

SISTEMAS COMPUTARIZADOS DE ADMINISTRACION DE ENERGIA:
DESCRIPCION Y SUS PERSPECTIVAS EN MEXICO.

Ing. Odón de Buen Rodríguez

Programa Nacional del Uso Racional de la Energía
Comisión Federal de Electricidad
L. Tolstoi #29. 1^{er} Piso. Col Anzures. México DF.

RESUMEN

Se presenta una descripción general de los elementos característicos (procedimientos, equipos y personal) de los sistemas de administración de energía, de la forma en que estos elementos interactúan y de la manera en la que se implantan los sistemas; se definen las características de los equipos disponibles en México y se mencionan algunas de sus aplicaciones actuales; se realiza una estimación de la demanda actual de estos sistemas en México en función de los ahorros que se pueden obtener al aplicarlos a sistemas que usan energía eléctrica.

I. INTRODUCCION.

Los Sistemas Computarizados de Administración de Energía (SCAE) representan la incorporación de la computación y la electrónica a las labores específicas de control del consumo y la demanda de energía en las instalaciones industriales y de servicios. Los SCAE, que han estado en el mercado durante más de quince años, han ido transformándose con el tiempo de acuerdo a los avances que en particular han tenido los microprocesadores, convirtiéndose, de sistemas ligados a grandes computadoras y limitados al manejo de grandes sistemas, a sistemas pequeños e independientes, con su consiguiente disminución en costos.

En la actualidad, en países líderes en el campo como los EUA, el mercado de los SCAE presenta un marcado estancamiento debido a la reducción de los precios de la energía; en México, sin embargo, por las políticas de reducción de subsidios que mantiene el gobierno federal, la tendencia de los precios de la energía es hacia arriba y por encima de la tasa de inflación, lo que llevará sin duda a hacer indispensables estos sistemas a una gran cantidad de empresas.

Es propósito de este documento establecer aspectos generales de los SCAE en cuanto a su diseño, implantación y funciones y mostrar la situación actual de su mercado en México en función del uso de energía eléctrica.

II. DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS COMPUTARIZADOS DE ADMINISTRACION DE ENERGIA (SCAE) (1) (2).

1. Estrategias de la administración de la energía.

Las funciones que desempeñan los SCAE están basadas en tres conceptos fundamentales de la administración de energía, que son que los sistemas que utilizan energía debieran:

- a. Funcionar únicamente cuando en verdad se requieran,
- b. Operar con la mínima carga necesaria para satisfacer la demanda y

- c. Operar con la máxima eficiencia bajo la carga requerida.

2. Funciones de los SCAE.

Cualquier sistema computarizado de administración de energía desempeña tres funciones esenciales:

a. Adquisición de datos. Esta función consiste en medir, registrar, archivar, integrar, jerarquizar y clasificar los datos de las variables particulares a equipos o generales de la instalación.

b. Control. Las funciones de control de los SCAE están categóricamente separadas en operaciones de control discreto (encendido/apagado) y operaciones de control analógico (modulación). Las operaciones de control discreto incluyen controles por horarios de uso, optimización de tiempo de encendido y/o apagado, ciclaje de operación de los equipos, ciclo de calentamiento, operación iniciada por demanda, etc.. Las operaciones de control analógico incluyen la optimización de variables como temperaturas, flujos y presiones en función de variables endógenas y exógenas utilizando algoritmos de control.

c. Generación de informes. En un SCAE se generan informes en tres niveles -operacional, gerencial y de planeación-, cada nivel teniendo distinta periodicidad -desde menos de un segundo para el nivel operacional hasta un año para el de planeación- y mayor concentración de datos -según se vaya del nivel operacional al de planeación-.

3. Arquitectura de los SCAE.

Existen tres tipos de arquitectura para los SCAE:

a. De componentes discretos. Están formados por un conjunto de dispositivos individuales, cada uno de los cuales está especialmente diseñado para desempeñar una función de administración de energía particular; entre estos dispositivos se pueden mencionar a los interruptores con reloj, a los que funcionan con termostatos o con fotoceldas y otros dispositivos similares.

b. De procesamiento central. En este caso una computadora central monitorea el estado en los puntos de entrada, lleva a cabo algoritmos de manejo de energía desarrollados como programas en la

computadora y envía señales de control para implementar las estrategias establecidas en los programas contenidos en la computadora.

c. De procesamiento distribuido. En esta arquitectura se incorporan varios procesadores de control basados en microcomputadoras, cada uno de los cuales tiene sensores de entrada, controles de salida y programas de operación. Los procesadores están conectados a un centro de operación central donde se realiza un monitoreo remoto con adquisición de datos y control manual, con capacidad de producir reportes.

4. Clasificación de los SCAE.

De acuerdo a las funciones de un sistema de administración de energía, los SCAE se pueden clasificar, de acuerdo al papel que en ellos juega la computadora, en tres tipos:

- Manual. La computadora sirve solamente para generación de reportes.
- Semi-automático. La computadora tiene funciones de adquisición de datos y de generación de informes.
- Automático. La computadora cumple con las tres funciones.

5. Elementos de los SCAE.

Los SCAE se componen de tres elementos básicos que variarán según el tipo de sistema:

- Equipos.
 - Computadora. Incluye teclado, pantalla, impresora, unidad de disco y graficadora.
 - Sistema de comunicación. Incluye módems, multiplexores y convertidores analógico/digitales.
 - Instrumentos de medición.
 - Dispositivos de actuación. Pueden ser analógicos o discretos.
- Personal. Este puede clasificarse como operativo o gerencial; en el primero solo es necesaria una instrucción básica sobre la operación del sistema mientras que en el segundo se requiere de algunas características, a saber:
 - Competencia técnica con antecedentes técnicos variados.
 - Experiencia en procesos de producción y/o ingeniería de planta.
 - Experiencia y/o habilidades a nivel gerencial.
 - Capacidad de comunicación oral y/o escrita.
 - Habilidades de planeación.
- Procedimientos. En estos se integran los que realiza la computadora e incluyen a los de adquisición de datos, de almacenamiento de los mismos, de análisis, de toma de decisiones, de actuación y los de generación de reportes.

6. Procedimiento de implementación de los SCAE.

- Debe llevarse a cabo una previsión económica, que involucre conocer la estructura tarifaria de los energéticos y la forma en que se aplica a la instalación en estudio.
- Debe conducirse una auditoría energética completa, lo que involucra un inventario de equipos, revisión de historial de consumos de energía, revisión de los procedimientos de mantenimiento, registro de demanda eléctrica y análisis de toda la información.
- Debe hacerse un estudio de los SCAE disponibles en el mercado y su aplicación.

d. Deben especificarse las características de la instalación que sean importantes para el SCAE:

- Equipos y sistemas
 - Técnicas de aplicación a cada sistema
 - Identificación de puntos de E/S
 - Identificar y/o especificar características de cada punto
 - Especificar valores iniciales para la programación de horarios de operación.
- e. Debe hacerse una evaluación económica que incluya al costo de la instalación del SCAE.
- f. Si se decide proceder, el equipo deberá seleccionarse e instalarse.
- g. Deberá capacitarse y/o informarse al personal operativo
- h. Deberá conducirse un rastreo y una evaluación de los beneficios reales.

II. SISTEMAS COMPUTARIZADOS DE ADMINISTRACION DE ENERGIA DISPONIBLES EN MEXICO (3).

A continuación se mencionan los datos más importantes de los distribuidores de SCAE detectados en la Ciudad de México:

Distribuidor 1. El sistema que vende esta compañía es el único manufacturado en nuestro país. Tiene una arquitectura de procesamiento central pero puede ser utilizado en una arquitectura de procesamiento distribuido. Controla más de 20 puntos con funciones de horario de arranque y paro, arranque y paro automatizado, control de demanda y ciclaje de trabajos y equipos. Su costo, sin instalación y para enero de 1987, era de 12 millones de pesos. Actualmente se tienen instalados sistemas de este tipo en instalaciones de Aurrerá, Puerto de Liverpool y oficinas de CYDSA en Monterrey, entre otros. Se estima, por parte del distribuidor, que la inversión en este sistema se recupera en un año.

Distribuidor 2. Esta compañía distribuye un sistema inglés, marca Ferranti y llamado CEDREC, que está diseñado para aplicaciones en grandes industrias. Puede levantar hasta 8 alimentadores y controlar hasta 104 cargas; administra la puesta en marcha y tiene una base de datos; es programable a través de pantalla y teclado interactivo. Se puede configurar en tres niveles: monitor de demanda máxima, controlador de demanda automático y controlador de demanda automático con control de horarios de arranque y paro de todas las cargas. El costo de este equipo, sin instalación y para enero de 1987, es de 65,000 US Dlls. Se conoce de una instalación de este equipo y esta corresponde a la planta de Industrias Nacobre en el estado de México.

Distribuidor 3. Es distribuidor de un dispositivo, basado en un microprocesador, que funciona como SCAE. Su principal función es la de control de la demanda eléctrica, para lo cual está equipado con algoritmos que monitorean, guardan información, pronostican demanda y controlan hasta cuatro puntos de demanda eléctrica. Viene acompañado de una impresora de tira de papel y se le pueden añadir otros dispositivos.

Distribuidor 4. Distribuye en México un sistema sueco marca CEWE, y que lleva el nombre de Energos. Este es un sistema de adquisición de datos y medición remota que puede manejar hasta 32 puntos de medición. Sirve para monitorear consumo y demanda de períodos variables (horas, días y meses); esto se hace a través de pantalla o con listados en papel. Sirve también para que la compañía eléctrica controle y facture consumos y demandas de varios usuarios grandes al mismo tiempo. Su precio es de 33,000 US Dlls y acaba de ser presentado en México.

III. ESTIMACION DE LA DEMANDA DE LOS SCAE.

1. Tarifas eléctricas (5).

Actualmente existen 14 tarifas eléctricas de las cuales 4 son de tipo residencial (1, 1-A, 1-B y 1-C), 3 son comerciales (2, 3 y 10), 2 industriales (8 y 12), 3 de servicios (5, 6 y 7), una agrícola (9) y una para molinos y tortillerías (4). Las tarifas más importantes, por el consumo por usuario, son la 3, la 8 y la 12. En la tabla 1 se muestran los precios, antes de impuestos, por consumo y demanda máxima coincidente, para esas tarifas para octubre de 1987.

Tarifa	Consumo (kWh)	Demanda (kW)	Factor de potencia
3	41.52	8,351.50	Existe un cargo para factores abajo de 0.85.
8	29.22	5,841.36	
12	23.87	5,918.50	

Tabla 1. Precios por consumo y demanda antes de impuestos para octubre de 1987 (pesos).

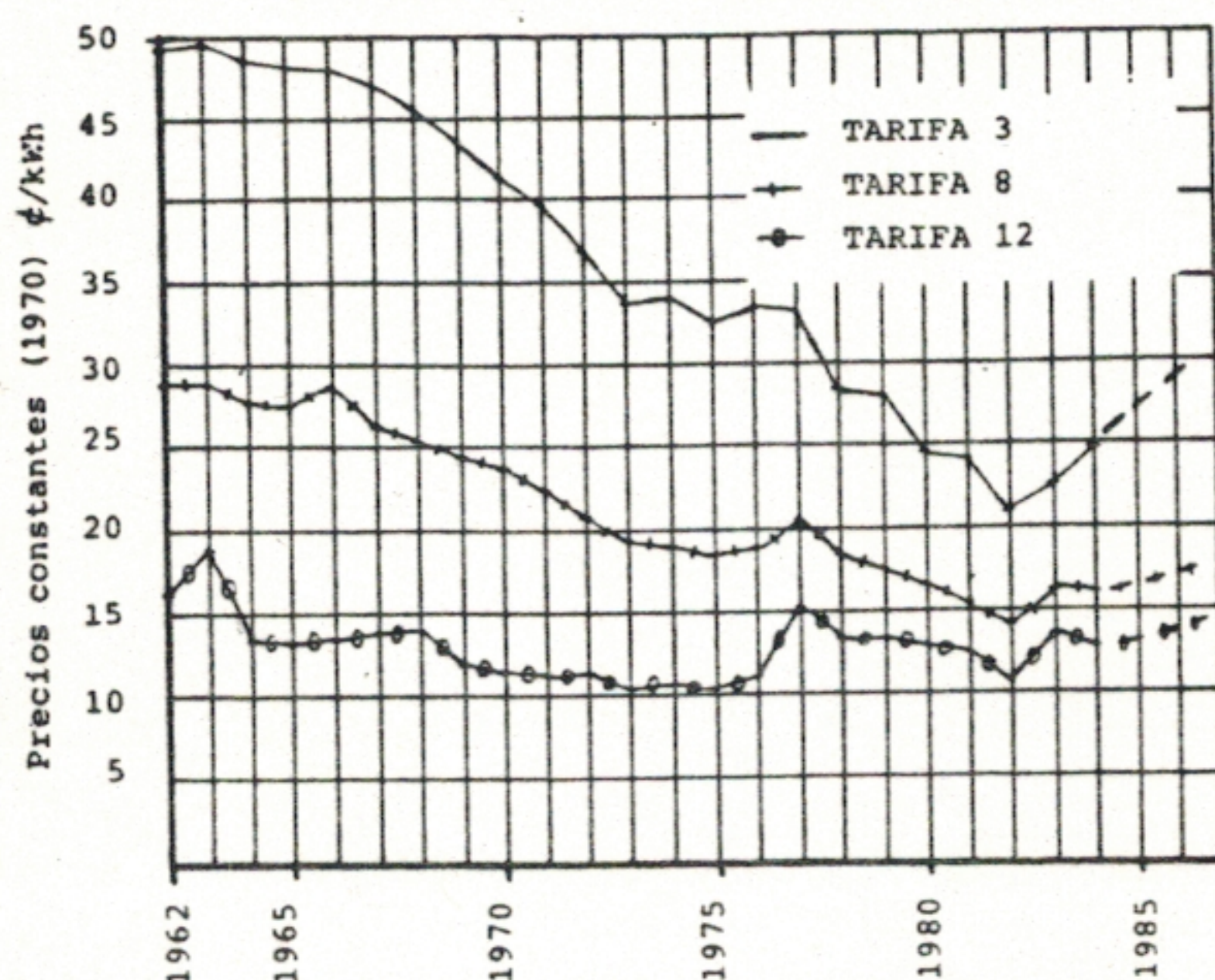


Figura 1. Evolución, a precios constantes de 1970, de los precios por kWh, de las tarifas 3, 8 y 12. (5).

Por otro lado, en la figura 1 se pueden ver las variaciones, a precios constantes de 1970, del precio del kWh para las tarifas 3, 8 y 12. Como se puede observar, su tendencia es hacia el alza.

2. Consumo eléctrico (6) (7).

a. Usuarios del servicio eléctrico con grandes consumos. Como se puede observar en la tabla 2, los usuarios de las tarifas 3, 8 y 12 representan apenas el 0.472% del total de los usuarios a nivel nacional, pero representan el 58.58% del consumo en el país. De estos usuarios no todos tienen una importante incidencia en sus costos por concepto de energía eléctrica. De acuerdo a un estudio realizado en la CFE, se tienen ramas industriales donde la incidencia del costo de la energía eléctrica es más importante que en otras; de acuerdo a ese mismo estudio se plantea como alta una incidencia mayor al 2% respecto del valor total de la producción. Estas ramas son:

- Fabricación de cemento hidráulico
- Fundición, laminación, extrusión y estiraje de aluminio y fabricación de soldaduras de aluminio térmicas
- Fabricación de ácidos, bases, sales y otras sustancias químicas industriales básicas

- Fabricación de hierro de primera fusión, ferroaleaciones y otros productos de laminación primaria
- Laminación secundaria de hierro y acero, excepto tubos
- Fabricación de cartón, cartoncillo, incluso láminas de cartón impermeabilizadas
- Fabricación de ampollitas y otros envases de vidrio
- Fabricación de pasta de celulosa y papel
- Fabricación de coque y otros derivados del carbón mineral
- Fabricación y preparación de hilados de fibras blandas
- Extracción y beneficio de cobre, plomo, zinc y otros minerales metálicos no ferrosos.

Tarifa	Usuarios		Consumo		Consumo promedio anual (MWh)
	No.	% Nacional	GWh	% Nacional	
3	17,061	0.130	1,709	2.35	100
8	46,019	0.340	22,795	31.30	495
12	229	0.002	18,153	24.93	79,271
Total	63,309	0.472	42,657	58.58	674

Tabla 2. Valores de usuarios y consumo para tarifas 3, 8 y 12 en el año de 1986.

b. Ubicación geográfica de los grandes consumidores. De acuerdo a datos de la CFE, se tiene que el 76% de los usuarios y el 83% del consumo en tarifa 3 se encuentran en el DF y los estados de México, Nuevo León, Jalisco y Baja California Norte; que en el DF y los estados de México, Nuevo León, Jalisco, Chihuahua, Veracruz y Sonora se encuentran el 51% de los usuarios y el 65% del consumo en tarifa 8; y que, para la tarifa 12, el 47% de los usuarios y el 60% del consumo se ubican en los estados de Veracruz -con un 19% del consumo del total nacional en la tarifa-, México, Coahuila, San Luis Potosí, Jalisco y Nuevo León.

3. Demanda máxima coincidente (8) (9).

La demanda máxima coincidente es la potencia pico exigida por una instalación al sistema eléctrico; este valor se mide en promedios de 15 minutos, es decir, se cobra la demanda que durante 15 minutos sea la mayor del período de facturación, que es de un mes para las tarifas 3, 8 y 12.

Existe una relación entre estademanda máxima y la demanda promedio -consumo entre horas en el período-, que se conoce con el nombre de factor de carga (F.C.). Esta relación permite establecer la medida en que se dispara la demanda de energía eléctrica y por lo tanto del peso que sobre la facturación que hace la CFE a estos usuarios tiene este concepto.

En la tabla 3 se presentan valores de consumos, demandas y factores de carga para giros industriales de gran consumo. Como se puede observar, existe una variación importante del F.C. entre giros, variando desde 60.82% para la industria de los servicios hasta 88.14% para el giro de beneficio de minerales no ferrosos.

4. Estimación de la demanda de los SCAE.

Los SCAE se justifican como inversión en función de los ahorros que permiten en los gastos de energía. En el caso de la energía eléctrica, estos ahorros pueden lograrse reduciendo el consumo y la demanda máxima coincidente.

a. Reducción promedio mensual de la demanda.

Si tenemos que:

$$FC = (c_a / t) / d_m \quad (1)$$

donde: FC = factor de carga

c_a = consumo anual (kWh)

t = tiempo (hrs) (8760 en 1 año)

d_m = demanda máxima (kW)

despejando d_m de (1) se tiene que:

$$d_m = (c_a / t) / FC \quad (2)$$

GIRO INDUSTRIAL	Número de usuarios	CONSUMO ANUAL (mWh)		DEMANDA (mW)		FACTOR DE CARGA (%)
		Total del Giro	Promedio por Usuario	Máxima promedio mensual		
				Por giro	Por usuario	
I. INDUSTRIAS EXTRACTIVAS						
1. Extracción y beneficio de minerales	6	795,996	132,666	120	20	75.86
2. Beneficio de minerales no ferrosos	3	1,155,338	385,113	150	50	88.14
3. Producción de ferroligas	5	803,321	160,664	121	24	75.67
4. Extracción de petróleo	2	89,073	44,537	15	8	67.85
Subtotal	16	2,843,728	177,733	406		80.04
II. INDUSTRIAS DE TRANSFORMACION						
1. Productos alimenticios	1	32,388	32,388	5	5	75.10
2. Fabricación de papel	14	920,465	65,748	142	10	73.98
3. Fabricación de productos químicos	32	2,575,490	80,484	375	12	78.32
4. Productos derivados del petróleo	8	751,477	93,935	131	16	65.75
5. Productos de hule	1	35,245	35,245	6	6	63.56
6. Productos minerales no metálicos	23	2,354,098	102,352	402	17	66.93
7. Industrias metálicas básicas	16	2,542,070	158,879	509	32	57.06
8. Producción de artículos eléctricos	1	93,637	93,637	20	20	54.28
9. Fabricación de eq. p. transporte	6	338,263	56,377	84	14	45.77
Subtotal ¹	102	9,643,133	94,541	1,673		65.79
III. SERVICIOS	3	426,980	142,327	80	27	60.82
TOTAL	121	12,913,841	106,725	2,159		68.28

Ahora bien, si queremos conocer la reducción, que por aumento de factor de carga, tendríamos en la demanda máxima coincidente y por lo tanto en el pago que se hace por ese concepto, usando la ecuación (2) tenemos que:

$$R_d = (c_a / t) \cdot p_d \cdot (1/FC_1 - 1/FC_2) \quad (3)$$

donde: R_d = reducción de pago mensual por demanda máxima coincidente (\$)

c_a = consumo anual (kWh)

t = 8760 hrs.

p_d = precio por demanda (\$/kWh)

FC_1 = factor de carga inicial

FC_2 = factor de carga final

b. Reducción promedio mensual por consumo.

El ahorro por reducción de consumo lo podemos calcular de la manera siguiente:

$$R_c = (c_a / 12) p_c (r / 100) \quad (4)$$

donde: R_c = reducción en el pago mensual por consumo (\$)

c_a = consumo anual (kWh)

p_c = precio por demanda (\$/kWh)

r = reducción porcentual en el consumo

c. Ahorros por reducción de consumo y demanda.

Considerando las tarifas vigentes para octubre de 1987 (tabla 1), tomando como consumo anual el promedio por usuario para cada tarifa (tabla 2) y haciendo uso de las ecuaciones (3) y (4) se obtuvieron los valores que a continuación se presentan:

- Tarifa 3. Para un aumento del factor de carga del 60 al 80% y una reducción del consumo del 25%, el ahorro mensual sería de solo 126 mil

pesos al mes, lo que es una cantidad muy pequeña que acaso serviría para un programa de incentivos.

- Tarifa 8. En este caso, para las mismas condiciones que para la Tarifa 3, el ahorro llegaría a los 443 mil pesos al mes, lo que puede ser suficiente para ya sea comprar algunos equipos de tipo discreto o para pagar a un profesional responsable. Ahora bien, si consideramos que el valor de la tabla 2 (495 kWh) es solo un

TABLA 3. Valores de consumo, demanda y factor de carga para usuarios ubicados en tarifas 11 y 12 (datos de 1982) (8)

valor promedio y, analizando los valores, que por entidad federativa presentala CFE, de los consumos anuales por usuario, detectamos que, para el estado de México y el DF, con un total conjunto de 5300 usuarios, los consumos son de 1461 y 1250 kWh/año, respectivamente; con estos valores y para los mismos valores de aumento de factor de carga y de reducción de consumo, se tienen ahorros mensuales de 1.1 millón de pesos, lo que puede justificar una inversión en un equipo tipo SCAE.

- Tarifa 12. Como en general las grandes industrias tienen altos valores de factor de carga (tabla 3), en el cálculo correspondiente a esta tarifa se consideró solamente un aumento de factor de carga 85 a 90% y una reducción de consumo del 10%; con estos valores se tienen reducciones de pago de cerca de 20 millones de pesos al mes para la condición promedio de consumo (80,000 mWh/año), lo que representa una cantidad suficiente para pagar sistemas del tipo CEDREC en menos de un año.

d. Posible demanda de los SCAE. De lo expuesto se puede decir que, de los 63,309 usuarios comprendidos en las tarifas 3, 8 y 12, en la actualidad solo poco más de 5500 parecen estar en condiciones de, por vía reducción de costos, solventar un sistema computarizado de administración de energía, estando la mayor parte concentrados en la Ciudad de México y zonas aledañas correspondientes al estado de México.

IV. CONCLUSIONES.

1. Los SCAE son producto de la integración de equipos de medición y control a la computación a través de procedimientos con el propósito de reducir los pagos por concepto de energía.
2. En México, a pesar del gran crecimiento habido en el mercado de las computadoras, los SCAE son productos más bien incipientes.
3. La actual estructura tarifaria del sector eléctrico dificulta la justificación económica de los SCAE en función de la reducción de la demanda y consumo eléctrico; la tendencia de las mismas parece, sin embargo, favorecer su implantación en gran escala.
4. Poco más de 5,500 usuarios parecen tener condiciones para, vía reducción de costos, justificar la instalación de un SCAE.

BIBLIOGRAFIA.

- (1) Rhea, M.. "ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS FOR LARGE MULTI-BUILDING APPLICATIONS". Proceedings of the 2nd. Great PG&E Expo-1985. Oakland, California. Pergamon Press. Pags-159-168. 1985.
- (2) Fernstron, G.. "ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS". Proceedings of the 2nd. Great PG&E Expo-1985. Oakland, California. Pergamon Press. Pags-143-158. 1985.
- (3) Flores, R., Medina C., Montes S., Oliveros S., Ordóñez R. y Rodríguez A.. "ESTUDIO DE MERCADO DE LOS SISTEMAS COMPUTARIZADOS DE ADMINISTRACION DE ENERGIA". Tesis de licenciatura. Fac. de Ing.. UNAM. En preparación
- (4) Tarifas Eléctricas 1987. SHCP.
- (5) Comisión Federal de Electricidad. "EVOLUCION DEL KWH EN MEXICO. PERIODO 1962-1984". Subdirección de Construcción. Gerencia de Estudios. 1985.
- (6) Hudlet, R., Villegas A.. "ANALISIS DEL USO DE LA ENERGIA ELECTRICA POR SECTORES DE ACTIVIDAD ECONOMICA Y COMPARACION DE SUS INDICES DE PRECIOS". Memorias 1983. Depto. de Estudios Económicos de Consumo y Precios. Gerencia de Estudios. Comisión Federal de Electricidad. 1984.
- (7) Comisión Federal de Electricidad. "ESTADISTICAS POR ENTIDAD FEDERATIVA 1986". 1987.
- (8) Marquez C. "DETERMINACION DE LOS FACTORES DE CARGA OPTIMOS EN LA INDUSTRIA". Memorias del IV Seminario Nacional sobre el Uso Eficiente de la Energía en la Industria. México DF. Diciembre de 1983.
- (9) Figueroa, R.. "EL CONTROL DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA PARA REDUCIR COSTOS". Memorias del VII Seminario Nacional sobre el Uso Racional de la Energía. México DF. Diciembre de 1986.

Distribuidor 1.- Honeywell.

Distribuidor 2.- Técnica Salgar.

Distribuidor 3.- Electrónica de Velocidad.

Distribuidor 4.- ASEA.