

T-UES
1504
M361
1994
64.2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



TRABAJO DE GRADUACION

**“ESTUDIO PARA REDUCIR LAS DEMANDAS
MAXIMAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE LA
COMPANIA DE ALUMBRADO ELECTRICO DE
SAN SALVADOR (CAESS)”**

PRESENTADO POR

**DANIEL GUILLERMO MARROQUIN RAMIREZ
JOSE EDWIN FLORES BERRIOS**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

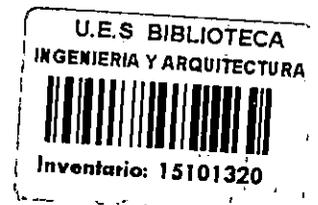
INGENIERO ELECTRICISTA



MAYO 1994.

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA.

15101320
15101320



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR: DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL: LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO: ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO: ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR: ING. SALVADOR DE JESUS GERMAN

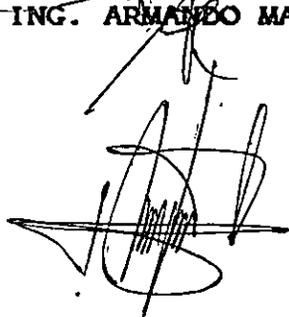


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

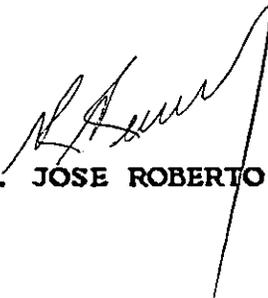
TRABAJO DE GRADUACION



COORDINADOR: ING. ARMANDO MARTINEZ CALDERON



ASESOR: ING. LUIS ERNESTO MONTESINOS



ASESOR: ING. JOSE ROBERTO RAMOS

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
FACULTAD DE INGENIERIA
Y ARQUITECTURA
Universidad de El Salvador

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 6 de Mayo de 1994,
en el local de Sala de Lectura de la E.I.E.
a las 10:00 horas, con la presencia de las siguientes autoridades de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

Firma

- 1- Ing. Salvador de J. German
Director
- 2- _____
- 3- _____



Y con el Honorable Jurado de evaluación integrado por las personas
siguientes:

- 1- Ing. José Armando Castaneda
- 2- Ing. Luis Alberto Nojola Artiga
- 3- Ing. José Mauricio Quiñónez
- 4- Ing. Luis Montesinos
- 5- _____
- 6- _____

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de

Graduación: "ESTUDIO PARA REDUCIR LAS DEMANDAS MAXIMAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCION
DE LA COMPANIA DE ALUMBRADO ELECTRICO DE SAN SALVADOR (CAESS)"

a cargo del (los) Br(es): José Edwin Flores Berríos
Daniel Guillermo Marroquín Ramírez.

Habiendo obtenido el presente trabajo una nota final, global de 8.0
(Ocho punto Cero.)

PREFACIO

El suministro de la energía eléctrica en nuestro país experimenta serias dificultades, entre las causas se pueden mencionar: la guerra civil, durante más de 12 años, la cual convirtió en un objetivo militar al Sistema eléctrico nacional, que además no pudo contar con adecuado financiamiento para su mantenimiento y expansión aún en las áreas no afectadas por el conflicto.

Por otra parte, entre 1984 y 1992 no se construyeron plantas para incrementar el parque nacional. Además, a lo anterior habrá que agregar que previendo la terminación de sus concesiones para el año 1985, las cinco principales empresas de distribución eléctrica, ahora administradas por la CEL, prácticamente no efectuaron inversiones a partir de 1978. Una tercera causa es la no existencia de adecuados ajustes de las tarifas como resultado de problemas políticos, con lo cual las empresas del subsector eléctrico han presenta un fuerte déficit financiero.

En la actualidad la generación de energía eléctrica depende en gran medida de los recursos hidráulicos (53.6% para 1993), el cual está afectado seriamente debido a la reducción de los caudales que abastecen las presas, esto a consecuencia de la tala indiscriminada de árboles. El sistema entró en crisis hace 3 años cuando fenómenos climatológicos afectaron el parque hidroeléctrico y la CEL no contaba con adecuadas reservas térmicas y geotérmicas.

La dependencia en gran medida de la generación hidráulica, el crecimiento acelerado de la demanda, como consecuencia del crecimiento económico y el uso inadecuado de la energía eléctrica plantean la necesidad de encontrar alternativas para disminuir las demandas de energía en los sistemas de distribución actuales.

Entre los objetivos del presente estudio están: "Contribuir con la Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador (CAESS) en la solución de posibles situaciones de crisis energéticas futuras, originadas por la dependencia, en gran medida, de recursos hidráulicos para suplir las demandas actuales de energía eléctrica; y, proyectar a la Escuela de Ingeniería Eléctrica con soluciones específicas al problema del abastecimiento de la Energía Eléctrica en El Salvador".

Entre los objetivos alcanzados están:

-Establecimiento de estrategias que permitan a los usuarios del servicio eléctrico modificar sus perfiles de

demanda y consumo, obteniendo con ello un beneficio económico, mejoras en la calidad del servicio y un alivio en la capacidad del sistema.

- Identificar Oportunidades de Conservación de Energía en los sectores Industrial, Comercial y Domiciliar. Elaboración de un programa general para el Manejo de la Energía, orientado al sector industrial por ser uno de los mayores consumidores.

- Mostrar estudios y ejemplos prácticos que motiven a la inversión en equipo eléctrico más eficiente y a efectuar mejoras en la instalación eléctrica.

- Establecer una base teórica que sirva como punto de referencia para efectuar investigaciones e inversiones orientadas al uso eficiente de la energía eléctrica. Además que sirva como documento de consulta y apoyo, tanto para el personal de la CAESS, como para profesionales y estudiantes interesados en el Manejo de la Energía eléctrica.

RESUMEN DEL TRABAJO

El presente trabajo, que tiene como objetivo la búsqueda de alternativas que orienten al uso racional y eficiente de la energía eléctrica en los sectores involucrados directamente en el consumo, es el resultado de la investigación bibliográfica y recopilación de diferentes criterios tanto teóricos como técnicos, provenientes de profesionales y entidades involucrados en el campo de la conservación de los recursos energéticos.

Debido a que el objeto de estudio de la presente investigación está relacionada con muchos elementos de los cuales depende, el desarrollo del trabajo se realizó de la siguiente forma:

- En el primer capítulo se estudian algunas características de los motores de inducción y las luminarias. Puesto que la fuerza motriz y la iluminación tienen marcada incidencia en el consumo de una instalación industrial, es importante conocer las características que presentan estos equipos bajo condiciones de trabajo. Con respecto a los motores, se identifican los factores que influyen en el rendimiento y el factor de potencia. Con respecto al alumbrado eléctrico, el estudio se centra en definir los tipos de lámparas más utilizadas en cualquier instalación industrial y comercial. Se hace una comparación entre las características de unas con respecto a las otras, lo cual servirá para identificar el tipo de iluminación para cada caso, tomando en cuenta factores como: eficiencia eléctrica, nivel de iluminación, rendimiento en color, etc.

- El segundo capítulo está orientado a establecer los conceptos teóricos relacionados con el consumo de la energía, entre estos están: Demanda máxima, factor de carga, factor de potencia, índice de eficiencia, entre otros. Así mismo se describe el proceso de facturación y la descripción de los equipos utilizados para efectuar las mediciones del consumo.

- El tercer capítulo está dedicado al Manejo de la Demanda Eléctrica, en el cual se abordan las principales estrategias mediante las cuales los usuarios pueden modificar su consumo, obteniéndose beneficios económicos y alivio en la capacidad del sistema. No se efectuó trabajo de campo (mediciones) para identificar el estado de la Demanda en el sector industrial, pero sin embargo, se retomaron mediciones y estudios realizados recientemente por entidades relacionadas con el área de estudio.

- La última etapa está dedicada a identificar las oportunidades de conservación de energía en los principales sectores consumidores. Se describe en forma global el

contenido y los pasos a seguir en un Programa de Manejo de la Energía. Se plantean alternativas para obtener ahorros en sistemas de iluminación y mediante el uso de motores de alto rendimiento. Se efectúa un análisis a las tarifas eléctricas.

En los anexos se presentan las tarifas eléctricas que se encuentran actualmente vigentes; así como también algunos datos e información que se consideran son útiles en el área de la eficiencia energética.

TABLA DE CONTENIDOS

| Capítulo | Página |
|--|--------|
| I FUERZA MOTRIZ Y ALUMBRADO. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE FUNCIONAMIENTO. | |
| Introducción. | |
| 1.0 Motores eléctricos | 1 |
| 1.0.1 Motores de inducción monofásicos y trifásicos | 1 |
| 1.0.2 Voltaje y frecuencia de los motores . . . | 3 |
| 1.0.3 El factor de potencia en los motores de inducción | 4 |
| 1.0.4 Consideraciones de aplicación que afectan la eficiencia y el factor de potencia de los motores | 5 |
| 1.1 Alumbrado eléctrico. | 9 |
| 1.1.1 Fuentes de luz | 9 |
| 1.1.2 Lámparas incandescentes. | 9 |
| 1.1.2.1 Ventajas de las lámparas incandescentes | 10 |
| 1.1.2.2 Desventajas de las lámparas incandescentes | 10 |
| 1.1.3 Lámparas fluorescentes | 10 |
| 1.1.3.1 Ventajas de las lámparas fluorescentes | 11 |
| 1.1.3.2 Desventaja de las lámparas fluorescentess | 12 |
| 1.1.4 Lámparas de vapor de mercurio. | 12 |
| 1.1.4.1 Ventajas de las lámparas de vapor de mercurio | 12 |
| 1.1.4.2 Desventajas de las lámparas de vapor de mercurio. | 12 |
| 1.1.5 Lámparas de descarga de alta intensidad. . | 13 |
| 1.1.5.1 Lámparas de halogenuros metálicos. . . | 13 |
| 1.1.5.1.1 Aplicaciones de las lámparas de Halogenuro metálico. | 14 |
| 1.1.5.2 Lámparas de sodio de alta presión. . . | 15 |
| 1.1.5.3 Lámparas de sodio de baja presión. . . | 15 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 19 |
| II ENERGIA Y DEMANDA ELECTRICA. | |
| Introducción. | |
| 2.0 Definiciones | 20 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.0.1 | Carga instalada | 20 |
| 2.0.2 | Potencia instalada. | 20 |
| 2.0.3 | Demanda | 21 |
| 2.0.4 | Demanda máxima. | 21 |
| 2.0.5 | Energía eléctrica | 22 |
| 2.0.6 | Demanda promedio | 22 |
| 2.0.7 | Factor de demanda | 22 |
| 2.0.8 | Factor de carga | 22 |
| 2.0.9 | Factor de utilización | 23 |
| 2.0.10 | Factor de seguridad | 23 |
| 2.0.11 | Factor de diversidad | 24 |
| 2.0.12 | Factor de coincidencia | 26 |
| 2.0.13 | Índice de Eficiencia de energía eléctrica (IEEE) | 26 |
| 2.1 | Comportamiento de la carga | 27 |
| 2.2 | Facturación del servicio eléctrico | 28 |
| 2.2.1 | Cargo por energía | 30 |
| 2.2.2 | Cargo por demanda | 30 |
| 2.2.3 | Penalización por bajo factor de potencia | 32 |
| 2.3 | Medidores de energía y demanda. Analizadores de energía | 33 |
| 2.3.1 | Medidores de inducción | 33 |
| 2.3.1.1 | Contadores de vatios-hora | 33 |
| 2.3.1.2 | Registros de un contador | 34 |
| 2.3.1.3 | Medidores de demanda con integra- dor mecánico | 36 |
| 2.3.1.4 | Proceso de medición de la energía y demanda utilizando un medidor con integrador mecánico | 37 |
| 2.3.1.5 | Medidor de demanda térmico | 40 |
| 2.3.1.6 | Respuesta del medidor de demanda térmico bajo condiciones de carga. | 40 |
| 2.3.2 | Multimedidor electrónico | 42 |
| 2.3.2.1 | Descripción física | 43 |
| 2.3.2.2 | Funciones programables | 44 |
| 2.3.3 | Analizadores de energía tipo tablero | 45 |
| 2.3.4 | Analizadores de energía tipo portátil. | 45 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. | 47 |

III MANEJO DE LA DEMANDA.

Introducción.

| | | |
|---------|--|----|
| 3.0 | Aspectos relacionados con el manejo de la demanda | 49 |
| 3.0.1 | Beneficios del manejo de la demanda. | 51 |
| 3.0.1.1 | Reducción de los cargos por demanda | 51 |
| 3.0.1.2 | Reducción de las pérdidas de energía. | 51 |
| 3.0.1.3 | Postergación de las obras de reforzamiento del sistema. | 51 |

| | |
|--|----|
| 3.0.2 Componentes de un programa de manejo de la demanda | 52 |
| 3.0.2.1 Determinación de las curvas características de carga | 52 |
| 3.0.2.2 Identificación de los factores que contribuyen al pico de la demanda | 53 |
| 3.0.2.3 Solución general propuesta | 53 |
| 3.0.3 Equipo para el control de la demanda | 56 |
| 3.1 Desplazamiento y reducción de cargas | 60 |
| 3.2 Manejo de la demanda empleando plantas eléctricas de emergencia | 64 |
| 3.2.1 Clasificación de las plantas eléctricas de emergencia | 64 |
| 3.2.1.1 Por la capacidad de potencia de generación | 64 |
| 3.2.1.2 Por tipo de arranque y transferencia de la carga | 65 |
| 3.2.1.3 Por el uso | 65 |
| 3.2.2 Análisis de factibilidades técnicas y económicas de la autogeneración | 65 |
| 3.2.2.1 Análisis de las demandas máximas en el Sistema CEL-CAESS, 1990-1993. | 66 |
| 3.2.2.2 Determinación del costo de los KW-h producidos por un motogenerador. | 72 |
| 3.2.2.3 Reducción de la demanda máxima en diciembre mediante la autoproducción. | 75 |
| 3.2.2.4 Criterios relacionados con la autoproducción. | 78 |
| 3.3 Corrección del factor de potencia en plantas industriales | 81 |
| 3.3.1 Factor de potencia en retraso y en adelanto | 81 |
| 3.3.1.1 Factor de potencia en retraso. | 81 |
| 3.3.1.2 Factor de potencia en adelanto | 82 |
| 3.3.2 Causas que ocasionan un bajo factor de potencia | 82 |
| 3.3.3 Consecuencias de un bajo F.P. | 83 |
| 3.3.4 Ventajas de la Corrección del F.P. | 84 |
| 3.3.5 Métodos para la corrección del F.P. | 87 |
| 3.3.6 Corrección del F.P. utilizando banco de condensadores | 89 |
| 3.3.7 Aspectos técnicos para la instalación de condensadores | 92 |
| 3.3.8 Ejemplo de los efectos económicos de la reducción del consumo en KVAR por medio de la instalación de condensadores | 94 |
| 3.3.9 Caso práctico para la corrección del factor de potencia | 96 |
| 3.3.9.1 Resultados obtenidos en las mediciones | 97 |
| 3.3.9.2 Resultado del cálculo de los condensadores. | 97 |
| 3.3.9.3 Cálculo de los ahorros | 98 |

| | |
|---|-----|
| 3.4 Demandas y factores de potencia de algunas industrias salvadoreñas. | |
| Estudio CEL-SETISA | 104 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. | 110 |

IV MANEJO DE LA ENERGIA ELECTRICA.

| | |
|--|-----|
| Introducción. | |
| 4.0 Programa de manejo de la energía eléctrica . . | 111 |
| 4.0.1 Desarrollo del programa | 112 |
| 4.0.1.1 Elaboración del programa. | 113 |
| 4.0.1.2 Organización para el programa. | 113 |
| 4.0.1.3 Auditoría de energía eléctrica | 115 |
| 4.0.1.3.1 Tipos de auditoría energética. | 118 |
| 4.0.1.3.2 Auditoría mixta | 120 |
| 4.0.1.4 Establecimiento de medidas en el manejo de la energía. | 121 |
| 4.0.1.5 Promoción del programa | 121 |
| 4.0.1.6 Evaluación y seguimiento | 121 |
| 4.0.2 Oportunidades de conservación de energía . | 122 |
| 4.0.2.1 OCE's en el sector industrial. | 122 |
| 4.0.2.1.1 Subestaciones | 122 |
| 4.0.2.1.2 Circuitos alimentadores, tableros y otros componentes | 126 |
| 4.0.2.1.3 Motores eléctricos | 127 |
| 4.0.2.1.4 Iluminación | 130 |
| 4.0.2.1.5 Conversión mecánica de la energía. | 131 |
| 4.0.2.2 OCE's en el sector comercial | 134 |
| 4.0.2.3 OCE's en el sector domiciliario. | 135 |
| 4.1 Reemplazo de motores estándar por motores eficientes | 137 |
| 4.1.1 Factibilidades económicas de motores eficientes | 137 |
| 4.1.1.1 Ciclos de vida | 139 |
| 4.1.1.2 Reducción de costos | 140 |
| 4.1.1.3 Factor de eficiencia | 143 |
| 4.2 Reemplazo de lámparas existentes por lámparas más eficientes | 144 |
| 4.2.1 Aplicaciones. | 144 |
| 4.2.2 Selección de lámparas más eficientes | 144 |
| 4.2.2.1 Sustitución de lámparas. Caso práctico | 149 |
| 4.2.2.2 Ahorros utilizando controles automáticos en sistemas de iluminación. | 154 |
| 4.3 Mantenimiento preventivo de motores eléctricos | 161 |
| 4.3.1 Ventilación y acondicionamiento de aire. . | 163 |

| | |
|---|-----|
| V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| 5.0 Conclusiones | 166 |
| 5.0.1 Conclusiones del capítulo I | 166 |
| 5.0.2 Conclusiones del capítulo II | 167 |
| 5.0.3 Conclusiones del capítulo III. | 168 |
| 5.0.4 Conclusiones del capítulo IV | 170 |
| 5.1 Recomendaciones | 173 |
| 5.1.1 Recomendaciones generales | 173 |
| 5.1.2 Observaciones a las tarifas vigentes aplicables al subsector eléctrico en El Salvador | 175 |
| 5.1.2.1 Comparación entre tarifa real y vigente | 177 |
| 5.1.3 Incentivos que se ofrecen en otros países para promover la conservación de la energía | 178 |

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla

| | | |
|------|---|-----|
| 1.1 | Variación del factor de potencia con respecto al número de polos y a la potencia del motor | 2 |
| 1.2 | Variación del voltaje y la frecuencia y su efecto en el rendimiento | 4 |
| 1.3 | Gamas principales de lámparas para alumbrado general | 17 |
| 2.1 | Valores típicos de IECE en El Salvador. | 28 |
| 3.1 | Pruebas para determinar el consumo de combustible del motogenerador bajo estudio. | 73 |
| 3.2 | Resultados económicos de la autoproducción en diciembre de 1992. | 79 |
| 3.3 | Resultados económicos de la autoproducción en el mes de Marzo de 1993. | 79 |
| 3.4 | KVAR/KVA de capacidad aliviada. | 86 |
| 3.5 | Cargas altas típicas y sus factores de potencia de adelanto y retraso. | 89 |
| 3.6 | Multiplicadores de KW para determinar los KVAR del capacitor, necesario para la corrección del F.F. | 92 |
| 3.7 | Cálculo de la tasa interna de retorno en la adquisición de condensadores | 99 |
| 4.1 | Tipos NEMA de motores de inducción más utilizados. | 128 |
| 4.2 | Vida promedio de los motores eléctricos | 139 |
| 4.3 | Análisis de fallas de los motores | 140 |
| 4.4 | Eficiencia de motores | 142 |
| 4.5 | Datos técnicos para motores de alta eficiencia. | 145 |
| 4.6 | Características de las lámparas | 146 |
| 4.7 | Escala de iluminancias recomendadas para instalaciones en servicios | 147 |
| 4.8 | Guía de reemplazo de lámparas de la misma clase | 148 |
| 4.9 | Guía de reemplazo con lámparas más eficaces | 149 |
| 4.10 | Datos técnicos de lámparas compactas fluorescentes para diferentes fabricantes. | 151 |
| 4.11 | Demanda de alumbrado antes y después de implementar el sistema de control | 157 |
| 4.12 | Promedio de la energía utilizada y porcentaje de ahorro para varias estrategias de control | 159 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|--------|
| 1.1 Curva de comportamiento para un motor en función de la carga | 5 |
| 1.2 Eficiencia y factor de potencia contra voltaje de diseño (3000 hp, 4 polos) | 5 |
| 1.3 Efectos de la variación del voltaje de línea con respecto a la eficiencia y al factor de potencia | 6 |
| 1.4 Eficiencia típica a plena carga y a bajo voltaje | 7 |
| 1.5 Eficiencia típica a plena carga y a alto voltaje. | 7 |
| 1.6 Factor de potencia típico a plena carga y bajo voltaje | 7 |
| 1.7 Factor de potencia típico a plena carga para motores que operan a alto voltaje. | 8 |
| 1.8 Factor de potencia contra porcentaje de variación de la carga (1800 rpm) | 8 |
| 1.9 Eficiencia vrs porcentaje de variación de la carga (1800 rpm) | 8 |
| 1.10 Distribución de la energía en lámparas incandescentes | 10 |
| 1.11 Distribución de la energía en lámparas fluorescentes | 11 |
| 1.12 Distribución de la energía en lámparas de vapor de mercurio | 13 |
| 1.13 Distribución de la energía en lámparas de haluro metálico | 14 |
| 1.14 Distribución de la energía en lámparas de sodio de alta presión | 16 |
| 2.1 Diversidad topográfica | 25 |
| 2.2 Ejemplo utilizando una curva de carga quebrada | 29 |
| 2.3 Curvas de cargas de dos empresas industriales con igual consumo de energía. | 32 |
| 2.4 Contadores de vatios-hora utilizados en los sectores comercial y domiciliario | 34 |
| 2.5 Registro de un contador tipo convencional con discos | 35 |
| 2.6 Registro de un contador tipo ciclómetro | 35 |
| 2.7 Contador de vatio-hora y demanda máxima con integrador mecánico. | 37 |
| 2.8 Proceso de medición de energía y demanda utilizando un contador con integrador mecánico. | 38 |
| 2.9 Medidor de demanda térmico. | 40 |
| 2.10 Respuesta del medidor de demanda térmico bajo condiciones de carga | 41 |
| 2.11 Aspecto externo del multimetedor electrónico | 43 |
| 2.12 Medidas externas del multimetedor electrónico | 44 |

| | | |
|------|---|-----|
| 2.13 | Analizador de energía eléctrica tipo tablero. | 46 |
| 2.14 | Analizador de energía eléctrica tipo portátil | 46 |
| 3.1 | Regulador automático de demanda | 58 |
| 3.2 | PLC para el campo de potencias medias y bajas | 59 |
| 3.3 | Red para el monitoreo de la energía y control de la demanda. | 60 |
| 3.4 | Curva de demanda anual sistema CAESS-CEL años 1990-1993 | 67 |
| 3.5 | Curvas de demanda máxima coincidental del sistema CAESS CEL, de 1990 a 1993 | 68 |
| 3.9 | Curva de demanda máxima anual sistema CAESS-CEL Diciembre 1992-1993 | 72 |
| 3.10 | Influencia del factor de potencia sobre la corriente nominal | 83 |
| 3.11 | Capacidad adicional del sistema después de la corrección del F.P. | 86 |
| 3.12 | KVAR de capacitores requeridos para mejorar un F.P. dado hasta un valor deseado. | 91 |
| 3.13 | Capacitores utilizados como filtros. | 101 |
| 3.14 | Reactor sintonizado | 102 |
| 4.1 | Uso de la energía eléctrica en el sector industrial | 123 |
| 4.2 | Uso de la energía eléctrica en el sector comercial. | 124 |
| 4.3 | Uso de la energía eléctrica en el sector domiciliario | 125 |
| 4.4 | Comparación de las pérdidas en Watts de motores estándar con motores eficientes | 138 |
| 4.5 | Comparación de eficiencias entre motores eficientes y motores estándar | 138 |
| 4.6 | Datos técnicos correspondientes a la lámpara fluorescente SL.18 fabricada por Philips | 152 |
| 4.7 | Vista en planta del sitio de la demostración para el control del sistema de iluminación | 155 |
| 4.8 | Perfil de carga para un día de semana utilizando fotoceldas para el control de la iluminación | 160 |
| 4.9 | Niveles de iluminación medidos con los fotómetros instalados | 160 |
| 5.1 | Factura de servicio eléctrico | 175 |

CAPITULO I

FUERZA MOTRIZ Y ALUMBRADO. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE FUNCIONAMIENTO.

Introducción.

En éste capítulo se estudiarán algunos de los principales equipos eléctricos que según estudios realizados anteriormente han revelado, que la fuerza motriz y el alumbrado son los mayores consumidores de electricidad y que integran cualquier instalación industrial. Se estudiarán las características que bajo condiciones de trabajo presentan estos dispositivos, con el fin de conocer su correcto funcionamiento, obtener el mejor provecho de ellos y el uso más eficiente de la energía eléctrica.

1.0 Motores Eléctricos.

Los motores son equipos electromagnéticos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica, transmitiéndola en el giro de un eje acoplado a otro aparato. Es el equipo característico de la instalación industrial, con un rango variadísimo de aplicaciones: bombas, ventiladores, molinos, compresores, etc.

El mayor consumo de energía eléctrica en la industria, corresponde a los motores eléctricos (ver capítulo V), básicamente a los de corriente alterna, razón por la cual en el presente estudio sólo se tomarán en cuenta estos motores.

1.0.1 Motores de Inducción Monofásico y Trifásico.

El motor eléctrico de inducción es el de uso más generalizado tanto en circuitos monofásicos como polifásicos: el uso tan extendido de éstos es debido a la sencillez de su construcción, su robustez, su seguridad de funcionamiento ya que su velocidad es sustancialmente independiente de la carga, dentro de los límites normales de trabajo.

Los más pequeños son alimentados en una fase y poseen una capacidad de fracción de un caballo. Los más grandes alcanzan potencias de centenares de caballos, y son suplidos por un alimentador trifásico en 220, 440 V, o inclusive en 2300 voltios.

En los motores de inducción pequeños el Factor de

Los motores trifásicos de inducción están gobernados bajo el mismo principio que los motores de inducción monofásicos. El estator posee tres devanados, uno por cada

Los motores monofásicos poseen en su estator un único devanado el cual debe alimentarse desde una fuente de potencia monofásica lo cual constituye su principal problema, contrario a los sistemas trifásicos. Una fuente monofásica no produce un campo magnético giratorio, y los motores monofásicos de inducción necesitan diseños especiales para su arranque y funcionamiento.

| 2 POLOS 3000 RPM | | 4 POLOS 1500 RPM | | 6 POLOS 1000 RPM | | 8 POLOS 750 RPM | |
|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|--------------------|-------|
| HP | COS φ | HP | COS φ | HP | COS φ | HP | COS φ |
| 1/6 | 0.73 | 1/4 | 0.66 | 1/3 | 0.62 | 1/16 | 0.6 |
| 1/4 | 0.78 | 1/3 | 0.67 | 1/2 | 0.63 | 1/8 | 0.63 |
| 1/2 | 0.82 | 3/4 | 0.73 | 1 | 0.67 | 1/6 | 0.65 |
| 1 | 0.86 | 1.5 | 0.78 | 2 | 0.7 | 1/2 | 0.57 |
| 2 | 0.88 | 3 | 0.80 | 4 | 0.71 | 1 | 0.6 |
| 7.5 | 0.9 | 7.5 | 0.84 | 10 | 0.80 | 2 | 0.66 |
| 10 | 0.91 | 10 | 0.85 | 15 | 0.79 | 3 | 0.66 |
| 15 | 0.9 | 15 | 0.83 | 20 | 0.80 | 4 | 0.66 |
| 25 | 0.91 | 25 | 0.84 | 30 | 0.80 | 7.5 | 0.74 |
| 40 | 0.91 | 40 | 0.85 | 40 | 0.86 | 15 | 0.75 |
| 75 | 0.92 | 75 | 0.87 | 50 | 0.83 | 30 | 0.76 |
| 100 | 0.94 | 100 | 0.90 | 100 | 0.84 | 40 | 0.74 |
| 150 | 0.93 | 150 | 0.87 | 125 | 0.83 | 60 | 0.75 |
| 200 | 0.94 | 200 | 0.86 | 175 | 0.85 | 100 | 0.78 |
| 400 | 0.95 | 450 | 0.89 | 250 | 0.88 | 175 | 0.77 |

Tabla 1.1 Variación del Factor de Potencia con respecto al número de polos y a la potencia del motor.

La Tabla 1.1 presenta la variación del F.P. respecto a la potencia de salida en KW y al paso polar en los motores. Se observa que a medida que aumenta el número de polos, para un motor con la misma potencia de salida, disminuye el F.P., ya que a mayor número de polos, menor distancia periférica entre polos, y por ende, menor paso polar.

Potencia es menor que en los de mayor capacidad; la razón es que el F.P. de este tipo de motores varía con el paso polar (se define paso polar como la distancia periférica entre los puntos que ocupan la misma posición entre dos polos consecutivos), teniendo que los motores con gran paso polar tienen un mayor F.P. que los de paso polar pequeño.

fase, por lo que se hace innecesario los arreglos para producir el par de arranque.

Sus devanados pueden conectarse en estrella o en delta. Atendiendo a la forma constructiva del rotor se clasifican en:

- Motores de "jaula de ardilla"
- Motores de rotor devanado.

Algunas características de estos motores son:

-El jaula de ardilla es mucho más robusto y sencillo de construir, lo cual hace más imposible la falta de corriente inducida a causa de una ruptura en los conductores del rotor.

-El rotor devanado es más caro y menos resistente, pero posee un mejor sistema de enfriamiento y además alcanza rendimientos y factor de potencia más elevado que el jaula de ardilla.

-El motor de rotor devanado puede variar su velocidad hasta en un 50%, por medio de resistencias externas rotóricas, en cambio el jaula de ardilla no lo puede hacer, por lo que su aplicación se limita a cargas de velocidad fija, dentro de las cuales su elección es casi segura.

-El jaula de ardilla demanda poco mantenimiento, debido a su sencillez.

1.0.2 Voltaje y Frecuencia de los Motores de Inducción.

Los mejores resultados se obtienen trabajando los motores de inducción con la frecuencia y voltajes normales de asignación. Es cierto que se pueden tolerar algunas variaciones y con los límites de voltaje +/- 10% del indicado en las placas de características, mientras que la frecuencia puede variar +/- 5%, y no deben variar ambos factores a la vez hasta los límites extremos permitidos, ni deben cambiar al mismo tiempo en dirección opuesta.

En la Tabla 1.2 se muestra el efecto de las variaciones del voltaje y la frecuencia sobre el rendimiento.

No es conveniente operar a menos frecuencia con voltaje más bajo del normal, por el aumento del consumo de amperaje, con la consiguiente elevación de temperatura. Al aumentar en más de un 10% el voltaje nominal, un motor de 5 Hp puede operar como un motor de 6 HP. El querer aumentar la capacidad del motor por este camino, llevaría a un deterioro del aislamiento, y una disminución de los factores de seguridad.

1.0.3 El Factor de Potencia en los Motores de Inducción.

La variación de la reactancia del rotor como del estator afectan el Factor de Potencia del motor. Durante el arranque, la reactancia del rotor tiene su valor máximo, que dá un factor de potencia bajo. A medida que el motor alcanza la velocidad de vacío, la reactancia disminuye, y puesto que la resistencia permanece constante, el factor de potencia es entonces alto. Sin embargo, las características de reactancia del estator, predominan, ya que su valor no cambia desde el arranque hasta el régimen estable, con lo cual el F.P. del motor es bajo.

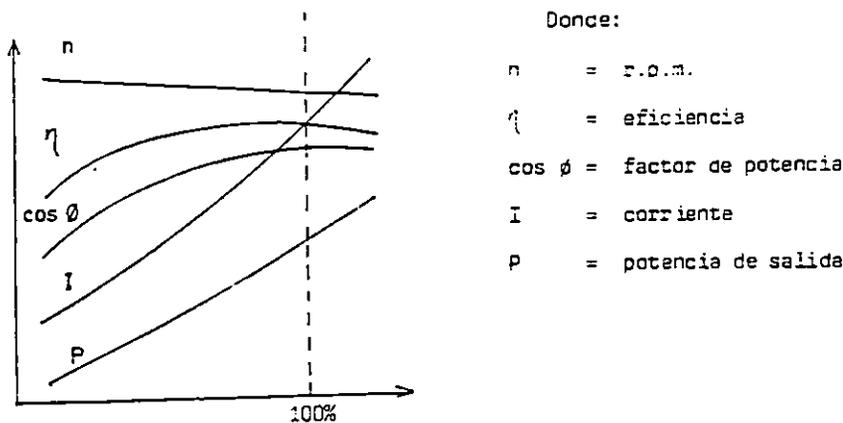
Tabla 1.2 Variación del voltaje y la frecuencia y su efecto en el rendimiento.

| | FACTOR DE POTENCIA | MOMENTO DE TORSION | DESLIZA- MIENTO | REND. PLENA CARGA |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| Voltaje alto | Disminuido | Aumentado | Disminuido | Aproxim igual |
| Voltaje bajo | Aumentado | Disminuido | Aumentado | Aproxim igual |
| Frecuencia Aumentada | Aumentado | Disminuido | igual | Aproxim igual |
| Frecuencia Disminuida | Disminuido | Aumentado | igual | Aproxim igual |

En condiciones de carga, el F.P. aumenta. Esto se debe al aumento de la componente de corriente real. El F.P. de un motor de inducción aumenta con la carga hasta llegar a su valor máximo en condiciones nominales. Aunque las condiciones de diseño de los motores permite un cierto exceso, si se cargan más allá del punto nominal, el aumento de deslizamiento hace que aumente el desfase entre el flujo y la corriente.

En consecuencia, si se sobrepasa el punto de operación óptimo, el aumento de deslizamiento reduce el F.P. y la eficiencia.

En la Figura 1.1 se muestran curvas de velocidad, eficiencia, Factor de Potencia, corriente y potencia de salida versus porcentaje de carga. De la que puede apreciarse que tanto eficiencia como Factor de Potencia son curvas parecidas y alcanzan sus mejores valores cerca de plena carga. En la siguiente sección se muestran varias curvas de este tipo.



Porcentaje de carga en el eje

Figura 1.1 Curva de comportamiento para un motor en función de la carga.

1.0.4 Consideraciones de Aplicación que Afectan la Eficiencia y el Factor de Potencia de los Motores.

En esta sección se discutirán algunas de las más comunes aplicaciones y consideraciones que pueden influir en la eficiencia del motor y el factor de potencia.

a) Sistemas de Voltaje. La Figura 1.2 muestra que por regla general los motores que operan a altos voltajes (12 kV o más), tendrán más baja eficiencia que los motores equivalentes a voltaje medio (2-7 kV). El factor de potencia a voltajes altos, también tiende a bajar.

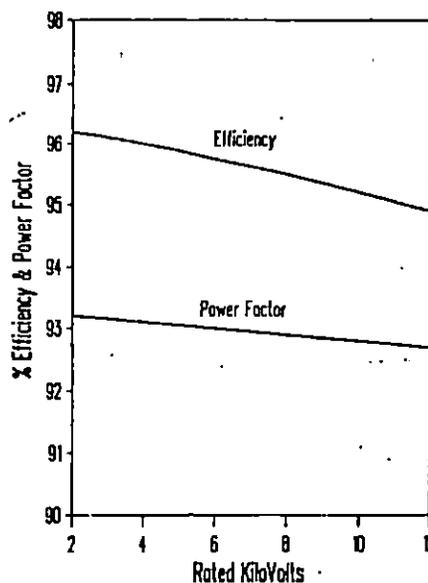
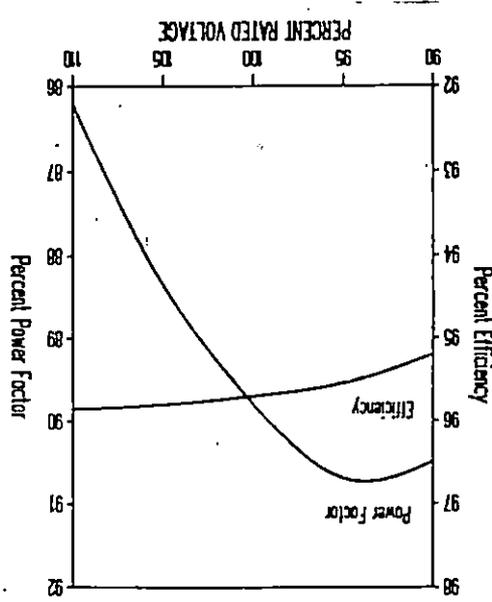


Figura 1.2 Eficiencia y Factor de Potencia en relación al voltaje de diseño (3000 hp, 4 polos).

d) Velocidad de los Motores. La selección de la velocidad apropiada del motor es usualmente función de lo que es más económico desde el punto de vista del manejo del equipo y del costo inicial del motor. Hasta hace poco tiempo se le había dado poca importancia a la relación que existe entre la velocidad a la cual opera el motor y la eficiencia y F.P. Nuevamente las figuras 1.4 a 1.7 muestran estas relaciones. Dicho en forma simple, los motores grandes de altas velocidades tienen la característica de mejores

c) Tamaño del motor y Niveles de Carga. Se puede observar con claridad en las Figuras 1.4 a 1.7 que los motores más grandes tienen mejor eficiencia y F.P., tal como se mencionó anteriormente. Sin embargo, existe un punto en la curva, como muestra la Figura 1.8, donde se da una reducción del pico en el F.P., si el motor no está operando en punto de plena carga. La eficiencia no varía mucho con la carga por debajo del 50% como se muestra en la figura 1.9. También se observa que el pico de la curva de eficiencia no necesariamente ocurre a plena carga, en muchos casos ocurre cerca del 75 u 80% de plena carga.

Figura 1.3 Efecto de las variaciones del voltaje de línea con respecto a la eficiencia y al factor de potencia. Típico para 2000 hp, 1800 rpm, 4000 V.



b) Voltaje de Operación. La Figura 1.3 muestra los efectos de la variación del voltaje de línea sobre la eficiencia y el factor de potencia. La mejor razón para explicar el acentuado descenso del F.P. es que la corriente de magnetización se incrementa en función al cuadrado, y esta corriente produce la potencia reactiva.

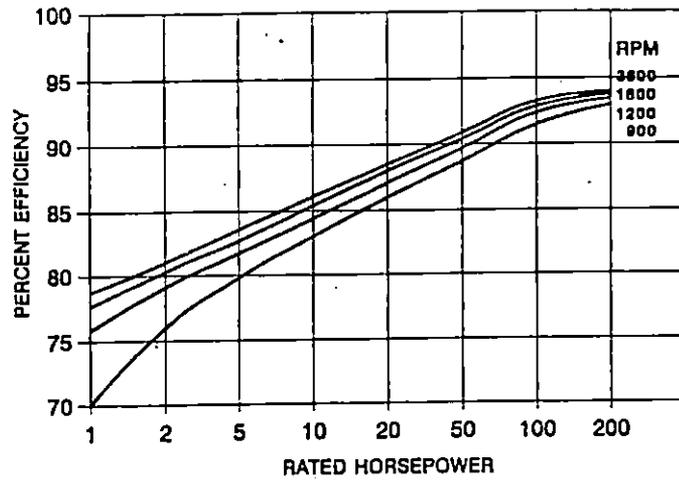


Figura 1.4 Eficiencia típica a plena carga y bajo voltaje.

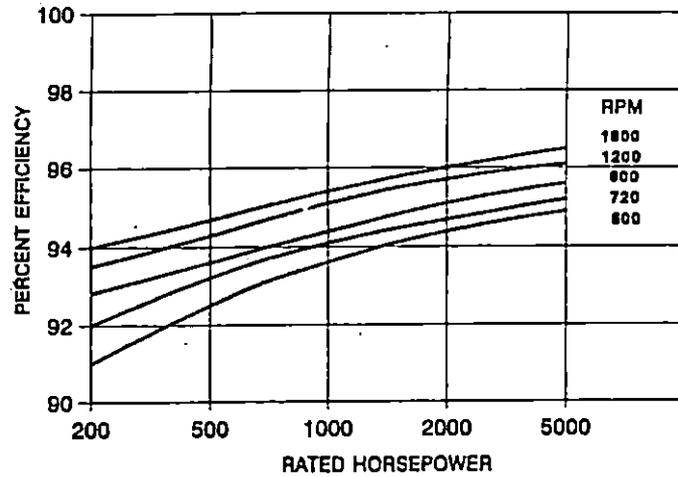


Figura 1.5 Eficiencia típica a plena carga y alto voltaje.

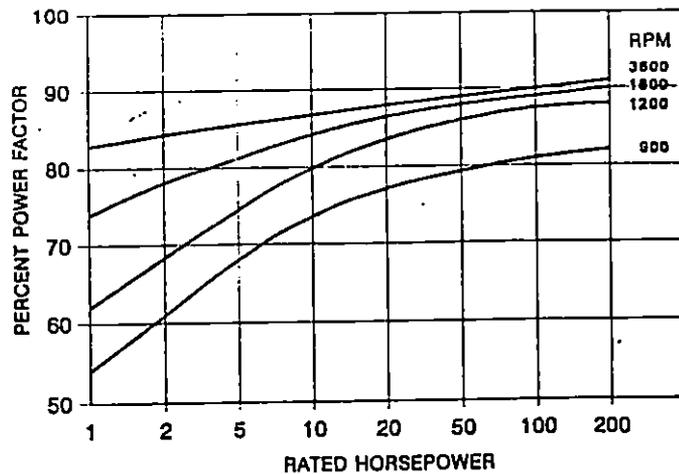


Figura 1.6 Factor de Potencia típico a plena carga y bajo voltaje.

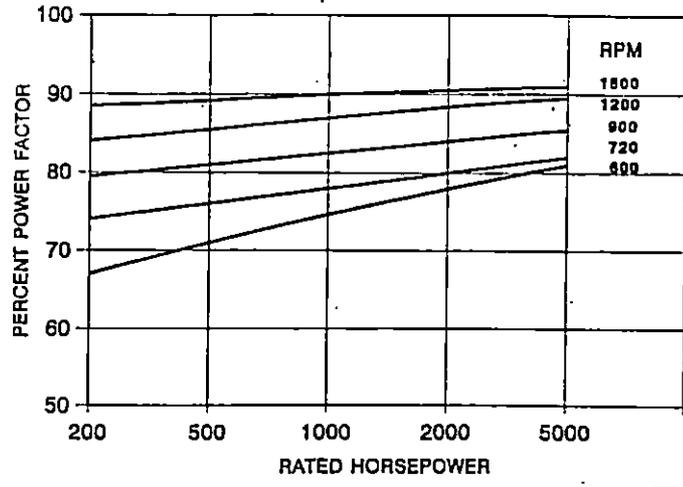


Figura 1.7 Factor de potencia típico a plena carga y alto voltaje.

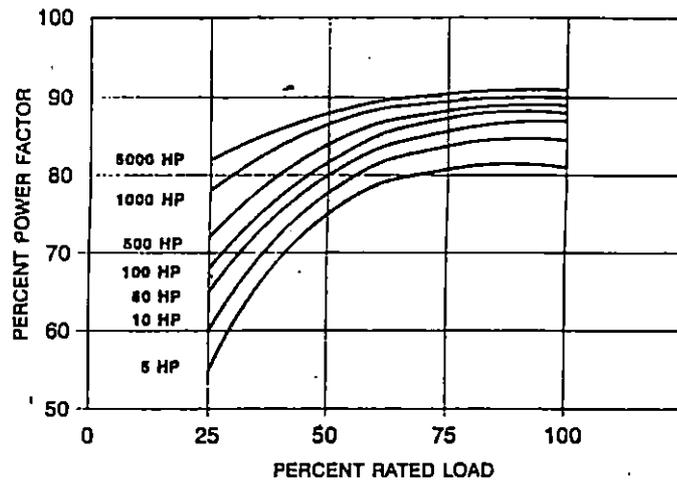


Figura 1.8 Factor de Potencia típico con relación al porcentaje de carga (1800 r/min)

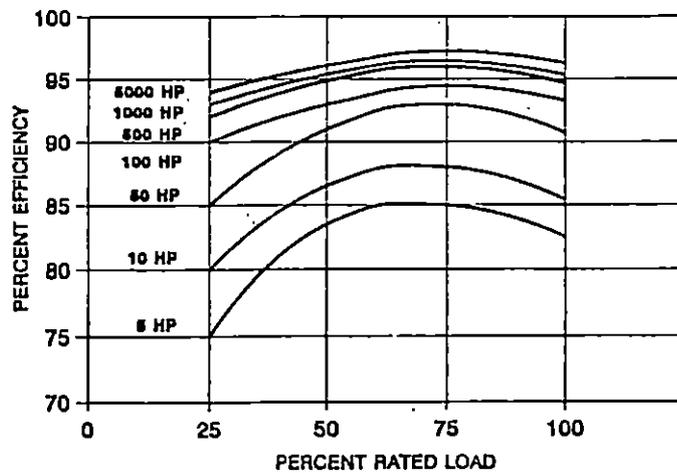


Figura 1.9 Eficiencia típica contra porcentaje de carga. (1800 r/min)

eficiencias y Factores de Potencia, y si la velocidad y/o potencia (hp) son reducidos, así también lo serán la eficiencia y el F.P.

1.1 Alumbrado Eléctrico.

El empleo más común de la utilización de la electricidad, es para propósitos de producción de iluminación de ambientes cerrados durante el día y la noche, y de patios exteriores por las noches.

1.1.1 Fuentes de Luz.

Por fuentes de luz, se entiende a los objetos de los que emanan radiaciones visibles, y su efecto es la iluminación sobre la superficie donde inciden los rayos de la energía luminosa. Existen dos tipos de fuentes de luz: Fuentes de luz natural y fuentes de luz artificial.

Las fuentes de luz natural son las que emiten radiaciones visibles debido a una gran cantidad de energía que tienen almacenada y la transforman en luz por sí mismas. Las fuentes de luz artificial son aquellas en las que es necesario el suministro de energía externa a la fuente para producir luz.

Los métodos empleados para producir radiaciones luminosas son los siguientes:

- Radiación por elevación de temperatura.
- Descarga eléctrica en el gas o en el metal al estado de vapor.
- Fluorescencia.

Dentro del primer grupo pertenecen las lámparas incandescentes. El principio de la descarga en gas se aplica a las lámparas de vapor de mercurio, vapor de sodio, neón, etc. El fenómeno de la fluorescencia de ciertas sustancias por efecto del bombardeo eléctrico, es aplicable a las lámparas fluorescentes.

1.1.2 Lámparas Incandescentes.

El principio de funcionamiento de la lámpara se basa en que un filamento de tungsteno de espiral simple o doble, se lleva hasta la incandescencia con el paso de la corriente eléctrica, haciéndola que destelle. Con el objeto de que no se queme el filamento, se encierra en una ampollita o bulbo de vidrio dentro del cual se hace el vacío o se introduce un gas inerte (argón, criptón, etc). El vacío se hace en las lámparas de potencia pequeñas en tanto que el uso del gas inerte se hace en lámparas de mediana y gran potencia.

La lámpara incandescente aprovecha solamente una parte de la energía eléctrica que se le suministra como se muestra en la Figura 1.10.

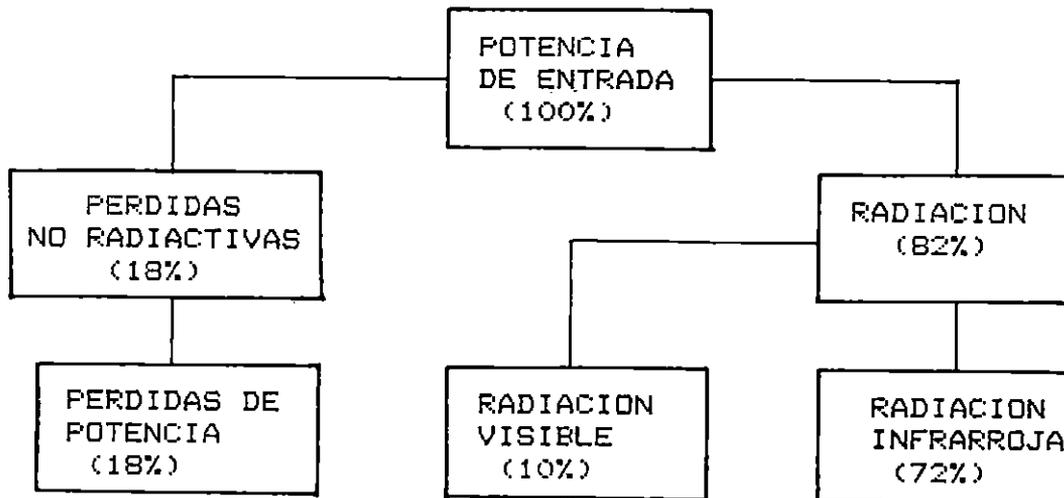


Figura 1.10 Distribución de la energía en lámparas incandescentes.

1.1.2.1 Ventajas de las Lámparas Incandescentes.

- Encendido inmediato sin requerir aparatos auxiliares (balastro).
- Ocupan poco espacio y su costo de adquisición es bajo. No tiene ninguna limitación para la posición de funcionamiento.
- Fácil manipulación e instalación.

1.1.2.2 Desventajas de las Lámparas Incandescentes.

- Su vida útil es corta (alrededor de 1000 horas).
- Baja eficiencia luminosa y por lo tanto costo de operación relativamente elevado.
- Elevada producción de calor.
- Elevada brillantez con deslumbramiento relativo.

1.1.3 Lámparas Fluorescentes.

Las lámparas fluorescentes producen la luz debido a que existe una descarga eléctrica que excita el gas (vapor de mercurio y un poco de argón) contenido dentro de un tubo, generando una radiación sobre todo en la región de las frecuencias correspondientes a la luz ultravioleta. Tales radiaciones se dirigen hacia la sustancia fluorescente dispuesta en las paredes internas del tubo y se transforma

en energía luminosa visible.

Las lámparas fluorescentes utilizan para su funcionamiento un elemento alimentador que sirve para limitar y estabilizar la corriente de descarga.

Este dispositivo alimentador se denomina genéricamente REACTOR; conocido también como balastro. La duración media de una lámpara fluorescente es alrededor de 7500 horas.

En la Figura 1.11 se muestra la distribución de la energía, en la que se observa que la radiación visible es un 12% mayor que la mostrada por las lámparas incandescentes.

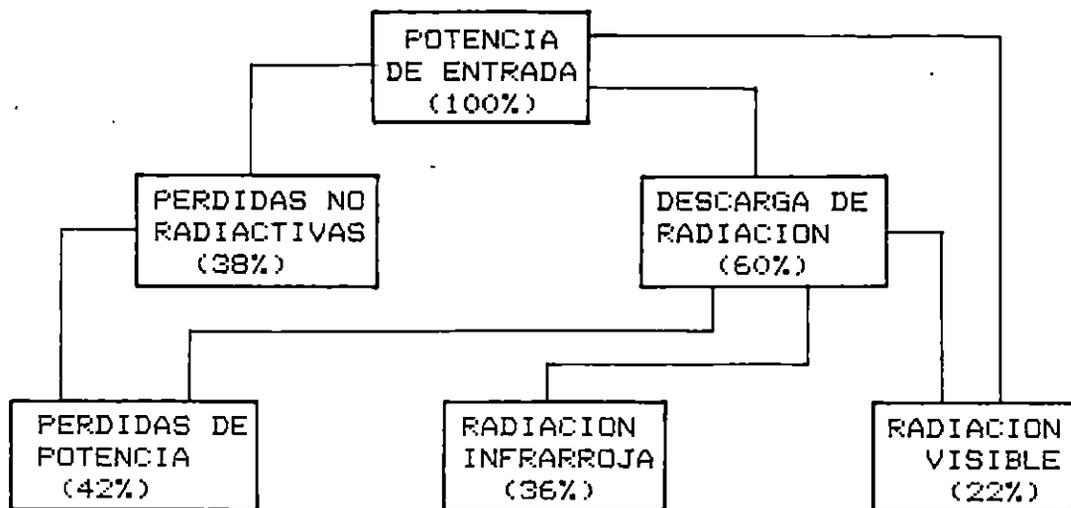


Figura 1.11 Distribución de la energía en lámparas fluorescentes.

1.1.3.1 Ventajas de las Lámparas Fluorescentes.

- Tienen una buena eficiencia luminosa (de 4 a 6 veces lo que tienen las lámparas incandescentes), por lo que el costo de operación de las mismas es menor.
- No tiene ninguna restricción en cuanto a la posición de operación.
- Vida útil más larga que cualquier lámpara incandescente.
- Produce menos calor.
- Tiene una radiación visible de 22%, 12% mayor que la mostrada por las lámparas incandescentes.
- Tiene una brillantez de superficie relativamente baja, lo que contribuye a una mejor visión, ya que se refleja menos sombra.

1.1.3.2 Desventajas de las Lámparas Fluorescentes.

- Tienen un factor de potencia más bajo que la lámpara incandescente.
- No puede usarse cuando hay fluctuaciones violentas y frecuentes de voltaje, ya que a un porcentaje pequeño del voltaje nominal, la lámpara se apaga.

1.1.4 Lámpara de Vapor de Mercurio.

Estan formadas por un pequeño tubo de cuarzo que contiene vapor de mercurio a una presión elevada y un gas inerte (argón) para facilitar la descarga.

El tubo de cuarzo está contenido dentro de un bulbo de vidrio para aislarlo del ambiente externo y además absorber las radiaciones ultravioletas (que dañan los ojos) que dan lugar a la formación de ozono en el aire.

La potencia de estas fluctúa entre 40 y 1550 Watts, necesitan balastro en el momento del arranque, para su funcionamiento.

El principio de operación obedece a la ionización de argón y mercurio, cuando esto sucede se establece una descarga entre los electrodos de operación. La luz se produce por la energía emitida por los átomos afectados a medida que vuelven nuevamente a su estructura normal.

1.1.4.1 Ventajas de Lámparas de Vapor de Mercurio.

- Tienen una eficiencia más alta que las incandescentes.
- Tienen una vida extremadamente larga, por lo que se usa en el alumbrado público. (6000-9000 horas).
- Existe un tipo de lámparas de mercurio conocida como autobalastada, la cual puede ser útil para reemplazar directamente a las lámparas incandescentes.
- Producen una luz en la que destacan mucho los objetos pequeños: tornillos, pernos, tuercas, etc. por lo que se emplean en talleres y fábricas.

1.1.4.2 Desventajas de las lámparas de Vapor de Mercurio.

- Su eficiencia cae más rápidamente que en otras lámparas.
- El costo inicial es más alto que las incandescentes y las fluorescentes.
- El efecto estroboscópico puede producirse bajo ciertas circunstancias, causando que los objetos que se mueven a una velocidad uniforme pueden dar la impresión de moverse bruscamente.
- El empleo de aparatos auxiliares para su encendido.

-El encendido no es inmediato, toma de 4 a 5 minutos para tener la máxima emisión luminosa.

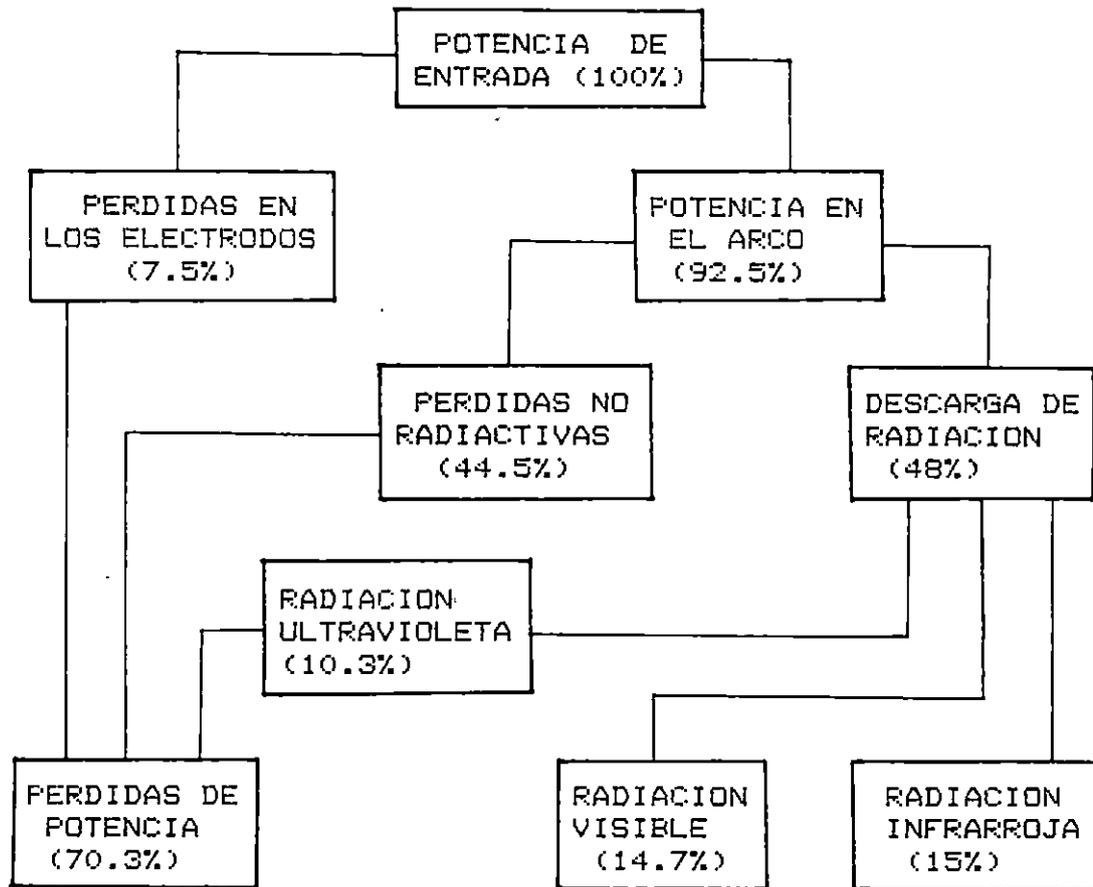


Figura 1.12 Distribución de energía en las lámparas de vapor de mercurio.

1.1.5 Lámparas de Halogenuros Metálicos.

Este tipo de lámparas pertenece a las lámparas de alta intensidad de descarga (HID) y es una de las fuentes de luz blanca más eficiente disponible hoy en día. Físicamente es de tamaño compacto y tiene las mismas dimensiones exteriores correspondientes a una lámpara de vapor de mercurio de la misma potencia aunque internamente difieren considerablemente a estas últimas.

En la actualidad estas lámparas se encuentran disponibles en potencias de 175 a 1500 Watts.

Posee las mismas ventajas y desventajas que las lámparas de vapor de mercurio a diferencia de una mayor eficiencia

alrededor de un 65% a 70%.

1.1.5.1 Aplicación de Lámparas de Halogenuros Metálicos.

- Instalaciones industriales donde existe gran altura del montaje de las luminarias.
- Estacionamiento y venta de autos por su alto rendimiento de color.
- Edificios y anuncios luminosos por su alto rendimiento de color y altos niveles de iluminación.
- Iluminación comercial.

En la Figura 1.13 se muestra la distribución de la energía.

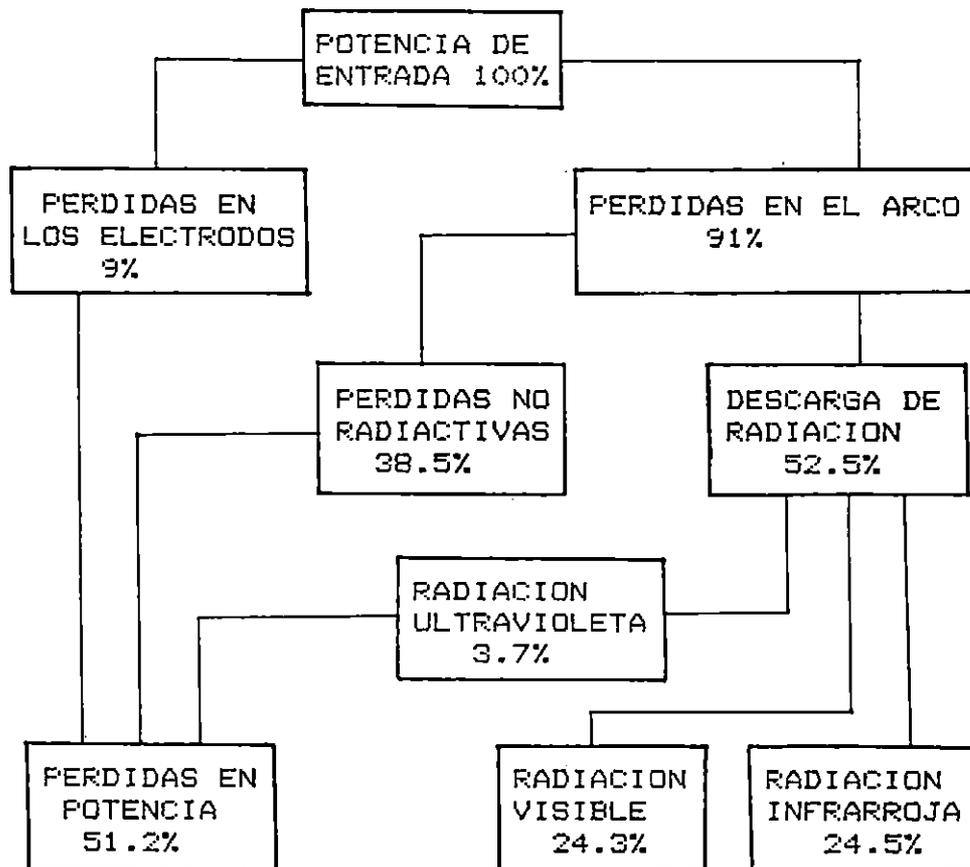


Figura 1.13 Distribución de energía en las lámparas de Halogenuro metálico.

1.1.6 Lámparas de descarga de alta intensidad (HID).

Es el tipo más eficiente de lámparas de descarga de alta intensidad (HID). La luz se produce por el paso de corriente eléctrica a través de vapor de sodio con una presión determinada a alta temperatura.

Las lámparas de vapor de sodio se clasifican en dos grandes tipos de alta presión y baja presión.

1.1.6.1 Lámparas de Sodio a Alta Presión.

Estas lámparas son disponibles en varias formas:

- con bulbo elipsoidal difundente.
- con bulbo tubular de vidrio claro.
- con bulbo tubular de cuarzo y dos patas de conexión.

La luz de estas lámparas da un color que los fabricantes definen como "blanco dorado" pero que tiende un poco al amarillo fuerte.

Su encendido requiere en lugar del arrancador normal usado para las lámparas fluorescentes o de vapor de mercurio, de un encendedor un poco especial. La función de arranque se logra por medio de un circuito electrónico (ignitor) que trabaja en conjunto con los componentes magnéticos del balastro.

Estas lámparas requieren un período de calentamiento de 3 a 4 minutos para lograr su completa brillantez. La característica más importante de la lámpara de sodio de alta presión es su gran eficiencia. Tienen una distribución de energía que se muestra en la Figura 1.14.

1.1.6.2 Lámparas de Sodio de Baja Presión.

Estas lámparas a diferencia de las de alta presión están diseñadas para funcionar con balastos, para lámparas de vapor de mercurio, ya que las características eléctricas y físicas de ambas son equivalentes.

A diferencia de las de alta presión, éstas no necesitan un circuito electrónico para el arranque (ignitor).

La luz de estas lámparas da un color casi amarillo ya que se encuentra dentro de la gama de los colores monocromáticos. La eficiencia de estas lámparas es muy alta y se puede considerar como la mayor entre todas las fuentes luminosas artificiales y alcanzan valores entre 130 y 180 lumen/watts.

El encendido de estas lámparas es lento ya que se requiere de aproximadamente 10 minutos para alcanzar el 80%

del flujo luminoso y otros 5 minutos para llegar al 100%.

La distribución de la energía en este tipo de lámparas es el siguiente: 8.3% de pérdidas en los electrodos y 91.7% de potencia en el arco. De estas últimas 51.7% en pérdidas no radiactivas y 40% en descarga de radiación. De ésta última, 0% en radiación ultravioleta, 35.5% en radiación visible y 4.5% en radiación infrarroja. Al final las pérdidas en potencia suman 60%.

En la Tabla 1.3 se presenta un resumen de las fuentes de luz artificial y sus principales características.

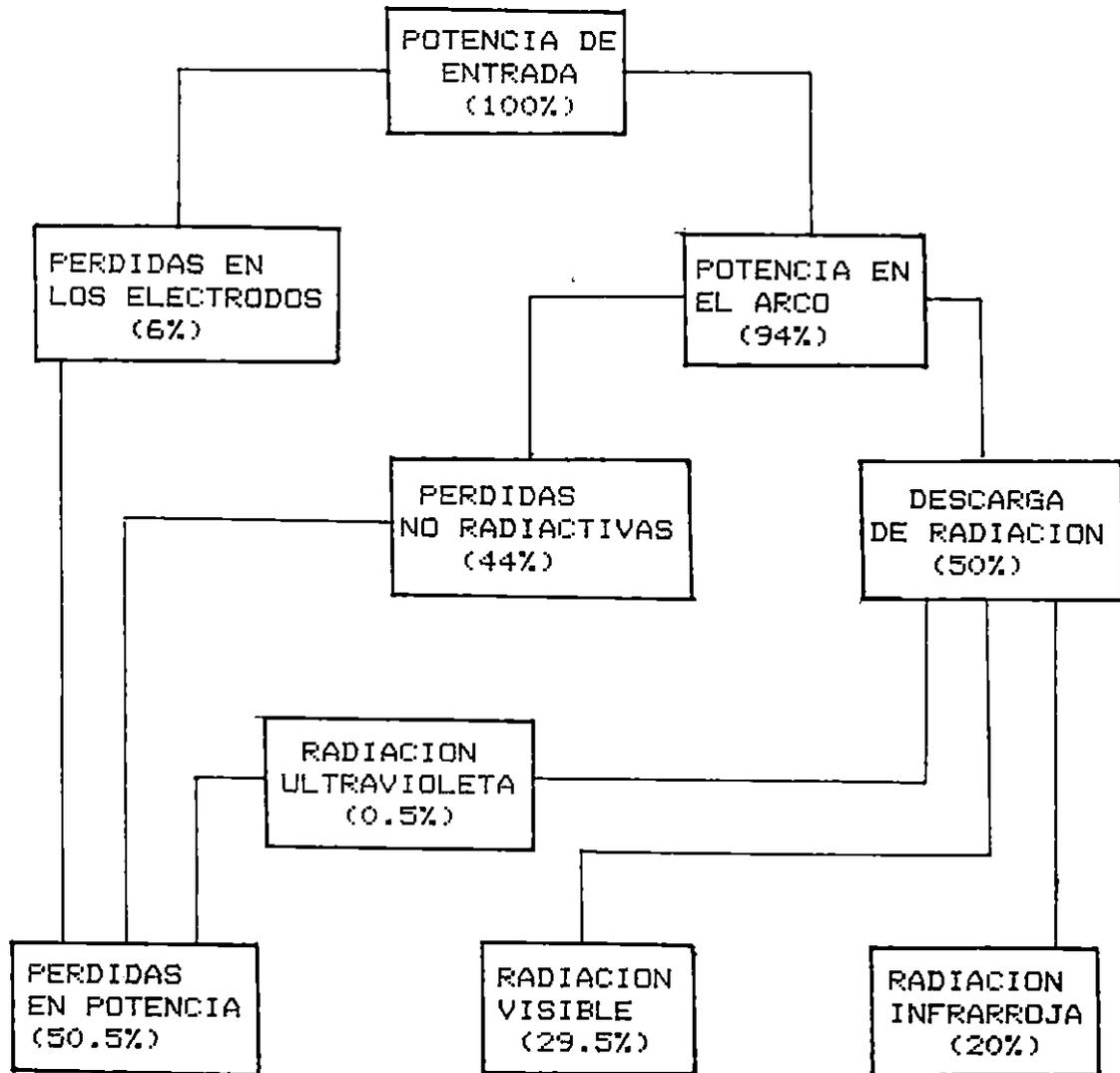
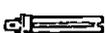


Figura 1.14 Distribución de energía en lámparas de alta presión.

TABLA 1.3

GAMAS PRINCIPALES DE LAMPARAS PARA ALUMBRADO GENERAL

Suplemento

| Categoría | Tipo | Eficacia máx. de la lámpara lúmenes/vatio | Vida económica horas | Características | Aplicaciones típicas |
|--|---|---|----------------------|---|---|
| LAMPARAS INCANDESCENTES    | Lámparas incandescentes normales y lámparas reflectoras | 22 | 1 000 | Fácil instalación y empleo; gran variedad de versiones, encendido instantáneo; bajo precio; las lámparas reflectoras permiten haces de luz concentrados | Alumbrado general del hogar, alumbrado decorativo, alumbrado localizado, realce decorativo (lámparas reflectoras) |
| | Halógenas | 27 | 2 000 | Compactas, gran rendimiento luminoso, luz blanca, fácil instalación, larga duración comparada con las lámparas incandescentes normales | Alumbrado de realce, alumbrado por proyectores |
| LAMPARAS FLUORESCENTES    | Tubular | 104 | 7 500 | Gran variedad de colores de luz; permite altos niveles de alumbrado; económica | Todo tipo de edificios comerciales y públicos; alumbrado vial; alumbrado doméstico |
| | SL* | 50 | 5 000 | Económica; sustitución directa de las lámparas incandescentes | Prácticamente las mismas que las lámparas incandescentes empleadas con anterioridad |
| | PL* | 80 | 5 000 | Reducido tamaño, larga duración, economía | Creación de atmósferas agradables en zonas sociales, alumbrado local; anuncios; seguridad y orientación |
| LAMPARAS DE DESCARGA DE GAS        | Alumbrado por lámparas mixtas autoestabilizadas | 28 | 5 000 | Larga duración; buena calidad de color; fácil instalación; eficacia superior a las lámparas incandescentes | Sustitución directa para lámparas incandescentes; proyectos industriales y públicos de pequeño alcance, irradiación de plantas |
| | Mercurio a alta presión | 63 | 12 000 | Gran eficacia; extremadamente larga duración, aceptable calidad de color | Alumbrado de zonas residenciales, campos de deportes, y fábricas |
| | Haluro metálico | 94 | 6 000 | Muy buena eficacia y excelente calidad de color; larga duración | Alumbrado por proyectores, sobre todo, para televisión en color; alumbrado industrial, vial; irradiación de plantas |
| | Sodio a alta presión | 125 | 12 000 | Muy buena eficacia; extremadamente larga duración; buena calidad de color | Alumbrado público; alumbrado por proyectores; industrial; irradiación de plantas SON-H; sustitución para las lámparas de mercurio |
| | Sodio a baja presión | 200 | 10 000 | Superior eficacia; muy larga duración; gran agudeza visual; mala calidad de color; luz monocromática | Gran variedad de aplicaciones: donde la economía es más importante que el color |

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bonnett, Austin H. Understanding the Changing Requierements and Opportunities for Improvement of Operating Efficiency of ac Motors. IEEE Transactions on Industry Applications. Vol 29. No.3 May/June 1993. Pag. 600-604.

Enriquez Harper, Gilberto. El ABC del Alumbrado y las Instalaciones Eléctricas de Baja tensión. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V. 1987.

Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. ICAITI. El Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en la Industria. Guatemala. 1984.

Selva, Guillermo y Umaña, Alvarado. Administración de la Energía. Costa Rica: Editorial Universitaria Centroamericana. EDUCA. 1988.

SILVANIA GTE. Productos de Iluminación. San José, Costa Rica. 1984.

CAPITULO II

ENERGIA Y DEMANDA ELECTRICA

Introducción.

La producción industrial depende del suministro de energía, y son muchísimas las fábricas que, exclusivamente, usan energía eléctrica para hacer funcionar su maquinaria, iluminar las oficinas y puestos de trabajo, y accionar otros muchos dispositivos útiles. A causa de la crisis energética de los últimos años, el costo de la electricidad ha aumentado en forma drástica, al punto de que el gasto por este concepto ha pasado a ser uno de los más importantes en el proceso de producción. Por eso, es necesario efectuar un estudio cuidadoso para cerciorarse de que la energía está siendo usada con eficiencia y que los desperdicios se mantienen dentro del mínimo permisible.

En este capítulo se estudiarán los principales términos relacionados con el consumo de la energía eléctrica, como son: Demanda máxima, Factor de Carga, Índice de Eficiencia, etc. También se describe el proceso de facturación de la energía y la demanda, factor de potencia y los equipos más utilizados para medir estos parámetros.

2.0 Definiciones.

A continuación se definen algunos conceptos que se considera son necesarios conocer para la correcta comprensión de los tópicos posteriores.

2.0.1 Carga Instalada (C.I.)

Para una industria la carga instalada puede definirse como la suma de las demandas máximas, de todos los artefactos de iluminación, equipos, pequeños aparatos ó cualquier otra carga eléctrica conectada a los circuitos de la instalación.

2.0.2 Potencia Instalada (P.I.)

Es la suma de las potencias nominales de los quipos que son alimentados efectivamente por el sistema, o sea es la potencia que en cualquier instante está disponible para utilizarse en la instalación.

2.0.3 Demanda.

Es la suma de cargas y las pérdidas de potencia correspondientes, en un instante determinado, de un usuario, conjunto de usuarios o de un sistema.

En una planta industrial (en su instalación eléctrica), la demanda es la potencia consumida por la carga instalada, medida en intervalos regulares de tiempo y expresado en KW o KVA. Los intervalos de tiempo son generalmente 24 horas o 30 días.

2.0.4 Demanda Máxima (M.D.)

Es la carga pico, o el valor máximo de potencia que alcanza la carga en un período dado. Si se trata de una curva de carga de un mes, ese valor pico es el que ha quedado registrado en el medidor de la empresa eléctrica como la demanda máxima del mes, afectando la facturación del servicio eléctrico. Las unidades de demanda máxima son Kilovatios (KW) ó KVA.

La demanda máxima de un equipo de iluminación, aparato, artefacto o dispositivo eléctrico, es el dato de consumo de potencia, marcado en la placa y suministrado por el fabricante.

En la práctica, la demanda máxima es la sostenida en un intervalo de tiempo más largo, usualmente con 15, 30 o 60 minutos. El lapso en que se mide la carga promedio se denomina Intervalo de Demanda.

Es usual medir la máxima demanda en todas las plantas generadoras, ya sea por un medidor-graficador de MD o por el más común instrumento medidor-indicador utilizado para medir la MD de los grandes consumidores industriales y del suministro en bloque.

El costo de medir la máxima demanda en pequeños consumidores, en cambio, generalmente resulta desproporcionada por los resultados obtenidos y usualmente es conveniente estimar esa demanda máxima indirectamente, más aún, aparte de lo caro que resultan esas mediciones; la máxima demanda de los consumidores pequeños es realmente demasiado errático para tomarla como un criterio confiable para los costos fijos incurridos por el consumidor.

Una manera de estimar la máxima demanda sin realmente medirla, y que puede ser utilizada especialmente en condiciones temporales, como cuando el equipo de medición esté dañado, es asignar la MD de acuerdo a la carga instalada; no necesariamente en proporción directa a ésta, sino más bien de acuerdo a alguna escala gradual; por

ejemplo: 100% para los primeros "X" KW de carga conectada, 75% para los siguientes "Y" KW, 50% para los siguientes "Z" KW y 25% para el resto de la carga instalada.

Los términos grande y pequeño; para definir el tamaño de un consumidor son por supuesto relativos y deberán considerarse en relación al tamaño de todo el sistema.

2.0.5 Energía Eléctrica.

Es la potencia consumida en un tiempo determinado. Sus unidades son Kilovatios-hora (KW-H).

2.0.6 Demanda Promedio.

Llamada también carga promedio, representa un valor ficticio de potencia o carga, que se mantendría constante durante el período en particular bajo estudio, resultando en la misma cantidad de energía consumida. Matemáticamente se puede establecer la relación entre energía y demanda promedio así:

$$DP = E / T$$

donde, DP: Demanda promedio, expresado en Kilovatios
E: Energía consumida, o área bajo la curva, KW-H
T: Período, expresado en horas.

2.0.7 Factor de Demanda (F.D.)

Es la relación de la máxima demanda a la carga total conectada. En general este factor es menor o igual a la unidad, ya que no todo el equipo trabaja a sus valores nominales ni se conecta al mismo tiempo, no con la misma intensidad. Si el factor de demanda fuese mayor que la unidad, el equipo instalado en la planta estaría trabajando sobre sus valores nominales. Matemáticamente se representa por:

$$FD = DM / CI \text{ (KW)/(KW)} ; \quad 0 < F.D. \leq 1$$

Este factor determina qué cantidad de potencia se espera sea consumida normalmente en una instalación, del total de la carga instalada. Es importante en la determinación del tamaño de los quipos a instalarse para un servicio particular; también es útil en la realización de estimados para el planeamiento de nuevas instalaciones.

2.0.8 Factor de Carga (FC).

Es la relación que existe entre la carga promedio y la carga pico, ambas para el mismo período determinado. o sea,

$$FC = DP / DM = (E/T) / DM$$

donde: Fc: Factor de carga
 DM: Demanda pico, ó máxima
 E: Energía eléctrica, en KW
 T: Tiempo en horas

Se observa con ésta última expresión, que en cierta forma, para un uso determinado de la electricidad, el Factor de Carga lo que trata de identificar es la efectividad en el uso de la electricidad, relacionando la energía por un lado, y el valor máximo de su razón de uso en el tiempo, o potencia máxima, por el otro. Desde otro punto de vista el Factor de Carga es una medida de la intensidad del uso de la capacidad de la instalación.

Cuando un consumidor utiliza la demanda máxima permanentemente (FC = 1), es cuando se logra la tarifa más baja por KVA de demanda utilizado, ya que por cada KVA facturado se está aprovechando consumir el máximo número de KWH. A pesar de aumentar el gasto de energía al utilizar un factor de carga cercano a la unidad, indica que el equipo instalado se le está obteniendo el mayor provecho posible.

El método de aumentar el factor de carga se realiza por medio de la implementación de acciones encaminadas y coordinadas a eliminar los picos de demanda, sin disminuir o aumentar el consumo de energía. Esto haría más uniforme el consumo de energía durante un período determinado.

2.0.9 Factor de Utilización (Fu).

En una instalación, es la relación entre la demanda media presentada por la instalación en un período determinado, T, y la potencia instalada (PI). Matemáticamente:

$$Fu = \frac{\text{Dem. Media}}{\text{Pot. Instalada}} ; 0 < Fu < 1$$

El factor de utilización, es un indicador del comportamiento de la instalación, con respecto a la potencia instalada.

2.0.10 Factor de Seguridad (F seg.)

En una instalación es la relación entre la potencia instalada y la demanda máxima de la instalación en un período determinado (T). Matemáticamente se representa por:

$$F \text{ seg} = \frac{\text{Pot. Instalada}}{\text{Dem. Máxima}} ; F \text{ seg} > 1$$

Este factor es un indicador de la existencia de reserva de carga o de sobrecarga en la instalaci3n.

2.0.11 Factor de Diversidad (F. Div).

La diversidad es un concepto estadístico y como tal depende del número de consumidores o clases de consumidores, a más grande es ese número mayor es la confiabilidad de cualquier valor numérico que se puede asignarle. La forma más simple en el cual la diversidad puede comprenderse, es considerar primero lo que podría definirse como "Diversidad Topográfica".

La Figura 2.1 ilustra un cable distribuidor principal en AC y varios cables sub-distribuidores para diferentes circuitos o consumidores individuales.

Asumiendo que la máxima demanda de los consumidores servidos desde el cable sub-distribuidor AB, sea md1, md2, md3, etc en KW y que la demanda máxima compuesta o coincidente sea MD. Por simplicidad se asumir que las pérdidas son despreciables; o sea que se asume que en cualquier instante la demanda en KW en A, es exactamente igual a la suma de las demandas de todos los consumidores del sistema, alimentados desde el punto A.

El Factor de Diversidad puede definirse como la relaci3n de la suma de las demandas máximas de todos los consumidores individuales que forma un grupo, a la máxima demanda coincidente del grupo completo, o en forma general, se define como la sumatoria de las demandas máximas individuales, en un conjunto de instalaciones, dividido entre la demanda máxima total del sistema.

De la figura 2.1 pueden derivarse dos etapas de diversidad:

a) El factor de diversidad de los consumidores servidos por un s3lo cable sub-distribuidor (AB), o sea diversidad interna de un s3lo grupo:

$$F \text{ div} = \frac{md1 + md2 + md3 + \dots}{MD1} \text{ 6 } \frac{md}{MD1} > 1$$

donde: md1, md2, md3 ... son las máximas demandas de los consumidores individuales servidos desde el cable AB.

MD1: es la máxima demanda coincidente de ese grupo de consumidores.

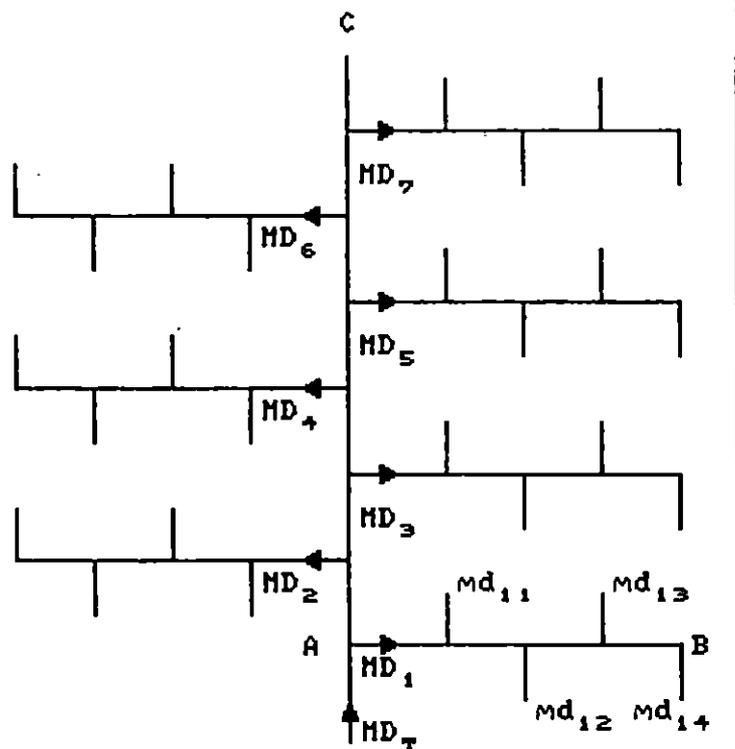


Figura 2.1 Diversidad Topográfica.

b) El factor de diversidad de los sub-distribuidores, ó sea diversidad de intergrupo.

$$F \text{ div} = \frac{MD_1 + MD_2 + MD_3 + \dots}{MD_t} = \frac{MD}{MD_t} > 1$$

donde: MD1, MD2, MD3 ..= son máxima demanda de cada grupo de consumidores o sea de cada cable subdistribuidor.
MDt: es la máxima demanda coincidente en el punto de entrada del cable distribuidor AC, o sea la máxima demanda coincidente total.

Obviamente el factor de diversidad debe ser un número no menos de 1.0 y debe estar especificado para algún período definido, puesto que las condiciones pueden variar, a lo largo de un día, una semana, un mes, un trimestre, un año.

También la diversidad debe ser una función de el tiempo de incidencia de la carga de cada consumidor que forma un grupo o de cada grupo que forma un sistema. Por tanto la diversidad no podría ser alta cuando los consumidores tengan poca oportunidad de escoger las horas de uso de la electricidad. Si la máxima demanda de cada consumidor en un grupo ocurre al mismo tiempo, el factor de diversidad tendrá su valor mínimo de 1.0.

2.0.12 Factor de Coincidencia (F coin).

El factor de coincidencia se define como la relación entre la demanda máxima total de un conjunto de instalaciones y la sumatoria de las demandas máximas individuales de ese conjunto de instalaciones eléctricas.

Este factor representa la probabilidad de coincidencia de demandas máximas individuales dentro del conjunto. Los factores de coincidencia y diversidad, son recíprocos, o sea:

$$F \text{ coin} = \frac{1}{F \text{ div}} = \frac{DM_e}{D_{mi}}$$

$$F \text{ coin} \leq 1$$

2.0.13 Índice de Eficiencia de la Utilización de la Energía Eléctrica (IEEE).

Se define como la relación entre la energía consumida y la máxima demanda registrada en un período determinado, esto es:

$$IEEE = \text{KWHR} / \text{KVAmx.}$$

Sustituyendo los KWHR y KVA mx, el IEEE puede expresarse como:

$$IEEE = \frac{\text{KW promedio} \times \text{No. horas}}{\text{KWmx} / \text{FP mx.}}$$

$$IEEE = \text{FPmx} \times \frac{\text{KW promedio}}{\text{KW mx}} \times \text{No. horas}$$

donde: FP mx : Factor de Potencia a Demanda
Máxima
KW Promedio/KWmx : Factor de Carga (FC)
HORAS : Tiempo en horas que dura la
medición

por lo tanto,

$$IEEE = FP_{mx} \times FC \times HORAS$$

Lo ideal es que tanto el FPmx, como el FC sean iguales a la unidad, y en ese caso, el IEEE ideal sería equivalente al tiempo que dura la medición dividido por el valor escalar 1000. Los períodos más comunes son: un día (24 horas), un mes (720 horas) o un año (8,760 horas). Pero lo común es que tanto el FPmx como el FC sean menores que la unidad.

Una de las ventajas de la utilización del IEEE como indicador de la eficiencia en el consumo de la Energía Eléctrica, es que para su determinación solamente se necesitan los datos de la factura mensual de la compañía distribuidora; esto es, consumo en KWH y Demanda MAXIMA en KVA.

Dado que el proceso de producción es diferente para distintos tipos de industrias, el IEEE tendrá un valor típico.

El IEEE anual puede encontrarse de la siguiente forma:

$$IEEE \text{ (anual)} = KW/KVA_{mx} = \frac{KW \text{ promedio} \times \text{Horas}}{KW_{mx} / FP}$$

$$\begin{aligned} IEEE \text{ (anual)} &= FP \times KW_{prom.}/KW_{mx} \times \text{Horas} \\ &= 1/1000 \times FP \times FC \times 8760 \\ &= 8.76 \times FP \times FC \end{aligned}$$

Valor Ideal: 8.76

En la Tabla 2.1 se pueden observar algunos valores típicos de IEEE para diferentes industrias. Dentro de este grupo se puede observar que hay sectores que merecen especial atención, debido a que su IEEE es extremadamente bajo.

2.1 Comportamiento de la carga.

Una forma de estudiar los patrones de uso de la demanda eléctrica, es identificando en forma gráfica la variación con respecto al tiempo del uso de la electricidad. Esos

esquemas sencillos, pero de gran utilidad son ampliamente utilizados tanto por los ingenieros de las empresas eléctricas, como por el personal técnico de las plantas usuarias. A dichos esquemas se les conoce con el nombre de Curvas de Carga, pudiendo obtener curvas de carga para un día cualquiera, para un mes, para una temporada o para todo el año.

Tabla 2.1 Valores Típicos de IEEE.

| U. S. A. 1991. | 6 |
|--------------------|------|
| CAESS 1991. | |
| Sector Textiles | 3.78 |
| Electrónicas | 3.58 |
| Alimentos | 3.49 |
| Hielo y bebidas | 3.41 |
| Plásticos | 3.41 |
| Productos Químicos | 2.13 |
| IUSA | 5.59 |
| La Constancia. | 4.61 |

Con esta herramienta se puede estudiar la variación de demanda de un motor, de varios motores, o de toda la planta. En otras palabras, la curva de carga nos representa gráficamente la variación de la potencia, o demanda eléctrica, en cada uno de esos periodos deseados de tiempo, para el equipo objeto de atención.

Es necesario recalcar el hecho de que el análisis debe desarrollarse para un período claramente definido, ya que para un mismo cliente las curvas de carga diaria, semanal o mensual pueden ser diferentes, y también serán diferentes entre un mes y otro, por aquellos de los efectos de clima, estacionalidad de mercado, etc, que afectan el uso de la electricidad en el proceso de producción.

En la figura 2.2 se ilustra con un ejemplo el manejo de algunos de los conceptos definidos anteriormente, utilizando una curva "quebrada" en pasos para representar la curva de carga. Esta forma de representación facilita ampliamente los cálculos, por lo que es empleada universalmente.

2.2 Facturación del Servicio Eléctrico.

Haciendo caso omiso de los muchos tipos de tarifas y de los diferentes procedimientos de cálculo de las numerosas compañías productoras y distribuidoras de energía eléctrica, todas las facturas extendidas sobre el consumo de fuerza

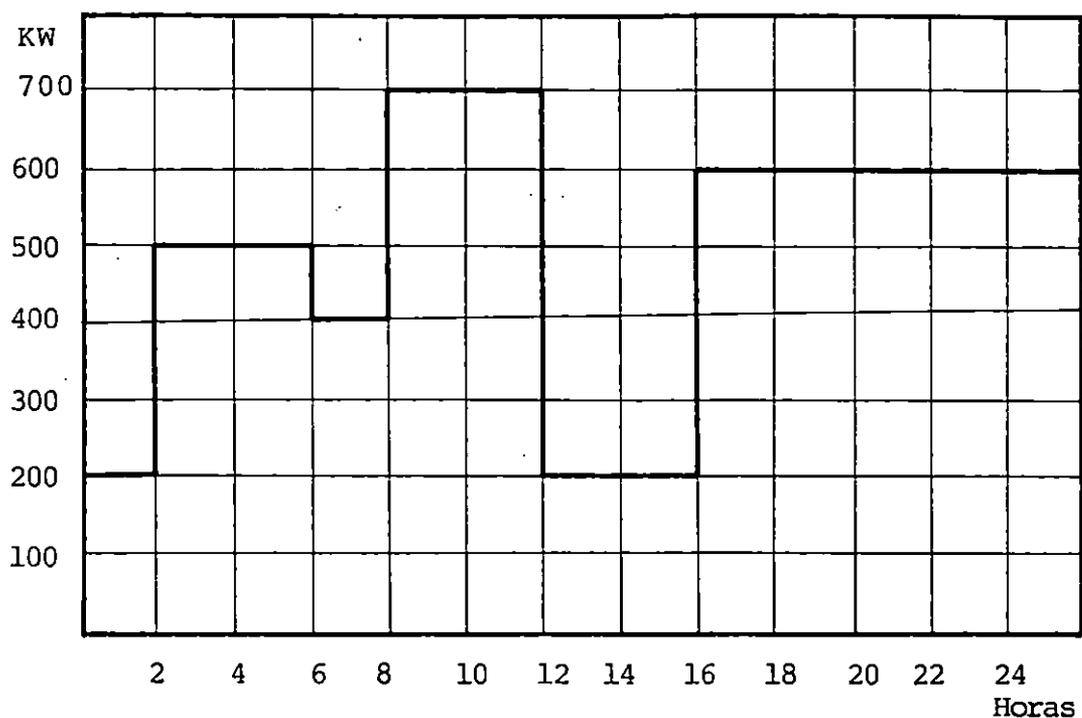


Figura 2.2 Ejemplo utilizando una curva de carga "quebrada".

CALCULOS:

Período : 24 horas.
 Demanda Máxima : 700 KW
 Energía consumida = Área bajo la curva
 = $200 \times 2 + 500 \times 4 + 400 \times 2 + 700 \times 4 + 200 \times 4 + 600 \times 8$
 = 11600 KW-H.
 Demanda Promedio = $\frac{\text{Energía}}{T} = 483.3 \text{ KW}$
 Factor de Carga = $\frac{483.3}{700} = 0.69 < 1$

obedecen al mismo patrón. Por lo común hay cuatro conceptos de cargo para formular estas facturas: demanda de fuerza, energía, reajustes de costos de combustibles, y factor de potencia.

Los cargos por concepto de demanda se basan en los costos de generación de fuerza y de la transmisión y distribución de la misma, de acuerdo con los medios disponibles para efectuarla. Se incluyen los cargos redituables de la inversión, agregando intereses, contribuciones, recuperación, etc. Los cargos por concepto de energía comprenden los costos del combustible, mantenimiento y otros gastos relacionados con la operación.

2.2.1 Cargo por Energía.

Los costos de operación de la porción de la factura de consumo de fuerza eléctrica, se basa en el número de kilowatts-hora registrados en el término de cierto período, normalmente por un mes. Este valor es obtenido de la lectura del medidor, por personal de la empresa eléctrica, y del procesamiento de facturación de los departamentos comerciales de la misma, con equipos de computación y programas que contienen las estructuras tarifarias que corresponden a cada tipo de cliente.

Las empresas eléctricas utilizan diferentes esquemas para facturar por la energía consumida, dependiendo entre otras cosas de la clasificación del tipo de servicio: doméstico o residencial, comercial, industrial, alumbrado público, etc. En el anexo I se muestran las tarifas eléctricas para los diferentes servicios.

El consumo de fuerza es medido ya sea en el circuito primario, tomándose en cuenta el voltaje de entrada, en cuyo caso las pérdidas del transformador quedan incluidas en la factura; o se mide en el circuito secundario, en donde las citadas pérdidas son absorbidas por la empresa proveedora. En el caso de la medición de la fuerza en el circuito primario, se otorgará un descuento por parte de la empresa proveedora o se recurre a otro convenio para hacerse cargo del valor de las pérdidas.

2.2.2 Cargo por Demanda.

Este cargo está asociado con la inversión que la empresa eléctrica debe efectuar en plantas, líneas de transmisión, subestaciones y circuitos de distribución para poder brindar el servicio eléctrico. Se refiere a la capacidad de todos estos elementos de poder soportar la demanda máxima o potencia máxima requerida por un cliente, aunque este valor sólo se necesite por un corto período en todo el año. En la facturación del servicio eléctrico para clientes pequeños, residencial, general, etc, normalmente no se incluye el cargo por demanda por el alto costo de cobro que significaría para la empresa eléctrica.

La empresa proveedora instala medidores en el "punto de

entrega" del usuario, que no sólo registran las cantidades de energía consumidas por un cliente, sino también el valor máximo promedio de la demanda fluctuante en periodos de 15 minutos (o en otros casos de media hora). Este último valor es el que aparece en el recibo mensual e identificado como "Demanda Máxima". Los valores de la lectura del medidor son procesados en la etapa de facturación, y el monto resultante del cargo indicado en el recibo.

En la actualidad, la CAESS utiliza la llamada Demanda de Arrastre para efectuar el cobro. La tarifa estipula lo siguiente: "La demanda mensual de facturación será la mayor lectura en Kilovoltio-amperio (KVA) que hubiera sido indicada por el medidor de máxima demanda en el mes que se estuviera facturando pero en ningún caso podrá ser menor que la Demanda de Arrastre. Dicha demanda será la demanda mensual más alta registrada en los 11 meses inmediatos anteriores".

Para entender mejor la filosofía detrás del cargo por demanda, se examinará en la Figura 2.3, las curvas de carga para dos empresas industriales con diferentes patrones de uso de la energía eléctrica, en el periodo bajo consideración (un día). Se puede identificar que ambas industrias consumieron la misma cantidad de electricidad, pero las razones de uso fueron diferentes; alcanzando la empresa X un valor mayor de demanda máxima.

A pesar de haber consumido la misma cantidad de electricidad, la empresa X requirió un valor de demanda máxima mayor que la de la empresa Y. La empresa eléctrica proveedora del servicio debe poder manejar este valor adicional de potencia, con instalaciones apropiadas, en generadores, líneas, transformadores, etc. Suponiendo que las condiciones de voltaje y factor de potencia fueran las mismas, un valor mayor de demanda con el mismo consumo de energía significa mayor capacidad de manejo de corrientes, lo que requerirá conductores y equipos de protección de mayor capacidad.

Esta situación expresada en términos simplificados, indica la necesidad para la empresa proveedora de prepararse para abastecer esos 50 KW de diferencia entre una industria y otra, aunque el resto del año la empresa X no vuelva a alcanzar ni siquiera los 100 KW de demanda.

Entre más alta sea la demanda de fuerza en un momento dado más alto será también el cargo por demanda.

2.2.3 Penalización por Bajo Factor de Potencia.

El factor de potencia trata de establecer una indicación de la relación entre la energía real consumida por un

cliente y la energía total que la empresa eléctrica necesitó entregar a ese cliente, en un periodo dado.

Recordando que la energía eléctrica comercial es de tipo alterno, la energía total entregada por la empresa eléctrica está formada por dos componentes: una real, que es la que produce trabajo y una componente reactiva, necesaria para inducir en los motores y otros equipos los campos magnéticos para que dichos equipos puedan funcionar adecuadamente.

Para enviar cierta cantidad de fuerza a un consumidor, la central generadora o distribuidora tendrá que transmitir una corriente mayor hacia un sistema que tenga un factor de potencia bajo, que hacia otro cuyo factor de potencia sea más alto. El valor de la corriente adicional no es registrado por medidor de inducción de vatios-horas que registra la entrada de fuerza al establecimiento del consumidor y

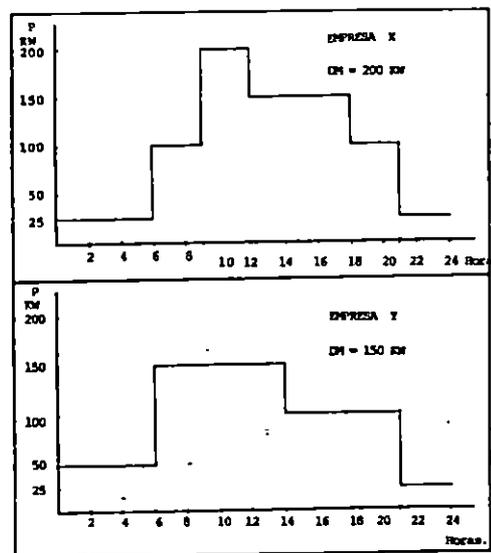


Figura 2.3 Curvas de carga de dos empresas industriales con igual consumo de energía.

por lo tanto representa una pérdida para la empresa de suministro. Esta condición exige a la empresa eléctrica invertir adicionalmente en generadores, transformadores, conductores, etc, para adecuarlos en su capacidad de poder servir un componente de energía por el cual no puede facturar a sus clientes.

Estos flujos de energía reactiva sobrecargan los equipos, dispositivos y componentes de los sistemas eléctricos, y tienden a provocar niveles bajos de voltaje en los circuitos de transmisión y distribución.

En atención a la necesidad de compensar el monto de la mayor inversión que se necesita para atender la demanda de cargas con factor de potencia bajo, las compañías generadoras y distribuidoras han introducido la cláusula del factor de potencia para las facturas de consumo de energía.

Actualmente algunas compañías distribuidoras (CAESS por ejemplo) aún no efectúan este cobro, debido a limitaciones con el equipo de medición. En el caso de las tarifas de la CAESS, penaliza un factor de potencia menor que 0.90, con un porcentaje de incremento con respecto a la energía consumida: $(0.9 - Fp) \times KW-h$, y bonifica un FP mayor que 0.95: $(Fp - 0.95) \times KW-h$.

2.3 Medidores de Energía y Demanda. Analizadores de Energía

Básicamente son 3 los dispositivos que más se utilizan para medir la Demanda: El medidor de inducción (medidor de demanda con integrador mecánico), el medidor de demanda térmico y los analizadores de energía (de estado sólido). Entre estos últimos se pueden mencionar: El multimedidor electrónico que se instala en los "puntos de entrega", el analizador tipo tablero y analizador tipo portátil (para mediciones de campo).

2.3.1 Medidor de Inducción.

2.3.1.1 Contadores de Vatios-Hora.

El contador eléctrico es en esencia un pequeño motor de gran exactitud que se conecta al circuito de manera que el número de vueltas del disco sea directamente proporcional a la cantidad de electricidad que circula. El número de vueltas del motor se cuentan y se registran en los cuadrantes por medio de un sistema de engranajes. Este sistema de engranajes y los cuadrantes constituyen lo que se denomina "registro".

El medidor equipado con este registro se denomina "contador de vatios-hora" y por lo general sólo se instala en los sectores domiciliario y comercial, donde sólo se mide el consumo real de electricidad. Aunque sería conveniente medir la demanda máxima, en estos casos, el gasto del equipo adicional no se justifica. En la Figura 2.4 se muestran dos contadores de vatios-hora típicos.

En consecuencia, el registro mide las unidades de electricidad que pasan por el contador de la siguiente manera: primero se lee el disco del extremo derecho, luego el segundo de la derecha, que da las decenas; a continuación el tercero, que da las centenas y finalmente el

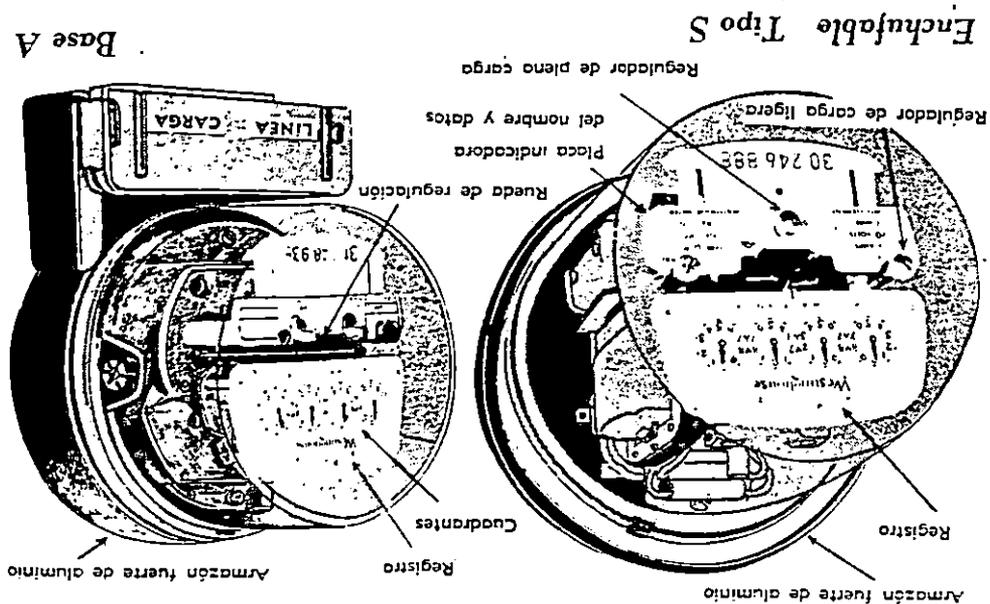
Algunos registros tienen cinco discos, de los que el del extremo izquierdo hace una vuelta por cada 10,000 del disco situado en el extremo derecho. En la Figura 2.5 se muestra un registro de 4 discos.

En el primero, las vueltas se cuentan en cuatro discos: el del extremo derecho registra las unidades de electricidad consumida. El que le sigue al del extremo derecho es accionado por este mediante un juego de engranajes que tiene una relación 10:1, de modo que da una vuelta completa por cada 10 hechas por el disco del extremo derecho. De manera similar, el tercer disco a contar de la derecha es accionado por el segundo a través de otro juego de engranajes con una relación 10:1, de modo que da una vuelta por cada 10 del segundo disco y por cada 100 hechas por el disco del extremo derecho.

Una parte importante del medidor es el contador de vueltas con el cual se determina el consumo y se hacen las facturas de los usuarios. Estos registros son de dos clases: el tipo convencional con discos y el tipo ciclometro.

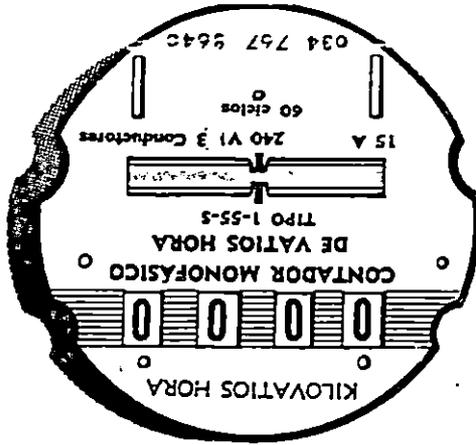
2.3.1.2 Registros de un Contador.

Figura 2.4 Contadores de vatios-hora utilizados en los sectores comercial y domiciliario.



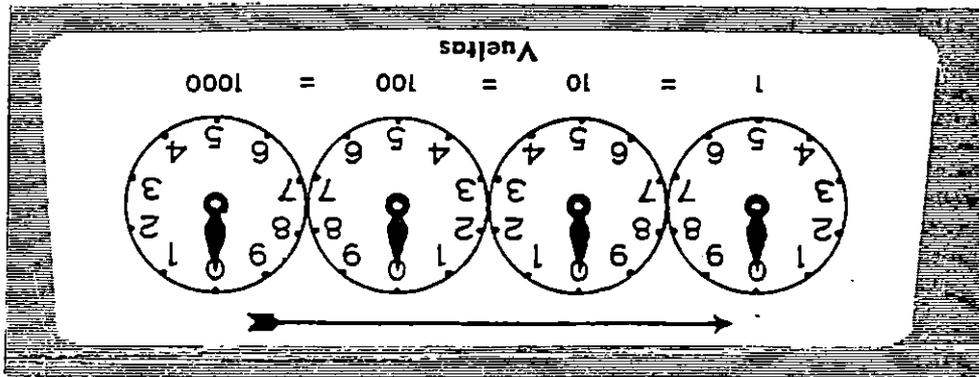
La facturación se realiza tomando la diferencia de lecturas del contador en dos oportunidades consecutivas, por lo general con un intervalo de un mes. La diferencia de las lecturas indica la cantidad de electricidad (en kilovatios-hora) consumida por el abonado en ese periodo. El total se multiplica por la tarifa correspondiente y se remite la factura al cliente. En el caso del sector

Figura 2.6 Registro de un contador tipo ciclómetro.



En el registro tipo ciclómetro, aunque funciona de la misma manera que el de tipo convencional, los discos son reemplazados por ruedas que marcan los números y posibilitan la lectura en forma directa de izquierda a derecha. En la Figura 2.6 se muestra un contador tipo ciclómetro.

Figura 2.5 Registro de un contador tipo convencional con discos.



primero, o cuarto a contar de la derecha, que marca las unidades de mil medidas.

industrial, se le agrega el cargo por demanda y, si lo hubiera, el cargo por bajo factor de potencia.

2.3.1.3 Medidores de Demanda con Integrador Mecánico.

Para grandes usuarios es ventajoso medir la demanda máxima real, lo que se hace agregando al contador de vatios-hora otro disco y un juego de engranajes. El disco tiene dos agujas, una de las cuales se conecta al mecanismo de accionamiento y la otra queda "flotando" y es empujada por la primera.

La primera aguja mide el número de vueltas efectuadas durante un período normalizado que puede ser quince minutos, media hora ó una hora. Al término de dicho período entra en acción otro mecanismo que vuelve la primera aguja a cero y el proceso se repite. Mientras tanto, la segunda aguja, que ha sido impulsada por la primera, queda en el último lugar alcanzado antes de que la primera aguja vuelva a cero. Por lo tanto, la segunda aguja mide la demanda máxima del usuario.

El medidor equipado sólo con este tipo de juego de engranajes y disco se denomina "contador de máxima demanda con integrador mecánico". Cuando está provisto de dos juegos de engranajes y discos, se denomina "contador de demanda y vatios-hora". Para leer este tipo de contador a los fines de la facturación, primero se toma el consumo de kilovatios-hora en los cuatro discos ordinarios y luego la demanda en kilovatios en la aguja flotante.

El medidor está provisto de una palanca que vuelve a cero la aguja flotante cada vez que se hace la lectura del contador, con lo cual éste queda en condiciones de registrar la demanda máxima durante el período de facturación siguiente. La palanca está debidamente aislada para que no se pueda adulterar el registro, En la figura 2.7 se muestra un contador de este tipo.

Como el valor de la demanda máxima medido se pierde tan pronto como la aguja flotante vuelve a cero, se ha desarrollado un registro de demanda acumulativo que transfiere la lectura de la aguja flotante a otro juego de discos correspondientes a un registro similar al utilizado para medir el consumo.

La marca de la demanda en este registro queda fija, y se puede verificar hasta la siguiente lectura del contador, oportunidad en que con la palanca que vuelve a cero la aguja "flotante" y se suma la nueva demanda máxima a la

marca original. Por lo tanto la nueva marca será mayor que la anterior por haberse totalizado la demanda máxima del periodo en curso.

TYPE M-30 DEMAND REGISTER GEAR TRAIN

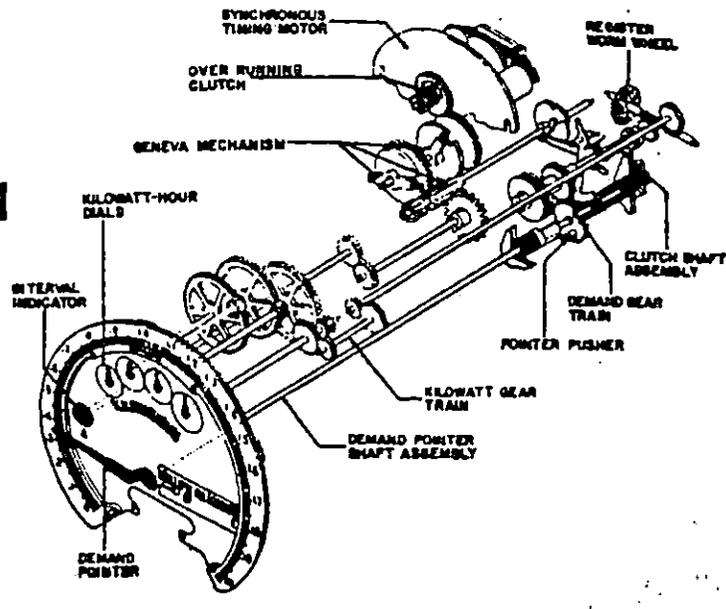


Figura 2.7 Contador de Vatios-hora y Demanda Máxima con integrador mecánico.

2.3.1.4 Proceso de Medición de la Energía y Demanda Utilizando un Medidor con Integrador Mecánico.

Para explicar este proceso se utilizará la Figura 2.8 en la que se muestran 6 intervalos de demanda con tiempos de 30 minutos cada uno. Se utilizará el funcionamiento de un registrador de demanda que consiste en dos marcadores: un marcador de demanda, el cual indica la carga instantánea durante intervalos de 30 minutos y al final regresa a su posición original, y el marcador de máxima demanda, el cual no tiene movimiento por sí solo, sino que es arrastrado por el indicador de demanda.

Descripción de cada intervalo:

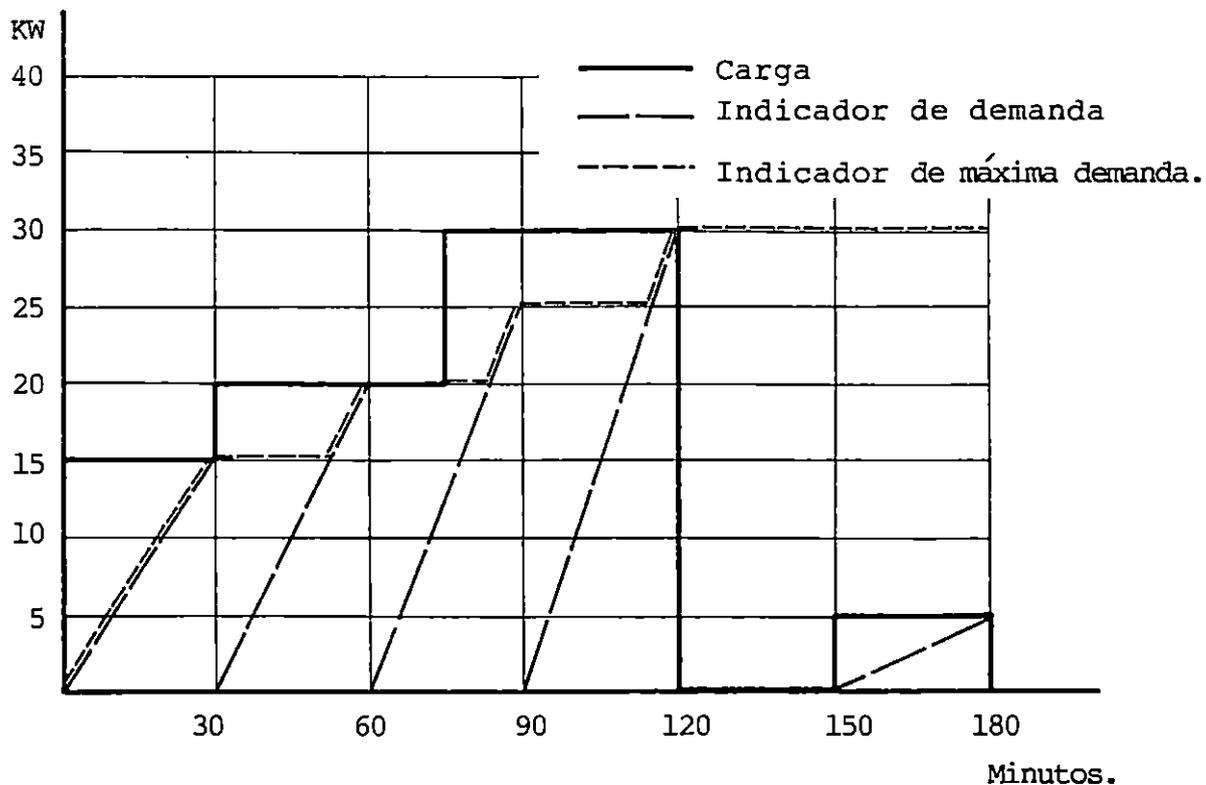
INTERVALO 0-30 minutos.

La carga en este intervalo es de 15 Kw y es constante. La energía consumida es: $E = 15 \times 0.5 = 7.5 \text{ Kw-h}$.

El indicador de demanda comienza desde cero (0) hasta un máximo de: $D = 7.5 / 0.5 = 15 \text{ Kw}$.

Al llegar a éste valor cae nuevamente a cero. El indicador de máxima demanda, al comienzo del primer intervalo es arrastrado por el indicador de demanda, desde cero hasta 15 Kw, quedándose en esa posición.

SIMBOLOGIA :



1o. Int. 2o. Int. 3o. Int. 4o. Int. 5o. Int. 6o. Int.

Figura 2.8 Proceso de medición de energía y demanda utilizando un contador con integrador mecánico.

INTERVALO 30-60 minutos.

En este punto la carga sube a 20 Kw y es constante en todo el intervalo. La energía consumida es:

$$E = 20 \text{ Kw} \times 0.5 \text{ h} = 10 \text{ Kw-h}$$

El indicador de demanda inicia su recorrido desde cero hasta 20 Kw y cae nuevamente a cero. El indicador de máxima demanda, al inicio del intervalo está en 15 Kw, cuando el indicador de demanda alcanza los 15 Kw, comienza a arrastrarlo hasta llegar a los 20 Kw al final del intervalo quedándose en esa posición el indicador de máxima demanda.

INTERVALO 60-90 minutos.

Durante la primera mitad del intervalo la carga es de 20 Kw y sube a 30 Kw en la segunda mitad del intervalo. La energía consumida es:

$$E = 20\text{Kw} \times 0.25\text{h} + 30\text{Kw} \times 0.25\text{h} = 12.5 \text{ Kw-h}$$

$$D = \frac{12.5 \text{ Kw-h}}{0.5 \text{ h}} = 25 \text{ Kw}$$

El indicador de demanda inicia su recorrido desde cero hasta un máximo de 25 Kw y nuevamente cae a cero al final del intervalo. El indicador de máxima demanda al inicio del intervalo permanece en 20 Kw, y hasta que el indicador de demanda alcanza estos 20 Kw, lo arrastra hasta los 25 Kw, quedándose en esa posición al final del intervalo.

INTERVALO 90-120 minutos.

La carga es de 30 Kw y es constante en todo el intervalo. La energía consumida es:

$$E = 15 \text{ Kw-h} \quad \text{y} \quad D = 30. \text{ Kw}$$

El indicador de demanda nuevamente inicia su recorrido desde el valor de cero hasta un máximo de 30 Kw. Al llegar a este punto retorna nuevamente a cero. El indicador de máxima demanda al inicio del intervalo permanece en 25 Kw, es arrastrado hasta los 30 Kw, quedándose en esa posición al final del intervalo.

INTERVALO 120-150 minutos.

La carga en este intervalo es cero.

$$E = 0.0 \text{ Kw-h} \quad \text{y} \quad D = 0.0 \text{ Kw}$$

El indicador de demanda no se mueve y permanece en cero Kw. El indicador de máxima demanda se mantiene constante en 30 Kw.

INTERVALO 150-180 minutos.

La carga sube a 5 Kw y permanece constante en todo el intervalo. La energía consumida es:

$$E = 5 \text{ Kw} \times 0.5 \text{ h} = 2.5 \text{ Kw-h}$$

El indicador de demanda inicia su recorrido desde cero hasta un máximo de 5 Kw y cae nuevamente a cero al final del intervalo. El indicador de máxima demanda se mantiene constante en 30 Kw, debido a que el indicador de demanda no alcanza a arrastrarlo.

RESUMIENDO:

La energía total consumida en los seis intervalos es:

$$E_t = (7.5 + 10 + 12.5 + 15 + 0.0 + 2.5)\text{Kw-h}$$

$$E_t = 47.5 \text{ Kw-h}$$

La máxima demanda registrada es de 30 Kw. Se puede observar que esta máxima demanda sólo fue consumida en 45 minutos, siendo ésta la que se factura.

2.3.1.5 Medidor de Demanda Térmico.

Cuando una corriente eléctrica circula a través de un conductor, se producen pérdidas de potencia las cuales se manifiestan en forma de calor. Este medidor utiliza el principio de producir trabajo a partir del calor generado. Emplea una bobina bimetálica que se asemeja a una espiral. El centro de la bobina es unida a un eje y la parte externa es mantenida fija, al aplicarle calor el eje rotará.

En la Figura 2.9 se muestra un medidor de energía con medidor de demanda térmico.

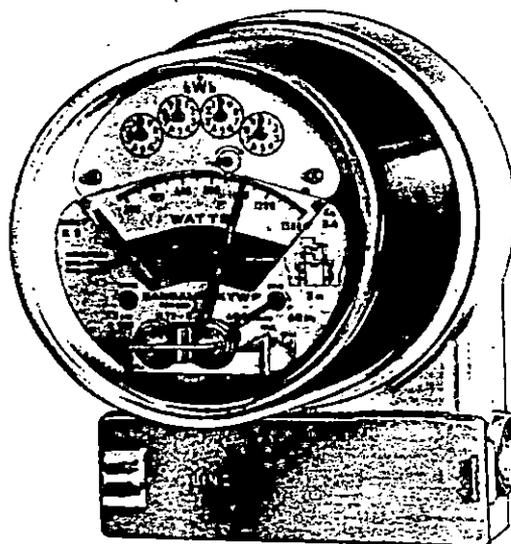


Figura 2.9 Medidor de Demanda térmico.

2.3.1.6 Respuesta del Medidor de Demanda Térmico bajo Diferente Condiciones de Carga.

Una característica importante de este medidor es que bajo condiciones de carga el indicador de demanda nunca decae a cero al final de cada intervalo.

Nuevamente, este medidor consta de dos agujas indicadoras, la primera aguja marca la demanda instantánea y la segunda aguja la máxima demanda, pero ésta no tiene movimiento por sí sola, sino que, es arrastrada por la primera. En los primeros 15 minutos el registrador de demanda alcanza el 90% del incremento de cambio de carga, y

al final del intervalo (30 minutos) el registrador de demanda alcanza el 100% de la carga.

Para ilustrar la manera de cómo el medidor de demanda térmico registra la demanda se utilizará la Figura 2.10 la cual muestra en cada intervalo diferentes condiciones de carga.

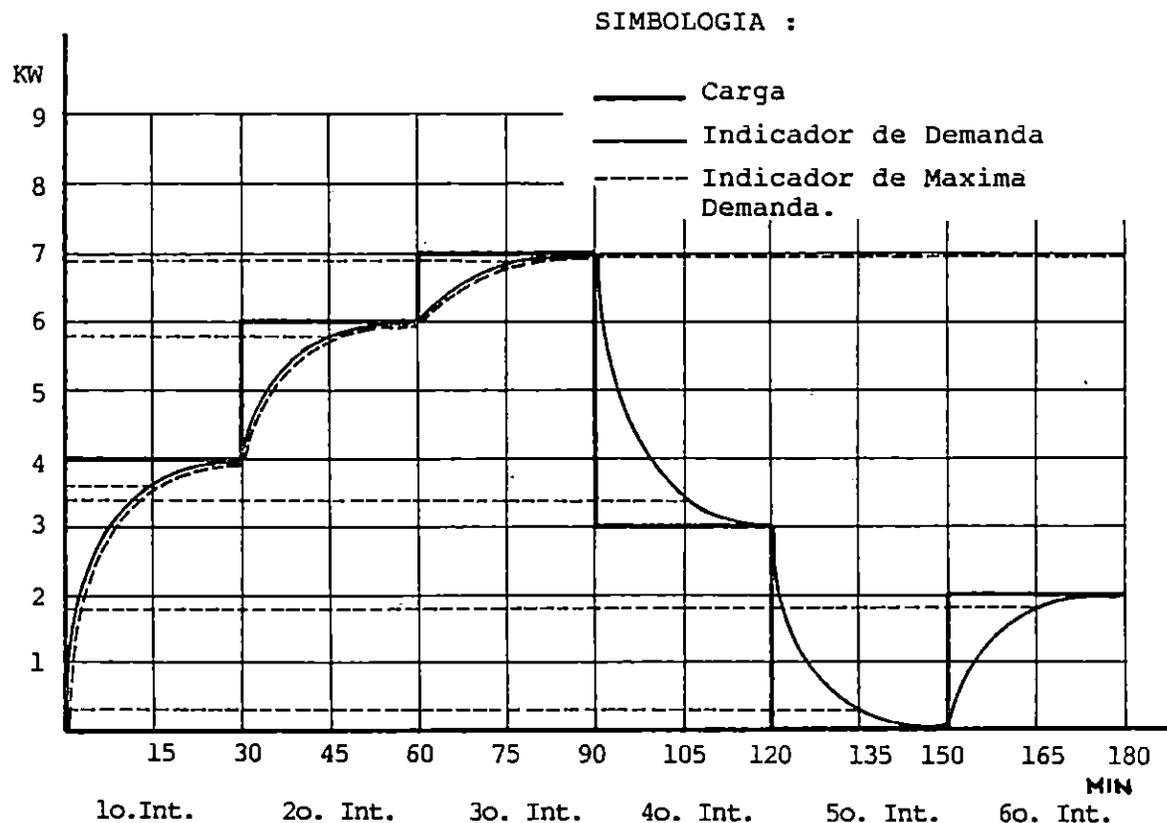


Figura 2.10 Respuesta del medidor de demanda térmico bajo condiciones de carga.

PRIMER INTERVALO.

La carga es de 4 Kw y se mantiene constante. El indicador de demanda instantáneo se mueve desde cero hasta el 90% de 4 Kw ó sea 3.60 Kw en los primeros 15 minutos, al final del intervalo la aguja llega a 4 Kw.

El indicador de máxima demanda es arrastrado por el indicador de demanda instantánea hasta los 4.0 Kw.

SEGUNDO INTERVALO.

La carga se incrementa de 4 Kw a 6 Kw y se mantiene constante. El indicador de demanda se mueve desde 4 Kw a $4 \text{ Kw} + 90\%(6-4) = 5.8 \text{ Kw}$ en los primeros 15 minutos, al final del intervalo de aguja marca 6 Kw.

El indicador de máxima demanda es arrastrado por la aguja de demanda desde 4 Kw a 6 Kw.

TERCER INTERVALO.

La carga se incrementa de 6.0 Kw a 7.0 Kw y se mantiene constante. El indicador de demanda se mueve desde 6.0 Kw hasta $6.0 + 90\%(1) = 6.9 \text{ Kw}$ en los primeros 15 minutos, al final del intervalo la aguja marca 7.0 Kw. El indicador de máxima demanda es arrastrado desde 6.0 Kw hasta 7.0 Kw.

CUARTO INTERVALO.

La carga decrece de 7.0 Kw a 3.0 Kw y se mantiene constante. El indicador de demanda se mueve desde 7.0 Kw hasta $7.0 - 90\%(7-3) = 3.4 \text{ Kw}$ en los primeros 15 minutos, al final del intervalo el marcador de demanda marca 3.0 Kw. El indicador de máxima demanda permanece en los 7.0 Kw.

QUINTO INTERVALO.

La carga decae a cero Kw. El indicador de demanda se mueve desde 3.0 Kw hasta $3.0 - 90\%(3-0) = 3.4 \text{ Kw}$ en los primeros 15 minutos, al final del intervalo el indicador de demanda indica 0.0 Kw. El indicador de máxima demanda permanece en los 7.0 Kw.

SEXTO INTERVALO.

La carga se incrementa a 2.0 Kw y se mantiene constante. El indicador de demanda se mueve desde 0.0 Kw hasta $0.0 + 90\%(2 - 0) = 1.8 \text{ Kw}$ en los primeros 15 minutos, al final del intervalo el indicador marca 2.0 Kw. El indicador de máxima demanda aún se mantiene en 7.0 Kw.

La máxima demanda para el período analizado fué: 7.0 Kw

2.3.2 Multimedidor Electrónico.

Hasta hace poco tiempo, en la industria, la medición de la energía y demanda eléctrica se efectuaba únicamente con medidores electromecánicos, los cuales no proporcionaban mayor información, así como también en muchos casos las mediciones eran imprecisas. A partir de 1993, la CAESS ha comenzado a sustituir los medidores de inducción por

medidores electrónicos (de estado sólido). Aunque el costo del medidor electrónico es mucho mayor, las aplicaciones que se pueden hacer lo hacen rentable. Las ventajas que este medidor tiene son muchas, las cuales permitirán a las empresas distribuidoras controlar mejor la energía que entregan y a las empresas industriales controlar y planificar de la mejor forma su consumo.

A continuación se describen las características más importantes, para efectos de facturación, del multimetedor de la serie FULCRUM SL320 de Schlumberger.

2.3.2.1 Descripción Física.

El multimetedor FULCRUM está compuesto por 3 módulos, cada uno encerrado en cubiertas de plástico. La figura 2.11 muestra el aspecto externo del medidor, ahí se pueden observar los módulos. En la figura 2.12 se muestran las dimensiones externas.

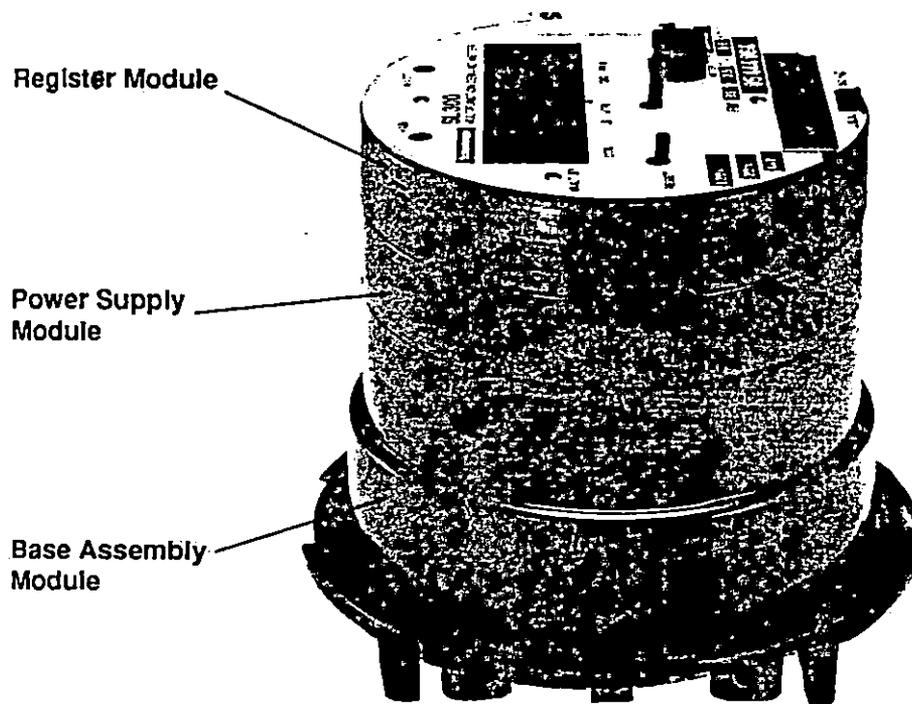
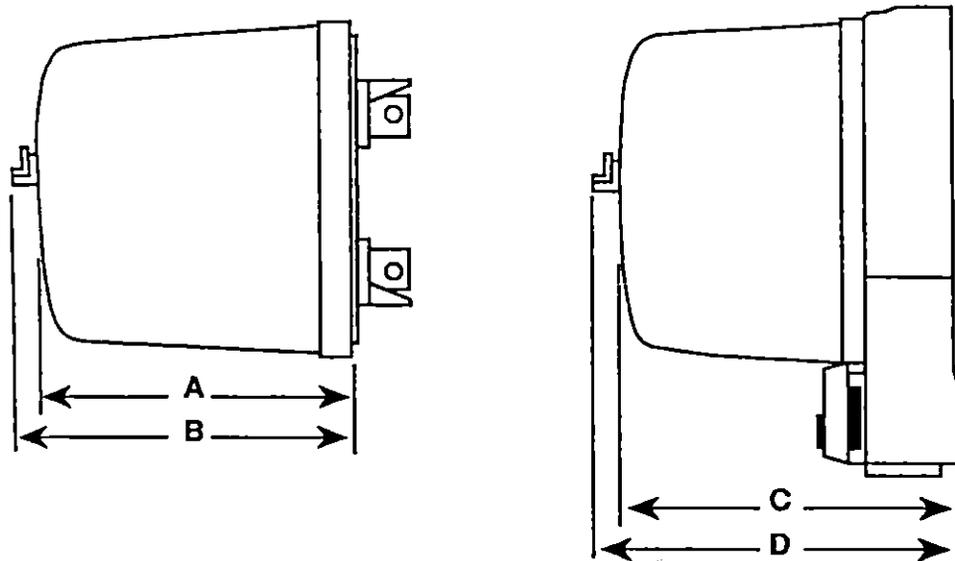


Figura 2.11 Aspecto externo del multimetedor electrónico.

2.3.2.2 Funciones Programables.

El FULCRUM es un medidor multifunciones, el cual es capaz de efectuar un amplio rango de mediciones, tales como: energía real, reactiva, aparente; valores de demanda máxima, instantáneas, acumulativa; factor de potencia, promedio, mínimo, valores instantáneos y muchos otros parámetros.



| Meter | A | B | C | D |
|------------------|------------|------------|------------|------------|
| Socket Type | 6.2 (15.7) | 6.7 (17.0) | — | — |
| Bottom-Connected | — | — | 7.5 (19.1) | 8.0 (20.3) |

*Dimensiones en pulgadas y (centímetros).

Figura 2.12 Medidas Externas del medidor electrónico.

Los programas para el medidor son creados usando el Software de programación del FULCRUM suministrado por Schlumberger.

Las siguientes son algunas de las muchas características que posee este medidor.

- a) Tiempo de Exhibición. Se puede programar el número de segundos (1 a 15) que cada cantidad del registro es exhibida antes de que aparezca la próxima cantidad.

- b) Longitud de Intervalo de Demanda. Es el tiempo en minutos (1 a 60) que dura cada intervalo de demanda antes que un nuevo intervalo inicie. Las longitudes válidas de los intervalos para el medidor son: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 y 60 minutos. A efectos de facturación usualmente se programa para 15 o 30 minutos.
- c) Se puede disponer del tiempo y fecha en que cada máxima demanda ocurre.
- d) Se puede obtener el total de tiempo en minutos y segundos que restan antes de que el intervalo de demanda termine.
- e) El medidor reconoce una ausencia de voltaje, cuando este disminuye a menos del 80% del voltaje nominal para el cual ha sido diseñado (se diseñan para 120, 277, 480 V). En este caso el FULCRUM transfiere todas las mediciones a una memoria no volátil.

2.3.3 Analizadores de Energía Eléctrica Tipo Tablero.

Son utilizados en sistemas de distribución y control para el monitoreo de señales eléctricas. Algunas de las características de estos equipos son:

- Múltiples funciones en un espacio reducido.
- Fácil instalación y manejo.
- Diseñados para operar en sistemas trifásicos.
- Precisión clase 1 (alta)
- Efectúan las mediciones de los siguientes parámetros eléctricos: Voltaje, Corriente, Factor de Potencia, Potencias en kW, kVA, kVAR, Frecuencia en Hz, Valores máximos de potencia en kVA y kW, Energía en kW-h y kVAR-h.

En la Figura 2.13 se muestra el analizador de energía VIP3-485 fabricado por ELCONTROL (Italia).

2.3.4 Analizadores de Energía Tipo Portátil.

Son utilizados para mediciones de campo. Algunas de las características son:

- Efectúan mediciones en AC y DC.
- Disponen de un impresor para valores de salida de cada una de las fases.
- Líneas de salida de fibra óptica para conectar a una computadora.
- Precisión clase 1 (alta).
- Efectúan las mediciones de los siguientes parámetros eléctricos: Voltaje, Corriente, Factor de Potencia, Angulo de desfase ($\cos \phi$), Potencia en kW, kVA, kVAR,

Promedio, máxima y mínima, Frecuencia en Hz,
Distorsión, Energía en kW-h y kVAR-h.

En la figura 2.14 se muestra el analizador MICROVIP3,
fabricado por ELCONTROL (Italia).

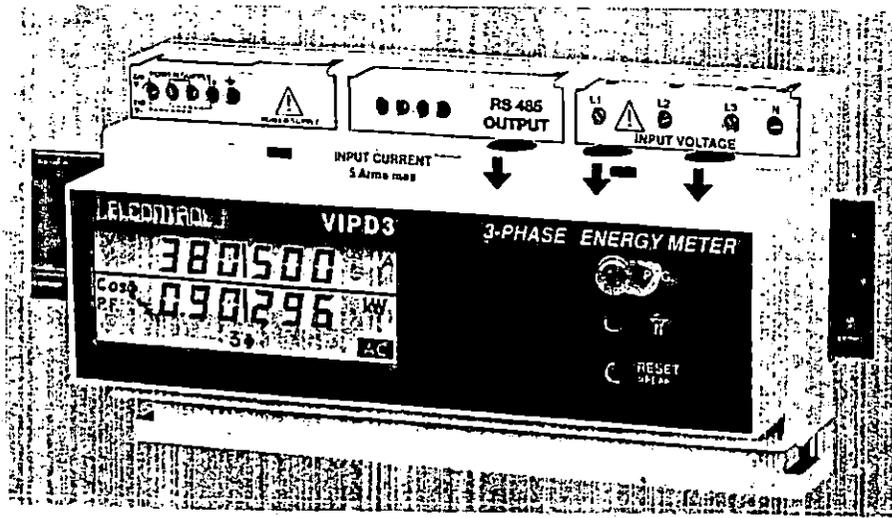


Figura 2.13 Analizador de energía eléctrica tipo tablero.

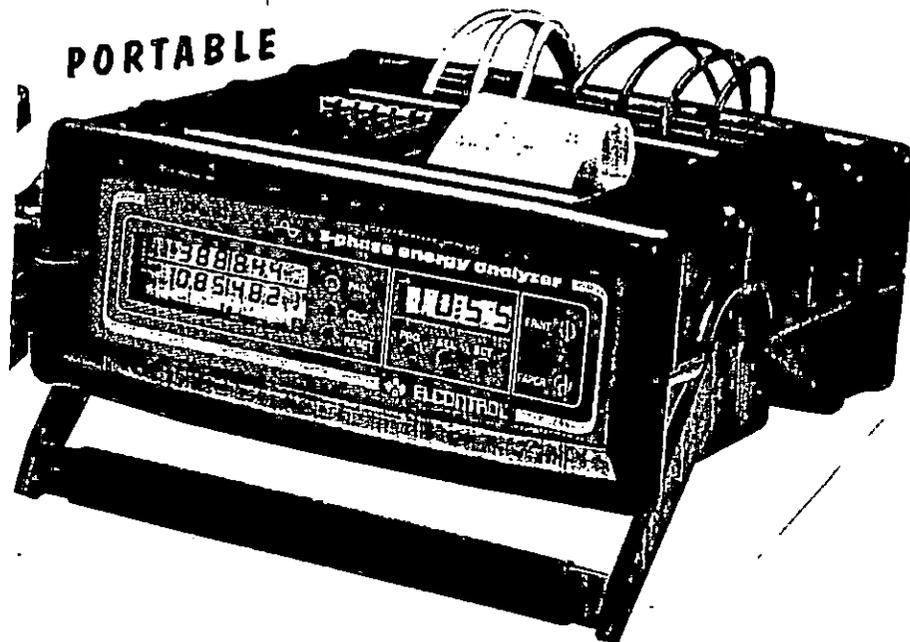


Figura 2.14 Analizador de energía eléctrica tipo portátil.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Hardware Instruction Manual. 1990. "Fulcrum Multifuntion Meter". Schlumberger Industries. Alemania.

Lazar, Irwin. Análisis y Diseño de Sistemas Eléctricos para Plantas Industriales. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V. 1988.

Morrow, L.C. Manual de Mantenimiento Industrial. México: Compañía Editorial Continental, S.A. 1973

Polyphase Meter Training Course. 1977. General Electric.

Selva, Guillermo y Umaña, Alvaro. Administración de la Energía. Costa Rica: Editorial Universitaria Centroamericana. EDUCA. 1988.

Servicios Tecnicos de Ingeniería. SETISA. Caracterización de la Demanda del Sector Industrial. San Salvador. 1993

Wildi, Theodore. Tecnología de los Sistemas Eléctricos de Potencia. España: Editorial Hispano-Europea, 1983.

CAPITULO III

MANEJO DE LA DEMANDA

Introducción.

En éste capítulo se abordaran algunas estrategias mediante las cuales las empresas usuarias del servicio eléctrico pueden modificar sus perfiles de Demanda (como parte de un programa de Manejo de la Energía), y con ello reducir los picos de demanda con la consiguiente reducción en los cargos por demanda de arrastre. Entre las estrategias están el desplazamiento y reducción de carga, la corrección del Factor de Potencia y el empleo de las plantas de emergencia. También se describen algunos equipos que se pueden utilizar para el Manejo de la Demanda, entre ellos, controladores automáticos de Demanda, analizadores de energía, PLC's, etc.

Se presenta un ejemplo práctico que revela los ahorros monetarios que se pueden obtener al corregir el Factor de Potencia. Al final, el capítulo contiene datos sobre un estudio de campo realizado por la CEL, que muestra la situación de la Demanda y el Factor de Potencia en las principales industrias salvadoreñas.

3.0 Aspectos Relacionados con el Manejo de la Demanda.

El manejo de la demanda ha sido definido en términos generales como la planificación, implementación y evaluación de programas mediante los cuales las empresas eléctricas influyen positivamente a los consumidores en cuanto a la cantidad y tiempo de uso de la energía eléctrica.

Otra definición que se le da al manejo de la Demanda es: todas las acciones realizadas, ya sea por la compañía o los consumidores, encaminadas a influir en la curva de Demanda actual y futura del sistema.

Entre los objetivos más relevantes del manejo de la Demanda están:

- Minimizar los costos de energía eléctrica a) Demanda
b) Consumo
- Incrementar la confiabilidad del sistema.
- Un caso específico puede ser diferir la necesidad de una subestación.

- Aumentar la capacidad de reserva.

Existen cuatro procedimientos básicos para el manejo de la demanda:

- a) Reducir la demanda en "horas pico".
- b) Aumentar la demanda en "horas de valle" para mejorar el Factor de Carga.
- c) Desplazar cargas.
- d) Conservación estratégica.

En todos ellos, la integración dentro de las industrias y entre estas y las empresas eléctricas son dos elementos vitales para obtener resultados positivos.

En la actualidad, las empresas eléctricas en los Estados Unidos invierten anualmente cerca de \$2 billones de dólares en programas de Manejo de la Demanda. La razón es que en estos programas las dos partes involucradas reciben beneficios. Las Empresas Eléctricas logran una utilización más eficiente de sus plantas y sistemas de distribución; y los consumidores obtienen ahorro en sus facturas, lo mismo que incentivos especiales.

La elaboración de políticas para el sector eléctrico en El Salvador, basadas en el enfoque del suministro de energía, llevó durante muchos años a concentrar esfuerzos en la satisfacción de la demanda de energía, en cambio, la atención al mejoramiento de la eficiencia energética no ha tenido una prioridad bien definida.

Todas las medidas consideradas y puestas en práctica en las diferentes etapas de la crisis energética, han estado orientadas siempre por el lado de la oferta, tratando de cubrir una demanda cada vez más creciente.

De acuerdo a las experiencias que se tienen en los países de la región, se establece la necesidad de incorporar en los programas de eficiencia de la energía un componente de manejo o gestión de la demanda energética, que debe de constituir técnicamente un sistema integrado de actividades a nivel nacional para monitorear, evaluar y controlar el consumo sin afectar el nivel de vida y la calidad del servicio.

En nuestro país actualmente el sistema eléctrico se encuentra por un lado, con ofertas limitadas, cuya expansión se ve imposibilitada por restricciones financieras, y por otro lado está presionado por una creciente demanda, que puede ser controlada actuando sobre los usuarios mediante la puesta en práctica de acciones para modular sus diagramas de carga y aumentar la eficiencia en el uso de la energía.

3.0.1 Beneficios del Manejo de la Demanda.

La ejecución de un plan de manejo de esta naturaleza conlleva a la obtención de beneficios técnicos-económicos para la empresa de distribución eléctrica, el sistema de generación y transmisión y finalmente un beneficio general para todo el país. Entre estos beneficios se puede mencionar:

3.0.1.1. Reducción de los Cargos por Demanda.

El contrato de compra de energía, Empresas Distribuidoras y/o Clientes Directos-CEL, incluye en la factura un cargo adicional por cada KVA demandado.

Actualmente los incrementos de demanda al sistema de generación representa un aumento de \$33.15/KVA, con lo cual al convertir nuestros KVA facturados se presentan cantidades considerables que deben ser desembolsadas; la situación se tornará más crítica si se considera la posibilidad que en un corto plazo los costos en este concepto sean incrementados.

La reducción de la demanda de potencia en las horas pico reduciría en notable proporción los fondos destinados mensualmente a cubrir este tipo de cargos.

3.0.1.2 Reducción de las Pérdidas de Energía.

Las pérdidas de energía están en función del cuadrado de la corriente, por lo que estas se ven incrementadas durante el intervalo de máxima demanda; al recortar estos picos de demanda se reducen las pérdidas de energía en todo el sistema, lo que representa adicionalmente una reducción en la facturación en concepto de **CARGOS POR ENERGIA.**

3.0.1.3 Postergación de las Obras de Reforzamiento del Sistema.

La implantación de un programa de manejo de la demanda hace llegar sus beneficios a todos los componentes del sistema eléctrico, generación, transmisión y distribución, desde la subestación de gran potencia hasta el transformador de distribución que sirve a un abonado, pues al efectuar una reducción en la demanda se logra recuperar una proporción de la capacidad instalada en el sistema, lo cual permitirá adicionar nuevas cargas que aparecieran en función del tiempo.

Bajo este enfoque la reducción de la demanda de potencia permitirá postergar las obras de reforzamiento tales como creación y ampliación de subestaciones, cambio de conductores, cambio de capacidad de los transformadores de

distribución, etc.

Lo anterior permitirá destinar estos fondos al mejoramiento de otras áreas de las empresas, estos beneficios son trasladados a los sistemas de transmisión y generación.

3.0.2 Componentes de un Programa de Manejo de la Demanda.

Un programa de Manejo de la Demanda y Uso Racional de la Energía eléctrica requiere identificar en los sectores de consumo el uso que se le da a la energía eléctrica.

Esto es posible conocerlo mediante mediciones, lo que requiere un enorme esfuerzo de tiempo y de equipos, que provocan un costo muy elevado. Una alternativa adecuada de buenos resultados es recurrir a un proceso que involucre realizar encuestas por tipo de clientes y practicar luego mediciones agregadas e individuales teniendo como base la muestra de la encuesta de cada sector.

Con un trabajo de este tipo es posible construir las curvas de carga y responsabilidades de cada consumo o uso en horarios de punta o períodos significativos, además de identificar medidas e inversiones necesarias para mejorar el comportamiento de la demanda y reducir pérdidas.

En términos generales el programa se encuentra estructurado en las siguientes etapas:

3.0.2.1 Determinación de las Curvas Características de Carga.

Para establecer las curvas características de los diferentes tipos de carga es necesario desarrollar las siguientes actividades:

a) Estratificación de los Sectores Usuarios.

En los tres grandes sectores servidos por los sistemas de distribución o de alimentación (industrial, residencial y comercial) existen diferentes estratificaciones que se podrán identificar de acuerdo a los niveles de demanda y consumo de energía.

La estratificación conveniente de estos sectores permitirá seleccionar las diferentes muestras sobre las cuales realizar la campaña de medición, que proporcionará como resultado las curvas de carga diaria que caracterizarán el comportamiento sectorial y sus divisiones.

b) Campaña de Medición.

Con la campaña de medición se busca, entre otros aspectos, identificar a los sectores y sus divisiones que contribuyen predominantemente a incrementar la demanda de potencia en las horas pico. La cuantificación de la porción de demanda que puede recortarse del pico de la curva, puede determinarse en esta etapa.

Además de lo anterior, se logra obtener el perfil de las curvas de carga diarias en cada uno de los sectores identificados en la etapa de estratificación, con este propósito se deben realizar:

b.1) Mediciones Directas.

Serán objeto de medición directa aquellos usuarios o servicios que tienen como principal característica ser un grupo relativamente pequeño y con demandas de potencia en proporciones considerablemente grandes.

b.2) Encuesta.

Los servicios o usuarios que dentro de un sector representen ser relativamente una gran cantidad y con demandas individuales de potencia pequeñas, no representativas, se debe proceder a determinar su curva de carga a través de encuestas o censos de carga diseñados convenientemente.

La información obtenida se reválida a partir de la relación de curvas patrones obtenidas a través de medición directa, asociándolas con racterísticas tales como ubicación geográfica, tipo de actividad desarrollada, consumo de energía, etc, entre otros.

3.0.2.2 Identificación de los Factores que Contribuyen al Pico de la Demanda.

Paralelamente a la obtención de las curvas de carga, se deberán establecer cuales son los factores predominantes que contribuyen de forma coincidente a generar los picos de la Curva de Demanda de Potencia. Entre estos factores se presentan dos principalmente:

- a) Uso inadecuado de la energía eléctrica.
- b) Existencia de equipos ineficientes, tecnológicamente hablando.

3.0.2.3 Solución General Propuesta.

Para la reducción de los picos de demanda se sugieren las siguientes medidas de aplicabilidad:

a) Modificación de los Patrones de Consumo de Energía.

Solución aplicable al sector residencial, que actualmente en el sistema eléctrico es uno de los principales contribuyentes al pico de demanda.

La solución básica propuesta radica en la educación integral apoyada con medidas de concientización y divulgación, con el propósito de modificar las costumbres en el uso de la energía.

b) Cambios Tecnológicos y/o sustitución de la Fuente de Energía.

Dada la heterogenidad de servicios conectados al sistema eléctrico existe un gran potencial de ahorros debido a la sustitución o adición de tecnologías eficientes que contribuirán a la disminución de la demanda, por Ej. cambio a transformadores de distribución y luminarias de alta eficiencia, mejoramiento del factor de potencia, buen dimensionamiento de los equipos a instalar, etc.

La sustitución de fuentes de energía es recomendable en los casos en los cuales el uso de la energía representa una marcada incidencia en la demanda de potencia.

c) Manejo de la Carga.

Las cargas que contribuyen a formar el pico de demanda y que es literalmente imposible manejarlas con los métodos anteriores, deben ser controladas por dispositivos que en forma programada desconectan convenientemente estos equipos, durante la situación de máxima demanda.

Las cargas a controlar deben ser ponderadas con posterioridad para establecer la rentabilidad del proyecto, es decir, si los costos de los dispositivos necesarios para la desconexión se compensan con la reducción de los cargos por demanda.

d) Autogeneración.

Las empresas industriales con plantas eléctricas de emergencia podrían establecer un contrato con las empresas distribuidoras para generar en el período de demanda máxima, a cambio de recibir algún tipo de incentivo.

e) Cogeneración.

En nuestro país existe otra alternativa para el aprovechamiento de los recursos industriales con miras a la reducción de demandas máximas y alivio al sistema eléctricos: la Cogeneración.

Una de las industrias que ofrece recursos para la cogeneración es el sector azucarero. La CEL desde 1987 viene realizando esfuerzos en forma conjunta con este sector considerando dos acciones básicas: experiencias de interconexión con la red pública y elaboración de estudios técnicos y económicos que orienten sobre el potencial de cogeneración.

Las experiencias demuestran que es posible obtener energía eléctrica, en forma eficiente y a bajo costo, del orden de 300 kw a 800 kW y 3 kW-h por cada tonelada métrica de caña de azúcar procesada.

En relación a los estudios realizados, la CEL dispone de una herramienta computacional de gran alcance, a partir de un modelo de simulación en LOTUS de las alternativas tecnológicas posibles de implementar para la Cogeneración en ingenios azucareros. En 1993 la corrida del modelo proporcionó un potencial de cogeneración de 114 MW y 410 GW-h en 150 días de zafra, considerando la oferta conjunta de los 10 ingenios azucareros del país y el uso de altas presiones (62 kgf/cm² y 400 °C) para la zafra 93/94 considerando una molienda diaria nacional de 33635 TM de caña/día, 78 TM caña/ha.

Una desventaja en los proyectos de cogeneración es la complejidad la cual está asociada al grado de acceso a los conocimientos básicos y a la tecnología asociada a la generación simultánea de energía eléctrica, energía térmica y fuerza motriz para turbomáquinas. Se complica todavía más cuando se van integrando los aspectos técnicos-económicos, la escasez en la disponibilidad del combustible y otros recursos y el acceso a financiamientos adecuados.

DEFINICION

El término Cogeneración puede aplicarse a la generación simultánea de dos o más formas de energía útil a partir de una fuente energética común. Su conocimiento más común es cuando el término se aplica a la generación simultánea de energía eléctrica y de energía térmica, esta última en forma de vapor o simplemente calor, para uso directo en la industria.

El principio básico de la cogeneración es el aprovechamiento de la energía residual, resultante de todo proceso termodinámico de conversión y utilización de energía y que en procesos separados es disipada al ambiente.

CLASIFICACION.

Basada en el nivel energético del ciclo termodinámico.

1.- Sistema de Cogeneración de Ciclo Superior (Topping cycle). Son aquellos en los cuales la fuente energética primaria se utiliza para generación eléctrica en primer lugar y la energía residual es aprovechada en forma de calor o de vapor para procesos térmicos.

2.- Sistema de Cogeneración de Ciclo Inferior (Bottoming cycle). Son los sistemas donde la energía primaria se utiliza en procesos térmicos y la energía residual es utilizada para la generación de energía eléctrica.

Por el tipo de aplicación se clasifican en:

- 1.- Cogeneración para servicio público.
- 2.- Cogeneración Industrial.
- 3.- Cogeneración Comercial y de Servicio.

Por el tipo de motor térmico utilizado se clasifican en:

- 1.- Cogeneración por turbina de vapor:
 - 1.a) A contrapresión
 - 1.b) De condensación
- 2.- Cogeneración por turbina de gas.
- 3.- Cogeneración por motor de combustión interna.

Algunos Factores que influyen en la Cogeneración son:

- El precio de los combustibles y de la energía comprada a la red pública.
- El costo de la inversión, operación y mantenimiento.
- Las cantidades de consumo de energía eléctrica y térmica.
- El tipo y la disponibilidad de la fuente energética primaria.

3.0.3 Equipo para el Control de la Demanda.

Por lo expuesto anteriormente, es obvio que un buen control de la demanda trae una serie de beneficios, los cuales pueden clasificarse de la siguiente manera: beneficios para el usuario, el cual ve disminuida su factura de electricidad y beneficios para la compañía distribuidora, por que reducen los costos de sobredimensionar el equipo y se da una mejor utilización de a las reservas de energía eléctrica.

Para alcanzar los objetivos planteados, muchas veces se utilizan aparatos y equipos tales como: medidores de demanda, graficadores de demanda, relojes programables, limitadores de corriente, alarmas, enclaves mecánicos, controles semiautomáticos, controles automáticos, luces de señalización, etc. A este conjunto de instrumentos se les denomina Equipo de Control de Demanda.

Dentro de las funciones de este equipo, tenemos:

a) Detectar la demanda máxima y ubicarla en el tiempo indicándo la fecha y la hora a que ocurre.

b) Indica que el nivel de demanda máxima está siendo alcanzado.

c) Desconecta carga del sistema de una manera jerarquizada, de tal forma que no se deje sobrepasar la demanda máxima; esto quiere decir que el equipo discrimina lo imprescindible de lo prescindible, desconectando primero las cargas que son menos útiles.

d) Enclava los motores, impidiendo que se puedan arrancar simultáneamente.

A continuación se describen algunos equipos de control de demanda:

a) Medidores de energía y Demanda. Los dispositivos que más se utilizan en la industria para medir la demanda y la energía son: El medidor de inducción (medidor de demanda con integrador mecánico), el medidor de demanda térmico y el multimedidor electrónico o analizador de energía.

b) Relojes programados. Pueden servir para apagar las luces en determinadas horas (por ejemplo, a la hora del almuerzo).

c) Existen reguladores automáticos de la demanda los cuales operan en un régimen fijo preestablecido. Cuando la demanda excede este régimen, el controlador empieza a desconectar o reprogramar cargas. Las cargas afectadas son escogidas anteriormente por el personal que conoce la planta para que su paro no afecte el proceso. Estos programadores de carga con microprocesadores se fabrican en diferentes tamaños, que corresponden al número de circuitos de control de carga y de acuerdo a los diferentes fabricantes.

Se pueden tener varios programas de ciclo de trabajo para cualquier carga. Las entradas de fotocelda coordinan el control para la iluminación. La Entrada de temperatura controla los programas de ciclo de trabajo para asegurar el

confort en todo tiempo. El reloj de cristal de cuarzo proporciona la exactitud del programa dentro del rango de segundos por mes. En la figura 3.1 se muestra un regulador Automático de Demanda.

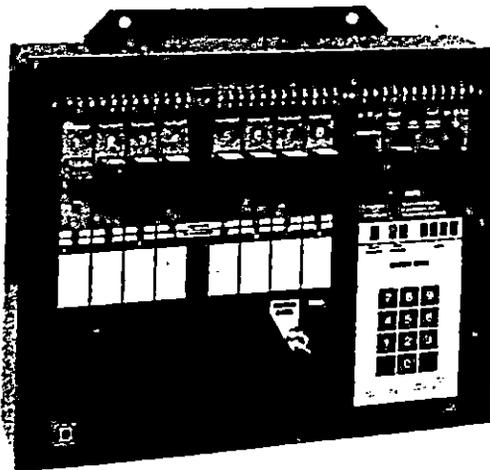


Figura 3.1 Regulador automático de Demanda.

d) Se pueden utilizar Controladores Lógicos Programables (PLC por sus siglas en inglés) en combinación con analizadores de energía eléctrica para el manejo de las cargas. Los PLC's se encargan del control secuencial de dispositivos todo/nada y de manipular señales analógicas, que se emplean en la automatización de procesos industriales.

El PLC se puede programar para que efectúe el monitoreo de las señales que le envíen los analizadores y desconectar de manera jerarquizada las cargas menos útiles, cuando la demanda alcance niveles prohibitivos. En la Figura 3.2 se muestra el controlador SIMATIC S5-150U fabricado por SIEMENS (Alemania), adecuado para tareas de automatización en el campo de potencias medias y altas.

e) Existen sistemas completos para el control de la energía eléctrica consumida, los cuales utilizan la computadora como herramienta para el procesamiento de las distintas señales provenientes de equipos de medición distribuidos en la red eléctrica. Con la información obtenida de las mediciones se puede:

- Reducir la Demanda Máxima, reduciendo con esto el cargo por Demanda de Arrastre.
- Localiza desperdicios de energía eléctrica.
- Obtener información de costos de energía por tipo de producto/tiempo de proceso.

La conexión entre los instrumentos de medición y la computadora puede hacerse a través de Fibra óptica de plástico (hasta un máximo de 75 metros) o bien con fibra óptica de vidrio (hasta 2 Km). Para distancias mayores, están disponibles los amplificadores de señal para ambos tipos de fibra óptica. Se utiliza la fibra óptica debido a que no está sujeta a interferencias eléctricas.

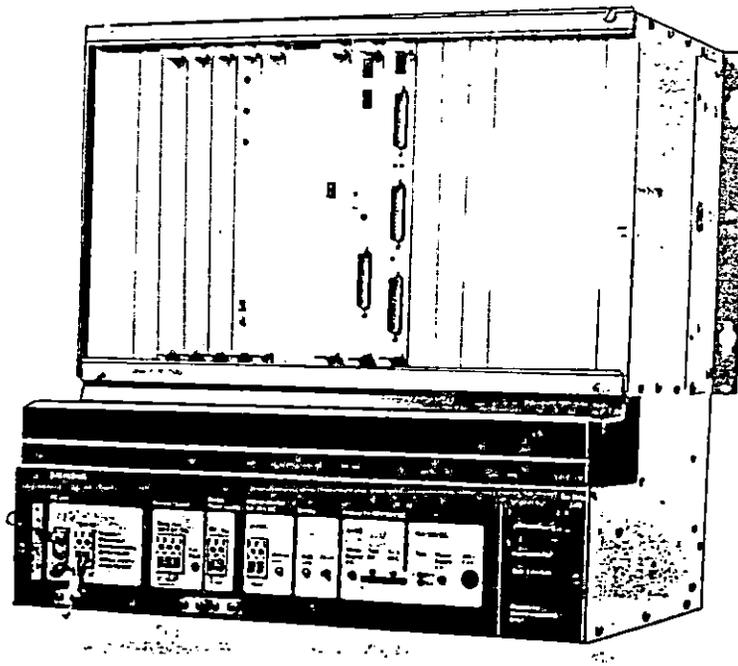


Figura 3.2 PLC para el campo de las potencias medias y bajas.

En algunos sistemas se pueden conectar hasta 247 instrumentos de medición en serie, como se observa en la Figura 3.3 la cual muestra el sistema VIPNET 485-VIPVIEW SOFTWARE fabricado por ELCONTROL (Italia). El equipo ejecuta las siguientes tareas fundamentales:

- Monitoreo de los parámetros eléctricos, condiciones críticas, etc.
- Monitoreo en tiempo real de la energía total consumida en departamentos de producción, cuartos de máquinas, oficinas, bodegas, etc.
- Crea un archivo historial de la energía consumida en la instalación.

La factibilidad económica en la adquisición de un equipo de esta naturaleza dependerá de la cantidad de energía que se espera controlar y de los ahorros anuales que se esperan obtener. En este caso el análisis económico dependerá entre otros del tamaño de la planta industrial y de la estructura tarifaria de la energía eléctrica.

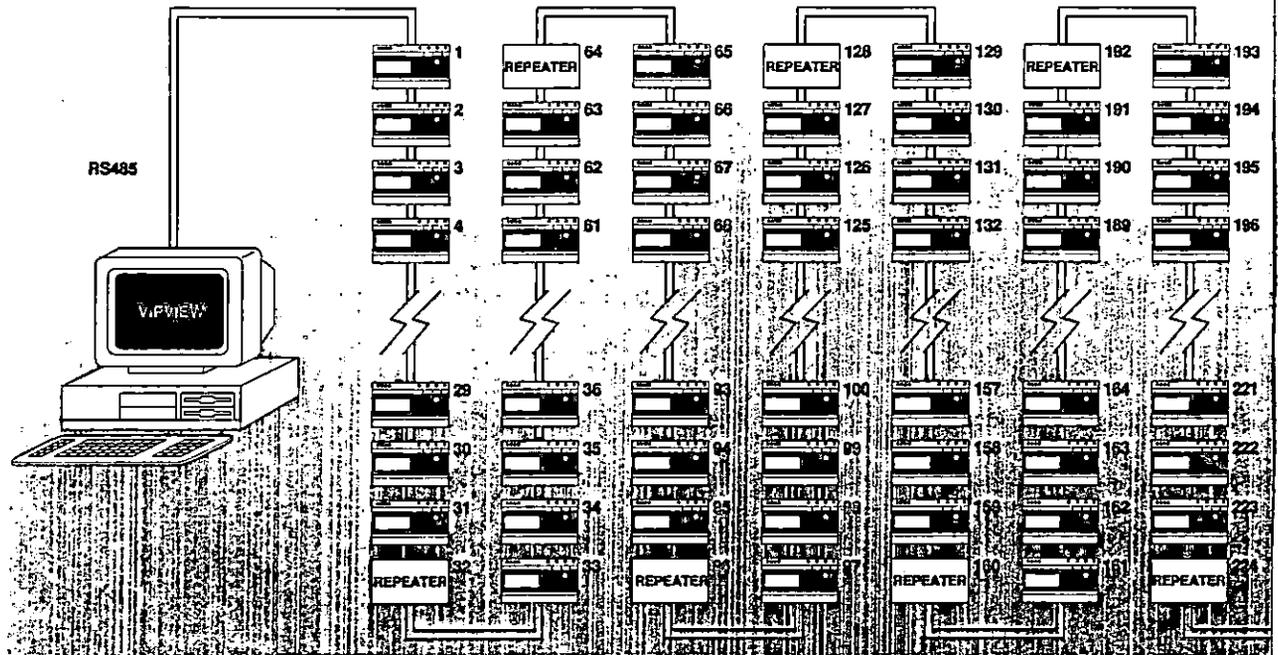


Figura 3.3 Red para el monitoreo de la energía y control de la demanda.

3.1 Desplazamiento y Reducción de cargas.

Las medidas operacionales pretenden aprovechar las estructuras de las tarifas eléctricas. Su ejecución requiere mucha disciplina y el compromiso de la gerencia de producción, de apoyar estas medidas que introducirán ciertas incomodidades en el manejo del programa de producción. Sin embargo, los beneficios en el mes y a lo largo de todo el año pueden ascender, en empresas medianas y grandes, a ahorros sustanciales en los costos de producción.

Después de haber visto y analizado la problemática que genera un bajo factor de carga, y por consiguiente, una demanda máxima de gran valor, se puede apreciar que no se pueden tomar medidas aisladas y puntuales para lograr corregirlos, por lo que es necesario diseñar un programa que conduzca a reducir los costos de facturación de energía eléctrica y por consiguiente ayude a aprovechar de manera eficiente dicha energía.

Las situaciones que ocasionan los picos de demanda son muchos. A continuación se enumeran algunos.

a) El funcionamiento de varios motores de gran capacidad al mismo tiempo eleva la demanda.

b) Obtener gran producción en un intervalo determinado, mientras el equipo y la maquinaria permanecen ociosos el resto del período. El período considerado puede ser días o meses.

c) Las luminarias que se dejan inútilmente encendidas, por que alguien olvidó apagarlas.

d) Motores de maquinaria girando en vacío.

e) Aire acondicionado funcionando al máximo sin necesidad.

Un estudio creativo en la instalación puede detectar diferentes cargas eléctricas que se pueden desplazar a horas fuera del pico. Los ejemplos son muy variados y dependen del tipo de producción de la empresa.

Los pasos generales a seguir en un programa para el control de carga podrían ser los siguientes:

1. La primera regla que se debe tomar en cuenta es que no existe posibilidad de bajar los costos sin la total cooperación de todo aquel personal que tiene alguna responsabilidad relacionada con el consumo de fuerza. El programa correspondiente tiene que presentarse a la supervisión del Departamento de Producción, organismo que tiene que estar convencido de los méritos de dicho programa y de los beneficios derivados de su aplicación, que deberán ser de carácter permanente.

2. Como segundo paso de la elaboración de un programa para distribuir mejor la demanda, se debe hacer un análisis del consumo de energía eléctrica de la planta industrial, por lo menos de los últimos seis meses anteriores; esto se conseguirá midiendo la demanda máxima durante el periodo de un día y de un mes, ya que tomando varias mediciones se puede conseguir las horas de máxima y mínima demanda durante el día, y los días de máxima y mínima demanda durante el mes.

También es importante revisar las facturas de energía eléctrica en ese periodo. Teniendo en cuenta lo anterior, se deberá desplazar la carga con respecto al tiempo a lugares de mínima demanda, para poder llegar al nivel promedio de demanda.

En la práctica lo que hay que hacer es buscar los elementos que ocasionan los picos, y buscar la posibilidad de trasladarlos a horas que la planta industrial tenga menor demanda de energía. Por ejemplo, si una planta tiene cuatro máquinas de 25 HP trabajando en el intervalo de 4 a 5 P.M., mientras que en el intervalo de 2 a 3 P.M. la

demanda apenas llega al equivalente de 50 HP, hay que buscar la posibilidad de trasladar el funcionamiento de algún motor a este intervalo, para nivelar el consumo de energía.

También existe la posibilidad de que una planta trabaje durante, por ejemplo, 15 días de un mes a máxima capacidad para responder a un pedido, mientras que durante el resto de días apenas llegue a un 25% de la capacidad instalada; en este caso habría que planificar de una mejor forma la producción o convencer al cliente que espere un poco más de tiempo para recibir el pedido a cambio de un precio más favorable.

3. Para obtener una reducción de la demanda se requiere que las cargas no esenciales sean reducidas o eliminadas. Las cargas se analizan y clasifican dentro de las siguientes categorías:

-Las que son esenciales, que no pueden desconectarse sin afectar las funciones de seguridad y operatividad, por ejemplo: elevadores, algunos alumbrados, equipos de producción, ventiladores y bombas.

-Las cíclicas, que pueden desconectarse por períodos relativamente cortos, por ejemplo: acondicionadores de aire, calentadores, ventiladores, refrigeradoras, bombas de agua, hornos.

-Las que pueden ser diferidas, es decir apagadas en periodos de carga pico, por ejemplo: enfriadores, compresores de aire, calentadores de agua.

-Las que pueden reacondicionarse, fuera de los períodos de demanda máxima, por ejemplo: calentadores eléctricos, procesos de horneado, incineradores, compactadores, cargadores de baterías.

4. Cuando existe un sólo turno de trabajo, obliga a que se den procesos que usen simultáneamente varias máquinas de gran capacidad; para evitar esto, la creación de nuevos turnos se convierte en una alternativa. Otra alternativa es trasladar al fin de semana etapas de la producción que así lo permitan. Habrá que hacer una evaluación económica que nos indique si las horas extras y el personal nuevo a contratar es justificado con respecto al ahorro de energía.

5. Otro factor importante es el manejo adecuado de las máquinas, por lo que el operario debe saber muy bien su funcionamiento, no operar partes de la máquina que para el proceso de producción no es necesario; también la

subutilización de ciertas máquinas causa grandes desperdicios de energía eléctrica.

6. La corrección del factor de potencia es uno de los aspectos que tiene mayor influencia en la disminución de la demanda.

7. Uso de equipo de control de demanda, como el mencionado en secciones anteriores.

8. En empresas medianas y pequeñas se pueden colocar despachadores de fuerza. La obligación de estos empleados es la de asegurar que no se conecten cargas elevadas en la proximidad de las horas de consumo máximo. También se tienen que hacer recorridos por la fábrica, revisando que no se desperdicie fuerza en conexión con compresores de aire, suministro de agua, ventilación, alumbrado eléctrico y otros servicios similares. Aún en el caso de despachadores de fuerza que trabajan por tiempo parcial, podrían desquitar con amplitud el sueldo que reciben por su trabajo.

9. Limitar el uso de aire acondicionado de acuerdo a la época del año y a la hora del día.

10. Restringir en la medida de lo posible las jornadas de trabajo en oficinas a partir de las 5:00 P.M. dado que el factor de utilidad de luminarias y aires acondicionados es muy bajo después de esta hora.

11. El aprovechamiento de la luz solar debe tomarse más en serio en la distribución de luminarias para optimizar el sistema.

12. Reprogramar las cargas. Las cargas de baterías, el bombeo de agua y otras operaciones similares no rutinarias pueden programarse en horas que no afecten las horas de demanda pico, por ejemplo, temprano en la mañana o tarde en la noche.

13. Programar arranques. Casi todos los motores en un proceso arrancan al mismo tiempo y pueden causar un aumento significativo en la demanda sobre el intervalo de medición. Se puede programar el ciclaje de motores o retardar el encendido de los mismos.

14. Realizar programas de adiestramiento y motivación del personal, para que éstos tomen conciencia de cuán importante es el uso eficiente de la energía.

Es posible, entonces, eliminar ciertas cargas innecesarias y desplazar ciertas cargas a horas fuera del pico", todo ello sin afectar el proceso productivo. En toda caso el objetivo es acercarse a la Demanda Promedio.

3.2 Manejo de la Demanda Empleando Plantas Eléctricas de Emergencia.

Una planta eléctrica de emergencia está constituida básicamente por un motor de combustión, que puede ser de gasolina, diesel o kerosene, acoplado a un generador de corriente alterna.

Todos los aspectos relacionados con las Plantas Eléctricas de emergencia como son: funcionamiento, operación, mantenimiento, conexiones, etc., no serán considerados en este trabajo. Si se desea obtener mayor información se pueden consultar algunos libros o tesis relacionados con el tema 1 .

3.2.1 Clasificación de las Plantas Eléctricas.

Las plantas de emergencia, las hay de diferentes tipos y tamaños de acuerdo a la utilidad a que se les destine.

3.2.1.1 Por la Capacidad de Potencia de Generación.

En base a la capacidad de generación de energía, se clasifican en:

-Pequeñas: su capacidad de generación oscila entre 1.0 y 5.5 KW, por lo general son arrancadas por cuerdas, son sumamente portátiles y las hay de diesel, gasolina o mezcla, son monofásicas y generalmente suplen cargas aisladas, es decir, que no se encuentran conectadas al suministro comercial de energía.

-Medianas: la capacidad de generación oscila entre 5.5 KW a 180 KW, pueden ser monofásicas o trifásicas, al igual que las de pequeña capacidad las hay de diesel y gasolina, su sistema de arranque es similar al de un automóvil.

-Grandes: La capacidad de generación es de 180 KW en adelante, son trifásicas, el motor generalmente es diesel, gas propano, o acoplada a turbinas de gas, son plantas sumamente robustas que por lo general requieren de una instalación adicional tanto para el montaje como para suplir la carga.

1

Martínez Martínez, J.C.; Siciliano, M; Vasquez, H.J.
"Plantas Eléctricas de Emergencia". Tesis para optar al título de Ingeniero Electricista. Biblioteca de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Universidad de El Salvador.1985

3.2.1.2 Por Tipo de Arranque y Transferencia de la Carga.

De acuerdo al arranque y transferencia de carga las plantas se pueden clasificar en:

-Manuales: el arranque y transferencia de carga es hecho a través de un operador, en plantas pequeñas generalmente el arranque es por medio de una cuerda o manivela.

-Semiautomática: el arranque puede ser automático y la transferencia de la carga manual a través de un operador o viceversa.

-Automática: no necesita de un operador para efectuar el arranque o la transferencia de carga, es un sistema costoso y complejo, se utiliza en casos donde es imprescindible asegurar una continuidad del fluido eléctrico.

3.2.1.3 Por el Uso.

Según la aplicación a que se destinen las Plantas de Emergencia se pueden clasificar en:

-Plantas de Base: sirven cargas muy especiales, son la única fuente de alimentación, se utilizan regularmente donde no existen sistemas de distribución comercial.

-Plantas de Pico: se utilizan únicamente como reserva o para ser usadas durante los períodos de demanda máxima del sistema.

-Plantas de Emergencia Suplementarias: Se utilizan únicamente cuando la fuente de suministro normal falta y suple cargas previamente determinadas las cuales se consideran indispensables.

3.2.2 Análisis de Factibilidades Técnicas y Económicas de la Autogeneración en el Sistema CAESS. Período normal de Suministro Eléctrico.

El suministro deficiente de la energía eléctrica que ha experimentado el país en los últimos años, a consecuencia de la situación política y las condiciones climatológicas adversas de lluvia, obligó a muchos usuarios del servicio eléctrico (principalmente del sector industrial) a adquirir equipos de respaldo, tales como: Plantas eléctricas de Emergencia, Sistemas UPS, etc. Debido a que, actualmente la oferta de la energía es relativamente constante, estos sistemas privados de generación se encuentran fuera de uso,

y sólo son puestos a trabajar para efectos de mantenimiento.

La capacidad instalada en plantas de emergencia que la CAESS tiene registrada es de unos 70 MVA, y las capacidades individuales son desde 62 KVA hasta 3050 KVA. Una característica de éste grupo de plantas es que todas son operadas con combustible diesel.

Estas condiciones pueden permitir la puesta en marcha de un Programa de Autogeneración, en el cual cada usuario utilizará su(s) equipo(s) para autoabastecerse en el período en que ocurre la Demanda Máxima del Sistema CAESS-CEL. Este período se determinará posteriormente al analizar las Curvas de Carga.

Por **Autoproducción** (también llamada Autogeneración) se entiende, al menos para los propósitos del presente estudio, la producción y suministro de energía eléctrica que se efectúa en una planta industrial y que el usuario del servicio eléctrico necesita para sus particulares usos. Esta producción se hace empleando plantas generadoras operadas con combustible derivado del petróleo e inyectándola directamente en la red local del usuario, relevando a la red nacional de proporcionar la energía generada.

El análisis económico de la Autogeneración se efectuará tomando en cuenta que la CAESS no es una entidad autónoma, por lo cual no cuenta con fondos propios para compensar a los Autoprodutores por la energía generada. La CAESS efectuaría dicha compensación con la reducción que obtenga en los Cargos por Demanda de Arrastre que la CEL le factura.

3.2.2.1 Análisis de las Demandas Máximas. Años 1990-1993. Sistema CAESS-CEL.

El comportamiento histórico de la Demanda de Energía Eléctrica ha estado asociado a la evolución económica del país, así se puede observar en las Curvas Anuales de Demanda Máxima del Sistema CAESS-CEL, para los años 1990-1993 (Figura 3.4), que la demanda ha experimentado un crecimiento mayor, particularmente después de la finalización del conflicto armado en el país.

En esta figura se puede apreciar que efectivamente la Demanda Máxima de cada año ocurre en el mes de Diciembre. También se puede observar que el siguiente "pico de demanda" ocurre en el período comprendido entre Marzo y Abril. Históricamente se sabe que éste corresponde al período previo a la "Semana Santa".

**Figura 3.4 CURVA DEMANDA MAXIMA ANUAL
Sistema CAESS-CEL AÑOS 1990-93**

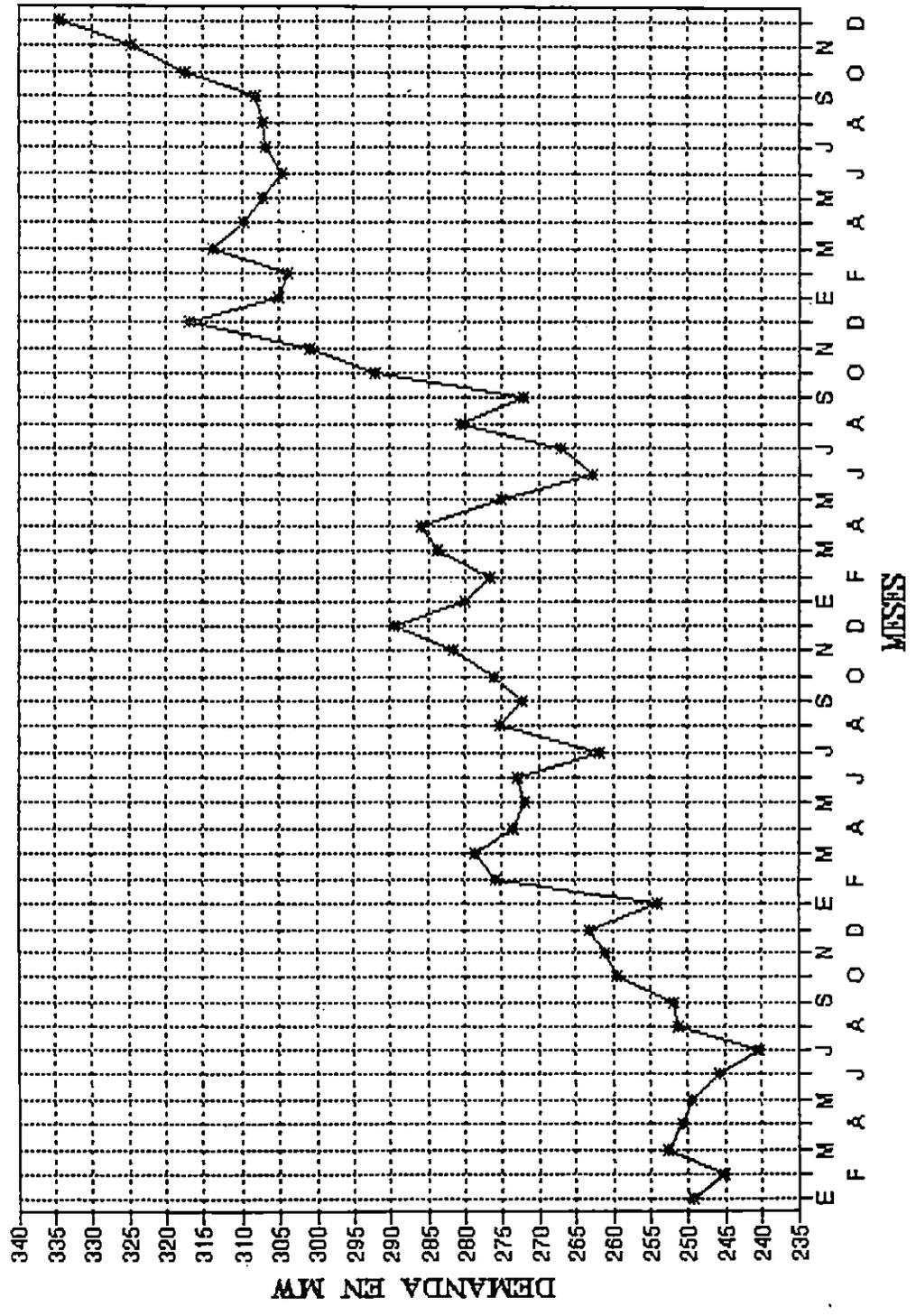


Figura 3.5 CURVA DEMANDA MAXIMA
COINCIDENTAL SISTEMA CAESS-CEL19/12/90

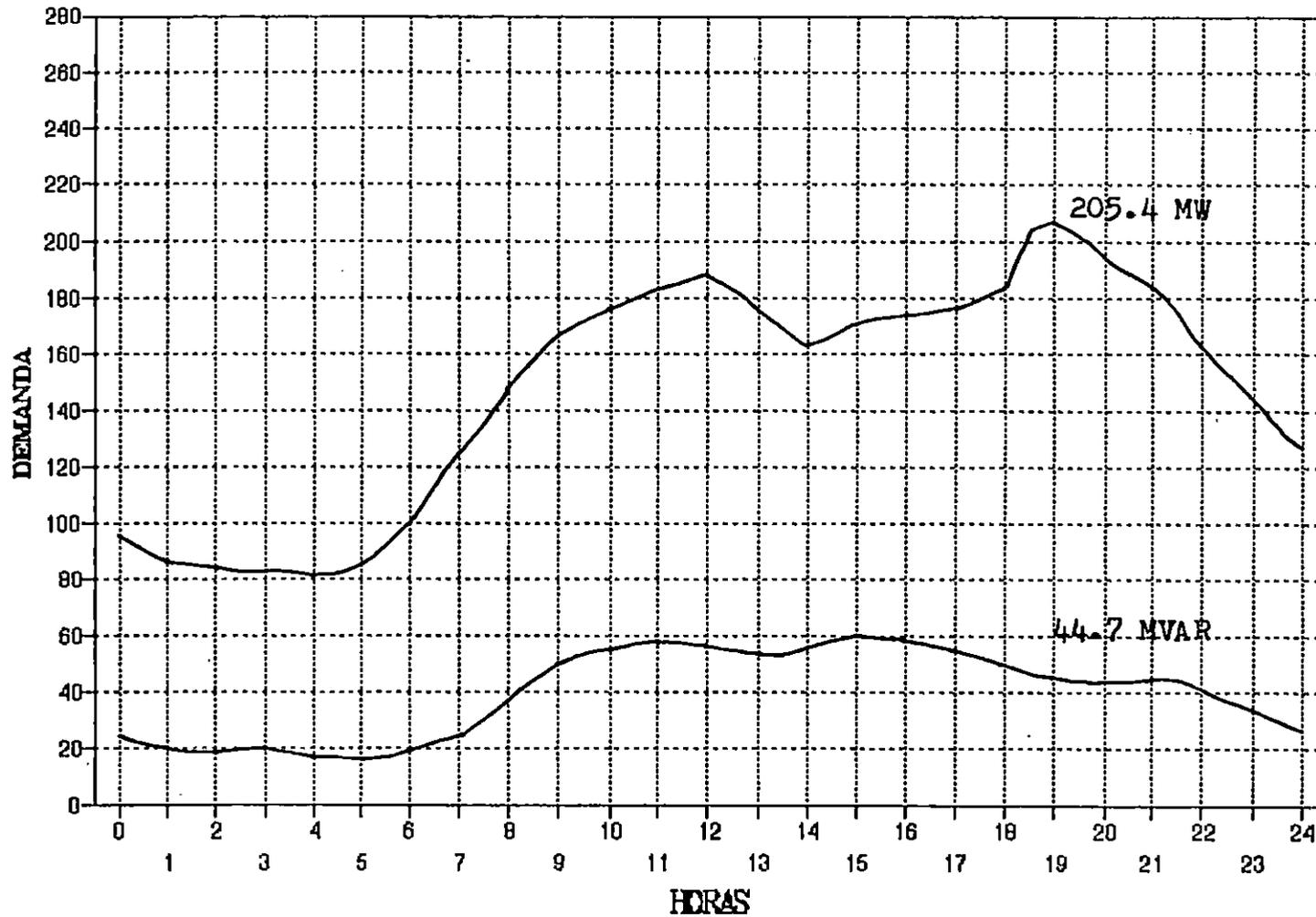
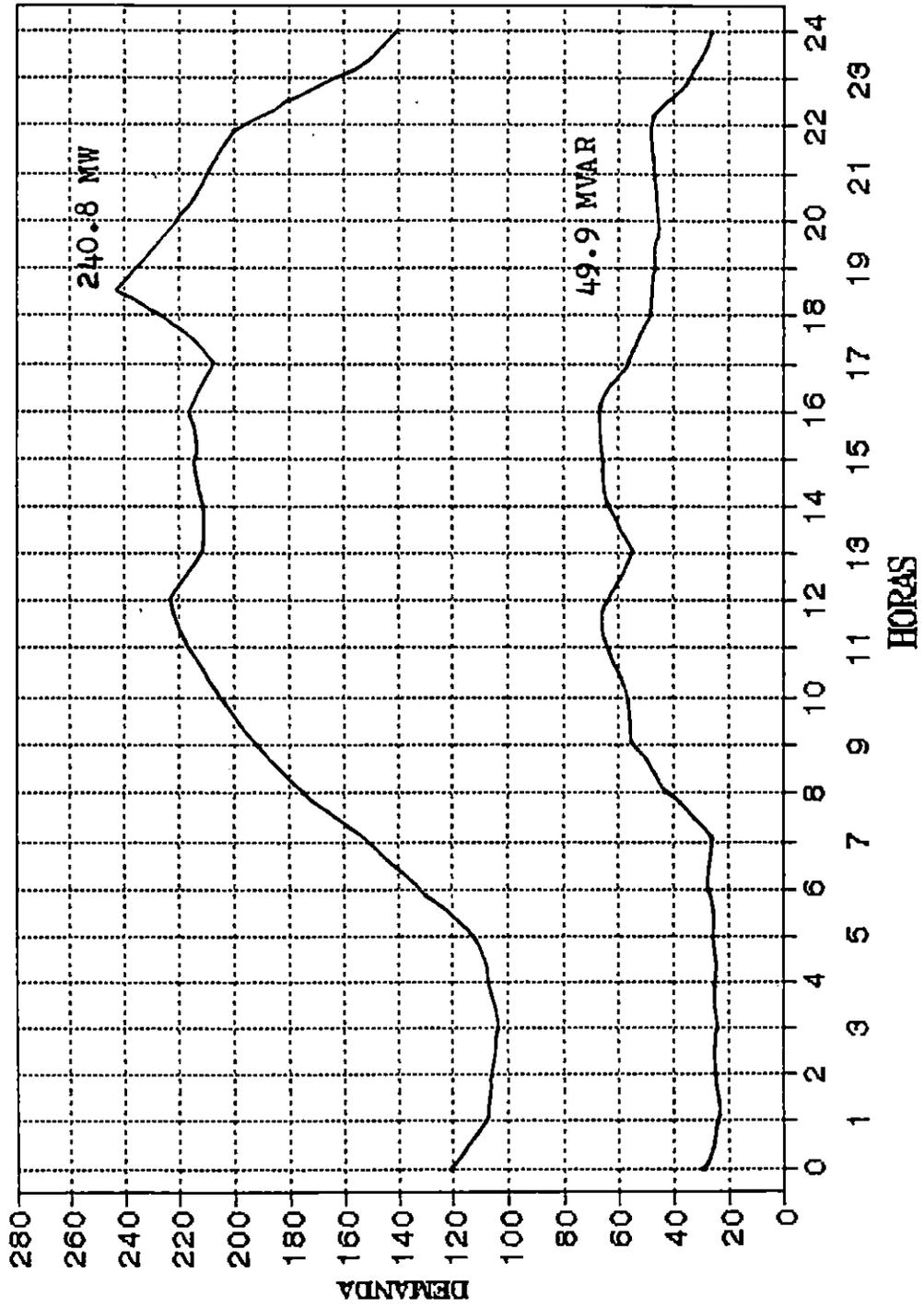
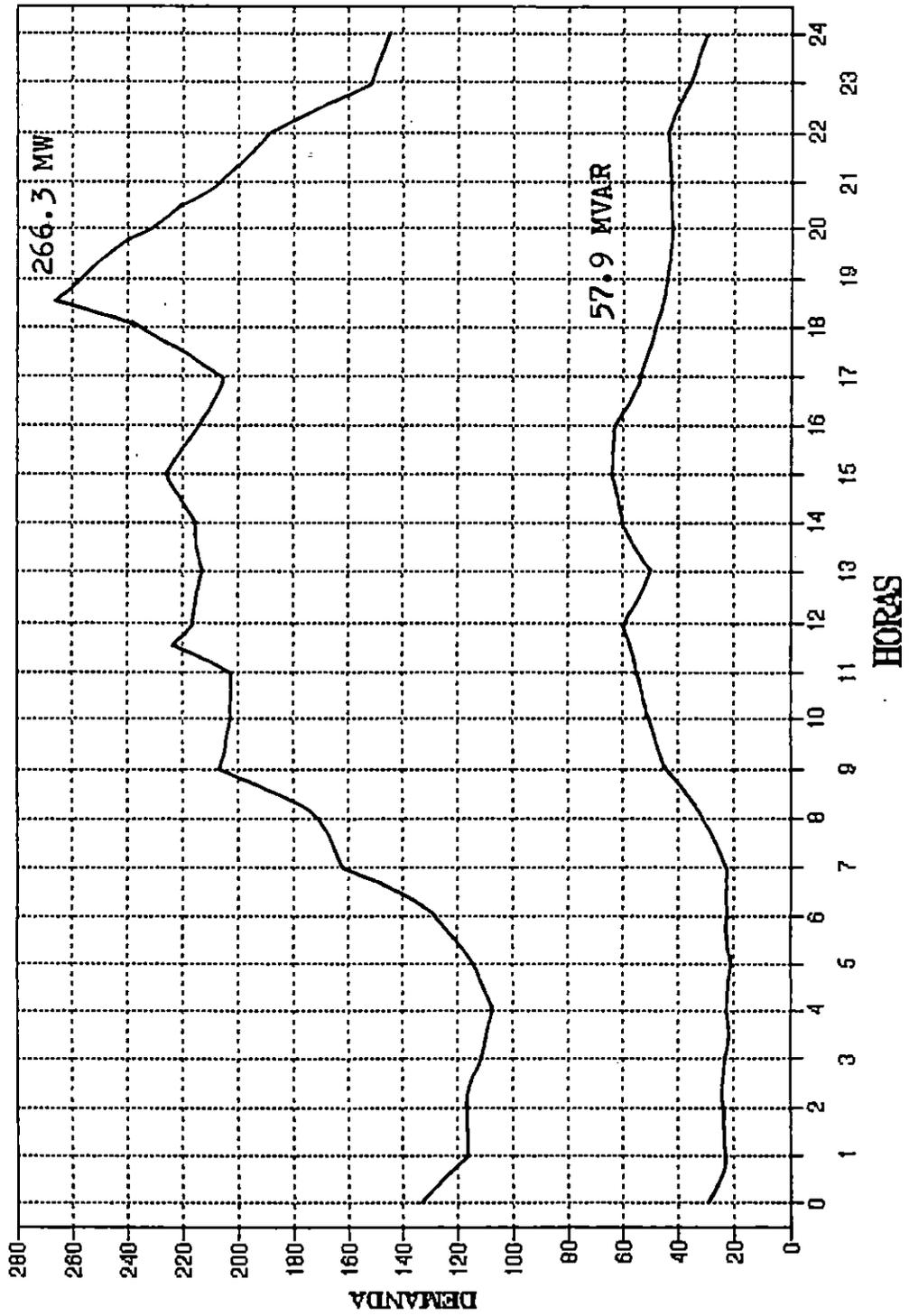


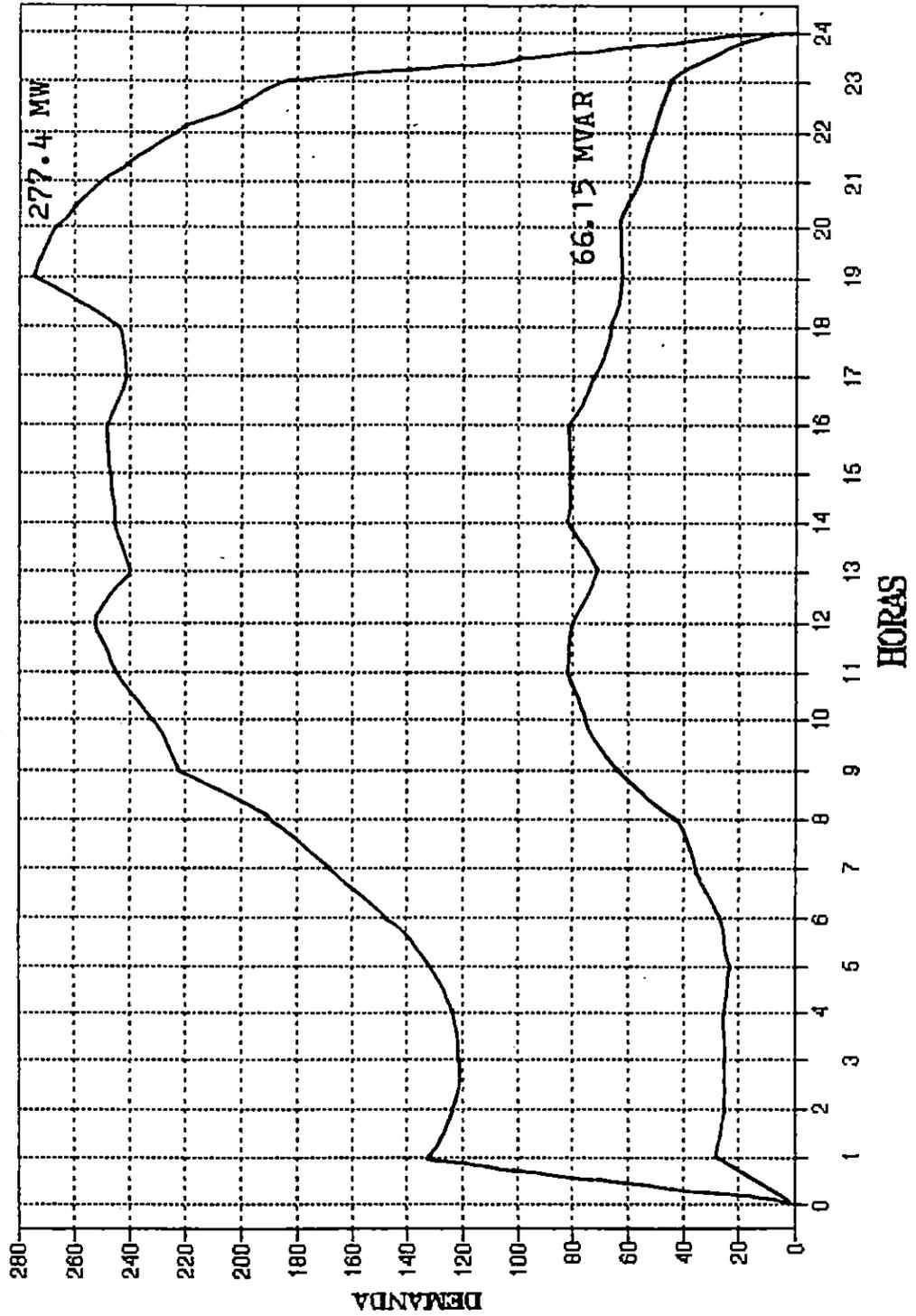
Figura 3.6 CURVA DEMANDA MAXIMA
COINCIDENTAL SISTEMA CAESS-CELL1/12/91



**Figura 3.7 CURVA DEMANDA MAXIMA
COINCIDENTAL SISTEMA CAESS-CELI 7/12/92**



**Figura 3.8 CURVA DEMANDA MAXIMA
COINCIDENTAL SISTEMA CAESS-CEL16/12/93**



En las figuras No.3.5 a 3.8 que corresponden a los gráficos de Demanda Máxima Coincidental del Sistema CAESS-CEL, se aprecia que esa Demanda Máxima durante los meses de Diciembre de cada año, ocurre en el rango comprendido entre las 18:30 y las 19:30. Se sabe que una situación similar se presenta para el mes de Marzo.

Como el objetivo es reducir este "pico de Demanda", después de analizar con detenimiento estas curvas se determinó que el período más apropiado para la puesta en marcha de las Plantas de Emergencia está entre las 18:00 y las 20:00 (2 horas), puesto que si se reduce este rango se corre el riesgo de no cubrir el período de la Demanda Máxima, ya que éste, como es lógico, no ocurre exactamente a la misma hora, día a día (varía entre 30 minutos y una hora).

Por otra parte, si el rango se incrementa, puede suceder que la autoproducción resulte totalmente irrentable, si la Demanda dentro del período es mucho menor que la Demanda en sus extremos (es decir, en el inicio y finalización del período de Autoproducción).

3.2.2.2 Determinación del Costo de los KW-H producidos por un Motogenerador.

En la determinación del costo promedio por Kw-h se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

-Se tomó como base el estudio que realizó la Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador en Septiembre de 1991 sobre este tema llamado "Pruebas Producción de Energía en Plantas de Emergencia".

-Se actualizaron los precios al mes de Octubre de 1993 de los diferentes rubros para evaluar la ecuación del costo de kW-h en el desarrollo del presente estudio.

3.2.2.2.1 Consumo de Combustible por KW-H.

La prueba para determinar el consumo de combustible en función de los Kw-h producidos por un sistema auxiliar de esta clase, se efectuó con la planta de emergencia existente en la Oficina Central de la CAESS, la cual posee las siguientes características:

DATOS DE PLACA

| | | |
|-------------|---|---------------------------------|
| Marca | : | CATERPILLAR |
| Combustible | : | Diesel |
| Potencia | : | 250 KVA, 200 KWatts, F.P. = 0.8 |
| Conexión | : | Delta 3 |

Se efectuó una medición secundaria de la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.1 Pruebas para determinar el consumo de combustible del motogenerador bajo estudio.

| | 1a. PRUEBA | 2a. PRUEBA |
|------------------------------------|------------------|------------------|
| Horas de funcionamiento. | 1.0 | 2.0 |
| Potencia demandada a la planta. | 117 KW | 108 KW |
| KW-Hora generados. | 120 | 218 |
| Galones de combustible consumidos. | 12 | 22.5 |
| KW-Hora por galón. | 10 KW-H/Gal. | 9.7 KW-H Gal. |
| Porcentaje de carga. | $117/200 = 0.58$ | $108/200 = 0.54$ |

Se tomaron como producción promedio de generación de energía eléctrica por galón de diesel la cantidad de 10.0 KW-hora/galón.

3.2.2.2.2 COSTO DEL KW-H

Para obtener el valor del Kw-h producido por una planta de Emergencia se evaluará la siguiente ecuación:

$$\text{Costo del Kw-hora} = \text{Gastos de mantenimiento} + \text{combustible} + \text{Depreciación.}$$

a) Costo de mantenimiento por hora:

Costo de cada rubro:

- a) Galón de aceite = ₡ 40.00
- b) Filtro de Aire = ₡ 600.00
- c) Botella de Refrigerante = ₡ 200.00
- d) Filtro de Diesel = ₡ 200.00
- e) Filtro de Aceite = ₡ 200.00
- f) Revisión Técnica = ₡ 1000/1000 horas
- g) Reparaciones Varias = ₡ 1000/250 horas
- h) Operador y otros Gts. = 2050/70 horas

Mantenimiento:

| | | |
|-------------------------|------------------------|---------|
| a) Cambio de Aceite | : 10 galones/250 horas | = ₡1.60 |
| b) Filtro de Aire | : 1/1000 horas | = 0.60 |
| c) Refrigerante | : 4 botellas/500 horas | = 1.60 |
| d) Filtro Diesel | : 1/250 horas | = 0.80 |
| e) Filtro de Aceite | : 1/250 horas | = 0.80 |
| f) Revisión Técnica | : 1/1000 horas | = 1.00 |
| g) Reparaciones varias: | ₡1000.00 (1/250 horas) | = 4.00 |
| h) Operador y otros | : 1/70 horas | = 29.29 |

Total del Costo por Mantenimiento : ₡39.69

Costo por mantenimiento por Kw-hora producido:

$$\frac{₡ 39.69}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ hora}}{420 \text{ Kw-h}} = ₡ 0.33/\text{Kw-h}$$

b) Costo de Combustible:

Costo del galón de Diesel = ₡ 7.50

$$\text{Consumo de Combustible} = \frac{12 \text{ galones}}{120 \text{ Kw-h}} = \frac{0.1 \text{ galón}}{\text{Kw-hora}}$$

$$\text{Costo del Combustible por Kw-h producido} = \frac{0.1 \text{ galón}}{\text{Kw-hora}} \times \frac{₡7.50}{\text{galón}} \times \frac{₡0.75}{\text{Kw-hora}}$$

c) Depreciación

El costo inicial (CI) de la planta de energía de 200 Kw es de ₡ 200,000.00. Si estimamos una vida útil (VU) de 10 años tendremos una depreciación de:

$$\begin{aligned} \text{Depreciación por Hora} &= \frac{\text{CI}}{\text{VU} \times 12 \text{ meses} \times 30 \text{ días} \times 24 \text{ horas}} \\ &= \frac{₡ 200,000.00}{10 \text{ años} \times 12 \text{ meses} \times 30 \text{ días} \times 24 \text{ horas}} \\ &= ₡ 2.315 / \text{hora.} \end{aligned}$$

$$\text{Depreciación por Kw-h producido} = \frac{₡2.315}{420 \text{ Kw-h}} = ₡ 0.019$$

Evaluando en la ecuación del costo del Kw-h, obtenemos que el Kw-hora producido por una planta de emergencia tiene el costo aproximado de:

$$\begin{aligned}\text{Costo de Kw-hora Producido} &= \text{¢}0.330 + 0.75 + 0.019 \\ &= \text{¢} \underline{1.099}\end{aligned}$$

3.2.2.3 Reducción de la Demanda Máxima en el mes de Diciembre mediante la Autoproducción.

Para tener una visión más definida de los beneficios que se esperan obtener con un programa de Autoproducción, se estudiarán hipotéticamente las reducciones en la demanda máxima que se hubiesen obtenido al haber realizado la Autoproducción en el período de Diciembre de 1992, con los resultados en 1993.

Al efectuar el análisis se tomaran en cuenta los siguientes aspectos:

1. Cargo por Demanda CAESS-CEL. Por KVA, cada uno a ¢21.15.
2. Costo del Kw-h Autogenerado ¢1,10, determinado en la sección anterior.
3. Período de ejecución del Programa de Autoproducción:
En los datos que contienen las figuras 3.5 a 3.8 se encuentra que las Demandas Máximas han ocurrido en las siguientes fechas:

| | | | | |
|------|---|----|----|-----------|
| 1988 | - | 14 | de | Diciembre |
| 1989 | - | 20 | " | " |
| 1990 | - | 19 | " | " |
| 1991 | - | 11 | " | " |
| 1992 | - | 17 | " | " |
| 1993 | - | 16 | " | " |

Por lo que podría resultar atractivo llevar a ejecución el Programa de Autoproducción entre las fechas 10 al 25 de Diciembre. Pero estas fechas están variando año con año y puede suceder que la Demanda Máxima del próximo Diciembre ocurra, por ejemplo, el 8 o el 27.

En base a esto se sugiere efectuar la Autoproducción todo el mes de Diciembre, excepto los días Domingos, del cual se sabe la Demanda es menor que en los días laborales (Lunes a Sábado).

No. de Horas: 2, entre las 18:00 y las 20:00
Total = 2 horas x 26 días = 52 horas.
Inicio : 1o. de Diciembre.
Finalización: 30 de Diciembre.

4. Se propone beneficiar a los autoprodutores descontándoles de la factura mensual, el costo del Kw-hora Autogenerado a \$1.10.
5. La Demanda de Arrastre que la CEL estuvo facturando durante 1993 a la CAESS fué de 323,286.3 KVA, correspondiendo al mes de Diciembre de 1992 (ver Figura 3.9). Esta Demanda se mantuvo hasta el mes de Septiembre de 1993, porque para el mes de Octubre la Demanda Máxima fué de 325,718.37.

El análisis se efectuará estimando varios valores en la reducción de la demanda para determinar el valor óptimo que indique la capacidad aproximada con la que se podría aliviar el sistema, para la cual se utilizará la Figura 3.9, con esto también se pretende explicar la forma como funciona el cargo por Demanda de Arrastre.

3.2.2.3.1 Autoproducción de 2000 KVA

En este caso sólo basta multiplicar los KVA Autoproducidos por el número de meses en que la Demanda de Arrastre fué la correspondiente al mes de Diciembre/92.

Es decir, si la demanda en Dic/92 se reduce en 2000 KVA, la demanda resultante sería: 323,286.3 - 321,286.3 KVA, y como se observa en la Figura 3.9, este valor resultante es superado hasta el mes de Octubre/93, por lo tanto el beneficio económico que la CAESS obtendría al reducir la Demanda de Arrastre se percibirían durante 10 meses.

$$\text{Reducción total} = 2000 \text{ KVA} \times 10 \text{ meses} = 20,000 \text{ KVA}$$

Obteniendo una reducción en el pago a la CEL de:

$$20,000 \text{ KVA} \times \$21.15 = \$423,000.00$$

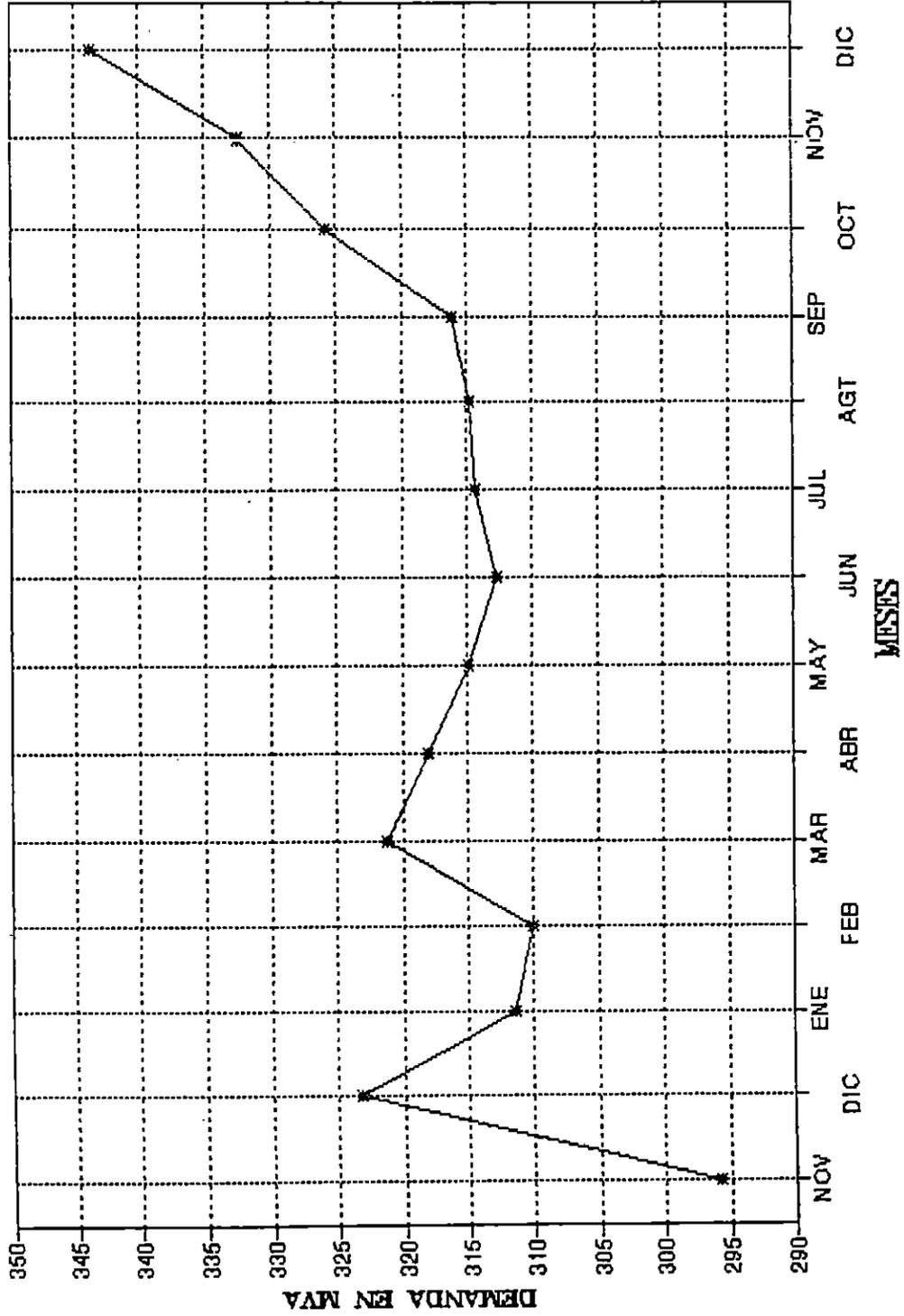
Compensación a los Autoprodutores = Energía Autogenerada x No. de horas x costo de la energía Autogenerada.

A efectos de ejemplificación se utilizará el factor de potencia promedio que presentan las empresas en la Tabla 3.7, el cual tiene un valor aproximado de 0.85. Para efectuar el cálculo en la práctica, será necesario conocer el F.P. de cada planta industrial.

$$\begin{aligned} \text{Compensación} &= 2000 \text{ KVA} \times 0.85 \times 52 \text{ horas} \times \$1.10 \\ &= \$97,240.00 \end{aligned}$$



Figura 3.9 CURVA DEMANDA MAXIMA ANUAL
Sistema CAISS-CEL 1992-93



Diferencia entre pago a la CEL y la Compensación:

$$= \text{¢}423,000.00 - \text{¢}97,240.00$$

$$= \text{¢}325,000.00$$

Esta cantidad indica que se podría Autoproducir mayor cantidad de energía y potencia.

3.2.2.3.2 Autoproducción de 10,000 KVA.

| Mes a Deman- Facturar | Demanda de Arrastre (KVA) | Reducción de la demanda a Facturar (KVA) |
|--------------------------|------------------------------|---|
| Dic/92 | Dic/92/313,286.30 | 10,000.0 |
| Ene/93 | Dic/92/313,286.30 | 10,000.0 |
| Feb/93 | Dic/92/313,286.30 | 10,000.0 |
| Mar/93 | Mar/93/321,249.00 | 2,037.0 |
| Abril-Sep/93 | Mar/93/321,249.00 | 2,037.0 x 6 |
| Oct/93 | Oct/93/325,718.37 | 0.0 |
| Total | | 44,261.03 |

$$\begin{aligned} \text{Reducción en el Pago a la CEL:} &= 44261.03 \text{ KVA} \times \text{¢}21.15 \\ &= \text{¢}936,120.78 \end{aligned}$$

Compensación a Autoprodutores :

$$= 10,000 \text{ KVA} \times 0.85 \times 52 \text{ horas} \times \text{¢}1.10$$

$$= \text{¢}486,200.00$$

$$\text{Diferencia} = \text{¢}936,120.78 - \text{¢}486,200.00$$

$$= \text{¢}449,920.78$$

En la tabla 3.2 se resumen los cálculos efectuados para varios valores de Autoproducción:

Si se efectúan cálculos similares para el mes de Marzo de 1993, los resultados se muestran en la Tabla 3.3.

3.2.2.4 Criterios Relacionados con la Autoproducción.

-En base a las tablas anteriores se propone realizar el programa de Autoproducción en dos etapas, en la primera efectuar una reducción de la Demanda Máxima en el mes de Diciembre y la segunda en el mes de Marzo. Por supuesto no

Tabla 3.2 Resultados económicos de la Autoproducción en Diciembre de 1992.

| Autoproducción Dic/92 (KVA) | Diferencia entre pago a la CEL y la Compensación (¢) |
|--------------------------------|---|
| 2,000 | 325,000.00 |
| 10,000 | 449,920.78 |
| 12,000 | 475,018.30 |
| 13,000 | 447,548.30 |
| 14,000 | 420,078.30 |
| 15,000 | 392,608.30 |
| 16,000 | 365,138.30 |
| 17,000 | 337,668.30 |
| 18,000 | 310,198.30 |
| 19,000 | 282,728.30 |
| 20,000 | 255,258.30 |
| 21,000 | 227,788.30 |
| 22,000 | 200,318.30 |
| 23,000 | 172,848.30 |
| 24,000 | 145,378.00 |
| 25,000 | 117,908.30 |
| 26,000 | 90,438.30 |
| 27,000 | 62,968.30 |
| 28,000 | 35,498.30 |
| 29,000 | 8,028.30 |
| 30,000 | -19441.61 |

Tabla 3.3 Resultados económicos de la Autoproducción en el mes de Marzo/93.

| Autoproducción Mar/93 (KVA) | Diferencia entre pago a la CEL y compensación (¢) |
|--------------------------------|--|
| 5,000 | 254,508.31 |
| 6,000 | 227,038.31 |
| 7,000 | 199,568.31 |
| 8,000 | 172,098.31 |
| 9,000 | 144,628.31 |
| 10,000 | 117,158.31 |
| 11,000 | 89,688.31 |
| 12,000 | 62,218.31 |
| 13,000 | 34,748.31 |
| 14,000 | 7,278.31 |
| 15,000 | -20,191.68 |

deberá realizar la Autoproducción en el mes de Marzo si no se ha realizado también en el mes de Diciembre anterior.

Las dos horas de trabajo serán cubiertas entre las 18:00 y las 20:00 horas, que es, según se comprobó, el período en que ocurre la Demanda Máxima Coincidental. Este período se puede aumentar, si se desea tener mayor seguridad para cubrir el período MD. Pero en cualquier caso se deja a criterio de la Empresa Distribuidora generar con la Autoproducción la cantidad de Energía y Potencia que más les convenga.

-En el análisis económico no se incluyen los gastos en que incurrirá la compañía distribuidora al implementar el programa de Autoproducción, como por ejemplo, los gastos de instalación de medidores, depreciación de los mismos, supervisión, y otros.

-Cabe analizar por personal de la CAESS si se estipulará un rendimiento y factores de costo con cada autoprodutor o se aplicará una compensación uniforme ($\$1.10/\text{Kw-h}$) considerando similitud de plantas de emergencia.

- Los resultados obtenidos estarán afectados si posteriormente ocurre: alteración de las Tarifas Eléctricas, variación en el precio del combustible y demás insumos utilizados en la generación.

- Se deberán utilizar medidores electrónicos para efectuar la medición de la energía y potencia Autoproducida, ya que esto permitirá analizar los resultados posteriores a la ejecución del programa de Autogeneración. Por ejemplo, con la información sobre la demanda eléctrica que registre el medidor, se podría construir un gráfico de Demanda Coincidental con la demanda del sistema y de este modo determinar el efecto que llegaría a producir la Autogeneración.

El medidor electrónico, también permitirá determinar los períodos en los cuales el autoprodutor utilizó su equipo de emergencia. En base a esto se podrá establecer en el contrato con la empresa que únicamente se le compensará la energía autoproducida en el período indicado por la compañía distribuidora.

3.2.2.5 Ventajas de la Autoproducción.

-Al reducir la demanda máxima del sistema, se obtiene: Aumento en la capacidad de reserva en Generadores, y subestaciones, reducción de las pérdidas eléctricas en líneas de transmisión y distribución, mejoras en la calidad del servicio eléctrico.

-Mantener activo un programa de autoproducción, el cual estará disponible para ser puesto en ejecución en caso de una crisis energética a nivel nacional, como la ocurrida en 1991.

3.2.2.6 Desventajas de la Autoproducción.

-Fuga de divisas al consumir combustible derivado del petróleo.

-Producción de contaminantes atmosféricos en la combustión de los hidrocarburos para la generación eléctrica.

-Otro contaminante es el ruido producido por el motogenerador.

-Incomodidad causado por la transferencia de carga de las líneas de distribución a la planta eléctrica y viceversa.

3.2.2.7 Incentivos.

-Modificar la aplicación de la Demanda de Arrastre para las empresas que participen en el programa de Autoproducción.

-A cada empresa, descontarle de la facturación mensual la energía autogenerada al costo de \$1.10 como mínimo .

-Proporcionarles adiestramiento en cuanto al manejo de la demanda y energía.

La Compañía distribuidora está obligada a analizar las curvas de carga de todas las empresas que deseen participar con la Autoproducción, para tener una idea real de cual será el valor promedio de Demanda que se reducirá en el Sistema.

3.3 Corrección del Factor de Potencia en Plantas Industriales.

Se estudiarán las causas y consecuencias de un bajo factor de potencia, consideraciones para corregirlo y los beneficios que se esperan obtener con esta medida. Existen muchos libros de texto y tesis que analizan los fundamentos del Factor de Potencia, por lo que en el presente estudio se considerará que esos conceptos son conocidos.

3.3.1 Factor de Potencia en Retraso y en Adelanto.

3.3.1.1 Factor de Potencia en Retraso.

El Factor de Potencia es de retraso cuando la carga requiere KVAR (cargas inductivas). En el capítulo I se

explicó que los motores de inducción tienen un Factor de Potencia de retraso, debido a esto su corriente de magnetización debe ser suministrada por la fuente de potencia. La componente reactiva disminuye sólo un poco al disminuir la carga. La componente de potencia real, o en fase disminuye casi en proporción directa a un decremento en la carga. Esto significa que un motor de inducción ligeramente cargado tiene una componente de retraso de gran magnitud ya que la relación de los KVA reactivos a los KW aumenta bastante. Por lo tanto, es importante que todos los motores de inducción operen lo más cerca posible a sus capacidades nominales.

3.3.1.2 Factor de Potencia en Adelanto.

Los capacitores tienen un Factor de Potencia de adelanto por lo que pueden suministrar KVAR. El factor de potencia de adelanto de los capacitores y el factor de potencia unitario o de adelanto de los motores síncronos se pueden usar para mejorar el Factor de Potencia de retraso de las cargas inductivas. Así, se mejorará el Factor de Potencia total de una planta industrial, por ejemplo.

Los capacitores también pueden considerarse como generadores de Kilovars por que pueden suministrar la corriente de magnetización requerida por las cargas inductivas. Esto se explica en términos de almacenamiento de energía. Un capacitor instalado en el mismo circuito de un motor de inducción tiene como efecto un intercambio de corriente reactiva entre ellos. La corriente de adelanto almacenada por el capacitor alimenta la corriente de retraso requerida por el motor de inducción.

3.3.2 Causas que Ocasionan un Bajo Factor de Potencia.

Las siguiente son alguna de las causas más comunes que ocasionan un bajo Factor de Potencia:

- El bajo factor de potencia se debe principalmente a que los motores de inducción son cargados parcialmente.
- Cambiar alumbrado incandescente por fluorescente.
- Usar rectificadores en lugar de utilizar un acople motor-generador síncrono como fuente de potencia de corriente directa.
- Incrementar la instalación de dispositivos de inducción como aires acondicionados, equipo electrónico, etc; en equipo electrónico se incluye radios, televisores, computadores, equipo de sincronización y muchos otros mecanismos operados electrónicamente. Estos mecanismos

utilizan componentes de estados sólido como transistores, tiristores, circuitos integrados, etc. Prácticamente todos estos elementos operan a voltajes más bajos que los suministrados por la red de potencia comercial, por lo cual emplean transformadores para obtener así voltajes específicos de operación.

- Separación inadecuada de los conductores en alimentadores y ramales..

3.3.3 Consecuencias de un bajo Factor de Potencia.

Un bajo factor de potencia es un fenómeno eléctrico que puede suceder en condiciones estables para cargas que consumen potencia reactiva. Para una potencia real constante y un bajo Factor de Potencia, la potencia aparente será alta, como también será alta la cantidad de corriente de la red. Esto demuestra que para una potencia útil constante, la cantidad de corriente de la red se incrementará en la medida que el Factor de Potencia disminuya, esto se observa en la figura 3.10.

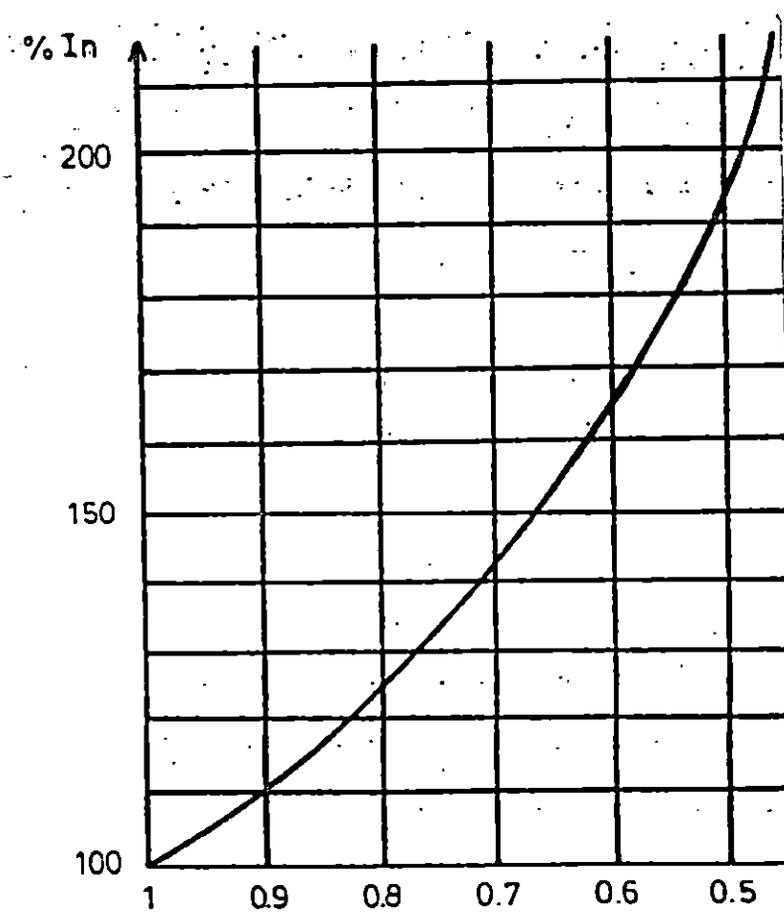


Figura 3.10 Influencia del Factor de Potencia sobre la corriente nominal.

Lo anterior indica que los transformadores y cables de distribución estarán sobrecargados y que las pérdidas en ellos se incrementarán, lo cual es real en todos los puntos de la red (de lado de bajo y alto voltaje), Esto ocasionará muchas desventajas para el usuario industrial, con repercusiones tanto económicas como en la eficiencia energética.

Estas desventajas pueden agruparse de la siguiente manera:

- 1.) Aumenta las pérdidas por efecto Joule, las cuales son funciones del cuadrado de la corriente, por ejemplo:
 - Embobinados de los transformadores de subestación.
 - Cables de la instalación eléctrica de la planta industrial.
 - Dispositivos de operación y protección.
- 2.) Reducen el nivel de voltaje, afectando en forma adversa la eficiencia de operación de los motores y lámparas fluorescentes con balastos electrónico.
- 3.) Reducen la iluminación de las lámparas incandescentes.
- 4.) Las instalaciones no pueden ser usadas en toda su capacidad, resultando en costos altos de depreciación.
- 5.) Un bajo Factor de Potencia aumenta a la compañía distribuidora el costo de suministrar la potencia reactiva, porque tiene que ser transmitida más corriente, y este costo más alto se le cobra directamente al consumidor industrial por medio de cláusulas del Factor de Potencia incluidos en las tarifas.

3.3.4 Ventajas de la Corrección del Factor de Potencia.

Si se corrige el Factor de Potencia se obtendrá como consecuencia:

a) Alivio de la capacidad del sistema. Al mejorar el Factor de Potencia, se reduce la cantidad de corriente reactiva que inicialmente pasaba a través de transformadores, alimentadores, tableros y cables, reduciendo de esta manera la potencia aparente suministrada.

b) Mejora la calidad del voltaje. Un bajo Factor de

Potencia puede reducir el voltaje de la planta industrial, cuando se toma corriente reactiva de las líneas de alimentación. Cuando el Factor de Potencia se reduce, la corriente total de la línea aumenta, debido a la mayor corriente reactiva que circula, causando mayor caída de voltaje a través de la resistencia de la línea, la cual, a su vez, aumenta con la temperatura. Esto se debe a que la caída de voltaje en una línea es igual a la corriente que pasa por la misma, multiplicada por la resistencia en la línea. A mayor corriente mayor caída de voltaje.

c) Reducción en las pérdidas de potencia. Un bajo Factor de Potencia también causa pérdidas de potencia en las líneas de distribución. La corriente de alimentación, a un bajo Factor de Potencia, es alta debido a la presencia de la corriente reactiva. Cualquier reducción en la misma da como resultado menores pérdidas en KW en la línea.

La capacidad del sistema se puede aliviar mediante la corrección del Factor de Potencia, porque con F.P. alto son menos los KVA para cualquier carga en KW. La cantidad de corrección del Factor de Potencia justificada para aliviar la capacidad, depende del costo del equipo adicional del sistema por KW o KVA en comparación con el costo de los capacitores por KVAR.

La Figura 3.11 se utilizará para determinar la capacidad adicional del sistema que se obtiene con una cierta corrección del Factor de Potencia. Localícese la intersección del Factor de Potencia original con la capacidad adicional deseada del sistema y léase en la base el Factor de Potencia corregido que se necesita.

La Tabla 3.4 se utilizará para determinar cuántos KVAR de capacitores se necesitan por cada KVA de alivio de la capacidad.

Para determinar si la corrección del Factor de Potencia es la vía más económica de aumentar la capacidad, debe compararse el costo de los capacitores necesarios con el costo de la subestación y el equipo de distribución necesario para incrementar la capacidad del sistema en la misma medida. También habrá que agregar la penalización por bajo factor de potencia (si existe).

Como ejemplo, se tiene un sistema que opera a plena carga con un factor de potencia de 0.8, necesita una capacidad adicional para cubrir un 20% más de carga. La Figura 3.11 muestra que se puede obtener un alivio de capacidad de 20% si se corrige el Factor de Potencia a 0.97.

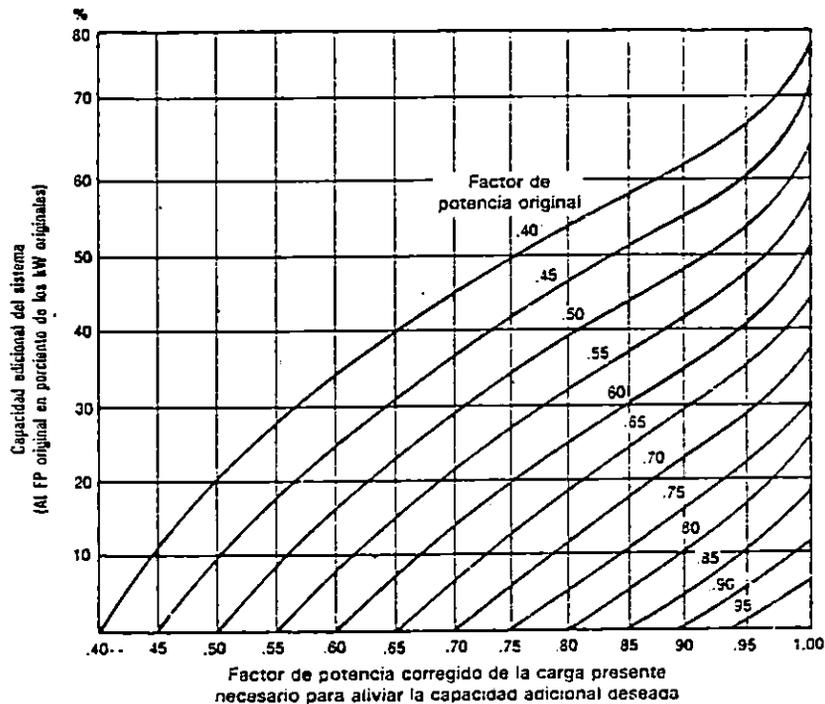


Figura 3.11 Capacidad adicional del sistema después de la corrección del FP.

| FP original | FP final de la carga original | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | .90 | .91 | .92 | .93 | .94 | .95 | .96 | .97 | .98 | .99 | 1.00 |
| .95 | | | | | | | 3.374 | 3.587 | 3.873 | 4.314 | 5.947 |
| .94 | | | | | | 3.058 | 3.210 | 3.397 | 3.644 | 3.816 | 5.366 |
| .93 | | | | | 2.824 | 2.934 | 3.110 | 3.233 | 3.451 | 3.779 | 4.909 |
| .92 | | | | 2.633 | 2.723 | 2.825 | 2.946 | 3.094 | 3.287 | 3.575 | 4.541 |
| .91 | | | 2.487 | 2.553 | 2.635 | 2.727 | 2.835 | 2.968 | 3.143 | 3.395 | 4.229 |
| .90 | | 2.346 | 2.407 | 2.479 | 2.553 | 2.638 | 2.739 | 2.858 | 3.011 | 3.240 | 3.970 |
| .89 | 2.243 | 2.296 | 2.332 | 2.413 | 2.475 | 2.558 | 2.649 | 2.757 | 2.896 | 3.100 | 3.742 |
| .88 | 2.195 | 2.241 | 2.293 | 2.350 | 2.413 | 2.484 | 2.566 | 2.665 | 2.792 | 2.974 | 3.543 |
| .85 | 2.053 | 2.098 | 2.140 | 2.186 | 2.238 | 2.293 | 2.354 | 2.431 | 2.524 | 2.661 | 3.068 |
| .80 | 1.878 | 1.909 | 1.939 | 1.969 | 2.002 | 2.041 | 2.083 | 2.133 | 2.196 | 2.283 | 2.528 |
| .75 | 1.735 | 1.753 | 1.775 | 1.797 | 1.820 | 1.846 | 1.876 | 1.910 | 1.952 | 2.008 | 2.164 |

Tabla 3.4 KVAR/KVA de capacidad aliviada.

La tabla 3.4 muestra que se necesitan 2.133 KVAR de capacitores por cada KVA de alivio de la capacidad.

Para determinar si este es el medio más económico de aumentar la capacidad, deben compararse el costo de los KVAR necesarios con el costo por KVA de los medios alternos para obtener la misma capacidad adicional.

Por otra parte, el beneficio que se obtiene con la

reducción de pérdidas no justifica la instalación de capacitores, pero puede ser un beneficio adicional junto con la corrección del factor de potencia. Las pérdidas de distribución de potencia $KW = I^2 R$ varían aproximadamente de 2.5 a 7.5 por ciento de los KWH de la carga y dependen de factores tales como: tiempo de operación de la planta, calibre de los conductores, longitud de los circuitos alimentadores. Las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente y, a medida que se reduce la corriente, en proporción directa a la corrección del Factor de Potencia. Así las pérdidas son inversamente proporcionales al cuadrado del Factor de Potencia. La fórmula para calcular la reducción de pérdidas de potencia es:

$$\text{Pérdidas en KW} = \frac{(\text{FP original})^2}{(\text{FP corregido})^2}$$

y

$$\text{Reducción de pérdidas} = I - \frac{(\text{FP original})^2}{(\text{FP corregido})^2}$$

donde, FP : factor de potencia.

I : corriente en amperios.

Los capacitores elevan el nivel de voltaje, pero muy pocas veces es económico usarlos en los sistemas industriales de potencia sólo por esta razón. La corrección del voltaje es otro beneficio secundario. La ecuación aproximada para calcular la caída de voltaje en un circuito eléctrico es:

$$e = R I \cos \theta + X I \sin \theta$$

que puede escribirse como:

$$e = R (\text{corriente de KW}) + X (\text{corriente de KVAR})$$

Esta expresión muestra que la corriente de KVAR opera con la reactancia, y puesto que los capacitores reducen la corriente de KVAR, también reducen la caída de voltaje en un valor igual a la corriente del capacitor multiplicada por la reactancia. El aumento de voltaje conseguido no excede del 4 por ciento.

3.3.5 Métodos para la Corrección del Factor de Potencia.

Los métodos más comúnmente usados para mejorar el factor de potencia de una planta industrial incluyen el uso de:

- Utilización de motores síncronos

- Utilización de capacitores síncronos
- Compensadores estáticos de VAR
- Banco de capacitores

A continuación se describen brevemente cada uno de ellos.

a) Los motores síncronos, además de proporcionar trabajo mecánico, pueden actuar como una carga capacitiva, si operan sobreexcitados. Los motores síncronos incrementan la cantidad de KVAR a medida que disminuye la tensión de la línea, elevando el Factor de Potencia y el voltaje. Por lo tanto, tiene la ventaja de funcionar como regulador de voltaje, y como control del Factor de Potencia, aunque no constituyen una forma de compensación controlable con facilidad.

b) Los capacitores síncronos. Un capacitor síncrono es una máquina rotatoria similar al motor síncrono. Son diseñados para controlar el Factor de Potencia pero no accionan carga alguna. Suelen ser de gran tamaño y capaces de proporcionar una cantidad elevada de potencia reactiva, tanto de carácter capacitivo como inductivo, según sea necesario; también mejoran la estabilidad de las líneas de transmisión en régimen transitorio. Sin embargo, son equipos cuyo uso implica una fuerte inversión inicial y un mantenimiento bastante costoso, por lo cual raras veces se usan en instalaciones industriales.

c) Compensadores estáticos de VAR. Básicamente el CEVs (compensador estático de VARs), es un sistema usado para corregir Factores de Potencia variables, por medio de arreglo de capacitores e inductancias conectados en delta, el sistema es controlado por medio de componenetes integrados en el cual la corriente de los bancos capacitivos o inductivos es manejado por rectificadores de silicio. La combinación de estos componentes (inductancias y capacitancias) puede suplir cualquier valor de adelanto o de retraso del Factor de Potencia.

El ángulo de disparo de los SCR puede cambiarse dentro de la mitad del ciclo a través del dispositivo de control.

d) Banco de Capacitores. La operación de los capacitores introducen una reactancia capacitiva en el circuito, con lo cual contrarrestan efectivamente la reactancia inductiva del circuito, afectando así su impedancia, lo cual a su vez puede causar una caída o un incremento en el voltaje. Esto también tiende a mejorar el Factor de Potencia del circuito, de este modo se reduce la corriente requerida por una carga dada y reduce las pérdidas en el alimentador, pudiéndose instalar fijos, o fijos y bancos desconectables. El uso de capacitores de

potencia, comparado con el de otros medios de generación de potencia reactiva, implica las interesantes ventajas de bajo costo por KVAR instalado, un fácil manejo y un mantenimiento tan sencillo y barato, que en muchos casos, se vuelve prácticamente inexistente.

3.3.6 Corrección del Factor de Potencia Utilizando Banco de Capacitores.

En cargas individuales los Factores de Potencia se pueden estimar con precisión y son conocidos. La Tabla 3.5 muestra cargas típicas de alto valor de adelanto y de atraso, con sus correspondientes Factores de Potencia.

Al reducir la corriente reactiva, se reduce la corriente total. La corriente de KW no cambia y el Factor de Potencia mejorará sólo si la corriente reactiva se reduce. Si se redujera a cero la corriente reactiva, toda la corriente sería sólo de KW y el Factor de Potencia sería de 1.0 (100 por ciento). Sin embargo, en la práctica no es necesario ni económico mejorar el Factor de Potencia al cien por ciento.

| | <i>FP aproximado</i> |
|--|---|
| <i>Cargas altas</i> | |
| Lámparas incandescentes | 1.0 |
| Lámparas fluorescentes (con capacitores integrados) | 0.95-0.97 |
| Calentadores de resistencia | 1.0 |
| Motores síncronos | 1.0 o adelanto |
| Convertidores rotatorios | 1.0 |
| <i>Cargas de adelanto</i> | |
| Motores síncronos | 0.9; 0.8; adelanto, dependiendo de la capacidad nominal |
| Condensadores síncronos | Aproximadamente 0, adelanto |
| Capacitores | 0 |
| <i>Cargas de retraso</i> | |
| Motores de inducción (a plena carga) | |
| De fase dividida, fracción de hp | 0.55 a 0.75 |
| De fase dividida, a 10 hp | 0.75 a 0.85 |
| De fase dividida, tipo de condensador | 0.75 a 1.0 |
| Motores polifásicos de jaula de ardilla | |
| Alta velocidad (1 a 10 hp) | 0.75 a 0.90 |
| Alta velocidad (10 hp o más) | 0.85 a 0.92 |
| Baja velocidad | 0.70 a 0.85 |
| Rotor devanado | 0.80 a 0.90 |
| Grupos de motores de inducción | 0.50 a 0.85 |
| Soldadoras | 0.50 a 0.70 |
| Hornos de arco | 0.80 a 0.90 |
| Hornos de inducción | 0.60 a 0.70 |

Tabla 3.5 Cargas altas típicas y sus factores de potencia de adelanto y de retraso.

Generalmente se usan los capacitores para alimentar parte de las necesidades de KVAR de la carga hasta un punto económico. La otra parte es suministrada por el sistema de alimentación.

La experiencia indica que es económico mejorar el Factor de Potencia cuando éste es menor o igual que 0.8. Un valor más alto significa mayor tiempo para recuperar la inversión.

Existen cuatro métodos para calcular la corrección deseada del Factor de Potencia: numérico, gráfico, mediante el uso de tablas y mediante el uso de curvas. Por sencillez, sólo se estudiarán el método numérico y mediante el uso de tablas.

EJEMPLO.

Suponer que el Factor de Potencia total de un grupo de cargas de 144 KW es del 80 por ciento. Se desea un Factor de Potencia de 0.9, determinado por la tarifa eléctrica No. 3 (VP).

La corriente de magnetización proporcionada por los capacitores se calcula como sigue:

$$KW = 144$$

$$KVA = \frac{KW}{FP} = \frac{144}{0.8} = 180$$

$$KVAR \text{ de la línea} = \sqrt{(KVA^2 - KW^2)}$$

$$= 70$$

Puesto que la demanda de carga es de 108 KVAR (con FP=0.8), y la línea proporciona 70 KVAR, los capacitores deben proporcionar la diferencia, o sea 38 KVAR, el Factor de Potencia total se mejora hasta 0.9 reduciendo así el gasto por consumo de energía. También se dispone de 20 KVA de la capacidad del transformador para satisfacer necesidades adicionales de carga (180 KVA - 160 KVA = 20 KVA). El ahorro en el costo de la energía amortiza el costo de la instalación de los capacitores.

El método más sencillo para la corrección del Factor de Potencia es mediante el uso de tablas que incluyen un factor multiplicador de KW. La tabla se basa en la relación del triángulo rectángulo como se muestra en la figura 3.12,

de donde se obtiene la fórmula :

$$\text{KVAR del capacitor} = \text{KW} \times \text{tangente } \theta$$

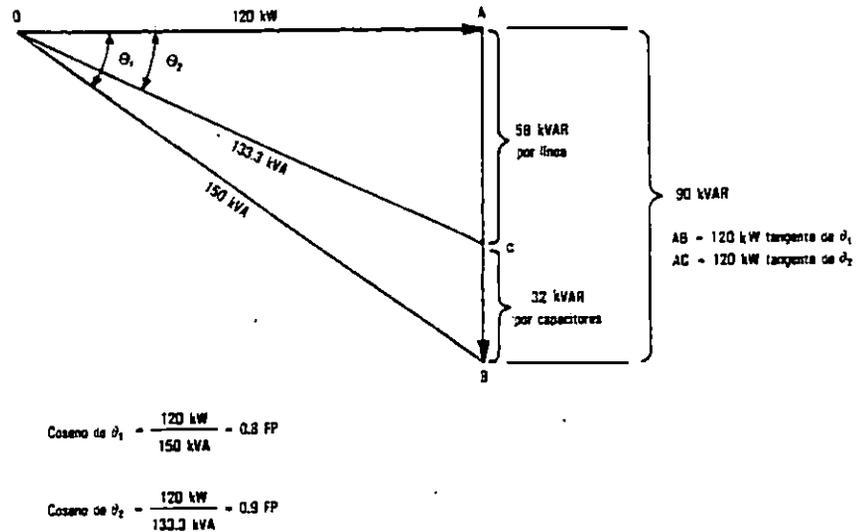


Figura 3.12 kVAR de capacitores requeridos para mejorar un FP dado hasta un valor deseado.

Los KVAR nominales del capacitor necesarios para mejorar el Factor de Potencia de Cos 0.1 a Cos 0.2 se basa en un multiplicador de KW de la Tabla 3.6. Para obtener los KVAR necesarios, se multiplican los KW constantes del sistema por este factor.

Si se aplica la Tabla 3.6 al ejemplo numérico anterior en el que una carga de 144 KW tiene un factor de potencia original de 0.8 y un Factor de Potencia deseado de 0.9, el multiplicador de la Tabla 3.6 es 0.266.

Este número se obtiene localizando 0.8 bajo "Factor de Potencia original". Leer hacia la derecha hasta localizar el número 0.90 bajo "Factor de Potencia corregido". En la intersección de la línea y la columna se encuentra el número buscado: 0.266.

Si se sustituye este multiplicador en la fórmula KVAR del capacitor = 144 KW x 0.266 = 38 KVAR, que es el mismo valor que se encontró por medio del método numérico.

Factor de Potencia corregido

| | 0.80 | 0.81 | 0.82 | 0.83 | 0.84 | 0.85 | 0.86 | 0.87 | 0.88 | 0.89 | 0.90 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.0 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.50 | 0.982 | 1.008 | 1.034 | 1.060 | 1.086 | 1.112 | 1.139 | 1.165 | 1.192 | 1.220 | 1.246 | 1.278 | 1.306 | 1.337 | 1.369 | 1.403 | 1.440 | 1.481 | 1.529 | 1.589 | 1.732 |
| 0.51 | 0.937 | 0.962 | 0.989 | 1.015 | 1.041 | 1.067 | 1.094 | 1.120 | 1.147 | 1.175 | 1.203 | 1.231 | 1.261 | 1.292 | 1.324 | 1.358 | 1.395 | 1.438 | 1.484 | 1.544 | 1.687 |
| 0.52 | 0.893 | 0.919 | 0.945 | 0.971 | 0.997 | 1.023 | 1.050 | 1.078 | 1.103 | 1.131 | 1.159 | 1.187 | 1.217 | 1.248 | 1.280 | 1.314 | 1.351 | 1.392 | 1.440 | 1.500 | 1.643 |
| 0.53 | 0.850 | 0.876 | 0.902 | 0.928 | 0.954 | 0.980 | 1.007 | 1.033 | 1.060 | 1.088 | 1.116 | 1.144 | 1.174 | 1.205 | 1.237 | 1.271 | 1.308 | 1.349 | 1.397 | 1.457 | 1.600 |
| 0.54 | 0.809 | 0.835 | 0.861 | 0.887 | 0.913 | 0.939 | 0.966 | 0.992 | 1.019 | 1.047 | 1.075 | 1.103 | 1.133 | 1.164 | 1.196 | 1.230 | 1.267 | 1.308 | 1.356 | 1.418 | 1.559 |
| 0.55 | 0.769 | 0.795 | 0.821 | 0.847 | 0.873 | 0.899 | 0.926 | 0.952 | 0.979 | 1.007 | 1.035 | 1.063 | 1.093 | 1.124 | 1.158 | 1.190 | 1.227 | 1.268 | 1.316 | 1.378 | 1.519 |
| 0.56 | 0.730 | 0.756 | 0.782 | 0.808 | 0.834 | 0.860 | 0.887 | 0.913 | 0.940 | 0.963 | 0.996 | 1.024 | 1.054 | 1.085 | 1.117 | 1.151 | 1.188 | 1.229 | 1.277 | 1.337 | 1.480 |
| 0.57 | 0.692 | 0.718 | 0.744 | 0.770 | 0.796 | 0.822 | 0.849 | 0.875 | 0.902 | 0.930 | 0.958 | 0.986 | 1.016 | 1.047 | 1.079 | 1.113 | 1.150 | 1.191 | 1.239 | 1.299 | 1.442 |
| 0.58 | 0.655 | 0.681 | 0.707 | 0.733 | 0.759 | 0.785 | 0.812 | 0.838 | 0.865 | 0.893 | 0.921 | 0.949 | 0.979 | 1.010 | 1.042 | 1.078 | 1.113 | 1.154 | 1.202 | 1.262 | 1.405 |
| 0.59 | 0.619 | 0.645 | 0.671 | 0.697 | 0.723 | 0.749 | 0.776 | 0.802 | 0.829 | 0.857 | 0.885 | 0.913 | 0.943 | 0.974 | 1.006 | 1.040 | 1.077 | 1.118 | 1.166 | 1.226 | 1.369 |
| 0.60 | 0.583 | 0.609 | 0.635 | 0.661 | 0.687 | 0.713 | 0.740 | 0.768 | 0.793 | 0.821 | 0.849 | 0.877 | 0.907 | 0.938 | 0.970 | 1.004 | 1.041 | 1.082 | 1.130 | 1.190 | 1.333 |
| 0.61 | 0.549 | 0.575 | 0.601 | 0.627 | 0.653 | 0.679 | 0.706 | 0.732 | 0.759 | 0.787 | 0.815 | 0.843 | 0.873 | 0.904 | 0.936 | 0.970 | 1.007 | 1.048 | 1.096 | 1.156 | 1.299 |
| 0.62 | 0.516 | 0.542 | 0.568 | 0.594 | 0.620 | 0.646 | 0.673 | 0.699 | 0.726 | 0.754 | 0.782 | 0.810 | 0.840 | 0.871 | 0.903 | 0.937 | 0.974 | 1.015 | 1.063 | 1.123 | 1.266 |
| 0.63 | 0.483 | 0.509 | 0.535 | 0.561 | 0.587 | 0.613 | 0.640 | 0.666 | 0.693 | 0.721 | 0.749 | 0.777 | 0.807 | 0.838 | 0.870 | 0.904 | 0.941 | 0.982 | 1.030 | 1.090 | 1.233 |
| 0.64 | 0.451 | 0.477 | 0.503 | 0.529 | 0.555 | 0.581 | 0.608 | 0.634 | 0.661 | 0.689 | 0.717 | 0.745 | 0.775 | 0.806 | 0.838 | 0.872 | 0.909 | 0.950 | 0.998 | 1.068 | 1.211 |
| 0.65 | 0.419 | 0.445 | 0.471 | 0.497 | 0.523 | 0.549 | 0.576 | 0.602 | 0.629 | 0.657 | 0.685 | 0.713 | 0.743 | 0.774 | 0.806 | 0.840 | 0.877 | 0.918 | 0.966 | 1.026 | 1.169 |
| 0.66 | 0.388 | 0.414 | 0.440 | 0.466 | 0.492 | 0.518 | 0.545 | 0.571 | 0.598 | 0.626 | 0.654 | 0.682 | 0.712 | 0.743 | 0.775 | 0.809 | 0.846 | 0.887 | 0.935 | 0.995 | 1.138 |
| 0.67 | 0.358 | 0.384 | 0.410 | 0.436 | 0.462 | 0.488 | 0.515 | 0.541 | 0.568 | 0.596 | 0.624 | 0.652 | 0.682 | 0.713 | 0.746 | 0.779 | 0.818 | 0.857 | 0.905 | 0.965 | 1.108 |
| 0.68 | 0.328 | 0.354 | 0.380 | 0.406 | 0.432 | 0.458 | 0.485 | 0.511 | 0.538 | 0.566 | 0.594 | 0.622 | 0.652 | 0.683 | 0.715 | 0.749 | 0.788 | 0.827 | 0.875 | 0.935 | 1.078 |
| 0.69 | 0.299 | 0.325 | 0.351 | 0.377 | 0.403 | 0.429 | 0.456 | 0.482 | 0.509 | 0.537 | 0.565 | 0.593 | 0.623 | 0.654 | 0.688 | 0.720 | 0.757 | 0.798 | 0.846 | 0.906 | 1.049 |
| 0.70 | 0.270 | 0.296 | 0.322 | 0.348 | 0.374 | 0.400 | 0.427 | 0.453 | 0.480 | 0.508 | 0.536 | 0.564 | 0.594 | 0.625 | 0.657 | 0.691 | 0.728 | 0.769 | 0.817 | 0.877 | 1.020 |
| 0.71 | 0.242 | 0.268 | 0.294 | 0.320 | 0.346 | 0.372 | 0.399 | 0.425 | 0.452 | 0.480 | 0.508 | 0.536 | 0.566 | 0.597 | 0.629 | 0.663 | 0.700 | 0.741 | 0.789 | 0.849 | 0.992 |
| 0.72 | 0.214 | 0.240 | 0.266 | 0.292 | 0.318 | 0.344 | 0.371 | 0.397 | 0.424 | 0.452 | 0.480 | 0.508 | 0.538 | 0.569 | 0.601 | 0.635 | 0.672 | 0.713 | 0.761 | 0.821 | 0.964 |
| 0.73 | 0.188 | 0.212 | 0.238 | 0.264 | 0.290 | 0.316 | 0.343 | 0.369 | 0.396 | 0.424 | 0.452 | 0.480 | 0.510 | 0.541 | 0.573 | 0.607 | 0.644 | 0.685 | 0.733 | 0.793 | 0.936 |
| 0.74 | 0.159 | 0.185 | 0.211 | 0.237 | 0.263 | 0.289 | 0.316 | 0.342 | 0.369 | 0.397 | 0.425 | 0.453 | 0.483 | 0.514 | 0.546 | 0.580 | 0.617 | 0.658 | 0.706 | 0.766 | 0.909 |
| 0.75 | 0.132 | 0.158 | 0.184 | 0.210 | 0.236 | 0.262 | 0.289 | 0.315 | 0.342 | 0.370 | 0.398 | 0.426 | 0.456 | 0.487 | 0.519 | 0.553 | 0.590 | 0.631 | 0.679 | 0.739 | 0.882 |
| 0.76 | 0.105 | 0.131 | 0.157 | 0.183 | 0.209 | 0.235 | 0.262 | 0.288 | 0.315 | 0.343 | 0.371 | 0.399 | 0.429 | 0.460 | 0.492 | 0.526 | 0.563 | 0.604 | 0.652 | 0.712 | 0.855 |
| 0.77 | 0.079 | 0.105 | 0.131 | 0.157 | 0.183 | 0.209 | 0.236 | 0.262 | 0.289 | 0.317 | 0.345 | 0.373 | 0.403 | 0.434 | 0.468 | 0.500 | 0.537 | 0.578 | 0.626 | 0.685 | 0.828 |
| 0.78 | 0.052 | 0.078 | 0.104 | 0.130 | 0.156 | 0.182 | 0.209 | 0.235 | 0.262 | 0.290 | 0.318 | 0.346 | 0.376 | 0.407 | 0.439 | 0.473 | 0.510 | 0.551 | 0.599 | 0.659 | 0.802 |
| 0.79 | 0.026 | 0.052 | 0.078 | 0.104 | 0.130 | 0.156 | 0.183 | 0.209 | 0.236 | 0.264 | 0.292 | 0.320 | 0.350 | 0.381 | 0.413 | 0.447 | 0.484 | 0.525 | 0.573 | 0.633 | 0.776 |
| 0.80 | 0.000 | 0.026 | 0.052 | 0.078 | 0.104 | 0.130 | 0.157 | 0.183 | 0.210 | 0.238 | 0.266 | 0.294 | 0.324 | 0.355 | 0.387 | 0.421 | 0.458 | 0.499 | 0.547 | 0.609 | 0.750 |
| 0.81 | | 0.000 | 0.026 | 0.052 | 0.078 | 0.104 | 0.131 | 0.157 | 0.184 | 0.212 | 0.240 | 0.268 | 0.296 | 0.329 | 0.361 | 0.395 | 0.432 | 0.473 | 0.521 | 0.581 | 0.724 |
| 0.82 | | | 0.000 | 0.026 | 0.052 | 0.078 | 0.105 | 0.131 | 0.158 | 0.186 | 0.214 | 0.242 | 0.272 | 0.303 | 0.335 | 0.369 | 0.406 | 0.447 | 0.495 | 0.555 | 0.698 |
| 0.83 | | | | 0.000 | 0.026 | 0.052 | 0.079 | 0.105 | 0.132 | 0.160 | 0.188 | 0.216 | 0.246 | 0.277 | 0.309 | 0.343 | 0.380 | 0.421 | 0.469 | 0.529 | 0.672 |
| 0.84 | | | | | 0.000 | 0.026 | 0.053 | 0.079 | 0.106 | 0.134 | 0.162 | 0.190 | 0.220 | 0.251 | 0.283 | 0.317 | 0.354 | 0.395 | 0.443 | 0.503 | 0.646 |
| 0.85 | | | | | | 0.000 | 0.027 | 0.053 | 0.080 | 0.108 | 0.136 | 0.164 | 0.194 | 0.225 | 0.257 | 0.291 | 0.328 | 0.369 | 0.417 | 0.477 | 0.620 |
| 0.86 | | | | | | | 0.000 | 0.028 | 0.053 | 0.081 | 0.109 | 0.137 | 0.167 | 0.198 | 0.230 | 0.264 | 0.301 | 0.342 | 0.390 | 0.450 | 0.593 |
| 0.87 | | | | | | | | 0.000 | 0.027 | 0.055 | 0.083 | 0.111 | 0.141 | 0.172 | 0.204 | 0.238 | 0.275 | 0.316 | 0.364 | 0.424 | 0.567 |
| 0.88 | | | | | | | | | 0.000 | 0.028 | 0.056 | 0.084 | 0.114 | 0.145 | 0.177 | 0.211 | 0.248 | 0.289 | 0.337 | 0.397 | 0.540 |
| 0.89 | | | | | | | | | | 0.000 | 0.028 | 0.056 | 0.086 | 0.117 | 0.149 | 0.183 | 0.220 | 0.261 | 0.309 | 0.369 | 0.512 |
| 0.90 | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.028 | 0.058 | 0.089 | 0.121 | 0.155 | 0.192 | 0.233 | 0.281 | 0.341 | 0.484 |
| 0.91 | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.030 | 0.061 | 0.093 | 0.127 | 0.164 | 0.205 | 0.253 | 0.313 | 0.456 |
| 0.92 | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.031 | 0.063 | 0.097 | 0.134 | 0.175 | 0.223 | 0.283 | 0.426 |
| 0.93 | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.032 | 0.066 | 0.103 | 0.144 | 0.192 | 0.252 | 0.395 |
| 0.94 | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.034 | 0.071 | 0.112 | 0.160 | 0.220 | 0.363 |
| 0.95 | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.037 | 0.079 | 0.128 | 0.186 | 0.329 |
| 0.96 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.041 | 0.089 | 0.149 | 0.292 |
| 0.97 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.046 | 0.108 | 0.251 |
| 0.98 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.050 | 0.103 |
| 0.99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 | 0.050 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.000 |

Tabla 3.6 Multiplicadores de kW para determinar los kilovars del capacitor necesarios para la corrección de FP.

3.3.7 Aspectos Técnicos para la Instalación de Capacitores.

Para la instalación de capacitores en una planta industrial se deben considerar varios factores como son: la

variación y distribución de cargas, el factor de carga, tipo de motores, uniformidad en la distribución de la carga, la disposición y longitud de los circuitos y la naturaleza del voltaje. Para lograr un máximo beneficio, los capacitores deben conectarse tan cerca como sea posible de la carga o de las terminales de los alimentadores.

La instalación de los capacitores cerca de las cargas reduce las pérdidas en los circuitos entre la carga y el punto de medición. La reducción de pérdidas se puede determinar conociendo la longitud de los circuitos, las ganancias netas por la capacidad aliviada de los transformadores, y la reducción de pérdidas en los transformadores y circuitos.

Otra ventaja de instalar los capacitores cerca de las cargas es el incremento de voltaje. El incremento de voltaje, comparado con el voltaje normal permanece prácticamente constante desde cero carga hasta plena carga. El aumento de voltaje por sí solo generalmente no justifica la inversión.

Aunque los máximos beneficios globales de operación se obtienen, al conectar los capacitores directamente a las cargas, no siempre es práctico o económico hacerlo así. En algunos casos es más económico aprovechar la diversidad de las cargas e instalar los capacitores lo más alejado en el sistema para aprovechar al máximo la inversión hecha en capacitores.

En plantas industriales normalmente se trabaja con una diversidad de cargas pequeñas. Puesto que los capacitores se fabrican con capacidades estándar, no es posible instalar un capacitor con la correspondiente capacidad para cada carga. Además, no todas estas pequeñas cargas están presentes simultáneamente. Como consecuencia, es más ventajoso instalar un sólo capacitor en un sitio intermedio, que puede ser la barra principal de un dispositivo de distribución por ejemplo.

El voltaje de operación del sistema también tiene gran influencia en el aspecto económico. Esto se debe a que los capacitores para 230 V cuestan aproximadamente dos veces más que los capacitores para 480 V. En una comparación económica también debe incluirse el dispositivo de conexión de los capacitores. A mayor voltaje es más caro el dispositivo de conexión.

3.3.7.1 Compensación Central.

Quando se emplea compensación central se recomienda la conexión automática de los capacitores, ésta se usa en plantas industriales por las siguientes razones.

1. Para evitar sobrevoltajes en condiciones de carga ligera. Los capacitores en paralelo elevan el nivel de voltaje en la misma cantidad, independientemente de que operen con una carga ligera o a plena carga. Por ésta razón, la capacitancia necesaria para mejorar el factor de potencia al nivel deseado a plena carga puede ocasionar un sobrevoltaje a carga ligera, principalmente cuando la reactancia del sistema es alta.

Por norma, cuando el sobrevoltaje es de por lo menos 5 por ciento, es recomendable desconectar los capacitores para evitar sobrevoltajes en las lámparas u otro equipo sensible al voltaje.

2. Para reducir las pérdidas del sistema a cargas ligeras. A plena carga, los capacitores alimentan KVAR de retorno al sistema de suministro, y este flujo innecesario de corriente reactiva incrementa las pérdidas.

Los controles más comunes para la conexión automática de los capacitores en las plantas industriales son los de tiempo, sensibles al voltaje, sensibles a la corriente, sensibles a los kilovars y de compensación de voltaje y corriente. El control recibe la señal (información), la interpreta e inicia la conexión o desconexión de los capacitores.

Un análisis cuidadoso de todos los aspectos técnicos y económicos incluyendo las tarifas locales del suministro, KVA aliviados, reducción de pérdidas, corrección de voltaje y precios de los dispositivos de corrección del factor de potencia, basado en las condiciones anteriores, determinará cuál es la mejor alternativa de los métodos para corregir el factor de potencia.

Es importante recordar que la corrección del factor de potencia se toma en cuenta desde el punto donde se pone el capacitor, en dirección a la fuente de energía y nunca en dirección a la carga.

3.3.8 Ejemplo de los Efectos Económicos de la Reducción del Consumo en KVAR por Medio de la Instalación de Condensadores.

Se estima una operación de 4000 horas/año.

Una medida rápida para obtener ahorros de energía en la industria y el comercio, es la instalación de capacitores los cuales mejoran el F.P. y por tanto reducen la demanda en KVA. Esta situación produce los efectos adecuados siempre que sea acompañada de la aplicación de las tarifas No.3 (VP), en la que se establece una penalización del % de

la factura en energía por cada punto del Factor de Potencia abajo de 0.9.

Como ejemplo modelo, se considera una carga genérica de 100 KVA con un F.P. de 0.75. Se desea una corrección del F.P. a un valor de 0.90.

a) Ahorros por Reducción en KVA al mejorar el F.P.

Para ilustrar los resultados se utilizará el método numérico.

- * Cargo por Demanda, por KVA, cada uno a \$33.15
- * Cargo por Energía, por cada Kw-h consumido, cada uno a \$0.493

$$\begin{aligned} \text{KW} &= 100 \text{ KVA} \times 0.75 = 75 \text{ KW} \\ \text{FP (1)} &= 0.75 \\ 0.1 &= 41.4 \\ \text{FP (2)} &= 0.90 \\ 0.2 &= 25.84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KVAR A FP (1)} &= \sqrt{(100^2 - 75^2)} \\ &= 66.14 \end{aligned}$$

$$\text{KVA A FP (2)} = 75\text{KW}/0.9 = 83.33$$

$$\begin{aligned} \text{KVAR A FP (2)} &= \sqrt{(83.33^2 - 75^2)} \\ &= 36.31 \end{aligned}$$

La diferencia en KVAR la proporcionan los capacitores.

$$\begin{aligned} \text{- Corrección KVAR} &= 66.14 - 36.31 \\ &= 29.82 = 30 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

$$\text{- Reducción en KVA} = 100 - 83.33 = 16.67 \text{ KVA.}$$

- Ahorro mensual por cada 100 KVA

$$\begin{aligned} 16.67 \text{ KVA} \times \$33.15/\text{KVA} &= \$552.61 \\ \text{- Ahorro anual} &: \$ 552.61 \times 12 = \$6,631.32 \\ \text{- Costo aproximado por KVAR} &: \$ 350.00 \\ \text{Costo total} &: \$ 350.00/\text{KVAR} \times 30 \text{ KVAR} \\ &= \$ 10,500.00 \end{aligned}$$

b) Ahorros al evitar Penalización por bajo Factor de Potencia.

El consumo anual para una operación de 4000 horas sería:
4000 hr x 75 kW = 300,000 kW-h.

La facturación anual por consumo de energía sería:

$$300,00 \text{ kW-h} \times \text{¢ } 0.493/\text{kW-h} = \text{¢ } 147,900.00$$

Siendo el FP original menor que 0.9 se utilizará el numeral 9 de la tarifa No.3(VF) de la CAESS, literal b).

$$\frac{(90 - 75)}{100} \times \text{¢ } 147,900.00 = \text{¢ } 22,185.00$$

c) Ahorro total por instalación de Capacitores.

$$\text{¢ } 6,631.00 + \text{¢ } 22,185.00 = \text{¢ } 28,816.00 \text{ anual}$$

Período de Recuperación de la inversión en condensadores:

$$\frac{\text{¢ } 10,500.00}{\text{¢ } 28,816.00} \times 12 \text{ meses} = 4.4 \text{ meses.}$$

Nota: No se consideró el cálculo de la tasa interna de retorno, en la adquisición de los capacitores.

3.3.9 Caso Práctico para la Corrección del Factor de Potencia.

En esta sección se presentan los resultados de un estudio proporcionado por la empresa "CAJAS Y BOLSAS". Las mediciones del F.P. (bajo mediciones normales de carga) fueron efectuadas por personal de SETISA durante el período del 4 al 15 de Enero de 1994. Las lecturas se tomaron con el medidor electrónico P.S.I. QUAD4 PLUS.

El análisis de la información permitió identificar cinco subestaciones en las que es necesario mejorar el F.P. para obtener ahorros sustanciales en la factura de energía eléctrica.

Los resultados especifican los tamaños de los bancos de condensadores que es necesario instalar en cada caso, y mediante el cálculo de la Tasa Interna de Retorno, los beneficios que la inversión produce.

3.3.9.1 Resultados Obtenidos en las Mediciones.

CAJAS Y BOLSAS

| SUBESTACION | Demanda Max KVA | Factor de Potencia | Kw-h consumidos |
|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Plegadizo 315 KVA | 135 | 0.90 | 1,566 |
| Corrugado 600 KVA | 280 | 0.50 | 2,234 |
| Plegadizo 501 KVA | 225 | 0.83 | 2,118 |
| Iluminación 100 KVA | 21 | 0.92 | 237 |
| Moldeado 315 KVA | 20 | 0.92 | 209 |

CELPAC

| SUBESTACION | Demanda Max KVA | Factor de Potencia | Kw-h consumidos |
|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Iluminación 75 KVA | 20 | 0.96 | 373 |
| Trifásico 400 KVA | 161 | 0.63 | 1,479 |
| Trifásico 600 KVA | 810 | 0.63 | 11,241 |
| Banco 501 KVA | 128 | 0.65 | 1,716 |

3.3.9.2 Resultado del Cálculo de los Condensadores.

Los tamaños de los bancos de condensadores para elevar el Factor de Potencia a un valor de 0.95, son como siguen:

CAJAS Y BOLSAS

Corrugado 600 KVA : Banco Automático de 225 KVAR/240 V.
Plegadizo 501 KVA : Banco Automático de 75 KVAR/240 V.

CELPAC

Trifásico 400 KVA : Banco Automático de 150 KVAR/400 V.
Trifásico 600 KVA : Banco Automático de 300 KVAR/240 V.
Banco 501 KVA : Banco Automático de 75 KVAR/240 V.

Las subestaciones restantes presentan un Factor de Potencia superior al 90%, por lo que no es necesario instalarles bancos de condensadores.

3.3.9.3 Calculo de los Ahorros.

Estos cálculos se han realizado sin considerar posibles aumentos de las tarifas para mediados del presente año.

Con la instalación de los condensadores se obtienen los siguientes ahorros:

a) Ahorro en cargos por Demanda.

Con los condensadores calculados en la sección anterior, se obtendrá una reducción en la Demanda de 236 KVA aproximadamente, equivalentes a un ahorro de \$95,000.00 anuales.

b) Ahorros al evitar la multa por bajo Factor de Potencia.

Las actuales tarifas para servicios a voltaje primario (tarifa No.3VP) aplicables a la industria e instituciones autónomas, incluyen una penalización para todos los consumidores que utilicen la energía con un Factor de Potencia inferior al 90%, calculada como un porcentaje del consumo de energía eléctrica.

Para el caso en estudio, se registra un Factor de Potencia promedio de aproximadamente 83% en la acometida general, lo que puede ser penalizado con una cantidad igual al 7% de los cargos mensuales por energía, es decir, un aproximado de \$210,000.00 anuales.

Se ha considerado un valor aproximado de \$468.77/KVAR por el suministro e instalación de los bancos automáticos de condensadores. La Tabla 3.7 muestra el cálculo de la Tasa Interna de Retorno en la adquisición de los condensadores.

Importante:

Se sabe que en esta empresa industrial existe buen número de equipo de electrónica de potencia, por lo que antes de proceder a la instalación de los condensadores deberán analizarse las observaciones que se señalan en la sección 4.3.10, puesto que de no hacerlo se podrían tener resultados desagradables, si el valor en kVA de la carga productora de armónicos es mayor que el valor límite especificado.

FIGURA 3.7 . CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO EN LA ADQUISICION DE CONDENSADORES

| | AÑOS | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Financiamiento (1) | 386.74 | | | | | | | | | | |
| Ahorros (2) | | 95.00 | 95.00 | 95.00 | 95.00 | 95.00 | 95.00 | 95.00 | 95.00 | 95.00 | 95.00 |
| Ahorros (3) | | 210.00 | 210.00 | 210.00 | 210.00 | 210.00 | 210.00 | 210.00 | 210.00 | 210.00 | 210.00 |
| Sub-Total 1 | | 305.00 | 305.00 | 305.00 | 305.00 | 305.00 | 305.00 | 305.00 | 305.00 | 305.00 | 305.00 |
| Depreciación (4) | | 38.67 | 38.67 | 38.67 | 38.67 | 38.67 | 38.67 | 38.67 | 38.67 | 38.67 | 38.67 |
| Pago del financiamiento (5) | | 69.613 | 117.831 | 117.831 | 117.831 | 117.831 | 117.831 | 117.831 | 117.831 | | |
| Sub-Total 2 | | 196.71 | 148.50 | 148.50 | 148.50 | 148.50 | 148.50 | 148.50 | 266.33 | 266.33 | 266.33 |
| Impuestos (6) | | 34.84 | 25.20 | 25.20 | 25.20 | 25.20 | 25.20 | 25.20 | 31.27 | 31.27 | 31.27 |
| Valor Residual (7) | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ganancia Neta | | 161.67 | 123.30 | 123.30 | 123.30 | 123.30 | 123.30 | 123.30 | 235.06 | 235.06 | 235.06 |

TIR : 36.3 %

No se ha considerado el aumento del costo de la energía con el tiempo.

Notas:(1) Financiamiento para la adquisición de los condensadores.

(2) Ahorros en Cargo por Demanda (KW) al incrementar el Factor de Potencia a 0.95. en las subestaciones calculado en 695,000 anuales.

(3) Ahorros al evitar la multa por bajo P.F. calculada en 6210,000 anual.

(4) Se asume una depreciación lineal anual de 10%.

(5) El pago del financiamiento esta calculado a un plazo de 5 años con intereses del 18% (con un año de gracia).

(6) 618,000.00 + 20% sobre el exceso de 6200,000.00 Y 6500 + 20% sobre el exceso de 625,000.00.

(7) Se asume un valor residual igual a "0", aunque se sabe que los condensadores tienen una vida útil de 20 años.

3.3.10 Corrección del Factor de Potencia en Sistemas de Electrónica de Potencia.

3.3.10.1 Area Industrial.

La corrección del F.P. en sistemas que aplican convertidores estáticos de potencia (SPC iniciales en inglés) puede ser problemática, ya que las características de respuesta en frecuencia del sistema de potencia pueden ser afectadas por un número de factores, entre estos la generación de corrientes armónicas por los SPC y dispositivos ferromagnéticos del sistema y principalmente por la aplicación de bancos de condensadores.

Las condiciones de resonancia del sistema son el factor más importante afectando los niveles armónicos en el sistema. Cuando las condiciones de resonancia no son un problema, el sistema tiene la capacidad de absorber cantidades significativas de corrientes armónicas. Pero cuando esas corrientes encuentran impedancias altas debido a la resonancia paralelo, ocurre distorsión de voltaje significativa y amplificación de corriente.

En muchas situaciones la capacidad de los condensadores requerida para llevar el F.P. al rango 0.90-0.95, da lugar a condiciones de resonancia (paralelo ó serie dependiendo de la excitación) con la inductancia del sistema en el rango de frecuencias que van de la quinta a la séptima armónicas. Una forma simplificada de calcular el valor de la frecuencia resonante de un sistema de bajo voltaje con un banco de condensadores es aplicando la ecuación

$$n = (Q_s / Q_c)^{1/2} \quad \text{donde:}$$

n : orden de la armónica a la cual ocurre la resonancia.

Q_s: KVA de cortocircuito disponibles.

Q_c: KVAR nominales del banco de condensadores.

A continuación se recomiendan algunas reglas en la corrección del F.P. de instalaciones de bajo voltaje.

1. Si el valor en kVA de la carga productora de armónicos es menor que el 10% del valor KVA nominales (datos de placa), los condensadores se pueden aplicar sin preocuparse por la resonancia.

2. Si el valor en KVA de la carga productora de armónicos es menor que el 30% de la capacidad nominal (en KVA) del transformador y los KVAR del banco de

condensadores son menores que el 20% de la capacidad nominal del transformador, entonces los condensadores pueden ser aplicados sin preocuparse por la resonancia.

3. Si el valor en KVA de la carga productora de armónicos es mayor que el 30% de la capacidad nominal del transformador, los condensadores deberían aplicarse como filtros. La Figura 3.13 ilustra esta conexión.

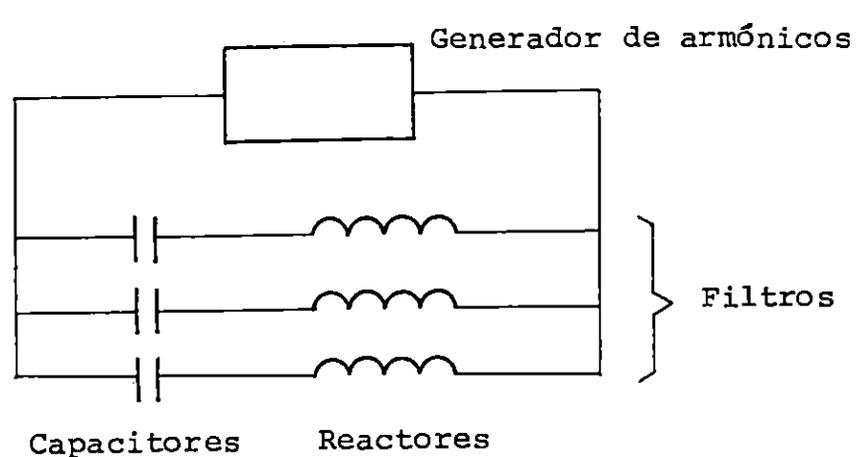


Figura 3.13 Capacitores utilizados como filtros.

Estas guías de acción son aplicables cuando se usan transformadores con impedancias del orden del 5-6% y la impedancia del sistema es menor que el 1% en la base del transformador.

3.3.10.2 Efecto de los Armónicos.

Los componentes armónicos provocan calentamiento adicional y sobrecarga del dieléctrico de los condensadores. El estándar IEEE-18-1980 establece límites de voltaje, corriente y potencia reactiva para bancos de condensadores los cuales pueden usarse para determinar los niveles armónicos máximos permisibles. Este estándar establece que los condensadores pueden emplearse continuamente dentro de las limitaciones siguientes, estas incluyen los componentes armónicos.

- 110% del voltaje rms nominal.
- 120% del voltaje de pico nominal.
- 180% de la corriente rms nominal.
- 135% de la potencia reactiva nominal.

En el intento por sobredimensionar los condensadores para que resistan condiciones inusuales tales como los

armónicos, muchos problemas causados por armónicos continúan siendo reportados en la forma de fusibles fundidos o unidades del banco dañadas. La razón de los problemas en los condensadores es que el condensador es parte del lazo resonante y la amplificación del voltaje o corriente será mayor en ese punto.

Cuando las corrientes armónicas sobrepasen los límites recomendados será necesario tomar uno o varios de los remedios siguientes:

1. La reubicación de los condensadores a otro punto dentro del circuito puede reducir las sobrecorrientes debido a una resonancia vecina. Las cargas que producen armónicas y el banco de condensadores no deberían compartir el mismo transformador.

2. Para bancos de condensadores conectados en estrella, la conexión del neutro a tierra debería desconectarse para impedir el flujo de tercera armónica de corriente en los condensadores (precaución: el aislamiento del banco y la capacidad de interrupción del interruptor de carga pueden resultar inadecuados si el neutro es desconectado).

3. Si los remedios previos fallan, puede ser necesario incluir un reactor sintonizado. El propósito de este reactor es el de ajustar la frecuencia de resonancia lejos de las frecuencias armónicas de voltaje o corriente (típicamente la 5ª o la 7ª armónicas). Especial consideración debe darse al incremento de voltaje o a la carga de corriente en el condensador como resultado de añadir un reactor. La Figura 3.14 muestra un reactor sintonizado.

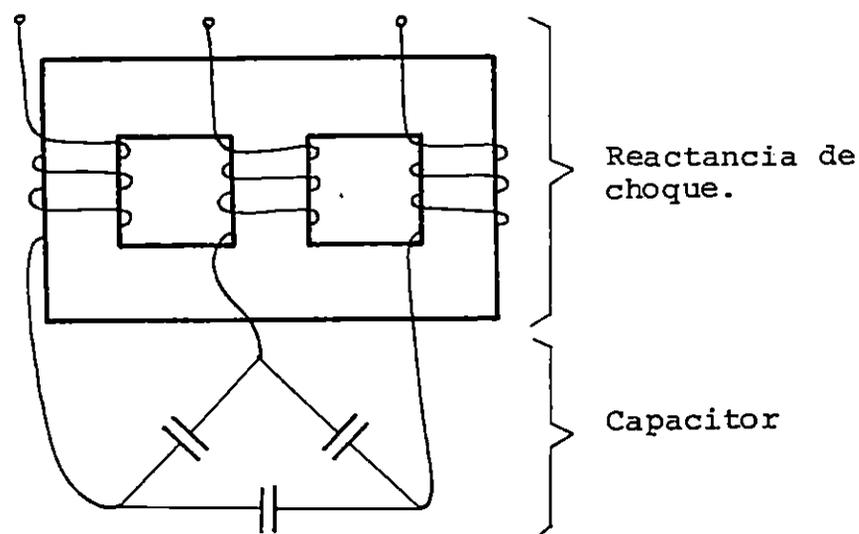


Figura 3.14 Reactor sintonizado.

Debido al aumento de tensión que se genera al intercalarse una reactancia, el capacitor debe seleccionarse para trabajar a una tensión nominal superior al valor de la red. Esta solución solamente protege al capacitor de las armónicas pero NO las elimina de la red.

3.3.10.3 Standards Armónicos.

El standard más prestigioso a nivel mundial para el control armónico en sistemas industriales es el IEEE-519. En lo medular establece prácticas recomendadas para usuarios (consumidores individuales) y para productores y distribuidores de potencia. Para mayor información ver IEEE Transactions on Industry Applications, vol 29. No. 4, Jul/Aug, 1993.

3.3.10.4 Area Comercial.

La distorsión armónica en sistemas comerciales está creciendo cada día a causa del elevado número de cargas electrónicas aplicadas, especialmente en edificios de oficina. Como se mencionó anteriormente el flujo de corrientes armónicas puede provocar: incremento de pérdidas en motores, transformadores y cables ($I^2 R$) que pueden causar sobrecarga térmica; sobrecarga de capacitores, perturbaciones en las líneas telefónicas, daños o mal funcionamiento en equipos electrónico, fallas en relevadores de protección general y operación inadecuada de fusibles e interruptores, entre otros.

3.3.10.5 Influencia de los Armónicos en la Corrección del F.P.

En presencia de corrientes armónicas, el F.P. es diferente al establecido para condiciones sinusoidales. Con cargas electrónicas la componente fundamental de la corriente AC se encuentra (usualmente) en adelanto respecto al voltaje fundamental. Esto significa que los condensadores utilizados para corregir el factor de potencia no ayudan en estas condiciones, ya que la carga se comporta (en cierto modo) como un condensador, al menos en lo que a las cantidades fundamentales se refiere.

Por lo tanto para evitar efectos indeseables, lo más recomendable es realizar un análisis caso por caso basándose en medidas puntuales obtenidas con analizadores de armónicos, antes de intentar mejorar el factor de potencia de desplazamiento por medio de dispositivos pasivos y/o activos.

3.4 Demandas y Factores de Potencia de Algunas Industrias Salvadoreñas.

3.4.1 Estudio CEL-SETISA.

A fin de determinar los aspectos más importantes de la carga del sector industrial del país, se efectuó un estudio de caracterización de la Demanda del sector industrial, entre los meses de Noviembre/92 y Marzo/93. Los resultados han sido retomados y se presentan a continuación.

Para la selección de las industrias se tomaron las siguientes consideraciones:

- a) Consumo anual de energía.
- b) Máxima demanda mensual.
- c) Importancia del subsector al que pertenece la industria.
- d) Factor de carga y Factor de Potencia.

En base a lo anterior, seleccionaron ocho subsectores los cuales se muestran en la Tabla 3.8.

Bajo estas consideraciones, encuestaron 43 empresas e hicieron mediciones en 30. Los resultados más importantes provenientes de las encuestas fueron:

- a) Los porcentajes de los costos de la electricidad en la estructura de costos de producción oscilan entre un mínimo del 0.3% a un máximo del 26% por empresa. El promedio más alto correspondió al subsector cementeras con 19%. Le siguen los subsectores Hielo y Bebidas con 11.8%, y materiales de construcción con 10%. El menor valor corresponde al subsector de Alimentos, con 3.89%.
- b) El 63% de las empresas trabajan las 24 horas. Las empresas que pueden modificar con solvencia sus horarios de producción son las del subsector Hielo y Bebidas. Otras empresas que pueden cambiar su proceso de producción pertenecen a los subsectores Alimentos y Productos Químicos. Los subsectores que no pueden cambiar sus turnos de producción son: Electrónicas, Materiales de Construcción, Papelerías, Plásticos, Siderúrgicas, Textiles y Cementeras.

Se analizaron mediciones individuales durante un período aproximado de dos semanas en 30 industrias, y durante un período de 4 días en la Subestación Agua Caliente de CAESS, la cual alimenta a su vez el sector industrial del Boulevard de Ilopango. La lista de empresas sujetas a medición se muestra en la Tabla 3.8.

Los resultados más importantes de las mediciones fueron:

a) En el perfil de demanda coincidente de las industrias medidas se identificaron tres periodos:

- De las 21:00 - 06:00 hrs (periodo de mayor demanda)
- De las 06:00 - 17:00 hrs (periodo de demanda intermedia)
- De las 17:00 - 21:00 hrs (periodo de menor demanda)

Tabla 3.8 Factores de Potencia y de Carga durante un día de producción típico.

| SUBSECTOR | EMPRESA | F.P. prom | F.C. |
|-----------------|---------------------------|--------------|------|
| Textiles | INSINCA | 0.915 | 0.86 |
| | TEXTILES SAN ANDRES | 0.992 | 0.83 |
| | HILANDERIAS DE EXPORTAC. | 0.701 | 0.94 |
| | INDUSTRIAS DE HILOS | 0.748 | 0.89 |
| | RAYONES DE EL SALVADOR | 0.778 | 0.81 |
| | TEXTUFIL | 0.913 | 0.83 |
| Cementeras | CESSA | 0.812 | 0.81 |
| | CEMENTO MAYA | 0.900 | 0.78 |
| Alimentos | PRODUCTOS ALIMENT. DIANA | 0.782 | 0.78 |
| | MOLINOS DE EL SALVADOR | 0.986 | 0.84 |
| | PRODUCTOS DE CAFE | 0.799 | 0.78 |
| | EL DORADO | 0.942 | 0.85 |
| | LA FABRIL DE ACEITES | 0.903 | 0.74 |
| | FAMOSSA | 0.792 | 0.50 |
| Plásticos | ROTOFLEX | 0.901 | 0.72 |
| | MATRICERIA ROXI | 0.721 | 0.89 |
| | PLASTICOS Y NOVEDADES | 0.990 | 0.72 |
| | SALVAPLASTIC | 0.914 | 0.84 |
| Hielo y Bebidas | LA CONSTANCIA | 0.948 | 0.84 |
| | EMBOTELLADORA SALVADOREÑA | 0.871 | 0.60 |
| | EMBOTELLADORA TROPICAL | 0.870 | 0.61 |
| | INDUSTRIAS SOYAPANGO | 0.804 | 0.57 |
| Siderurgica | CORINCA (HORNO ELECTRIC. | 0.954 | 0.11 |
| | CORINCA (LAMINACION) | 0.769 | 0.71 |
| | SICEPASA | 0.890 | 0.24 |
| | TINETTI | 0.920 | 0.28 |
| Papeleras | KIMBERLY CLARK | 0.844 | 0.77 |
| | CARTONECNICA C.A. | 0.785 | 0.93 |
| Electrónica | CONELCA | 0.960 | 0.69 |
| | INDUSTRIAS AVX | 0.890 | 0.66 |

b) El subsector de mayor demanda es el de las siderúrgicas, con 30 MVA, le siguen en orden los subsectores Cementeras, Textileras, Alimentos, Hielo y Bebidas, Plásticos y Electrónicas (ver Figura 3.15).

c) El subsector Cementeras presenta la mayor contribución durante las horas pico, su demanda permanece casi constante en los tres periodos críticos.

d) Con los perfiles de demanda coincidente de los subsectores se estableció que los subsectores que más contribuyen al pico del sistema son los que mantienen su demanda constante durante las 24 horas del día, estos subsectores son: Textiles, Cementeras, Electrónicas y Alimentos.

e) El subsector que registra la mayor demanda es el de las empresas Siderúrgicas. Esta demanda se da de las 22:00 hrs a las 06:00 hrs, por lo que no influye en el pico del sistema (ver figura 3.15).

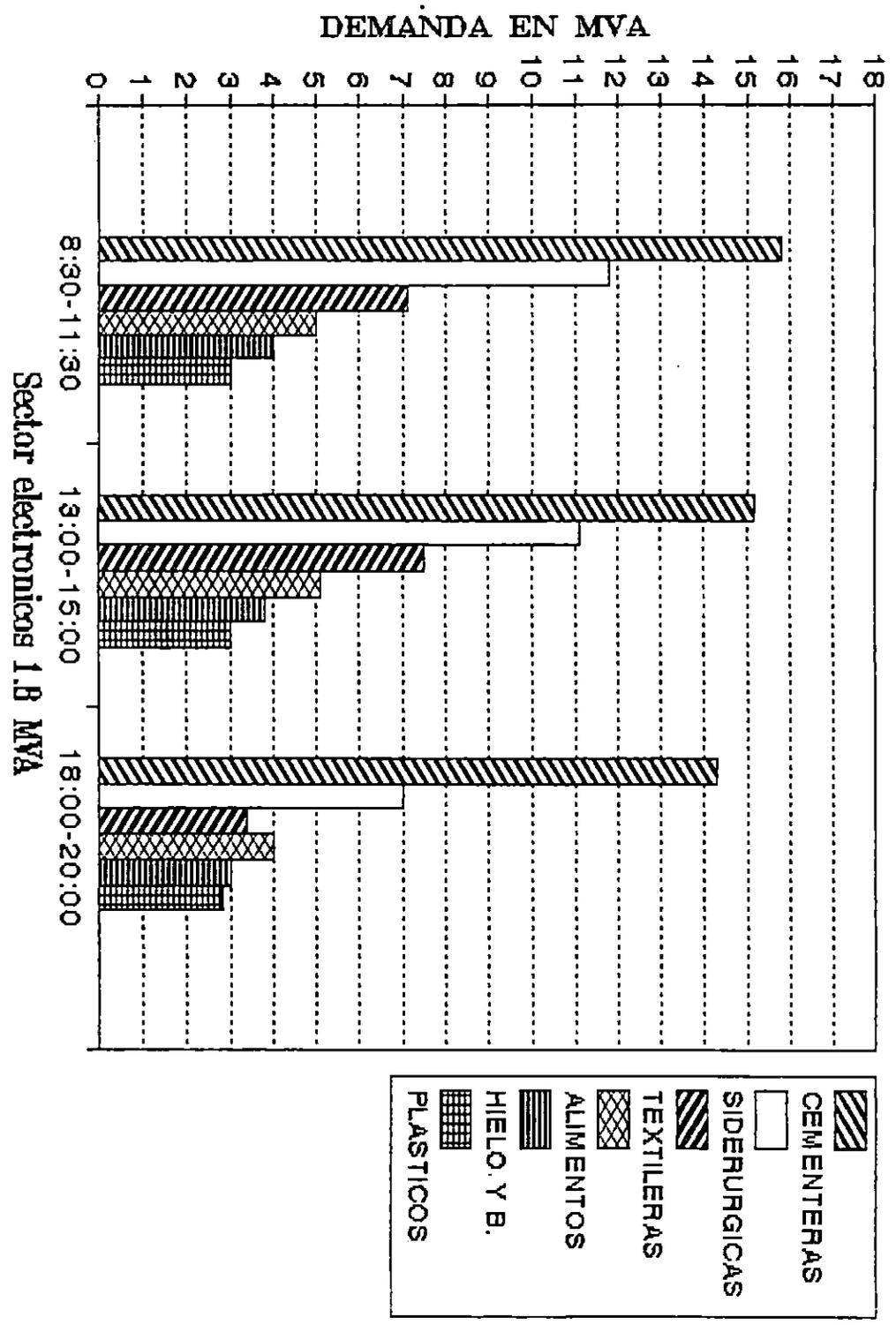
f) De las mediciones realizadas en los circuitos 101216 y 101219 de la subestación de agua caliente en donde predomina la carga de naturaleza industrial, se identificaron 2 periodos de mayor demanda, uno de las 8:30 a las 11:30 hrs y el otro de las 13:00 a las 15:00. Estos periodos son válidos durante los días de semana. Durante los días de fin de semana la carga industrial baja considerablemente.

En los circuitos antes mencionados es notable la influencia de la carga industrial en el nivel del Factor de Potencia. Lo anterior hace que el intervalo de mayor demanda coincida con el intervalo de Factor de Potencia bajo. Otra característica de la relación Demanda-Factor de Potencia se observa durante los días sábado y domingo cuando la carga industrial se reduce considerablemente y el Factor de Potencia alcanza valores cercanos a la unidad.

g) La curva de carga en las industrias siderúrgicas está influenciada fuertemente por los hornos eléctrico, los cuales tienen una demanda de potencia alta durante intervalos cortos (una o una hora y media) y un bajo factor de potencia.

h) En las empresas muestreadas incluidas en el perfil de demanda coincidente (36), se ha estimado que mejorando el Factor de Potencia de 0.76 a 0.90 en el periodo comprendido entre las 21:00 y la 06:00 hrs del día siguiente, se obtendría un ahorro de 5 MVA. en el resto del día el ahorro sería de 1.7 MVA, con una mejora en el Factor de Potencia de 0.84 a 0.90.

FIGURA 3.15 DEMANDA EN HORAS PICO DE LA MUESTRA POR SUBSECTOR



i) La Tabla 3.8 muestra los factores de carga de las industrias medidas, para un día típico de operación. Como podrá observarse, hay varias empresas que necesitan mejorar ambos parámetros para aumentar su eficiencia en el uso de la energía eléctrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Centro Salvadoreño de Eficiencia de Energía. CSEE. Seminario Taller. Manejo de la Demanda. San Salvador. Diciembre, 1993.
- (2) Centro Salvadoreño de Eficiencia de Energía. CSEE. Seminario Global sobre Eficiencia de Energía. San Salvador. Julio, 1993.
- (3) Lazar, Irwin. Análisis y Diseño de Sistemas Eléctricos para Plantas Industriales. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V., 1988.
- (4) Ramos, José R. Paper: Análisis Armónico en Sistemas Industriales. Consultor IEEE. Santa Tecla. El Salvador, 1993.
- (5) Servicios Técnicos de Ingeniería. SETISA-CEL. Caracterización de la Demanda del Sector Industrial. San Salvador, 1993.
- (6) Servicios Técnicos de Ingeniería. SETISA. Medición y Análisis de Parámetros Eléctricos en 9 Subestaciones en la empresa "CAJAS Y BOLSAS". Enero, 1994.
- (7) Wildi, Theodore. Tecnología de los Sistemas Eléctricos de Potencia. España. Editorial Hispano-Europea, 1993.

CAPITULO IV

MANEJO DE LA ENERGIA ELECTRICA

Introducción

En El Salvador el crecimiento acelerado de la Demanda Eléctrica, el agotamiento de los recursos hidráulicos y el incremento en los costos de los derivados del petróleo, ha causado una crisis energética, la cual se agudiza cuando los recursos hidráulicos se ven afectados por condiciones climatológicas desfavorables de lluvia (por ejemplo por el "fenómeno del niño" en 1991). Esta situación ha provocado cada vez más el uso de recursos térmicos incrementándose considerablemente los costos de generación y distribución de la energía eléctrica. Las predicciones recientes estiman que el costo de la energía eléctrica se incrementará, ya que todo apunta a que en el futuro la energía será suplida básicamente por generación a base de combustibles derivados del petróleo.

Por tanto, es absolutamente necesario una política eficaz de conservación y eficiencia de energía eléctrica, esto implica prevenir el consumo de energía en forma desmedida (la principal herramienta podría ser la estructura tarifaria), ya que cuando se vivió en la abundancia se consolidaron costumbres de consumo y despilfarro las cuales hay que erradicar.

En capítulos anteriores se estudió parte de los métodos de conservación y eficiencia de energía como son manejo de la Demanda y mejoras del Factor de Potencia. En éste capítulo se estudiarán otros métodos de conservación y uso eficiente de la energía eléctrica. Durante el desarrollo de este capítulo se interpretará el "ahorro de energía" como la reducción de los desperdicios en el uso de la energía.

4.0 Programa de Manejo de la Energía.

Numerosas investigaciones hechas demuestran que en la mayoría de comercios y plantas industriales se desperdician cantidades importantes de energía eléctrica y que esos desperdicios pasan inadvertidos o se aceptan como cosa natural, que siempre ha sido así, y que son parte del

precio que hay que pagar por mantener la producción y el servicio. Afortunadamente, se ha creado un método para reducir las pérdidas energéticas sin dañar el volumen ni la calidad de la producción, este método es llamado: Programa de Manejo de la Energía.

Definición. Un programa de Manejo de la Energía Eléctrica significa una acción concreta tendiente a reducir costos y consecuentemente, aumentar el flujo neto de ingresos. Con ello, se elevan los índices de rentabilidad económico, liquidez y solvencia del negocio.

En un tiempo corto y una pequeña inversión, es posible hacer un estudio que revele en qué procesos y puntos de las instalaciones se desperdicia energía y de qué manera puede corregirse la situación. A partir de este estudio es posible estimar los gastos necesarios para hacer las correcciones y el tiempo necesario para recuperar la inversión.

Con base en ese estudio, se elabora un programa de implantación de las medidas correctivas.

El éxito de un programa de Manejo de la Energía Eléctrica en una instalación (industrial, comercial o de servicio), depende de la participación del personal. Debe aprovecharse en la mayor medida posible, la imaginación, el ingenio y la creatividad de cada trabajador para la resolución de los problemas de la planta, y crear un clima de satisfacción y orgullo por los logros alcanzados.

4.0.1 Desarrollo del Programa.

Como se mencionó antes, el programa consiste primero en realizar una investigación que permita identificar el origen y el valor de las pérdidas; luego, se implanta una serie de medidas que reducen tales pérdidas o que las eliminan totalmente.

Todo programa de Manejo de la Energía Eléctrica posee al menos seis etapas. En teoría, es necesario pasar por las seis etapas consecutivamente, pero cada usuario en particular ajustará el proceso a sus condiciones especiales. Las etapas son:

1. Elaboración del programa
2. Organización del Programa
3. Auditoría energética.
4. Establecimiento de medidas de ahorro

5. Promoción

6. Evaluación y seguimiento.

4.0.1.1 Elaboración del Programa

El gerente general o la Junta Directiva son los que deciden emprender o llevar a cabo el programa de Manejo de la Energía Eléctrica. La gerencia y los directores deben estar totalmente comprometidos con el Programa y poner al servicio del mismo todos los recursos que resulten necesarios. Su entusiasmo es esencial para el éxito del mismo.

La Junta Directiva define el alcance, los objetivos y las metas del programa; también encarga a la gerencia que incluya el Programa de Manejo de la Energía Eléctrica como parte de la política de la empresa y asigna los fondos necesarios. La directriz principal en la confección del programa es : Los ahorros en energía serán mayores que la inversión de capital que se necesite para generarlos.

Siendo una actividad de la empresa, entonces se debe incluir a toda la organización dentro de los planes para reducir su factura energética y, por consiguiente, los costos de la empresa.

Algunos de los objetivos más comunes e importantes son:

- Utilizar eficientemente la energía eléctrica y reducir los costos de producción.
- Generar recursos para proyectos existentes o para proyectos nuevos.
- Colaborar con las actividades gubernamentales en el campo del manejo de la energía.

Las metas deben formularse como metas medibles, de modo que sea posible comprobar que se han alcanzado; algunas metas de este tipo son: lograr una reducción del 10% en el consumo eléctrico anual de la fábrica.

En todo programa es necesario señalar plazos para la ejecución de las actividades, estos serán realistas y, de preferencia, tomando en cuenta la opinión y el compromiso de las personas directamente involucradas en la ejecución.

4.0.1.2 Organización para el Programa.

Después de definidos los objetivos, las metas y los plazos, se puede pasar a esta segunda etapa. Debe tenerse muy en cuenta que el éxito de un programa de Manejo de la

Energía depende muchísimo del grado en que se involucre a los empleados, y del entusiasmo que se despierte en ellos para lograr el éxito.

El primer paso consiste en crear una unidad exclusivamente responsable de ejecutar el programa. Una de las formas para organizar esta unidad es:

- a) Un coordinador general
- b) Un comité para la administración de la energía.
- c) Un asesor en asuntos de energía.

El coordinador podría ser un funcionario de alto nivel (vicepresidente, por ejemplo), o bien el gerente de la empresa, en compañías grandes. Y en compañías pequeñas, el coordinador podría ser el Ingeniero de Planta. Una de las tareas de coordinación es informar directamente a la gerencia o a la Junta Directiva, de los resultados del programa, cada cierto tiempo.

El coordinador deberá fijar metas particulares para los departamentos conjuntamente con los jefes encargados y luego intervenir para que sean alcanzados. El comité deberá ser el responsable de alcanzar los objetivos de la empresa en materia de ahorro de energía, según lo previsto en el Programa. Dentro del comité debe asignarse tareas y responsabilidades a cada uno de los miembros; deben quedar claramente estipulados y a cada persona debe concedérsele el tiempo suficiente para que pueda cumplirlas.

Dentro de las funciones del comité se pueden mencionar: publicidad, control, incentivos y educación. Algunas funciones específicas del comité serán:

- Presentar a la dirección de la empresa proyectos de uso eficiente de la energía eléctrica.
- Fijar metas de reducción de desperdicios de energía para cada año.
- Vigilar el uso de energía en todos los departamentos productivos y otras áreas de la planta.
- Conducir auditorías energéticas, con su personal y/o asistir a las que organicen entidades externas a la empresa.
- Preparar informes sobre el uso eficiente de energía eléctrica.
- Motivar al personal de la planta para el manejo adecuado de la energía eléctrica y para que sugiera ideas y proyectos que puedan cristalizarse en ahorros reales.
- Informar periódicamente a la gerencia y a todos los involucrados en el programa sobre los resultados obtenidos gracias a las medidas de manejo adecuado de la energía puestas en práctica.

- Asegurarse de que se haga conciencia constantemente entre todos los empleados sobre la necesidad del uso eficiente de la energía eléctrica.
- Asegurarse de que las nuevas construcciones, el nuevo equipo o las ampliaciones sean diseñadas bajo normas y especificaciones que conduzcan a evitar los desperdicios de energía eléctrica.

4.0.1.3 Auditoría de Energía Eléctrica.

En esta etapa se utilizarán las teorías modernas administrativas encargadas de dirigir los proyectos (programa), hacia las metas y objetivos fijados. Se examinará la definición de auditoría no aplicada a los aspectos económicos, sino, al concepto de energía. Las técnicas de auditoría podrán usarse dentro de un programa global de manejo de la energía, así como también podrá aplicarse a los programas de manejo de la demanda.

El programa estará orientado hacia el sector industrial, pero puede ser adaptado a los diferentes sectores consumidores.

Definición. Las auditorías energéticas comprenden una gran variedad de ideas tendientes a optimizar el consumo de la energía en todas las formas en que ésta sea utilizada, a manera de reducir sus costos. Sin embargo, para el objeto del presente programa, la auditoría energética puede centrarse específicamente en lo que respecta a la energía eléctrica.

Mediante el uso de procedimientos técnicos, se determina el uso que se hace de la energía eléctrica en una instalación (industrial, comercial o de servicio), lo que permite recomendar los métodos para disminuir su consumo y de esa manera, reducir los costos de producción.

En una auditoría energética se analizan entre otros, los sistemas de conversión de energía, tales como motores, calentadores y luminarias, los cuales deben funcionar a altos niveles de eficiencia, si se desea reducir las pérdida durante la operación.

Una auditoría energética puede y debe proporcionar una base firme para un programa de Manejo de energía eléctrica amplio y de larga duración. Un método comprobado para empezar la auditoría y la investigación que se necesita, es examinar las siguientes áreas específicas:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1. Antecedentes históricos | 5. Control |
| 2. Inventario | 6. Planeamiento |
| 3. Optimización | 7. Presupuesto |
| 4. Mejoras | 8. Motivación del personal |
| | 9. Administración. |

Toda esta información permite obtener una idea global (llamada también "perfil") del consumo de energía, por día, por mes, por año. Con la información recogida se puede establecer la ecuación fundamental de balance:

Total de energía que entra = total de energía consumida.

La información básica se puede obtener de cada máquina o equipo, del manual de sus especificaciones o de la información del operario.

El grado de detalle con que se determinen los valores de consumo de energía y otras características depende del tamaño de la empresa.

Con la información recogida, se procede a identificar los procesos en que es posible lograr reducir las pérdidas de energía eléctrica (técnicamente se llaman **Oportunidades de Conservación de Energía, OCE's**). Luego se analiza cada OCE para estimar los ahorros anuales que rendiría si se aprovechara, la inversión que hay que hacer, y el período de recuperación de lo invertido.

Las OCE's se enumeran en orden descendente del período de recuperación que tengan, es decir, el período de años necesarios para recobrar la inversión inicial mediante los ahorros logrados. Este índice de rentabilidad omite el costo del capital y el efecto de la inflación, pero para proyectos de corto plazo y cuando se está en fase de prefactibilidad, es un instrumento eficaz para establecer las prioridades de ejecución.

Las OCE's también se diferencian en el valor neto de la inversión que requieren. Algunas medidas pueden producir considerables ahorros y demandan poca inversión; este es el caso de las mejoras por mantenimiento y las reparaciones menores.

A continuación se definen las áreas específicas:

1. Antecedentes Históricos.

Al examinar la historia del consumo energético, se podrá llegar a plantear ciertas interrogantes, que servirán de base para el futuro plan energético; algunas interrogantes involucran aspectos como alto consumo de energía, incremento del consumo energético y otras.

2. Inventario.

En esta etapa se debe incluir todo el equipo que consume energía. Es de primordial importancia clasificar por categorías el equipo, en base al tipo de energía que consume.

3. Optimización.

Se debe evaluar en esta etapa, si el equipo o maquinaria instalada está siendo utilizado eficientemente, o que tan eficiente es.

4. Mejoras.

Terminadas las etapas anteriores, llega el momento de considerar proyectos de mejoras que conlleven inversiones de capital. En esta etapa cabe preguntar sobre lo que tiene sentido y que realmente permite recuperar la inversión, así como también los proyectos que deparan una recuperación más rápida, y los que parecen prometer, pero quieren más desarrollo.

Cuando se trate de adquirir productos conviene examinarlos y compararlos con otros existentes en el mercado; es conveniente consultar a otras industrias que han instalado el equipo y averiguar qué problemas han surgido y que ahorros reales se han obtenido gracias a dicho equipo.

5. Control.

El control o monitoreo de la historia energética es una parte importante de un programa de Manejo de la Energía. Los cambios que se realicen en las operaciones de la planta pueden proporcionar información importante sobre los patrones de manejo de energía para proyectos futuros. Paralelamente se pueden cuantificar los resultados de los proyectos de ahorro así como los cambios actuales y emplearse para justificar futuros proyectos. Otra ventaja del monitoreo es que permite descubrir pronto el problema de un sistema. Un marcado aumento de consumo de energía en un mes determinado; puede ser resultado de una errónea calibración del control.

6. Planificación.

Un mal planeamiento energético en un programa de expansión de una planta, puede incrementar los costos por concepto de energía, al seleccionar equipo que no concuerda con el programa de Manejo de la energía llevado por la compañía.

Cada nueva ampliación o cambio en la instalación deberá evaluarse por parte del personal de la planta para una larga duración.

7. Presupuesto.

La asignación de la partida para la conservación de energía en el presupuesto anual de la empresa podría ser,

el paso más importante para garantizar que se logrará el uso eficiente de la energía, bajo un presupuesto realista, a largo plazo en la planta.

8. Motivación Personal.

Una de las áreas más importantes, aunque sutil, de potencial de conservación de energía es el elemento humano.

9. Administración.

La administración de un programa de auditoría energética no es diferente de administrar un proyecto o un departamento. El planeamiento de metas es el inicio del proceso de toda administración.

4.0.1.3.1 Tipos de Auditorías Energéticas.

Para el desarrollo efectivo de un Programa de Manejo de la Energía, es importante que el administrador de energía comprenda los diferentes tipos de auditorías energéticas de que puede disponer. Estas son:

- a) Auditoría de base
- b) Auditoría energética de rutina.

a) Auditoría de base.

La auditoría de base es el proceso de auditoría energética en su sentido más elemental. Se subdivide en dos formas o tipos específicos de auditorías y que a continuación se describen con sus ventajas y desventajas.

a.1) Auditoría de Base - Proyecto Simple.

El proyecto simple está enfocado a estudiar una fuente específica de energía (electricidad) y evalúa el potencial del proyecto. El objetivo es señalar donde se está perdiendo una gran cantidad de energía, por ejemplo: la pérdida de niveles de iluminación debido al diseño inadecuado y a la falta de mantenimiento, en una planta industrial.

VENTAJAS

-Es barata: no se necesita de ingenieros auditores. No necesita equipo sofisticado de medición y control.

-Rapidez: sólo se enfoca en un tipo de energía y pérdidas apreciables, no necesita una inversión de tiempo apreciable.

DESVENTAJAS

Las condiciones de estudios son relativos y no

profundos en la planta.

a.2) Auditoría de Base - Auditoría Dirigida.

La auditoría dirigida está empeñada en la búsqueda y determinación de tres o más puntos de pérdidas de energía en el consumo y evaluar el potencial del proyecto.

La búsqueda puede ser sencilla, se dirige a proyectos que son fáciles de localizar, por ejemplo:

- Mejoras en la iluminación.

- Utilización de sistemas de refrigeración más eficientes

- Usar motores de alto rendimiento.

Los proyectos de corrección se buscan entre los más rentables y con períodos de recuperación no muy altos.

VENTAJAS

Rápido e identifica las pérdidas mayores de energía.

DESVENTAJA

- Puede no lograrse ahorros de largo alcance,.

- Requiere una gran inversión para economizar energía.

Esta metodología es muy aceptada y usada, aunque la dinámica en la fábrica (el personal, el equipo, y sus respectivas necesidades) no cambian a lo largo del tiempo. Por otro lado no crea un mecanismo (instrumento gerencial) mediante el cual se puedan aglutinar todos los ingredientes de un programa energético, es decir, personal, equipo, su régimen, necesidades, mantenimiento preventivo.

b) Auditoría Energética de rutina.

La auditoría energética de rutina es aquella que si hace un estudio más profundo del consumo de energía en la planta. Se distinguen dos niveles que son:

b.1) Auditoría de rutina de nivel 1

b.2) Auditoría de rutina de nivel 2

NIVEL 1

Con el nivel uno se refiere a realizar una visita a la planta. Durante la cual se habla con el ingeniero de mantenimiento. El recorrido por las instalaciones de la planta se hará sin hacer ningún tipo de medición, sólo es una observación general. En esta visita se asegura una observación de todos los aspectos importantes del uso de la energía en la planta.

NIVEL 2

El nivel dos consta de recoger los antecedentes históricos del consumo de energía y del inventario con el cumplimiento de sus objetivos: la demanda de Kilovatios por equipo, uso de producción de energía en calderas y

funcionamiento del equipo total de la planta. Esto implica la toma de datos y mediciones.

b.3) Clasificación de Auditoría de rutina. Clase A,B y C.

Con la clase se refiere a las alternativas de soluciones que se presentan, para solucionar los problemas que se detectaron y las oportunidades de conservación de energía que presenta la planta , así por ejemplo:

| PROYECTO | COSTO | AHORROS | PERIODO DE RECUPERACION |
|-------------------|-------|---------|-------------------------|
| 1. Alternativa A: | | | |
| 2. Alternativa B: | | | |
| 3. Alternativa C: | | | |

4.0.1.3.2 Auditoría Mixta

El tipo más amplio de auditoría energética es aquél que produzca ahorros inmediatos y sostenidos; así como beneficios estratégicos para las instalaciones. Es una auditoría que se desarrolla cubriendo los nuevos aspectos mencionados en la definición de auditoría energética.

Existe un enfoque mixto de auditoría Técnica y auditoría de energía. Se conoce como auditoría energética, al registro o inventario de energía, y lleva como objetivo averiguar la máxima demanda de energía (gas, electricidad, petróleo, etc) que se consume en una instalación, así como su utilización.

Una auditoría técnica consiste en la identificación de proyectos bien definidos (incluso estimación de los costos y de los ahorros posibles de arreglos) que resulten promisorios como actividades para conservar energía en el futuro, todo basado en la auditoría energética llevada con anterioridad.

Este enfoque mixto tiene como objetivo resaltar la importancia de los inventarios de energía y la optimización de éstos. Los enfoques mixtos pueden lograr fácilmente ahorros hasta del 20% con una pequeña inversión de capital.

4.0.1.4 Establecimiento de Medidas en el Manejo de la Energía.

En esta etapa se describen minuciosamente las medidas que se han de adoptar, y se elabora un cronograma de actividades. También se fijan las técnicas y procedimientos para medir los consumos de energía. Se asignan tareas específicas a cada persona que participa en el programa.

4.0.1.5 Promoción del programa.

Esta actividad debe iniciarse antes de que haya terminado la etapa anterior, para que la implantación de las medidas del manejo no resulte sorpresiva y sea rechazada por el personal.

Cuando se ha llegado al momento de implantar las medidas, debe explicarse claramente a cada empleado todo el programa y las atribuciones y responsabilidades que a él le corresponden dentro del total.

El concepto de administración de la energía implica la participación de personas, unas que supervisan y otras que son supervisadas. Por eso la gerencia debe hacer un mejor esfuerzo para hacer participar a todo el personal en el programa y sus objetivos. A los empleados debe informárseles de que el programa hará mas rentable a la empresa, aumentando la estabilidad de los empleos.

La promoción del programa requiere de una campaña de publicidad que continuamente explique su importancia para la empresa y para el trabajador. Debe darse a los empleados la oportunidad de contribuir activamente en el programa, se piden sugerencias para ahorrar energía y se premian las mejores propuestas en proporción a los ahorros que se logran con ellas.

4.0.1.6 Evaluación y Seguimiento.

El uso eficiente de la energía debe ser una actividad continua y constante. Es por esta razón que antes de dar por terminado el programa, debe hacerse un análisis de cada una de las medidas que se adoptaron, y establecer si se han cumplido las metas.

En aquellos casos en que no se haya logrado, deben buscarse las causas, y corregirse. Con base en este análisis debe calcularse cuánto se ha logrado de ahorro y cuáles OCE's han generado los ahorros. El período mínimo para realizar esta evaluación es cada mes, también debe establecerse cuáles OCE's no tuvieron éxito, y poner en marcha otras que hayan sido propuestas.

Es importante hacer saber a todos los empleados del resultado del análisis mensual, para que sepan que sus esfuerzos no son vanos.

4.0.2 Oportunidades de Conservación de Energía.

Un estudio realizado por la CEL Y el BID en 1985 en el área metropolitana, revela los diferentes usos de la energía eléctrica, los cuales son representados en forma porcentual en las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3.

Estas figuras sirven de base para la ubicación, dentro de cada sector, en la búsqueda de oportunidades de conservación de energía.

4.0.2.1 OCE's Generales en el Sector Industrial.

Este sector es el segundo mayor consumidor de la energía eléctrica servida por la CAESS, y el de mayor carga individual, siendo ésta representada por un 77.5% de consumo en motores eléctricos y un 6.5% de iluminación, dos de los más importantes según se denota en la Figura 4.1. Para un buen control del uso racional de la energía en este sector es necesario atender las siguientes OCE's.

4.0.2.1.1 Subestaciones.

Las subestaciones son el centro de recepción de la energía eléctrica para su distribución dentro de la planta, constituyen el "corazón del sistema eléctrico". Debido a que los transformadores son equipos con una gran tolerancia para soportar sobrecargas y descuidos de mantenimiento, es común encontrar en nuestro medio subestaciones cuyas condiciones son deplorables.

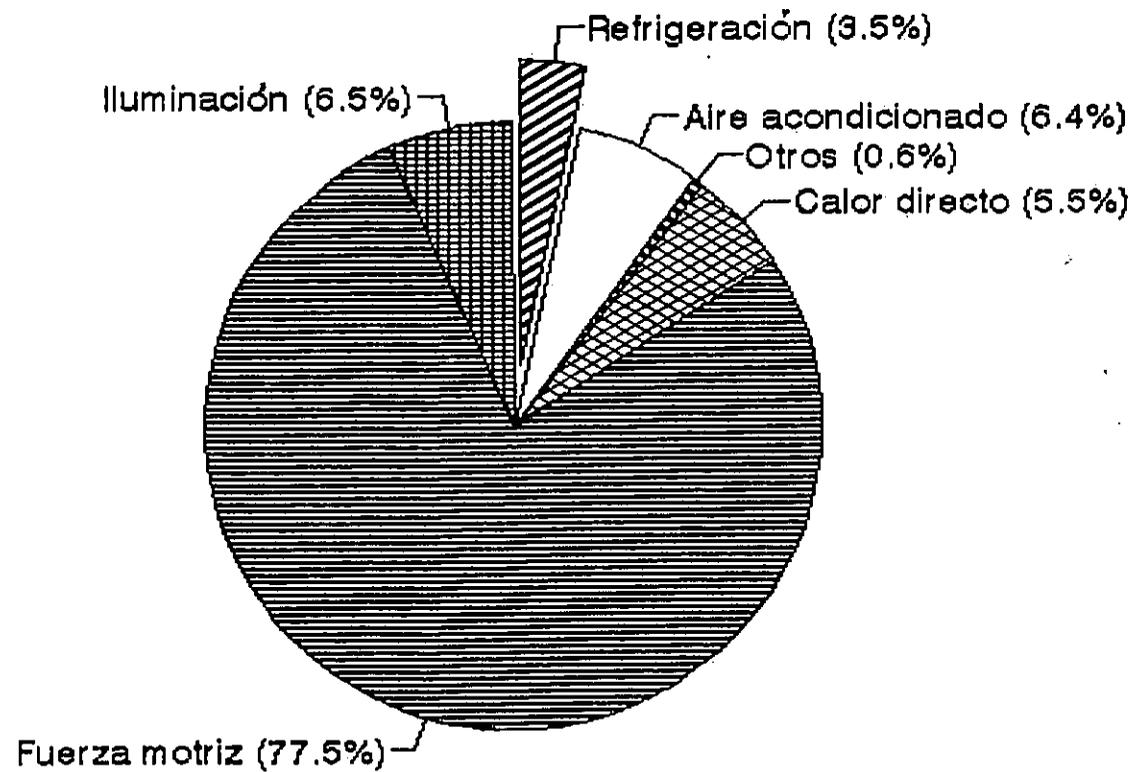
Normalmente una subestación no debería tener pérdidas superiores al 2% de la energía entregada, pero para lograr el porcentaje mencionado es necesario atender las siguientes OCE's.

-Verificar anualmente la rigidez dieléctrica del aceite de los transformadores. Un aceite con sedimentos y acidéz inadecuada aumenta las pérdidas en los embobinados.

-Verificar anualmente el valor de resistencia de la red de aterrizaje de la subestación.

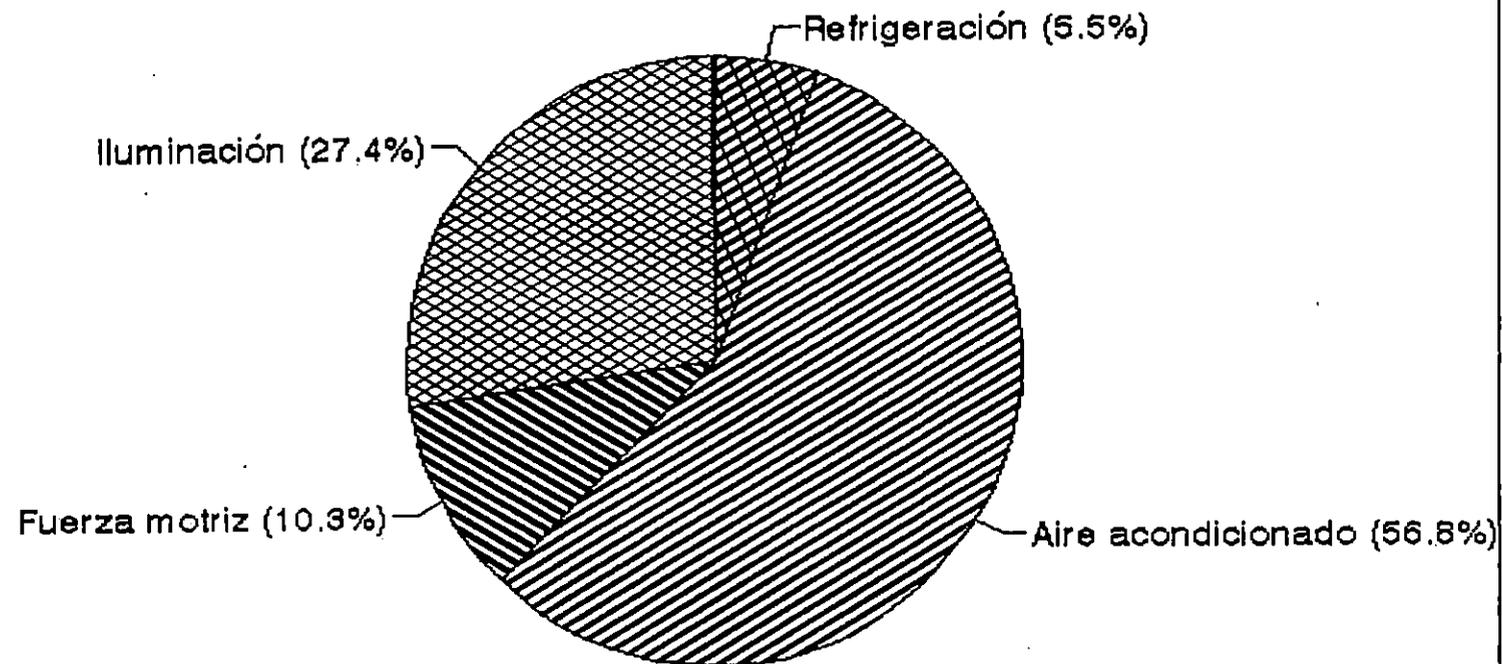
En la mayoría de los casos, la "tierra" es normalmente

Figura 4.1 Usos de la energía eléctrica en el sector industrial



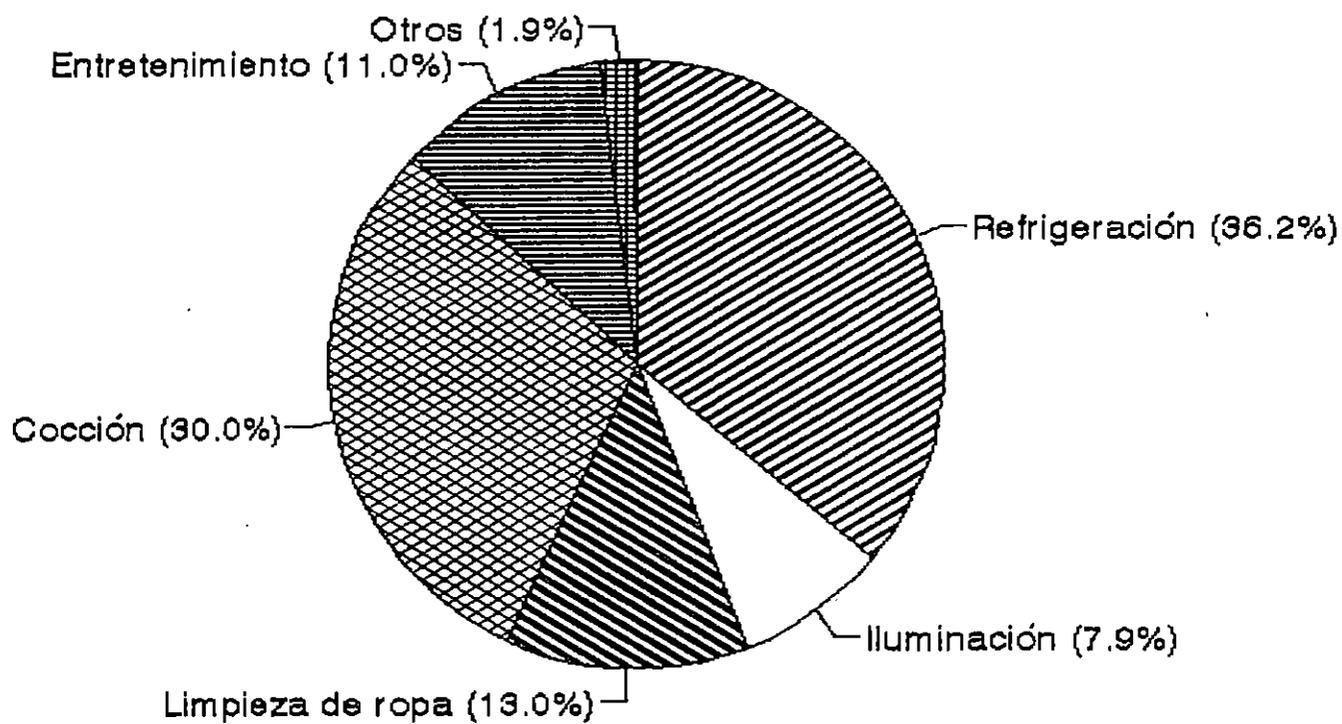
CEL-BID 1985

Figura 4.2 Usos de la energía eléctrica
en el sector Comercial y Servicios



CEL-BID 1985

Figura 4.3 Usos de la energía eléctrica en el sector Domiciliar.



CEL-BID 1985

el retorno de la corriente eléctrica. Un alto valor de la red de aterrizaje aumenta obviamente las pérdidas $I^2 R$.

-Mantener en buenas condiciones los bushing, conductores, barras colectoras, y conexiones. Existen en nuestro medio subestaciones con barras completamente oxidadas, pernos flojos, e impurezas acumuladas que dificultan el paso de la corriente y que además constituyen un riesgo desde el punto de vista de seguridad y confiabilidad del servicio.

-Comprobar la capacidad de los transformadores (no sobrecargarlos), el balanceo de las cargas alimentadas, y la regulación de los taps. En este último caso, pueden evitarse voltajes excesivamente bajos o altos que afectan la eficiencia.

4.0.2.1.2 Circuitos Alimentadores, Tableros y otros Componentes.

-El tamaño, distancia y condiciones físicas de los alimentadores eléctricos, son parámetros que en muchas plantas industriales no son atendidos adecuadamente, debido al crecimiento de las cargas y a la presión que existe por parte de los departamentos de producción para mantener operaciones ininterrumpidas. Es por todo esto que las pérdidas en $I^2 R$ deben ser evaluadas periódicamente.

-Los tableros muestran en la mayoría de los casos acumulación de suciedad, tamaños inapropiados y conexiones defectuosas que no son atendidas oportunamente.

-El desbalance de cargas causa pérdidas $I^2 R$ excesivas en la fase sobrecargada y el neutro. Esta situación puede originarse por causas internas (crecimiento acelerado de cargas monofásicas) o por deficiencias en el suministro de la energía eléctrica. En ambos casos es necesario encontrar soluciones que normalmente pueden lograrse en forma rápida.

-En procesos industriales con necesidades de regulación de velocidad de las máquinas, es normal la utilización de motores de corriente directa alimentados por rectificadores. Cuando estos rectificadores son obsoletos o han sufrido desperfectos, originan pérdidas excesivas que es necesario detectar mediante mediciones periódicas.

-Verificar que no existan conexiones mal hechas, que no estén flojas, mal empalmadas, descubiertas, etc.

-Aún cuando existen muchos bancos de condensadores

instalados en diversas industrias, se dan numerosos casos en los que no todas las celdas están funcionando o en los que los taps automáticos no operan. Para detectar estos problemas es necesario efectuar mediciones programadas en los bancos.

-Otras cargas muy especializadas como hornos eléctricos merecen especial atención en cuanto al aislamiento térmico, mantenimiento de las resistencias y del aislamiento; y sobre todo en cuanto a su utilización en horas de baja demanda.

4.0.2.1.3 Motores Eléctricos.

En El Salvador las pérdidas en los motores eléctricos de inducción (los más utilizados), son mayores que lo normal debido a tres causas fundamentales:

1. Inadecuada selección con respecto a la carga servida.
2. Falta de prácticas modernas de mantenimiento.
3. Subutilización debido a la adquisición en el exterior de equipos de procesos usados. Generalmente se aprovechan los precios bajos de equipos que resultan sobredimensionados para condiciones locales de carga.

La Figura 1.2 (capítulo I) muestra que un motor típico tiene un punto máximo de eficiencia y factor de potencia (condiciones de diseño), y que al elevarse de este punto, sobre todo en condiciones de sobrecarga, la eficiencia y el FP disminuyen. Por otro lado, existen motores de inducción de alta eficiencia (como se muestra en el numeral 4.1), desarrollados en los últimos años, donde una eficiencia "normal" del 90% puede aumentarse a niveles del 95% o más.

En cuanto a condiciones de utilización, existen diversos diseños de motores para adaptarlos a diferentes cargas y así lograr aplicaciones más eficientes. Los diferentes tipos de diseño NEMA son mostrados en la Tabla 4.1

Otros rubros que permiten detectar oportunidades de conservación de energía son las pérdidas de energía en motores los cuales se muestran en el numeral 4.1.1. En base a lo anterior, se describen a continuación las siguientes OCE's en motores eléctricos.

-Evitar la subutilización de motores, utilizar motores de capacidad adecuada para una eficiente operación y carga óptima.

-Seleccionar el diseño NEMA adecuado de motor para la carga servida.

Tabla 4.1 Tipos NEMA de motores de inducción más utilizados.

| DISEÑO | CARACTERISTICAS |
|--------|---|
| TIPO A | Para arranque a voltaje nominal. Muy similar al diseño B, pero necesita más corriente de arranque y par para alcanzar su velocidad nominal. |
| TIPO B | El más popular, sin las desventajas del diseño A. |
| TIPO C | Produce un par de arranque más alto que el diseño B con la misma corriente. |
| TIPO D | Para equipos con inercias muy grandes. Producen pares de arranque de hasta el 25% del par nominal a plena carga. Bajo FP en el arranque. |
| TIPO F | Para cargas muy ligeras como ventiladores. Bajo par de arranque. |

-Utilizar prácticas modernas de mantenimiento que mantengan los motores con buen nivel de aislamiento, ventilados, limpios, lubricados, y con bajas vibraciones.

-Utilizar motores de alta eficiencia siempre que éste sea económicamente posible.

-Sustituir los motores antiguos, de uso intenso o rebobinados, los costos de operación y mantenimiento de motores viejos o de motores que por su uso han depreciado sus características de operación, puede justificar su sustitución por motores normalizados y de alta eficiencia.

-Efectuar correctamente la instalación eléctrica y el montaje de los motores y su carga. Una conexión a tierra defectuosa o la ausencia de ésta, puede poner en peligro la vida de los operarios si se presenta una falla a tierra. Además de ocasionar corrientes de fuga que no son liberadas por el equipo de protección con un dispendio de energía.

-Compensar la energía reactiva demandada por los motores de corriente alterna más importante o con mayor número de horas de funcionamiento, mejorando el factor de potencia de la instalación, con lo que se reducen las pérdidas de potencia y de la tensión de los conductores.

-Utilizar arrancadores a tensión reducida, en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques. Con esto se evita un calentamiento excesivo en los conductores

accionamiento lo permita con esto se evitan las pérdidas en el mecanismo de transmisión.

-Instalar acoplamientos flexibles en aquellos motores sometidos a un número elevado de arranques súbitos, con esto se pueden atenuar los efectos de una alineación defectuosa, reducir los esfuerzos de torsión en la flecha y disminuir las pérdidas por fricción.

-Instalar equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia.

-Mantener bien ajustado y en óptimas condiciones el interruptor de arranque de los motores monofásicos de fase partida. El mal funcionamiento de este accesorio que se emplea para desconectar el devanado de arranque (y el condensador en los motores de arranque por condensador) provoca un sobrecalentamiento en los conductores con una pérdida de energía y en caso extremo la falla del motor.

-Realizar la inspección periódica, incluyendo lecturas de corriente, potencia (kW), velocidad (rpm), resistencia de aislamiento, etc, con objeto de verificar si se mantiene en condiciones apropiadas de funcionamiento y eficiencia, y poder tomar acciones correctivas, cuando se requieran.

-Aplicar la lista de recomendaciones hechas para un buen mantenimiento preventivo.

-Mantener actualizados los manuales de operación de los motores, incorporando en éstos las modificaciones que tengan lugar.

4.0.2.1.4 Iluminación.

En todos los sectores la iluminación es un rubro de los de mayor consumo de energía eléctrica representando para el sector industrial el 6.5% del uso total de la energía (Figura 4.1). Para hacer un uso adecuado de la energía es necesario la aplicación de las siguientes OCE's.

-Instalar lámparas de sodio de baja presión o de halógeno en el exterior, en vez de incandescentes o de mercurio.

-Utilizar bombillas de alta eficiencia en luminarias existentes.

-Reemplazar las lámparas de luz mixta por lámparas de haluros metálicos.

-Reducir en la medida de lo posible los niveles de iluminación interior de acuerdo a las tareas realizadas (producción, almacenes, administración, etc)

-Bajar luminarias para permitir el uso de lámparas de menor potencia.

-Individualizar interruptores en áreas con denso número de luminarias, dividiendo en sectores de trabajo.

-Instalar controles automáticos (fotoceldas, contadores de tiempo , etc) para iluminación exterior (nocturna).

-Instalar contadores de tiempo (timers) o controles de ultrasonido en las lámparas de cuartos que tienen poco uso.

-Utilizar balastos de alta eficiencia (electrónicos)

-Diseñar la iluminación adecuada para cada ambiente, según el tipo de trabajo que se haga en él.

-Instalar tragaluces donde sea posible, y aprovechar la luz natural.

-Pintar los techos, paredes, pisos y acabados con colores claros.

-Desconectar balastos que no estén en uso.

-Establecer un programa de encendido y apagado de luces.

-Apagar las luces cuando el edificio o parte de él esté desocupado o cuando la luz artificial no sea necesaria (por ejemplo en horas de descanso o comida).

4.0.2.1.5 Conversión Mecánica de la Energía.

A) Ciclos de Refrigeración.

Los sistemas de refrigeración utilizados en varias industrias importantes, consumen aproximadamente 1/4 de la energía total en las plantas que los utilizan y un promedio general de 3.5% (ver Figura 4.1) en todo el sector.

Estos sistemas son de caracter complementario a la producción, por lo que muchas veces, se descuida su mantenimiento, con lo que se reduce su eficiencia.

La eficiencia de un sistema de refrigeración se encuentra comparando la potencia suministrada contra el efecto refrigerante producido. El ahorro de energía se logra produciendo las toneladas de frío requeridas a una temperatura adecuada, con la mínima potencia eléctrica

entregada.

Un programa de manejo de la energía debe comenzar primero con un diagnóstico general del sistema, que consiste en determinar, a las condiciones normales de operación del ciclo, lo siguiente:

- a) El coeficiente de eficacia (ó HP/ton)
- b) La capacidad de enfriamiento (toneladas de refrigeración)
- c) La potencia eléctrica suministrada al motor del compresor.

De esta manera pueden detectarse problemas como desviación de las condiciones normales de operación del ciclo, baja transferencia de calor en el condensador y/o en el evaporador por incrustaciones o poca circulación del agua, baja eficiencia del motor, y otras. Las oportunidades de conservación de energía más notables son:

-Evaluar la velocidad de circulación de agua en el sistema para determinar la eficiencia de trabajo de las bombas.

-Mejorar la calidad de aislamiento y/o incremento del espesor del mismo.

-Evitar la exposición directa del área refrigerada a la radiación solar en caso de no ser posible aplicar o pintar las superficies expuestas con materiales reflejantes (plateado o blanco).

-Evaluar la posibilidad de mejorar la temperatura del ingreso del producto al espacio refrigerado.

-Limpiar los tubos del condensador y evaporador y verificar el aislamiento térmico, para asegurar una buena transferencia de calor en el sistema.

-Aumentar la temperatura de salida del fluido en el evaporador a la máxima requerida para las operaciones de enfriamiento de la planta. Esto se logra modificando las condiciones de presión y temperatura del refrigerante a la entrada del compresor.

-Evitar fugas y obstrucciones en las tuberías de gases y líquidos.

-Reducir la temperatura del agua de condensación, mediante una buena operación de la torre de enfriamiento.

-Calibrar en forma programada las mediciones de presión y temperatura para obtener datos fidedignos.

Control de Infiltración.

-Reducir aperturas de la(s) puerta(s), así como el tiempo de apertura(s).

-Instalar cortinas plásticas (en puertas y/o en accesos, barreras de aire).

-Eliminación de cualquier hueco o agujero, que pueda causar el ingreso de aire caliente.

-Las puertas de los espacios refrigerados, deben ser y conservarse herméticas.

Operación y Mantenimiento Adecuado.

-No sobrecargar el sistema.

-Programar adecuadamente limpieza y deshielo de evaporador(es).

-Limpieza del cuarto: uso proporcional de agua.

Estas medidas ayudan a incrementar la eficiencia de los ciclos de refrigeración (reducen los HP/ton producida), y deben implementarse sobre todo en aquellas industrias en las que la energía consumida por este rubro representa por lo menos la mitad de la energía total que consume la planta.

B) Agua, Aire Comprimido, Gases (CO2 y otros).

En la industria existen sistemas de distribución de agua, aire comprimido; y en algunas pocas sistemas de distribución de gases (CO2, N2 y otros). La fuerza motriz utilizada para mover estos fluidos son compresores y bombas que consumen energía eléctrica en mayor o menor grado, por lo que se hace necesario optimizar el uso de la misma por parte de estos equipos, mediante la aplicación de las siguientes OCE's.

-Detectar y eliminar fugas excesivas, pérdidas por fricción en las tuberías y demás accesorios.

-Programar el bombeo del agua para horas de mínima demanda.

-Reajustar las centrales de arranque y paro de los compresores de aire y gases para evitar excesivos ciclajes innecesarios.

-Limpieza periódica de filtros de los compresores de aire, y ubicar las tomas de aire en lugares frescos.

-Reducción de la presión de trabajo de los compresores a

su mínimo requerido.

C) Control de Vibraciones.

En nuestro medio el control de vibraciones es un tema poco conocido, pero muy amplio; cuando se practica, es con el objeto de reducir al mínimo paros de producción y costos de mantenimiento. La práctica de control de vibraciones a intervalos programados, es sumamente valioso desde estos puntos de vista, pero su efecto sobre los costos de energía, aunque modesto no debe descartarse.

Las pérdidas por efectos de vibraciones pueden revasar el orden del 1% normal en equipo de producción, sino se atienden las OCE's como las siguientes:

- Establecer programas de análisis de vibraciones en los equipos más importantes para mantener el nivel de las mismas dentro de los límites de diseño.

- Realizar el balance dinámico de los rotores que indican desbalances como resultado del análisis de vibraciones.

4.0.2.2 OCE's Generales en el Sector Comercial.

Los rubros de mayor consumo en el sector comercial son el aire acondicionado y la refrigeración tal como se denota en la Figura 4.2. Muchas de las OCE's señaladas para el sector Industrial también son aplicadas a este sector, pero aparte es preciso señalar otras OCE's específicas al sector en cuestión.

- Comprobar periódicamente el adecuado funcionamiento de los equipos centrales de aire acondicionado, determinando la eficiencia de operación de los compresores e intercambiadores de calor.

- Controlar el nivel adecuado de acondicionamiento de los equipos. Es muy común experimentar en nuestro medio una sensación de frío en lugares donde los sistemas funcionan continuamente. Una forma sencilla de lograr el control de estos equipos es reducir el número de horas de operación, conectándolos solamente durante las horas de mayor calor; otra forma es usar controles de temperatura, que desconecten el equipo cuando este llega a un nivel mínimo de temperatura de 25 °c.

- Utilizar equipos más eficientes y racionalmente más pequeños.

- Verificar fugas de aire, niveles de aislamiento, utilizar cortinas, polarizar ventanas, etc.

- Limpiar regularmente los filtros.
- Desconectar cargas innecesarias; como por ejemplo: enfriadores de agua durante la noche, o equipos pequeños de aire acondicionado cuando no se estén utilizando.
- Minimizar el uso de ascensores y escaleras mecánicas.
- Emplear al máximo la luz natural.
- Sectorizar los interruptores de lámparas en grupos pequeños.
- Reducir las horas de iluminación en vitrinas, fachadas e iluminación decorativa.
- Reducir los niveles de iluminación en los estacionamientos y pasillos hasta el 50% de ser posible.
- Reducir las horas de operación de fuentes de agua decorativas.

4.0.2.3 OCE's Generales en el Sector Domiciliario.

El sector domiciliario es el mayor consumidor de la energía eléctrica servida por la CAESS, así como uno de los que más contribuyen a la demanda pico del sistema. Estudios realizados revelan que el refrigerador y la cocina eléctrica son los más importantes en cuanto a consumo de energía eléctrica en el hogar (ver Figura 4.3). En base a esto se detallan a continuación las siguientes OCE's.

- Utilizar lámparas de mayor eficiencia (lámparas fluorescentes en lugar de lámparas incandescentes, etc) y de la potencia adecuada.

- No introducir alimentos o líquidos calientes al refrigerador.

- Descongelar el refrigerador de acuerdo a recomendaciones dadas por los fabricantes.

- Regular el termostato del refrigerador en el rango de mínima temperatura.

- Apagar las luces cuando no sean necesarias. De las 17:00 a las 20:00 mantener al mínimo la iluminación, no utilizar la plancha y otros equipos eléctricos, pues con ello contribuyen a mantener la calidad del servicio (voltaje estable) y evita causarle daños a sus aparatos eléctricos.

-Utilizar la luz natural en la mayor medida posible.

-Apagar los equipos que no se estén utilizando.

-Hacer uso del refrigerador a su capacidad normal (no sobrecargarlo ni vaciarlo). Esto mejora el factor de potencia.

-Mantener cerrada completamente la puerta del refrigerador o abrirla lo menos posible. Esta medida mantiene los alimentos frescos y consume menos energía eléctrica.

-Verificar el buen estado de los empaques/sellos alrededor de las puertas de la refrigeradora.

-Coloque una hoja de papel entre el marco de la puerta y el empaque; si el papel desliza, existe fuga de frío, reparar el empaque.

-Nunca planchar al mismo tiempo en que se utiliza la cocina eléctrica. Esta práctica reduce el nivel de voltaje, causando en su hogar, reducción del nivel de iluminación y poniendo en peligro los demás aparatos eléctricos.

-Evitar en las cocinas eléctricas "hornillas al rojo". Utilice termostatos para control de temperatura.

-No golpee las puertas de su refrigerador al cerrarlas, esto daña el empaque magnético causando fugas.

Otras OCE's importantes son:

Calentador de Agua:

-Los ajustes de temperatura alargan la vida del equipo, regule el termostato entre 40-50°C (110-120 °F).

-Conecte el aparato únicamente el tiempo necesario para calentar el agua a la temperatura deseada.

-Instale el calentador cerca de los sitios de uso del agua caliente, esto evita pérdidas de calor y de energía.

-Revise el buen estado del aislamiento del aparato, fugas de agua, así como la operación adecuada del termostato.

Planchado.

-Comience planchando la ropa más delicada, y luego las que necesitan altas temperaturas.

-No remoje excesivamente la ropa. Trate de planchar de una sola vez.

Cocina eléctrica.

-Utilice trastos que sean buenos conductores de calor, como los de aluminio, peltre, cobre o pirex.

-Evite cocinar alimentos congelados o muy fríos, hágalo a temperatura ambiente.

-Utilice la hornilla adecuada al tamaño de cada trasto, éste deberá cubrir totalmente la superficie de la hornilla usada.

-Al hornear, abra el horno únicamente las veces indispensables.

4.1 Reemplazo de Motores Estandar por Motores más Eficientes.

Los fabricantes de motores eléctricos investigan desde 1974 la tendencia al alza de los costos de los energéticos y los costos por el aumento del rendimiento de los motores. La relación costo/ahorro justificó el desarrollo de una línea de motores de alto rendimiento con pérdidas de un 25% por ciento por debajo de las pérdidas de un motor estándar.

La Figura 4.4 muestra la comparación de las pérdidas en Watts entre motores estándar y motores de alto rendimiento. En forma similar la Figura 4.5 ilustra la diferencia de rendimientos entre motores estándares y motores de alta eficiencia en el mismo intervalo de potencia.

4.1.1 Factibilidad Económica de Motores Eficientes.

Las pérdidas en los motores son, hasta cierto punto, independientes entre sí. Estre más se intenta optimizar el rendimiento de un motor, tanto más nos damos cuenta de que unas de ellas se entrelazan dependientemente. El diseño final de un motor de alto rendimiento es un compromiso entre el alto rendimiento y otros criterios como par de arranque, corriente de arranque, par máximo y Factor de Potencia.

Para motores del tipo B, una distribución promedio aceptable de las pérdidas es:

| | |
|-------------------------------------|-----|
| -Pérdidas de potencia en el estator | 37% |
| -Pérdidas de Potencia en el rotor | 18% |
| -Pérdidas magnéticas | 20% |
| -Pérdidas por fricción | 9% |
| -Pérdidas diversas bajo carga | 16% |

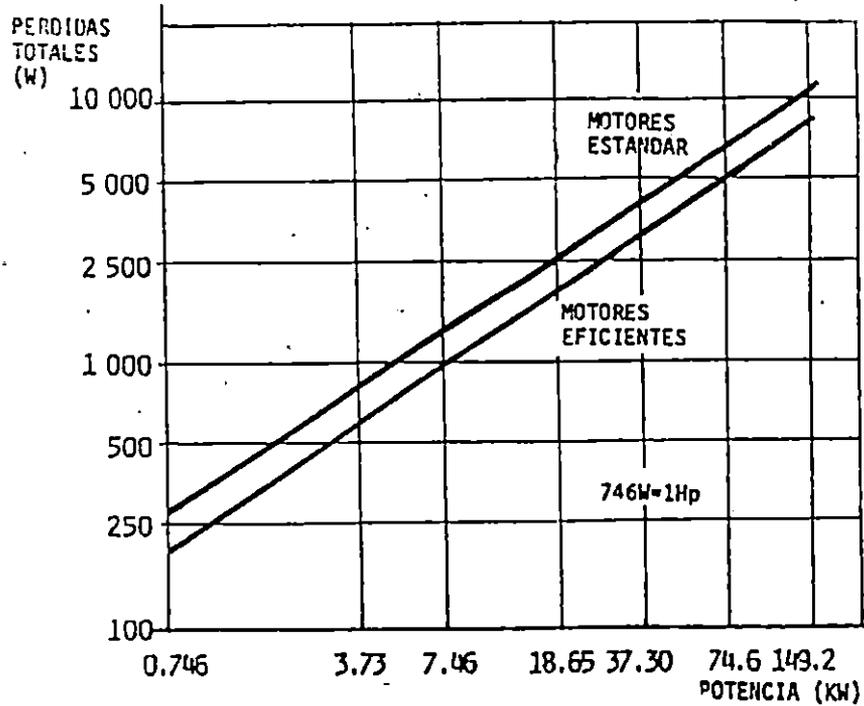


Figura 4.4 Comparación de las pérdidas en Watts de motores estándar con motores eficientes.

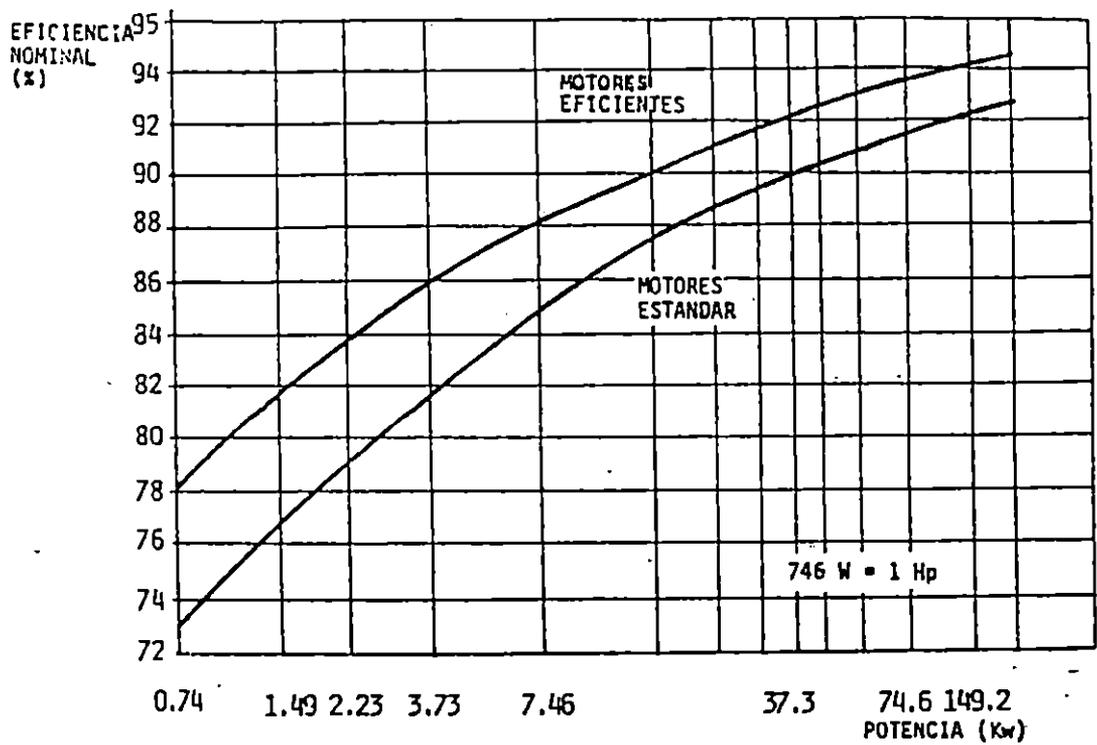


Figura 4.5 Comparación de eficiencias entre motores eficientes y motores estándar.

El método para determinar la factibilidad económica de un motor eléctrico o sistema eficiente puede evaluarse por un simple cálculo del período de recuperación.

Los requerimientos para este cálculo son:

- Eficiencia del motor o sistema
- Horas de operación por año
- Costo de energía
- Carga del motor o sistema

4.1.1.1 Ciclo de Vida.

Criterios usados para los métodos de análisis basados en el ciclo de vida.

- Vida operacional del motor eléctrico
- Vida operacional del equipo accionado por el motor
- Vida operacional del proceso.

La vida operacional o vida prevista del manejo del equipo o proceso es de 5 a 10 años. Si la vida prevista es mayor de 10 años, entonces se necesita una base para determinar la vida de un motor. Aún no existe un método estándar para determinar el ciclo de vida de un motor debido a la diversidad de factores que influyen en este proceso. La Tabla 4.2 indica el ciclo de vida promedio de motores trifásicos realizado por el departamento de energía de los Estados Unidos, el cual con pequeños ajustes, puede emplearse para determinar la vida de motores eléctricos aún trabajando en condiciones adversas.

Tabla 4.2 Vida promedio de los motores eléctricos.

| KW | VIDA PROMEDIO(años) | INTERVALO DE VIDA (años) |
|----------------|---------------------|--------------------------|
| menos de 0.746 | 12.9 | 10 - 15 |
| 0.746 - 3.73 | 17.9 | 13 - 19 |
| 3.80 - 15.0 | 19.4 | 16 - 23 |
| 15.60 - 37.3 | 21.8 | 18 - 26 |
| 38.0 - 93.25 | 28.5 | 24 - 33 |
| más de 93.25 | 29.3 | 25 - 38 |

El factor de mayor influencia en el ciclo de vida de un motor eléctrico es la vida del material aislante. Los

factores que influyen en la vida del aislamiento y, por lo tanto en el ciclo de vida de un motor son los siguientes:

- Carga relativa
- Horas de operación por año
- Condiciones ambientales:
 - . Humedad relativa
 - . Suciedad
 - . Contaminación
- Estabilidad del voltaje

La influencia de estos factores en la vida y en las fallas de los motores se muestran en la Tabla 5.3.

Tabla 4.3 Análisis de fallas de los motores.

| CAUSA DE LA FALLA | % |
|------------------------------------|----|
| Sobrecarga (sobrecalentamiento) | 25 |
| Normal deterioro del aislante | 5 |
| Fase interrumpida | 10 |
| Cojinetes | 12 |
| Contaminación: Humedad | 17 |
| Aceite y grasa | 20 |
| Suciedad | 5 |
| Misceláneas | 5 |

4.1.1.2 Reducción de Costos.

La reducción del costo de operación por comparación de un motor estándar con un motor más eficiente, ambos con la misma potencia de salida, se calcula como sigue:

$$\text{Ahorro} = 0.746 \times \text{Hp} \times \text{C} \times \text{H} \times \text{Fc} \left[\frac{1}{\text{E}_1} - \frac{1}{\text{E}_2} \right]$$

donde, ahorro: ahorro anual en ¢/ año
 Hp: Potencia de salida en Hp
 C: Costo de la energía
 H: Horas de operación por año en h/año
 E₁, E₂: Eficiencias por comparar
 Fc: Factor de carga.

APLICACIONES

Se aplica a motores de 1 Hp a 200 Hp. La aplicación usualmente es factible cuando se consumen alrededor de

1500 Kw-h/año, dependiendo del tamaño y costo del motor.

Mediciones y datos necesarios.

Potencia del motor _____
Número de motores _____
Horas de operación por año _____

El consumo actual del motor se puede calcular de mediciones en el campo, por el siguiente cálculo:

$$KW = V \times I \times 1.732 \times FP \text{ (sistemas trifásicos)}$$

donde:

V = Voltaje de la línea
I = Amperaje de la línea
FP = Factor de Potencia

Nótese que la eficiencia del motor ya está incluida en la medición y eso afectará los siguientes cálculos.

CALCULOS

Ahorro en Energía:

$$\text{Ahorro} = HP \times 0.746 \times FC \times [1/E_1 - 1/E_2] \times H$$

donde, HP : Potencia en hp o kw
FC : Factor de Carga = Amperaje real/Amperaje de placa.
E 1 : Eficiencia de motor estándar (de la Tabla 4.4)
E 2 : Eficiencia de motor más eficiente (de Tabla 4.4)
H : Número de horas de operación por año.

Nota: para mediciones en el campo, de voltaje y amperaje, la relación entre eficiencias es:

$$1 - \frac{E_1}{E_2}$$

Debido a la medición actual de consumo (que incluye eficiencia).

EJEMPLO PRACTICO.

Un motor de 50 hp opera 3200 horas por año, su factor de carga es 80%. Qué ahorros en energía y costo se obtendrían al sustituirlo por otro más eficiente?

En los cálculos se utilizará la Tabla 4.4.

$$\begin{aligned} \text{Ahorro} &= HP \times 0.746 \times FC \times [1/E_1 - 1/E_2] \\ &= 50 \text{ HP} \times 0.746 \text{ kW/HP} \times 0.8 \times [1/0.904 - 1/0.941] \\ &\quad \times 3200 \text{ horas/año.} \end{aligned}$$

= 4,153.29 kW-h/ año.

Siendo el costo actual de la energía, por kW-h cada uno a ₡0.493 (tarifa 3VP, CAESS), el ahorro monetario es:

Ahorro = ahorro en energía x costo de energía
= 4,153.29 kW-h/año x ₡0.493 /kW-h
= ₡2,047.57 /año.

Tabla 4.4 Eficiencia de motores.

| HP | MOTOR ESTANDAR (E 1) | MOTOR EFICIENTE (E 2) |
|-----|----------------------|-----------------------|
| 1 | 0.759 | 0.840 |
| 1.5 | 0.777 | 0.840 |
| 2 | 0.785 | 0.840 |
| 3 | 0.803 | 0.865 |
| 5 | 0.840 | 0.895 |
| 7.5 | 0.843 | 0.910 |
| 10 | 0.855 | 0.910 |
| 15 | 0.869 | 0.924 |
| 20 | 0.878 | 0.930 |
| 25 | 0.882 | 0.930 |
| 30 | 0.894 | 0.936 |
| 40 | 0.897 | 0.941 |
| 50 | 0.904 | 0.941 |
| 60 | 0.909 | 0.945 |
| 75 | 0.912 | 0.950 |
| 100 | 0.921 | 0.950 |
| 125 | 0.925 | 0.950 |
| 150 | 0.929 | 0.958 |
| 200 | 0.935 | 0.958 |

Análisis Económico

Debido al alto costo de los motores, en general, usualmente no es factible reemplazar un motor estándar en buena condición por un motor de alto rendimiento nuevo. Es preferible reemplazar un motor cuando se quema o se ha reembobinado varias veces. En este caso, el costo del reemplazo con un motor eficiente es la diferencia en costos entre un motor estándar nuevo y un motor eficiente.

El período de recuperación de un motor de alta eficiencia se calcula dividiendo la diferencia de precios

(diferencia con el precio del estándar) entre el ahorro obtenido, cuando la decisión es la compra de alguno de ellos. Cuando se desea sustituir un motor estándar ya existente por un motor de alta eficiencia, entonces se toma el costo de éste.

4.1.1.3 Factor de Eficiencia.

En muchas industrias funcionan grandes cantidades de motores el mismo número de horas por año con el mismo costo de energía. Para comparar varios motores bajo esas condiciones, se puede desarrollar un Factor de Eficiencia (FE) basado en el ciclo de vida, el costo de la energía y las horas de operación. Este FE se expresa en ¢/Kw:

$$FE_{hp} = 0.746 \quad C \times N \times H$$

C = Costo de la energía en ¢/Kw-h

N = Número de años de operación

H = Horas de operación por año, en h/año

$$ACCV = FE_{hp} \times HP [1/E_1 - 1/E_2]$$

Este valor es el ahorro total de energía proyectado, basado en el ciclo de vida y no es el ahorro anual. Esto provee un método de comparación de motores de diferentes eficiencias. Considerando el ejemplo anterior:

EJEMPLO:

Cuál sería el factor de eficiencia comparativo de motores de 50 Hp con eficiencias de 91, 92,5, y 94.5 % cuando se comparan con un motor estándar con una eficiencia del 88%, suponiendo 10 años de vida, 4000 h/año de operación y 0.493 ¢/kW-h.

$$FE_{hp} = 0.746 \times 0.493 \text{ ¢/Kw-h} \times 10 \text{ años} \times 4000 \text{ h/año.}$$

$$= \text{¢}14,711.12/\text{kW}$$

$$ACCV = \text{¢}14,711.12 / \text{kW} \times 50 \text{ Hp} \times [1/0.88 - 1/E_2]$$

Para varias eficiencias :

| E_2 (%) | ACCV (¢) |
|-----------|-----------|
| 91.0 | 27,555.79 |
| 92.5 | 40,663.41 |
| 94.5 | 57,492.95 |

Este método provee un ahorro directo del costo de energía durante el ciclo de vida para diferentes valores de eficiencia.

La Tabla 4.5 muestra los datos técnicos para motores de

alta eficiencia de la serie PE.21 PLUS, fabricados por SIEMENS. Se puede observar que la eficiencia varía de acuerdo a la capacidad nominal del motor y a la velocidad de operación.

4.2 Reemplazo de Lámparas Existentes por Lámparas más Eficientes

El reemplazo de las lámparas existentes por lámparas más eficientes puede disminuir entre el 15, 30 y 60, por ciento del consumo por lámpara, sin afectar el nivel lumínico. Cambios en lámparas pueden ser cambios de bombillas o tubos más eficientes o un cambio a una fuente más eficiente.

Al evaluar un sistema de iluminación, se debe hacer una revisión de los niveles de iluminación requerida, para el tipo de actividad en cada área. En muchos casos es posible reducir los niveles, debido a la tendencia en los últimos años de sobre especificar el nivel de iluminación.

La iluminación local debe considerarse para cada área de trabajo cuando los requisitos varían mucho dentro de un edificio dado. El tipo de iluminación debe revisarse considerando el nivel lumínico y el rendimiento en color, y comparando el costo y el consumo eléctrico. Como se sabe, las luces incandescentes son las menos eficientes en el uso de la energía, y las luces de vapor de mercurio dan aproximadamente el doble de iluminación que las incandescentes por Kw consumido y las fluorescentes dan el doble de iluminación que las de vapor de mercurio por Kw consumido, como se observa en la Tabla 4.6. Esta tabla presenta también las características de las lámparas comunes, incluyendo los lúmenes por Watts y el rendimiento en color relativo.

4.2.1 Aplicaciones.

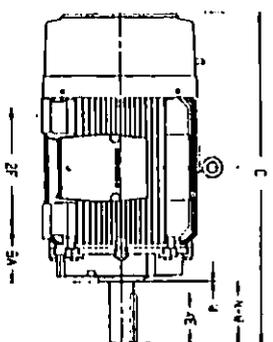
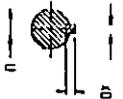
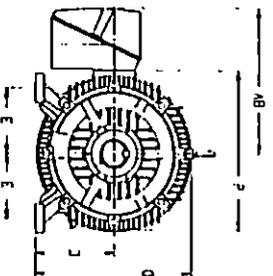
La metodología presentada aquí puede aplicarse a cualquier cambio de iluminación causado por el reemplazo de bombillos o tubos o por un cambio de fuente de luz. Los cambios a bombillos y tubos más eficientes usualmente se justifican cuando las horas de operación son mayores de 500 horas por año.

Los cambios en fuentes de luz se justifican generalmente a más de 1000 horas de operación por año.

4.2.2 Selección de Lámparas Más Eficientes.

Los parámetros que mayor efecto producen en la sustitución de lámparas más eficientes son el nivel lumínico y el rendimiento en color de la luz.

| PE-21 PLUS Motor Rating Table | HORSEPOWER | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 1.5 | 2 | 3 | 5 | 7.5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 75 | 100 | 125 | 150 | 200 | 250 |
| D P L S N C S | FRAME SIZE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3600 | 1800 | 1200 | 143T | 145T | 182T | 184T | 213T | 215T | 254T | 256T | 284T | 286T | 324T | 326T | 364T | 366T | 404T | 406T | 447T |
| NOMINAL EFFICIENCIES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3600 | 81.5 | 82.5 | 84.0 | 86.3 | 88.5 | 89.5 | 90.2 | 92.4 | 92.4 | 91.7 | 91.7 | 91.7 | 92.4 | 92.4 | 93.6 | 94.1 | 94.1 | 92.4 | 94.1 | 95.0 |
| 1800 | 81.5 | 83.5 | 82.5 | 86.5 | 88.5 | 89.5 | 90.2 | 92.4 | 92.4 | 92.4 | 92.4 | 92.4 | 94.1 | 94.1 | 94.5 | 94.1 | 92.4 | 94.1 | 95.0 | 95.0 |
| 1200 | 82.5 | 85.5 | 87.5 | 89.5 | 89.5 | 89.5 | 91.0 | 91.0 | 91.0 | 91.7 | 92.4 | 92.4 | 94.1 | 94.1 | 94.5 | 94.1 | 92.4 | 94.1 | 95.0 | 95.0 |
| 143T | 145T | 182T | 184T | 213T | 215T | 254T | 256T | 284T | 286T | 324T | 326T | 364T | 366T | 404T | 406T | 447T | 449T | 449T | 449T | 449T |



Dimensions

| NEMA Frame | XC | XD | XE | C | D | 2E | 2F | BA | N-W | O | P | W | AB | U | Approx. Shipping Weight in lbs. | |
|---------------|------|------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|-----|--------|---------|------------------------------------|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | | REGESD | REGESD |
| 143T | 3/16 | 3/16 | 13/16 | 123/16 | 3 1/2 | 5 1/2 | 4 | 2 1/4 | 2 1/4 | 7 1/4 | 7 1/16 | 1/8 | 5 1/2 | .875 | 45 | 1800 |
| 145T | 3/16 | 3/16 | 13/16 | 133/16 | 3 1/2 | 5 1/2 | 5 | 2 1/4 | 2 1/4 | 7 1/4 | 7 1/16 | 1/8 | 5 1/2 | + .0000 | 55 | 2000 |
| 182T | 1/4 | 1/4 | 13/4 | 143/4 | 4 1/2 | 7 1/2 | 4 1/2 | 23/4 | 23/4 | 9 13/16 | 9 1/16 | 1/4 | 6 1/2 | 1.125 | 85 | 1700 |
| 184T | 1/4 | 1/4 | 13/4 | 153/4 | 4 1/2 | 7 1/2 | 5 1/2 | 23/4 | 23/4 | 9 13/16 | 9 1/16 | 1/4 | 6 1/2 | + .0000 | 100 | 1900 |
| 213T | 3/16 | 3/16 | 23/16 | 183/16 | 5 1/4 | 8 1/2 | 7 | 3 1/2 | 33/16 | 11 1/4 | 11 1/4 | 1/8 | 83/8 | 1.375 | 130 | 2300 |
| 215T | 3/16 | 3/16 | 23/16 | 193/16 | 5 1/4 | 8 1/2 | 7 | 3 1/2 | 33/16 | 11 1/4 | 11 1/4 | 1/8 | 83/8 | + .0005 | 162 | 2500 |
| 254T | 3/8 | 3/8 | 27/8 | 233/8 | 6 1/4 | 10 | 10 | 4 1/4 | 4 | 133/8 | 133/8 | 1/8 | 10 1/2 | 1.625 | 250 | 3300 |
| 256T | 3/8 | 3/8 | 27/8 | 253/8 | 6 1/4 | 10 | 10 | 4 1/4 | 4 | 133/8 | 133/8 | 1/8 | 10 1/2 | + .000 | 285 | 3500 |
| 284T | 1/2 | 1/2 | 33/4 | 243/4 | 7 | 11 | 11 | 43/4 | 43/8 | 143/4 | 15 1/2 | 1/8 | 11 1/8 | 1.875 | 370 | 4200 |
| 286T | 1/2 | 1/2 | 33/4 | 263/4 | 7 | 11 | 11 | 43/4 | 43/8 | 143/4 | 15 1/2 | 1/8 | 11 1/8 | + .000 | 420 | 4500 |
| 284TS | 3/8 | 3/8 | 17/8 | 233/4 | 7 | 11 | 9 1/2 | 43/4 | 33/4 | 143/4 | 15 1/2 | 1/8 | 11 1/4 | 1.625 | 370 | 4200 |
| 286TS | 3/8 | 3/8 | 17/8 | 243/4 | 7 | 11 | 11 | 43/4 | 33/4 | 143/4 | 15 1/2 | 1/8 | 11 1/4 | + .000 | 420 | 4500 |
| 324T | 1/2 | 1/2 | 37/4 | 273/4 | 8 | 12 1/2 | 10 1/2 | 5 1/4 | 5 1/4 | 163/8 | 17 1/8 | 1/8 | 13 1/8 | 2.125 | 525 | 6000 |
| 326T | 1/2 | 1/2 | 37/4 | 293/4 | 8 | 12 1/2 | 12 | 5 1/4 | 5 1/4 | 163/8 | 17 1/8 | 1/8 | 13 1/8 | + .000 | 600 | 6500 |
| 324TS | 1/2 | 1/2 | 2 | 263/4 | 8 | 12 1/2 | 10 1/2 | 5 1/4 | 33/4 | 163/8 | 17 1/8 | 1/8 | 13 1/8 | 1.875 | 525 | 6000 |
| 326TS | 1/2 | 1/2 | 2 | 273/4 | 8 | 12 1/2 | 12 | 5 1/4 | 33/4 | 163/8 | 17 1/8 | 1/8 | 13 1/8 | + .000 | 600 | 6500 |
| 364T | 5/8 | 5/8 | 4 1/4 | 307/8 | 9 | 14 | 14 | 5 7/8 | 5 7/8 | 183/4 | 18 1/2 | 3/8 | 17 | 2.375 | 830 | 9850 |
| 366T | 5/8 | 5/8 | 4 1/4 | 317/8 | 9 | 14 | 14 | 5 7/8 | 5 7/8 | 183/4 | 18 1/2 | 3/8 | 17 | + .000 | 985 | 10500 |
| 364TS | 1/2 | 1/2 | 2 | 283/4 | 9 | 14 | 11 1/4 | 5 7/8 | 33/4 | 18 1/4 | 18 1/2 | 1/2 | 17 | 1.875 | 830 | 9850 |
| 366TS | 1/2 | 1/2 | 2 | 293/4 | 9 | 14 | 12 1/4 | 5 7/8 | 33/4 | 18 1/4 | 18 1/2 | 1/2 | 17 | + .000 | 985 | 10500 |
| 404T | 3/4 | 3/4 | 53/8 | 39 1/2 | 10 | 16 | 12 1/4 | 63/8 | 7 1/4 | 193/8 | 19 5/8 | 1/2 | 18 1/4 | 2.875 | 1160 | 13500 |
| 406T | 3/4 | 3/4 | 53/8 | 39 1/2 | 10 | 16 | 133/4 | 63/8 | 7 1/4 | 193/8 | 19 5/8 | 1/2 | 18 1/4 | + .000 | 1350 | 14500 |
| 404TS | 1/2 | 1/2 | 23/4 | 36 1/2 | 10 | 16 | 12 1/4 | 63/8 | 4 1/4 | 193/8 | 19 5/8 | 1/2 | 18 1/4 | 2.125 | 1160 | 13500 |
| 406TS | 1/2 | 1/2 | 23/4 | 36 1/2 | 10 | 16 | 133/4 | 63/8 | 4 1/4 | 193/8 | 19 5/8 | 1/2 | 18 1/4 | + .000 | 1350 | 14500 |
| 444T | 7/8 | 7/8 | 63/4 | 453/8 | 11 | 18 | 14 1/2 | 7 1/2 | 8 1/2 | 21 3/8 | 21 3/4 | 1/2 | 20 1/8 | 3.375 | 1600 | 18500 |
| 446T | 7/8 | 7/8 | 63/4 | 453/8 | 11 | 18 | 16 1/2 | 7 1/2 | 8 1/2 | 21 3/8 | 21 3/4 | 1/2 | 20 1/8 | + .000 | 1850 | 20500 |
| 444TS | 5/8 | 5/8 | 3 | 413/4 | 11 | 18 | 14 1/2 | 7 1/2 | 43/4 | 21 3/8 | 21 3/4 | 1/2 | 20 1/8 | 2.375 | 1600 | 18500 |
| 446TS | 5/8 | 5/8 | 3 | 413/4 | 11 | 18 | 16 1/2 | 7 1/2 | 43/4 | 21 3/8 | 21 3/4 | 1/2 | 20 1/8 | + .000 | 1850 | 20500 |
| 447T | 7/8 | 7/8 | 67/4 | 49 3/8 | 11 | 18 | 20 | 7 1/2 | 8 1/2 | 21 7/8 | 21 3/4 | 1/2 | 20 7/8 | 3.375 | 2000 | 23000 |
| 449T | 7/8 | 7/8 | 67/4 | 49 3/8 | 11 | 18 | 20 | 7 1/2 | 8 1/2 | 21 7/8 | 21 3/4 | 1/2 | 20 7/8 | 3.375 | 2300 | 26000 |
| 447TS | 5/8 | 5/8 | 3 | 453/4 | 11 | 18 | 20 | 7 1/2 | 43/4 | 21 7/8 | 21 3/4 | 1/2 | 20 7/8 | 2.375 | 2000 | 23000 |
| 449TS | 5/8 | 5/8 | 3 | 453/4 | 11 | 18 | 25 | 7 1/2 | 43/4 | 21 7/8 | 21 3/4 | 1/2 | 20 7/8 | 2.375 | 2300 | 26000 |

Tabla 4.5 Datos técnicos para motores de alta eficiencia.

El nivel lumínico es una función de la tarea realizada. En la Tabla 4.7 se proveen niveles lumínicos representativos para varios locales y actividades. Se pueden medir los niveles actuales en la planta con un fotómetro y compararlos con los valores del cuadro. Se puede estimar, entonces, la cantidad necesaria de lámparas de varios tipos para proveer el nivel lumínico deseado y calcular el ahorro de cada juego de lámparas.

El rendimiento en color es el grado de color del objeto bajo luz artificial que parece como si el objeto estuviera

| CARACTERÍSTICAS | INCANDESCENTE (Incluyendo halógeno tungsteno) | FLUORESCENTE | VAPOR DE MERCURIO | HALURO METALICO | SODIO DE ALTA PRESION | SODIO DE BAJA PRESION |
|-------------------------------------|--|---|---|---|---|--|
| Rendimiento (lúmenes por vatio) (1) | 15 - 25 (18) | 55 - 100 (83) | 40 - 60 (45) | 60 - 125 (95) | 75 - 140 (95) | 100-200 (145) |
| Intervalo de Wattaje | 6 - 1 500 | 4 - 219 | 40 - 3 000 | 150, 175, 250 400, 1000, 1500 | 100, 150, 250 400, 1 000 | 18, 35, 65 90, 135, 180 |
| Vida (horas) | 750 - 10 000 | 7 500-20 000 | 500 -24 000 | 1 500 -15 000 | 12 000 - 24 000 | 14 000 - 18 000 |
| Rendición de color | Muy bueno a excelente. | Bueno a excelente | Pobre a muy bueno | Bueno | Pobre | |
| Tiem. para encender | Inmediato | Inmediato | 3-5 minutos | 10-20 minutos | 1-10 minutos | 7-9 minutos |
| Costo comparativo de luminarias | Bajo debido a luminar. simples | Moderado | Más alto que incandescente y fluorescente. | Generalmente más alto de vapor de mercurio | Más alto de vapor de mercurio; haluro metálico | Igual o más alto que sodio de alta presión |
| Costo de operación comparativo | Alto debido a corta vida y bajo rendimiento | Más bajo que incandescente; costo de reemplazo más alto que DAI porque se necesitan más lámparas; consumo de energía generalmente menos que el de vapor de mercurio | Más bajo que incandescente; costo de reemplazo relativamente bajo debido a pocas luminarias y a la alta vida de las lámparas. | Generalmente más bajo que vapor de mercurio; se requiere menos luminarias, pero la vida de las lámparas es más corta y el mantenimiento de lúmenes es inferior. | Generalmente más bajo que vapor de mercurio, y haluro metálico requiriendo menos luminarias | Generalmente más bajo de todas requiriendo menos luminarias que todas. |

(1) El rendimiento es una función de potencia de la lámpara y variará sobre los intervalos dados. Para el propósito o de un cálculo borrador se presentan en paréntesis el valor promedio de lúmenes por vatio sobre la vida útil de las lámparas se encuentran más en la industria.

Tabla 4.6 Características de las lámparas.

| TIPO | ILUMINANCIA* RECOMENDADA (LUX) | EJEMPLOS DE ZONAS O ACTIVIDADES |
|---|-----------------------------------|---|
| Alumbrado general en locales y zonas de uso poco frecuente o tareas visuales ocasionales y simples. | 20 | Iluminancia mínima en servicios, en zonas exteriores de circulación. |
| | 30 | Almacenes al exterior y playas de almacenamiento |
| | 50 | Pasillos exteriores, plataformas, aparcamientos cerrados. |
| | 75 | Diques, muelles |
| | 100 | Teatros, salas de concierto; dormitorios de hoteles, aseos y lavabos. |
| | 150 | Zonas de circulación en industrias; depósitos y almacenes. |
| Alumbrado general en locales de trabajo. | 200 | Iluminancia mínima, en servicio de la tarea visual. |
| | 300 | Trabajos medios manuales y a máquina. Trabajos normales en la industria química y alimentación; lectura ocasional y archivo |
| | 500 | Trabajos medios manuales y a máquina; montaje de automóviles; naves de imprentas; oficinas en general, almacenes y tiendas |
| | 750 | Salas de lectura, de pruebas, salas de dibujo y oficinas con máquinas de contabilidad |
| | 1000 | Trabajos finos manuales y a máquina; montaje de máquinas para oficinas, trabajos con colores; salas donde se realicen dibujos muy artísticos. |
| Alumbrado adicional localizado para tareas visuales exigentes. | 1500 ** | Trabajos finos manuales y a máquina; montaje de instrumentos y pequeños mecanismos de precisión, componentes electrónicos, calibración e inspección de piezas pequeñas y complicadas. |
| | 2000 | Trabajos minuciosos y muy precisos, p. ej. partes muy pequeñas de instrumentos, relojería y grabado; zona de operaciones en quirófano. |

(*) Si se recomiendan valores mínimos se puede tomar el valor de iluminancia inmediato inferior al indicado.

(**) Puede conseguirse con alumbrado localizado. Deben emplearse elementos ópticos.

Tabla 4.7 Escala de iluminancias recomendadas para instalaciones en servicio.

natural. En locales y procesos donde el color real es deseable o necesario, es favorable el reemplazo de una lámpara por una lámpara más eficiente, del mismo rendimiento.

La tabla 4.8 provee una guía de reemplazo de lámparas de la misma clase. Las lámparas eficientes dan aproximadamente el 90% del nivel lumínico de las estándares y el mismo rendimiento en color. La sustitución de las lámparas corrientes por lámparas eficientes de la misma clase es el reemplazo más fácil de todos.

Tabla 4.8 Guía de reemplazo de lámparas de la misma clase.

| CLASE DE LAMPARA | VATIOS CONSUMIDOS | AHORRO DEBIDO A LAS LAMPARAS MAS EFICIENTES (VATIOS) | NIVEL DE LUZ PROMEDIO (%) | % DE VIDA ESTAN-DAR |
|------------------|-------------------|--|---------------------------|---------------------|
| INCANDESCENTE | | | | |
| 60 A | 60 | 8 | 95 | 100 |
| 75 A | 75 | 8 | 93 | 100 |
| 100 A | 100 | 10 | 93 | 75-100 |
| 150 A | 150 | 15 | 90 | 100 |
| FLUORESCENTE | | | | |
| 40T12 | 40 | 5 | 90 | 100 |
| 40T12 | 38.5 | 8.5 | 83 | 100 |
| 96T12 (I.S) | 75 | 15 | 90 | 100 |
| 9612T(800 ma) | 110 | 15 | 92 | 100 |
| 9612T(1500ma) | 215 | 30 | 90 | 100 |

La Tabla 4.9 es una guía de reemplazo de lámparas corrientes por lámparas corrientes más eficaces. Se presentan el cambio recomendado, el ahorro, el nivel lumínico aproximado y el porcentaje de vida de la lámpara existente. La tabla se divide en tres secciones: reemplazos directos, los cuales no necesitan un cambio de balastro o luminaria; reemplazos de sistema, cuando el color es importante (el rendimiento en color de las lámparas es parecido) y reemplazos del sistema, cuando el color no es importante.

Estos cuadros sirven para la mayoría de casos y es un enfoque para empezar la investigación de otras sustituciones de lámparas.

4.2.2.1 Sustitución de Lámparas. Caso Práctico.

1.Reducir las horas de operación de lámparas existentes hasta el mínimo, apagando luminarias que no están en uso; instalar interruptores individuales; instalar tragaluces, etc.

| CORRIENTE | RECOMENDADO | AHORRO (VATIOS) | NIVEL DE LUZ APROXIMADO | X VIDA DE LA CORRIENTE |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|
| Reemplazo Directo | | | | |
| 40 W incandescente | PL * 9 fluorescente | 31 | 100x | 1 000 |
| 60 W incandescente | SL *13 fluorescente | 47 | 125x | 1 000 |
| 75 W incandescente | SL *18 fluorescente | 57 | 100x | 1 000 |
| Reemplazo de Sistema | | | | |
| Cuando el Color es Crítico: | | | | |
| 750 W incandescente | 150 W sodio de alta presión | 565 | 100x | 2 400 |
| 1 000 W incandescente | 250 W sodio de alta presión | 700 | 110x | 2 400 |
| 1 500 W incandescente | 400 W sodio de alta presión | 1 040 | 140x | 2 400 |
| 175 W vapor de mercurio | 100 W sodio de alta presión | 75 | 115x | 100 |
| 250 W vapor de mercurio | 150 W sodio de alta presión | 115 | 130x | 100 |
| 400 W vapor de mercurio | 250 W sodio de alta presión | 160 | 125x | 100 |
| 1 000 W vapor de mercurio | 400 W sodio de alta presión | 640 | 90x | 100 |
| Cuando Color no es Crítico: | | | | |
| 100 W incandescente | 18 W sodio de baja presión | 70 | 100x | 1 600 |
| 100 W vapor de mercurio | 35 W sodio de baja presión | 60 | 120x | 75 |
| 175 W vapor de mercurio | 55 W sodio de baja presión | 115 | 100x | 75 |
| 400 W vapor de mercurio | 135 W sodio de baja presión | 272 | 115x | 75 |
| 500 W tungsteno-halógeno | 90 W sodio de baja presión | 375 | 125x | 900 |
| 1 000 W incandescente | 135 W sodio de baja presión | 822 | 110x | 1 800 |
| 1 500 W tungsteno-halógeno | 180 W sodio de baja presión | 1 280 | 100x | 900 |
| *Incluye consumo de balastro | | | | |

Tabla 4.10 Guía de reemplazo con lámparas más eficaces.

2. Reducir el nivel lumínico de acuerdo con la tarea realizada mediante OCE's como remover lámparas, bajar luminarias a un nivel más cerca del lugar de trabajo, etc.

3. Identificar y evaluar las lámparas más eficiente de la misma clase (Tabla 4.8). La evaluación debe incluir el nivel lumínico y el rendimiento en color.

4. Identificar y evaluar lámparas más eficaces (tabla 4.9). De gran importancia en la evaluación es el nivel lumínico y el rendimiento en color. También la evaluación debe incluir el costo de instalación del nuevo sistema de iluminación o la modificación del sistema existente si un reemplazo directo no puede realizarse.

5. Comparar opciones de sustitución de iluminación. El análisis debe incluir la factibilidad del cambio (complejidad de reemplazo directo en comparación con cambio en el sistema), el costo del cambio (materiales, mano de obra), la vida útil de las lámparas, el rendimiento en color, y el nivel lumínico.

MEDICIONES Y DATOS NECESARIOS

| | |
|--------------------------------------|-------|
| Clase de lámparas existentes | _____ |
| Vatíaje de lámparas existentes | _____ |
| Número de lámparas existentes | _____ |
| Vida útil de lámparas existentes | _____ |
| Clase de lámparas más eficientes | _____ |
| Vatíaje de lámparas más eficientes | _____ |
| Número de lámparas más eficientes | _____ |
| Vida útil de lámparas más eficientes | _____ |
| Horas de operación por año | _____ |

CASO PRACTICO

En cadena de restaurantes BIGGEST existían 600 bombillas incandescentes de 60 Watts, las cuales estaban encendidas 11 horas en promedio, en horario de 10:00 AM a 9:00 PM. A finales de 1992 se cambiaron las 600 bombillas incandescentes con lámparas fluorescentes "SL-18". Los datos técnicos se muestran en la Tabla 4.11 y en la Figura 4.6 las dimensiones exteriores. Cada lámpara consume 18 watts.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

a) El ahorro en consumo viene dado por:

$AC = P \times H \times L$, donde:

$P =$ potencia no utilizada $= (60-18)W = 42 W$

$H =$ horas de trabajo $= 11 \text{ h/día} \times 30 \text{ días/mes} = 330 \text{ h/mes}$

L = bombillas a sustituir = 600 bombillas
incandescentes.
sustituyendo,

AC = 42 W x 330 h/mes x 600 x 1 kW/1000 W
= 8,316.00 kW-h/mes

Ahorro en colones:

Costo según tarifa No.2(VS) por cada kW-h = .545..
Ahorro = 8,316.00 kW-h x .545
= ,532.22 mensual.

| TECHNICAL DATA | GE | PHILIPS | | OSRAM | | | | PANASONIC | | |
|---------------------|----------|----------|-------------|------------|-------|-------|-------|--------------------------|------|------|
| | COMPAX | SL* MAG | EARTH LIGHT | DULUX EL | | | | ELECTRONIC LIGHT CAPSULE | | |
| WATTAGE | 15 | 18 | 18 | 7 | 11 | 15 | 20 | 18 | 20 | 27 |
| LUMENS | 700 | 750 | 1100 | 400 | 600 | 900 | 1200 | 1100 | 1100 | 1550 |
| LUMENS PER WATT | 47 | 42 | 61 | 57 | 55 | 60 | 60 | 61 | 55 | 57 |
| INCAND. EQUIVALENT. | 50-60W | 50-60W | 75W | 25W | 40W | 60W | 75W | 75W | 75W | 100W |
| HOURS LIFE | 9000 | 9000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 9000 | 9000 | 9000 |
| MAX OVERALL LENGTH | 6.8" | 5.9" | 7.2" | 5.7" | 5.7" | 6.9" | 8.1" | 7.4" | 7.4" | 7.8" |
| MIN HARP FIT | 9" | 9" | 9.5" | 8" | 8" | 9" | 11" | 10" | 10" | 11" |
| DIAMETER | 3.1" | 2.9" | 2.9" | 2.3" | 2.3" | 2.3" | 2.3" | 3.0" | 2.1" | 2.1" |
| DIFFUSING COVER | GLASS | GLASS | LEXAN | NONE | | | | GLASS | NONE | NONE |
| BALLAST TYPE | MAGNETIC | MAGNETIC | ELECTR | ELECTRONIC | | | | ELECTRONIC | | |
| MIN STARTING TEMP. | 32°F | 32°F | 0°F | 0°F | 0°F | 0°F | 0°F | 32°F | 41°F | 41°F |
| MAX AMBIENT TEMP | NA | 140°F | 140°F | NA | NA | NA | NA | 95°F | 95°F | 95°F |

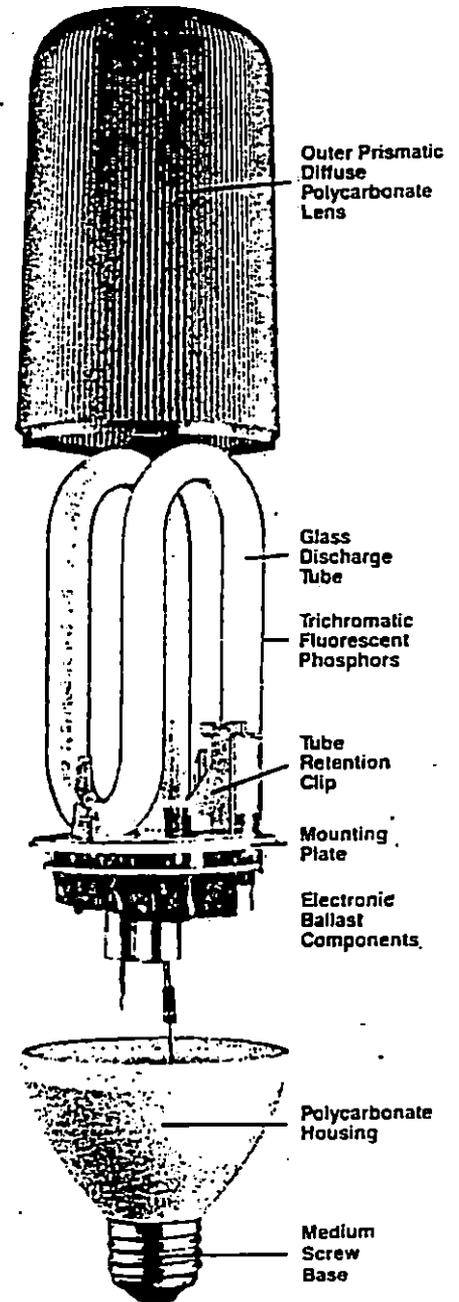
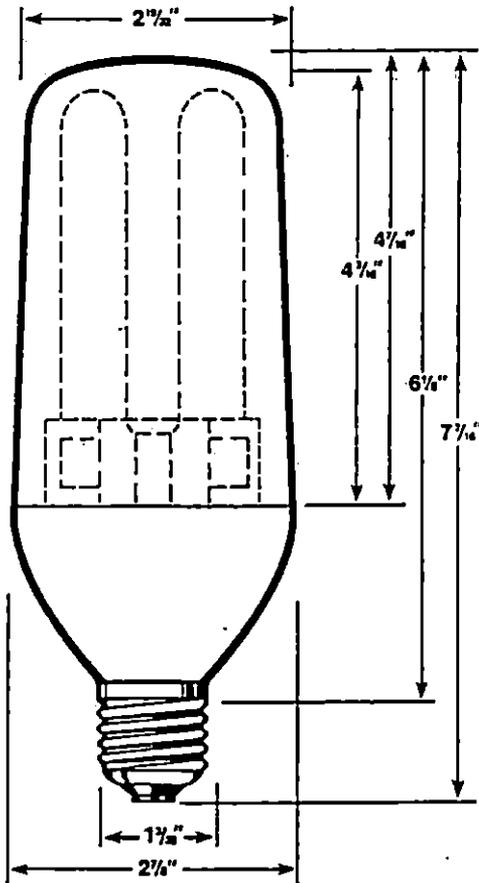
Tabla 4.10 Datos técnicos de lámparas compactas fluorescentes para diferentes fabricantes.

SL* Lamp

A Compact Energy Saving Fluorescent Lamp to Directly Replace Incandescent Lamps

PHYSICAL DATA:

NOTE: DIMENSIONAL TOLERANCES ± 1 %



| PRODUCT CODE | TYPE | VOLTAGE | INITIAL LUMENS | EFFICACY |
|-------------------------------------|-------|--------------------|----------------|-----------|
| 305706 | SL-18 | 120V | 1100 | 61.1 LM/W |
| APPROXIMATE EQUIVALENT INCANDESCENT | | RATED AVERAGE LIFE | | M.O.L. |
| 75W | | 10,000 Hrs. | | 7-3/16" |

Figura 4.6 Datos técnicos correspondientes a la lámpara fluorescente SL.18 fabricada por PHILIPS

b) Inversión (valores en Enero/94).

Costo promedio por unidad de lámpara fluorescente: €103.73
Costo promedio por unidad de bombillo incandescente: €3.30

Para un total de 600 bombillos incandescentes a sustituir:

Total invertido : 600 x € 103.73 = € 62,236.35

Tiempo de amortización de la inversión:

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{costo}}{\text{ahorros}} = \frac{€62,236.35}{€4,532.22} = 13.73 \text{ meses.}$$

Costo de reemplazo:

Vida de lámpara fluorescente (de Tabla 4.10) = 10,000 horas

10,000 horas x 1 día/11 hr x 1 mes/30 días = 30.3 meses

Vida del bombillo incandescente (ver Tabla 2.3)

1000 hr x 1 día/ 11 hr x 1 mes/ 30 días = 3.03 meses.

en los 30 meses de vida de la lámpara SL.18, se consumiría un total de 10 bombillos incandescentes, por tanto representa un gasto de:

total = 600 x 10 = 6000 bombillos
costo = 6000 bombillos x €3.30 = €19,800.00

Cálculo del beneficio:

Ganancia =
(30 meses de vida - 13.73 meses de amort.) x
4,532.22
= €73,739.22

Ganancia neta al final de la vida útil:

Ahorro en costo de energía = €73,739.22 +
Ahorro en costo de bombillos = €19,800.00

€93,539.22

Nota: Los resultados se verán afectados si se produce un cambio en las actuales tarifas eléctricas. No se incluyen las mediciones en cuanto a la mejoración en los niveles de iluminación. Así mismo, el análisis no incluye el costo de ahorro de aire acondicionado para compensar el calor

emitido por los bombillos incandescentes (80% de los 60 W). Tampoco incluye el costo de mano de obra de reemplazo de 6000 bombillos incandescentes. Considerando 15 minutos por bombillos, esto tomaría: 7 meses, 5 días de trabajo. Se obtiene una reducción en la demanda de 42 W por cada lámpara.

4.2.2.2 Ahorros Utilizando Controles Automáticos en Sistemas de Iluminación.

El control de Sistemas de Iluminación es un mecanismo importante para la reducción del consumo de energía y la reducción de los picos de demanda en edificios comerciales y de oficinas. El control de la iluminación permite el manejo eficiente de la energía destinada al alumbrado mediante las siguientes estrategias:

1. Reducción de los niveles de iluminación artificial ó apagando lámparas en lugares dentro del edificio donde existe buena iluminación natural (luz solar).
2. Compensación de potencia para mantener los niveles de iluminación cuando ocurre pérdidas de lúmenes en las lámparas.
3. Adecuar la iluminación durante el período que labora el personal de limpieza.
4. Reducción de los niveles de iluminación en áreas de poca circulación de personas.
5. Cortes de carga.

El siguiente, es un estudio retomado de la publicación IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL.29 No.4 July/August 1993.

Inicialmente, se observaron las características del sistema de alumbrado existente en el edificio, antes de la instalación del sistema de control y los balastos electrónicos. Lo anterior se consiguió midiendo la potencia de entrada a los cuatro circuitos de iluminación que sirvieron de demostración y también midiendo los niveles de iluminación existentes. Después de la instalación del sistema de control, el cual estaba formado por balastos electrónicos, lámparas nuevas y equipo electrónico para el control, se repitieron las mediciones para determinar los cambios en el funcionamiento del sistema de iluminación con respecto a los niveles de iluminación, potencia de entrada y eficiencia.

Se efectuaron una serie de pruebas que se extendieron desde tres semanas hasta varios meses, con las cuales se

evaluó el funcionamiento del nuevo sistema y la habilidad para obtener el mejor provecho utilizando varias estrategias de control. Después de 9 meses de pruebas se obtuvo un ahorro del 50% en consumo de energía respecto al consumo, que anteriormente era normal.

A. LUGAR DE LA DEMOSTRACION.

La demostración tuvo lugar en una sección del sexto piso de un edificio de oficinas localizado en la ciudad de Emeryville, en la Bahía de San Francisco. El área del lugar es de 4544 pies cuadrados aproximadamente, o sea el 22% del área total del 6o. piso (ver Figura 4.7). Las dos hileras de ventanas se encuentran a lo largo de la parte norte y sur del lugar de la demostración. La mayoría de los empleados en ésta oficina trabajan de 8 a.m. a 5 p.m.

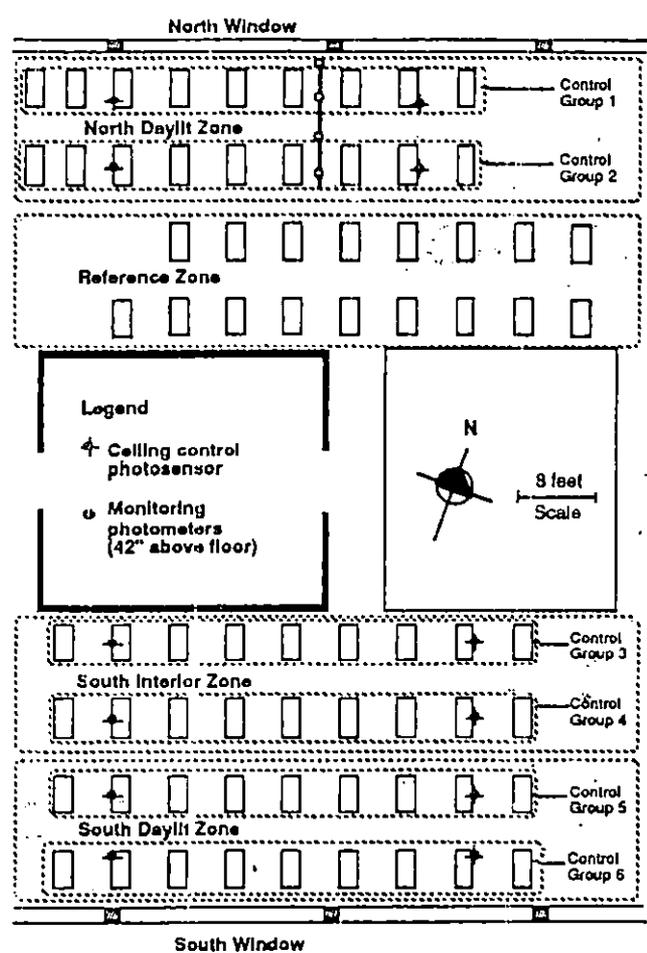


Figura 4.7 Vista en planta del sitio de la demostración, mostrando las zonas bajo control y la localización de los instrumentos fotométricos.

B. SISTEMA DE ILUMINACION EXISTENTE.

El sistema de alumbrado que existía consistió en luminarias de 4 lámparas fluorescentes. El sistema opera a 277 VAC. Las lámparas eran de 34 W y los balastos del tipo magnético. Generalmente los ocupantes de la oficina no utilizaban los interruptores. Esta función se le dejaba al guardia de seguridad, quien casi regularmente apagaba las luces a las 3:30 a.m. y las encendía a las 5 a.m.

C. COMPOSICION DEL SISTEMA DE DEMOSTRACION.

1. Balastos.

Los balastos electrónicos de alta frecuencia usados en esta demostración convierten la corriente suministrada a 60 Hz en 65 kHz, así mismo incrementa la eficiencia de la lámpara y elimina virtualmente el parpadeo. Con cada balastro operan mejor tres lámparas fluorescentes que dos, permitiendo con esto incrementar la eficiencia en el sistema, ya que las pérdidas de energía en el balastro se reparten en mayor número de lámparas. Los balastos pueden ser operados en un amplio rango: desde el 100% hasta aproximadamente el 20% de su potencia total. En este caso, la iluminación obtenida se puede atenuar hasta un 15% respecto a la plena iluminación.

2. Controladores.

Cada grupo de luminarias a los cuales se les controlaran los niveles de iluminación son denominados "grupos bajo control" (ver Figura 4.7). Un controlador es un circuito electrónico que provee una señal de voltaje para controlar los niveles de iluminación para todos los balastos, dentro de un grupo bajo control. Los controladores de iluminación pueden ser usados en forma manual (mediante un potenciómetro en el panel de control) ó de manera automática en respuesta a una señal proveniente de fotoceldas montadas en el techo. Además, los controladores sirven de interfase entre un sistema de manejo de la energía en edificios (EMS, por sus siglas en inglés) y el sistema de iluminación.

3. Fotoceldas.

Para aprovechar la luz del día disponible y aumentar la eficiencia reduciendo las pérdidas por iluminación eléctrica, el sistema de control requiere de fotoceldas para efectuar la medición en el área bajo estudio (luz natural más luz artificial o eléctrica). Estas fotoceldas fueron instaladas en lugares estratégicos, como se muestra en la Figura 4.7.

4. Orientación de los grupos bajo control.

El sistema de iluminación fué dividido en filas paralelas a lo largo de las ventanas de pared, como se observa en la Figura 4.7. Se formaron 6 filas controlables independientemente y energizadas por tres circuitos ramales. Los grupos bajo control 1 y 2 son servidos por el circuito ramal denominado Sur (S.Day.), 3 y 4 por el Sur Interno (S. Int.), y 5 y 6 por el ramal Norte (N. Day.). Existe otra área, la cual es servida por el ramal de Referencia (Ref.), el cual fué utilizado como zona de referencia para comparar el desempeño de las zonas controladas.

D. INSTRUMENTOS DE MEDICION.

La corriente y potencia utilizada para energizar los cuatro circuitos ramales (S.Day., S.Int., N.Day., y Ref.) fueron monitoreados con transductores de corriente y potencia, respectivamente instalados en el tablero de corta circuitos. Las salidas de los transductores eléctricos y fotométricos fueron registrados cada 10 minutos utilizando unidades comerciales de control y adquisición de datos (analizadores de energía, PLC, etc).

E. RESULTADOS.

1. Mejoras en la Eficiencia debido a los balastos electrónicos.

La carga de alumbrado medida antes y después de la instalación de los balastos electrónicos y la aplicación de las medidas de control son mostradas en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Demanda en alumbrado antes y después de implementar el sistema de control.

| ZONA | KW (antes*) | KW (después**) | % CAMBIO |
|-----------|----------------|-------------------|----------|
| N.Day. | 2.44 | 2.13 | -12.7 |
| S.Day. | 2.11 | 2.11 | 0 |
| S.Int. | 2.39 | 2.1 | -12 |
| Referenc. | 2.36 | 2.34 | -0.8 |

* Algunos balastos y lámparas no operaban.

** Todos los balastos operando al 100% de iluminación.

La zona Sur (S.Day.) no mostró decremento en la potencia consumida después de efectuado el cambio, debido a que algunas de las lámparas y balastos no estaban operando,

causando con esto que las mediciones antes de la sustitución fuesen anormalmente bajas. Se hubiese obtenido una buena reducción de la carga (aproximadamente el 20%) si todos los balastos hubiesen estado operando normalmente, previa a la sustitución.

Después de la sustitución, el promedio del nivel de iluminación en la zona Norte (N.Day.) incrementó un 26% (con los balastos electrónicos operando al 100%). En la zona Sur, el nivel de iluminación incrementó 20%.

De los resultados anteriores, se estimó que el mejoramiento en la eficiencia del sistema de iluminación, sólo debido a los balastos electrónicos, fué de aproximadamente 20%.

2. Patrones del uso de la iluminación antes de instalar el sistema de control.

Datos obtenidos del lugar bajo estudio, durante el mes inmediato a la sustitución de los balastos, indicaron que las luminarias en las cuatro zonas típicamente siempre fueron dejadas encendidas durante los días de semana, excepto por 1.5 - 2 horas entre las 3:00 a.m. y 5 a.m. En fines de semana los patrones de uso fueron variables.

3. Ahorros utilizando estrategias de control.

La Tabla 4.12 resume los promedios de la energía utilizada normalmente durante los días previos a la instalación (preinstalación) del nuevo sistema y los promedios para varias combinaciones de estrategias de control puestas a prueba después de la instalación de los controladores.

Los ahorros en energía están en el rango de 38 a 47% durante las horas laborales y de 46 a 54% para el día completo. La zona Sur mostró ahorros modestos debido a que buena parte de luminarias no se encontraban en operación, cuando las mediciones fueron hechas. Estos porcentajes son relativos al uso de la energía usada normalmente antes de la instalación del sistema de control.

La Figura 4.8 muestra el perfil de carga típico en el sistema de iluminación obtenido para un día soleado de Noviembre, después de haber instalado en el techo las fotoceldas. Así, el gráfico muestra el efecto de las siguientes estrategias operando simultáneamente:

Tabla 4.12 Promedio de la energía utilizada y porcentaje de ahorro en energía para varias estrategias de control.

| | No. días | Energía utilizada en horas laborales (KWH/zona/12Hr) (1) | | |
|------------------------|----------|--|-----------|-----------|
| | | Energía utilizada diariamente (KWH/zona/día) (2) | | |
| | | S.Day. | S.Int. | N.Day. |
| Preinstalación | 13 | (1) 25.4±0.29* | 29.4±0.51 | 29.3±0.17 |
| | | (2) 47.9±1.95 | 57.5±2.18 | 54.2±3.04 |
| Utilizando estrategias | 38 | (1) 15.7±2.20 | 17.6±2.34 | 15.6±1.97 |
| | | (2) 26.1±3.49 | 27.7±3.95 | 25.1±2.93 |
| Ahorros** | | (1) 38% | 40% | 47% |
| | | (2) 46% | 52% | 54% |

* Promedio de energía utilizada en días laborales y su desviación estándar.

** Porcentaje de ahorro en energía relativo a la preinstalación en la misma zona.

Aprovechamiento de la luz natural, Mantenimiento de los Lúmenes emitidos por las lámparas y Horarios para la iluminación. Note que a pesar de las diferencias obvias en los perfiles de carga de las zonas Sur y Norte, la energía utilizada fuera de la jornada laboral es virtualmente idéntica (15.2 y 15.5 Kw-h/12 h respectivamente).

La Figura 4.9 muestra los niveles de luz emitidos al monitorear las señales provenientes de los fotómetros en la zona Norte para el mismo día que se muestra en la Figura 4.8. A pesar de la reducción sustancial en la demanda de alumbrado, los niveles de iluminación mostrados en la Figura 4.9 se mantienen relativamente constantes durante el día. Esta es una clara evidencia que los controles de

iluminación debidamente calibrados proveen razonablemente una iluminación constante en el área de trabajo, mientras permiten una reducción substancial en la demanda de alumbrado.

Como se ha mencionado, la carga de alumbrado representa uno de los principales consumidores de energía eléctrica en edificios comerciales y de oficina, por lo que un control apropiado de la iluminación puede representar uno de los más efectivos métodos para reducir el consumo de energía y los picos de demanda.

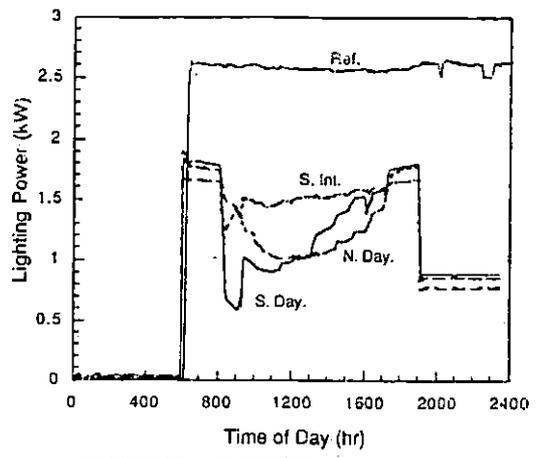


Figura 4.8 Perfil de carga para un día de semana, utilizando fotoceldas para el control de la iluminación.

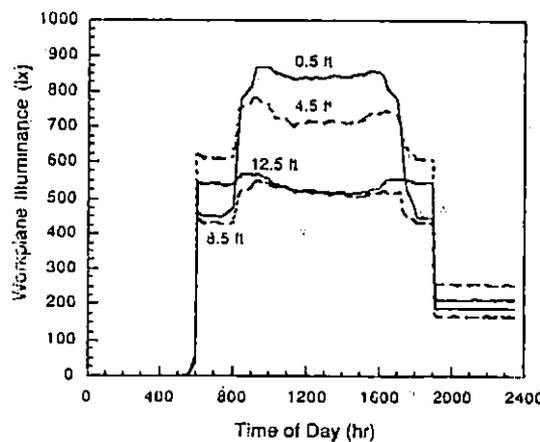


Figura 4.9 Niveles de iluminación medidos utilizando los fotómetros instalados.

Obviamente antes de implementar un estudio de esta naturaleza, deberán compararse los costos entre los ahorros monetarios obtenidos en los cargos por consumo de energía y el costo de la adquisición, instalación y mantenimiento del equipo necesario para llevar a la práctica el estudio.

4.3 Mantenimiento Preventivo y Pequeñas Reparaciones.

Un programa de mantenimiento preventivo da al empresario dos importantes resultados beneficiosos. Por una parte, la maquinaria y el equipo no sufren averías inesperadas, y no resulta necesario ni reemplazar piezas importantes, ni

incurrir en pérdidas de producción debido a paros inesperados, trabajos de emergencia, falta de repuestos o daños mayores.

Como complemento se logra ahorrar energía eléctrica, porque es posible conservar la maquinaria y el equipo operando a su óptimo rendimiento. Un mantenimiento adecuado debe iniciarse conociendo bien el equipo y la forma de usarlo, y además comprender los principios básicos de su operación. El fabricante del equipo o el distribuidor comercial del mismo pueden ser la guía para esta primera tarea.

4.3.1 Mantenimiento Preventivo de Motores Eléctricos.

Cualquiera que sea el tipo de motor empleado, para lograr la máxima eficiencia de operación y una larga vida útil del motor, es esencial darle un adecuado y continuo mantenimiento. En la realidad, las pérdidas pueden ser más grandes, si el porcentaje de pérdidas aumentara con respecto al porcentaje nominal. Por ejemplo, una lubricación inadecuada puede aumentar la fricción en motores y en muchos tipos de transmisiones. El calor generado aumenta la temperatura de los conductores incrementando también la resistencia eléctrica, las pérdidas por resistencia eléctrica ($I^2 R$) resultan ser las más altas en aquellos motores en los que la ventilación o el paso del aire de refrigeración están obstruidos.

Periódicamente es necesario limpiar el motor y quitarle el polvo y las hilachas que haya en el bastidor para que el motor funcione tan fresco como sea posible, ya que como se sabe el aislante eléctrico se deteriora con altas temperaturas, se economizará energía y se aumentará también la vida útil del motor.

El mantenimiento de las tracciones impulsadas por el motor es de tanta importancia como el mantenimiento mismo del motor. Otro aspecto importante es el desalineamiento entre motor y tracción, que ocurre generalmente después de un desmontaje del motor o la tracción, lo cual causa vibraciones del equipo.

El desalineamiento o las tensiones elevadas de las correas causan daños severos en los cojinetes y una reducción de la eficiencia. Un programa de limpieza y de alineamiento del motor y de la tracción se paga por sí mismo gracias al aumento de la vida útil del motor y al ahorro en los costos de energía eléctrica.

En el mantenimiento preventivo de motores deben de observarse las siguientes partes:

- | | |
|------------------------|---------------------|
| -Cimentación | -Caja de conexiones |
| -Elementos de fijación | -Arrancador |
| -Acoplamientos | -Cojinetes |
| -Tolvas | -Rotor |
| -Ventilación | -Estator |

El mantenimiento debe iniciarse con las medidas más obvias y rutinarias. Hágase una lista de verificación para que la usen como recordatorio los supervisores y los operadores; ésta incluirá, entre otros, los siguientes aspectos:

Motores eléctricos en general:

- Revisar el cimiento en busca de grietas o desniveles; alinear ejes, revisar estado del eje. Comparar con datos de revisiones anteriores, si los hay.
- Revisar entrehierro y juego axial del rotor. Comparar con datos de revisiones anteriores.
- Revisar separación entre partes giratorias y partes fijas.
- Revisar todos los acoplamientos y pernos; apretarlos de nuevo.
- Revisar contrapesos de balance.
- Revisar uniones y apretar de nuevo los pernos de los acoplamientos.
- Fijar el paquete de láminas del estator.
- Revisar los cojinetes y su lubricación.
- Revisar el estado de entrada de ventilación y el estado del filtro de aire.
- Limpiar el colector o anillos deslizantes.
- Revisar contactos de alimentación.
- Revisar los aislamientos y medir las resistencias de las bobinas con respecto a tierra.
- Revisar y limpiar los dispositivos de protección y el arrancador de cada motor.

Sistema de Bombeo, Compresores y otros.

- Eliminar obstrucciones en válvulas, tuberías y bombas.

- Verificar que no hay desgaste en los impulsores ni en el cuerpo de la bomba.
- Instalar o reemplazar anillos.
- Alinear el motor y la bomba para evitar desgaste del eje, daños en los cojinetes y desperdicio de energía.
- Variar la velocidad en las bombas de flujo axial o de desplazamiento positivo.
- Ajustar los tiempos de ciclaje (arranque y paro).
- Lubricar correctamente y dar un mantenimiento apropiado a las transmisiones; limpiar o reemplazar oportunamente los filtros de aire de succión.
- Evitar que haya fricción y fajas flojas que resbalen, para que no hayan fallas prematuras en los motores.

4.3.2 Ventilación y Acondicionamiento de Aire.

Los sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire consumen grandes cantidades de energía eléctrica (ver Figura 4.2), con el fin de proporcionar un ambiente cómodo en el lugar de trabajo y un ambiente adecuado para ciertos procesos industriales. Estos sistemas no están directamente involucrados con la producción, por lo que se descuida frecuentemente su mantenimiento y así su operación es con un bajo rendimiento.

Estos descuidos ocasionan que el rendimiento de operación sea de un 20% a 30% más bajo que el rendimiento nominal.

Un plan de mantenimiento preventivo bien diseñado es esencial para una operación continua de sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire con el máximo de su rendimiento. Cuando se ensucian las superficies de transmisión de calor, la suciedad y las incrustaciones acumuladas actúan como aislante y, el retardar la transmisión de calor aumenta los gradientes de temperatura, reducen el rendimiento del ciclo de refrigeración. Se recomienda, como mínimo, los siguientes métodos de mantenimiento rutinario:

Mensual o Bimensual.

- Limpiar o reemplazar los filtros de aire (más frecuentemente si así lo exigen las condiciones del ambiente).
- Verificar el estado y la tensión de la faja del ventilador.

-Lubricar los cojinetes del motor y ventilador.

-Verificar los sistemas de tratamientos químicos de la torre de enfriamiento y la calidad de agua.

Anual o Semestral

-Limpiar los serpentines de enfriamiento y del condensador con vapor ó con un limpiador químico.

-Limpiar la acumulación de incrustaciones en el lado del agua del enfriador y los tubos del condensador.

-Verificar la carga refrigerante.

-Calibrar y ajustar los dispositivos de control de temperatura.

-Reemplazar el aislamiento, si está dañado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CEL-CAESS-NRECA. Estudio de Eficiencia de Utilización de Energía Eléctrica en los Sectores Industrial, Comercial y Domiciliar de San Salvador. San Salvador, 1991.
- Centro Salvadoreño de Eficiencia de Energía. Seminario Global sobre Eficiencia de Energía. San Salvador 1993.
- Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, ICAITI. Manual de Utilización y Administración de la Energía en la Industria. Guatemala, 1989.
- Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, ICAITI. El Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en la Industria. Guatemala, 1984.
- Masaya, Hugo Romeo. Auditorías de Energía Clave del Ahorro. Revista ICAITI. Guatemala, 1986.
- Rubinstein, Francis; Siminovitch, Michael; Verderber, Rudolph. Fifty Percent Energy Savings with Automatic Lighting Controls. IEEE Transactions on Industry Applications. July/Agt, 1993. Pg. 768-773.
- BPA Urges Use of ASD and High-Efficiency Motors. IEEE Power Engineering Review. January, 1993.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.0 CONCLUSIONES

5.0.1 CONCLUSIONES DEL CAPITULO I

1. Dentro del equipamiento eléctrico industrial, los motores eléctricos son los que mayor cantidad de energía eléctrica consumen, además los motores de inducción, por ser una carga inductiva, contribuyen al factor de potencia en atraso.

2. Una situación de mucha importancia que debe controlarse en los motores de inducción es su arranque, pues es cuando su demanda se incrementa momentáneamente, siendo esta de 3 a 8 veces su corriente nominal.

3. La mayor parte de fuentes de luz artificial que más se utilizan actualmente necesitan para su funcionamiento balastos tipo magnético, los cuales provocan un factor de potencia en atraso. Este inconveniente es compensado en parte por su eficiencia, pues en cambio, las lámparas incandescentes no usan balastro pero su consumo de corriente es mayor para lámparas de la misma potencia nominal.

4. Una forma rápida (aunque no muy precisa) de comparar la eficiencia entre las lámparas, es observando la distribución de potencia de entrada a la misma (figuras 1.10 a 1.14). Se puede ver que algunas lámparas emiten mayor radiación visible que otras. De acuerdo a esto, la lámpara más ineficiente es la incandescente, ya que del 100% de potencia de entrada sólo un 10% es convertido a radiación visible, el resto corresponde a pérdidas no radiactivas (calor, por ejemplo) y radiación no visible (infrarroja y ultravioleta).

5. La eficiencia y el factor de potencia de los motores eléctricos de inducción están afectados por las condiciones de diseño y operación. Entre estos factores están: velocidad de trabajo del motor (número de polos), nivel del voltaje de operación (alto o bajo), porcentaje de carga con la cual opera, variaciones del voltaje y la frecuencia de la línea. Típicamente los motores más grandes y los que operan a mayor velocidad son los que tienen mejores eficiencias y factores de potencia.

5.0.2 CONCLUSIONES DEL CAPITULO II

1. Por los múltiples usos que se le da a la energía eléctrica en la industria, el costo por este concepto, dentro de los costos de producción, es uno de los más importantes; por lo cual, es necesario conocer todos los aspectos relacionados con el consumo de éste energético para cerciorarse que ésta energía está siendo utilizada con eficiencia y que los desperdicios se mantienen dentro del límite razonable.

2. La cantidad de energía pasando a través de cualquier punto en un sistema de suministro de energía, desde los terminales del generador, hasta la subestación alimentadora, o directamente hasta el consumidor es normalmente medida mediante un medidor de kilowatts-hora.

3. En la facturación del servicio eléctrico para grandes consumidores, además del cargo por energía, se incluye el cargo por demanda, el cual está relacionado con la razón de uso de la energía eléctrica. El costo será mayor cuando para un mismo consumo de energía, la demanda máxima sea mayor, en un período determinado.

4. Existen diversos equipos de medición, tal como los analizadores de energía, que se utilizan para el control de la demanda eléctrica. La inversión que se efectúe en estos instrumentos dependerá del porcentaje de la carga que se pueda controlar. Un análisis cuidadoso determinará si el ahorro monetario por concepto de demanda justifica dicha inversión.

5. El empleo de los medidores electrónicos permitirá efectuar un mejor control de la energía entregada a los usuarios del sector industrial. Tal es el caso de la penalización del factor de potencia, el cual está contemplado en las tarifas eléctricas, pero la CAESS, por falta de equipo de medición no efectúa dicho cargo.

5.0.3 CONCLUSIONES DEL CAPITULO III

1. Es urgente la necesidad de implementar Programas de Manejo de la Demanda en los sectores sociales y productivos del país. La planificación tradicional orienta el desarrollo de la oferta de energía en los planes de expansión de los sistemas; sin embargo la atención al mejoramiento de la eficiencia energética no ha tenido una prioridad bien definida. El Manejo de la Demanda, adecuada a las características de cada carga, permitirá incrementar la disponibilidad de energía con menores inversiones.

2. Muchas empresas tienen un Factor de Potencia menor a 0.9, bajos Factores de Carga e IEEE's (ver Tabla 3.8), por lo tanto es necesario implantar la tarifa No.3 VP (numerales 7,8 y 9), en lo que se refiere a penalización por bajo F. P. y por consumos altos de potencia en "horas pico".

3. En el caso de utilizar equipo para el control de la Demanda (controladores automáticos de demanda, PLC's, etc), las cargas a controlar deben ser ponderadas con anterioridad para determinar si el proyecto es rentable, es decir, si los costos de éstos equipos y dispositivos necesarios para la desconexión se compensan con la reducción en los Cargos por Demanda.

4. Es conveniente instalar multimedidores electrónicos en lugar de los electromecánicos equivalentes, ya que los electrónicos, además de realizar las funciones de los electromecánicos, tienen funciones programables las cuales los hacen más versátiles.

5. Los beneficios más relevantes de la corrección del factor de Potencia son: alivio de la capacidad del sistema, mejora la calidad del voltaje, reducción de las pérdidas de energía. Las empresas industriales obtienen adicionalmente un beneficio económico.

6. De los métodos para la corrección del Factor de Potencia el más popularmente empleado es utilizando banco de condensadores por las ventajas que presenta: bajo costo por KVAR instalado, un fácil manejo y un mantenimiento sencillo y barato. Pero a pesar de ello debe revisarse periódicamente el que estén conectados a la red y funcionando de acuerdo a sus datos de placa.

7. Con el empleo de Bancos de condensadores para la corrección del F.P. se recomienda el uso de controladores automáticos, en aplicaciones de compensación central, para evitar sobrevoltajes y pérdidas eléctricas en la instalación, en condiciones de carga ligera.

8. La inversión inicial que se hace al compensar potencia reactiva a través de condensadores, se recupera relativamente a corto plazo, debido a los ahorros que se obtienen en la factura eléctrica mensual, siempre que sea aplicada la tarifa No.3(VP), en lo que se refiere a penalización por bajo factor de potencia, y además que este factor sea menor o igual que 0.8.

9. Antes de intentar mejorar el F.P. por medio de dispositivos pasivos o activos se recomienda evaluar primero la presencia o no de equipo electrónico generador de armónicos. Si éste fuese el caso, realizar mediciones con un analizador de armónicos, para medir el contenido de estos en la red, y poner en práctica la guía de medidas que se indica en este documento, para evitar la resonancia.

10. Para todo encargado o jefe de mantenimiento es indispensable el conocimiento y la forma de aplicación de la tarifa industrial No.3(VP).

5.0.4 CONCLUSIONES DEL CAPITULO IV

1. Ante el acelerado crecimiento de la Demanda eléctrica y las limitaciones de la oferta, la mejor alternativa a corto plazo puede ser la elaboración e implementación de medidas que concientice y motive al usuario en el uso racional y eficiente de la energía eléctrica. Esto incluye la modificación de la estructura tarifaria actual, elaboración de un programa de incentivos (bonificaciones y/o penalizaciones), educación en el uso de la energía, adiestramiento en el manejo y reparación de equipo eléctrico, actualización de información y estudios realizados en materia de eficiencia de energía, apoyo técnico y económico para la adquisición de equipos más eficientes como por ejemplo motores y luminarias de alto rendimiento, etc.

2. Muchos aspectos relacionados con el consumo de la energía eléctrica tales como el desconocimiento de las tarifas, el comportamiento de la demanda, factores de carga, factor de potencia, y muchos otros, son frecuentemente descuidados, tal vez por falta de información o por otras razones; esto tiene como consecuencia un ineficiente uso del servicio y por tanto facturas elevadas, a la vez que provoca en la empresa generadora y distribuidora de la energía eléctrica una excesiva Demanda en ciertas horas del día; y consecuentemente cierto grado de ineficiencia en el suministro.

3. Utilizar las plantas eléctricas de emergencia (tarifa interrumpible) puede resultar una opción muy interesante y especialmente útil cuando el sistema presenta períodos durante el año en donde la Demanda excede a la Oferta y ofrece la oportunidad a ciertos abonados a desconectarse y utilizar su capacidad instalada en ciertas horas del día, recibiendo por tal operación el pago de la energía generada y una bonificación, en su factura. El análisis de los perfiles de demanda del Sistema CAESS-CEL indican que esta Demanda máxima ocurre en el mes de Diciembre, entre las 18:00 y las 20:00.

4. El problema de la energía en el país no es exclusivo de un sólo sector, las soluciones no serán completas sin la participación de todos. Por lo que es necesario desarrollar programas, planes, pero sobre todo proyectos demostrativos que promuevan la eficiencia de la energía.

5. Organizar y desarrollar campañas educativas de concientización sobre eficiencia de la energía. La eficiencia en el uso de la energía no debe considerarse una

moda pasajera en épocas de crisis, sino como una herramienta que con mínimas inversiones presenta incrementos considerables en la oferta de la energía. Los hábitos de consumo erróneo que posee la población del país no se lograrán cambiar totalmente, por lo que es necesario inculcar hábitos de eficiencia de energía en las futuras generaciones para crear una cultura que sea perenne.

6. Desarrollar seminarios y otras actividades afines al Manejo de la Energía, a nivel gerencial y periódicamente, para las empresas industriales.

7. Inducir en las empresas la capacitación de personal técnico y la adquisición de instrumentos, enfocados ambos al manejo de la energía.

8. Las empresas distribuidoras deben reforzar su información para realizar diagnósticos energéticos en las industrias, y las últimas deben generar indicadores económicos que permitan medir el ahorro.

9. Debe existir comunicación y acercamiento con el usuario, apoyar al cliente brindándole asesoría técnico-económica. Divulgar y promover las nuevas tecnologías que contribuyen al ahorro energético.

10. Organizar campañas educativas de ahorro de energía que penetren a nivel familiar. Aprovechar los recibos mensuales de cargos por energía para enviar folletos informativos que contengan consejos prácticos para ahorrar energía.

11. Concientizar a los niños en la importancia que tienen los recursos naturales para la vida del hombre. En este sentido realizar labor de divulgación y concientización en los niños en edad escolar.

12. Con los programas de uso eficiente de la energía se obtiene un retraso en la construcción de infraestructura eléctrica (presas y plantas térmicas), con el consiguiente impacto positivo en el medio ambiente.

13. Así como de importante es el apoyo de la alta gerencia en el desarrollo de un Programa de Manejo de la Energía, lo es la colaboración de todo el personal de una empresa. De esto concluimos que una campaña de manejo de la energía es indispensable para el seguimiento de programas como los presentados en este trabajo.

14. Existe un equilibrio entre comodidad y ahorro de energía; el cual debe ser determinado en forma realista y sin sacrificar ninguna de las partes.

15. Las fuentes de luz más ineficientes, son las que poseen menor costo inicial, lo cual no significa que sean las más económicas. Así también, en general, las fuentes de luz más eficientes poseen el costo inicial más alto, pero a la larga puede resultar el camino más viable económicamente hablando.

16. Debido al alto costo de los motores, en general, usualmente no es factible reemplazar un motor estándar en buena condición por un motor de alto rendimiento nuevo. Es preferible reemplazar un motor cuando se quema o se ha rebobinado varias veces.

17. Los períodos de recuperación de la inversión inicial extra al ocupar lámparas más eficientes son relativamente cortos, como se ejemplifica en éste capítulo.

18. Al hacer un análisis económico respecto a la iluminación industrial se debe evaluar las condiciones de cada local: altura del montaje, color de las paredes, niveles y tipo de iluminación, etc.

19. Siempre que sea posible debe utilizarse la luz del día como una alternativa económica viable para la iluminación industrial.

20. En cualquier sistema de acondicionamiento de aire deben usarse dispositivos de control automático.

21. La falta de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo ocasiona un alto grado de ineficiencia energética.

22. Dados los limitados recursos naturales, las consecuencias que dejó el conflicto armado y el inadecuado manejo del sector energía, en El Salvador se necesita realizar acelerados esfuerzos para remediar la apremiante situación actual y conseguir a corto plazo un ejemplar manejo del medio ambiente y la conservación y uso eficiente de la energía. Estas medidas contribuirán en buena forma a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

5.1 RECOMENDACIONES

5.1.1 RECOMENDACIONES GENERALES

1. Existe la necesidad de crear una institución que normalice y verifique la calidad del suministro y consumo de energía eléctrica en toda la cadena energética, tanto la oferta como la demanda de la misma. En ésta deberá existir participación multisectorial. Esta institución deberá establecer normas de eficiencia para los equipos y aparatos que se importen, así como para los electrodomésticos producidos o ensamblados en el país (cocinas eléctricas y refrigeradoras, particularmente). Los motores eléctricos de los compresores utilizados en los refrigeradores y congeladores deben tener un factor de potencia comparable a los utilizados en los Estados Unidos y Canadá.

2. Establecer incentivos fiscales y financieros como las tasas preferenciales para las inversiones en el área de manejo de la energía, orientadas a los sectores productivos. Adecuada difusión por parte de las instituciones encargadas de otorgar este tipo de crédito.

En El Salvador, desde principios de 1991 fué establecida por el Banco Central de Reserva una línea especial de crédito para proyectos de estudios de Eficiencia de Energía. Los términos de esta línea son los siguientes:

| | |
|-------------------|------------------|
| Interés | : tasa comercial |
| Periodo | : hasta 8 años |
| Periodo de gracia | : hasta 2 años |

Pero según se sabe, la industria nacional no ha aprovechado plenamente estos incentivos. Esto se debe en parte, a que no ha habido suficiente difusión por parte de los bancos del sistema, y a que posiblemente no cuentan con personal técnico que puede procesar con agilidad este tipo de créditos.

3. Modificar el mecanismo de aplicación de la Demanda de Arrastre a las empresas que mejoren su factor de potencia, y suavicen su Perfil de Demanda, como parte de un Programa de Manejo de la Demanda.

4. Establecer normas de funcionamiento para los equipos reparados, especialmente en lo concerniente a los motores eléctricos. Elaborar programas educativos y de adiestramiento para la reparación adecuada de estos equipos. Se sabe que en el extranjero existe información actualizada al respecto.

5. Buscar los mecanismos para subvencionar un porcentaje de la inversión para la adquisición de equipo eléctrico nuevo más eficiente.

5.1.2 Observaciones a las Tarifas Vigentes Aplicables al Subsector Eléctrico en El Salvador.

En El Salvador las tarifas eléctricas se dividen en dos partes:

a) Las tarifas de venta en bloque, que comprende los precios a los cuáles la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) vende la energía eléctrica a las empresas distribuidoras.

b) Las tarifas de venta aplicables al consumidor final por las empresas distribuidoras.

La estructura tarifaria vigente fué establecida en Junio de 1991 y está compuesta por una tarifa de venta en bloque a distribuidoras y seis tarifas de venta al consumidor final. Estas últimas están divididas en: Servicio Doméstico, Servicio General a voltaje primario, voltaje secundario, Servicios Provisionales (tratamiento de acuerdo a cada caso particular), servicio público de bombeo de agua y servicio de alumbrado público.

De las tarifas al consumidor final, únicamente el servicio doméstico y una de las tarifas comerciales tienen cargos diferentes por bloque de consumo (a mayor consumo, mayor precio), los demás tienen un cargo único por demanda, cuando es aplicable, y el cargo por energía, independiente del consumo.

Después de estudiar las tarifas se establecieron las siguientes observaciones:

1. En el caso de la tarifa No.3(VP) ésta establece cargos que pueden motivar la implementación de estrategias en la conservación de la energía, tales cargos son: Demanda de Arrastre, Consumo excesivo en horas pico y penalización por bajo Factor de Potencia .

Aunque para la distribuidora CAESS, el segundo y tercer cargos aún no están siendo aplicados debido a que no han existido las condiciones para ello (mecanismos adecuados para efectuar las mediciones). En la figura 5.1 se muestra una factura para un usuario de la tarifa No.3(VP) en la cual se observa que efectivamente sólo se facturó Demanda de Arrastre (bajo el título "cargo por demanda") y la energía consumida (bajo el título "cargo por energía").

Se considera que estas deficiencias en la facturación son las que impiden que los usuarios del sector industrial

efectúen mejoras en sus instalaciones y tomen con seriedad el problema de energía que nos aqueja. La aplicación de estos cargos, en el uso de la energía, será el principal factor motivante con el cual los empresarios implementaran, en sus plantas, programas orientados al uso eficiente de la energía eléctrica (Manejo de la Energía y Manejo de la Demanda), ya que descubrirán que es más beneficioso económicamente, emplear estos programas que pagar altas penalizaciones al consumir la energía en forma inadecuada.

2. Para el adecuado control de la energía entregada será necesario sustituir en los puntos de entrega de los usuarios (especialmente en los que corresponden a las tarifas No.3VP y No.5B), los actuales medidores de inducción con la instalación de multimedidores electrónicos (analizadores de energía), los cuales presentan características versátiles que permitirán controlar los términos y condiciones que establezcan las tarifas eléctricas.

COMP. A DE ALUMBRADO ELECTRICO DE SAN SALVADOR

| MEDIDOR No. | MULTIPLICADOR | GARANTIA | CUENTA |
|-------------|---------------|----------|-------------|
| 492004 | 1200 | 4825003 | 30 31 16000 |

CAJAS Y BOLSAS S A
BLV DE ILOPANGO KM 7 SOYAPANGO
A/C. BANCO CUSCATLAN 0803-00014

RECIBO POR SERVICIO ELECTRICO

| MAXIMA DEMANDA | | | | CARGO POR DEMANDA |
|----------------|---------|-----------|----------|-------------------|
| LECTURA | KVA MES | KVA FACT. | OCURRIDO | |
| 1792 | 1550.4 | 1690 | 06 93 | 56,023.50 |

| LECTURAS ENERGIA | | | CONSUMO KWH | CARGO POR ENERGIA |
|------------------|----------|--|-------------|-------------------|
| ACTUAL | ANTERIOR | | | |
| 3226.1 | 2775.2 | | 541080 | 265,752.44 |

OTROS

| REGISTRO No. 321-2 NIT 0614-171190-0013 GIRO: LUZ Y FUERZA ELECTRICA | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">SERVICIO A</th> <th style="text-align: center;">DIAS</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">DIA</th> <th style="text-align: center;">MES</th> <th style="text-align: center;">AÑO</th> <th style="text-align: center;">SERV.</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">21</td> <td style="text-align: center;">02</td> <td style="text-align: center;">94</td> <td style="text-align: center;">31</td> </tr> </table> | SERVICIO A | | | DIAS | DIA | MES | AÑO | SERV. | 21 | 02 | 94 | 31 | IMPORTE TOTAL 322,775.94 |
|--|--|------------|-------|--|------|-----|-----|-----|-------|----|----|----|----|------------------------------------|
| SERVICIO A | | | DIAS | | | | | | | | | | | |
| DIA | MES | AÑO | SERV. | | | | | | | | | | | |
| 21 | 02 | 94 | 31 | | | | | | | | | | | |

05770

NOTIFICACION: _____
 APRECIABLE CONSUMIDOR:
 El plazo para pagar este recibo
 vence el:

fecha _____

TRIPPLICADO

AVISO DE COBRO

Figura 5.1 Factura de servicio eléctrico. Tarifa No.3(VP). No incluye penalización por bajo F.P.

3. La tarifa actual No.3 (VP) se debe sustituir por una multitarifaria, la cual incluya tarifas diferenciadas (en KW-H y KVA), dependiendo de la hora del día. Con esto se motivará al industrial a desplazar la carga a horas de baja demanda porque el costo sería menor. Se podrían establecer tres períodos de consumo de acuerdo al perfil de carga del sistema: Región de demanda máxima, demanda intermedia y "valle".

4. En base a la experiencia de otros países de la región, y considerando que una demanda de 25 KVA en pequeñas fábricas y comercios es significativa, se propone: modificar la tarifa No.3VP, literal 1, el cual establece un límite menor de cincuenta kilovoltio-amperio (50 KVA) de demanda, por un límite de 25 KVA.

5. El inciso 15, literal (a) de la Tarifa Unificada al Consumidor Final, cual establece elaborar programas para el control de los consumidores. Estos programas consisten básicamente en la suspensión del servicio a equipos eléctricos no esenciales. Este mecanismo para el Control de la Demanda debe legalizarse como una tarifa especial dentro de la tarifa No.3 (VP) y No.5(B). Además Este inciso no especifica cuáles podrían ser los incentivos a otorgar, que en todo caso son los que permiten al usuario decidir qué alternativas le convienen.

6. Existe la necesidad que las tarifas eléctricas exijan (especialmente a las tarifas No.3VP y No.5B), a cada empresa usuaria del servicio, la creación de una Unidad que tenga como función, verificar que dentro de la instalación la energía eléctrica esté siendo utilizada eficientemente. La empresa que suministra el servicio deberá supervisar el trabajo desarrollado por estas Unidades, e imponer algún tipo de penalización si algunas metas que se asignen no son alcanzadas y bonificar cuando sí lo sean.

5.1.2.1 Comparación entre Tarifa Real y Vigente.

A pesar de los incrementos que se han dado durante el actual gobierno, el nivel de las tarifas todavía está por debajo del nivel real de las mismas, siendo el más subvaluado el correspondiente al cargo por potencia. En la

Tabla 5.1 se hace una comparación entre el nivel actual de las tarifas vigentes y cual debería ser éste de acuerdo a los costos de las empresas eléctricas.

A pesar de lo anterior, no es recomendable alcanzar con un sólo incremento el costo real del servicio

eléctrico, sino que debe realizarse de una forma escalonada. El ajuste tarifario podría permitir el incentivo de eficiencia

Tabla 5.1 Comparación tarifa real y vigente.

| CARGO | TARIFA ACTUAL* | TARIFA REAL* | DIFERENCIA |
|---------------------------|----------------|--------------|------------|
| VENTA EN BLOQUE | | | |
| ENERGIA (¢/KWH) | 0.3534 | 0.64321 | 0.2887 |
| POTENCIA (¢/KVA) | 21.15 | 112.71 | 91.56 |
| VENTA AL CONSUMIDOR FINAL | | | |
| ENERGIA (¢/KWH) | 0.4648 | 0.6982 | 0.2334 |
| POTENCIA (¢/KVA) | 33.15 | 158.90 | 125.75 |

*promedio ponderado para todos los rangos de consumo.

Fuente: Seminario Taller. Manejo de la Demanda. CSEE. San Salvador, 1993.

económica en el uso de los recursos y lograr la sanidad financiera de las empresas del subsector eléctrico, para lograr el desarrollo del mismo, sin descuidar, por supuesto, las prioridades sociopolíticas. La capacidad económica de las distribuidoras permitiría ofrecer mejores incentivos orientado a la Eficiencia de la Energía.

5.1.3 Incentivos que se Ofrecen en Otros Países para Promover la Conservación de la Energía 2.

La Administración de Potencia Bonneville (Bonneville Power Administration, BPA), la mayor distribuidora del servicio eléctrico en el Noroeste del Pacífico (Pacific Northwest, U.S), ha desarrollado varias herramientas técnicas para ayudar a las empresas en la aplicación de tecnologías que permitan obtener ahorros de energía en sus procesos industriales.

La BPA ha descubierto que es más económico desarrollar e implementar la Conservación de la Energía, que construir nuevas presas hidroeléctricas ó plantas nucleares. En 1993

2 BPA Urges Use of ASD and High-Efficiency Motors. IEEE Power Engineering Review. January, 1993.

BPA implementó el llamado Plan de Ahorros de Energía (Energy Savings Plan, ESP) para promover la conservación de la energía en el sector industrial, recompensando a los usuarios que utilicen tecnologías más eficientes.

Para hacer fácil a las compañías obtener ahorros monetarios, BPA inició en 1992 el Programa de Rebaja de Precios en Motores de Alta eficiencia (Energy Efficient Motors Rebate Program). Esto proporcionó a las compañías la opción de solicitar un descuento de hasta el 20% en el costo de adquisición de un motor de alto rendimiento.

La BPA ha desarrollado dos publicaciones: Guía para la aplicación del controlador automático de velocidad (Adjustable Speed Drive Application Guidebook), publicado en 1990, y el Manual para la Selección de Motores Eléctricos de Alta Eficiencia (Energy-Efficient Electric Motor Selection Handbook) publicado en 1991.

Este último tiene todo lo que las empresas necesitan conocer para evaluar oportunidades utilizando motores de alta eficiencia.

Además, se creó "MOTORMASTER", un programa software compatible con IBM el cual compara las especificaciones y ahorros de energía en más de 7,000 motores eléctricos trifásicos. MotorMaster compara las características de operación, eficiencia, precio, costo de operación, reducciones en la facturación y recuperación de la inversión, para todos los motores de 1 a 500 hp que actualmente existen en el mercado norteamericano.

Desde inicio de 1993, con \$50(U.S.) de cuota de inscripción, los usuarios pueden recibir semestralmente actualizaciones de MotorMaster, la guía de referencia del usuario y el servicio de ayuda telefónica.

BPA también está trabajando en el desarrollo de una guía de rebobinado de motores eléctricos, el cual describirá los procedimientos para obtener excelente calidad en las prácticas de rebobinado, explicará técnicas para determinar si los motores pueden y deben ser rebobinados, identificará las condiciones bajo las cuales un motor nuevo de alta eficiencia es la decisión más económica y describirá prácticas de mantenimiento en motores.

Esta información está disponible en un sólo paquete denominado "Tools for Evaluating High-Efficiency Electric Motor Applications". Se puede solicitar información en Electric Ideas Clearinghouse, Washington State Energy Office, 809 Legion Way SE. P.O. Box 43165, Olympia, WA 98504-3165, o llamando al teléfono (206)586-8588.