave industrial de una planta empacadora de sal, en los espacios que corresponden a las áreas de producción, insumos, oficina, producto terminado, embarque y almacén. La metodología consistió en realizar un estudio de campo con el objetivo de conocer la situación real en que se encuentra la planta, permitiendo de esta manera obtener un diagnóstico preciso que logró en función de ello, sustituir equipo de iluminación convencional por equipo de iluminación eficiente y ahorrador de energía.

La metodología consideró el estudio de factibilidad técnico-económico, considerando dos actividades principales: la evaluación técnica y la evaluación económica. Finalmente, con los resultados de la evaluación económica se determina el análisis costo/beneficio. En base a este análisis se propone la reposición de activos, es decir, llevar a cabo la sustitución de equipo de iluminación convencional por equipo de iluminación eficiente y ahorrador de energía.

**Palabras clave**— Ahorro de energía, iluminación eficiente.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de iluminación y alumbrado son en la actualidad una de las prioridades más fuertes para cualquier industria, comercio y residencia, ya que sin ellos los antes mencionados no podrían completar ó culminar sus procesos, ni extenderse a incorporar procesos nocturnos.

En este trabajo se considera principalmente el ahorro de energía eléctrica, ya que la competitividad de las empresas actualmente radica en este concepto, y mediante el mismo se establecen criterios de evaluación para elegir la mejor propuesta en equipos e instalación, sin dejar de considerar las normas de utilización de energía eléctrica vigentes.

La planta empacadora de sal, ubicada al sureste de la ciudad, en la primera sección de la zona industrial, está interesada en llevar a cabo este proyecto de inversión para el ahorro de energía eléctrica.

La metodología consistió en realizar un estudio de campo, con el objetivo de conocer la situación real en que se encuentra la planta, permitiendo de esta manera obtener un diagnóstico preciso que logra en función de ello, determinar acciones a seguir para obtener los resultados adecuados en uso eficiente de la energía eléctrica, siendo éste, la sustitución de equipo de iluminación convencional por equipo de iluminación ahorrador de energía.

La metodología consideró el estudio de factibilidad técnico-económico, considerando tres actividades principales:

- La evaluación técnica, en cuanto a sus condiciones de diseño y operación.
- Evaluación económica, considerando las inversiones, costos y beneficios con base a la información técnica-económica de los equipos y sistemas analizados.

Finalmente, con los resultados de la evaluación económica se determina el análisis costo-beneficio. En base a este análisis se desarrolló la propuesta para encontrar el periodo de recuperación de la inversión, que consistió en la reposición de activos, es decir, se hizo la sustitución de equipo de iluminación convencional por equipo de iluminación ahorrador de energía.

## II. DESARROLLO

A continuación se presenta la metodología utilizada para el cálculo de corrección y mejora del nivel de iluminación requerido para la nave industrial, según [Manual Eléctrico CONELEC, 1989].

### A. Método De Cavidad Zonal:

Paso 1. Determinar el tipo de trabajo que se desarrollará en el local, y así conocer la cantidad y calidad de luz necesitada.

Consultar norma oficial NOM-025-STPS-1999, condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

Paso 2. Determinar la fuente luminosa que se usará.

Consultar información de fabricantes de luminarios de acuerdo a las características de operación que sean requeridas para el área de trabajo.

Paso 3. Determinar las condiciones ambientales que prevalecerán en el área.

Se deben obtener así los efectos del polvo, suciedad y ambiente.

Manuscrito recibido el 8 de junio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales. Felix Rodrigo Villegas Valenzuela (e-mail: ferviv313@hotmail.com). Gabriel Núñez Román. 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)

Paso 4. Determinar las condiciones físicas y operaciones del área y como se usará.

Esto incluye las dimensiones del local, reflectancias, plano de trabajo, horas diarias de trabajo y años que el sistema será usado.

Paso 5. Seleccionar el luminario que se va a usar, algunos factores que ayudan a determinarlo son:

- a) altura de montaje
- b) tipo de lámpara seleccionada
- c) depreciación del luminario
- d) restricciones físicas del montaje
- e) mantenimiento
- f) costo, tamaño y peso
- g) aspecto estético.

Paso 6. Determinar factores de depreciación de luz para el área, dividida en dos categorías:

a) no recuperables: temperatura ambiental, voltaje de alimentación, características del balastro y características de la superficie del luminario.

b) recuperables: depreciación de la producción lumínica de la lámpara, lámparas fuera de operación, depreciación de la luminaria debido al polvo, depreciación de la superficie del local debido al polvo.

Multiplicando todos los factores de pérdida es como se obtiene un factor de pérdida neta.

Los dos factores que afectan en mayor proporción la pérdida de luz son:

L.L.D. = depreciación de lúmenes de lámpara y

L.D.D. = depreciación del luminario debido al polvo.

Multiplicando estos dos factores es como se obtiene el Factor de Mantenimiento (m.f.).

Paso 7. Cálculo de las relaciones de cavidad:

- a) Del local.
- b) Del techo.
- c) Del piso.

Para el cálculo de la relación de cavidad se utiliza la fórmula 1.

$$\text{Relación de cavidad} = \frac{5 \times \text{altura} \times (\text{largo} + \text{ancho})}{\text{largo} \times \text{ancho}} \quad (1)$$

donde:

altura = altura de cavidad del local, piso o techo según el caso.

Paso 8. Determinar las reflectancias efectivas correspondientes a las cavidades de techo y piso.

Este procedimiento contempla el efecto de interreflexión de la luz considerando las diferentes superficies del local. Si todas las superficies son altamente reflectivas, o si los luminarios se encuentran localizados directamente en el techo no será necesario efectuar este cálculo. En este caso se puede usar el valor actual de las reflectancias de las superficies (estimadas o medidas) para determinar el coeficiente de utilización.

Paso 9. Determinar el coeficiente de utilización.

Este se encuentra en los datos técnicos proporcionados por el fabricante para el luminario que se usará. Para esto se debe conocer primeramente las reflectancias efectivas de techo, pared y piso.

Un valor de reflectancia de piso es del 20%.

Paso 10. Calcular el número de luminarios que se requieren de acuerdo a la fórmula 2.

$$\text{Lum.} = \frac{\text{nivel luminoso} \times \text{área}}{\text{lámp.} / \text{lum.} \times \text{lúmenes} / \text{lámp.} \times \text{c.u.} \times \text{m.f.}} \quad (2)$$

donde:

c.u. = coeficiente de utilización.

m.f. = factor de mantenimiento.

Paso 11. Cálculo de la DPEA.

Para calcular la Densidad de Potencia Eléctrica en Alumbrado se utiliza la fórmula 7.3

$$\text{DPEA} = \frac{P (\text{conectada})}{A} \quad (3)$$

donde:

DPEA = densidad de potencia eléctrica para alumbrado

P (conectada) = carga total conectada de alumbrado

A = área total por iluminar.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio de iluminación fue realizado para todos y cada uno de los equipos luminosos con que cuenta la planta actualmente, en lo que se refiere a las seis secciones en que se divide toda la nave de producción.

Las cantidades de equipo con que cuenta la nave, especificadas de acuerdo a sus características de iluminación son las siguientes:

- 8 lámparas de vapor de sodio de 400 W, 220 V.
- 3 lámparas de vapor de sodio de 250 W, 220 V.
- 4 reflectores de 400 W, 220 V.
- 2 reflectores de 250 W, 220 V.
- 11 lámparas fluorescentes 2 x 39 W, 127 V.
- 4 lámparas fluorescentes de 22 W, 127 V.
- 5 lámparas incandescentes de 150 W, 127 V.

Como era de esperarse, casi en su totalidad, los equipos de iluminación presentaron un nivel lumínico por debajo del mínimo recomendado, y en algún caso, nulo.

Para obtener los valores de la tabla 1, se seleccionaron las siguientes luminarias:

- Se utilizó una luminaria marca Enduralume, sellada y con filtro anticorrosivo, contra polvo y humedad, contaminación alta, con lámpara de aditivos metálicos de 250 W. En las áreas de producción, insumos, producto terminado, embarque y almacén.
- Se consideró una luminaria sellada y con filtro anticorrosivo, contra polvo y humedad, contaminación alta, con lámpara fluorescente de 2x39 W, T-8 con balastro electrónico en las áreas de producción y oficina del supervisor.

De acuerdo a lo observado en las tablas 2 y 3, el consumo de energía eléctrica disminuye, por lo tanto, se tiene un ahorro de \$36,387.29 pesos del año. Por otro lado, al adquirir un sistema lámpara-balastro electrónico 2x32 W, con sello FIDE, se otorgará un incentivo de \$51.20. Como se tienen 18 luminarias, el ahorro será de \$921.60; obteniéndose así, un ahorro total de \$37,308.89.

TABLA 1. RESULT. OBT. EN CÁLCULO DE LUMINARIAS.

Lugar	Nivel de iluminación requerido (luxes)	No. de luminarias	Nivel de iluminación mínimo (luxes)	DPE A (W/m <sup>2</sup> )
Producción	300 500 (localizado)	20 2	307.63 581.82	10.42
Almacén de insumos	50	4	151.28	7.57
Oficina de supervisor	350	1	404.37	10.59
Producto terminado	200	12	228.28	8.33
Embarque	200	12	249.44	9.37
Almacén general	50	3	95.31	4.62

TABLA 3. CONSUMO DE ENER. ELÉCT. DE EQUIPO AHORRADOR DE ENERGÍA.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	POT. (W)	POT. TOTAL (kW)	Hrs. año	Consumo anual (kWh.)	Importe anual (pesos)*
18	Lum. Holophane 2x32 W, T-8	80	1.44	4,200	6,048	5,291.09
51	Lum. Holophane A.M. 250 W.	312	15.912	4,200	66,830.40	58,466.57

\*Considerando un precio promedio de \$0.87485 / kWh..

TABLA 4. INSTALACIÓN DE EQUIPO CONVENCIONAL.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
18	Luminario convencional 2x39 W, T-12.	890	16,020.00
51	Luminario convencional VSAP 400 W.	1,725	87,975.00

TABLA 5. INSTALACIÓN DE EQUIPO AHORRADOR DE ENERGÍA.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
18	Luminario Holophane 2x32 W, T-8.	1,428.50	25,713.00
51	Luminario Holophane A.M. 250 W.	2,875	146,625.00

En las tablas 4 y 5 se observan los costos de la instalación tanto de unidades convencionales como de unidades ahorradoras, observándose un costo adicional de \$68,343.00 al instalar unidades ahorradoras, pero se generará un ahorro anual de \$37,308.89; considerando una inversión de \$172,338.00; el periodo de recuperación de la inversión será de 1 año, 9 meses y 29 días.

Con esta cantidad de equipos de iluminación, se logra, de acuerdo a cálculos y normas empleadas, establecer un nivel de iluminación óptima para realizar las funciones de trabajo en la elaboración y empaque de sal comestible.

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La sustitución de equipo de iluminación convencional por equipo de iluminación eficiente y ahorrador de energía en función al costo-beneficio, en la metodología seguida proporciona la información, de tal manera que se pueda decidir en invertir por etapas, debido a que indica el tiempo de recuperación de la inversión de cada equipo luminoso analizado, y así también, analizar que equipos luminosos son prioritarios para el reemplazo.

Como propuesta para la inversión financiera y reposición de activos, esta debe programarse de tal manera que se sustituyan los equipos de iluminación convencionales por ahorradores de energía más prioritarios en cuanto el trabajo que se realiza en cada área de subdivisión de la nave de producción con que cuenta la planta industrial.

#### REFERENCIAS

- [1] Chapa Carreón, 1994. *Manual de Instalaciones de Alumbrado y Fotometría*, Editorial Limusa, México.
- [2] CONAE, 1995. *Metodología de aplicación de la norma NOM-007-Ener-95*, México pp. 56.
- [3] CONELEC, 1989. *Manual Eléctrico*, México.
- [4] Frier John, Gazley Mary, 1994. *Sistemas de Iluminación Industriales*, Editorial Limusa, México.
- [5] González Burgueño, Jorge Luis. 2003. "Metodología utilizada para la evaluación de motores eléctricos en la Planta Industrial Sales del Valle S.A. de C.V.". Tesis de Ingeniero Electricista. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora, México. pp 79.
- [6] Núñez Bojórquez, Raymundo. 1996. "Proyecto de Iluminación en una nave industrial empleando el método de cavidad zonal". Tema de sustentación de Ingeniero Electricista. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora, México. pp 138.
- [7] www.stps.gob.mx (Octubre de 1999).
- [8] www.sener.gob.mx (Septiembre de 1995).

**Felix Rodrigo Villegas Valenzuela** actualmente es candidato a obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica del ITSON. Fue Profesor de Matemáticas, Física y Computación en el Instituto Superior de Comercio y Puericultura de Cd. Obregón, Sonora desde Septiembre de 2001 hasta Julio de 2004. Actualmente desempeña el cargo de Auxiliar Administrativo en OOMAPASC en la Agencia de Pueblo yaqui, Cajeme, Sonora.

**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.

# Diagnóstico energético y elaboración de propuestas de uso eficiente de energía eléctrica para una institución educativa

Jesús Héctor Hernández López, Rafael León Velázquez, Armando Ambrosio López

**Resumen**— Este artículo presenta el diagnóstico energético, nivel I, realizado en las instalaciones de una institución educativa, el cual incluye el análisis de facturación histórica, la situación energética actual, la identificación de áreas de oportunidad para el uso eficiente de energía eléctrica y la presentación de las principales propuestas de ahorro de energía. Dentro de las alternativas más viables para dicha empresa se presentan la sustitución de equipo de iluminación actual por equipo más eficiente, la eliminación del horario punta en el periodo de verano y el movimiento de 10 días hábiles de agosto a diciembre. Se reserva el estudio de los sistemas de acondicionamiento de aire para estudios posteriores.

**Palabras clave**— Diagnóstico energético, energía eléctrica, iluminación.

## I. INTRODUCCION

Los recursos energéticos no renovables para la generación de energía están presentando un problema grave para las compañías generadoras de energía eléctrica, debido a que dichos recursos cada día son más escasos y la demanda de energía crece cada año. Para solucionar el problema de desabasto de energía los gobiernos de los países apuestan su futuro en dos estrategias: la primera es la búsqueda y aprovechamiento de fuentes de energía renovable, tales como la energía eólica, solar y biomasa principalmente; la segunda estrategia es la cultura del uso eficiente de energía, es decir, la disminución del consumo energético al implementar estrategias de uso inteligente de energía con la finalidad de

utilizar menos energía sin afectar la seguridad, la comodidad y la productividad de los usuarios.

Como consecuencia, en nuestro País se han creado organismos orientados a impulsar las dos estrategias anteriores, uno de estos organismos es la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), la cual fue creada en 1989 y en 1999 fue decretada presidencialmente como un organismo desconcentrado de la Secretaría de Energía.

La CONAE desarrolla diferentes metodologías de diagnóstico energético para los sistemas que emplean grandes cantidades de energía en industrias y empresas, la energía eléctrica constituye un insumo estratégico que asegura el progreso económico del país y un nivel adecuado en la calidad de vida de sus habitantes. Debido a esto, las empresas e industrias Mexicanas han sentido la necesidad de incorporar en sus estrategias y programas, el concepto de conservación de energía que incluye aspectos como: Manejo de la demanda y uso racional de la energía eléctrica.

Otro organismo que también se preocupa por el ahorro de energía, así como de su uso eficiente es el Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE), el cual es un organismo privado no lucrativo, creado en 1990 en donde su comité técnico que es un órgano de gobierno esta compuesto por: La CFE, la CONAE, Luz y Fuerza del Centro, Cámara Nacional de la Industria de Transformación y otros organismos privados, las funciones principales del FIDE son:

- Modificar patrones de consumo de energía eléctrica, consolidando una cultura del ahorro.
- Hacer una amplia difusión del ahorro de energía eléctrica, usando todos los mecanismos y medios disponibles.
- Demostrar que el ahorro de energía eléctrica es técnicamente factible, económicamente rentable y socialmente benéfico.
- Lograr la integración plena y sistemática de la gestión del ahorro de energía eléctrica en la planeación del sector.

Es por ello que surge el interés, en esta empresa educativa, de realizar varias propuestas para el estudio energético de sus instalaciones y colaborar en el uso eficiente y aprovechamiento de la energía eléctrica, para ello se realizarán programas para racionalizar la energía y consecuentemente se tendrá una disminución en el consumo y demanda de energía, obteniendo así, un menor costo en el pago de facturación.

Manuscrito recibido el 20 de Junio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Jesús Héctor Hernández López actualmente labora como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica 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 jehdez@itson.mx)

Rafael León Velázquez actualmente se desempeña como Jefe del 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 rleon@itson.mx)

Armando Ambrosio López hasta la fecha de ha desempeñado como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica 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 aambrosi@itson.mx).



II. DESARROLLO

1. Descripción de la empresa

GIRO DE LA EMPRESA:	<b>EDUCATIVO (LICENCIATURA Y POSGRADO)</b>
INSTALACIONES:	<b>LA EMPRESA CUENTA CON LAS SIGUIENTES ÁREAS:</b> Oficinas Administrativas, Biblioteca, Aulas, Laboratorios, Centro de Cómputo, Gimnasio, Cubículos para maestros, Aulas de Proyección, Cafetería, Librería, Almacén, Áreas Deportivas y de Estacionamiento.

PRINCIPALES CARGAS:	<b>AIRE ACONDICIONADO, ILUMINACIÓN, EQUIPO DE CÓMPUTO, EQUIPO DE OFICINA Y ABANICOS.</b>
HORARIO DE OPERACIÓN:	<b>EN ALGUNAS ÁREAS DE 07:00 A 22:00 HORAS, EN OTRAS HORARIO DE OFICINA (DE 09:00 A 13:00 Y DE 15:00 A 17:00).</b>
SERVICIO:	<b>MEDIA TENSIÓN</b>
TARIFA:	<b>HORARIA MEDIA TENSIÓN (HM), REGIÓN NOROESTE</b>

2. Análisis de facturación histórica

En la figura 1 aparece el consumo mensual de energía eléctrica en los años 2001, 2002 y 2003. Se aprecia claramente que el comportamiento es similar en los tres años, presentando un patrón de consumo bien definido, en donde el consumo mayor se presenta en los meses de verano. En la Tabla 1 se presenta la cantidad de energía consumida en cada uno de los meses y el total anual de los tres años analizados. El consumo total anual es aproximadamente de 1,500,000 kWh.

La demanda Facturable mensual de los años 2001, 2002 y 2003 se presenta en la figura 2. Aquí se aprecia que existe un patrón similar en los tres años analizados, ocurriendo los valores mayores en el horario de verano que es donde aparece el periodo punta, de acuerdo con la Tarifa HM. El valor mayor de demanda facturable es de aproximadamente 800 kW y se presenta en los meses de agosto y septiembre.

En la figura 3 se aprecia claramente que el factor de potencia se ha mantenido arriba del 90% en todos los meses del año desde enero de 2001 hasta la fecha. Se concluye que este problema ha sido controlado en forma satisfactoria y que no es necesario mejorarlo pues los ahorros que se tendrían no serían significativos. El importe mensual de energía eléctrica se presenta en la Tabla 2, el patrón también es similar en cada uno de los años analizados. El importe anual de energía eléctrica es aproximadamente de \$1,500,000.00.

TABLA 1. CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DURANTE LOS AÑOS 2001, 2002 Y 2003.

Mes/Año	Consumo [kWh]		
	2001	2002	2003
Ene	62,400	64,800	69,600
Feb	69,600	69,600	72,000
Mar	81,600	67,200	81,600
Abr	79,200	93,600	74,400
May	148,800	136,800	132,000
Jun	182,400	168,000	
Jul	163,200	141,600	
Ago	156,000	180,000	
Sep	228,000	228,000	
Oct	117,600	160,800	
Nov	110,400	91,200	
Dic	50,400	50,400	
TOTAL	1,449,600	1,452,000	429,600

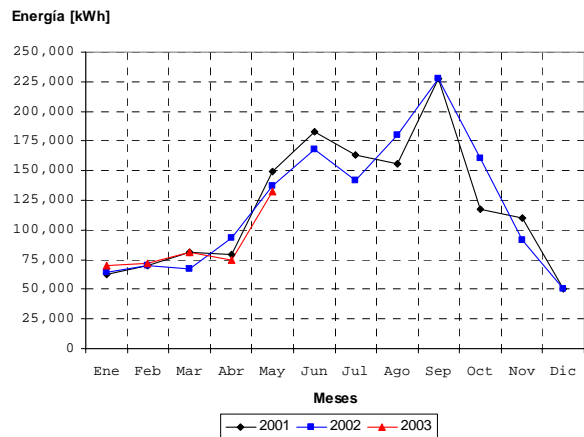


Fig. 1. Consumo mensual de energía eléctrica durante los años 2001, 2002 y 2003.

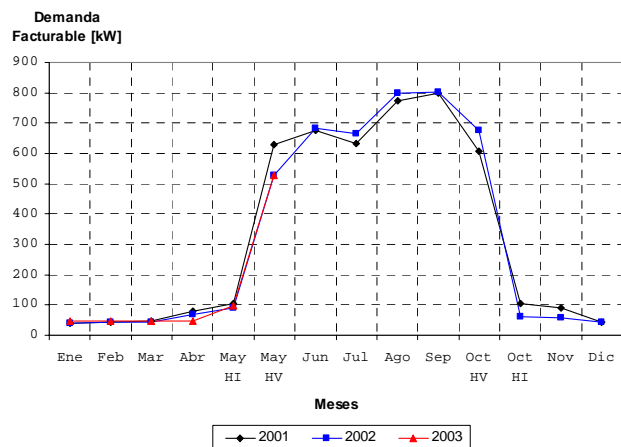


Fig. 2. Demanda Facturable mensual en los años 2001, 2002 y 2003.

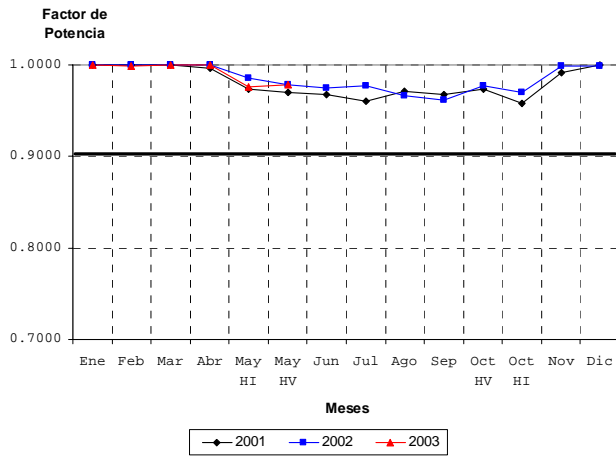


Fig. 3. Factor de potencia mensual durante los años 2001, 2002 y 2003.

TABLA 2. IMPORTE MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Mes/Año	Importe [\$]		
	2001	2002	2003
Ene	\$31,402	\$29,863	\$40,844
Feb	\$36,874	\$32,669	\$41,885
Mar	\$39,660	\$31,378	\$47,538
Abr	\$41,382	\$44,591	\$48,116
May	\$142,051	\$114,661	\$159,516
Jun	\$226,620	\$218,050	
Jul	\$193,158	\$201,118	
Ago	\$202,446	\$262,421	
Sep	\$257,787	\$299,549	
Oct	\$182,416	\$224,330	
Nov	\$52,906	\$51,579	
Dic	\$25,143	\$31,165	
TOTAL	\$1,431,845	\$1,541,374	\$337,899

En la siguiente tabla se muestra el costo promedio mensual por cada kWh de energía eléctrica consumida, resultado de dividir la energía mensual consumida en kWh entre el importe de cada mes. Se observa que el costo promedio de la energía es mayor en los meses de verano, esto es debido al incremento en la demanda facturable que ocurre en estos meses aunado al incremento en el costo del kWh en periodo punta.

### 3. Análisis de facturación de energía eléctrica durante el año 2002.

Para caracterizar el patrón de consumo de energía eléctrica de la empresa se analizaron a detalle los datos históricos de consumo e importe de energía en el año 2002, obteniéndose los resultados que a continuación se presentan. En la tabla 4 se presenta el consumo mensual de energía eléctrica en cada uno de los periodos: Punta, Intermedio y Base.

La tabla 5 presenta información sintetizada sobre el consumo de energía eléctrica en cada uno de los horarios del año (Invierno y Verano) y en cada periodo (Punta, Intermedio y Base).

Se observa claramente que el consumo anual en horario intermedio es mayor al consumo de los otros horarios debido a que dicho horario está presente todo el año, de acuerdo a la Tarifa HM. En las figuras 4, 5 y 6 se presenta gráficamente la información mostrada en las tablas 4 y 5.

TABLA 3. COSTO PROMEDIO MENSUAL POR KWH DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA DURANTE LOS AÑOS 2001, 2002 Y 2003.

Mes/Año	Costo promedio de energía [\$/kWh]		
	2001	2002	2003
Ene	\$0.50	\$0.46	\$0.59
Feb	\$0.53	\$0.47	\$0.58
Mar	\$0.49	\$0.47	\$0.58
Abr	\$0.52	\$0.48	\$0.65
May	\$0.95	\$0.84	\$1.21
Jun	\$1.24	\$1.30	
Jul	\$1.18	\$1.42	
Ago	\$1.30	\$1.46	
Sep	\$1.13	\$1.31	
Oct	\$1.55	\$1.40	
Nov	\$0.48	\$0.57	
Dic	\$0.50	\$0.62	
TOTAL	\$1.01	\$0.94	

TABLA 4. CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS DIFERENTES PERIODOS, DURANTE EL AÑO 2002.

Mes	Consumo de energía eléctrica [kWh], 2002			
	CP	CI	CB	CT
Ene	0	9,600	55,200	64,800
Feb	0	16,800	52,800	69,600
Mar	0	21,600	45,600	67,200
Abr	0	24,000	69,600	93,600
May HI	0	16,800	52,800	69,600
May HV	14,400	52,800	0	67,200
Jun	48,000	120,000	0	168,000
Jul	38,400	103,200	0	141,600
Ago	52,800	127,200	0	180,000
Sep	64,800	163,200	0	228,000
Oct HV	57,600	84,000	0	141,600
Oct HI	0	4,800	14,400	19,200
Nov	0	26,400	64,800	91,200
Dic	0	14,400	36,000	50,400
TOTAL	276,000	784,800	391,200	1,452,000
%	19.01%	54.05%	26.94%	100.00%

CP: Consumo en periodo Punta, CI: Consumo en periodo Intermedio, CB: Consumo en periodo Base, CT: Consumo Total

TABLA 5. CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS DIFERENTES HORARIOS Y PERIODOS, DURANTE EL AÑO 2002.

Horario	Consumo de energía eléctrica [kWh], 2002			
	CP	CI	CB	CT
Invierno	0	134,400	391,200	525,600
Verano	276,000	650,400	0	926,400
TOTAL	276,000	784,800	391,200	1,452,000

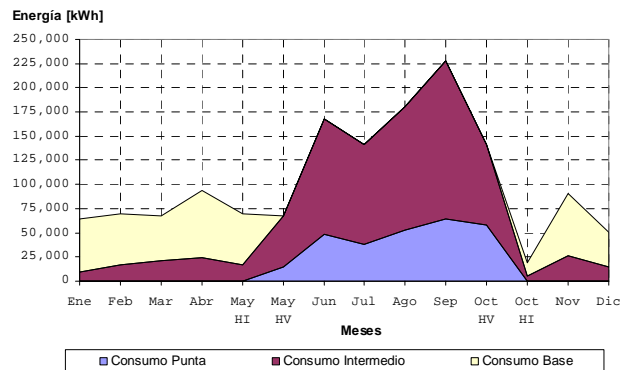


Fig. 4. Gráfica de áreas del consumo de energía eléctrica en los diferentes periodos, durante el año 2002.

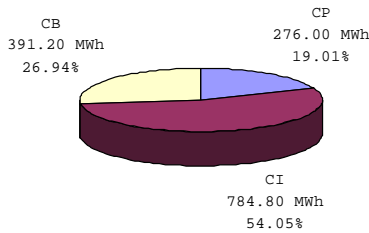


Fig. 5. Distribución porcentual, en distintos periodos del consumo de energía eléctrica en el año 2002.

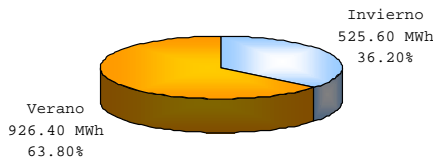


Fig. 6. Distribución porcentual del consumo de energía eléctrica durante el año 2002, en cada temporada.

Al finalizar el análisis de las gráficas anteriores se observa que el consumo de energía eléctrica es mayor en la temporada de verano que en la temporada de invierno, esto debido a la carga en aire acondicionado y refrigeración. Por otra parte se aprecia que el consumo de energía en el periodo punta representa el 19.01% del total anual, mientras que el consumo de energía en el periodo base es del 26.94 %. En la Tabla 6 se presenta el importe por consumo de energía eléctrica en cada uno de los meses del año 2002 separado en cada uno de los periodos de la Tarifa HM. En la tabla 7 se muestra una tabla resumen de la tabla 6. Las figuras 7 , 8 y 9 muestran la información contenida en las tablas 6 y 7 en forma gráfica.

total por consumo. Esto es debido a que el costo por kWh de energía consumida en periodo punta es, aproximadamente, tres veces mayor al costo por kWh de energía consumida en los otros periodos.

TABLA 7. TABLA RESUMEN DEL IMPORTE POR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL AÑO 2002.

Horario	Importe por Consumo de energía eléctrica, 2002			
	CP	CI	CB	CT
Invierno	\$0	\$56,467	\$131,298	\$187,765.00
Verano	\$337,963	\$283,890	\$0	\$621,853.00
TOTAL	\$337,963	\$340,357	\$131,298	\$809,618

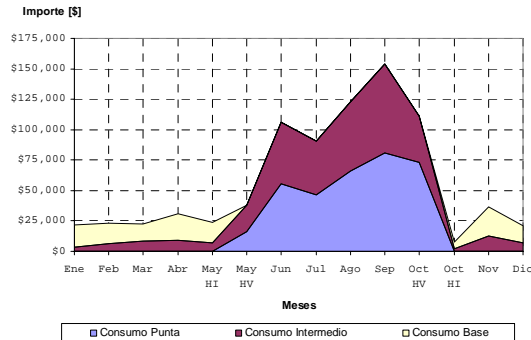


Fig. 7. Gráfica del importe del consumo de energía eléctrica durante el año 2002, en los periodos punta, intermedio y base.

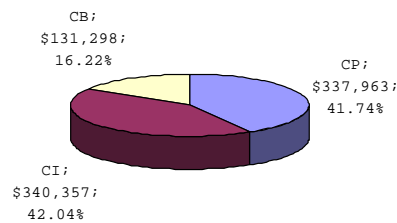


Fig. 8. Distribución porcentual del importe del consumo de energía eléctrica durante el año 2002, en los distintos periodos.

TABLA 6. IMPORTE POR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DURANTE EL AÑO 2002 EN LOS PERIODOS PUNTA, INTERMEDIO Y BASE.

Mes	Importe por Consumo de energía eléctrica, 2002			
	CP	CI	CB	CT
Ene	\$0	\$3,817	\$17,647	\$21,464.40
Feb	\$0	\$6,651	\$16,812	\$23,462.64
Mar	\$0	\$8,329	\$14,141	\$22,469.52
Abr	\$0	\$9,360	\$21,827	\$31,186.56
May HI	\$0	\$6,836	\$17,276	\$24,112.08
May HV	\$16,354	\$21,484	\$0	\$37,838.40
Jun	\$55,810	\$49,992	\$0	\$105,801.60
Jul	\$46,276	\$44,562	\$0	\$90,837.60
Ago	\$65,836	\$56,833	\$0	\$122,669.28
Sep	\$80,857	\$72,967	\$0	\$153,824.16
Oct HV	\$72,829	\$38,052	\$0	\$110,881.44
Oct HI	\$0	\$2,174	\$5,246	\$7,420.32
Nov	\$0	\$12,379	\$24,436	\$36,815.04
Dic	\$0	\$6,921	\$13,914	\$20,834.64

Después de analizar la información contenida en las figuras 7, 8 y 9 se observa que el importe del consumo de energía eléctrica en el periodo punta representa el 41.74% del importe

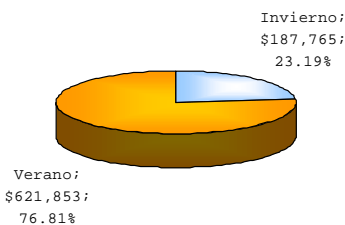


Fig. 9. Distribución porcentual del importe del consumo de energía eléctrica durante el año 2002, en cada temporada.

TABLA 8. FACTURACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DURANTE EL AÑO 2002.

Mes	Importe total de energía eléctrica 2002						
	DF	CT	FP	SUBTOTAL	DAP (3%)	IVA (15%)	TOTAL
Ene	\$4,492	\$21,464	-\$649	\$25,308	\$759	\$3,796	\$29,863
Feb	\$4,933	\$23,463	-\$710	\$27,685	\$831	\$4,153	\$32,669
Mar	\$4,804	\$22,470	-\$682	\$26,592	\$798	\$3,989	\$31,379
Abr	\$7,571	\$31,187	-\$965	\$37,792	\$1,134	\$5,669	\$44,595
May HI	\$5,134	\$24,112	-\$635	\$28,612	\$858	\$4,292	\$33,762
May HV	\$32,130	\$37,838	-\$1,392	\$68,576	\$2,057	\$10,286	\$80,919
Jun	\$82,566	\$105,802	-\$3,617	\$184,751	\$5,543	\$27,713	\$218,006
Jul	\$83,080	\$90,838	-\$3,409	\$170,509	\$5,115	\$25,576	\$201,200
Ago	\$103,568	\$122,669	-\$3,869	\$222,369	\$6,671	\$33,355	\$262,395
Sep	\$104,158	\$153,824	-\$4,154	\$253,829	\$7,615	\$38,074	\$299,518
Oct HV	\$74,426	\$110,881	-\$3,632	\$181,675	\$5,450	\$27,251	\$214,377
Oct HI	\$1,334	\$7,420	-\$158	\$8,596	\$258	\$1,289	\$10,143
Nov	\$8,017	\$36,815	-\$1,107	\$43,725	\$1,312	\$6,559	\$51,595
Dic	\$5,989	\$20,835	-\$665	\$26,158	\$785	\$3,924	\$30,867
TOTAL	\$522,202	\$809,618	-\$25,643	\$1,306,176	\$39,185	\$195,926	\$1,541,288
%	33.88%	52.53%	-1.66%	84.75%	2.54%	12.71%	100.00%

DF: Demanda facturable, CT: Consumo de energía, FP: Factor de potencia, DAP: Derecho a alumbrado público.

TABLA 9. TABLA RESUMEN DE FACTURACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL AÑO 2002 EN CADA TEMPORADA.

Horario	Importe total de energía eléctrica, 2002					
	DF	CT	FP	DAP	IVA	TOTAL
Invierno	\$42,275	\$187,765	-\$5,571	\$6,734	\$33,670	\$264,873
Verano	\$479,927	\$621,852	-\$20,072	\$32,451	\$162,256	\$1,276,415
TOTAL	\$522,202	\$809,618	-\$25,643	\$39,185	\$195,926	\$1,541,288

A continuación se presenta el desglose de la facturación de energía eléctrica en el año 2002. Se consideran los importes por energía consumida, por demanda facturable y por factor de potencia en cada uno de los meses de dicho año. Además se presentan el 15% de IVA y 3% por derecho a alumbrado público (DAP).

En las tablas anteriores se observa que el importe por demanda facturable representa un gran porcentaje de la facturación total de energía eléctrica. Además puede apreciarse que dicho concepto es muy alto en los meses de verano comparado con los meses de invierno.

De acuerdo a la Tarifa HM se puede observar que la demanda facturable depende directamente de la demanda máxima en periodo punta, esto es, mientras más grande es la demanda punta, mayor es la demanda facturable y por consiguiente mayor el importe que se paga por este concepto. Cabe mencionar que el periodo punta sólo existe en la temporada de verano.

En las figuras 10, 11 y 12 se muestra la información anterior en forma gráfica.

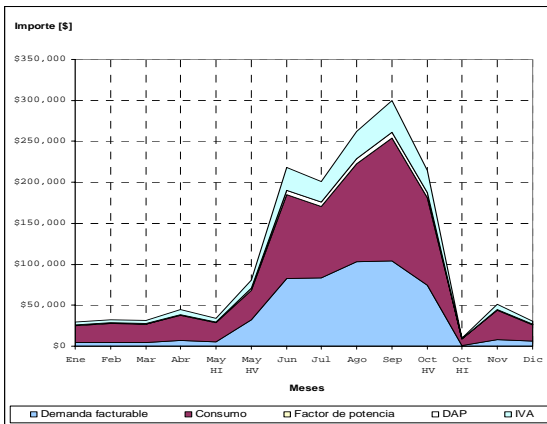


Fig. 10. Gráfica de áreas de la facturación de energía eléctrica durante el año 2002.

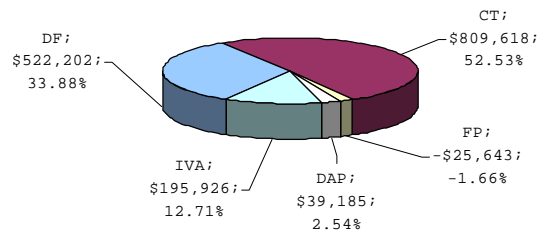


Fig. 11. Distribución porcentual de la facturación de energía eléctrica durante el 2002.

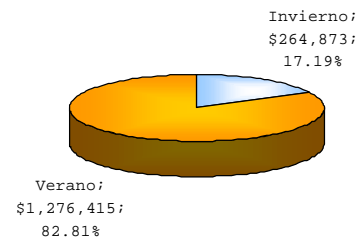


Fig. 12. Distribución porcentual de la facturación de energía eléctrica durante el 2002, en cada temporada.

De la figura 10 se desprende la idea de reducir la demanda facturable en los meses de verano, es decir, si se desconecta la mayor cantidad de equipo en el periodo punta, entonces la demanda facturable se reducirá en gran medida, ocasionando que el área azul de la figura 10 se reduzca considerablemente y con ésta el importe total de la facturación.

En la figura 12 puede observarse que el 82.81% del costo anual de energía eléctrica se paga en los meses de verano debido a los altos consumos y demandas que se tienen, por el uso de los equipos de refrigeración y aire acondicionado, y a la existencia del periodo punta, según la Tarifa HM.

En la tabla 10 se presentan las demandas máximas mensuales obtenidas en el año 2002, en donde se observa que al aparecer el periodo punta, en los meses de verano, la demanda facturable crece a la par con la demanda máxima

TABLA 10. DEMANDAS MÁXIMAS DE CADA MES DURANTE EL AÑO 2002.

Mes	Demanda máxima mensual 2002 (kW)			Demanda Facturable (kW)
	Punta	Inter	Base	
Ene	0	240	216	39
Feb	0	264	216	43
Mar	0	264	216	43
Abr	0	408	408	67
May HI	0	552	552	90
May HV	528	504	0	528
Jun	672	744	0	684
Jul	648	744	0	664
Ago	792	840	0	800
Sep	792	864	0	804
Oct HV	672	696	0	676
Oct HI	0	384	384	63
Nov	0	360	360	59
Dic	0	264	216	43

medida en dicho periodo, ocasionando altos costos en la facturación.

#### 4. Situación energética actual

En la figura 13 se muestra la capacidad instalada clasificada por categoría, en dicha figura se clasifican los equipos en cuatro categorías: Aire acondicionado, Iluminación, Equipo de cómputo y otros equipos. Al analizar la figura citada se observa que la capacidad instalada en aire acondicionado es la más grande debido a que los equipos de refrigeración y de aire acondicionado son grandes consumidores de energía comparados con los equipos de iluminación o de cómputo.

En la tabla 11 se muestra el consumo mensual durante el año 2002 por categoría, aquí puede observarse que el consumo en aire acondicionado representa el 45.59% del consumo anual, mientras que el equipo de iluminación representa el 27.32% y el equipo de cómputo el 15.6 %.

TABLA 11. CONSUMO MENSUAL POR CATEGORÍA DURANTE EL AÑO 2002

Mes	Consumo por Categoría (kWh)					Consumo Total
	AA	Ilum	Eq. Comp	Otros	Ilum Ext	
Enero	13,686.19	28,363.91	15,210.48	11,038.88	0.00	68,299.47
Febrero	15,617.41	36,490.44	19,893.35	14,922.03	0.00	86,923.23
Marzo	16,439.38	38,410.99	20,940.37	15,707.40	0.00	91,498.14
Abril	13,973.47	32,649.34	17,799.31	13,351.29	0.00	77,773.42
Mayo HI	9,041.66	21,126.04	11,517.20	8,639.07	0.00	50,323.97
Mayo HV	46,150.00	14,975.00	9,520.50	7,784.78	0.00	78,430.28
Junio	107,327.47	36,910.07	21,350.14	16,828.15	0.00	182,415.83
Julio	71,551.65	24,606.71	14,233.43	11,218.77	0.00	121,610.55
Agosto	95,299.76	28,502.49	17,753.64	11,688.45	0.00	153,244.34
Septiembre	129,287.26	38,101.34	21,463.00	16,794.71	0.00	205,646.31
Octubre HV	116,358.54	34,291.21	19,316.70	15,115.24	0.00	185,081.68
Octubre HI	4,109.84	9,602.75	5,235.09	3,926.85	0.00	22,874.53
Noviembre	16,439.38	38,410.99	20,940.37	15,707.40	0.00	91,498.14
Diciembre	9,575.04	16,028.91	10,343.89	6,833.19	0.00	42,781.03
Totales	664,857.05	398,470.18	225,517.47	169,556.21	0.00	1,458,400.91
Porcentajes	45.59	27.32	15.46	11.63	0.00	100.00

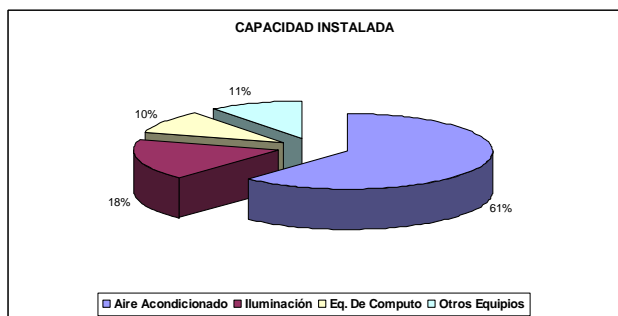


Fig. 13. Capacidad instalada.

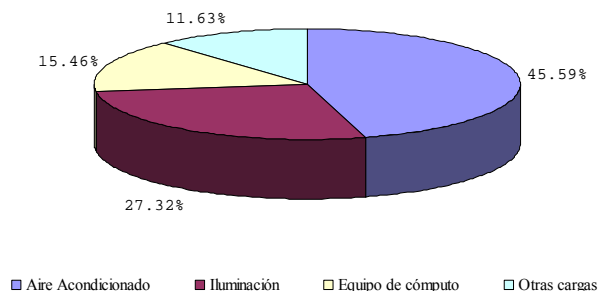


Fig. 14. Distribución porcentual por categorías del consumo de energía eléctrica, durante el año 2002.

En la figura 14 se muestra la distribución porcentual de consumo anual de energía eléctrica por cada una de las categorías identificadas en la carga, durante el año 2002.

#### 5. Propuestas de uso eficiente de energía

##### Propuesta de sustitución de lámparas y balastos de baja eficiencia por alta eficiencia.

La primera propuesta es el cambio de lámparas fluorescentes T – 12 por lámparas fluorescentes T – 8 y cambio de balastro electromagnético de baja eficiencia por un balastro electrónico de alta eficiencia. Al realizar el cambio del sistema de iluminación la potencia disminuirá, por consiguiente se obtendrá un ahorro en la facturación por conceptos de consumo y demanda anual.

Para dicha propuesta se necesita una inversión inicial (ver tabla 12), cabe mencionar que el periodo de recuperación es bueno (ver tabla 13).

##### Propuesta de cambios de los 10 días de agosto al mes de diciembre.

Al hacer el cambio de los 10 días del mes de agosto al mes de diciembre se elimina el horario de verano en el mes de agosto, por consiguiente en ese mes no se trabajará en el periodo punta, trayendo consigo un ahorro debido a que disminuirá la demanda facturable de mes de agosto (periodo de verano) además que el consumo de 10 días de agosto se cambia a diciembre (periodo fuera de verano) obteniéndose con esto un ahorro en consumo. Es importante mencionar que el poner en marcha esta propuesta no necesita de ninguna inversión por lo tanto es recomendable aplicarla ya que el mínimo ahorro que se puede obtener en general traerá un beneficio.

TABLA 12. INVERSIÓN PARA LA PRIMER PROPUESTA. FACTURACIÓN DEL PROYECTO

Cantidad	Descripción	Precio / unidad \$	Precio total \$
1678	Lampara fluorescente tipo T-8 ( 32w )	\$23	\$38,594
420	Balastro electronico 4'32 w	\$146	\$61,320
674	Lampara fluorescente tipo T-8 ( 59 w )	\$60	\$40,440
168	Balastro electronico 4'59 w	\$265	\$44,520
	<b>Total</b>		<b>\$184,874</b>
	<b>Descuento incentivo del FIDE / CFE</b>		
1678	Lampara fluorescente tipo T-8 ( 32 w )	\$3.60	\$6,040.80
420	Balastro electronico 4'32 w	\$44.05	\$18,501.00
674	Lampara fluorescente tipo T-8 59 w	\$14.40	\$9,705.60
168	Balastro electronico 4'59 w	\$68.00	\$11,424.00
	<b>Total</b>		<b>\$45,671.40</b>
	<b>Total \$</b>		<b>\$139,202.60</b>

TABLA 13. AHORRO Y AMORTIZACIÓN DE LA PRIMER PROPUESTA (LUMINACIÓN).

Ahorro	Amortización
Sit. Actual - Sit. Propuesta	Inversión/ Ahorro
1332381.37 - 1261365.37	139202.60/71016
Ahorro de \$71016	Amortización 1.96 años

TABLA 14. AHORRO AL APLICAR LA PROPUESTA DEL CAMBIO DE LOS 10 DÍAS DE AGOSTO A DICIEMBRE.

<b>Situación actual – Situación propuesta</b>
\$1,332,381.37 - \$1,282,375.00
Ahorro = \$50,006.37

TABLA 15. AHORRO AL APLICAR LA PROPUESTA DE ELIMINACIÓN DEL HORARIO PUNTA.

<i>Situación actual – Situación propuesta</i>
\$1,332,381.37 - \$1,190,280.29
Ahorro = \$142,101.08

### Propuesta de cambio de horario, eliminación de horario punta.

Como se pudo observar en el estado actual de la institución los meses que comprenden el horario de verano son los que tienen un mayor costo de consumo y demanda de la energía, esto se debe a que en el periodo de verano se cuenta con el horario punta, con esta propuesta se desea eliminar el mayor número de horas de operación que sea posible en el horario punta, trayendo como consecuencia una disminución en la facturación por conceptos de consumo y de demanda facturable, y por consiguiente un ahorro (ver tabla 15)

Además es bueno mencionar que para la realización de esta propuesta no se necesita ninguna inversión económica, ya que tan solo con hacer un cambio de horario en el instituto, podremos evitar el horario punta en los meses de verano.

### III. CONCLUSIONES

En la elaboración del proyecto de estudio energético, para esta empresa educativa se utilizó una metodología sencilla y fácil de comprender para llevar a cabo las distintas propuestas seleccionadas, con las cuales se obtuvieron buenos resultados en el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, así como también, un ahorro significativo en el costo por el importe a

pagar en la facturación, de acuerdo a las diferentes propuestas que se evaluaron en el proyecto.

Las propuestas analizadas en el proyecto resultaron fueron validadas con los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con el modelo de estudio energético construido.

### REFERENCIAS

- [1] Comisión Nacional para el Ahorro de Energía: NOM-007-ENER-95, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
- [2] Secretaría del Trabajo y Previsión Social: NOM-025-STPS-93, Relativa a niveles de iluminación recomendados para centros de trabajo.
- [3] Revista del FIDE “Energía Racional” tomos, 39, 42,45.
- [4] Comisión Nacional para el Ahorro de Energía: Normas oficiales mexicanas de eficiencia energética, 2003. [www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx)
- [5] Fideicomiso para el Ahorro de Energía, FIDE 2003, [www.fide.org.mx](http://www.fide.org.mx). Normalización y eficiencia energética.

**Jesús Héctor Hernández López** egresó en 1996 del Instituto Tecnológico de Sonora como Ingeniero Electricista, en 2001 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Desde el año 2001 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora. [jehdez@itson.mx](mailto:jehdez@itson.mx)

**Rafael León Velázquez** egresó de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1985 como Ingeniero Mecánico Electricista, de 1985 a 1988 se desempeñó como jefe de mantenimiento en un centro comercial; en 1995 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la UANL. Desde 1984 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. [rleon@itson.mx](mailto:rleon@itson.mx)

**Armando Ambrosio López** egresó en 1997 del Instituto Tecnológico de Sonora como Ingeniero Electricista; de 1997 a 1999 cursó la Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, obteniendo el grado en 2001. Desde el año 1999 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora. [aambrosi@itson.mx](mailto:aambrosi@itson.mx)

# Diagnóstico energético aplicado al edificio de seguridad pública del H. Ayuntamiento de Cajeme

Pedro Fabián Valenzuela Agramón, Gabriel Núñez Román

**Resumen**— El presente trabajo se llevó a cabo en el Edificio de Seguridad Pública Municipal de Cajeme. El estudio consistió en realizar una investigación de campo mediante un diagnóstico energético, con el objetivo de conocer la situación real en el consumo de energía eléctrica, permitiendo de esta manera obtener una mejor información de la utilización eficiente de la energía eléctrica, que permite en función de ello, sustituir equipo de baja eficiencia por de alta eficiencia, controlar la demanda y mejorar el factor de potencia.

Con el estudio del diagnóstico energético, se obtuvo la información suficiente para proponer la sustitución de equipo convencional por ahorrador de energía eléctrica.

**Palabras clave**— Diagnóstico energético, eficiencia, factor de potencia.

## I. INTRODUCCIÓN

Es indispensable el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica ya que son componentes fundamentales para el futuro del desarrollo sustentable del sector energético mexicano.

Actualmente existe una área de suma interés en las empresas, edificios públicos para abatir costos de facturación eléctrica, esta es el ahorro de energía eléctrica, es por eso que empresas y el gobierno están interesados en llevar a cabo proyectos de inversión en dicha área, con la finalidad de hacer una mejor utilización de la energía eléctrica y por consiguiente un ahorro en facturación.

Un edificio del H. Ayuntamiento de Cajeme interesado en llevar a cabo un proyecto de inversión en el área de uso eficiente de la energía eléctrica es el Edificio de Seguridad Pública, ubicado por la calle 300 al sur de Cd. Obregón Sonora.

El estudio consistió en realizar una investigación de campo mediante la aplicación de un diagnóstico energético con el

objetivo de conocer la situación real en la que se encuentra el edificio, permitiendo de esta manera obtener una información más precisa que permitió determinar las acciones a seguir para obtener los resultados adecuados en el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, siendo este la sustitución de equipo.

El estudio del trabajo consideró el análisis de factibilidad técnica para ello se aplicó una metodología, siendo esta, el diagnóstico energético.

## II. DESARROLLO

A continuación se presenta la metodología del diagnóstico energético aplicado al edificio de seguridad pública.

### A. Paso 1. Planeación de recursos y tiempos

1. Revisar la información disponible sobre el edificio.
  - Horarios de operación de las cargas eléctricas del edificio.
  - Consumos de energía eléctrica.
2. Identificar equipo y herramienta necesaria para el diagnóstico energético.
  - Equipo de medición de potencia eléctrica (fluke 43b).
  - Juego de desarmadores.
  - Luxómetro.

### B. Paso 2. Levantamiento de carga del edificio.

Se llevó a cabo un levantamiento de carga del edificio a través de los datos de placa de los equipos instalados.

### C. Paso 3. Toma de decisiones

Las mediciones se tomaron en el transformador y en los principales centros de carga del edificio. Para validar el levantamiento de carga y saber el comportamiento del sistema eléctrico ya que de ellas podemos tomar decisiones sobre los problemas que se están presentando.

---

Manuscrito recibido el 10 de junio del 2005 Este trabajo es respaldado por impulso, revista especializada en eléctrica, electrónica y sistemas computacionales.

Pedro Fabián Valenzuela Agramón (e-mail: [Pedro\\_f10@hotmail.com](mailto:Pedro_f10@hotmail.com)).  
 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))



TABLA 1. CONSUMOS DE POTENCIA DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN EL EDIFICIO DE SEGURIDAD PÚBLICA.

Carga	Potencia (kW)
Iluminación	35.620
Computadoras	15.900
Aires acondicionados	100.560
Otras cargas	31.190
<b>Total</b>	<b>183.270</b>

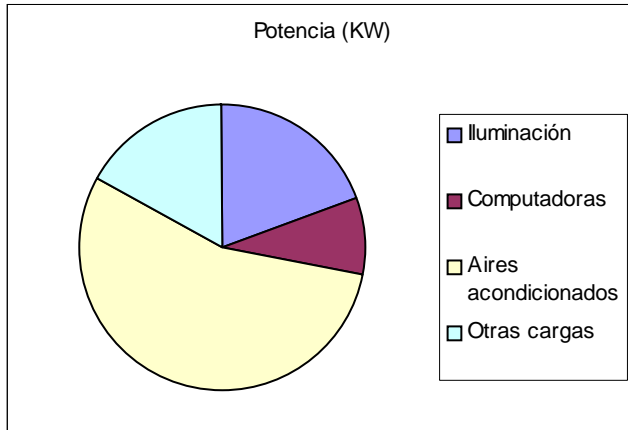


Fig. 1. Consumo de energía eléctrica del Edificio de Seguridad Pública.

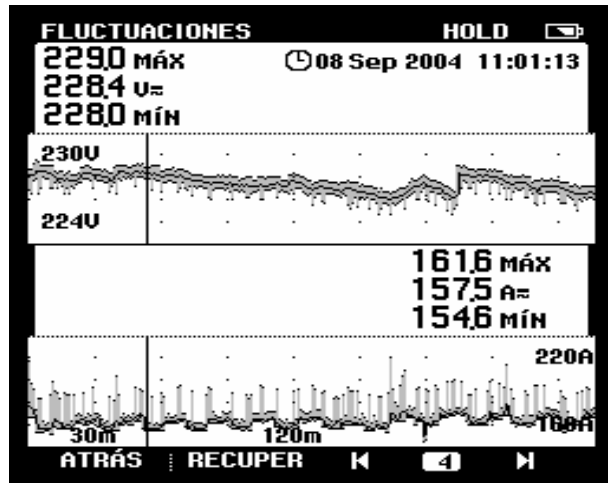


Fig. 2. Monitoreo de voltaje y corriente del transformador.

**D. Paso 4. Análisis de la información obtenida.**

Este es un paso esencial ya que del derivan las propuestas de ahorro de energía eléctrica que requiere el edificio para disminuir sus consumos de energía eléctrica y abatir costos de facturación.

**III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El estudio se realizó en todo el edificio, tomando las características de consumo de potencia de todos los equipo instalados, esto debido a que cuentan con equipo ineficiente o de alto consumo de energía eléctrica, lo que repercute en una alta facturación para ellos.

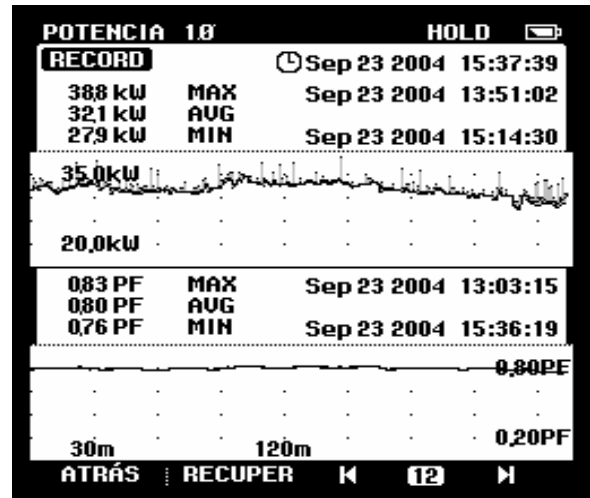


Fig. 3. Monitoreo de potencia y factor de potencia del transformador.

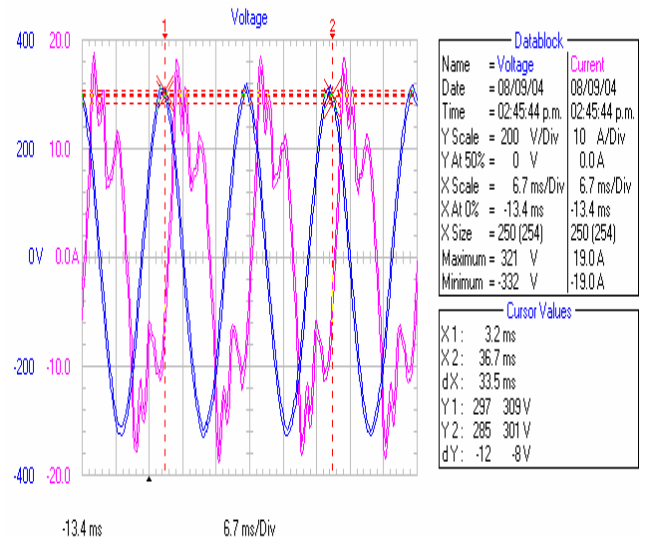


Fig. 4. Muestra los armónicos de corriente que se están presentando en el sistema, medición hecha en un centro de carga del edificio.

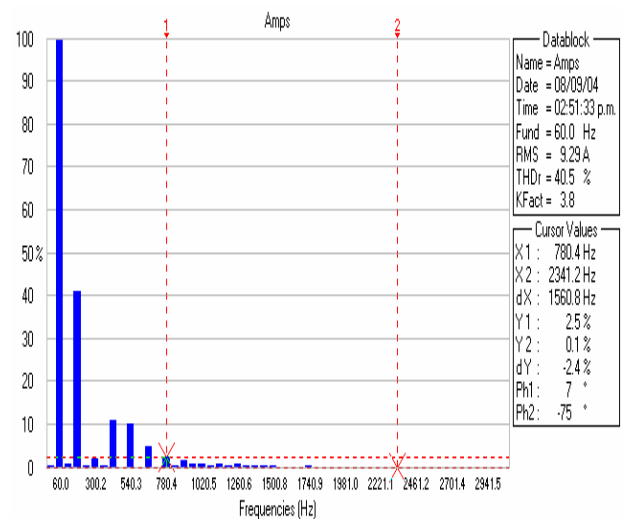


Fig. 5. Muestra la magnitud frecuencia de los armónicos en el sistema.

Una vez hecho el estudio en el Edificio de Seguridad Pública, se encontró que los equipos como lámparas, computadoras y aires acondicionados, son los que consumen la mayor cantidad de energía eléctrica que les es suministrada. Como se muestra en la tabla 1 y figura 1.

De las mediciones que se realizaron se puede observar el comportamiento que tiene el sistema.

En la tabla 2, se observan los valores que se obtuvieron durante el monitoreo de los factores fundamentales de la energía eléctrica, podemos deducir que hubo una variación de ambas. En cuanto al voltaje se ve que esta por de bajo de lo que la compañía suministradora le proporciona que es de 230 Voltios. Por la corriente se puede decir que aumenta o disminuye cuando entra o sale en funcionamiento un equipo.

Como se puede observar en esta tabla 3, los factores de factor de potencia y potencia tienen una variación, se puede deducir que cuando la carga disminuye el factor de potencia también disminuye, lo cual repercute en una multa por comisión federal de electricidad por un bajo factor de potencia.

TABLA 2. VALORES NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA FIGURA 2.

Voltaje(V)	Corriente (A)
229 Max	161.6 max
228.4 promedio	157.5 promedio

TABLA 3. VALORES NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA FIGURA 3.

Factor de potencia	Potencia (kW)
0.83 max	38.8 max
0.80 promedio	32.1 promedio

TABLA 4. VALORES NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA FIGURA 4 Y 5.

Magnitud de frecuencia	Espectro de onda
El tipo de armónica	Forma de onda senoidal distorsionada de la corriente
La magnitud de la misma	Valores max y min. De los factores voltaje y corriente

TABLA 5. EFECTOS Y CAUSAS QUE SE PRESENTAN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL EDIFICIO.

<b>Efecto</b>	<b>Causa</b>
Presencia de armónicos	Distorsiona la señal
Bajo factor de potencia	Una multa por CFE
Se observa el perfil de carga	Como se comporta el sistema
Se observa un desbalance de las fases	Calentamiento del cable conductor

Como se observa en la tabla 4, la presencia de armónicos y la magnitud de las mismas, distorsionan la señal y por ende repercute en el funcionamiento y vida útil de los equipos. Esta información es recomendable para llevar a cabo un estudio relacionado con la calidad de la energía eléctrica.

Además con las mediciones que se realizaron se presentaron diversas problemáticas. Como se puede observar en la tabla 5. Existe en el sistema eléctrico del edificio presencia de armónicos, lo cual repercute en el buen funcionamiento de los equipos electrónicos instalados como computadora e impresoras, un bajo factor de potencia y un desbalance de las fases. Todo esto puede afectar el funcionamiento tanto del equipo instalado como al transformador.

Además, se puede deducir el perfil de carga del edificio, pues cuando entra en funcionamiento un equipo se puede ver que la corriente y el consumo de potencia tienden a aumentar.

Como se puede observar, la información obtenida del levantamiento de carga y de las mediciones que se realizaron, arrojo información valiosa para la toma de decisiones y que ayudan a determinar las acciones más apropiadas para ahorrar energía eléctrica en el Edificio.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sin duda en la actualidad el ahorro de energía eléctrica se ha convertido en un tema de vital importancia, debido a que existe la necesidad de preservar los recursos destinados a la generación de la misma y asegurar el futuro de las próximas generaciones de personas.

El diagnóstico energético aplicado al Edificio de Seguridad Pública, arrojo las siguientes propuestas de ahorro de energía eléctrica:

La sustitución de equipos convencionales por ahorradores de energía eléctrica y el control de la demanda, así como, la cultura de ahorro de energía eléctrica.

Para obtener una mejor perspectiva, de un proyecto de ahorro de energía eléctrica, se debe realizar la evaluación económica, la cual arrojará información valiosa en cuanto al tiempo de recuperación de la inversión.

Posteriormente se realizará el estudio económico para conocer la factibilidad de la inversión del sistema.

REFERENCIAS

- [1] Comisión Nacional de Ahorro de Energía, 2004, Normas Oficiales de Eficiencia Energética, [www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx)
- [2] Fideicomiso para el Ahorro de Energía, 2003, Normalización. [www.fide.org.mx](http://www.fide.org.mx)
- [3] FIDE, 2004, Ahorro de energía en instalaciones electromecánicas del municipio de Tlalpujahua, Michoacán *energía racional.*, año 14, num. 51: 35-39 Págs.
- [4] FIDE, 2001, efectos de la iluminación de alta eficiencia en la calidad de la energía eléctrica en los edificios, *energía racional*, año 10, num. 39: 11-32 Págs.

**Pedro Fabián Valenzuela Agramón** egresó del Instituto Tecnológico de Sonora en 2003 como Ingeniero Industrial, actualmente se encuentra estudiando Maestría en Ingeniería en Administración de la Tecnología Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Sonora.

**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.

# 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).

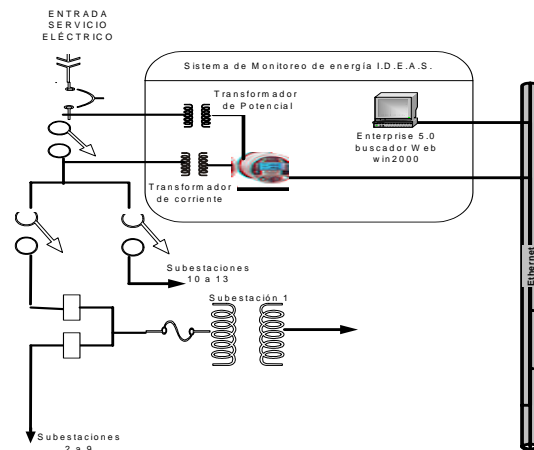


Fig. 1. Propuesta de solución I.D.E.A.S.

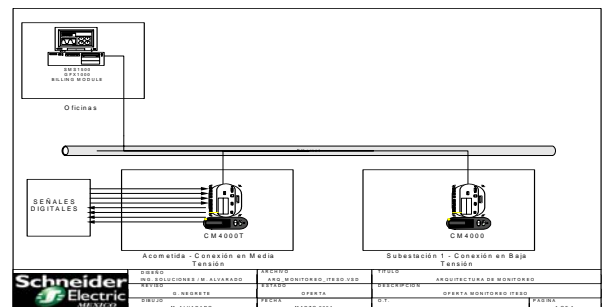


Fig. 2. Propuesta de solución Schneider.



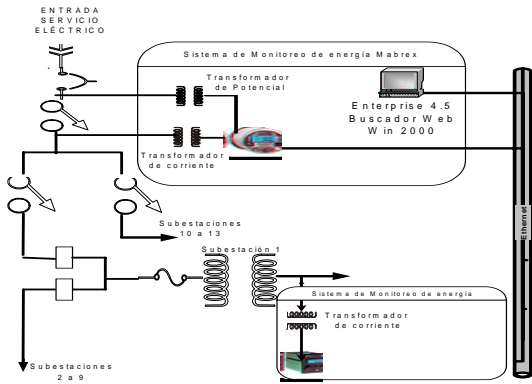


Fig. 3. Propuesta de solución Mabrex.

**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/4 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.

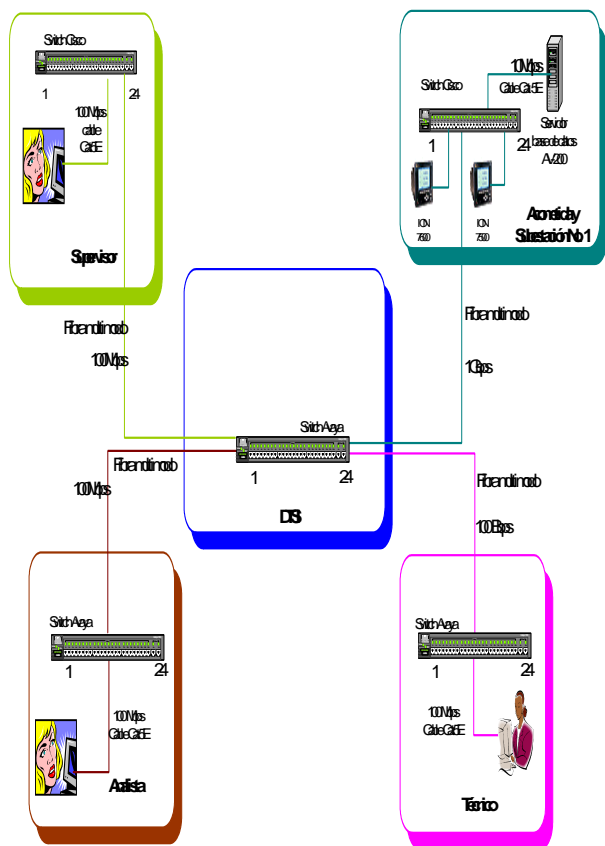


Fig. 4. Ambiente de red del sistema.

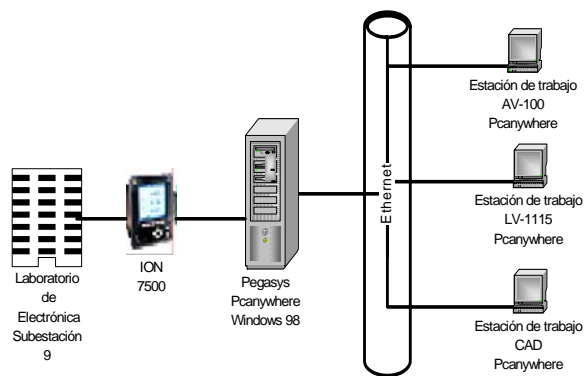


Fig. 5. Prototipo de sistema de comunicación.

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.

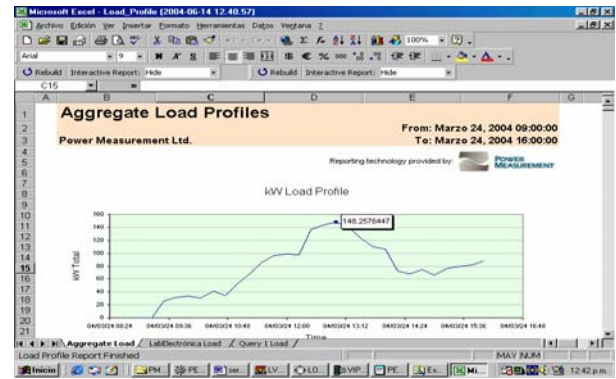


Fig. 6. Reporte de perfil de carga.

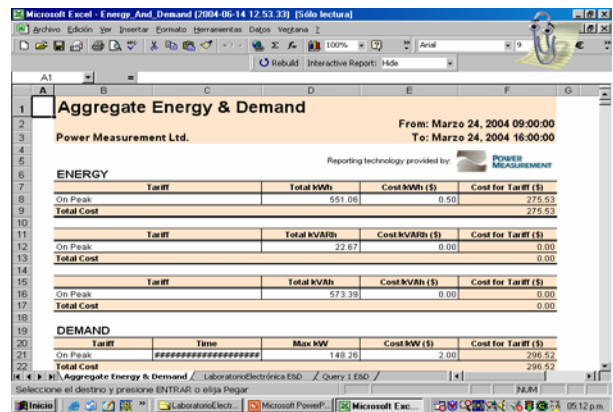


Fig. 7. Reporte de energía y demanda.

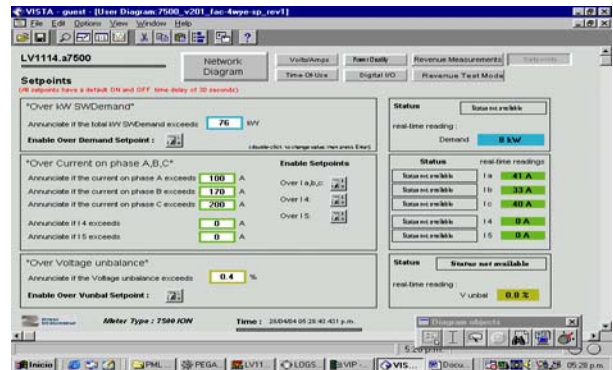


Fig. 8. Pantalla para el control de la demanda.

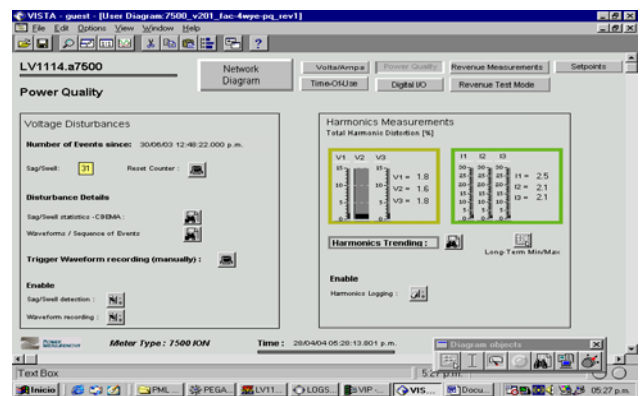


Fig. 9. Pantalla de calidad de la energía.

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.

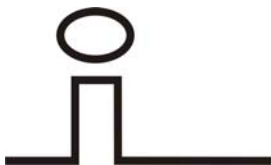
**Manuel Domitsu Kono.** Obtuvo el grado de Ingeniero Ing. Mecánico Electricista en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Guadalajara, Jal, 1979 y el grado de Maestro en Ciencias Computacionales, especialidad en redes Computacionales en el ITESM, Campus Cd. Obregón, 2001. Participó 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.





# Impulso

Revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales

## INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

Impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales se publica semestralmente. Se aceptan artículos originales en aplicaciones de la ciencia, desarrollo de nueva tecnología o soluciones eficientes de ingeniería, siempre y cuando no hayan sido publicados o estén bajo consideración para publicarse en algún otro medio de publicación.

Todos los documentos deberán enviarse al editor en jefe de Impulso Javier Pérez Ramírez, por e-mail a: [jperez@itson.mx](mailto:jperez@itson.mx)

Los artículos se revisarán por especialistas en el área y dictaminarán si el artículo es apropiado para su publicación. No se deberán enviar manuscritos directamente a los editores asociados.

Los manuscritos enviados por los autores deberán seguir el formato que muestra la guía para el autor, la cual se encuentra en la página de internet <http://www.itson.mx/revistaimpulso>.

# Impulso

## Contenido

### **La automatización modular: una nueva opción para procesos automatizables**

Javier Pérez Ramírez, Griselda González Díaz Conti, Juan José Padilla Ybarra

1

### **Circuito decodificador de señales IF de control remoto, para el manejo de aplicaciones en la PC**

Eduardo Romero Aguirre

7

### **Diseño y construcción de una fuente de corriente basada en un sintetizador digital directo para tomografía de la impedancia eléctrica**

Juan Carlos Murrieta Lee

12

### **Metodología para realizar una automatización utilizando PLC**

José Guadalupe Castro Lugo, Juan José Padilla Ybarra, Eduardo Romero A.

18

### **Diseño de un enlace universal remoto**

Armando García Berumen, Erica Ruiz Ibarra, Manuel Domitsu Kono, Benjamín Moran Medina

22

### **Implementación de un control activo de ruido acústico de baja frecuencia en el DSP TMS320C50, utilizando un filtro adaptable en configuración Feedback**

Andrés Pizarro, Eduardo Romero Aguirre

28

### **Desarrollo de un estudio energético en el sistema de aguas de la empresa CEMONOSA**

Francisco G. Valenzuela Cázares, Eduardo Romero Aguirre, Juan José Padilla Ybarra

34

### **Diseño e Implementación de un sistema de transmisión de video remoto a través del protocolo TCP/IP**

Erica Ruiz Ibarra, Armando García Berumen, Manuel Domitsu Kono, Alejandro Hernández L.

43

### **Control adaptativo implantado en un micro-PLC**

Javier Pérez Ramírez, José Manuel Campoy Salguero, Bruno Alfredo Gaxiola Soto

48

### **Control de estructura variable y perturbaciones singulares: caso de estudio generador síncrono.**

Adolfo Soto Cota, Leonid M. Fridman

54

### **Desarrollo e implementación de estrategias enfocadas a la disminución del consumo de energía eléctrica en una empresa cervecera**

Gilberto Díaz Caravantes, Jesús Héctor Hernández López, Rafael León Velásquez, Armando Ambrosio López

60

### **Autogeneración de energía eléctrica una alternativa para disminuir los gastos por consumo en los horarios punta**

Rafael León Velásquez, Carlos Ybarra Frías, Jesús Héctor Hernández López

68

### **Estudio de iluminación de la planta Sales del valle del parque industrial de Cd. Obregón, Sonora.**

Felix Rodrigo Villegas Valenzuela, Gabriel Núñez Román

71

### **Diagnóstico energético y elaboración de propuestas de uso eficiente de energía eléctrica para una institución educativa.**

Jesús Héctor Hernández López, Rafael León Velásquez, Armando Ambrosio López

75

### **Diagnóstico energético aplicado al edificio de seguridad pública del H. Ayuntamiento de Cajeme**

Pedro Fabián Valenzuela Agramón, Gabriel Núñez Román

82

### **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, Gabriel Núñez Román

86

