



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON**

***“PROYECTO DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
EN LA EMPRESA MABE MÉXICO,
S. DE R. L. DE C.V.”***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO-ELECTRICISTA
ÁREA: ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA

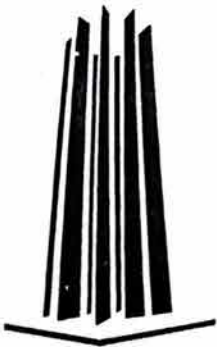
P R E S E N T A:

DANIEL SALAZAR LUCERO

ASESOR:

ING. FRANCISCO RAÚL ORTÍZ GONZÁLEZ

SAN JUAN DE ARAGÓN ESTADO DE MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2004.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis amados padres:

Sra. Rafaela Lucero Cortés.

Sr. Guillermo Salazar Pérez.

*Cuyo cariño, enseñanzas y ejemplo,
han sido siempre mi guía.*

A mis queridos hermanos:

Jorge y Diana

Con admiración y respeto.

A mi familia:

Por su apoyo incondicional.

A los señores:

Ing. Francisco Raúl Ortiz González.

Ing. Marco Antonio Félix Quiroz.

Por su valiosa ayuda y asesoramiento.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

*A la Escuela Nacional de Estudios Profesionales
Campus Aragón.*

A mis maestros.

*A todas aquellas personas que con
su apreciable ayuda hicieron
posible este trabajo.*

CONTENIDO GENERAL

	PÁG.
INTRODUCCIÓN	I
CAPÍTULO I	
METODOLOGÍA DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	1
CAPÍTULO II	
AHORRO DE ENERGÍA EN ILUMINACIÓN Y MOTORES	16
CAPÍTULO III	
SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL DE MABE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.	41
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE MABE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.	53
CAPÍTULO V	
PROPUESTAS DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	85
CONCLUSIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	105
REVISTAS TÉCNICAS	106
FASCÍCULOS	107
CURSOS Y TALLERES	108
GLOSARIO	109
ANEXOS	119

CONTENIDO

PÁG.

INTRODUCCIÓN	I
CAPÍTULO I	
METODOLOGÍA DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	
1.1 <i>DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO</i>	1
1.2 <i>TIPOS DE DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS</i>	2
1.3 <i>ETAPAS DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO</i>	3
1.4 <i>ELABORACIÓN DE REPORTES TÉCNICOS</i>	8
1.5 <i>BALANCES DE ENERGÍA</i>	9
1.6 <i>ÍNDICES ENERGÉTICOS</i>	11
1.7 <i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i>	12
1.8 <i>ANÁLISIS CORRELACIONAL</i>	14
CAPÍTULO II	
AHORRO DE ENERGÍA EN ILUMINACIÓN Y MOTORES	
2.1 <i>TIPOS DE LÁMPARAS Y SU APLICACIÓN</i>	16
2.1.1 <i>TÉCNICAS DE AHORRO DE ENERGÍA</i>	22
2.1.2 <i>CÁLCULO DE ILUMINACIÓN INDUSTRIAL</i>	25
2.2 <i>MOTORES ELÉCTRICOS</i>	28
2.2.1 <i>TIPOS DE MOTORES</i>	29
2.2.2 <i>PÉRDIDAS DE ENERGÍA Y EFICIENCIA</i>	32
2.2.3 <i>CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS DE LOS MOTORES</i>	36
2.2.4 <i>MOTORES DE ALTA EFICIENCIA</i>	39
CAPÍTULO III	
SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL DE MABE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.	
3.1 <i>SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL</i>	41
3.1.1 <i>ANÁLISIS DE LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA</i>	44
3.1.2 <i>CONSUMOS ESPECÍFICOS</i>	50
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE MABE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.	
4.1 <i>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO</i>	53
4.2 <i>MEDICIONES ELÉCTRICAS</i>	54
4.3 <i>EFICIENCIA E ÍNDICE DE CARGAS EN LOS TRANSFORMADORES</i>	55
4.4 <i>ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN UN TRANSFORMADOR</i>	57
4.5 <i>PERFILES DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN LOS TRANSFORMADORES</i>	59
4.6 <i>MOTORES ELÉCTRICOS</i>	72
4.7 <i>SISTEMA DE ILUMINACIÓN</i>	75

	PÁG.
CAPÍTULO V	
PROPUESTAS DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
5.1 CAMBIO DEL 2° TURNO AL 3ER. TURNO DE PRODUCCIÓN DEL ÁREA DE FABRICACIÓN	85
5.2 MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	88
5.3 ADECUACIÓN DEL SISTEMA MOTRIZ	97
CONCLUSIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	105
REVISTAS TÉCNICAS	106
FASCÍCULOS	107
CURSOS Y TALLERES	108
GLOSARIO	109
ANEXOS	119

El segundo capítulo presenta los principales elementos que constituyen los sistemas de iluminación y motores, así como las principales características que deben ser consideradas para un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica.

En el tercer capítulo se muestra la presentación de la empresa Mabe México, S. de R. L. de C. V., y se menciona la situación energética en que se encontró a ésta empresa, mostrando también los costos y consumos específicos en la producción, abarcando con ello, la primera, segunda y principios de la tercera etapa del diagnóstico energético.

En el cuarto capítulo se desarrolla el análisis del sistema eléctrico, tanto en iluminación como en el sistema motriz, en donde se abarca por completo la tercera y cuarta etapa del diagnóstico energético, presentando metodologías avaladas por especialistas en el área y por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica.

El quinto capítulo ofrece el análisis energético de las propuestas presentadas al consejo ejecutivo de Mabe México, S. de R.L. de C.V., de la tecnología a implementarse en iluminación y motores, así como un análisis económico de los costos de operación y el periodo simple de recuperación, con lo cual se cubre la quinta parte del diagnóstico energético.

CAPÍTULO I.

METODOLOGÍA DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

1.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Un diagnóstico energético (DEN), es la aplicación de un conjunto de técnicas que permiten determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora de energía, para así, establecer el punto de partida para la implantación y desarrollo de las medidas de ahorro de energía, determinando dónde y cómo es utilizada la misma, además de especificar cuanta es desperdiciada.

Hay que tomar en cuenta, que el diagnóstico energético es una herramienta, no la solución al control de costos energéticos. Este identifica las áreas de mayor consumo de energía, llamando la atención al desperdicio energético y a los procesos y operaciones ineficientes, apuntando a aquellas áreas en las cuales se puede lograr un mayor ahorro.

El objetivo final es la identificación de medidas técnicas y económicas rentables para el ahorro de energía en toda la empresa.

Para llegar a este objetivo, se emplean las siguientes metas:

- El análisis preliminar de datos sobre consumos, costos de energía y de producción, para mejorar el entendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de la planta.
- Obtener el balance energético global de la planta, así como los balances energéticos específicos de los equipos y líneas de producción intensivas en consumo de energía para su cuantificación.
- Identificar las áreas de oportunidad que ofrecen potencial de ahorro de energía.
- Determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo.
- Analizar las relaciones entre los costos y beneficios de las diferentes determinaciones dentro del contexto financiero y gerencial de la empresa, para poder priorizar su implantación.

- Desarrollar un plan de acción para la realización de todos los proyectos de ahorro de energía, incluyendo fechas, metas y responsabilidades; tal plan de acción permitirá reemplazar y dar continuidad al Programa de Ahorro de Energía de la empresa.

1.2 TIPOS DE DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS

Dependiendo del grado de profundidad con que se realice un diagnóstico energético, este puede ser clasificado por dos tipos genéricos, que son:

1.- **Diagnóstico Energético de Primer Nivel (DEN.1).**- Es esencialmente una recolección preliminar de información y su análisis, con énfasis en la identificación de fuentes evidentes de posible mejoramiento en el uso de la energía. El DEN.1 proporciona al gerente una visión general de los patrones de utilización y los costos de la energía, este puede proporcionar una guía para ajustar el sistema de recolección de datos y análisis, así como proporcionar al personal de operación una nueva perspectiva con respecto a los equipos y su adecuada operación.

2. **Diagnóstico Energético de Segundo Nivel (DEN.2).**- Proporciona un análisis completo de toda la parte energética de una planta, tanto equipos y sistemas auxiliares, como también los detalles de los procesos. En un DEN.2 la medición de los parámetros eléctricos de los principales equipos consumidores de energía es fundamental.

Hay quienes manejan otros dos tipos o niveles de diagnósticos energéticos, que no son sino variaciones del nivel de profundidad de los anteriores. Estos son:

A) **Pre-Diagnóstico Energético (DEN.0).**- Es una modalidad del DEN.1, donde con la información disponible (esencialmente datos históricos de la facturación energética y la producción) y, un recorrido por las instalaciones, así como con entrevistas con el personal encargado del mantenimiento, se realiza el diagnóstico. Este tipo de diagnósticos pretende tener una primera imagen de las áreas de oportunidad en materia de ahorro de energía.

B) **Diagnóstico Energético de Tercer Nivel (DEN.3).**- Es una modalidad del DEN.2, donde el análisis del proceso es muy exhaustivo, incorporándose el análisis para diferentes tecnologías de producción. Para la realización de este tipo de diagnósticos es imprescindible la participación de un especialista en el proceso de la industria a diagnosticar. Este tipo de diagnósticos prácticamente no se realizan en México, debido a que su costo es muy alto y a que normalmente un DEN.2 se arrojan oportunidades de ahorro de energía que pueden ir desde un 10 hasta un 30%, con inversiones cuyo período de recuperación suele ser menor a los 2 años.

Equipo de Medición Empleado

En un diagnóstico energético la información recabada acerca de la operación de los equipos y sistemas de la instalación a auditar es fundamental. Es por ello que el diagnóstico energético, principalmente el de nivel 2, requiere de un gran esfuerzo para realizar mediciones de las condiciones energéticas de operación.

En la **Tabla 1.1.** se enlistan los instrumentos básicos que normalmente se emplean en la realización de un diagnóstico energético. Dicha lista es indicativa no limitativa. En la práctica, dependiendo de la instalación a auditar se seleccionará el equipo de medición a emplearse.

Tabla 1.1. Equipo Utilizado en un DEN.

Termómetro
Voltímetro
Amperímetro
Factorímetro
Luxómetro
Anemómetro
Medidor de flujo
Manómetro
Analizador de redes

1.3 ETAPAS DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Un diagnóstico energético generalmente se rige por una serie de pasos, los cuales han sido elaborados de acuerdo a las experiencias personales de cada consultor, pero sin duda alguna en términos generales los principales son cinco, los cuales se muestran a continuación:

Paso No. 1: Planear los Recursos y el Tiempo

Una buena preparación y planificación antes de llegar a la planta, asegura la utilización óptima de los recursos y del tiempo disponible para completar el diagnóstico. El equipo del DEN tiene que revisar toda la información disponible sobre la planta y, dividir entre ellos las tareas de recopilación de datos y mediciones. Dentro de las actividades de planificación necesarias para el éxito del trabajo, se tiene que:

1. Revisar toda la información disponible sobre la planta, como por ejemplo:

Tamaño de la planta, su edad y localización,

Estructura administrativa de la planta,

Tipos de líneas de producción y productos principales,

Horarios típicos de operación de la planta,

Consumos energéticos anuales (incluye demanda máxima) y,

Costos de combustibles y tarifas eléctricas aplicables.

2. Identificar la instrumentación que será utilizada para obtener datos durante el DEN y asegurarse de su estado, a fin de tomar las providencias necesarias para que esté en condiciones adecuadas al momento en que se requiera utilizarla.

3. Elaborar un cronograma de trabajo en el que se indiquen las fechas en que se reportarán avances al representante de la empresa.

Paso No. 2 Recopilar datos en sitio

Deben reunirse datos de todo aquello relacionado con el uso de la energía de la planta, incluyendo en forma indicativa, pero no limitativa, lo siguiente:

- Consumos mensuales correspondientes a los últimos 12 meses de operación, de los diferentes energéticos utilizados en la planta,
- Producción de la planta durante los períodos correspondientes; propiedades y consumo de materias primas (si esta disponible),
- Horarios típicos de operación de la planta,
- Identificación de los principales equipos consumidores de energía,
- Características físicas de la planta, su estado general, así como el estado y edad de los equipos más importantes,
- Planes para el futuro, como por ejemplo: cambios de procesos o incrementos en la capacidad productiva y problemas que estuviera enfrentando la planta,
- Características y capacidades de los equipos consumidores de energía en la planta, incluyendo datos tanto de diseño, como de operación actual,
- Estructura administrativa de la planta, criterios para la toma de decisiones (por ejemplo, período de amortización máximo, tasa interna de retorno mínima, etc.)

La mayoría de estos datos se pueden obtener a través de entrevistas con el personal adecuado de la planta y, a través de las observaciones realizadas en un recorrido por la planta.

Una inspección visual a la instalación, deberá mostrar oportunidades para mejorar el uso de energía y evitar derroches, como son:

- Superficies calientes descubiertas, o con aislamiento en malas condiciones,
- Fugas de vapor, agua, combustible, aire o de otros fluidos costosos,
- Sistemas de iluminación funcionando innecesariamente,
- Equipo operando innecesariamente,
- Sistemas de control mal ajustados o en mal funcionamiento,
- Horarios de operación de equipos desajustados con los horarios de producción.

Paso No. 3: Tomar Mediciones

La toma de mediciones durante el trabajo del DEN tiene tres objetivos, que son:

- Complementar los datos recopilados de la planta, para que se tenga un mejor respaldo técnico en áreas donde la información de la planta no esté disponible,
- Comprobar la operación de equipo importante en la planta, logrando una mejor base para las estimaciones de ahorros potenciales, proporcionando una idea objetiva de la eficiencia de la planta,
- Apoyar a la elaboración del balance energético global de la planta.

La cantidad de mediciones y los equipos a medir, quedan al criterio del equipo auditor, dependen de la situación de la planta, la existencia de datos confiables y el tiempo disponible.

Paso No. 4: Analizar los Datos

Una vez que los datos han sido reunidos, deberán ser analizados de acuerdo a los siguientes pasos:

- Desarrollar una base de datos de consumos de la planta,
- Calcular los costos de los energéticos,
- Elaborar balances energéticos de la planta,
- Preparar índices de consumo de energía,
- Evaluar la operación de la planta,
- Estimar el potencial de ahorro de energía.

Desarrollo de la Base de Datos

La base de datos será usada muchas veces a lo largo del DEN, debiendo ser tan completa y exacta como sea posible y continuamente perfeccionada a medida que el DEN progrese. Esta deberá incluir los siguientes aspectos:

Consumos y Costos Históricos de los Energéticos.- Se deberán reunir datos de todas las formas de energía sobre una base periódica, que es generalmente un mes o el período de factura de la compañía de servicio público. En el DEN se deben usar los datos de los últimos 2 meses de operación de la planta. Sin embargo, si se incorpora más de un año de datos, el cuadro de consumo de energía será más completo.

Volúmenes de Producción Históricos.- Se deben reunir los datos de producción para el mismo período que el de consumo y costo de la energía, de tal modo que se puedan correlacionar.

Diagramas de Flujo de Procesos.- La inspección visual permite identificar los principales consumidores de energía dentro de la instalación y generar una serie de diagramas de flujo de materia y energía a través de la planta. Previo a su evaluación, se deben combinar notas y bosquejos en diagramas de flujo, señalando detalles del tamaño físico, instrumentación y capacidades junto con la fecha y condiciones de operación del momento de la inspección. Se deben incluir también notas de los regímenes de flujo de materia y energía

Los diagramas deben prepararse de tal forma que puedan usarse como formato para registrar diferentes condiciones de operación. Es recomendable anotar en este tipo de diagramas las condiciones óptimas de operación como objetivo de referencia.

Inventario de Equipos Consumidores de Energía.- En función del tiempo previsto para realizar el DEN, no siempre es posible hacer un inventario completo de los equipos que consumen energía en la planta. Sin embargo, se deberá hacer lo posible por identificar al menos el equipo que signifique el 85% del consumo.

Los equipos se clasifican de acuerdo al tipo de energía que consumen. Los regímenes o capacidades de los equipos para las distintas fuentes de energía, deben ser sumados y comparados con el consumo actual de energía, obtenido de la base de datos de consumos de energía.

Cálculos de los Costos de los Energéticos

Los costos de los energéticos empleados en el proceso productivo se pueden dividir de dos formas:

La primera parte debe determinar las cantidades relativas de diferentes fuentes energéticas usadas, así como su costo neto. Se debe indicar el valor relativo de cada tipo de combustible y cual representa la fuente principal de energía.

La segunda consiste en el análisis de las tarifas existentes bajo las cuales cada tipo de energético es adquirido, sentando así las bases de los cálculos de ahorro.

Estos análisis llevan los cálculos de costos de diferentes parámetros, como por ejemplo: el costo de los servicios auxiliares generados en la planta (vapor, aire comprimido, agua helada), y el costo de fugas y desperdicios (fugas de aire y vapor, emanación de gases calientes por la chimenea, condensados no recuperados, etc.).

Elaboración de Balances Energéticos

El siguiente paso en la evaluación de los datos recopilados, es la elaboración de los balances energéticos. Los balances permiten validar hasta cierto punto los datos recopilados, y su elaboración ayuda a identificar datos faltantes o inconsistentes.

Índices de Consumo de Energía

Los índices energéticos son usados para determinar la eficiencia energética de los procesos y consecuentemente el potencial de ahorro de energía.

Estos índices pueden servir también para comparar la eficiencia de diferentes plantas, pero son más valiosos en el seguimiento de la eficiencia de una misma planta a través del tiempo y bajo una variedad de condiciones.

Operación de la Planta

El DEN provee información sobre la operación de la instalación y los procesos usados en la fabricación de los distintos productos. Los índices de consumo energético relacionados con producción indican como varía el uso de la energía en el período de referencia, cuando estos índices se desvían del valor medio, o se encuentran arriba de los valores estándares para el tipo de proceso, puede haber oportunidades de mejoras en la eficiencia energética.

La razón para tales desviaciones puede no estar necesariamente relacionada con la operación de la planta, por ejemplo: variaciones climatológicas, calidad de materia prima entre otros.

El auditor debe estar consiente de este tipo de situaciones, y asegurarse de tener la información correspondiente para poder identificar las causas de las variaciones en los consumos.

Algunos de los signos de una mala operación en la planta son obvios por ejemplo; equipo en mal funcionamiento, instrumentación y controles en mal estado por falta de reparaciones, materiales de desperdicio regados por la instalación, tubos de luz dañados y equipo operando innecesariamente. Esto implica que el panorama para mejoras será grande en una instalación así.

Es improbable que una planta mal operada cuente con buenos registros, siendo entonces difícil determinar las condiciones de operación. Si éste es el caso, se deberán investigar a detalle las causas de sus deficiencias. Las recomendaciones deberán presentarse de forma precisa y detallada, tomando en cuenta la realidad de la situación en la planta.

Paso No. 5: Estimación del Potencial de Ahorro Energético

La estimación del potencial de ahorro depende de las observaciones durante el recorrido por la planta y de las mediciones, así como de la experiencia del equipo auditor. Las oportunidades de ahorro de energía que resultan de un DEN determinan de una forma preliminar el alcance de este potencial, que generalmente estará dado en términos de porcentajes

Cuando no se tiene absoluta certeza de los potenciales de ahorro, o cuando no se tiene mucha experiencia en un área específica donde se detecte una oportunidad de ahorro de energía, para realizar la estimación del potencial de ahorro, será necesario realizar mediciones específicas del consumo actual, así como cálculos de los consumos esperados después de implantar las medidas de ahorro.

1.4 ELABORACIÓN DE REPORTES TÉCNICOS

El paso final es el de preparar un reporte que contenga las observaciones y conclusiones del DEN, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía y el plan de acción para implantarlas, conteniendo las bases y los pasos seguidos en el análisis. Este reporte también deberá de presentar todos los datos energéticos básicos de la planta en una forma consistente para que se puedan comparar con los parámetros energéticos de diferentes plantas. Un buen reporte deberá contener la información en forma detallada y estar distribuida de la siguiente forma:

Resumen Ejecutivo

El propósito del resumen es el de permitir a la alta gerencia el obtener en forma breve todos los resultados importantes y, entender de inmediato los resultados del diagnóstico, así como los costos y beneficios de las recomendaciones. Este resumen no deberá de sobrepasar cuatro cuartillas.

Capítulo 1. Descripción de la Planta

Este capítulo sirve como un marco de referencia de la planta en el momento en que se realizó el diagnóstico. Este deberá contener en resumen los datos básicos de la planta en forma concisa y directa. La información de base que deberá estar en estas páginas incluirá lo siguiente:

- Datos generales de la planta, como son: localización, tamaño, edad,
- Tipos de líneas de producción; departamentos y productos principales,
- Consumos energéticos anuales incluyendo demanda eléctrica máxima,
- Costos de combustibles y tarifas eléctricas aplicables.

Capítulo 2. Análisis de Consumos Energéticos

En este capítulo se presentan los datos recopilados y analizados con referencia al consumo energético de la planta. La descripción de la situación energética deberá de venir acompañada por gráficos como:

- Balance energético global de la planta,
- Variaciones mensuales de consumo de energía y producción.

Este capítulo deberá contener una descripción de los principales índices energéticos que apliquen.

Capítulo 3. Recomendaciones y Medidas de Ahorro

Una vez realizado el análisis de consumos energéticos se llevará a cabo el resumen de recomendaciones y medidas de ahorro, por lo que el capítulo tres puede definirse como el más importante, ya que depende de estas las acciones a implementarse en la empresa. Este reporte se podrá dividirse en dos partes como se indica a continuación:

- La primera parte de éste capítulo describe la situación encontrada en la planta, y las observaciones del equipo auditor. Se presenta aquí una apreciación general del estado de la planta, incluyendo el estado del equipo, el estado de mantenimiento, la calidad del personal y la calidad de producción. Se mencionan observaciones específicas ligadas con derroches o ahorros de energía.
- En la segunda parte se presentan las oportunidades de ahorro. Cada una de las cuales deberá venir en su página aparte con los siguientes incisos:
 1. **Recomendación:** una presentación clara y concisa de las acciones a tomar para poder lograr los ahorros esperados.
 2. **Estimación de Ahorro:** presentación de las suposiciones y los cálculos que se hicieron para llegar al ahorro estimado de la recomendación.
 3. **Estimación de Inversión:** explicación de las suposiciones y los cálculos que se hicieron para llegar a la inversión requerida para realizar la recomendación
 4. **Análisis Financiero:** donde se determine la rentabilidad económica del proyecto. Este deberá contener el Valor Presente Neto, la Tasa Interna de Retorno, y el Período de Recuperación de la Inversión.

1.5 BALANCES DE ENERGÍA

Un balance de energía es el conjunto de relaciones físicas y estructurales, que ponen de manifiesto todos los mecanismos por los cuales la energía se produce, se transforma, distribuye y consume. Las relaciones físicas son aquellas que dependen fundamentalmente de los procesos tecnológicos de producción, transformación, distribución y consumo. Ejemplo de este tipo de relaciones, es el rendimiento con el que se efectúa cada uno de los procesos; las relaciones estructurales son las que tienen que ver con las características del uso final de la energía, como podría ser la racionalización energética, la sustitución entre formas análogas de energía, etc.

Técnicas de Representación Visual

A partir de lo señalado en la sección anterior, es fácil identificar que un balance de energía es información con datos cuantitativos acerca de la producción, transformación, distribución y consumo de energía, en muchos casos, y este es el caso de los balances de la energía, el contar con una serie de datos y números que no permiten claramente conceptualizar la interrelación existente entre unos y otros.

Es por eso que se utilizan técnicas de representación visual, con las cuales se facilita el proceso de análisis y conceptualización de la información. Las principales técnicas de representación visual para la elaboración de balances de energía son:

Diagrama de Pastel: El cual permite analizar la estructura de producción o consumo por fuente de energía o bien su estructura entre áreas, sectores o regiones.

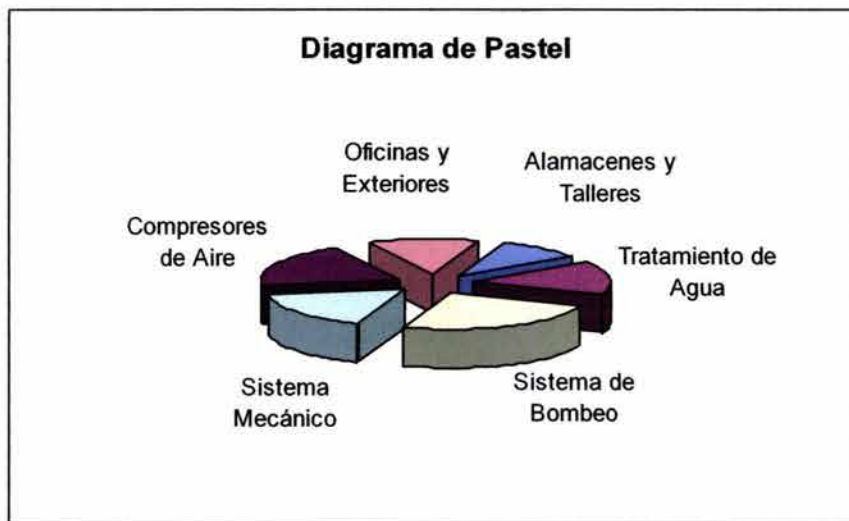


Diagrama de Barras. Permite analizar el comportamiento histórico de consumo o producción, así como establecer comparaciones entre diferentes áreas, sectores o regiones.

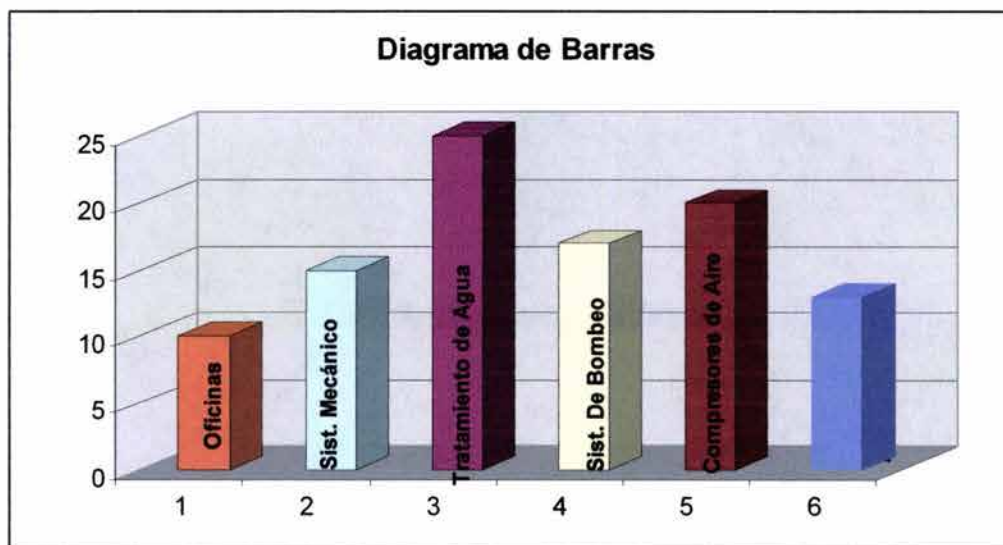
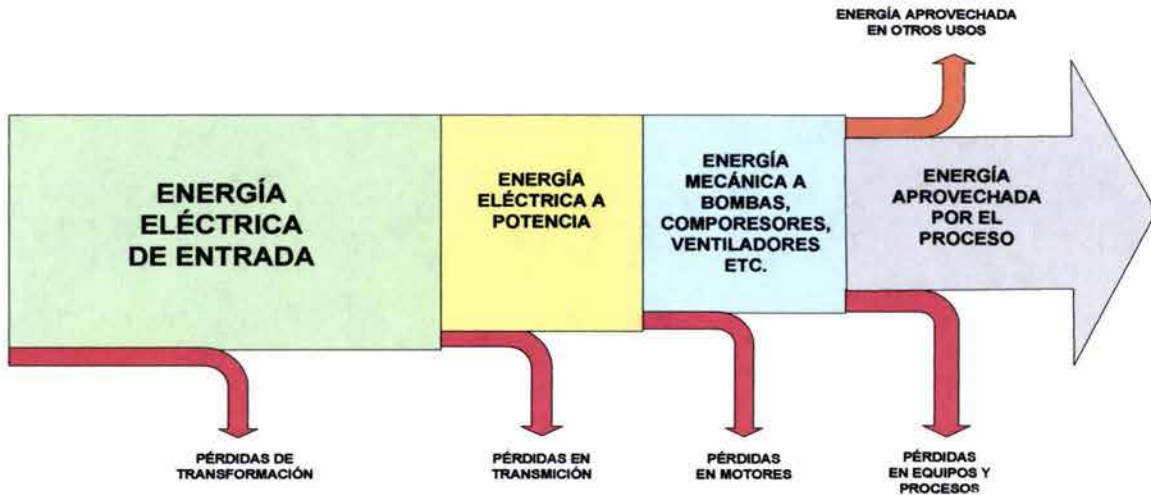


Diagrama Sanky. Permite identificar los flujos de energía provenientes de las diferentes fuentes, pasando por los procesos de transformación, hasta su uso final en áreas, sectores o regiones.

DIAGRAMA DE SANKY BALANCE DE ENERGÍA EN UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL



En el diagrama de Sanky, se ilustra el proceso energético de una instalación industrial, en el que se detalla el tipo de pérdidas y áreas de oportunidad de ahorro de energía que se tienen en la planta.

1.6 ÍNDICES ENERGÉTICOS

Un índice energético es una cifra que nos indica de que manera se está utilizando la energía para lograr un fin determinado, de manera tal, que a través del índice se puedan evaluar los consumos energéticos ante una base comparable. En la industria resulta de mucha utilidad calcular periódicamente sus índices energéticos, de suerte tal que se puedan observar alteraciones en la forma de utilizar la energía. Estas alteraciones se pueden deber a dos causas:

1. Acciones deliberadas de operación, mantenimiento o sustitución tecnológica, las que deberían traer como consecuencia una alteración favorable, esto es un ahorro de energía. En estos casos los índices energéticos son de gran utilidad para evaluar las bondades de las acciones realizadas. Por ejemplo, la sustitución de un motor eléctrico por otro de alta eficiencia, trae como consecuencia un ahorro de energía, el cual se puede cuantificar a través de los índices energéticos.
2. Errores humanos o fallas en el equipo, los que traen como consecuencia una alteración desfavorable, lo que significa un derroche de energía. En éste caso, los índices energéticos son de utilidad como alarma de que algo se está haciendo mal o algún equipo está fallando, dando la posibilidad de tomar una acción correctiva y remediar la situación.

Los índices energéticos son también usados para comparar la forma de utilización de la energía entre varias plantas, o inclusive entre distintas tecnologías de producción de un mismo producto, permitiendo a través de ellos, evaluar el grado de eficiencia energética de las plantas o tecnologías comparadas.

1.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Mediante el análisis estadístico de los índices energéticos, se calcula el valor de éstos para una serie histórica de datos, sus valores característicos, el nivel de dispersión de la serie de datos y, se establecen las hipótesis acerca del potencial de ahorro de energía mínimo a obtenerse.

¿Que esperamos observar?

En primer lugar esperamos determinar valores característicos de los principales índices energéticos para una planta en particular. Estos valores característicos, definirán el contexto energético en el que se ha venido desarrollando dicha planta, y servirán de base para compararlos con los indicadores de otras plantas similares o bien con otras tecnologías.

Adicionalmente y con el fin de determinar la representatividad de los índices energéticos obtenidos, se calcula el grado de dispersión de los valores mensuales de estos índices. En términos generales, se puede asegurar que un índice que presente un grado de dispersión bajo, es un índice realmente representativo de la planta; en tanto que uno con un grado de dispersión alto, habrá que analizarlo con mayor detenimiento para determinar a que se debe el alto grado de dispersión.

Por último, a través del análisis correlacional de los datos, se establecen sendas hipótesis acerca del potencial de ahorro, tanto de energía como por concepto de demanda.

Índices Energéticos Característicos

Los índices energéticos característicos de una instalación determinada, son aquellos que reflejan la situación usual de la planta y se calculan como el promedio de los valores mensuales, de una serie histórica de datos. Esto es, los índices energéticos característicos son los valores promedio de la serie histórica bajo análisis. Como ejemplo considérese la **Tabla 1.2**.

Tabla 1.2. Índices Energéticos

MES	CONSUMO (kWh)	DEMANDA (kW)	FACTOR DE CARGA
Enero	302.600	702	0,5794
Febrero	301.100	712	0,6293
Marzo	300.130	704	0,573
Abril	302.400	650	0,6461
Mayo	294.120	668	0,5918
Junio	276.300	622	0,617
Julio	304.440	714	0,5731
Agosto	308.600	702	0,5909
Septiembre	264.340	692	0,5305
Octubre	286.600	688	0,5599
Noviembre	274.400	680	0,5605
Diciembre	276.800	716	0,5196
Promedio	290.986	688	0,5809

Análisis de Dispersión

El análisis de dispersión de los índices energéticos, consiste en caracterizar que tan alejados se encuentran los valores de la serie histórica de datos, del valor promedio.

Este análisis está basado en el cálculo de la desviación estándar de la serie histórica de datos y estima con base a la desviación estándar, la dispersión.

Mientras menor sea la dispersión, se dice que el índice característico es más representativo de lo que sucede en la empresa y, por el contrario mientras mayor sea la dispersión, el índice característico será menos representativo.

Para efectos del presente análisis, se define como la dispersión porcentual del índice a la **ecuación (1)**.

$$Dispersión = \frac{2 \times S}{X'} \times 100 \quad \text{ecuación (1)}$$

Donde: X' es el valor promedio del índice en el Período considerado.

S es la desviación estándar de los valores del índice, definida

$$\text{ésta, como: } S = \frac{\sqrt{\sum ((X_i - X')^2)}}{n} \quad \text{ecuación (2)}$$

X_i es el valor del índice correspondiente al período "i"

n es el número de datos

En términos cualitativos se califica a la dispersión de un índice energético de la siguiente manera, como ilustra la **Tabla 1.3**.

Tabla 1.3. Dispersión para Índices Energéticos

DISPERSIÓN	CALIFICATIVO DEL ÍNDICE
<2%	Bueno
>20<40%	Aceptable
>40<75%	Cuestionable
>75%	No representativo

Para ilustrar el procedimiento, considérese la serie histórica del ejemplo anterior:

ÍNDICE	VALOR PROMEDIO	DESV. ESTANDAR S	DISPERSIÓN %	CALIFICATIVO
Consumo específico	0,80252	0,03599	8,97	Bueno

1.8 ANÁLISIS CORRELACIONAL

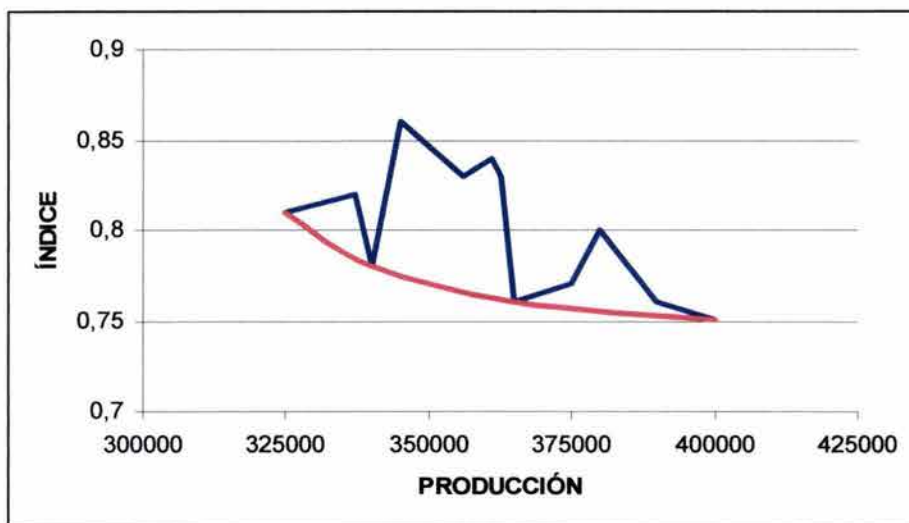
El análisis correlacional consiste en observar el comportamiento de intensidades específicas para diferentes valores de producción.

¿Que esperamos observar?

Una instalación industrial cuando se opera a su capacidad nominal, se obtiene el mayor rendimiento del equipo y por lo tanto las menores intensidades energéticas. Es por ello, que en un análisis correlacional se espera una curva de comportamiento suave, cuando se grafica el indicador energético como función de la producción en el cual aumenta el nivel de producción, disminuye el valor del indicador.

Análisis Correlacional del Consumo Específico

En la *Gráfica 1.1*, se presenta el comportamiento de este índice energético como función de la producción. En dicha figura se aprecia el comportamiento de este índice (línea superior). Obsérvese sobre el mismo gráfico la curva de comportamiento mínimo esperado (línea inferior); esta ha sido construida uniendo los puntos más bajo de la curva real.



Gráfica 1.1.

El área entre ambas curvas representa la energía que se ha consumido de más durante el período de análisis, la cual será la base de las hipótesis acerca del potencial de ahorro.

Para determinar dicho potencial se calcula el valor esperado del índice para cada uno de los datos de la serie, así como la diferencia entre el valor real y el esperado, tal como se muestra en la **Tabla 1.4.**

Tabla 1.4. Valores Energéticos Esperados

MES	CONSUMO kWh	PRODUCCIÓN TN	CONSUMO ESPECIFICO kWh/TN	CONSUMO ESPECIFICO ESPERADO	DIFERENCIA	kWh EN EXCESO
Enero	302.600	396.400	0,7634	0,7341	0,0293	6.509
Febrero	301.100	361.800	0,8322	0,8043	0,0279	6.757
Marzo	300.130	348.300	0,8617	0,8354	0,0263	6.594
Abril	302.400	402.200	0,7519	0,7235	0,0284	6.214
Mayo	294.120	352.100	0,8353	0,8264	0,0089	2.163
Junio	276.300	338.400	0,8165	0,8599	0,0000	0
Julio	304.440	358.600	0,8490	0,8115	0,0375	9.264
Agosto	308.600	382.400	0,8070	0,7609	0,0461	10.825
Septiembre	264.340	326.200	0,8104	0,8920	0,0000	0
Octubre	286.600	375.200	0,7639	0,7755	0,0000	0
Noviembre	274.400	344.100	0,7974	0,8456	0,0000	0
Diciembre	276.800	365.400	0,7575	0,7963	0,0000	0
Promedio	290.986	362.592	0,8039			4.027

El consumo de energía en exceso se determina multiplicando la diferencia entre el valor real y el esperado por la producción correspondiente del mes de que se trate.

CAPÍTULO II.

**AHORRO DE ENERGÍA EN
ILUMINACIÓN Y MOTORES****2.1 TIPOS DE LÁMPARAS Y SU APLICACIÓN**

La luz artificial juega un papel de capital importancia en nuestros días debido a que sin ella no podríamos llevar a cabo actividades nocturnas ni tampoco muchas de las que realizamos durante el día. Sus efectos y beneficios van desde los fundamentales como la sobrevivencia hasta los de importancia secundaria como el confort, pasando por los psicológicos, económicos, sociales, culturales y prácticamente todos los relacionados con las actividades humanas modernas. No es extraño entonces que el 30% de la energía eléctrica total generada en México sea consumida por los sistemas de iluminación.

LÁMPARAS INCANDESCENTES

Lámparas Incandescentes Convencionales: Las lámparas incandescentes producen luz en virtud de un hilo o filamento conductor calentado hasta la incandescencia por el paso de una corriente eléctrica a través de él, cuya temperatura puede alcanzar hasta los 100 °C. Su eficacia luminosa está en el rango de 10 a 15 lumens/Watt (lm/W).



Las ventajas más importantes de estas lámparas son:

- Bajo precio,
- Sencillez de funcionamiento e instalación y ausencia de equipos auxiliares,
- Encendido y reencendido instantáneo,
- Amplia gama de potencias y tensiones de alimentación.

Sus limitaciones son:

- Reducida eficacia luminosa, que en general hace inviable su aplicación cuando se desean altos niveles de iluminación general,

- Escasa duración,
- Aportación de calor considerable en instalaciones que requieren un gran número de puntos de luz.

Lámparas Incandescentes Halógenas: Esencialmente son lámparas incandescentes que contienen un aditivo de halógeno o compuesto halogenado (generalmente yodo). Su eficacia luminosa está en el rango de 15 a 25 lumens/Watt.



Las ventajas más destacables de estas lámparas son:

- Mayor duración (vida media doble que las incandescentes),
- Mayor eficacia luminosa que las incandescentes convencionales a igual potencia de la lámpara,
- Factor de conservación de flujo luminoso más elevado, por la acción limpiadora del halógeno en la pared de la ampolla,
- Dimensiones muy reducidas,
- Sencillez de funcionamiento e instalación y ausencia de equipos auxiliares,
- Encendido y reencendido instantáneo.

Sus limitaciones son:

- Para aplicaciones en las que se presenten altos niveles de iluminación general, su eficacia luminosa sigue siendo limitada,
- Igualmente, su duración, pese a duplicar la incandescencia convencional, esta aún lejos de los valores de las lámparas de descarga,
- Aportación de calor considerable a tener en cuenta ante su aplicación en interiores.

LÁMPARAS DE MERCURIO

Tubos Fluorescentes: En las lámparas fluorescentes la luz se genera por el fenómeno de fluorescencia, mediante la conversión de radiación ultravioleta a luz visible, debido a las sustancias fluorescentes situadas en la pared interior del tubo de descarga. Su eficacia luminosa está en el rango de 60 a 95 lm/W.



Las ventajas más destacables son:

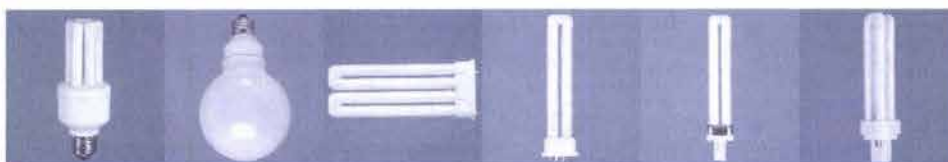
- Su excelente adaptabilidad al alumbrado de interiores,
- Elevada eficacia luminosa,
- Reducida aportación calorífica,
- Excelente rendimiento de color,
- El encendido y reencendido rápido,
- Amplia gama de lámparas y luminarias.

Las limitaciones son:

- Su factor de potencia bajo,
- Poco adaptables al alumbrado de exteriores,
- Producen el efecto estroboscópico.

Lámparas Fluorescentes Compactas: Son lámparas fluorescentes de tubo estrecho (10-15 mm), curvado en doble U o multitubo conectado por un puente de unión, para conseguir unas dimensiones reducidas. Su eficacia luminosa está en el rango de 50 a 80 lm/W.

En comparación con las lámparas incandescentes, para cuya sustitución han sido concebidas, las lámparas compactas y miniaturizadas presentan las siguientes características.



Ventajas:

- Un consumo de energía del 25% (compactas) o 20% (miniaturizadas),
- Una duración de 5 a 8 veces superior,
- La posibilidad de utilización como alumbrado general, fundamentalmente en el ámbito comercial,
- El costo (inversión + explotación) más reducido, en utilizaciones de conexión prolongada,
- Una amplia gama de luminarias específicas para lámparas miniaturizadas.

Limitaciones:

- Presenta un precio elevado respecto a las incandescentes, que hace dudosa la rentabilidad en aplicaciones con pocas horas de utilización,
- Un peso sensiblemente superior (0.5 kg) de las lámparas compactas y mayores dimensiones, que pueden dificultar en algunos casos la sustitución directa,
- Un rendimiento de color más reducido,
- No son utilizables con graduadores o reguladores de flujo, o temporizadores,
- Presentan un bajo factor de potencia, (y se han detectado ciertos problemas con los armónicos que generan)

Lámparas de Vapor de Mercurio (alta presión): Estas lámparas arrancan a la tensión de red, con la ayuda de un electrodo auxiliar, el tiempo total de encendido es del orden de 4-5 minutos. Su eficacia luminosa está en el rango de 35 a 55 lm/W.

Sus ventajas más relevantes son:

- Equipo auxiliar muy sencillo (balastro y condensador de compensación),
- Reproducción fiable de los colores verdes, lo que hace adecuadas para alumbrado exterior en parques y jardines.

Limitaciones:

- Menor eficacia luminosa que el resto de las lámparas de descarga de alta intensidad.

Lámparas de Luz Mixta: Pueden definirse como lámparas de vapor de mercurio de color corregido, con balastro incorporado. Su eficacia luminosa está en el rango de 20 a 35 lm/W.

Sus ventajas más importantes frente a las lámparas incandescentes son:

- Eficacia luminosa más elevada (entre 30-70%),
- Mayor duración,
- Sustitución directa sin otra inversión que el costo de la lámpara.

Sus limitaciones son:

- Encendido no instantáneo,
- Bajo rendimiento de color.

Lámparas de Aditivos Metálicos: Son lámparas derivadas de las de vapor de mercurio de alta presión, en las que el tubo de descarga contiene diversos aditivos metálicos generalmente en forma de yoduro. Su eficacia luminosa está en el rango de 80 a 110 lm/W.

Las ventajas más destacables son las siguientes:

- Una alta eficacia luminosa y en general, buen rendimiento de color,
- Una buena adaptabilidad en sistemas de proyección,
- Facilidad para adaptarse a sistemas de iluminación localizada fundamentalmente en el sector comercial.

Sus limitaciones son:

- Una escasa duración, comparadas con otras lámparas de descarga alternativas,
- Una descarga inestable,
- Su precio elevado.

LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO

Las lámparas de vapor de sodio se introdujeron en el mercado en el año 1968 para aplicaciones industriales, exteriores y de seguridad, con una gran eficacia. Muy poco tiempo después empezaron a usarse para alumbrado público y hoy en día es la lámpara que domina ampliamente el mercado mundial en esta aplicación. Las lámparas de vapor de sodio se catalogan en lámparas de vapor de sodio a baja presión y lámparas de vapor de sodio a alta presión.

Baja Presión: La descarga en vapor de sodio a baja presión es muy similar a la de mercurio de baja presión, esta lámpara por sus características de diseño la convierten en la más eficaz de las fuentes de luz existentes. Su eficacia luminosa está en el rango de 100 a 180 lm/W.



Las ventajas más destacables son:

- Eficacia luminosa más elevada de todas las fuentes de luz, lo que las convierte en lámparas con mejor aprovechamiento energético,
- Precio moderado, similar al de las de alta presión.

Las limitaciones son:

- Nula producción cromática, que en algunas ocasiones causa rechazo,
- Longitud considerable, creciente con la potencia, que dificulta considerablemente su instalación en sistemas de iluminación por proyección.

Alta Presión: La descarga de vapor de sodio alta presión ha encontrado la dificultad de su desarrollo práctico en la obtención de un material resistente al sodio, debido a las temperaturas que se producen en el tubo de descarga. Su eficacia luminosa está en el rango de 80 a 140 lm/W.



Las ventajas más destacables son:

- Alta eficacia luminosa,
- Adecuado rendimiento del color,
- Elevadas vida media y útil,
- Equipos auxiliares de calidad,
- Precio moderado.

Las limitaciones son:

- No consigue acercarse, por el momento, a los valores de reproducción cromática ofrecidos por las lámparas de aditivos metálicos,
- Apariencia de color cálida, que tiene un rechazo psicológico cuando se trata de ofrecer muy altos niveles de iluminación.

2.1.1 TÉCNICAS DE AHORRO DE ENERGÍA

El uso y la combinación adecuada de los diferentes elementos que intervienen en un sistema de iluminación puede proporcionar grandes ahorros de energía, los elementos más importantes de un sistema de iluminación son:

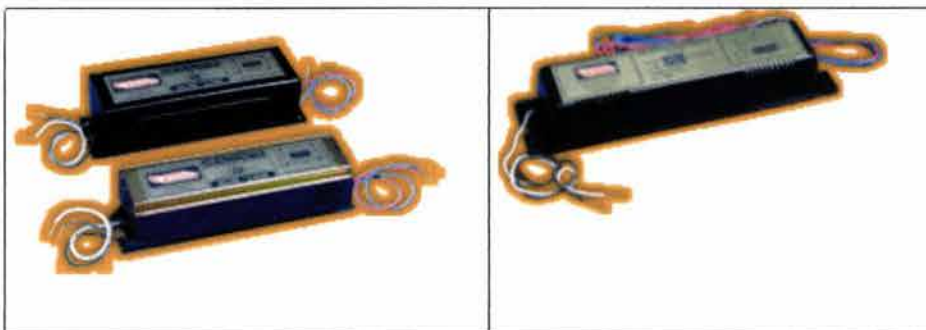
- El balastro,
- La lámpara,
- El luminario,
- El sistema de control.

EL BALASTRO

Los balastos electromagnéticos convencionales presentan un consumo de energía del orden del 20% de la potencia de la lámpara.

Los fabricantes de balastos han sacado al mercado equipos de bajas pérdidas (cuyo consumo de energía es del orden del 7% de la potencia de la lámpara), con los que se obtiene un ahorro de energía neto del 10% del consumo de energía del luminario.

Por otra parte, se tienen los **balastos electrónicos**, los cuales no consumen energía, por lo que con su uso se tendrían ahorros del 17% del consumo de energía de un luminario. Con estos equipos hay que tener cuidado, ya que la inversión inicial es bastante más alta que la del balastro electromagnético por un lado, y por otro, por ser una carga no lineal, ocasiona distorsión armónica.



LA LÁMPARA

La luz artificial juega un papel de gran importancia en la actualidad, sus efectos y beneficios van desde los fundamentales como la sobrevivencia hasta los de importancia secundaria como el confort, pasando por los psicológicos, económicos, sociales, culturales y prácticamente todos los relacionados con las actividades humanas modernas. Los métodos para generar luz en forma artificial son varios desde la iluminación incandescente, tubos fluorescentes hasta las lámparas de vapor de sodio y lámparas de mercurio.

Iluminación Incandescente.- La alternativa más usual de ahorro de energía en sistemas donde la iluminación se basa en lámparas incandescentes, es la sustitución de éstas por lámparas fluorescentes (ya sea compactas, redondas o tubos)

Las compactas con balastro integrado y las redondas pueden en muchos de los casos sustituir directamente a la lámpara incandescente.

Tubos Fluorescentes.- En el caso de que la iluminación fluorescente esté basada en tubos tipo T12, la alternativa inmediata consiste en la sustitución de éstos por tubos tipo T8, ya sea de 75W T12 por 60W T8, o de 39W T12 por 32W T8.

Lámparas de Vapor de Mercurio.- En el caso de alumbrado de interiores donde se desea contar con una luz blanca, se podrían cambiar estas lámparas por aditivos metálicos de menor potencia pero con un rendimiento mayor.

En el caso de alumbrado exterior, las lámparas de vapor de mercurio, pueden ser sustituidas por vapor de sodio, siempre que para la aplicación, la reproducción cromática no sea importante.

EL LUMINARIO

El luminario tiene básicamente dos objetivos: El primero es el de albergar a la lámpara y al balastro, y el segundo de producir los efectos de luz directa, indirecta, difusa, etc. Una de las características más importantes del luminario para aprovechar mejor la luminosidad de la lámpara es índice de reflectancia de éste. Mientras mejor habilitado esté para reflejar los rayos luminosos que le llegan, más eficiente será.

En los sistemas de iluminación fluorescente, una de las técnicas de ahorro de energía más efectivas está en la instalación de reflectores especulares dentro del luminario. El uso de reflectores especulares tiene primordialmente dos objetivos:

1. Aumentar el nivel de iluminación sin aumentar la carga instalada,
2. Reducir el número de watts por luminario al 50%. En el caso de luminarios de 2 lámparas se puede tener 1 instalada y en el caso de 4 lámparas, instalar 2.

En algunos casos, el uso de reflectores no proporciona el mismo nivel de iluminación al retirar el 50% de lámparas. En estos casos se pueden efectuar las siguientes acciones:

- Instalación de lámparas de mayor emisión de flujo luminoso: por ejemplo, sustitución de luz de día por blanco frío o lámparas T-8,
- Pintado de las paredes, columnas y techos a colores más claros.



CONTROL DEL ALUMBRADO

Un sistema ideal de control de alumbrado sería aquel que proporcionara suficiente iluminancia para que la tarea se realice con suficiente confort, comodidad y seguridad durante el tiempo de ejecución de la misma. El resto del tiempo la iluminación estará desconectada.

Control Luminoso (fotoceldas)

Mediante el uso de fotoceldas, se puede ahorrar energía en oficinas que colindan con ventanas, se puede utilizar solo un porcentaje de la iluminación artificial aprovechando más luz natural y también, existen casos en donde se inhibe el uso de la luz artificial, mientras la luz natural sea suficiente durante el día.

Control Horario: Este se realiza mediante la programación de los encendidos y apagados de circuitos de iluminación, tomando en cuenta las costumbres de uso del inmueble en cuestión. Un controlador lógico programable (PLC) o simplemente un timer, realiza la función.

Control de Ocupación (separación de circuitos): Esta medida permite zonificar cada oficina o área determinada, de manera que cada una cuente con su control de apagado independiente. Una alternativa consiste en utilizar sensores de presencia que se instalan en lugar de los apagadores o en los techos y que automáticamente encienden o apagan la iluminación con base a la detección del ser humano.

Los sensores de presencia pueden ser ultrasónicos o infrarrojos y se aplicará uno u otro según la aplicación. Una aplicación donde las personas suelen estar en movimiento y no existan barreras dentro del espacio de control, se podría resolver con un sensor infrarrojo.

En aplicaciones donde las personas no presenten mucho movimiento (sala de lectura, oficina donde la persona que la ocupa trabaje mucho con la computadora, etc.) o que pudieran existir barreras u obstáculos donde el sensor infrarrojo no pueda actuar, requerirá de un sensor ultrasónico.

2.1.2 CÁLCULO DE ILUMINACION INDUSTRIAL

El procedimiento para el cálculo de iluminación de interiores, aunque resulta fácil para el diseñador experimentado, puede resultar complicado para el principiante. En esencia, el método involucra el planteamiento de ecuaciones preliminares, la determinación de parámetros básicos y cálculos.

Una dificultad durante el estudio de este método, puede ser la carencia de familiaridad con la terminología. Aunque los conceptos en estas notas se van explicando conforme son presentados, existen otras definiciones que pueden requerir la consulta a otras referencias.

CÁLCULO DE NIVELES DE ILUMINANCIA POR EL MÉTODO DE CAVIDAD ZONAL

El Método de Cavidad Zonal para el cálculo de niveles de iluminancia fue desarrollado por la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), para determinar los niveles de iluminación promedio proporcionado por los luminarios dentro de un espacio cerrado. Este método es preferido sobre otros no porque sea en todos los casos más exacto, sino porque es relativamente simple y flexible. Sus resultados son generalmente más representativos de un caso real y puede aplicarse a cualquier tipo de sistema de iluminación en locales regulares (rectangulares ó cuadrados) o de formas especiales.

El término "Cavidad Zonal" se deriva de la suposición de que el espacio está dividido en cavidades sobrepuestas (máximo tres) y considera el comportamiento de la luz en cada cavidad antes de que la luz alcance el plano de trabajo (plano en el cual se desarrolla la tarea visual)

Cálculo de Iluminación

El cálculo de iluminación está basado en la determinación de la cantidad de iluminación o nivel de iluminancia dado en luxes:

$$LUX = \frac{FLUJO_LUMINOSO_(\acute{l}umens)}{\acute{A}REA_ (m^2)} \quad \text{ecuación (3)}$$

Esta es la ecuación básica de iluminancia y en ella se asume que todo el flujo luminoso dado en lúmens incide en el plano de trabajo. En la práctica, existen un gran número de parámetros que afectan al sistema de iluminación. El método de cavidad zonal involucra cuatro parámetros principales que deben ser considerados por el proyectista mediante la aplicación de factores adicionales en la **ecuación (3)**:

- a) Coeficiente de Utilización (**CU**),
- b) Depreciación de los lúmenes de la lámpara (**DLL**),

c) Depreciación por polvo en el luminario (**DPL**),

d) Depreciación por suciedad del local (**DPSL**)

Entre los anteriores, el que requiere un procedimiento más largo y complejo es el coeficiente de utilización.

Coeficiente de Utilización (CU)

Las lámparas de un luminario generan una cierta cantidad de lúmens, pero únicamente parte de esos lúmens salen del luminario. El resto es absorbido por los diferentes elementos que forman el propio luminario (a la relación entre lúmens que salen y lúmens totales producidos por las lámparas se le denomina eficiencia del luminario y se da usualmente en por ciento). La luz que escapa sufre pérdidas posteriores debidas a la geometría del local y a la reflectancia de sus superficies, entonces el CU, es la relación entre la luz generada por la lámpara y la luz que finalmente incide en el plano de trabajo. Así la **ecuación (3)** se modifica:

$$LUXES = \frac{(LÚMENS)(CU)}{ÁREA} \quad \text{ecuación (4)}$$

Factor de Pérdida de Luz (FPL)

El paso del tiempo impone una reducción gradual en los niveles de iluminancia. Los lúmens emitidos por la lámpara disminuyen cuando ésta envejece, además, la suciedad en lámparas así como en luminarios reduce la eficiencia y la suciedad del local atenúa la reflectancia. Debido a que el nivel de iluminación usualmente es calculado como un valor mantenido (un nivel mínimo recomendado), la iluminancia proyectada requiere un nivel inicial mayor; por tanto, la **ecuación (4)** debe ser modificada mediante la inclusión de "factores de depreciación" compensadores.

Depreciación de los Lumens de la Lámpara (DLL)

Compensa las pérdidas de los lúmens de salida. El factor DLL es proporcionado por el fabricante de la lámpara.

Depreciación por Polvo en el Luminario (DPL)

Compensa las pérdidas ocasionadas por la acumulación de polvo en lámparas y luminarios. El valor depende del diseño del luminario y de las condiciones ambientales, por ejemplo, la pérdida es mucho mayor en una metalúrgica que en una oficina con aire acondicionado y filtrado. El factor DPL se determina con exactitud aceptable mediante el empleo de tablas ó gráficas.

Depreciación por Suciedad del Local (DPSL)

Compensa las pérdidas que ocasiona la suciedad en la reflectancia de las superficies del local. El DPSL se determina mediante tablas.

Integrando todos estos factores la **ecuación (4)** queda como sigue:

$$LUXES = \frac{(LÚMENS)(CU)(DLL)(DPL)(DPS)}{ÁREA} \quad \text{ecuación (5)}$$

Siendo FPL el producto de todos los factores de depreciación:

$$FPL = (DLL)(DPL)(DPSL) \quad \text{ecuación (6)}$$

Entonces, la **ecuación (3)** puede ser expresada como:

$$LUXES = \frac{LÚMENS(CU)(FPL)}{ÁREA} \quad \text{ecuación (7)}$$

Ecuaciones de Trabajo

El cálculo de iluminación implica la determinación del número total de lúmens y por tanto de la cantidad de luminarios requeridos para producir un nivel de iluminancia previamente seleccionado. Entonces, es conveniente transformar la **ecuación (7)** para determinar el total de lúmens requeridos:

$$LÚMENS_TOTALES = \frac{(LUXES)(ÁREA)}{(CU)(FPL)} \quad \text{ecuación (8)}$$

Cada luminario tiene un número conocido de lámparas y cada lámpara genera una cantidad dada de lúmens; por tanto, la cantidad de lúmens producidos dentro de cada luminaria es:

$$LÚMENS_POR_LUMINARIO = (N^{\circ}\ DE\ LAMPS)(LÚMENS\ POR\ LAMP) \quad \text{ecuación (9)}$$

El paso final consiste en determinar el número requerido (N) de luminarios:

$$N = \frac{LÚMENS_TOTALES}{LÚMENS_POR_LUMINARIO} \quad \text{ecuación (10)}$$

Una vez determinada la cantidad de luminarios (N), el proyectista puede trasladar esta información al arreglo o disposición de luminarios, conocido comúnmente como "lay out". La geometría del local y/o las condiciones de instalación pueden implicar ligeras modificaciones en el número de luminarios.

2.2 MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos son los usuarios de mayor consumo de energía eléctrica en la mayoría de las plantas industriales. Aproximadamente entre el 60 y 70 % del consumo de energía eléctrica corresponde a equipos electromotrices tales como ventiladores, bombas, compresores, bandas transportadoras, etc., por estar acoplados a motores eléctricos.

Considerando los valores mencionados, es evidente el gran impacto que tienen los motores en el consumo de energía eléctrica en el sector industrial, por tanto, resalta la importancia de identificar y evaluar oportunidades de ahorro de energía en ellos. Sin embargo, es necesario conocer inicialmente el estado energético actual de los motores (factor de carga, eficiencia, factor de potencia, antigüedad, etc.) y, conocer sistemas alternativos como son los motores de alta eficiencia y variadores de frecuencia entre otros.

Por tanto, la utilización de los motores se ha incrementado desde su invención hasta nuestros días debido principalmente a:

Gran Variedad de Potencias y Versatilidad de Utilización

Se utilizan en diversas aplicaciones en multitud de lugares: desde el hogar, con todo tipo de equipos electrodomésticos, a grandes instalaciones industriales (siderúrgica, cementeras, petroquímicas, etc.), en la agricultura y en el transporte (locomotoras, naval, etc.), pequeñas industrias y talleres, oficinas, etc.

Por otra parte, su potencia abarca un rango comprendido entre unos pocos caballos de poder (HP) hasta los grandes motores de alta tensión de más de 7,460 HP.

Altos Rendimientos

Los rendimientos de los motores eléctricos son en general muy elevados bastante superiores a motores de combustión interna equivalentes.

Larga Duración

El alto nivel tecnológico alcanzado en el diseño y fabricación de motores eléctricos confiere una gran robustez, un mantenimiento sencillo y en general una vida muy larga. La duración depende en gran medida del tipo de funcionamiento a que se le somete y del número, duración y magnitud de las sobrecargas que sufra.

Los motores eléctricos tienen por misión convertir la energía eléctrica, en forma de corriente continua o alterna, en energía mecánica apta para mover los accionamientos de todo tipo de máquinas. los motores constan de dos parte claramente diferenciadas, que son:.

Estator Fijo. Está compuesto por chapas magnéticas agrupadas, salvo en los motores de corriente continua, en los que en el estator van las masas polares con ranuras en las que se disponen los devanados.

Motor Móvil. Se apoya en cojinetes de rozamiento o de baleros, normalmente está constituido por chapas agrupadas con ranuras en las que se colocan los devanados. El espacio comprendido entre el rotor y estator es constante y se denomina entrehierro.

2.2.1 TIPOS DE MOTORES

Aunque existen más tipos de motores, los más importantes desde el punto de vista de su utilización en la industria se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **De Corriente Continua:**
 - Derivados
 - Independientes
 - Serie
 - Compound
- **De Corriente Alterna:**
 - Asíncronos
 - Rotor en cortocircuito
 - Rotor bobinado
 - Síncronos

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Los motores de corriente continua se distinguen del resto de los motores eléctricos por su gran facilidad para la regulación de su velocidad. Por estos motivos, son idóneos para todas aquellas aplicaciones en que se requiera de:

- Grandes variaciones de velocidad,
- Cambios o inversiones rápidas de la marcha,
- Control automático de pares y velocidad.

En estos motores, el estator está formado por polos principales excitados por corriente continua. Suelen llevar además polos auxiliares y en grandes potencias polos de compensación.

El rotor se alimenta con corriente continua a través del colector y las escobillas.

Los devanados del estator pueden alimentarse de diferentes formas, dando lugar a motores de características distintas a las actuales.

En Derivación.- El estator se alimenta con la misma tensión de alimentación que el inducido.

Independiente.- El estator se alimenta con una fuente de corriente continua independiente.

Serie.- La intensidad que atraviesa los devanados del estator es la misma que alimenta el inducido.

Compound- Es una combinación de las características serie y derivación.

Los motores de corriente continua presentan la ventaja de una gran capacidad para la regulación de la velocidad, lo cual los hace necesarios en ciertos tipos de aplicaciones, en los cuales se precisa un ajuste fino de la velocidad y del par motor.

Sin embargo, presentan los siguientes inconvenientes:

Alimentación.- La generación y distribución de energía eléctrica se realiza en corriente alterna. Estos motores necesitan una alimentación especial, mediante equipos rectificadores de potencia, así como en ocasiones baterías de reserva lo cual incrementa los costos de la instalación.

Mantenimiento.- Precisan un mantenimiento mayor que los motores de corriente alterna y son bastante más costosos. El colector y las escobillas necesitan mucha atención y cuidados.

Los colectores deben tener una superficie lisa y girar de forma completamente circular. Debe evitarse la aparición de fuego o chispas debajo de las escobillas, que pueden ser debidas a marcha no circular del colector, vibraciones, escobillas gastadas, etc. El colector se debe torneear periódicamente (granos de polvo pueden rayarlo) Estas circunstancias lo hacen poco adecuado para trabajar en atmósferas sucias o ambientes explosivos.

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Los motores de corriente alterna se clasifican de dos maneras: motores asíncronos (inducción) y motores síncronos.

Los motores asíncronos, basan su funcionamiento en la creación de un campo magnético giratorio en el entrehierro, debido a la circulación de corriente alterna por los devanados del estator. La velocidad de giro de este campo magnético en revoluciones por minuto (r.p.m.), se obtiene de la ecuación siguiente:

$$n_s = \frac{120 \times f}{2p} \quad \text{ecuación (11)}$$

Donde:

f = Frecuencia de alimentación

$2p$ = Número de polos del devanado del estator.

El rotor a una gran velocidad " n_s ", no llega ser nunca la velocidad de sincronismo.

Se le llama deslizamiento " S ", a la diferencia entre la velocidad de sincronismo n_s y la del rotor " n ", expresada en % de la velocidad de sincronismo como lo muestra la ecuación (12).

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100 \quad \text{ecuación (12)}$$

Por este motivo, los motores asíncronos no pueden funcionar a cualquier velocidad, sino a una serie de velocidades cercanas a la de sincronismo.

Existen dos tipos de motores asíncronos, según sea la constitución del rotor.

Rotor en Cortocircuito o Jaula de Ardilla

En éstos motores, el rotor ésta compuesto por un conjunto de barras conductoras de cobre o aluminio unidas en sus extremos por anillos.

Rotor Bobinado

En éstos, el rotor esta compuesto por un devanado introducido en las ranuras similares al del estator. Las extremidades de cada fase se conectan a unos anillos colectores montados sobre el eje, aislados eléctricamente de él. Esto permite conectar al devanado del rotor, resistencias adicionales externas para reducir la corriente en el arranque. Una vez terminado el período de arranque se cortocircuitan estos anillos, a la vez que se elevan las escobillas.

Los motores asíncronos suministran cualquier potencia hasta los límites de su capacidad de sobrecarga. Se ajusta automáticamente a la carga. Toda sobrecarga daña los motores, puesto que se llega a temperaturas que deterioran los aislamientos.

Motor Síncrono

Los motores síncronos sustituyen a los motores asíncronos solamente en aplicaciones que requieren características especiales.

Su característica principal es la de girar a velocidad constante e igual a la velocidad síncrona que depende del número de polos y de la frecuencia de alimentación como lo muestra la ecuación (13).

$$n_s = \frac{120 \times f}{2p} \quad \text{ecuación (13)}$$

Donde:

n_s = Número de pares de polos.

$2p$ = Número de pares de polos.

De esta forma, no puede variarse su velocidad y no es adecuado para accionar cargas de velocidad variable. Otra característica fundamental es que el rotor de polos salientes debe alimentarse con corriente continua, a través de escobillas. Esta corriente continua se genera normalmente en un dínamo montado en el mismo eje del motor. El estator se alimenta con corriente alterna trifásica.

Una de las ventajas más importantes de los motores síncronos es que su factor de potencia puede llegar a tener valores iguales a uno, e incluso se puede fabricar con el coseno de φ capacitivo ($\cos \varphi$), es decir, con la intensidad adelantada respecto de la tensión, pudiéndose utilizar por tanto como generadores de potencia reactiva, compensando así la instalación y evitando recargos por consumo de potencia reactiva, es decir, disminuyendo el costo de la facturación eléctrica. La eficiencia de los motores síncronos con $\cos \varphi = 0.8$ en adelanto es entre 0.5 a 1 % más bajo que con un factor de potencia de la unidad.

Tiene mejores rendimientos que los asíncronos de la misma velocidad, aproximadamente un 2% mayor. Estos motores tienen más ventajas que los asíncronos, en los casos de:

- Bajas velocidades,
- Grandes tamaños,
- Mejora del factor de potencia.

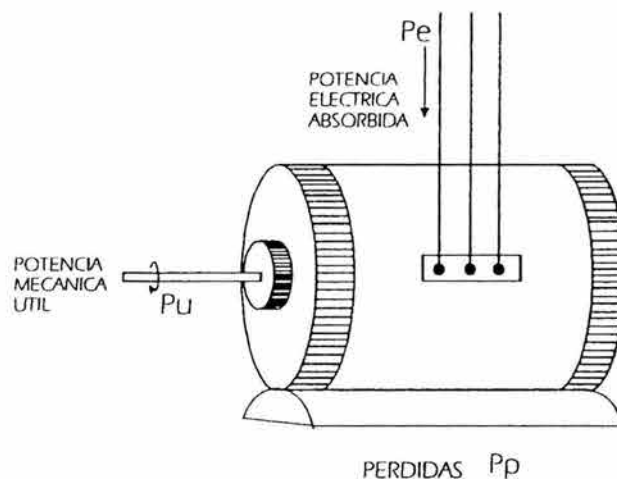
No es fácil dar una regla clara sobre el campo de la aplicación de los motores síncronos.

En primer lugar, es necesario para utilizar un motor síncrono que la velocidad del accionamiento sea constante. Hay que tener en cuenta factores como.

- Costo de la energía eléctrica,
- Horas anuales de utilización,
- Factor de potencia de la instalación,
- Precio del motor,
- Costos del mantenimiento.

2.2.2. PÉRDIDAS DE ENERGÍA Y EFICIENCIAS

La función de un motor es convertir la energía eléctrica en energía mecánica para realizar un trabajo útil. En la transformación de energía eléctrica en mecánica, que tiene lugar en los motores eléctricos una parte de la energía eléctrica tomada de la red se convierte en calor, constituyendo las pérdidas del motor como lo muestra la siguiente figura:



Las pérdidas de un motor de inducción, pueden ser desglosadas en 5 principales áreas, cada una de estas depende del diseño y construcción del motor. Estas pérdidas se clasifican en aquellas que ocurren cuando el motor está energizado y permanecen para un voltaje y velocidad dado, y las que varían e incrementan con la carga del motor.

1. **Pérdidas en el Núcleo:** Representa la energía requerida para magnetizar el material del núcleo (histéresis) e incluye las pérdidas por la creación de las corrientes de Eddy que fluyen en el núcleo. Las pérdidas en el núcleo pueden disminuir al mejorar la permeabilidad electromagnética del acero y extendiendo o alargando el núcleo para reducir la densidad del flujo magnético. Las pérdidas de las corrientes de Eddy son reducidas utilizando laminaciones de acero más delgadas.
2. **Pérdidas de Fricción y Ventilación:** Estas pérdidas ocurren debido a la fricción y se deben al rozamiento de los rodamientos del eje del motor y por las pérdidas de ventilación que se deben a la fricción de las partes en movimiento del motor con el aire que se encuentra dentro de la carcasa. Mejorando la selección de cojinetes, flujo de aire y diseño del ventilador pueden ser reducidas estas pérdidas. En un motor de alta eficiencia la minimización de pérdidas resulta en menores necesidades de enfriamiento, así que se utiliza un ventilador más pequeño. Tanto las pérdidas en el núcleo como las pérdidas de fricción son independientes de la carga del motor.
3. **Pérdidas en el Estator:** Estas pérdidas se reflejan como calentamiento debido al flujo de corriente a través del embobinado del estator y dependen de la resistencia eléctrica del material utilizado. Esta se determina con la siguiente función $I^2 \times R$, donde I^2 es la corriente que circula por una fase de la armadura y, R es la resistencia de una de las fases. Estas pérdidas pueden ser reducidas modificando el diseño de la armadura del estator o disminuyendo el espesor del aislamiento para incrementar el volumen de cable en el estator.
4. **Pérdidas en el Rotor:** Son función de $I^2 \times R$ y afectan calentando el embobinado del rotor. Estas pueden disminuirse incrementando el tamaño de las barras conductoras para bajar la resistencia, o reduciendo la corriente eléctrica.

5. **Pérdidas Adicionales:** Son pérdidas que no se pueden incluir dentro de ninguna de las anteriores y estas dependen a su vez del tipo de fabricación y método de diseño del motor.

Las pérdidas en el estator, rotor y adicionales, son función de la carga del motor, en la siguiente **Tabla 2.1.** se presenta un resumen de las pérdidas.

Tabla 2.1. Pérdidas Porcentuales en Motores

Pérdidas que no dependen de la carga	Pérdidas Típicas (%)	Factores que afectan las pérdidas
Núcleo	15 a 25	Tipo y cantidad de material magnético
Fricción y ventilación	5 a 15	Selección y diseño de ventiladores y rodamientos
Pérdidas función de la carga	Pérdidas Típicas (%)	Factores que afectan las pérdidas
Estator $I^2 \times R$	25 a 40	Tamaño del conductor en el estator
Rotor $I^2 \times R$	15 a 25	Tamaño del conductor en el rotor
Adicionales	10 a 20	Fabricación de métodos de diseño

La distribución de las pérdidas en función de la potencia se muestran en la **Tabla 2.2.**

Tabla 2.2. Pérdidas Totales por Potencia (Hp)

Tipos de pérdidas	Potencia del motor		
	25 Hp	50Hp	100 Hp
Estator	42%	38%	28%
Rotor	21%	22%	18%
Núcleo	15%	20%	13%
Ventilación y fricción	7%	8%	14%
Adicionales	15%	12%	27%
Total	100%	100%	100%

Rendimientos

La eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia Mecánica de Salida}}{\text{Potencia Eléctrica de entrada}}$$

También se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia_de_entrada} - \text{Pérdidas}}{\text{Potencia_de_entrada}} \quad \text{ecuación (14)}$$

De acuerdo con lo anterior, la única alternativa para mejorar la eficiencia es disminuir las pérdidas en el motor, esto se puede lograr con el cambio de diseño, materiales de alta calidad y un mejor proceso de fabricación. Con la reducción de las pérdidas, los motores de alta eficiencia a determinada carga entregan mayor o igual cantidad de trabajo con menor consumo de energía que un motor estándar.

Las pérdidas se clasifican en fijas y, las que son función del factor de carga del motor:

Pérdidas del motor fijas:

- Magnéticas (715-25%),
- Mecánicas (5-75%)

Pérdidas que son función de la carga:

- Pérdidas en el estator (25- 40%),
- Pérdidas en el rotor (15- 25%)

Pérdidas debido al método y diseño de fabricación (70-20%)

Los motores eléctricos tienen la máxima eficiencia, cuando las pérdidas fijas son casi iguales a las pérdidas variables.

Selección de Características Nominales

El comportamiento global de los motores está relacionado con los siguientes parámetros.

- Eficiencia,
- Tipo de carcasa (abierto, cerrado),
- Torque de paro,
- Factor potencia,
- Factor de servicio,
- Velocidad,
- Temperatura de operación,
- Torque de arranque,

- Nivel de ruido,
- Tipo de aislamiento.

Una buena especificación del motor podrá determinar el comportamiento de operación con el medio ambiente. También es posible determinar desde la compra las modificaciones requeridas a los componentes, tal como armazón o carcasa, diseño del rotor, rodamientos, o la clase de aislamiento.

En las especificaciones se podrá incluir:

- Potencia del motor y factor de servicio,
- Temperatura de operación y clase de aislamiento,
- Rango del factor de potencia,
- Eficiencia requerida,
- Carga inercial y número de arranques esperados.

Información sobre el medio ambiente:

- Corrosivo o no corrosivo,
- Altitud,
- Temperatura ambiente,
- Niveles de humedad,
- Peligroso o no peligroso.

Es importante especificar los requerimientos de los motores, tales como: protección térmica, espacio de calefacción (para prevenir condensación de vapores).

2.2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS DE LOS MOTORES

Las cargas a las que son sometidos los motores eléctricos varían en una gama incontable de aplicaciones, sin embargo hay clasificaciones determinadas que engloban todos los conceptos y aplicaciones.

En términos generales los tipos de carga se clasifican en alta inercia y baja inercia. Los de alta inercia son aquellos en los que la carga es alta ofreciendo una gran resistencia ya que pueden formar parte de un circuito en el que tienen que dar impulso a un fluido o material. En general se requiere de un alto par para este tipo de cargas. Ejemplos de cargas de alta inercia son los compresores de un circuito de refrigeración, o las bandas transportadoras, etc.

Los de baja inercia, son aquellos en los que sólo se requiere mover un mecanismo para lograr el objetivo final, por ejemplo, un ventilador, bombas, un triturador de muela, un molino o mezclador, etc.

El par en los Motores de Inducción

Existen varios tipos de motores, cada uno con características particulares que permiten obtener un servicio específico, y en particular, el par es uno de los factores que los caracteriza.

El término par del motor se refiere al torque desarrollado por éste. El par motor se expresa y se mide en Newton-m (Nm); un par de 20 Nm, es igual al esfuerzo de tracción de 20 Newtons, aplicado a un radio de un metro.

Par a Plena Carga

El par a plena carga es el necesario para producir la potencia de diseño a la velocidad de plena carga. El par a plena carga de un motor se toma como base; el par de arranque y el par máximo se comparan con él y se expresan en la forma de un cierto porcentaje del par a plena carga.

Par de Arranque

El par de arranque a rotor bloqueado es el torque que el motor desarrolla cuando está parado.

Par Máximo

Es el máximo torque que desarrolla el motor, es usualmente expresado como un porcentaje del torque a plena carga. El par máximo de los motores ordinarios varía entre 1.5 y 3 veces del par de plena carga.

Carga Óptima del Motor

Es muy importante que el motor opere entre el 75 - 85% del factor de carga del motor, con ello se garantiza que trabajará a su mayor eficiencia y factor de potencia de diseño. Esto se muestra en la **Tabla 2.3**.

Tabla 2.3. Eficiencia con Respecto al Factor de Carga

Factor de Carga (%)	Eficiencia (%)	Factor de Potencia (%)
100	84%	89%
75	84%	86%
50	82%	79%
25	73%	60%

Perfil de Carga

En diversos equipos existen variaciones en la carga que deben de satisfacer, esta puede ser función del tipo de producto manejado, presión, flujo, y otros parámetros debidos al proceso.

Estos factores pueden influir en el factor de carga del motor, por esta razón es importante conocer y determinar el perfil de carga del motor y los parámetros que puedan influir en su carga.

Este perfil puede ser de un par de horas, un día, etc., esto dependerá del tipo de proceso en el que se encuentren ubicados estos equipos, sin embargo, lo más importante es identificar y monitorear el tiempo suficiente para poder caracterizar el equipo electromotriz.

Factor de Servicio

El factor de servicio se define como la cantidad de sobrecarga permitida para un motor bajo ciertos límites de temperatura. Cuando el voltaje y la frecuencia se mantienen de acuerdo a los valores de placa, el motor puede ser sobrecargado y la potencia desarrollada se calcula multiplicando la potencia nominal por el factor de carga. Sin embargo, el par de arranque, el par máximo y la corriente de arranque permanecen sin cambio alguno, como lo muestra la **Tabla 2.4**.

Tabla 2.4. Factor de Servicio en Motores por su Potencia

Hp	VELOCIDAD SINCRONA (RPM)				
	3600	1800	1200	900	600
1	1,25	1,15	1,15	1	1
1 1/2 a 125	1,15	1,15	1,15	1,15*	1,15*
150	1,15*	1,15*	1,15*	1,15	1
200	1,15*	1,15*	1,15*	1,15*	1
Mas de 200	1	1	1	1	1

*Estos factores de servicio se aplican solo a diseños de NEMA A, B, y C

Rebobinado en Motores

El rebobinado de motores en México sigue aún siendo de un tipo artesanal, ya que son muy pocos los talleres que pueden efectuar trabajos profesionales, empleando comúnmente talleres donde al motor se le aplica calor sin control, golpes, torsiones y desarmados no correctos que deterioran la naturaleza del motor perdiendo considerablemente su eficiencia de diseño.

Se recomienda en estos casos acudir a talleres a los que el responsable del equipo pueda visitar y conocer tanto en su personal, su conocimiento y capacitación, como a sus instalaciones y métodos de reparación a fin de poder apreciar la calidad de los trabajos, aún cuando el taller no se encuentre en la localidad de la industria, pues suele suceder que la persona encargada del equipo normalmente no conoce los talleres de reparación.

2.2.4 MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

La eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada.

A continuación se muestra la **Tabla 2.5.** que resume la evolución que ha sufrido la eficiencia de los motores;

Tabla 2.5. Eficiencia en Motores a través del Tiempo

Hp	Diseño 1994 (%)	CORAZA U (%) 1995	EFICIENCIA NOMINAL (%) (1965)	EFICIENCIA PREMIUM (%) 1981	EFICIENCIA PREMIUM GE (%) 1991
7,5	84,5	87	84	91	91,7
10	87	89,5	88	92,4	93
25	89,5	90,5	89	93,6	94,1
50	90,5	91	91,5	94,1	94,5
75	91	90,5	91,5	95	95,4
100	91,5	92	92	95	96,2

Como se observa en la tabla, la eficiencia de los motores de pequeña capacidad a mediados de los años 60's del siglo XX (armazón tipo 1), disminuyó considerablemente en comparación con los motores disponibles a mediados de los años 50's. Sin embargo, la eficiencia de los motores PREMIUM mejoró de manera sustancial en el año de 1981 y en los noventa el incremento fue menor, pero no por ello deja de ser significativo.

En 1989, la Asociación Nacional de Fabricantes de equipo eléctrico (NEMA) de los Estados Unidos de Norteamérica, desarrolló una norma estándar para motores de alta eficiencia. Esta fue creada para ayudar a los usuarios a identificar y comparar la eficiencia de diferentes motores eléctricos en iguales condiciones de operación.

A continuación se muestra una **Tabla 2.6.** con los valores mínimos de eficiencia nominal a carga máxima. El rendimiento de un motor clasificado de alta eficiencia debe ser igual o mayor que el nivel de eficiencia nominal.

Tabla 2.6. Valores Mínimos de Eficiencia Nominal

Hp	ABIERTOS A PRUEBA DE GOTEÓ				TOTALMENTE CERRADOS			
	3600	1800	1200	900	3600	1800	1200	900
1	82,5	77	72	80,5	75,5	72		
1,5	80	82,5	82,5	75,5	78,5	81,5	82,5	75,5
2	82,5	82,5	84	85,5	82,5	82,5	82,5	82,5
3	82,5	86,5	85,5	86,5	82,5	84	84	81,5
5	85,5	86,5	86,5	87,5	85,5	85,5	85,5	84
7,5	85,5	88,5	88,5	88,5	85,5	87,5	87,5	85,5
10	87,5	88,5	90,2	89,5	87,5	87,5	87,5	87,5
15	89,5	90,2	89,5	89,5	87,5	88,5	89,5	88,5
20	90,2	91	90,2	90,2	88,5	90,2	89,5	89,5
25	91	91,7	91	90,2	89,5	91	90,2	89,5
30	91	91,7	91,7	91	89,5	91	91	90,2
40	91,7	92,4	91,7	90,2	90,2	91,7	91,7	90,2
50	91,7	92,4	91,7	91,7	90,2	92,4	91,7	91
60	93	93	92,4	92,4	91,7	93	91,7	91,7
75	93	93,6	93	93,6	92,4	93	93	93
100	93	93,6	93,6	93,6	93	93,6	93	93
125	93	93,6	93,6	93,6	93	93,6	93	93,6
150	93,6	94,1	93,6	93,6	93	94,1	94,1	93,6
200	93,6	94,1	94,1	93,6	94,1	94,5	94,1	94,1

SUSTITUCIÓN DE MOTORES ESTÁNDAR POR MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

El reemplazo de los motores puede aplicarse en los siguientes casos:

- Por una nueva adquisición.

En este caso se realizará la comparación con respecto a la operación de un motor estándar. La inversión del motor de alta eficiencia es la diferencia entre la operación del motor estándar y el de alta eficiencia.

- Para sustituir a equipos dañados.

De igual manera que en la alternativa anterior, la inversión corresponde al costo marginal del motor de alta eficiencia y el estándar. En ambos casos la sustitución puede ser una medida de ahorro muy rentable.

- Por reemplazo de motores operando.

La sustitución de un motor en operación por uno de alta eficiencia, es más atractivo en los casos en los que el motor actual opera con bajo factor de carga, como consecuencia con baja eficiencia y factor de potencia. Por tanto la sustitución debe hacerse con un motor de menor capacidad que el actual y de alta eficiencia. Al sustituirlo se mejoraran substancialmente estos parámetros obteniendo atractivos ahorros energéticos y económicos. Por lo tanto, las horas del motor son un factor muy importante, ya que a medida que el motor opere con un mayor número de horas el proyecto se hace más rentable.

CAPÍTULO III.

SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL DE MABE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.

Actualmente en nuestro país se ha presentado un considerable apoyo para incrementar la eficiencia energética de los procesos en la industria, que hoy por hoy representa una de las pocas alternativas para la disminución de los costos variables de la producción y así poder elevar los niveles de competitividad, además de estos se ayuda a liberar al sistema nacional de generación de energía para que aumente su capacidad de suministro de este recurso.

Los análisis de uso irracional de energía, indican que en varias ramas del sector industrial se consume hasta un 40% de energía más de lo necesario. Tomando en cuenta que el sector representa una tercera parte del consumo total nacional, no racionar el uso de la energía aumentaría el tiempo de agotamiento de recursos energéticos no renovables en un 15%.

3.1 SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL

Mabe México, S. de R.L. de C.V., consiente de la problemática que el sector energético vive actualmente se dio a la tarea de disminuir el consumo de energía eléctrica en sus instalaciones ubicadas en la Ciudad de México, llevando a cabo un Diagnóstico Energético de Segundo Nivel, con el fin de analizar los principales equipos y sistemas con los que cuenta la planta, para evaluar su eficiencia energética de operación y poder así identificar los potenciales de ahorro a modo de llevar a cabo las medidas necesarias que garanticen el ahorro energético.

Cabe mencionar que el porcentaje de ahorro que se planteó obtener fue de un 20% con respecto a la facturación básica mensual.

PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

Mabe México, S. de R.L., se encuentra ubicada en la calle Oriente 162 No. 296, Col. Moctezuma, 2° Sección, C.P. 15500, Delegación Venustiano Carranza, en la Ciudad de México.

Esta empresa pertenece al ramo industrial metalmecánico así como al importante grupo **CARSO**, el cual se encuentra consciente y completamente comprometido con las acciones para ahorro de energía y de protección ambiental en pro de una mayor y mejor producción.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

El proceso general de producción en Mabe México, para cada estufa ya sea de encendido manual o eléctrico lo conforma un grupo de 5 departamentos, los cuales se muestran a continuación:

Almacén de Lámina

Aquí es donde se inicia el proceso ya que en este almacén se recibe y almacena los diferentes rollos de lámina que se utilizan para la fabricación de las diferentes piezas que componen las estufas. Los rollos de lámina varían en peso dependiendo la calidad y calibre de la misma.

Fabricación

En esta área se realiza el corte de lámina a diferentes dimensiones, al ser cortada la lámina pasa a las diferentes prensas y troqueles para ser maquilada según se requiera. Dentro de esta misma área algunas de las piezas pasan a las diferentes punteadoras para ser soldadas.

Lavado

Una vez que las diferentes piezas de las estufas son maquiladas pasan al área donde se colocan en un transportador para que estas se introduzcan a la máquina lavadora, que por medio de algunos solventes y detergentes limpia la grasa e impurezas, este mismo proceso cuenta con un secador de alta temperatura que realiza esta función y permite que las piezas salgan listas para aplicarles color.

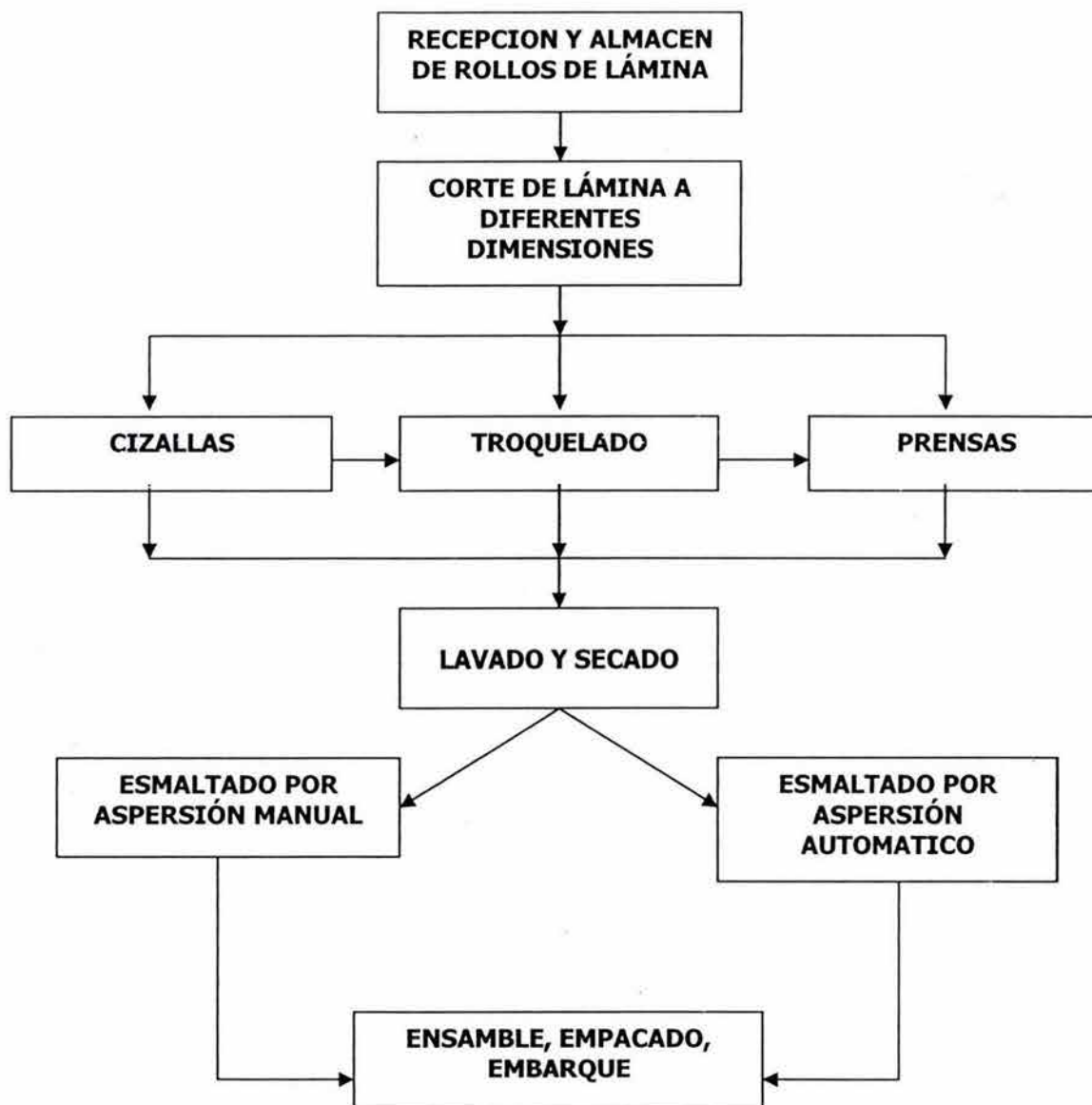
Esmalte

Ya secas las piezas, estas se cambian de transportador para entrar a los diferentes procesos de esmaltado (aspersión manual, aspersión automática y baño directo) donde se aplica el color que se defina y posteriormente se pasa a los hornos de alta eficiencia donde la pintura se horneará dentro de estos.

Ensamble

Una vez que ya se encuentran las diferentes piezas pintadas y acabadas se procede a pasar al área de ensamble donde se arman por completo las estufas, se realizan pruebas de funcionamiento, se empaquetan y pasan al área de embarques para su distribución a los diferentes puntos de venta.

A continuación se presenta en forma general el diagrama de flujo de los diversos procesos con los que se cuentan en **Mabe México S. de R.L. de C.V.**



3.1.1 ANÁLISIS DE LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA

De la información histórica proporcionada por el personal de **Mabe México, S. de R.L. de C.V.**, se obtuvieron las gráficas y tablas que se muestran en este capítulo, en las que se observan las tendencias de los principales parámetros de la facturación eléctrica. A continuación se hace un análisis de los mismos; el periodo analizado comprende de mayo de 2000 a mayo de 2001, que son los últimos datos de la factura eléctrica, como lo muestra la **Tabla 3.1**.

Demanda de Energía Eléctrica

Mabe México, S. de R.L. de C.V. tiene contratado el suministro eléctrico en la tarifa HM, por lo tanto en el recibo de energía se indican los valores máximos registrados durante el periodo de facturación divididos en los siguientes horarios: base, intermedia y punta.

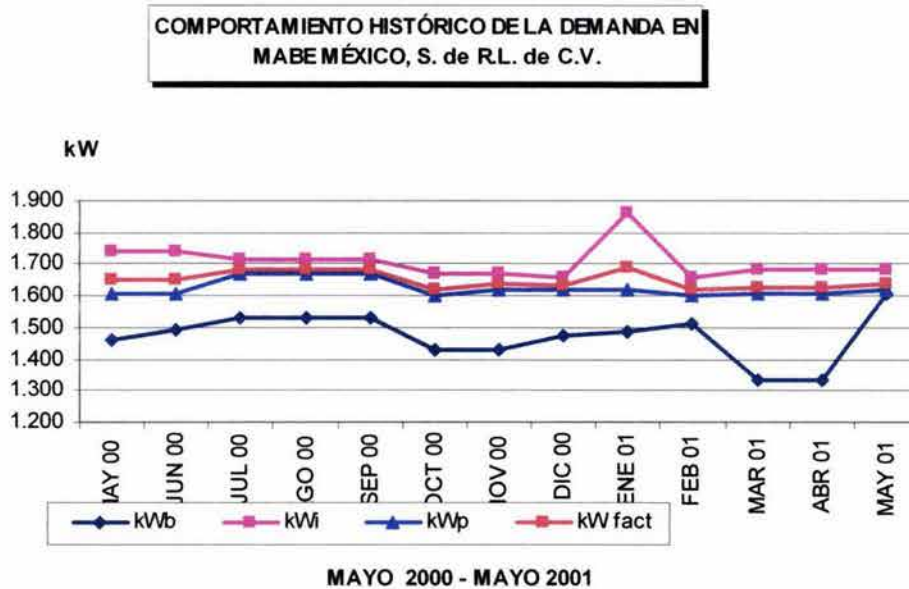
Por otra parte la demanda en horario punta es casi igual a la demanda facturable debido a la fórmula para calcular la demanda facturable, únicamente en el mes de enero de 2001, ocurrió la máxima variación entre ambas demandas, debido a que la demanda en intermedia se incrementó en poco más del 10% respecto a los meses anteriores.

Tabla 3.1. Demanda Anual Facturable en Mabe México, S. de R.L. de C.V.

AÑO	MES	DEMANDA (kW)			
		BASE	INTER	PUNTA	FACT
2000	MAY 00	1.458	1.742	1.610	1.650
2000	JUN 00	1.490	1.742	1.610	1.650
2000	JUL 00	1.532	1.715	1.673	1.686
2000	AGO 00	1.532	1.715	1.673	1.686
2000	SEP 00	1.532	1.715	1.673	1.686
2000	OCT 00	1.431	1.670	1.602	1.623
2000	NOV 00	1.431	1.670	1.622	1.637
2000	DIC 00	1.475	1.659	1.619	1.631
2001	ENE 01	1.484	1.862	1.619	1.692
2001	FEB 01	1.515	1.660	1.602	1.620
2001	MAR 01	1.334	1.684	1.605	1.629
2001	ABR 01	1.334	1.684	1.605	1.629
2001	MAY 01	1.605	1.683	1.618	1.638
	MAXIMO	1.605	1.862	1.673	1.692
	PROMEDIO	1.473	1.708	1.625	1.651
	MINIMO	1.334	1.659	1.602	1.620

La máxima demanda facturable se presentó también en enero de 2001 con 1,692 kW, los valores en base y punta de este mes fueron de 1,484 y 1,619 kW respectivamente aunque éste último muy similar al mínimo histórico, por lo que la máxima demanda ocurrió por el incremento de la demanda intermedia.

La demanda en punta no muestra variaciones muy importantes, a excepción del tercer trimestre del año 2001 (julio, agosto y septiembre), en que mantuvo valores de 1,673 kW, sin embargo durante el resto del periodo analizado es la que menos variaciones presenta.



Gráfica 3.1.

Como se puede apreciar de la *Gráfica 3.1.* la curva que más variaciones presenta es la demanda en base, ya que el máximo histórico ocurrido en mayo de 2001 fue de 1,605 kW y la demanda mínima en marzo del mismo año fue de 1,334 kW. Dicha curva no presenta una tendencia estable, esto puede deberse también a que el tercer turno algunas veces trabaja y otras no, sin embargo también es muestra de que no se tiene un control sobre la operación de los equipos durante este periodo.

Consumo de Energía Eléctrica

Al igual que la demanda, el consumo de energía (kWh) se factura conforme tres horarios y como ya se mostró en los costos de la tarifa eléctrica, el horario base es el más económico y el horario punta el más caro.

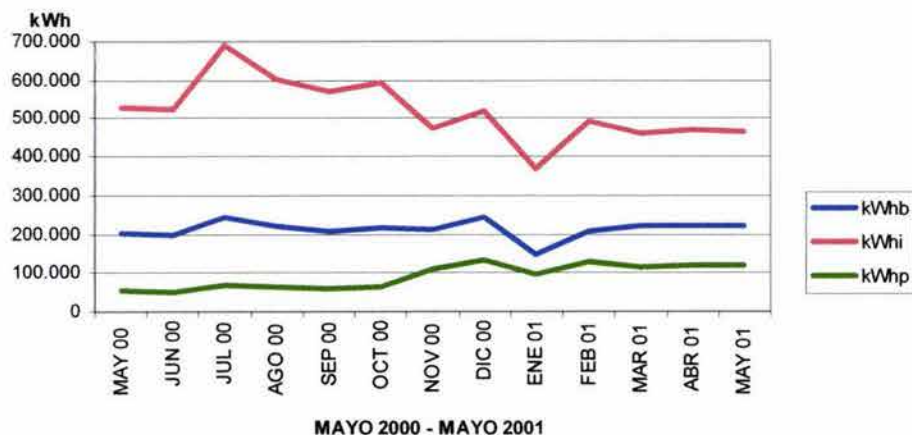
Tabla 3.2. Consumo Energético en Mabe México, S. de R.L. de C.V.

AÑO	MES	CONSUMO (kWh)			
		BASE	INTER	PUNTA	TOTAL
2000	MAY 00	201.034	529.173	53.126	783.333
2000	JUN 00	199.912	526.221	52.830	778.963
2000	JUL 00	243.294	688.853	69.856	1.002.003
2000	AGO 00	223.094	605.382	63.482	891.958
2000	SEP 00	205.296	569.435	59.121	833.852
2000	OCT 00	216.625	592.507	63.647	872.779
2000	NOV 00	210.936	474.176	111.078	796.190
2000	DIC 00	243.702	519.439	134.359	897.500
2001	ENE 01	149.191	367.170	94.958	611.319
2001	FEB 01	206.507	491.645	130.450	828.602
2001	MAR 01	218.893	462.568	117.210	798.671
2001	ABR 01	222.299	469.766	119.035	811.100
2001	MAY 01	220.596	466.167	118.123	804.886
	MAXIMO	243.702	688.853	134.359	1.002.003
	PROMEDIO	212.414	520.192	91.329	823.935
	MINIMO	149.191	367.170	52.830	611.319

Al analizar el consumo en horario punta, de mayo de 2000 a octubre de ese mismo año, el consumo permaneció prácticamente constante, a partir de noviembre y hasta mayo de 2001 el consumo en punta aumentó casi el doble como lo indica la **Tabla 3.2.** esto se debió a que durante el horario de verano sólo son dos horas de punta, mientras que en horario de no verano (este año se aplicó hasta mayo) son cuatro horas de punta. El promedio mensual es de 91,329 kWh.

El consumo en horario base tiene variaciones muy pequeñas durante todo el año, sin embargo en enero de 2001 se muestra un decremento importante en el consumo de energía en los tres horarios, situación que no concuerda con la demanda ya que fue precisamente enero el máximo histórico mientras que en el consumo representó el mínimo histórico.

**COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA
MABE MÉXICO, S. de R.L. de C.V.**

**Gráfica 3.2.**

El período que más variaciones presenta es el intermedio (ver *Gráfica 3.2.*), ya que tiene picos muy altos como el de julio de 2000 con 688,853 kWh y valores como el de enero del 2001 con 367,170 kWh, es decir la variación entre meses continuos es de aproximadamente 10-15%, a pesar que los horarios de producción cubren al 100% el horario intermedio, la variación indica que no se tiene un control sobre el tiempo de operación de los equipos.

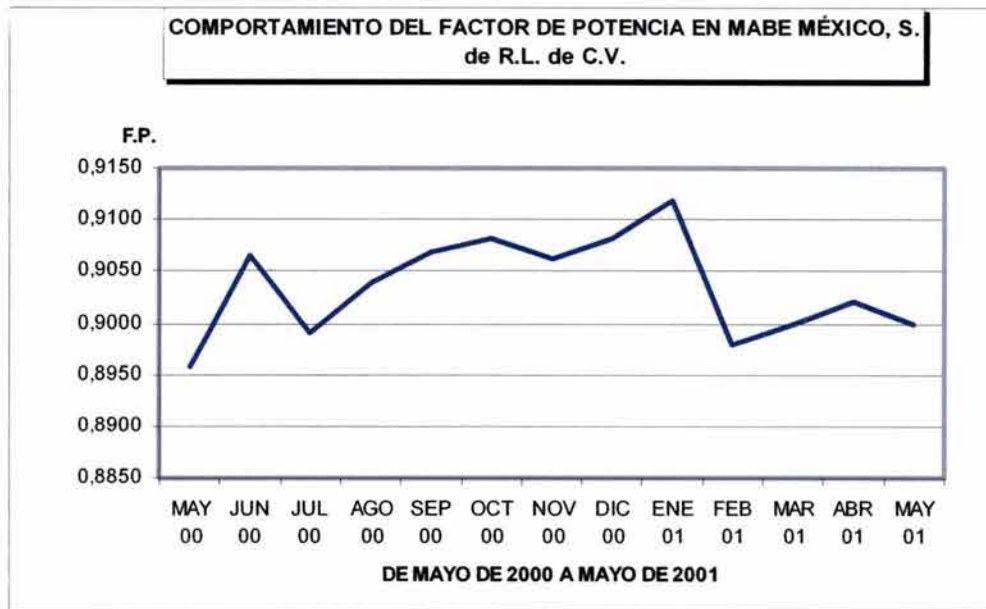
Factor de Potencia

El último parámetro que considera la Cia. de Luz y Fuerza del Centro en la facturación eléctrica es el Factor de Potencia (F.P.), que como se ya mencionó puede causar bonificaciones, si es mayor de 90% o penalizaciones si es menor del 90%.

Tabla 3.3. Consumo Energético en Mabe México, S. de R.L. de C.V.

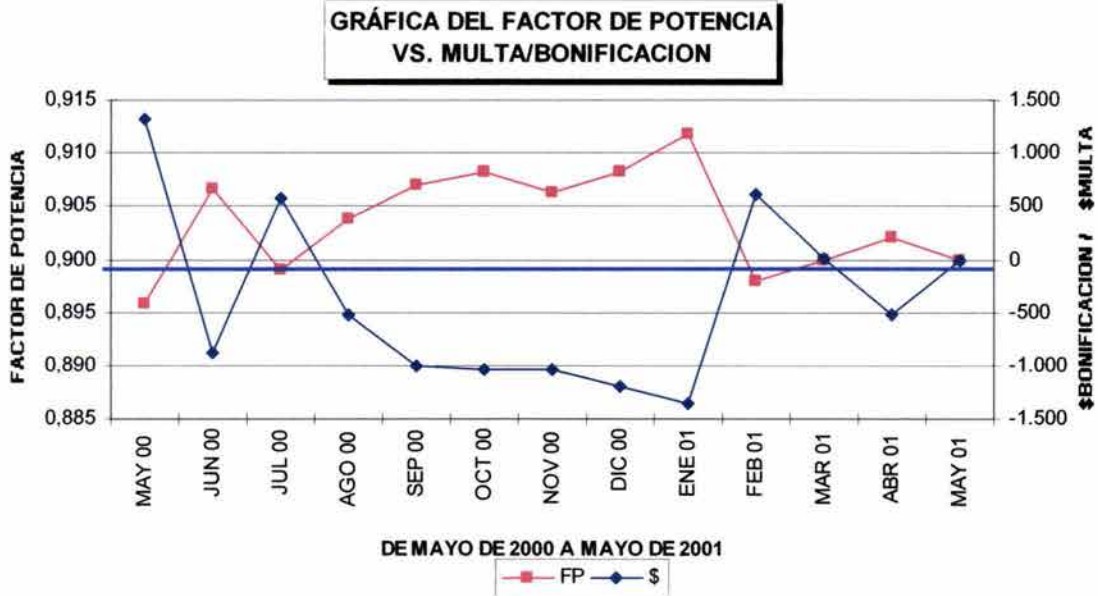
AÑO	MES	F.P.
2000	MAY 00	0,8958
2000	JUN 00	0,9066
2000	JUL 00	0,8990
2000	AGO 00	0,9039
2000	SEP 00	0,9069
2000	OCT 00	0,9082
2000	NOV 00	0,9063
2000	DIC 00	0,9082
2001	ENE 01	0,9119
2001	FEB 01	0,8980
2001	MAR 01	0,9000
2001	ABR 01	0,9020
2001	MAY 01	0,9000
	MAXIMO	0,912
	PROMEDIO	0,904
	MINIMO	0,896

Como lo indica la *Tabla* y la *Gráfica 3.3.* del periodo analizado, se tiene que en promedio el factor de potencia es de 90.40% es decir apenas arriba del 90% requerido por la Cia. de Luz y Fuerza del Centro, pero con una tendencia hacia abajo y aunque en sólo tres ocasiones (mayo, julio y enero de 2000) han tenido bajo Factor de Potencia, las multas por este concepto sumaron \$2,499.00 M.N. y las bonificaciones fueron de \$7,559.00 M.N.



Gráfica 3.3.

En la *Gráfica 3.3.* de Factor de Potencia vs. Multa/Bonificación, se observa claramente como es mayor el impacto económico por tener bajo F.P. que por un alto factor de potencia, es decir con F.P. de 0.896 la multa ascendió a \$1,325.00 M.N. mientras que con un F.P. de 0.904 la bonificación fue de sólo \$525.00 M.N., es decir 40% menor que la multa con un porcentaje muy similar de variación del factor de potencia.



Gráfica 3.3.'

Con base en lo anterior, se propone la corrección del actual F.P. hasta 95% con el fin de evitar de manera definitiva las multas con un mayor beneficio económico en las bonificaciones por este concepto.

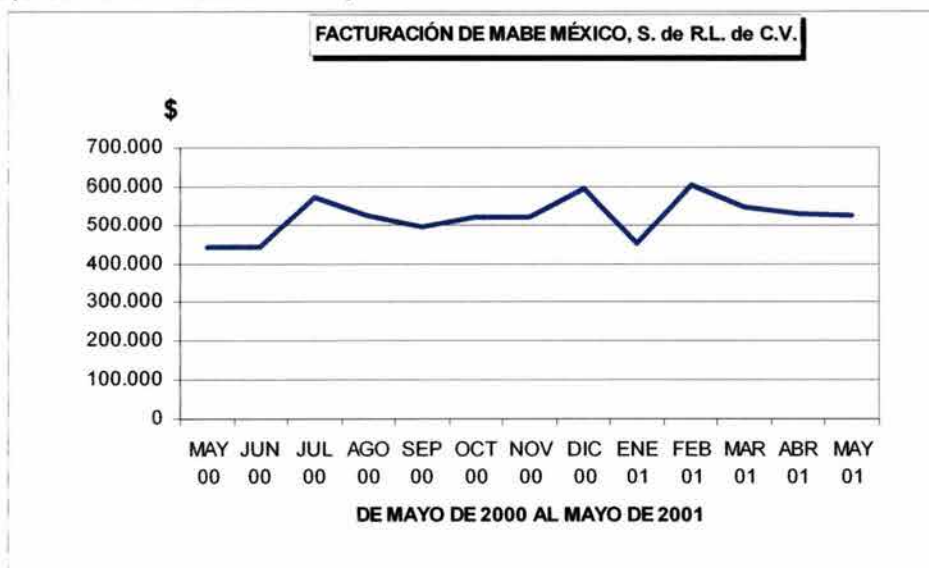
Facturación Eléctrica

La tendencia de la facturación es muy similar al del consumo, ya que éste último es el que más incidencia tiene sobre el total de la facturación, sin embargo también muestra una ligera tendencia hacia arriba debido principalmente al aumento en las tarifas eléctricas. Un caso especial de esto lo muestra la **Tabla 3.4.** en el mes de febrero de 2001, que con una facturación de \$604,187.00 M.N. fue el máximo histórico aunque la demanda y consumo no lo fueron.

Tabla 3.4. Facturación Eléctrica en Mabe México, S. de R.L. de C.V.

AÑO	MES	COSTOS EN PESOS					
		kWh b	kWh i	kWh p	kW fact	\$ / F.P.	TOTAL
2000	MAY 00	65.697	207.052	64.967	103.935	1.325	442.976
2000	JUN 00	66.247	208.784	65.512	100.408	-882	440.068
2000	JUL 00	82.819	280.753	88.984	118.321	570	571.447
2000	AGO 00	77.602	252.126	82.632	112.436	-525	524.271
2000	SEP 00	70.910	235.490	76.415	114.365	-994	496.185
2000	OCT 00	74.574	244.218	81.992	118.782	-1.039	518.527
2000	NOV 00	73.054	196.624	143.957	107.853	-1.043	520.445
2000	DIC 00	84.782	216.362	174.912	120.505	-1.193	595.368
2001	ENE 01	53.417	157.447	127.241	112.288	-1.351	449.041
2001	FEB 01	76.944	219.397	181.898	125.345	604	604.187
2001	MAR 01	77.508	196.189	155.331	116.390	0	545.417
2001	ABR 01	76.204	192.878	152.706	110.032	-532	531.288
2001	MAY 01	75.914	192.159	152.126	105.079	0	525.278
	MAXIMO	84.782	280.753	181.898	125.345	1.325	604.187
	PROMEDIO	73.513	215.344	119.129	112.749	-389	520.346
	MINIMO	53.417	157.447	64.967	100.408	-1.351	440.068

La explicación es que los costos por energía eléctrica de febrero han sido los mas altos del periodo analizado y la tendencia de los costos en los últimos tres meses han sido hacia abajo como lo muestra la **Gráfica 3.4.** de facturación eléctrica.

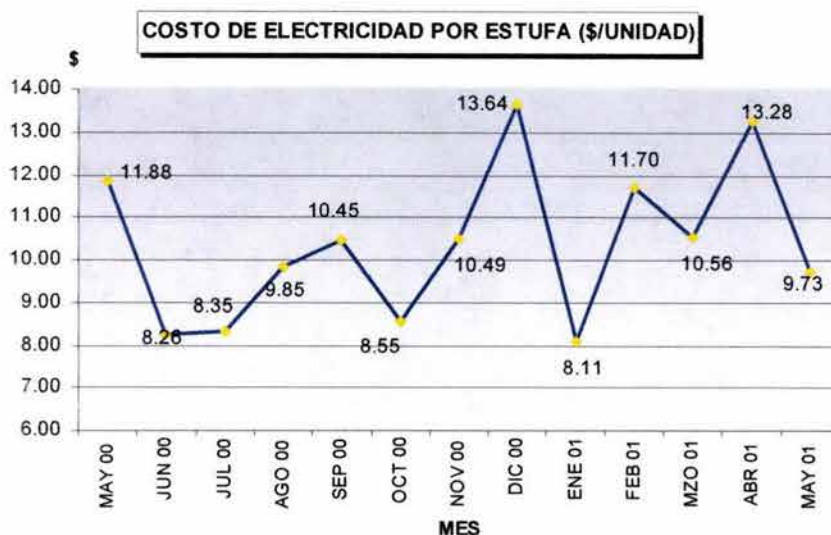


Gráfica 3.4.

3.1.2 CONSUMOS ESPECÍFICOS

El consumo específico es un indicativo de la eficiencia con la que opera la planta, ya que representa la cantidad de energía consumida (kWh) por unidad producida, si se analizan los índices energéticos con respecto a la demanda eléctrica se logra obtener los costos de la electricidad por unidad producida en cierto periodo de tiempo.

Para el caso concreto de **Mabe México**, de los datos de producción mensual y de los recibos de energía proporcionados por el personal de la planta, se obtuvieron cuatro gráficas que a continuación se muestran a detalle, el periodo analizado comprende de mayo de 2000 a mayo de 2001.

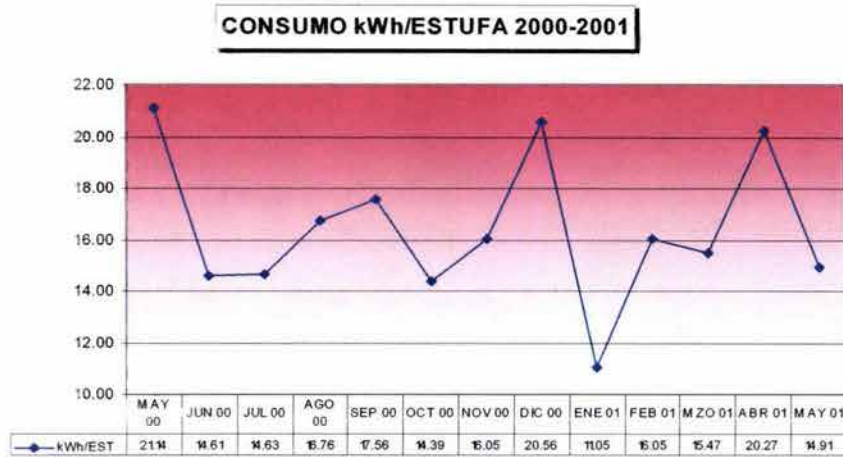


Gráfica 3.5.

Consumo de Energía VS Producción

La **Gráfica 3.6.** representa el consumo específico mensual, es decir kWh/estufa, donde el índice energético más bajo se dio en enero con 11.05 kWh/estufa debido a que la producción fue la segunda más alta y el consumo fue el mínimo histórico, lo cual lo hace un condición óptima, sin embargo en ningún otro mes se presenta siquiera una condición parecida.

El índice energético más coincidente es alrededor de 14.5 kWh/estufa el cual debe tomarse como base ya que se demuestra que en varias ocasiones se ha podido lograr esta condición. En los restantes siete meses el índice energético es mayor a 16 kWh/mes ya presenta menores unidades producidas con mayores consumos de energía lo que se debe evitar ya que aumenta el costo de la unidad producida.



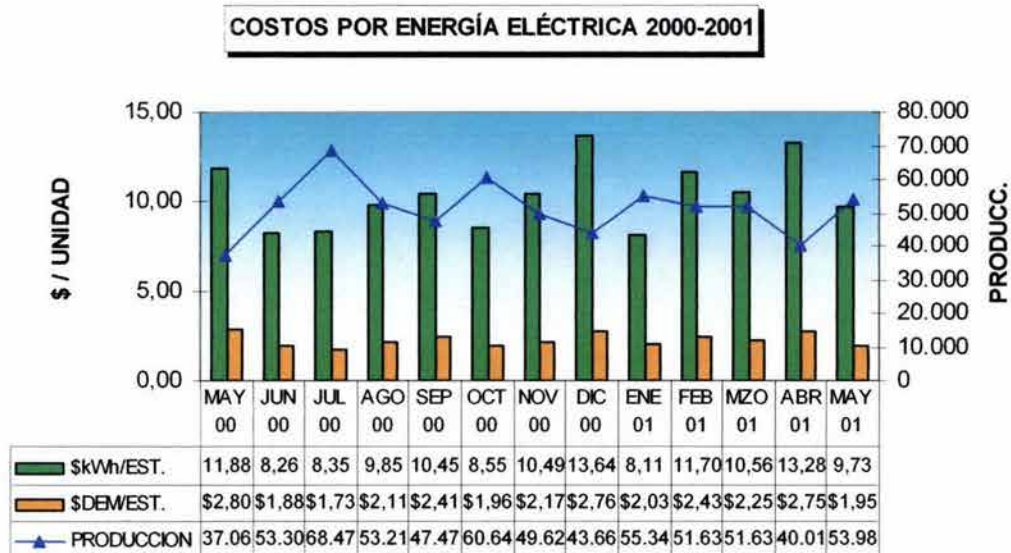
Gráfica 3.6.

Estas condiciones revelan que no se tiene un control sobre el tiempo de operación de los equipos ni tampoco de la programación de la producción, como se comprueba en las gráficas siguientes.

La importancia de conocer los índices energéticos radica en mantener correlacionadas las variables de consumo y producción de manera que la energía eléctrica sea utilizada eficientemente, es decir que toda la electricidad consumida sea utilizada al máximo para producir bienes y servicios.

Costos de Electricidad VS Producción

Para este caso se desarrolló la Gráfica 3.7. la cual muestra el costo total de electricidad por estufa producida al mes, en la gráfica se puede apreciar que los índices obtenidos son muy variables, por ejemplo en diciembre se tuvo un costo de 13.64\$/estufa producida, esto es 43,661 estufas con un consumo de 897,500 kWh, mientras que en enero el costo fue de 8.11\$/estufa, es decir una variación de alrededor del 80%.

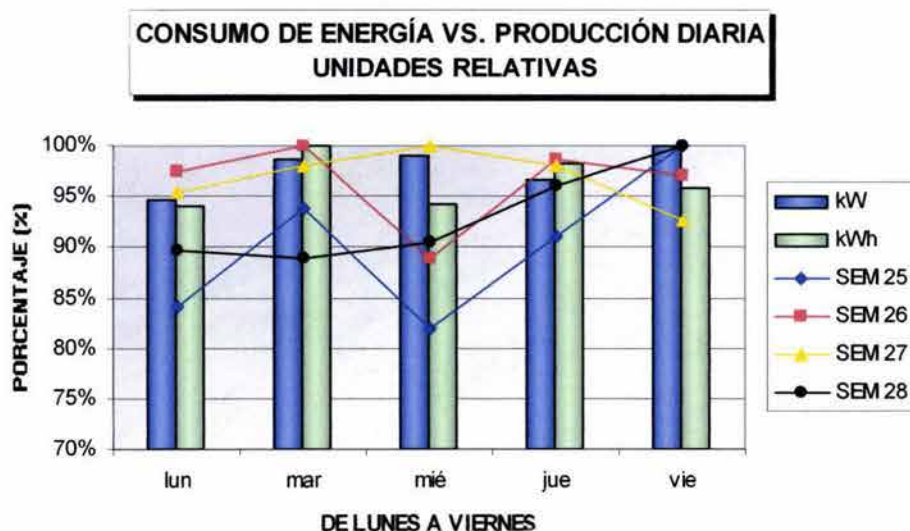


Gráfica 3.7.

Los índices más críticos se presentaron en mayo y diciembre de 2000 así como en febrero y abril de 2001, debido principalmente a que la producción fue menor que en otros meses.

Consumo Energético Diario

La *Gráfica 3.8.* de "Consumo de Energía VS Producción Diaria" se obtuvo con base en las mediciones realizadas en los transformadores principales y de la información de la producción semanal, (Proporcionada por el personal de Mabe México, S. de R.L. de C.V.).



Gráfica 3.8.

Como se observa en las gráficas de las mediciones realizadas se concluyó que el perfil de demanda es igual entre una semana y otra, por lo que se obtuvo un perfil típico de demanda de toda la planta.

Para realizar la gráfica se tomaron los kW máximos y el consumo diario, así como los datos de producción diario de las cuatro semanas en las que se realizaron las mediciones, las cuales corresponden a las semanas 25, 26, 27 y 28, es decir del 18 de junio al 13 de julio de 2001 y todos los valores se pasaron a unidades relativas.

Con la gráfica podemos observar que los martes y viernes son los días más productivos y que mejor se aprovecha la energía eléctrica ya que coinciden el 100% de producción y el 100% de demanda y consumo.

Por otra parte los días que suelen ser menos productivos son los lunes y miércoles, ya que con una demanda y consumo de poco más de 95% apenas se produce el 90% y en algunas semanas hasta el 84% (semana 25).

En cuanto a la producción diaria se ve claramente como varía entre un día y otro, las semanas 25 y 26 muestran una tendencia parecida pero las semanas 27 y 28 son totalmente distintas a cualquiera, por lo que se comprueba que no se tiene control sobre la programación de la producción ni sobre la operación de los equipos.

CAPÍTULO IV.

**ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO
DE MABE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.**

En años recientes, la calidad de la energía en las instalaciones eléctricas, especialmente en las de tipo industrial y comercial, se han convertido en un aspecto de muy especial importancia para los responsables de cada área que componen los inmuebles, ya que del suministro eléctrico continuo y confiable depende el éxito de programas de producción y de la calidad de productos y servicios.

Es común que en un sistema eléctrico se pretenda instalar carga adicional como son los equipos nuevos, que permiten incrementar la producción o el control de las instalaciones y aparentemente la red eléctrica ya no tiene capacidad disponible para la instalación de esa nueva carga. Sin embargo, al analizar la operación de la carga existente, se descubre que si se toman las medidas adecuadas, se puede liberar al sistema de porcentajes importantes de carga, permitiendo no sólo conectar los nuevos equipos, sino inclusive quedar con aun más capacidad disponible para futuros incrementos, todo esto sin necesidad de retirar un solo equipo de los existentes y sin hacer cambios mayores en el sistema eléctrico.

En lo que al suministro eléctrico se refiere, es común atribuir las deficiencias a las empresas suministradoras, sin embargo, los problemas en un gran número de casos se deben a situaciones internas o de otros usuarios de la red eléctrica cercanos, tales como diseños inadecuados, saturación de conductores o equipos, mal uso de los sistemas o a la presencia de disturbios generados por la misma carga.

Debe entenderse entonces, que el Ahorro de Energía Eléctrica es un concepto que debe convertirse en una actitud hacia usar siempre la energía eléctrica en la forma más racional y eficiente para lograr mantener los costos mínimos por su consumo y permitir con un mismo sistema, suministrar energía a más áreas o más usuarios.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Como ya se mencionó **Mabe Estufas México, S. de R.L. de C.V.** se encuentra ubicada en la tarifa HM de la Región Central, cuenta con una acometida en 23,000 Volts y es en este voltaje como se distribuye hacia las subestaciones secundarias.

En la subestación PRINCIPAL se tienen un transformador de 1,000 kVA con un voltaje en el secundario de 220 volts y existen otras tres subestaciones con un transformador cada uno. A continuación se presenta la **Tabla 4.1.** con los datos nominales de cada uno de estos transformadores.

Tabla 4.1. Datos Nominales de los Transformadores Principales

S.E.	Ubicación	Transformador	Área de Alimentación
1	Principal	1,000 kVA @ 220 V	Esmalte
2	Esmalte	750 kVA @ 220 V	Esmalte y Servicios
3	Ensamble	750 kVA @ 440 V	Ensamble y Compresores
4	Fabricación	1,500 kVA @ 220 V	Fabricación & Esmalte

Como tienen algunos equipos en el área de fabricación que decidieron operarlos con un voltaje de 440 volts, entonces cuentan con otros transformadores derivados que elevan el voltaje de 220 a 440 volts, ubicados en diferentes áreas como lo indica la **Tabla 4.2**.

Tabla 4.2. Transformadores Derivados

No.	Ubicación	Transformador	Área que Alimenta
A	Fabricación	75 kVA	Punteadora múltiple
B	Fabricación	300 kVA	Punteadoras
C	Fabricación	150 kVA	Prensas Fagor

4.2 MEDICIONES ELÉCTRICAS

Los transformadores monitoreados manejan un voltaje nominal de operación de 23,000 V en el lado primario y 220 V en el secundario, a excepción del de esmalte. Estos equipos fueron medidos con analizadores de redes eléctricas OPH-03 de la marca Kitron, los cuales tienen la capacidad para medir de la misma manera que los medidores de la Cia. de Luz y Fuerza integrando valores de demanda a intervalos de 15 minutos. Se obtuvieron valores de demanda activa, reactiva y factor de potencia trifásico de cada transformador, así como voltajes y corrientes por fase. También se monitoreo la frecuencia del sistema.

Los equipos estuvieron monitoreando a los transformadores durante una semana cada uno y además cuenta con puerto de comunicación para descargar toda la información por medio de su propio software en una computadora.

La información generada se encuentra en los anexos de este trabajo y están divididas por subestación y transformador. Al inicio de cada transformador se encuentra una hoja de cálculo para determinar la eficiencia e índice de carga a la cual opera el equipo en la que además se muestran los valores promedio, máximo y mínimo de los parámetros medidos.

4.3 EFICIENCIA E ÍNDICE DE CARGA EN LOS TRANSFORMADORES

El transformador es una máquina eléctrica que convierte, en general, una tensión de entrada (primaria) en otra distinta de salida (secundaria), basándose en las leyes de inducción magnética.

Los voltajes en vacío del lado primario y secundario del transformador son proporcionales al número de espiras de sus devanados con gran aproximación. La corriente de magnetización circula sólo por el lado primario y es además muy pequeña, produciendo una caída de voltaje despreciable en su resistencia interna. Con carga, sin embargo, se producen caídas de voltaje apreciables, especialmente en las impedancias internas de los embobinados.

El rendimiento N para un transformador lo describe la **ecuación (15)** y **(15')**:

$$N = \frac{P_s}{P_e} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{ecuación (15)}$$

o bien

$$N = \frac{P_2}{(P_2 + P_p)} \quad \text{ecuación (15')}$$

Donde:

P_s = Potencia de salida

P_e = Potencia de entrada

Los transformadores son considerados las máquinas eléctricas más eficientes, debido a que sus rangos de rendimiento se encuentran ubicados entre 96 % y 99.7 %, dependiendo de varios factores como temperatura, carga, etc. En la **Tabla 4.3.** se presentan los valores de rendimiento típico.

Tabla 4.3. Rendimiento Típico de Transformadores

Tipo de Transformador	Potencia Nominal	Rendimiento (%)
de distribución	10 kVA - 9,000 kVA	96.0 a 99.0
de potencia	10,000 kVA - 100,000 kVA	99.0 a 99.7

Los transformadores mantienen su elevada eficiencia en un amplio límite de valores de carga por arriba y por abajo del valor medio de carga. Las eficiencias de los transformadores son más elevadas que la eficiencia de la maquinaria rotatoria, para la misma capacidad, debido a que la maquinaria eléctrica rotatoria tiene pérdidas adicionales, tales como pérdidas por rotación y de dispersión o suplementarias.

Es muy importante conocer el índice de carga "C" de un transformador, ya que las pérdidas dependen de él. De este modo el índice de carga se define como el cociente entre la intensidad de trabajo y la intensidad nominal como lo indica la **ecuación (16)**.

$$C = \frac{I_1}{I_{n1}} = \frac{I_2}{I_{n2}} \quad \text{ecuación (16)}$$

Donde:

I_1, I_2 = Intensidad de trabajo.

I_{n1}, I_{n2} = Intensidad nominal.

Si $C \leq 1$, el transformador funciona holgadamente, esto quiere decir que por él circulan corrientes menores que para las que ha sido diseñado, su calentamiento no será peligroso y puede funcionar de modo continuo.

Si por el contrario, $C > 1$, el transformador está sobrecargado, pues por sus devanados circulan intensidades mayores que las nominales. El calentamiento alcanzado puede llegar a ser peligrosos y dañar los aislantes.

El funcionamiento en condiciones de sobrecarga no puede ser continuo. Para cada índice de carga $C > 1$, el transformador solo puede permanecer en funcionamiento un tiempo determinado.

Los regímenes de carga constante no son los más frecuentes. El índice de carga suele variar a lo largo de un período de tiempo (día, año, etc.), según un determinado ciclo. Para hallar el índice de carga medio, se calcula una intensidad media que produce las mismas pérdidas que las intensidades que circulan realmente, como lo muestra la **ecuación (17)**:

La intensidad media es:

$$I_c = \sqrt{\frac{(I_1^2 \times t_1) + (I_2^2 \times t_2) + (I_3^2 \times t_3) + (I_n^2 \times t_n)}{(t_1 + t_2 + t_3 + t_n)}} \quad \text{ecuación (17)}$$

Donde :

I_c = Intensidad de corriente media

I_{1-n} = Intensidad

t_{1-n} = Tiempo

y el índice de carga medio C_m lo muestra la **ecuación (18)**:

$$C_m = \frac{I_c}{I_n} \quad \text{ecuación (18)}$$

Donde :

C_m = Índice de carga medio

I_c = Intensidad media

I_n = Intensidad nominal

4.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN UN TRANSFORMADOR

Las pérdidas de potencia que se producen en un transformador son fundamentalmente de dos tipos:

- **Pérdidas en el circuito magnético (P_o)**
Llamadas también pérdidas en el hierro o pérdidas en vacío, ya que se hallan mediante el llamado ensayo en vacío del transformador. Son independientes de la carga a la que esté sometido el transformador y prácticamente invariable a voltaje y frecuencia constante. Es un dato que normalmente suministra el fabricante.
- **Pérdidas por efecto Joule en los devanados (P_{cu})**
Se deben a las pérdidas en los embobinados del transformador debido a las resistencias existentes en estos (efecto Joule). Se les suele llamar pérdidas en el cobre, ya que los devanados suelen fabricarse en cobre, aunque a veces se hacen de aluminio. Varían proporcionalmente con el cuadrado de la intensidad; si se conocen las pérdidas producidas por este concepto en régimen nominal (P_{cc}), cuando el transformador funcione con un índice de carga C , las pérdidas del cobre serán:

$$P_{cu} = C^2 \times P_{cc} \quad \text{ecuación (19)}$$

Donde:

P_{cu} = Pérdidas por efecto joule.

C = Índice de carga del transformador.

P_{cc} = Pérdidas del transformador en régimen nominal.

Las pérdidas en el cobre de un transformador en régimen nominal (P_{cc}), es un dato que suministra el fabricante.

Las pérdidas totales en un transformador (P_p), que trabaje con un índice de carga C , las muestran la **ecuación (20)**:

$$P_p = P_o + P_{cu} = P_o + C^2 \times P_{cc} \quad \text{ecuación (20)}$$

Como puede verse, las pérdidas totales de un transformador no son constantes, sino que dependen del índice de carga, al aumentar este, aumentan las pérdidas.

La **Tabla 4.4.** contiene valores típicos de pérdidas en el hierro y en el cobre para diferentes potencias nominales.

En un transformador la potencia cedida por el secundario es:

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot V_2 \cdot I_2 \cdot \text{Cos}(\Phi_2) \quad \text{ecuación (21)}$$

Donde:

V_2 = Es el voltaje en bornes del secundario con una intensidad

$I_2 = C \times I_{n2}$

$\text{Cos}(\Phi_2)$ es el factor de potencia.

El rendimiento del transformador "N", será:

$$N = \frac{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot C \cdot I_{n2} \cdot \cos(\Phi_2)}{(\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot C \cdot I_{n2} \cdot \cos(\Phi_2)) + (P_o + (C^2 \cdot P_{cc}))} \quad \text{ecuación (22)}$$

Donde:

$P_o + (C^2 \cdot P_{cc})$ = Pérdidas del transformador para el índice de carga C.

En ésta expresión de rendimiento se puede observar que: si el índice de carga "C" es constante, el rendimiento aumenta al crecer el factor de potencia "Cos (Φ^2)" de la carga conectada al secundario. Por lo tanto se ahorrará energía si se mejora el factor de potencia de la carga conectada al secundario.

Tabla 4.4. Pérdidas en un Transformador

Potencia Nominal kVA	PÉRDIDAS	
	Hierro (Po) Watts	Cobre (Pcc) Nom. Watts
50	245	810
75	400	1.080
125	480	2.350
160	490	2.600
200	570	3.400
250	675	4.230
315	750	5.250
400	900	6.200
500	1.000	8.050
630	1.250	9.000
800	1.690	10.000
1.000	1.800	12.600
1.250	2.010	16.800
1.500	2.360	18.370
1.600	2.500	19.000
2.000	2.750	23.900
2.500	3.480	29.600
3.150	3.500	30.500
4.000	4.300	34.000
5.000	5.000	39.500
6.300	6.300	45.000
8.000	7.000	57.000

Con las mediciones realizadas a cada uno de los transformadores, se calcula el índice de carga y la eficiencia o rendimiento con el que actualmente trabaja cada uno de ellos.

En la **Tabla 4.5.** se muestran los índices de carga y eficiencias a las cuales se encuentran operando los transformadores actualmente.

Como se observa, todos los transformadores operan a una eficiencia promedio por arriba del 98.6%, a excepción del transformador de la subestación de fabricación que tiene una eficiencia promedio de 97.86%, aunque cabe hacer la aclaración que se encuentra dentro del rango mostrado en la **Tabla 4.3**.

Sin embargo, debido a que los cambios en el factor de potencia de la carga no modifican las pérdidas, elevar el factor de potencia de este transformador mejorará la eficiencia del mismo, ya que las pérdidas se convierten entonces en una proporción menor de la potencia total de la entrada.

Tabla 4.5. Resumen de Índice de Carga, Eficiencia y THD por Subestación

SUBESTACIÓN	TRANSFORMADOR	DEMANDA PROMEDIO	FACTOR DE POTENCIA	ÍNDICE DE CARGA	EFICIENCIA
PRINCIPAL	1000 KVA @ 220 V	321	0,92	32,53%	98,60%
FABRICACIÓN	1500 KVA @ 220 V	255	0,85	22,94%	97,86%
ESMALTE	750 KVA @ 220 V	401	0,96	54,09%	98,82%
ENSAMBLE	750 KVA @ 220 V	166	0,75	24,45%	98,62%

Por otra parte el transformador de esmalte tiene un Índice de Carga Media de 54% y es el que presenta mejor eficiencia de operación, debido a que la eficiencia máxima ocurre aproximadamente a la mitad de la carga para la mayor parte de los transformadores.

4.5 PERFILES DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN LOS TRANSFORMADORES

De las mediciones eléctricas realizadas a cada transformador principal durante una semana y media, se obtuvieron los perfiles típicos de comportamiento de los siguientes parámetros: voltajes y corrientes por fase, demandas trifásicas (activa, reactiva y aparente) y del factor de potencia trifásico.

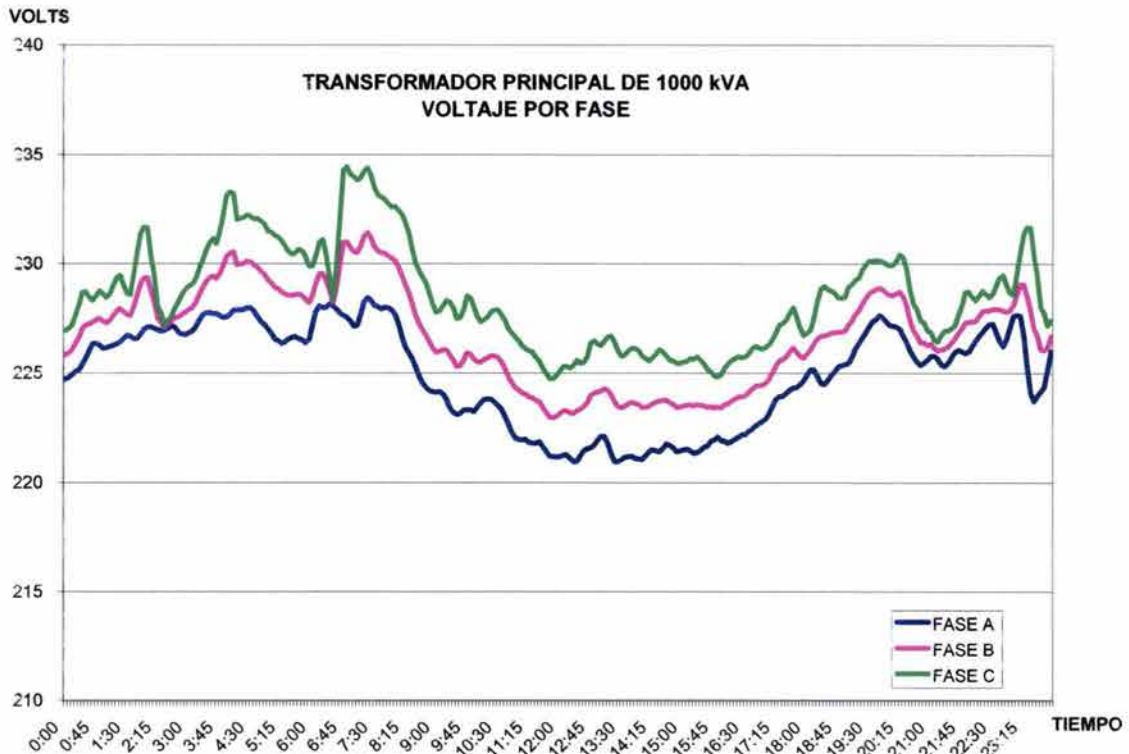
A continuación se explican brevemente las características de cada uno de ellos.

a) Subestación Principal. 1,000 kva @ 220 volts

PERFIL DE VOLTAJE

Este transformador fue monitoreado del lunes 25 de junio al domingo 1 de julio, tomando como referencia el día 26 de junio del perfil de voltaje. Se observa que durante las noches el voltaje tiende a elevarse, aunque no muy considerablemente debido principalmente a que se tiene menor carga demandada.

Los valores promedio mostrados en la **Gráfica 4.1**. para las fases A, B y C respectivamente son: 225, 228 y 230 volts y los máximos son 233, 236 y 238, por lo que la regulación del voltaje es de 8.26% lo cual es muy bueno ya que debido a las caídas de tensión por las distancias, el voltaje que se suministra a los equipos en el sitio es de aproximadamente 220 a 224 volts aproximadamente.



Gráfica 4.1.

La diferencia que existe entre las fases es de apenas 2% (5 volts) por lo que no se presenta ningún problema por desbalanceo de fases.

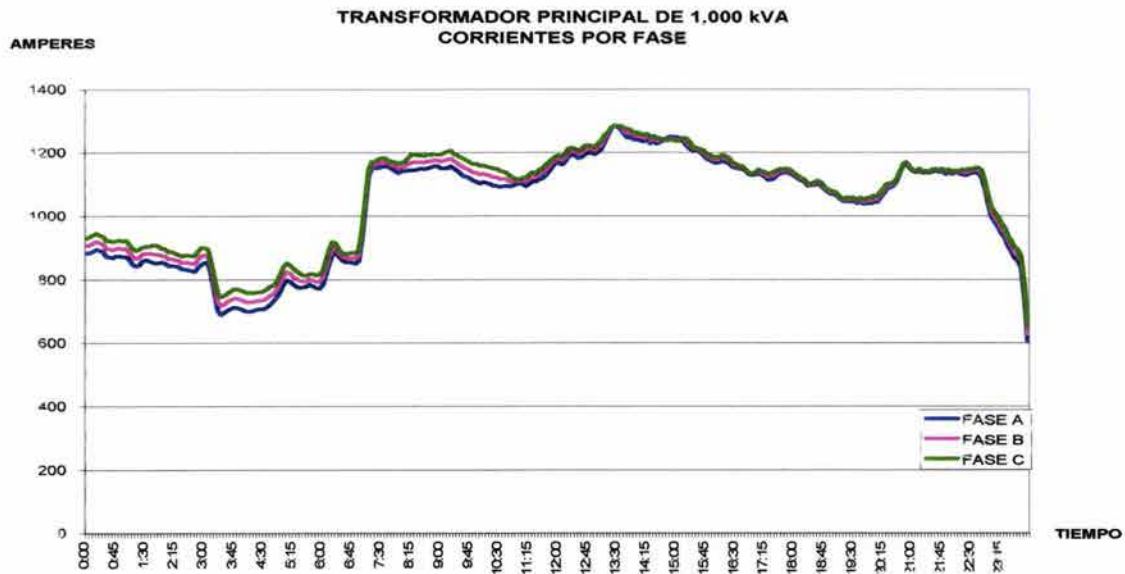
PERFIL DE CORRIENTE

En la gráfica del perfil de corriente se observa que a partir de las 07:00 am y hasta las 23:00 pm aproximadamente se tiene una carga que va de 1,000 a 1,200 amperes, con pequeños picos que llegan hasta 1,287 amperes.

También se puede ver que de las 10:20 a las 12:00 la carga disminuye todos los días, lo anterior debido a que se tienen 30 minutos para comer en el área de esmalte (10:30 a.m.–11:00 a.m.), sin embargo se vuelve a tener la misma carga hasta las 12:00 p.m. aproximadamente.

Durante el tercer turno la carga disminuye de las 23:00 p.m. a las 06:00 a.m. (*Gráfica 4.2.*), cabe mencionar que durante los 5 días restantes, el martes y jueves la carga mínima fue de 450 amperes, mientras que el lunes y viernes la corriente mínima fue de 723 amperes (casi 50% más que martes y jueves) y el miércoles se tuvo una demanda mínima de 890 amperes, con base en lo anterior se asegura que no se tiene ningún control sobre los equipos que operan en el tercer turno y ni sobre la programación de la producción.

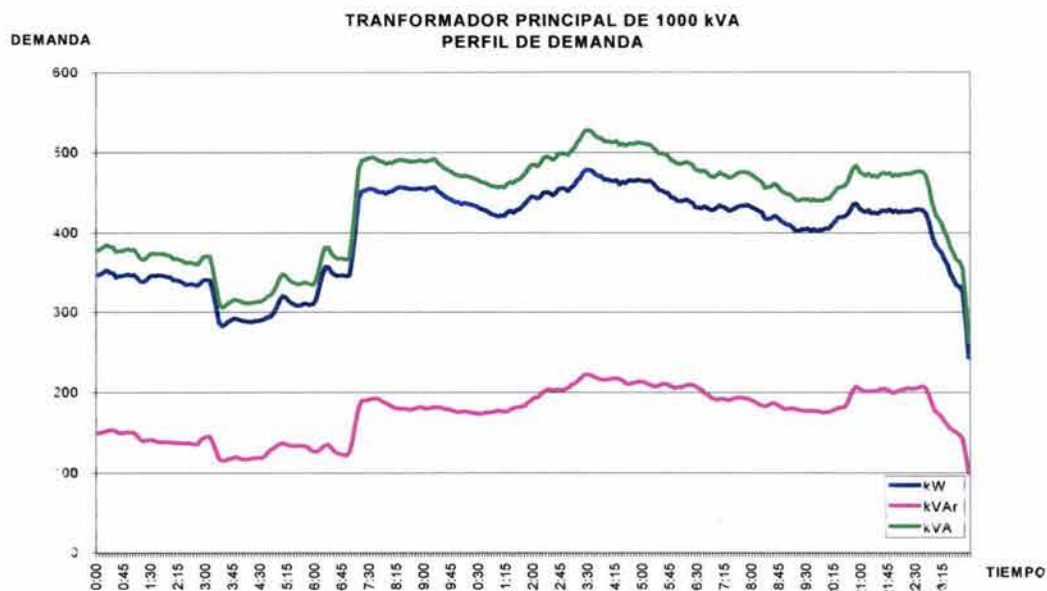
Finalmente el desbalanceo de las cargas (corrientes) es de apenas el 2.9%, lo cual es muy bueno para la mejor operación del transformador y de los conductores.



PERFIL DE DEMANDAS

En cuanto al perfil de la demanda es muy similar al de la corriente, ya que podemos considerar como constante el voltaje y el factor de potencia, así que la única que varía de manera importante es la corriente.

En la *Gráfica 4.3.* se presentan tres curvas, la línea verde representa a los kVA (potencia activa) y es la suma vectorial de la demanda real (kW, línea azul) y de la demanda reactiva (kVAR, línea rosa).



De la demanda real podemos asegurar que se tiene una demanda base de 400 kW y una demanda variable de 90 kW, ya que son los picos que sobresalen, de lunes a viernes. Los sábados y domingos se tiene una demanda aproximada de 100 kW, aunque se observan picos de demanda de poco más de 200 kW, lo anterior ocurre debido a que algunas áreas de esmalte (como los molinos) trabajan de domingo a viernes.

En la demanda reactiva (kVr) se tienen valores muy por debajo de la demanda registrada (kW), lo cual es indicativo de un factor de potencia alto, esto hace que los kVA se encuentren muy pegados a los kW y así se tiene que lo que se demanda al transformador se utiliza eficientemente.

PERFIL DEL FACTOR DE POTENCIA

Finalmente en la *Gráfica 4.4.* del Factor de Potencia, el día 26 de junio de 2001 se mantienen valores por arriba del 90% la mayor parte del día y los fines de semana aumenta hasta llegar al 98% (que es el máximo registrado), así el promedio es de 92% lo cual es muy bueno, aunque habrá que considerarlo al aumentar carga en este transformador.

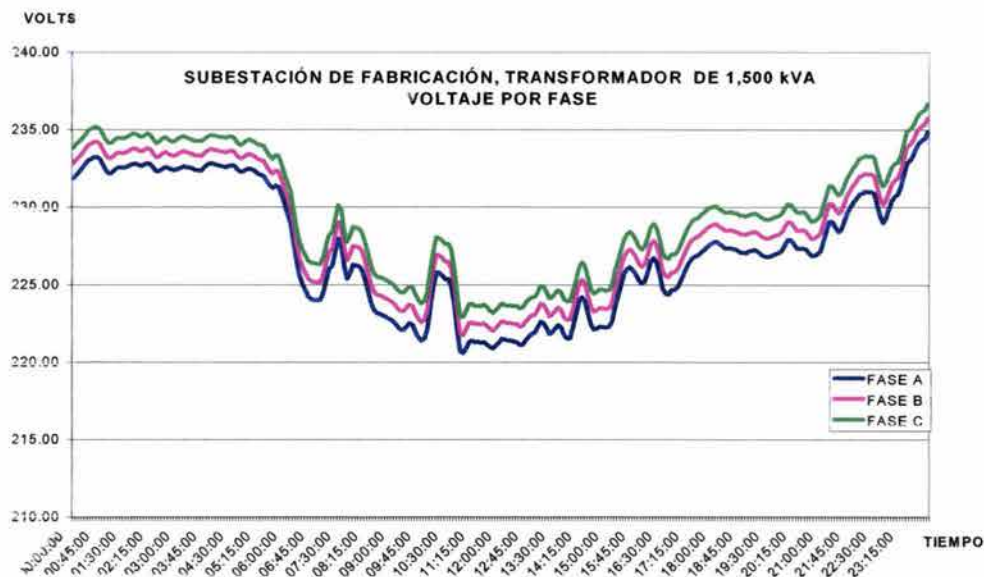


Gráfica 4.4.

b) SUBESTACION FABRICACION. 1,500 KVA @ 220 VOLTS

PERFIL DE VOLTAJE

Este transformador fue medido del lunes 18 al lunes 25 de junio de 2001 y como referencia se toma el día 19 de junio del mismo año, el transformador tiene un valor nominal de voltaje en el secundario de 220 volts, mientras que el medido fue de 240 volts siendo el promedio de 232 volts, por lo que se tiene un 9.2% arriba del nominal como lo muestra la *Gráfica 4.5.* sin embargo debido a las caídas de tensión por longitud a los equipos que se alimentan de este transformador les llegan aproximadamente de 216 a 225 volts, es decir el +/- 1% del valor nominal de voltaje en los equipos, los cuales son valores de voltaje muy buenos.



Gráfica 4.5.

PERFIL DE CORRIENTE

Debido a las cargas que se encuentran conectadas en este transformador (troqueles y punteadoras, básicamente) el perfil de la corriente es muy variable todo el tiempo, pero los perfiles por día son muy similares, a excepción del fin de semana en que la carga disminuye considerablemente.

Los valores máximos de corriente registrados fueron del 1,597.20 amperes. El área de fabricación trabaja dos turnos y en la Gráfica 4.6 se observa que la carga en el segundo turno es menor que el primero, ya que en el segundo turno se tiene una corriente máxima de 1,318.40 amperes y en el primero de 1,500 a 1,597.20 amperes.



Gráfica 4.6.

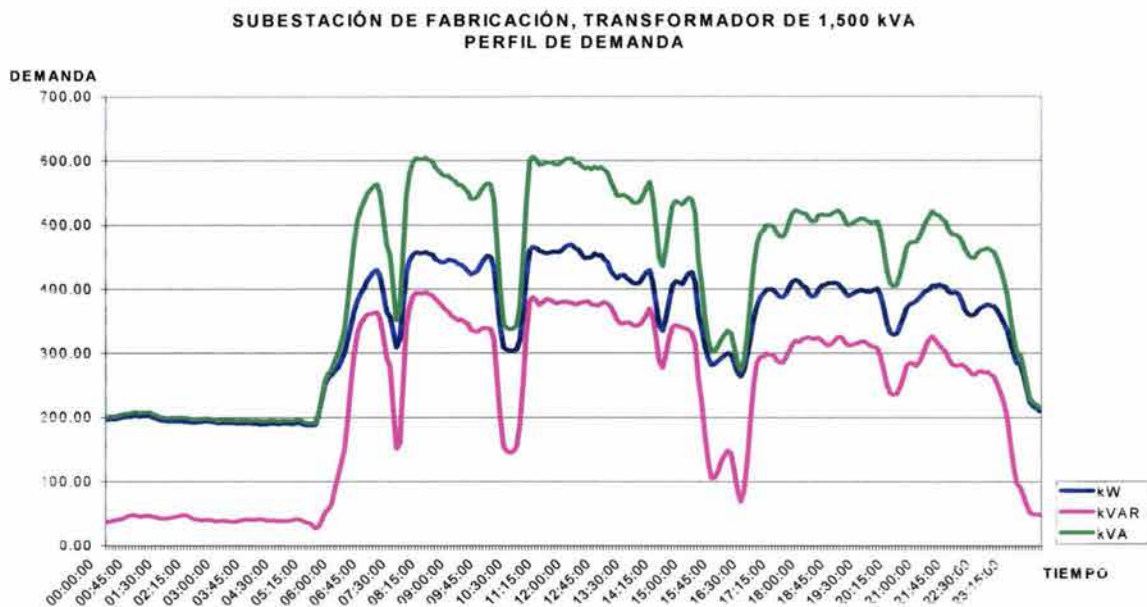
También se observan durante el día dos caídas de carga importantes, la primera alrededor de las 09:50 a.m. hasta las 10:50 a.m. que concuerda con la hora de comida de ésta área y la otra de las 15:00 p.m. hasta las 16:30 p.m. aproximadamente, que ocurre durante el cambio de turno que es a las 15:30 horas, sin embargo desde media hora antes la carga empieza a disminuir considerablemente mientras que se tardan una hora en llegar la demanda promedio del segundo turno.

En las noches la carga que se queda conectada es de aproximadamente 470 amperes y va de las 23:00 p.m. a las 06:00 a.m., cabe mencionar que durante los fines de semana la carga empieza a disminuir a partir de las 07:00 a.m. del sábado y llega hasta 180 amperes aproximadamente y ahí se mantiene hasta el domingo como a las 12:00 p.m. que aumenta casi a 370 amperes hasta como las 16:00 p.m. en que vuelve a disminuir hasta poco menos de 200 amperes.

PERFIL DE DEMANDA

Respecto al perfil de demanda real, el valor máximo que se midió fue de 470 kW que se registró durante el día, mientras que en las noches (23:00 p.m. a las 06:00 a.m.) la demanda se mantiene en 200 kW de lunes a viernes como se observa en la *Gráfica 4.7*.

Durante los fines de semana la demanda que se tiene es de 70 kW (sábado y domingo).



Gráfica 4.7.

La curva de demanda reactiva (kVAR) se mantienen muy cercana a la real (kW) lo cual indica un bajo factor de potencia, sobretodo durante el día en que se tiene la mayor carga, ya que en las noches la curva de kVAR se aleja de los kW. Los kVAR en los fines de semana se van al lado negativo, lo cual refleja que los bancos fijos que se tienen en el área de fabricación se quedan conectados a la línea, aún cuando su carga haya sido desconectada.

PERFIL DE FACTOR DE POTENCIA

Este transformador respecto al factor de potencia presenta muchas variaciones durante todo el día, sin embargo los valores más bajos de factor de potencia se dan cuando se tiene la mayor carga (1,450 amperes); por ejemplo durante el primer y segundo turno, se tiene un valor promedio del 80%.



Gráfica 4.8.

Cuando el transformador tiene la menor carga (470 amperes) el factor de potencia es de casi 99, lo anterior se debe a que este transformador tiene un banco de capacitores fijo y uno automático. El banco fijo siempre está aportando reactivos a la línea aún cuando no son necesarios (carga mínima) y el banco automático ya no da la capacidad adecuada para mantener un alto factor de potencia en este transformador.

El final de este capítulo se realizarán las recomendaciones necesarias para corregir este problema.

c) SUBESTACIÓN ESMALTE. 750 KVA @ 220 VOLTS

PERFIL DE VOLTAJE

Este transformador al igual que el anterior fue monitoreado del lunes 18 al lunes 25 de junio de 2001 y se tomará como referencia el día 20 de junio de 2001. La regulación promedio de voltaje se encuentra en el 8.61% es decir el valor máximo medido fue de 239 volts, siendo el valor nominal del secundario 220 volts, lo cual no afecta en nada a la operación de los equipos a los que alimenta.

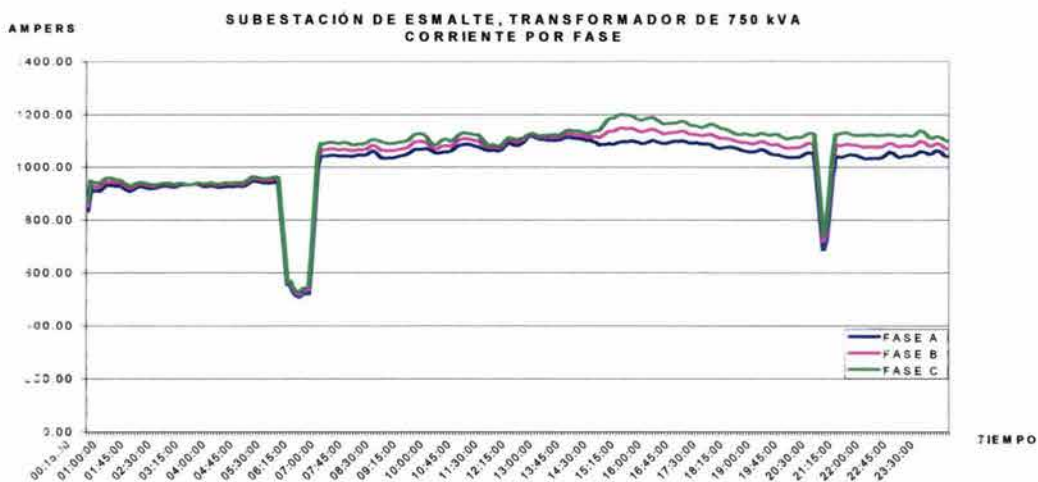


Gráfica 4.9.

Los valores de la **Gráfica 4.9.** promedio por fase medidos son: 228, 230 y 232 volts para las fases 1, 2 y 3 respectivamente, la diferencia que existe entre fases es apenas del 1% (2 volts) lo que nos habla de un buen balanceo de voltajes.

PERFIL DE CORRIENTE

El transformador mantiene un perfil de corriente con muy pocas variaciones de carga tanto en el día como en las noches, debido principalmente a que el área de esmalte trabaja los tres turnos de producción. De lunes a viernes la corriente durante los primeros dos turnos va de 1,100 a 1,200 amperes y en el tercer turno disminuye hasta 940 amperes a excepción de la madrugada del viernes 22 en que se mantuvo en el mismo nivel del primer y segundo turnos. Entre semana los valores mas bajos de corriente se registran casi a la misma hora entre las 20:00 y 21:00 hrs., que cae dentro del horario de alimentos en el 3er. turno (20:00 a 20:20 hrs) pero se prolonga por espacio de 40 minutos más.



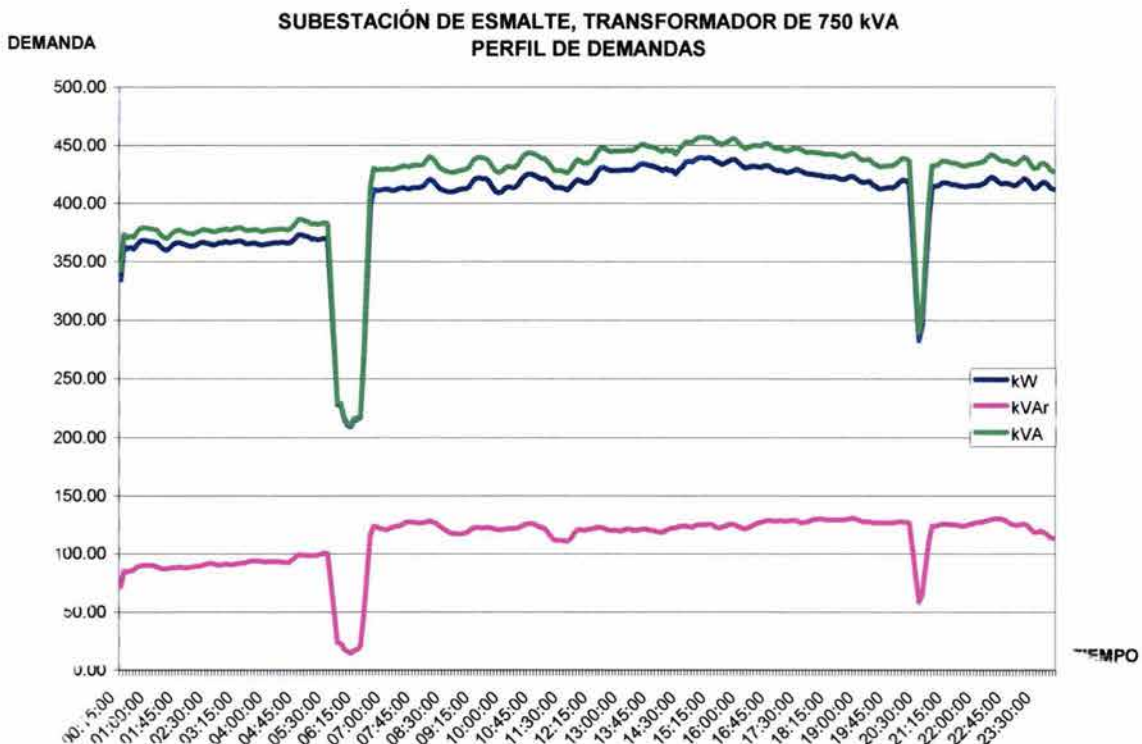
Gráfica 4.10.

Los otros valores bajos de corriente se registran exactamente durante el cambio de turno de las 05:30 a las 06:30 a.m., es decir del tercer al primer turno (ver *Gráfica 4.10.*).

Durante el fin de semana la carga que se queda operando es aproximadamente de 400 amperes, aunque en el tercer turno del sábado la carga disminuye hasta 230 amperes.

PERFIL DE DEMANDAS

La demanda real promedio es de 400 kW, mientras que se alcanzó un valor máximo de 440 kW, la demanda durante el tercer turno es de aproximadamente 370 kW, los fines de semana durante el primer turno del sábado y el primero y segundo del domingo se tiene una demanda de alrededor de 175 kW, mientras que en el tercer turno del sábado se tiene apenas una demanda de 27kW que puede ser por alumbrado.



Gráfica 4.11.

La curva incluida en la *Gráfica 4.11.* de demanda reactiva tiene valores de poco más de 100 kVAR de lunes a viernes, pero el fin de semana los kVAR se van hacia el lado negativo lo que indica que se están suministrando reactivos capacitivos a la línea desde los bancos fijos que existen en el área de esmalte.

La mayor aportación se nota claramente en el tercer turno del sábado con 100 kVAR, lo anterior también provoca bajos factores de potencia, aunque capacitivos.

PERFIL DE FACTOR DE POTENCIA

Como se observó de la *Gráfica 4.11.* de demandas, los kW y los kVA tienen valores muy similares, lo que indica un factor de potencia mayor de 90% y se puede comprobar en la *Gráfica 4.12.* de Factor de Potencia.



Gráfica 4.12.

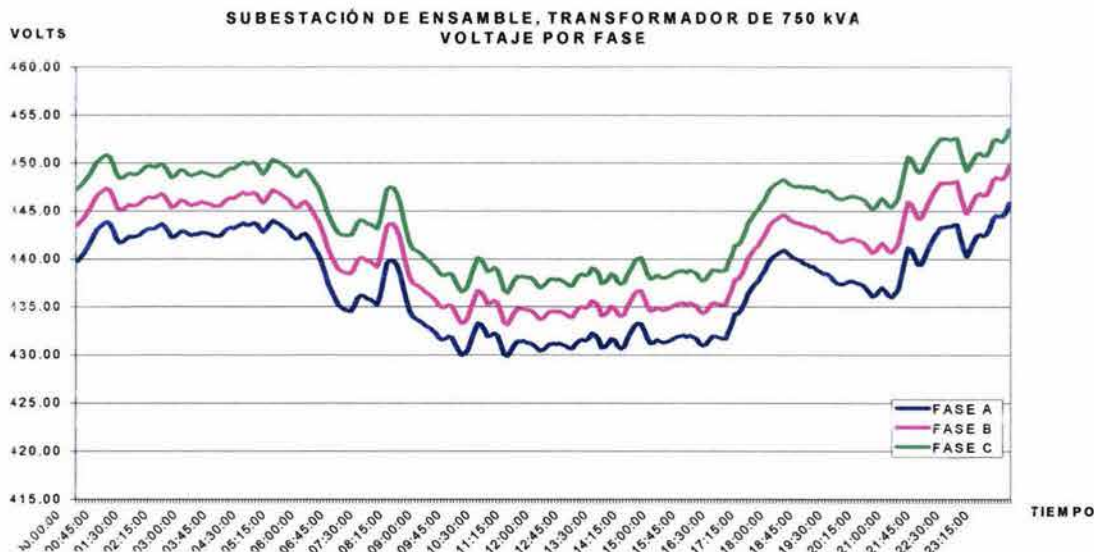
El valor promedio del factor de potencia es 96% y cabe hacer mención que durante los periodos de mayor carga el factor de potencia no disminuye de 95%, lo cual es excelente. Sin embargo, debido a que se tienen instalados bancos de capacitores fijos en algunos motores del área de esmalte, cuando la carga disminuye considerablemente los kVAR aumentan lo que provoca un bajo factor de potencia.

Como ejemplo de lo anterior, tenemos que de las 21:00 a las 07:00 hrs. del sábado 23 el factor de potencia fue de 25% (capacitivo), lo cual el medidor de la Cía. de L. y F.C. también lee como bajo factor de potencia, por lo que se recomienda desconectar los bancos fijos junto con la carga a la cual está conectado.

d) SUBESTACIÓN ENSAMBLE. 750 KVA @ 440 VOLTS

PERFIL DE VOLTAJE

Al igual que los transformadores anteriores, este equipo fue monitoreado del lunes 18 al lunes 25 de junio de 2001, las mediciones para este análisis fueron las del día martes 19 de junio del mismo año. Este transformador se caracteriza porque es el único que en el lado secundario mantiene un voltaje de 440 volts, la carga más importante que alimenta el transformador son los compresores de ensamble.

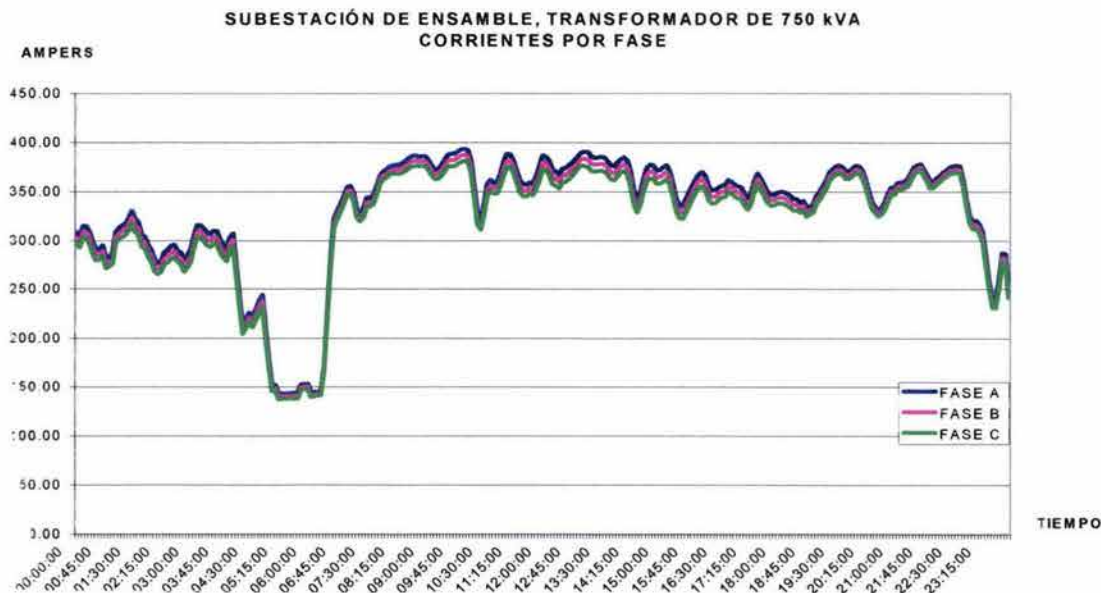


Gráfica 4.13.

El valor promedio de voltaje en el secundario es de 441 volts y el máximo es de 453 volts que se presenta durante las noches, lo cual es normal, ya que el voltaje en el sistema eléctrico nacional tiende a aumentar en las madrugadas como lo indica la *Gráfica 4.13*. Cabe mencionar que se tuvieron los mismos cortes de energía que en los transformadores anteriores durante la semana de mediciones.

PERFIL DE CORRIENTE

La carga que opera durante el primer y segundo turno es muy similar, la corriente que demanda varía entre 350 y 400 amperes aproximadamente.



Gráfica 4.14.

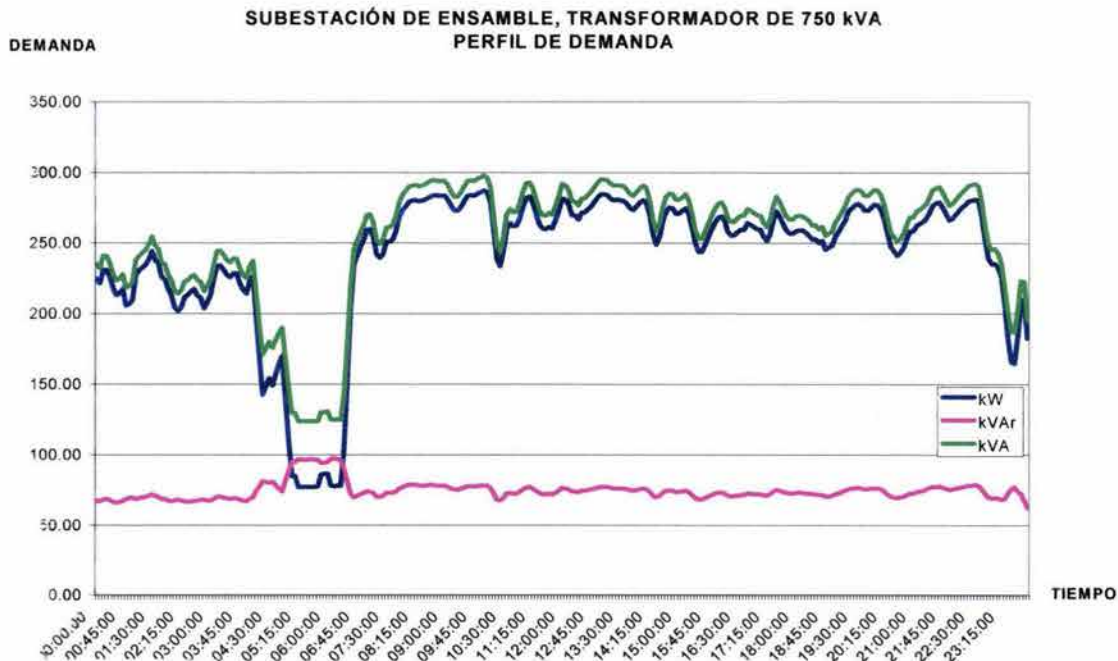
Como lo indica la *Gráfica 4.14*, durante el tercer turno la carga que se queda operando es muy variable y ha llegado a registrar hasta 330 amperes como máximo y 140 amperes como mínimo.

Como se mencionó anteriormente, la carga más importante del transformador son los compresores (3 de 150 kW, 200 amp), que se supone sólo uno de ellos opera durante el tercer turno, sin embargo al compararlo con las mediciones realizadas durante la semana, se observa en la gráfica una corriente más alta en algunos días, lo que indica que no se tiene un control sobre la operación de los compresores.

Por otra parte, durante el fin de semana se queda operando una carga constante durante el segundo turno de 83 amperes que disminuye al final de dicho turno hasta 56 amperes durante todo el domingo, por el comportamiento constante de la carga seguramente es el alumbrado que se queda encendido.

PERFIL DE DEMANDA

El comportamiento de la demanda real y la demanda activa (kW y kVA) en el transformador son muy similares, como se observa en la *Gráfica 4.15*, lo cual es excelente, ya que se tienen pocos reactivos en la línea, lo que hace que se tenga un factor de potencia alto.



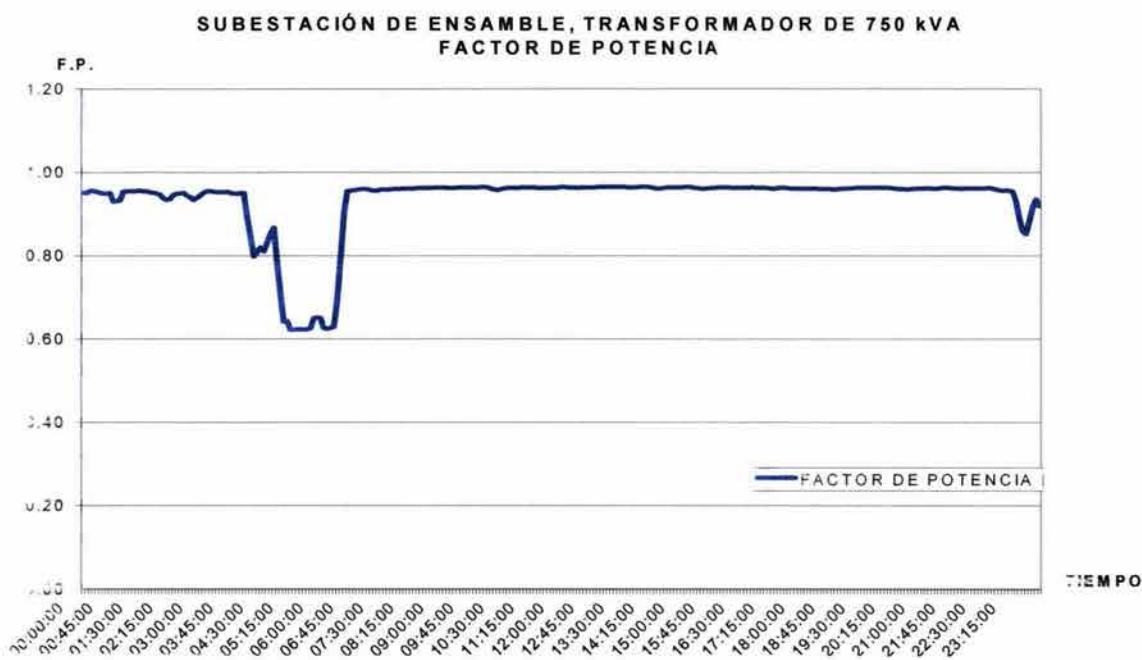
Gráfica 4.15.

Sin embargo cuando la demanda real (kW) es muy pequeña, como ocurre durante el fin de semana, la demanda reactiva se pasa al lado negativo, llegando a un valor máximo de -50 kVAR, debido a que se tienen instalados bancos de capacitores fijos.

La **Gráfica 4.15.** muestra los valores máximos de demanda registrados, alcanzando 287 kW, pero durante el primer y segundo turno la demanda oscila entre 250 y 380 kW, mientras que en tercer turno varía desde 77 hasta 240 kW. La demanda del fin de semana, que es constante de 48 kW el sábado y el domingo todo el día es de 15 kW.

PERFIL DE FACTOR DE POTENCIA

Como se había ya mencionado el factor de potencia es muy bueno durante la operación de los equipos, es decir durante el primer y segundo turno, ya que presenta valores promedio de 95 a 97%, sin embargo durante el tercer turno en el que se tiene poca carga la demanda en reactivos es alta provocando bajos factores de potencia como se observa en la **Gráfica 4.16.** lo mismo ocurre durante el fin de semana en que se tienen valores de 30% (pero capacitivos).



Gráfica 4.16.

Lo anterior provoca que en promedio se tenga un factor de potencia de 75%. Para evitar lo anterior es muy importante que los tres bancos fijos que se tienen para los compresores salgan de operación al mismo tiempo que su carga y así evitar sobrecompensar a la línea cuando no se requieran.

4.6 MOTORES ELÉCTRICOS

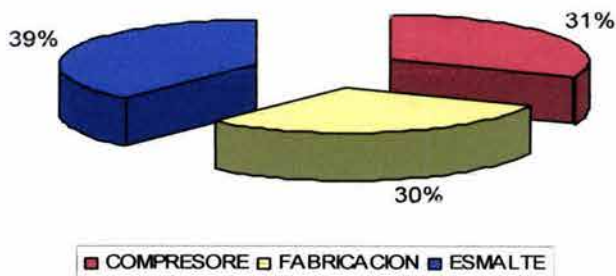
Los Motores Eléctricos son aparatos convertidores de energía, esto es, que transforman la energía eléctrica recibida de la red de distribución en energía mecánica en la flecha del motor. Estos aparatos son ampliamente utilizados debido a su gran diversidad de aplicaciones, principalmente en los sectores comercial e industrial. Cabe señalar que alrededor del 70% del consumo de la energía generada se debe al funcionamiento de los motores eléctricos. Es significativo el hecho de que los motores eléctricos, suministran en su mayor parte la energía que mueve los accionamientos industriales, por lo que la operación y conservación de los motores en la industria, representan uno de los campos más fértiles de oportunidades de ahorro de energía, que se traducen en una reducción de los costos de producción y en una mejor competitividad. El ahorro de energía comienza desde la selección apropiada de los motores. Siempre hay uno adecuado a las necesidades requeridas, tanto en lo que respecta a su tipo por condiciones ambientales de operación, por condiciones de arranque o regulación de velocidad, así como por su tamaño o potencia. Los mayores ahorros de energía eléctrica se obtienen cuando el motor y su carga operan a su máxima eficiencia, esto entre el 70 y 90% de carga.

Los **motores de alta eficiencia** son motores que producen la misma potencia de salida que un motor estándar pero usando menor potencia eléctrica de entrada, debido a que los materiales con los que son fabricados ocasionan menores pérdidas en la operación y por lo tanto un menor consumo de energía.

Descripción del Sistema

En **Mabe México, S. de R.L. de C.V.** se cuenta con maquinaria que opera con motores eléctricos muy antiguos, sin embargo la mayoría de estos son de capacidades por debajo de los 10 HP, lo que ocasiona que la rentabilidad de estos sea de períodos largos pues la cantidad de energía que se involucra es pequeña. La **Gráfica 4.17.** muestra de manera general el balance de energía eléctrica de **Mabe México** en sus diferentes áreas. El área de la planta que involucra mayor cantidad de motores (en su mayoría menores a 10 HP) es el área de esmalte que actualmente cuenta con un 39% de la carga total instalada en la planta por motores eléctricos, seguido por los compresores de aire con 31% y por último por el área de fabricación con un 30%. La carga total instalada en la planta es de aproximadamente 2,884 HP.

**BALANCE DE ENERGIA EN MOTORES ELECTRICOS
MABE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.**



Gráfica 4.17.

El censo general de motores se presenta en el ANEXO DE MOTORES en el cual se incluyen los datos recopilados como son: marca, voltaje, corriente entre otros.

Mediciones Eléctricas

Las mediciones de motores fueron realizadas midiendo puntualmente cada una de las fases de los motores en condiciones de operación normal. El equipo utilizado fue un analizador monofásico de la marca LEM, con el cual se obtuvieron los datos de corriente por fase, voltaje por fase y factor de potencia por fase, para obtener la demanda de cada equipo analizado.

Es importante mencionar que las condiciones de carga afectan en forma directa a la eficiencia y al factor de potencia de los motores, por lo que hay que destacar que muchas de los datos obtenidos se consideran con cierta reserva, ya que se maquinan diversos calibres de lámina y diferentes tamaños de piezas y la carga en algunas prensas y troqueles es variada.

Bases de Cálculo

Para llevar acabo el análisis del equipo actual, se tomaron como base los datos de placa de los equipos, el tipo de actividad de la maquinaria y las mediciones realizadas. Como primer punto se obtiene la demanda eléctrica real de cada equipo, con base en los valores promedio de voltaje, corriente y factor de potencia y, con esto definir cual es el porcentaje de carga actual del motor y su valor real de eficiencia de operación aplicando las correspondientes perdidas (regulación de voltaje, reembobinados).

Las horas de operación de los motores son fundamentales para determinar los ahorros a obtener por la sustitución de los equipos y estas se definen con base en los turnos de trabajo de cada área.

Los costos de energía considerados para definir los beneficios económicos son los correspondientes a tarifa HM de la región Central y para el mes de Julio de 2001, cuyos valores se muestran en la **Tabla 4.6.**

Tabla 4.6. Costos Energéticos para Julio de 2001

CONCEPTO	COSTO
Demanda kW	\$ 65.6600
Consumo en kWh base	\$ 0.3314
Consumo en kWh intermedio	\$ 0.3969
Consumo en kWh punta	\$ 1.2402

Tomando en cuenta los costos de operación de los equipos en periodo base, intermedio y punta, se opto por determinar el costo ponderado al que factura la empresa.

Memoria de Cálculo

El motor a tomar de ejemplo para la evaluación es el clave 20102, de la estación de lavado M03, con potencia de 60 HP, marca MITSUBICHI, abierto, de 1,800 r.p.m. 440 volts, 45 amp, con una eficiencia nominal de 0.9141 y trabaja 8,640 horas al año.

Las mediciones eléctricas para este motor son:

V=436, 438, 437; donde V_{max}=438, V_{min}=436.0, V_{prom}=437.0, FP_{prom}=0.87

Evaluar la potencia estándar demandada a partir de las mediciones eléctricas

Sustituyendo los valores correspondientes de las mediciones en la **ecuación (23)** se tiene la potencia demandada por el motor actual.

$$Pot_{STD} = \frac{\sqrt{3} \times V_{STD} \times I_{STD} \times FP_{STD}}{1,000} \dots\dots kW \quad \text{ecuación (23)}$$

$$Pot_{STD} = \frac{\sqrt{3} \times 437 \times 44 \times 0.87}{1,000} = 28.9743 \text{ kW}$$

Debido a que el motor trabaja durante 8,640 horas al año, el consumo de energía eléctrica se calcula de la siguiente forma:

$$28.9743 \text{ kW} \times 8,640 \text{ hrs} = 250,399 \text{ kWh}$$

De acuerdo a los precios para la tarifa HM en kW = \$72.05 y para kWh = 0.49196, región centro, en el mes de junio de 2002 se tiene:

$$\text{Facturación anual} = 12 \times kW \times \$/kW + kWh \times \$/kWh$$

$$\text{Facturación anual} = 12 \times 28.9743 \times 72.05 + 250,399 \times 0.49196$$

$$\text{Facturación anual} = \$148,207.79/\text{año}$$

En la **Tabla 4.7.** se muestran los costos de operación de los 21 motores analizados:

Tabla 4.7. Costos Energéticos para Julio de 2001

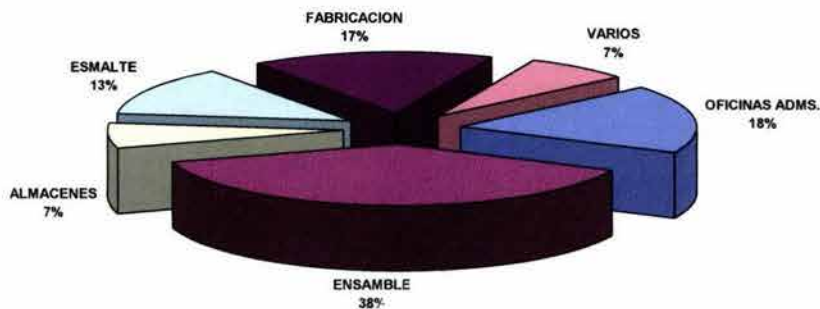
No.	Código	Descripción	Año	Hrs/año	hp	Tipo	rpm placa	Volts	marca	Tensión			Corriente			Factor de Potencia			Motor Actual				
										V1	V2	V3	I1	I2	I3	FP1	FP2	FP3	kW	kWh/año	año x kW	año x kWh	año
1	11202	Presna Trimer	fabricación	8,640	30	abierto	1800	440	IEM	430	425	428	35	36	35	0.86	0.85	0.86	22.42	145,291	19,365.53	71,477.16	90,862.70
2	11212	Presna Cincinnati	fabricación	8,640	15	abierto	1200	440	GE	433	429	435	20	20	19	0.87	0.86	0.86	12.81	83,024	11,077.57	40,844.55	51,922.13
3	10305	Presna No. 43	fabricación	8,640	15	abierto	1800	440	MITSUBUCHI	435	433	428	18	18	17	0.85	0.86	0.86	11.41	73,952	9,867.17	36,381.64	46,248.81
4	11305	Presna No. 36	fabricación	8,640	15	abierto	1200	440	LESSON	430	433	435	20	19	19	0.88	0.88	0.86	12.85	81,960	10,839.97	40,337.19	51,277.16
5	11302	Presna Niagara	fabricación	8,640	25	abierto	1800	440	ABB	435	433	432	28	28	27	0.84	0.86	0.86	17.72	114,824	15,320.53	56,488.89	71,869.41
6	11404	Trinquel Tera	fabricación	8,640	10	abierto	1800	440	SIEMENS	436	437	435	12	11	13	0.86	0.84	0.87	7.76	50,305	6,712.05	24,748.28	31,460.35
7	11102	Presna No. 37	fabricación	8,640	60	abierto	1200	440	IEM	433	435	435	71	69	69	0.87	0.87	0.86	45.42	302,441	39,271.38	193,065.40	232,336.78
8	11411	Presna HME DSP5	fabricación	8,640	15	abierto	1200	440	SIEMENS	437	436	437	19	19	19	0.86	0.86	0.87	11.97	103,429	10,350.13	50,883.17	61,233.30
9	21218	Molino No. 6	Esmalte	8,640	15	abierto	1800	440	MITSUBUCHI	436	436	437	16	16	17	0.87	0.86	0.86	10.76	92,929	9,299.32	45,717.21	55,016.53
10	20509	Colector de Polvo 2 ASP Vertical 1	Esmalte	8,640	75	abierto	1800	440	GE	437	436	437	78	76	77	0.87	0.88	0.86	50.67	437,758	43,806.23	215,359.57	259,165.80
11	20506	Colector de Polvo 1 ASP Vertical 1	Esmalte	8,640	75	abierto	1800	440	IEM	437	436	426	87	85	86	0.89	0.86	0.88	56.67	489,863	49,000.28	240,894.47	289,894.75
12	11305	Dobladora Chicago	Esmalte	8,640	15	abierto	1800	440	SIEMENS	436	437	437	15	15	17	0.89	0.87	0.86	10.44	90,229	9,029.17	44,389.07	53,418.23
13	20660	Colector de Polvo 2 ASP Vertical 2	Esmalte	8,640	20	abierto	3600	440	LESSON	437	438	439	24	24	25	0.88	0.87	0.89	16.24	140,357	14,045.40	69,049.82	83,095.22
14	20102	Estación de Lavado M03	Lavadora Eisenmann	8,640	60	abierto	1800	440	MITSUBUCHI	436	438	437	45	43	44	0.88	0.86	0.87	26.97	250,339	25,051.24	123,156.55	148,207.79
15	20103	Estación de Lavado M04	Lavadora Eisenmann	8,640	40	abierto	1800	440	ABB	438	436	439	31	29	30	0.88	0.87	0.86	19.79	170,946	17,106.45	84,096.48	101,204.35
16	20104	Estación de Lavado M05	Lavadora Eisenmann	8,640	40	abierto	1800	440	ABB	439	441	438	29	30	29	0.87	0.86	0.84	19.12	165,212	16,532.69	81,277.74	97,810.42
17	20105	Estación de Lavado M06	Lavadora Eisenmann	8,640	20	abierto	1800	440	GE	439	441	438	18	18	17	0.86	0.87	0.85	11.56	99,890	9,995.93	49,141.84	59,137.76
18	20106	Estación de Lavado M07	Lavadora Eisenmann	8,640	40	abierto	1800	440	IEM	439	437	440	31	32	31	0.87	0.84	0.86	20.35	176,209	17,633.11	86,987.66	104,320.77
19	20107	Estación de Lavado M08	Lavadora Eisenmann	8,640	20	abierto	1800	440	IEM	441	439	437	17	19	18	0.84	0.87	0.85	11.68	100,909	10,097.91	49,643.21	59,741.13
20	20108	Estación de Lavado M09	Lavadora Eisenmann	8,640	20	abierto	1800	440	LESSON	436	438	437	17	19	17	0.86	0.87	0.85	11.50	90,369	9,942.84	48,800.84	58,823.68
21	11203	Presna Mecánica Verson	fabricación	8,640	30	abierto	1800	440	GE	441	439	437	37	36	36	0.86	0.84	0.87	23.67	153,362	20,462.44	75,447.88	95,910.33
										433.64	431.42	431.42	23.67	23.67	23.67	0.86	0.84	0.87	433.64	5,612,421	374,927.33	1,727,870.83	2,102,897.87

4.7 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Descripción del Sistema de Iluminación

Para realizar la descripción del sistema de iluminación se dividirá en dos partes: primero las oficinas administrativas y, segundo el área de producción, ya que cada una presenta peculiaridades diferentes. La *Gráfica 4.18.* muestra en forma general el porcentaje de la carga instalada de luminarias en **Mabe México.**

Demanda Instalada en Iluminación



Gráfica 4.18.

En la *Gráfica 4.18.* se observa que la mayor carga instalada se encuentra en ensamble con casi el 40% de la carga total por alumbrado, después se encuentran fabricación y las oficinas administrativas con 17 y 18% respectivamente.

Por otra parte la carga total por alumbrado es de 217 kW que con respecto al promedio mensual representa el 13.15% de la demanda facturable, el consumo en alumbrado representa el 14.2% del consumo total mensual y la facturación eléctrica que es del 15.00%.

Oficinas Administrativas

En todas las oficinas de la planta alta y en la gran mayoría de la planta baja, el arreglo de luminarios que existe es de gabinetes, integrados por 2 lámparas fluorescentes de 39 watts y un balastro electromagnético estándar cada uno, ubicados ligeramente arriba del plafón, pero cubiertos con un difusor plástico.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999 (ver anexo 1), Condiciones de iluminación en los centros de trabajo vigente en el 2004, cuyo objetivo es establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, de tal forma que no sea un factor de riesgo para la salud de los trabajadores al realizar sus actividades.

El campo de aplicación de la presente Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo, los niveles de iluminación mínimos que establece esta Norma, se observan en la **Tabla 4.8**.

Tabla 4.8. Luxes Mínimos Recomendados

TAREA VISUAL DEL PUESTO DE TRABAJO	ÁREA DE TRABAJO	NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN (LUX)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble e inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies, y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabado con pulidos finos.	Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino.	1
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Áreas de proceso de gran exactitud.	2

Haciendo una mención no solo las pérdidas en un sistema de iluminación dependen de la lámpara sino también hay que mencionar las pérdidas por el tipo de luminario, ya que gran parte de los lúmenes se dispersan en la parte superior del plafón donde no existe aprovechamiento alguno.

Durante el levantamiento de iluminación en las oficinas se detectó que no existe un mecanismo que controle el tiempo de operación de las lámparas, ya que no se cuenta con apagadores individuales en los privados y debido a las modificaciones tampoco se cuenta con un seccionamiento adecuado en los circuitos de alumbrado.

Debido a lo anterior la iluminación permanece encendida todo el tiempo, aún cuando no hay personal en las oficinas y/o áreas comunes, para comprobar la utilización del alumbrado se colocó un registrador de ocupación e iluminación (IT-100) en diferentes áreas de las oficinas administrativas, estos equipos registran cada evento que detectan, es decir, si está la iluminación encendida o no y si hubo gente ocupando esta iluminación o no, dichos equipos cuentan con puerto serial de comunicación por lo que la información almacenada es procesada en una PC.

Área de Producción

Básicamente en toda el área de producción existen luminarias fluorescentes tipo industrial, con arreglo de 2 x 75W y existen algunos con arreglo de 2 x 40W, todos con balastos electromagnéticos estándar.

En el área de esmalte y almacén se tienen algunas luminarias con lámparas de vapor de mercurio de 250 y 400 watts, sin embargo debido a las cadenas y a los equipos que se encuentran en la parte superior de la nave la iluminación en el área de esmalte es muy deficiente, sobretodo en las noches.

Durante el día no hay mucho problema, pues la planta cuenta con láminas traslúcidas en el techo, por lo que deja pasar la luz natural y los niveles de iluminación son aceptables.

Por otra parte, la actual ubicación de las luminarias es deficiente, sobretodo en el área de fabricación y almacenes, el área que tiene una mejor distribución de luminarios es ensamble, así mismo los niveles de iluminación medidos se encuentran dentro de los parámetros recomendados por la Norma Oficial Mexicana, sin embargo la carga que se tiene instalada es alta.

Respecto al control de la iluminación, es prácticamente nulo, ya que no se tienen seccionados los circuitos y, es el mismo personal de cada área y/o de mantenimiento quienes encienden y apagan las lámparas, desafortunadamente no tienen una rutina para esta actividad y a veces se les olvida apagarlas durante el día, por lo que permanecen encendidas aun cuando no se requiere.

Evaluación del Sistema de Iluminación

A fin de hacer una presentación simplificada del procedimiento de evaluación de ahorro, se desarrollarán ejemplos para cada uno de los sistemas de iluminación actualmente en operación de las secciones que componen las diferentes áreas de operación de la planta.

A) La línea de producción A del área de ensamble cuenta con 75 luminarias 2x75 T-12, las cuales serán reemplazadas por luminarias 2x32W con reflector especular y balastro electrónico:

Situación Actual

Para las 75 luminarias tipo gavilán con arreglos de 2 lámparas fluorescentes de 75 W T-12, con balastro electromagnético 2x75 W, el cual consume el 20% de la potencia de las lámparas, el desglose del cálculo de los ahorros se muestra a continuación:

Potencia por luminaria: $2 \times 75 \times 1.2 = 180 \text{ W} = 0.180 \text{ kW}$

Potencia total de Ensamble: $75 \times 0.180 = 13.5 \text{ kW}$

El área permanece con las lámparas encendidas durante 18 horas al día, de las cuales corresponden 180 hrs/mes en horario base, 315 y 45 horas al mes en los horarios de intermedia y punta, respectivamente. Por lo tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

Consumo en horario Base: $13.5 \text{ kW} \times 180 \text{ hrs/mes} = 2,430 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Intermedia: $13.5 \text{ kW} \times 315 \text{ hrs/mes} = 4,252.5 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Punta: $13.5 \text{ kW} \times 45 \text{ hrs/mes} = 607.5 \text{ kWh/mes}$

Por lo cual el consumo total será

$$2,430 + 4,252.5 + 607.5 = 7,290 \text{ kWh/mes} = 87,480 \text{ kWh/año.}$$

Considerando los precios de la electricidad en: $\$65.66/\text{kW}$, $\$0.3314/\text{kWh}_{\text{Base}}$, $\$0.3969/\text{kWh}_{\text{Intermedia}}$, $\$1.2402/\text{kWh}_{\text{Punta}}$, se tienen los siguientes costo de operación:

Cargo por demanda: $13.5 \times 65.66 = \$886.41/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Base: $2,430 \times 0.3314 = \$805.30/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Intermedia: $4,252.5 \times 0.3969 = \$1,687.82/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Punta: $607.5 \times 1.2402 = \$753.42/\text{mes}$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$886.41 + 805.30 + 1,687.82 + 753.42 = \$4,132.95/\text{mes} = \$49,595.41/\text{año}$$

- B)** Las 70 luminarias 2×75 T12 del área de ensamble a doble altura, serán reemplazadas por 12 luminarias tipo IGL con 8 lámparas T5 de 40 W, balastos electrónicos y reflector especular:

Situación Actual

En el área de ensamble se encuentran 70 luminarias tipo gavilán a doble altura con arreglos de 2 lámparas fluorescentes de 75 W T-12 con balastro electromagnético 2×75 W, el cual consume el 20% de la potencia de las lámparas.

El desglose del cálculo de los ahorros se muestra a continuación:

Potencia por luminaria: $2 \times 75 \times 1.2 = 180 \text{ W} = 0.180 \text{ kW}$

Potencia total de la línea A ensamble: $70 \times 0.180 = 12.6 \text{ kW}$

El área permanece con las lámparas encendidas durante 18 horas al día, de las cuales corresponden 180 hrs/mes en horario base, 315 y 45 horas al mes en los horarios de intermedia y punta respectivamente. Por lo tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

Consumo en horario Base: $12.6 \text{ kW} \times 180 \text{ hrs/mes} = 2,268 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Intermedia: $12.6 \text{ kW} \times 315 \text{ hrs/mes} = 3,969 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Punta: $12.6 \text{ kW} \times 45 \text{ hrs/mes} = 567 \text{ kWh/mes}$

Por lo cual el consumo total será

$$2,268 + 3,969 + 567 = 6,804 \text{ kWh/mes} = 81,648 \text{ kWh/año.}$$

Considerando los precios de la electricidad en: \$65.66/kW, \$0.3314/kWh_{Base}, \$0.3969/kWh_{Intermedia}, \$1.2402/kWh_{Punta}, se tienen los siguientes costo de operación:

Cargo por demanda: $12.6 \times 65.66 = \$827.32/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Base: $12.6 \times 0.3314 = \$751.62/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Intermedia: $12.6 \times 0.3969 = \$1,575.30/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Punta: $12.6 \times 1.2402 = \$703.19/\text{mes}$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$827.32 + 751.62 + 1,575.30 + 703.19 = \$3,857.42/\text{mes} = \$46,289.05/\text{año}$$

- C) Las 25 luminarias 2×39 T12 del área de fabricación a doble altura, serán reemplazadas por 6 luminarias tipo IGL con 8 lámparas T5 de 40W, balastos electrónicos y reflector especular.

Situación Actual

En la línea 2 del área de fabricación se encuentran 25 luminarias tipo gavilán a doble altura con arreglos de 2 lámparas fluorescentes de 39 W T-12 con balastro electromagnético 2×39 W, el cual consume el 20% de la potencia de las lámparas.

El desglose del cálculo de los ahorros se muestra a continuación:

Potencia por luminaria: $2 \times 39 \times 1.2 = 93.6 \text{ W} = 0.0936 \text{ kW}$

Potencia total de fabricación: $25 \times 0.0936 = 2.34 \text{ kW}$

El área permanece con las lámparas encendidas durante 24 horas al día, de las cuales corresponden 240 hrs/mes en horario base, 420 y 60 horas al mes en los horarios de intermedia y punta respectivamente. Por lo tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

Consumo en horario Base: $2.34 \text{ kW} \times 240 \text{ hrs/mes} = 561.6 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Intermedia: $2.34 \text{ kW} \times 420 \text{ hrs/mes} = 982.8 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Punta: $2.34 \text{ kW} \times 60 \text{ hrs/mes} = 140.4 \text{ kWh/mes}$

Por lo cual el consumo total será

$$561.6 + 982.8 + 140.4 = 1,684.8 \text{ kWh/mes} = 20,217.6 \text{ kWh/año.}$$

Considerando los precios de la electricidad en: \$65.66/kW, \$0.3314/kWh_{Base}, \$0.3969/kWh_{Intermedia}, \$1.2402/kWh_{Punta}, se tienen los siguientes costo de operación:

Cargo por demanda: $2.34 \times 65.66 = \$153.64/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Base: $561.6 \times 0.3314 = \$186.11/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Intermedia: $982.8 \times 0.3969 = \$390.07/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Punta: $140.4 \times 1.2402 = \$174.12/\text{mes}$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$153.64 + 186.11 + 390.07 + 174.12 = \$903.96/\text{mes} = \$10,847.47/\text{año}$$

- D) Las 29 luminarias de aditivos metálicos de 400W del área de fabricación a doble altura, serán reemplazadas por 18 luminarias tipo IGL con 8 lámparas T5 de 40W, balastos electrónicos y reflector especular.

Situación Actual

En el área de fabricación se encuentran 29 luminarias tipo campana a doble altura con una lámpara de aditivos metálicos de 400 W, con balastro electromagnético 400 W, el cual consume el 20% de la potencia de las lámparas.

El desglose del cálculo de los ahorros se muestra a continuación:

Potencia por luminaria: $400 \times 1.2 = 480 \text{ W} = 0.48 \text{ kW}$

Potencia total de Fabricación: $29 \times 0.48 = 13.92 \text{ kW}$

El área permanece con las lámparas encendidas durante 24 horas al día, de las cuales corresponden 240 hrs/mes en horario base, 420 y 60 horas al mes en los horarios de intermedia y punta respectivamente. Por lo tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

Consumo en horario Base: $13.92 \text{ kW} \times 240 \text{ hrs/mes} = 3,340.8 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Intermedia: $13.92 \text{ kW} \times 420 \text{ hrs/mes} = 5,846.4 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Punta: $13.92 \text{ kW} \times 60 \text{ hrs/mes} = 835.2 \text{ kWh/mes}$

Por lo cual el consumo total será

$$3,340.8 + 5,846.4 + 835.2 = 10,022.4 \text{ kWh/mes} = 120,268.8 \text{ kWh/año.}$$

Considerando los precios de la electricidad en: $\$65.66/\text{kW}$, $\$0.3314/\text{kWh}_{\text{Base}}$, $\$0.3969/\text{kWh}_{\text{Intermedia}}$, $\$1.2402/\text{kWh}_{\text{Punta}}$, se tienen los siguientes costo de operación:

Cargo por demanda: $13.92 \times 65.66 = \$913.99/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Base: $3,340.8 \times 0.3314 = \$1,107.14/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Intermedia: $5,846.4 \times 0.3969 = \$2,330.44/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Punta: $835.2 \times 1.2402 = \$1,035.82/\text{mes}$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$913.99 + 1,107.44 + 2,320.44 + 1,035.82 = \$5,377.38/\text{mes} = \$64,528.55/\text{año}$$

- E) Las 178 luminarias 2×39 T-12 del área de oficinas, serán reemplazadas por 87 luminarias con 2 lámparas T-8 de 32 W, balastro electrónico y reflector especular.

Situación Actual

En el área de Oficinas se encuentran 178 luminarias tipo gavilán con arreglos de 2 lámparas fluorescentes de 39 W T-12 con balastro electromagnético 2×39 W, el cual consume el 20% de la potencia de las lámparas.

El desglose del cálculo de los ahorros se muestra a continuación:

Potencia por luminaria: $2 \times 39 \times 1.2 = 93.6 \text{ W} = 0.0936 \text{ kW}$

Potencia total de Oficinas: $178 \times 0.0936 = 16.66 \text{ kW}$

El área permanece con las lámparas encendidas durante 24 horas al día, de las cuales corresponden 240 hrs/mes en horario base, 420 y 60 horas al mes en los horarios de intermedia y punta respectivamente. Por lo tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

Consumo en horario Base: $16.66 \text{ kW} \times 240 \text{ hrs/mes} = 3,998.6 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Intermedia: $16.66 \text{ kW} \times 420 \text{ hrs/mes} = 6,997.5 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Punta: $16.66 \text{ kW} \times 60 \text{ hrs/mes} = 999.6 \text{ kWh/mes}$

Por lo cual el consumo total será

$$3,998.6 + 6,997.5 + 999.6 = 11,995.8 \text{ kWh/mes} = 143,949.31 \text{ kWh/año.}$$

Considerando los precios de la electricidad en: $\$65.66/\text{kW}$, $\$0.3314/\text{kWh}_{\text{Base}}$, $\$0.3969/\text{kWh}_{\text{Intermedia}}$, $\$1.2402/\text{kWh}_{\text{Punta}}$, se tienen los siguientes costo de operación:

Cargo por demanda: $16.66 \times 65.66 = \$1,093.95/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Base: $3,998.6 \times 0.3314 = \$1,525.13/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Intermedia: $6,997.5 \times 0.3969 = \$2,777.32/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Punta: $999.6 \times 1.2402 = \$1,239.76/\text{mes}$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$1,093.95 + 1,325.13 + 2,777.32 + 1,239.76 = \$6,436.17/\text{mes} = \$77,234.00/\text{año}$$

A continuación se presentan las **Tablas 4.9, 4.10 y 4.11**, las cuales muestran el balance total del sistema de iluminación en las diversas áreas que comprenden Mabe México, S. de R.L. de C.V.

Tabla 4,9, SITUACIÓN ACTUAL ILUMINACIÓN ÁREA DE ENSAMBLE

AREA	CANT.	TIPO DE LUMINARIO	WATTS / LAMP.	FACTOR BALASTRO	DEMANDA KW	HRS. DE USO/DIA	HRS. BASE	HRS. INTER.	HRS. PUNTA	CONSUMO MES			KWH/año	COSTO MENSUAL \$/MES			\$/AÑO
										KWH base	KWH inter.	KWH punta		\$/KW	\$/KWH	TOTAL	
PASILLO COMPR. Y L-A	16	FLUORESCENTE 2*75 T12	75	0,48	2,88	18	180	315	45	518,40	907,20	129,60	18.662,40	189,10	692,60	881,70	10.580,400
PASILLO EMBARQUES	14	FLUORESCENTE 2*75 T12	75	0,42	2,52	18	180	315	45	453,60	793,80	113,40	16.329,60	165,46	606,02	771,48	9.257,760
LINEA A	75	FLUORESCENTE 2*75 T12	75	2,25	13,5	18	180	315	45	2.430,00	4.252,50	607,50	87.480,00	886,41	3.246,54	4.132,95	49.595,400
PASILLO L-A Y L-C	15	FLUORESCENTE 2*75 T12	75	0,45	2,7	18	180	315	45	486,00	850,50	121,50	17.496,00	177,28	649,31	826,59	9.919,080
LINEA C	20	FLUORESCENTE 2*75 T12	75	0,6	3,6	18	180	315	45	648,00	1.134,00	162,00	23.328,00	236,38	865,74	1.102,12	13.225,440
PASILLO L-C Y L-B	20	FLUORESCENTE 2*75 T12	75	0,6	3,6	18	180	315	45	648,00	1.134,00	162,00	23.328,00	236,38	865,74	1.102,12	13.225,440
LINEA B	75	FLUORESCENTE 2*75 T12	75	2,25	13,5	18	180	315	45	2.430,00	4.252,50	607,50	87.480,00	886,41	3.246,54	4.132,95	49.595,400
PASILLO L-B	15	FLUORESCENTE 2*75 T12	75	0,45	2,7	18	180	315	45	486,00	850,50	121,50	17.496,00	177,28	649,31	826,59	9.919,080
ENS. DOBLE ALTURA	70	FLUORESCENTE 2*75 T12	75	2,1	12,6	18	180	315	45	2.268,00	3.969,00	567,00	81.648,00	827,32	3.030,10	3.857,42	46.289,040

Tabla 4.10. SITUACIÓN ACTUAL ILUMINACIÓN ÁREA DE ENSAMBLE

AREA	CANT.	TIPO DE LUMINARIO	WATTS / LAMP.	FACTOR BALASTRO	DEMANDA KW	HRS. DE USO/DIA	HRS. BASE	HRS. INTER.	HRS. PUNTA	CONSUMO MES			KWH/año	COSTO MENSUAL \$/MES			\$/AÑO
										KWH base	KWH inter.	KWH punta		\$/KW	\$KWH	TOTAL	
LINEA PM1	15	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,23	1,4	24	240	420	60	336,00	588,00	84,00	12.096,00	91,92	448,90	540,82	6.489,840
LINEA PM2	25	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,39	2,34	24	240	420	60	561,60	982,80	140,40	20.217,60	153,64	750,31	903,95	10.847,400
LINEA PM3	15	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,23	1,4	24	240	420	60	336,00	588,00	84,00	12.096,00	91,92	448,90	540,82	6.489,840
LINEA PM4	23	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,36	2,15	24	240	420	60	516,00	903,00	129,00	18.576,00	141,17	689,39	830,56	9.966,720
LINEA PM5	10	ADITIVOS METALICOS	400	0,8	4,8	24	240	420	60	1.152,00	2.016,00	288,00	41.472,00	315,17	1.539,10	1.854,27	22.251,240
LINEA PM6	14	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,22	1,31	24	240	420	60	314,40	550,20	78,60	11.318,40	86,01	420,05	506,06	6.072,720
LINEA PM7	8	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,12	0,74	24	240	420	60	177,60	310,80	44,40	6.393,60	48,59	237,28	285,87	3.430,440
LINEA PM8	20	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,31	1,87	24	240	420	60	448,80	785,40	112,20	16.156,80	122,78	599,61	722,39	8.668,680
LINEA PM9	12	ADITIVOS METALICOS	400	0,96	5,76	24	240	420	60	1.382,40	2.419,20	345,60	49.766,40	378,20	1.846,92	2.225,12	26.701,440
LINEA PM10	7	ADITIVOS METALICOS	400	0,56	3,36	24	240	420	60	806,40	1.411,20	201,60	29.030,40	220,62	1.077,37	1.297,99	15.575,880

Tabla 4,11, SITUACIÓN ACTUAL ILUMINACIÓN ÁREA DE ENSAMBLE

AREA	CANT.	TIPO DE LUMINARIO	WATTS / LAMP.	FACTOR BALASTRO	DEMANDA KW	HRS. DE USO/DIA	HRS. BASE	HRS. INTER.	HRS. PUNTA	CONSUMO MES			KWH/año	COSTO MENSUAL \$/MES			\$/AÑO
										KWH base	KWH inter.	KWH punta		\$/KW	\$/KWH	TOTAL	
PASILLOS	45	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,7	4,21	24	240	420	60	1.010,40	1.768,20	252,60	36.374,40	276,43	1.349,92	1.626,35	19.516,200
OFICINAS	118	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	1,84	11,04	24	240	420	60	2.649,60	4.636,80	662,40	95.385,60	724,89	3.539,93	4.264,82	51.177,840
AREA COMÚN	52	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,81	4,87	24	240	420	60	1.168,80	2.045,40	292,20	42.076,80	319,76	1.561,55	1.881,31	22.575,720
SALAS	60	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,94	5,62	24	240	420	60	1.348,80	2.360,40	337,20	48.556,80	369,01	1.802,03	2.171,04	26.052,480
SANITARIOS	8	FLUORESCENTE 2*39 T12	39	0,06	0,68	24	240	420	60	163,20	285,60	40,80	5.875,20	44,65	218,04	262,69	3.152,280

CAPÍTULO V.

PROPUESTAS DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Es significativo el hecho de que los motores eléctricos y los sistemas de iluminación consumen en su mayor parte la energía que mueven e iluminan las instalaciones industriales y comerciales, por lo que la operación y conservación de los motores eléctricos así como luminarias en la industria, representa uno de los campos más fértiles de oportunidades en el ahorro de energía eléctrica, que se resumen en una reducción en los costos de producción y en una mayor competitividad.

El ahorro de energía eléctrica comienza desde la selección apropiada de los equipos a instalarse en el área industrial, estos deben garantizar un uso eficiente de la energía eléctrica y proporcionar también el máximo confort en el área de trabajo sin que se vea afectada la producción.

5.1 CAMBIO DEL 2º TURNO AL 3ER. TURNO DE PRODUCCIÓN DEL ÁREA DE FABRICACIÓN

Aprovechar los beneficios de la facturación bajo la tarifa horaria HM y dejar de operar el segundo turno (horario punta) del área de fabricación para operar el primer y tercer turno en que el costo de la energía eléctrica es mas barata, es la acción concreta a realizarse en la primer propuesta de ahorro de energía eléctrica, al realizar esta acción no se obtendrán ahorros energéticos en demanda ni en consumo, ya que la carga instalada será la misma, sin embargo; los ahorros económicos por dejar de operar en horario punta se verán reflejados en la facturación eléctrica.

La facturación eléctrica esta dividida por horarios, los cuales están definidos como base, intermedio y punta, dichos periodos normalmente están establecidos de la siguiente manera durante los correspondientes horarios, para el periodo de invierno y verano respectivamente:

Del primer domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre

Tabla 5.1. Horas Facturables en Horario de Invierno

Día de la Semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00-6:00	6:00-20:00; 22:00-24:00	20:00-22:00
Sábado	0:00-7:00	7:00-24:00	
Domingo y festivos	0:00-19:00	19:00-24:00	

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril

Tabla 5.2. Horas Facturables en Horario de Verano

Día de la Semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00-6:00	6:00-18:00; 22:00-24:00	18:00-22:00
Sábado	0:00-8:00	8:00-19:00; 21:00-24:00	
Domingo y festivos	0:00-18:00	18:00-24:00	

La demanda facturable se define como

$$DF = DP + (FRI \times \max(DI - DP, 0)) + (FRB \times \max(DB - DPI, 0))$$

En donde:

- DP** = Demanda máxima en el periodo punta
DI = Demanda máxima en el periodo intermedio
DB = Demanda máxima en el periodo de base
DPI = Demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio
FRI y FRB = Factores de reducción que para la región central son de 0.3 y 0.15 respectivamente

En la demanda facturable el peso más importante recae en la demanda punta ya que este valor se traslada directamente a la fórmula y las demandas base e intermedia se ven afectadas por los factores de reducción y por las sustracciones a las que se someten.

Es por esto que las medidas que se tomen respecto al periodo punta tendrán un impacto inmediato en la reducción de costos en la facturación eléctrica.

En el caso de **Mabe Estufas México**, se detectó que las áreas de ensamble y fabricación operan dos de los tres turnos disponibles durante un día laboral, dichos turnos son el primero (de 06:00 a 15:30) y el segundo (de 15:30 a 23:30 horas), con lo que se opera durante el periodo punta durante todo el año.

Con base en lo anterior es posible observar que el utilizar el primer y tercer turno se eliminaría la operación del segundo turno, y se tendría una demanda mínima durante el horario en punta, esto sólo en el área de fabricación.

De acuerdo con la facturación eléctrica proporcionada, que va de mayo del 2000 a mayo del 2001 se ha registrado una demanda facturable promedio de 1,650 kW, en base de 1,473 kW, en intermedio de 1,708 kW y en punta de 1,625 kW.

Tabla 5.3. Demandas Promedio Facturadas

Demandas (kW)	
Demanda base	1.473
Demanda intermedia	1.708
Demanda Punta	1.625

Para calcular la demanda facturable se sustituyen los valores máximos promedio obtenidos de las demandas base, intermedio y punta en la ecuación así como los factores de reducción para la región central en tarifa HM.

$$DF = 1,625 + (0.30 \times \max(1,708 - 1,625, 0)) + (0.15 \times \max(1,473 - 1,708, 0))$$

$$DF = 1,625 + (0.30 \times 83) + (0.15 \times 0)$$

$$DF = 1,625 + 24.90 + 0$$

$$DF = 1,650 \text{ kW}$$

Tabla 5.4. Demanda Facturable de la Empresa

Demandas (kW)	
Demanda facturable actual	1.650

Es importante mencionar que es mucho mayor la carga eléctrica instalada en el área de fabricación que en el área de ensamble, debido a un compresor marca Gardner Denver, el cual opera en forma indistinta durante los tres turnos, por lo que es correcto considerar 600 kW de demanda solo en el área de fabricación, los cuales son factibles para no poner en operación en el segundo turno reduciendo la demanda facturable en 25.45%.

Tabla 5.5. Demandas Propuestas para la Empresa

Demandas (kW)	
Demanda base	1.473
Demanda intermedia	1.708
Demanda Punta	1.025

$$DF = 1,025 + (0.30 \times \max(1,708 - 1,025, 0)) + (0.15 \times \max(1,473 - 1,708, 0))$$

$$DF = 1,025 + (0.30 \times 683) + (0.15 \times 0)$$

$$DF = 1,025 + 205 + 0$$

$$DF = 1,230 \text{ kW}$$

Tabla 5.6. Demanda Facturable Propuesta para la Empresa

Demandas (kW)	
Demanda facturable propuesta	1.230

Los ahorros económicos generados por dejar de operar en el segundo turno (horario punta) del área de fabricación, para operar el primer y tercer turno se muestran a continuación:

$$\text{Ahorro en Demanda facturable} = kW_{\text{facturable actual}} - kW_{\text{facturable propuesta}}$$

$$\text{Ahorro en Demanda facturable} = 1650 - 1230$$

$$\text{Ahorro en Demanda facturable} = 420 \text{ kW}$$

Considerando el costo de \$72.05 por cada kW facturable para el mes de junio de 2002 se tiene:

$$\text{Cargo por Demanda facturable} = kW_{\text{facturable}} \times \$ / kW_{\text{facturable}}$$

$$\text{Cargo por Demanda facturable} = 420 \times 72.05$$

$$\text{Cargo por Demanda facturable} = \$ 30,261.00 \text{ mensual o bien } \$ 363,132.00 \text{ anual.}$$

Cabe señalar que bastan 15 minutos de duración de la demanda en cada uno de los periodos antes descritos para que dicho valor sea representativo de todo el mes, por lo que si por alguna razón algún área de producción operó durante un solo día en horario punta queda registrado como la demanda máxima de todo el mes.

5.2 MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Un sistema de iluminación eficiente debe garantizar los niveles de luxes registrados en la NOM-025-STPS de acuerdo al tipo de actividad a realizar (ver anexo 1), por lo cual la selección del equipo a instalarse se debe analizar con calma para no afectar el área de trabajo, reduciendo la carga antes instalada, los costos de operación y el costo del equipo, calculando con ello el periodo simple de recuperación del proyecto.

A fin de hacer una presentación simplificada del procedimiento de evaluación de ahorro se desarrollarán ejemplos para cada uno de los tipos de cambio propuestos para las secciones que componen las diferentes áreas de operación de la planta.

Acción concreta

A) De acuerdo al análisis realizado al sistema de iluminación en el área de producción, formado por 75 luminarias de 2×75 W T-12, el cual resulta ineficiente así como gran consumidor de energía eléctrica, se optó por la sustitución e instalación en cada luminaria 2 lámparas T8 de 32 W con reflector especular y balastro electrónico, el cual de acuerdo a sus características eléctricas y fotométricas proporciona el nivel de iluminación de confort deseado en el área de producción.

Situación Propuesta

La alternativa de sustitución es instalar en cada luminaria 2 lámparas T8 de 32W con reflector especular y balastro electrónico, el desglose de los cálculos se muestra a continuación:

Potencia por luminaria: $2 \times 32 = 64$ W = 0.064 kW

Potencia total: $75 \times 0.064 = 4.80$ kW

El área permanece con las lámparas encendidas durante 18 horas al día, de las cuales corresponden 180 hrs/mes en horario base, 315 y 45 horas al mes en los horarios de intermedia y punta, respectivamente. Por lo tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

Consumo en horario Base: 4.8 kW \times 180 hrs/mes = 864 kWh/mes

Consumo en horario Intermedia: 4.8 kW \times 315 hrs/mes = 1,512 kWh/mes

Consumo en horario Punta: 4.8 kW \times 45 hrs/mes = 216 kWh/mes

Por lo cual el consumo total será

$$864 + 1,512 + 216 = 2,592 \text{ kWh/mes} = 31,104 \text{ kWh/año.}$$

Considerando los precios de la electricidad en: \$65.66/kW, \$0.3314/kWh_{Base}, \$0.3969/kWh_{Intermedia}, \$1.2402/kWh_{Punta}, se tienen los siguientes costo de operación:

Cargo por demanda: $4.8 \times 65.66 = \$315.17/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Base: $864 \times 0.3314 = \$286.33/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Intermedia: $1,512 \times 0.3969 = \$600.11/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Punta: $216 \times 1.2402 = \$267.88/\text{mes}$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$315.17 + 286.33 + 600.11 + 267.88 = \$1,469.49/\text{mes} = \$17,633.92/\text{año}$$

- B)** Como de menciona anteriormente en el área de ensamble se encuentran 70 luminarias tipo gavilán a doble altura con arreglos de 2 lámparas fluorescentes de 75 W T-12 con balastro electromagnético 2×75 W, el cual consume el 20% de la potencia de las lámparas, que por los resultados obtenidos del análisis anterior resulta ineficiente en consumo energético de acuerdo a las tecnologías actuales.

Situación Propuesta

La alternativa de sustitución es instalar en cada luminaria 8 lámparas T-5 de 40W con reflector especular y balastro electrónico, el desglose de los cálculos se muestra a continuación:

$$\text{Potencia por luminaria: } 8 \times 40 = 320 \text{ W} = 0.32 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia total de Ensamble: } 12 \times 0.32 = 3.84 \text{ kW}$$

El área permanece con las lámparas encendidas durante 18 horas al día, de las cuales corresponden 180 hrs/mes en horario base, 315 y 45 horas al mes en los horarios de intermedia y punta respectivamente. Por lo tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

$$\text{Consumo en horario Base: } 3.84 \text{ kW} \times 180 \text{ hrs/mes} = 691.2 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Consumo en horario Intermedia: } 3.84 \text{ kW} \times 315 \text{ hrs/mes} = 1,209.6 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Consumo en horario Punta: } 3.84 \text{ kW} \times 45 \text{ hrs/mes} = 172.8 \text{ kWh/mes}$$

Por lo cual el consumo total será

$$691.2 + 1,209.6 + 172.8 = 2,073.6 \text{ kWh/mes} = 24,883.2 \text{ kWh/año.}$$

Considerando los precios de la electricidad en: \$65.66/kW, \$0.3314/kWh_{Base}, \$0.3969/kWh_{Intermedia}, \$1.2402/kWh_{Punta}, se tienen los siguientes costo de operación:

$$\text{Cargo por demanda: } 3.84 \times 65.66 = \$252.10/\text{mes}$$

$$\text{Cargo por consumo en horario Base: } 691.2 \times 0.3314 = \$229.06/\text{mes}$$

$$\text{Cargo por consumo en horario Intermedia: } 1,209.6 \times 0.3969 = \$480.09/\text{mes}$$

$$\text{Cargo por consumo en horario Punta: } 172.8 \times 1.2402 = \$214.31/\text{mes}$$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$252.10 + 229.06 + 480.09 + 214.31 = \$1,175.59/\text{mes} = \$14,107.14/\text{año}$$

- C)** En el área de fabricación, se tienen instaladas actualmente 25 luminarias formadas por 2 lámparas de 39 W T12 a doble altura en la línea 2 del área de fabricación, las cuales por los resultados del análisis realizado en el capítulo 4 son altamente consumidoras de energía eléctrica así como ineficientes en la cantidad de luxes emitidos.

Situación Propuesta

La alternativa de sustitución es instalar en cada luminaria 8 lámparas T-5 de 40W con reflector especular y balastro electrónico, el desglose de los cálculos se muestra a continuación:

Potencia por luminaria: $8 \times 40 = 320 \text{ W} = 0.32 \text{ kW}$

Potencia total de Fabricación: $6 \times 0.32 = 1.92 \text{ kW}$

El área de fabricación permanecerá con las lámparas encendidas solo durante 12 horas al día, de las cuales corresponden 120 hrs/mes en horario base, 210 y 30 horas al mes en los horarios de intermedia y punta respectivamente. La reducción en el tiempo de uso del sistema de iluminación se debe a otros cambios que se realizarán en paralelo a las acciones del cambio tecnológico del sistema de iluminación que se mencionan a continuación:

- Modificación del control de encendido y apagado de alumbrado, mediante cambios en la instalación eléctrica, que incluye la derivación de circuitos al instalar apagadores por secciones para permitir el uso de diferentes áreas de trabajo de menor dimensión o capacidad de acuerdo a las necesidades de proceso o producción y por turnos de trabajo. Actualmente la instalación no permite el control por área de trabajo, solo por áreas más grandes aún cuando no se requiera en pequeñas secciones.
- Reemplazo de algunas láminas de asbesto por láminas translúcidas en los techos de las naves de manera alternada entre las de asbesto y las de acrílico, para aprovechar más la luz natural durante el día. Actualmente todo el techo tiene solo láminas de asbesto (opacas) lo que obliga al uso del sistema de iluminación durante todo el día, aunado a que si una pequeña parte de la planta está trabajando se tiene que iluminar las áreas que no están operando lo que implica un desperdicio de energía eléctrica en cuanto al sistema de iluminación.
- Instalación de un tablero de control inteligente acoplado a fotoceldas al exterior de las naves, lo cual permitirá monitorear el nivel de iluminación aprovechable de luz natural al interior de la planta en congruencia con la instalación de las láminas translúcidas mencionadas en el punto anterior.

De esta forma al combinar todas estas acciones más la apoyada directamente por el FIDE, con el cambio tecnológico en el sistema de iluminación permitirá a Mabe de México la reducción del tiempo de uso del sistema de iluminación.

Por lo tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

Consumo en horario Base: $1.92 \text{ kW} \times 120 \text{ hrs/mes} = 230.4 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Intermedia: $1.92 \text{ kW} \times 210 \text{ hrs/mes} = 403.2 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Punta: $1.92 \text{ kW} \times 30 \text{ hrs/mes} = 57.6 \text{ kWh/mes}$

Por lo cual el consumo total será

$$230.4 + 403.2 + 57.6 = 691.2 \text{ kWh/mes} = 8,294.4 \text{ kWh/año.}$$

Considerando los precios de la electricidad en: \$65.66/kW, \$0.3314/kWh_{Base}, \$0.3969/kWh_{Intermedia}, \$1.2402/kWh_{Punta}, se tienen los siguientes costo de operación:

$$\text{Cargo por demanda: } 1.92 \times 65.66 = 126.07/\text{mes}$$

$$\text{Cargo por consumo en horario Base: } 230.4 \times 0.3314 = \$76.35/\text{mes}$$

$$\text{Cargo por consumo en horario Intermedia: } 403.2 \times 0.3969 = \$160.03/\text{mes}$$

$$\text{Cargo por consumo en horario Punta: } 57.6 \times 1.2402 = \$71.44/\text{mes}$$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$126.07 + 76.35 + 160.03 + 71.44 = \$433.89/\text{mes} = \$5,206.65/\text{año}$$

D) Como se mencionó en el capítulo 4, en el área de fabricación se encuentran 29 luminarias tipo campana a doble altura con una lámpara de aditivos metálicos de 400W, con balastro electromagnético el cual consume el 20% de la potencia de las lámparas, y de acuerdo a la tabla resumen del comportamiento de consumo de energía, estas luminarias resultan ineficientes ante las nuevas tecnologías del mercado.

Situación Propuesta

La alternativa de sustitución es instalar en cada luminaria 8 lámparas T-5 de 40W con reflector especular y balastro electrónico, el desglose de los cálculos se muestra a continuación:

$$\text{Potencia por luminaria: } 8 \times 40 = 320 \text{ W} = 0.32 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia total de Fabricación: } 18 \times 0.32 = 5.76 \text{ kW}$$

El área permanecerá con las lámparas encendidas durante 12 horas al día, de las cuales corresponden 120 hrs/mes en horario base, 210 y 30 horas al mes en los horarios de intermedia y punta respectivamente. La reducción en el tiempo se debe a las razones antes expuestas ya que implica toda el área de fabricación. Por lo tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

$$\text{Consumo en horario Base: } 5.76 \text{ kW} \times 120 \text{ hrs/mes} = 691.2 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Consumo en horario intermedia: } 5.76 \text{ kW} \times 210 \text{ hrs/mes} = 1,209.6 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Consumo en horario Punta: } 5.76 \text{ kW} \times 30 \text{ hrs/mes} = 172.8 \text{ kWh/mes}$$

Por lo cual el consumo total será

$$691.2 + 1,209.6 + 172.8 = 2,073.6 \text{ kWh/mes} = 24,883.2 \text{ kWh/año.}$$

$$\text{Cargo por demanda: } 5.76 \times 65.66 = \$378.20/\text{mes}$$

$$\text{Cargo por consumo en horario Base: } 691.2 \times 0.3314 = \$229.06/\text{mes}$$

$$\text{Cargo por consumo en horario Intermedia: } 1,209.6 \times 0.3969 = \$480.09/\text{mes}$$

$$\text{Cargo por consumo en horario Punta: } 172.8 \times 1.2402 = \$214.31/\text{mes}$$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$378.20 + 229.06 + 480.09 + 214.31 = \$1,301.66/\text{mes} = \$15,619.94/\text{año}$$

E) En el área de Oficinas se encuentran 178 luminarias tipo gavilán con arreglos de 2 lámparas fluorescentes de 39 W T-12 con balastro electromagnético 2x39 W, el cual consume el 20% de la potencia de las lámparas, los cuales por su el tiempo de uso se encuentran en mal estado, por lo que su eficiencia es muy pobre.

Situación Propuesta

La alternativa de sustitución es instalar en cada luminaria 2 lámparas T8 de 32W con reflector especular y balastro electrónico, el desglose de los cálculos se muestra a continuación:

Potencia por luminaria: $2 \times 32 = 64 \text{ W} = 0.064 \text{ kW}$

Potencia total de Oficinas: $87 \times 0.064 = 5.57 \text{ kW}$

El área de oficinas permanecerá con las lámparas encendidas solo durante 14 horas al día, de las cuales corresponden 140 hrs/mes en horario base, 245 y 35 horas al mes en los horarios de intermedia y punta respectivamente. La reducción en el tiempo de uso del sistema de iluminación se debe a otros cambios que se realizarán en paralelo a las acciones del cambio tecnológico del sistema de iluminación que se mencionan a continuación:

El área de fabricación permanecerá con las lámparas encendidas solo durante 12 horas al día, de las cuales corresponden 120 hrs/mes en horario base, 210 y 30 horas al mes en los horarios de intermedia y punta respectivamente. La reducción en el tiempo de uso del sistema de iluminación se debe a otros cambios que se realizarán en paralelo a las acciones del cambio tecnológico del sistema de iluminación que se mencionan a continuación:

- Modificación del control de encendido y apagado de alumbrado, mediante cambios en la instalación eléctrica, que incluye la derivación de circuitos al instalar apagadores por secciones para permitir el uso de diferentes áreas de trabajo de menor dimensión o capacidad de acuerdo a las necesidades de proceso o producción y por turnos de trabajo. Actualmente la instalación no permite el control por área de trabajo, solo por áreas más grandes aún cuando no se requiera en pequeñas secciones.
- Instalación de sensores de presencia y apagadores individuales en las oficinas.

De esta forma al combinar todas estas acciones más la apoyada directamente por el FIDE, con el cambio tecnológico en el sistema de iluminación permitirá a Mabe de México la reducción del tiempo de uso del sistema de iluminación.

Por o tanto el cálculo del consumo de esta área será como se describe a continuación:

Consumo en horario Base: $5.57 \text{ kW} \times 140 \text{ hrs/mes} = 779.5 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Intermedia: $5.57 \text{ kW} \times 245 \text{ hrs/mes} = 1,364.2 \text{ kWh/mes}$

Consumo en horario Punta: $5.57 \text{ kW} \times 35 \text{ hrs/mes} = 194.9 \text{ kWh/mes}$

Por lo cual el consumo total será

$$779.5 + 1,364.2 + 194.9 = 2,238.6 \text{ kWh/mes} = 28,062.72 \text{ kWh/año.}$$

Cargo por demanda: $5.57 \times 65.66 = 365.59/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Base: $779.5 \times 0.3314 = \$258.33/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Intermedia: $1,364.2 \times 0.3969 = \$541.44/\text{mes}$

Cargo por consumo en horario Punta: $194.9 \times 1.2402 = \$241.69/\text{mes}$

Siendo el cargo total por demanda y consumo:

$$365.59 + 258.33 + 541.44 + 241.69 = \$1,467.05/\text{mes} = \$16,884.64/\text{año}$$

Los costos de adquisición de los diferentes equipos a implementarse en este capítulo, sumaron un total de \$527,030.43.

Considerando el costo total de los equipos propuestos y los ahorros económicos que estos generarán, se calcula por consiguiente el Periodo Simple de Recuperación (*PRS*):

$$PRS = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros_Generados}} \dots \left(\frac{\$}{\$/\text{año}} \right)$$

$$PRS = \frac{527,030.43}{302,754.36} = 1.74 \text{ años}$$

Resumen General		
Ahorro en Demanda (kW)	62,52	3,81%
Ahorro en Consumo (kW/año)	569,21	5,65%
Ahorro Económico (\$/año)	302,754,36	5,06%
Inversión (\$ M.N.)	527,030,43	
PRS (años)	1,74	

En las **Tablas 5.7. 5.8. y 5.9.** se muestra el resumen del cálculo de las medidas de ahorro de energía propuestas para las diferentes áreas analizadas en Mabe México, S. de R.L. de C.V.

Tabla 5,6, SITUACIÓN PROPUESTA ILUMINACIÓN ÁREA DE ENSAMBLE

AREA	CANT.	TIPO DE LUMINARIO	WATTS / LAMP.	DEMANDA KW	HRS. DE USODIA	HRS. BASE	HRS. INTER.	HRS. PUNTA	CONSUMO MES			COSTO MENSUAL \$/MES			\$AÑO
									KWH base	KWH inter.	KWH punta	\$/KW	\$/KWH	TOTAL	
PASILLO COMPR. Y L-A	16	FLUORESCENTE 2*32 T-8	32	1,02	18	180	315	45	183,60	321,30	45,90	66,97	245,29	312,26	3.747,12
PASILLO EMBARQUES	14	FLUORESCENTE 2*32 T-8	32	0,9	18	180	315	45	162,00	283,50	40,50	59,09	216,44	275,53	3.306,36
LINEA A	75	FLUORESCENTE 2*32 T-8	32	4,8	18	180	315	45	864,00	1.512,00	216,00	315,17	1.154,33	1.469,50	17.634,00
PASILLO L-A Y L-C	15	FLUORESCENTE 2*32 T-8	32	0,96	18	180	315	45	172,80	302,40	43,20	63,03	230,87	283,90	3.526,80
LINEA C	20	FLUORESCENTE 2*32 T-8	32	1,28	18	180	315	45	230,40	403,20	57,60	84,04	307,82	391,86	4.702,32
PASILLO L-C Y L-B	20	FLUORESCENTE 2*32 T-8	32	1,28	18	180	315	45	230,40	403,20	57,60	84,04	307,82	391,86	4.702,32
LINEA B	75	FLUORESCENTE 2*32 T-8	32	4,8	18	180	315	45	864,00	1.512,00	216,00	315,17	1.154,33	1.469,50	17.634,00
PASILLO L-B	15	FLUORESCENTE 2*32 T-8	32	0,96	18	180	315	45	172,80	302,40	43,20	63,03	230,87	283,90	3.526,80
ENS. DOBLE ALTURA	12	FLUORESCENTE 2*32 T-8	40	3,84	18	180	315	45	691,20	1.209,60	172,80	262,13	923,46	1.175,59	14.107,08

Tabla 5.7, SITUACIÓN PROPUESTA ILUMINACIÓN ÁREA DE ENSAMBLE

AREA	CANT.	TIPO DE LUMINARIO	WATTS / LAMP.	DEMANDA KW	HRS. DE USODIA	HRS. BASE	HRS. INTER.	HRS. PUNTA	CONSUMO MES			COSTO MENSUAL \$/MES		\$/AÑO	
									KWH base	KWH intr.	KWH punta	\$/KW	\$/KWH		TOTAL
LINEA PM1	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68
LINEA PM2	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68
LINEA PM3	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68
LINEA PM4	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68
LINEA PM5	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68
LINEA PM6	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68
LINEA PM7	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68
LINEA PM8	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68
LINEA PM9	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68
LINEA PM10	6	FLUORESCENTE 8'40 T-5	40	1,92	12	120	210	30	230,40	403,20	57,60	126,07	307,82	433,89	5.206,68

Tabla 5.8. SITUACIÓN PROPUESTA ILUMINACIÓN ÁREA DE ENSAMBLE

AREA	CANT.	TIPO DE LUMINARIO	WATTS / LAMP.	DEMANDA KW	HRS. DE USODIA	HRS. BASE	HRS. INTER.	HRS. PUNTA	CONSUMO MES			COSTO MENSUAL \$MES			\$/AÑO	
									KWH base	KWH inter.	KWH punta	\$/KW	\$/KWH	TOTAL		
PASILLOS	72	FLUORESCENTE COMPACTA	13	1,87	14	140	245	35	261,80	458,15	65,45	9.424,80	122,78	349,77	472,55	5.670,60
AFICINAS	45	FLUORESCENTE 2'x32 T-8	32	2,88	14	140	245	35	403,20	705,60	100,80	14.515,20	189,10	538,69	727,79	8.733,48
ÁREA COMUN	1	FLUORESCENTE 1'x32 T-8	32	0,03	14	140	245	35	4,20	7,35	1,05	151,20	1,97	5,61	7,58	90,96
SALAS	42	FLUORESCENTE 2'x32 T-8	32	2,69	14	140	245	35	376,60	659,05	94,15	13.557,60	176,63	503,15	679,78	8.157,36
SANITARIOS	8	FLUORESCENTE COMPACTA	13	0,21	14	140	245	35	29,40	51,45	7,35	1.058,40	13,79	39,28	53,07	636,84

5.3 ADECUACIÓN DEL SISTEMA MOTRÍZ

Con base a los resultados obtenidos en el análisis realizado a los motores en la empresa Mabe México, S. de R.L. de C.V., de los cuales 21 motores se encuentran en estado de sobre-dimensionamiento y sub-dimensionamiento que repercute en un alto consumo de energía eléctrica y una ineficiencia considerable en la producción total.

La medida de ahorro de energía en el sistema motriz propuesta, consta del dimensionamiento adecuado de los 21 motores así como la sustitución de los 21 motores en la empresa Mabe México, esperando con ello un incremento en la eficiencia y un decremento en los costos de operación provocado por la carga total propuesta.

Evaluar el factor de carga y la eficiencia del motor actual

$$\text{Si } FC_{STD} = \frac{hp_{flecha}}{hp_{placa}} \quad \text{donde} \quad hp_{flecha} = \frac{\text{Potencia eléctrica} \times \eta}{0.746 \frac{kW}{hp}}$$

Sustituyendo en la **ecuación (24)** la información necesaria se obtiene el factor de carga al cual está trabajando el motor actual.

$$\text{Entonces} \quad FC = \frac{Pot_{STD} \times \eta}{hp_{placa} \times 0.746} \quad \text{ecuación (24)}$$

$$FC = \frac{28.9743 \times 0.9141}{60 \times 0.746} = 0.5917$$

Para determinar la eficiencia a 0.5917 de factor de carga, se procederá con una interpolación lineal entre el factor de carga inmediato inferior y el superior, de acuerdo a la **ecuación (25)** y a la información del anexo 2.

$$\eta_{STD} = \left(\frac{\eta_2 - \eta_1}{FC_2 - FC_1} \right) (FC_{STD} - FC_1) + \eta_1 \quad \text{ecuación (25)}$$

Donde:

Factor de Carga	Eficiencia ³
$FC_1 = 0.50$	$\eta_1 = 0.9079$
$FC_{STD} = 0.5917$	$\eta_{STD} = ?$
$FC_2 = 0.75$	$\eta_2 = 0.9156$

$$\eta_{STD} = \left(\frac{0.9156 - 0.90179}{0.75 - 0.50} \right) (0.5917 - 0.50) + 0.9079 = 0.9107$$

Efectuar los ajustes a la eficiencia

El ajuste a la eficiencia del motor actual se realiza por medio de la **ecuación (26)**.

$$\eta_{STD_ajustada} = FA_{dv} (\eta_{STD} - FA_{VV} - FA_{re}) \quad \text{ecuación (26)}$$

Donde:

FA_{VV} .- Factor de ajuste por diferencia en tensión

La diferencia en tensión se define como la relación de la tensión trifásica promedio de línea y la tensión indicada en placa, tal como se muestra en la **ecuación (27)**:

$$VV_{STD} = \left(\frac{V_{STDp}}{V_{STD_placa}} - 1 \right) \quad \text{ecuación (27)}$$

$$FA_{VV} = (VV_{STD})(0.07 - 1.334(VV_{STD})) \times 0.0009 \quad \text{ecuación (28)}$$

Una vez determinada la diferencia en tensión se puede calcular el ajuste por medio de la **ecuación (28)**.

$$VV_{STD} = \left(\frac{437}{440} - 1 \right) = -0.0068$$

$$FA_{VV} = (-0.0068)(0.07 - 1.334(-0.0068)) \times 0.0009 = -0.00144$$

FA_{dv} .- Factor de ajuste por desbalanceo en tensión

El desbalanceo en tensión se define como la máxima desviación de la tensión de línea, al valor promedio en un sistema trifásico, dividido entre la tensión promedio, como se muestra en la **ecuación (29)**. Una vez determinado el desbalanceo en tensión el factor de ajuste por desbalanceo en tensión se puede calcular con la **ecuación (30)**.

$$DV_{STD} = \left(\frac{\text{Max} \left[\left(V_{STD_{max}} - V_{STD_p} \right) \text{ ó } \left(V_{STD_p} - V_{STD_{min}} \right) \right]}{V_{STD_p}} \right) \quad \text{ecuación (29)}$$

$$DV_{STD} = \left(\frac{\text{Max} \left[\left(438 - 437 \right) \text{ ó } \left(437 - 436 \right) \right]}{437} \right) = \left(\frac{\text{Max} \left[\left(1 \right) - \left(1 \right) \right]}{437} \right) = 0.002288$$

$$FA_{dv} = 1 - (DV_{STD})(0.0113 + 0.0073(DV_{STD})) \quad \text{ecuación (30)}$$

$$FA_{dv} = 1 - (0.002288)(0.0113 + 0.0073(0.002288)) = 0.99997$$

FA_{re} .- Factor de ajuste por reembobinados

En este ejemplo la pérdida de eficiencia por reembobinados será de $FA_{re} = 0.03$ debido a que ya ha sido reembobinado el motor en múltiples ocasiones.

Ahora sustituyendo los resultados obtenidos en la **ecuación (26)** todos los valores de los ajustes realizados, se obtiene la eficiencia del motor actual con los ajustes que afectan su eficiencia.

$$\eta_{STD_ajustado} = 0.99997(0.9107 - 0.0014 - 0.03) = 0.8792$$

Determinar la potencia al freno del motor actual (estándar)

En el caso del ejemplo se determina la potencia al freno que realmente es suministrada al sistema por el motor.

$$Pot_{STD_mec} = (\eta_{STD_ajustado} (Pot_{STD_ele})) \dots [kW, hp] \quad \text{ecuación (31)}$$

$$Pot_{STD_mec} = (0.8792)(28.9743) = 25.476 \text{ kW } \text{ ó } 34.15 \text{ hp}$$

En este caso Pot_{STD_mec} es la energía mecánica entregada al sistema motriz accionado por el motor actual y será la misma para el motor de alta eficiencia.

Propuesta del nuevo motor de Alta Eficiencia

Una vez conocida la potencia al freno se selecciona el motor de alta eficiencia para que trabaje cerca del 75% de carga y se calcula el nuevo porcentaje de carga al que trabajará.

$$Pot_{AE_mec} = \left[\frac{Pot_{STD_mec}}{0.75} \right] \dots [hp, kW] \quad \text{ecuación (32)}$$

$$Pot_{AE_mec} = \left[\frac{25.476}{0.75} \right] = 33.9681 \text{ kW} = 45.5336 \text{ hp}$$

Debido a que las medidas se tomaron cuando la planta estaba en un periodo de baja carga, se respetará la potencia del motor a 60 hp. Por lo tanto ahora se debe calcular el factor de carga al cual trabajará a través de la siguiente relación:

$$FC_{AE} = \left(\frac{Pot_{STD_mec} [hp]}{Pot_{AE_placa} [hp]} \right) \quad \text{ecuación (33)}$$

$$FC_{AE} = \left(\frac{341502}{60} \right) = 0.5691$$

Donde Pot_{AE_placa} será igual a 3 hp.

Determinar la eficiencia del nuevo motor

Con base al factor de carga se determina la eficiencia del nuevo motor de acuerdo al catálogo de fabricante del motor de alta eficiencia o del Anexo 2 (motor de alta eficiencia, 60 hp, abierto y 1,800 r.p.m.)

Como en este caso no coinciden los valores del factor de carga con los datos del Anexo 2, será necesario interpolar con la siguiente ecuación y los valores correspondientes

$$\eta_{AE} = \left(\frac{\eta_2 - \eta_1}{FC_2 - FC_1} \right) (FC_{AE} - FC_1) + \eta_1 \quad \text{ecuación (34)}$$

Donde:

Factor de carga	EFICIENCIA ⁴
FC1 = 0.50	$\eta_1 = 0.9469$
FCAE = 0.5691	$\eta_{AE} = ?$
FC2 = 0.75	$\eta_2 = 0.9499$

$$\eta_{AE} = \left(\frac{0.9499 - 0.9469}{0.75 - 0.50} \right) (0.5691 - 0.50) + 0.9469 = 0.9477$$

Efectuar los ajustes a la eficiencia

La siguiente ecuación se derivada de la (26), con $FA_{re} = 0$, por ser un motor nuevo.

$$\eta_{AE_ajustada} = FA_{dv} (\eta_{AE} + FA_{vv}) \quad \text{ecuación (35)}$$

Donde $\eta_{AE} = 0.9477$ que corresponde a un factor de carga de 0.5691 para un motor de 60 hp, abierto, 1800 rpm, de alta eficiencia.

El FA_{vv} se tendrá que determinar con las ecuaciones 27 y 28 de acuerdo a los datos de placa del motor de alta eficiencia. La variación en la tensión se determinará con los datos de placa del nuevo motor, que en este caso es 460 V, entonces:

$$VV_{STD} = \left(\frac{437}{460} - 1 \right) = -0.05$$

$$FA_{VV} = (-0.050)(0.07 - 1.334(-0.050)) \times 0.0009 = -0.0077$$

Efectuando la sustitución en la **ecuación (33)** donde el FA_{dv} será igual al obtenido con la **ecuación (35)**, $FA_{dv} = 0.99997$, entonces se tiene:

Con estos datos en la **ecuación (7)** se tiene:

$$\eta_{AE_ajustada} = 0.99997(0.9477 - 0.00774) = 0.9399$$

Calcularia potencia demandada por el nuevo motor

Con la eficiencia, la potencia de placa y el factor de carga al que trabajará el nuevo motor se calculará la potencia eléctrica demandada.

$$Pot_{AE_elec} = \frac{(Pot_{Ae_mec} \times FC_{AE} \times 0.746)}{\eta_{AE_ajustada}} \dots [kW] \quad \text{ecuación (36)}$$

$$Pot_{AE_ele} = \frac{(60)(0.5691)(0.746)}{0.9399} = 27.1030 \text{ kW}$$

Teniendo en cuenta que el motor propuesto trabaja durante 8,640 horas al año, el consumo de energía eléctrica será:

$$27.1030 \text{ kW} \times 8,640 \text{ hrs} = 234,153 \text{ kWh}$$

De acuerdo a los precios para la tarifa HM en kW = \$72.05 y para kWh = 0.49196, región centro, en el mes de junio de 2002 se tiene:

$$\text{Facturación anual} = 12 \times kW \times \$ / kW + kWh \times \$ / kWh$$

$$\text{Facturación anual} = 12 \times 27.1030 \times 72.05 + 234,153 \times 0.49196$$

$$\text{Facturación anual} = \$138,625.56 / \text{año}$$

En la **Tabla 5.9.** se muestran los costos de operación de los 21 motores analizados:

Tabla 5.9. Costos de Operación de Motores en Mabe México.

No.	Código	Descripción	Área	Marca	Motor Actual					Motor Propuesto				
					kW	kWh/año	\$/año x kW	\$/año x kWh	\$/año	kW	kWh/año	\$/año x kW	\$/año x kWh	\$/año
1	11202	Prensa Trimer	fabricación	IEM	22,42	145,291	19,385,53	71,477,16	90,862,70	21,13	136,906	18,266,67	67,352,51	85,619,38
2	11212	Prensa Cincinnati	fabricación	GE	12,81	83,024	11,077,57	40,844,55	51,922,13	11,63	75,361	10,055,14	37,074,70	47,129,84
3	10305	Prensa No. 43	fabricación	MITSUBUCHI	11,41	73,952	9,867,17	36,361,64	46,248,61	10,62	68,847	9,165,93	33,869,80	43,055,73
4	11306	Prensa No. 36	fabricación	LESSON	12,65	81,993	10,939,97	40,337,19	51,277,16	11,49	74,443	9,932,63	36,623,00	46,555,63
5	11002	Prensa Niagara	fabricación	ABB	17,72	114,824	15,320,52	56,488,89	71,809,41	16,62	107,726	14,373,40	52,996,72	67,370,12
6	11404	Troquel Tatu	fabricación	SIEMENS	7,76	50,305	6,712,05	24,748,28	31,460,33	7,12	46,129	6,154,78	22,693,53	28,846,31
7	11102	Prensa No. 37	fabricación	IEM	45,42	392,441	39,271,38	193,065,40	232,336,78	42,63	368,283	38,853,86	181,180,45	218,034,32
8	11411	Prensa HME DSP5	fabricación	SIEMENS	11,97	103,429	10,350,13	50,883,17	61,233,30	11,00	95,071	9,513,66	46,770,92	56,284,58
9	21218	Molino No. 6	Esmalte	MITSUBUCHI	10,76	92,929	9,299,32	45,717,21	55,016,53	10,02	86,596	8,665,63	42,601,84	51,267,47
10	20509	Colector de Polvo 2 ASP Vertical 1	Esmalte	GE	50,67	437,758	43,806,23	215,359,57	259,165,80	47,79	412,945	41,323,14	203,152,23	244,475,37
11	20508	Colector de Polvo 1 ASP Vertical 1	Esmalte	IEM	56,67	489,663	49,000,28	240,894,47	289,894,75	53,41	461,493	46,181,37	227,036,20	273,217,57
12	11305	Dobladora Chicago	Esmalte	SIEMENS	10,44	90,229	9,029,17	44,389,07	53,418,23	9,74	84,157	8,421,51	41,401,69	49,823,20
13	20560	Colector de Polvo 2 ASP Vertical 2	Esmalte	LESSON	16,24	140,357	14,045,40	59,049,82	83,095,22	15,57	134,542	13,463,52	66,189,14	79,652,66
14	20102	Estación de Lavado M03	Lavadora Eisenmann	MITSUBUCHI	28,97	250,339	25,051,24	123,156,55	148,207,79	27,10	234,153	23,431,58	115,193,98	138,625,56
15	20103	Estación de Lavado M04	Lavadora Eisenmann	ABB	19,79	170,946	17,106,45	84,098,48	101,204,93	18,38	158,836	15,894,59	78,140,76	94,035,35
16	20104	Estación de Lavado M05	Lavadora Eisenmann	ABB	19,12	165,212	16,532,68	81,277,74	97,810,42	17,75	153,348	15,345,47	75,441,19	90,786,67
17	20105	Estación de Lavado M06	Lavadora Eisenmann	GE	11,56	99,890	9,995,93	49,141,84	59,137,76	10,72	92,638	9,270,25	45,574,26	54,844,50
18	20106	Estación de Lavado M07	Lavadora Eisenmann	IEM	20,39	176,209	17,633,11	86,687,66	104,320,77	18,96	163,786	16,389,93	80,575,96	96,965,90
19	20107	Estación de Lavado M08	Lavadora Eisenmann	IEM	11,68	100,909	10,097,91	49,643,21	59,741,13	10,83	93,606	9,367,09	46,050,36	55,417,46
20	20108	Estación de Lavado M09	Lavadora Eisenmann	LESSON	11,50	99,359	9,942,84	48,880,84	58,823,68	10,67	92,196	9,226,04	45,356,95	54,582,99
21	11203	Prensa Mecánica Verson.	fabricación	GE	23,67	153,362	20,462,44	75,447,88	95,910,33	22,19	143,796	19,186,07	70,741,71	89,927,77

El periodo simple de recuperación para la sustitución de los 21 motores en esta empresa, se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Ahorros } (\$/\text{año}) = \text{Facturación}_{\text{motor_de_eficiencia_estandar}} - \text{Facturación}_{\text{motor_de_alta_eficiencia}}$$

$$\text{Ahorros } (\$/\text{año}) = 148,207.79 - 138,625.56 = 9,582.23$$

El costo de este motor de acuerdo a la cotización es de \$32,083.90, por lo que el Periodo Simple de Recuperación es de:

$$PRS = \frac{32,083.90}{9,581.16} = 3.3486 \text{ años}$$

Una vez calculado el PSR por equipo se calcula en forma total.

$$PRS = \frac{404,512.91}{136,377.62} = 2.97 \text{ años}$$

Resumen General		
Ahorro en Demanda (kW)	28,25	1,72%
Ahorro en Consumo (kW/año)	227.565	2,25%
Ahorro Económico (\$/año)	136.377,62	2,17%
Inversión (\$ M.N.)	404.512,91	
PRS (años)	2,97	

CONCLUSIONES

El estudio del ahorro de energía eléctrica aplicado a esta empresa, en base al proceso de producción y a los equipos que conforman la carga instalada, trajo consigo una gran variedad de medidas de ahorro de energía eléctrica, de las cuales únicamente se han realizado tres –cambio del segundo al tercer turno laboral, dimensionamiento adecuado de los diferentes motores y modernización del sistema de iluminación- permitiendo conocer los ahorros energéticos y económicos generados sin que se afecte la producción.

El cambio del segundo al tercer turno en la planta de Mabe México, no ahorra energía eléctrica en lo más mínimo como se observa en el análisis, pero tomando en cuenta la tarifa eléctrica que se tiene contratada –HM–, el horario punta resulta ser el más costoso comparado con el horario base e intermedio, es por ello que trae consigo un ahorro económico sustentable para la empresa, debido a la nula inversión aplicada a esta.

Si bien el cambio del segundo turno al tercer no trajo consigo ahorros energéticos, es muy importante señalar que la administración de la energía es crítica para la prosperidad económica, el desarrollo industrial y el bienestar ambiental. La conservación efectiva de la energía debe considerarse en todos los aspectos del diseño, fabricación, especificación y mantenimiento de cualquier equipo con la debida consideración a la seguridad, salud, estética y con un mínimo impacto en el ambiente

El dimensionamiento adecuado de los motores eléctricos de alta eficiencia para cualquier industria, es una medida de ahorro de energía eléctrica muy común en el ámbito industrial, estos motores ofrecen considerables ahorros de energía en el reemplazo de motores estándar cuando los motores instalados son muy antiguos, se hayan rebobinado varias veces, sean de capacidad excedida o bien estén sujetos a un alto ciclo de operación.

Los resultados del análisis de las diferencias en los niveles de calidad, confiabilidad y parámetros de operación del motor eléctrico de alta eficiencia, con respecto a los motores de manufactura estándar, indican que la optimización de los principales parámetros en los motores de alta eficiencia, tales como la reducción en la elevación de temperatura, tienen como consecuencia una vida mas larga del motor.

Por otra parte, los factores que se ven afectados debido a estos diseños óptimos, tales como el incremento en la velocidad o el deslizamiento, tienen un efecto mínimo en el comportamiento global del motor eficiente. Por lo que los mitos sobre los motores de alta eficiencia como: “los motores eficientes tienen una vida más corta porque se diseñan con menos margen” y “los motores eficientes usan más energía en las aplicaciones de par variable, debido a la reducción del deslizamiento y el correspondiente incremento en la velocidad”, no tienen fundamento.

La iluminación para cualquier actividad debe de estar en los niveles de confort adecuados, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, sin embargo en las vistas realizadas a diversas empresas, centros educativos y centros de recreación se encuentran por debajo de los estándares marcados de acuerdo a la actividad que se realiza. En la empresa estudiada se observaron las características antes mencionadas entre otras como el clásico efecto caverna provocado por el gran distanciamiento entre luminarias y la mala selección de luminarios.

De acuerdo a las condiciones en que se encontraba la empresa, se demuestra que instalar luminarios de alta eficiencia desde el inicio del proyecto, es la decisión más inteligente y acertada que puede tener un usuario, ya que le permitirá tener bajos costos por concepto de consumo de energía eléctrica en relación con los equipos convencionales.

Quedaron demostradas las ventajas de los equipos ahorradores sobre los de tecnología obsoleta, como son:

- Mayor vida útil,
- Mayor flujo luminoso,
- Eficiencia superior,
- Menor consumo de energía eléctrica,
- Mejor índice de rendimiento de color (CRI),
- Gran variedad de lámparas y luminarios, para cualquier tipo de aplicación,
- Disminución por costos de mantenimiento,
- Posibilidad de ahorros sustanciales al utilizar accesorios adicionales, como en el caso de los sensores de presencia.

Si bien el costo de los equipos de alta eficiencia es superior al de los convencionales, en todos los casos los ahorros fueron de tal magnitud que la diferencia de inversión se recuperó en periodos razonables, de tal modo que la sobreinversión no resulta de ninguna manera onerosa.

“La eficiencia energética es 10% tecnología y 90% actitud”.

BIBLIOGRAFÍA

- DONALD G. FINK / H. WAYNE BEATY
MANUAL DE INGENIERIA ELÉCTRICA
Ed. McGraw Hill
- MOON, P.
SCIENTIFIC BASIC OF ILLUMINATING ENGINEERING
Ed. McGraw Hill
- CATÁLOGO DE CARACTERISTICAS ENERGÉTICAS DE PRODUCTOS
CERTIFICADOS CON EL SELLO FIDE
FIDE
Noviembre 2001
- CHAPMAN
MÁQUINAS ELÉCTRICAS
Ed. McGraw Hill
- KOSOW, I.
TRANSFORMADORES Y MOTORES DE INDUCCIÓN
Ed. HARLA
- BEATU SERBÁN NEAGU / CAMPERO LITTLEWOOD EDUARDO
INSTALACIONES ELÉCTRICAS
Ed. Alfaomega
- FRIER JHON P. / GAZLEY FRIER MARY E.
SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INDUSTRIALES
Ed. Limusa
- FERNANDEZ SALAZAR LUIS C. / DE LANDA AMEZCUA JAIME.
TÉCNICAS Y APLICACIONES DE LA ILUMINACIÓN
Ed. McGraw - Hill

REVISTAS TÉCNICAS

- **PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS**
ING. MARCO ANTONIO FÉLIX QUIRÓZ.
Revista Energía Racional No. 43.

- **MOTORES EFICIENTES EN CONSUMO DE ENERGÍA Y ANÁLISIS DEL COSTO DE SU VIDA ÚTIL**
G. HARLKUMAR Y S.R. GOVINDARAJ.
Revista Energía Racional No. 46.

- **ILUMINACIÓN NATURAL Y EL AHORRO DE ENERGÍA**
SILVIA ARIAS OROZCO.
Revista Energía Racional No. 47.

- **ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA PARA MOTORES, SISTEMAS Y EQUIPO ELÉCTRICO**
WEI JEN LEE Y RASOOL KENARANGUI.
Revista Energía Racional No. 49.

FASCÍCULOS

- **“RECOMENDACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS”**
FIDE
- **“RECOMENDACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS”**
FIDE
- **“ELEMENTOS BÁSICOS DE UN DIAGNÓSTICO ENERÉTICO ORIENTADO A LA APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA”**
FIDE
- **“LA MEDICIÓN EN EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO”**
FIDE
- **“RECOMENDACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ALUMBRADO PÚBLICO MUNICIPAL”**
FIDE

CURSOS Y TALLERES

- **“ECONOMÍA DEL AIRE COMPRIMIDO, ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DINÁMICA DE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO”**
DIENSA, INGERSOLL RAND
Instructor.- *Ing. Álvaro Gutiérrez.*
ITESM. Campus Estado de México. Atizapán, Edo. de Méx., febrero de 2004.
- **“DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS PARA LA INDUSTRIA”**
CONAE, FIDE, ATPAE
Instructor.- *Ing. Ramón Rosas Moya.*
CONAE, México, D.F., diciembre de 2003.
- **“AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE BOMBEO”**
CONAE, FIDE, ATPAE
Instructores.-*Ing. Alberto Plauchú Lima.*
Ing. Jorge Alberto Plauchú A.
ATPAE, México, D.F., noviembre de 2003.
- **“AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS NO RESIDENCIALES”**
CONAE, FIDE, ATPAE
Instructor.- *Ing. Alex Ramírez Rivero.*
CONAE, México, D.F., octubre de 2003.
- **“XXIV TALLER INTERNACIONAL DE CAPACITACIÓN EN CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN”.**
ASOCIACIÓN MEXICANA DE INGENIEROS MECÁNICOS Y ELECTRICISTAS.
Hotel Fiesta Americana Reforma, México, D.F., agosto de 2003.
- **“EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN”**
CONAE, FIDE, ATPAE
Instructor.- *Ing. Alex Ramírez Rivero.*
Centro de Capacitación de la Secretaría de Energía, México D.F., julio de 2003.
- **“SEMINARIO EN REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL”**
DANFOSS.
Instructor.- *Ing. Mogens Sogaard.*
Hotel Sevilla Palace, México, D.F., marzo de 2003.
- **“TECNOLOGÍA DE LA INGENIERÍA EN MÉXICO”**
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.
México, D.F., marzo de 2003.

GLOSARIO

AEROGENERADOR

Instalación en la que una turbina, accionada por el viento, mueve una máquina productora de electricidad.

APAGADOR

Interruptor pequeño, de acción rápida, operación manual y baja capacidad, que generalmente se usa para el control de aparatos pequeños domésticos y comerciales, y unidades pequeñas de alumbrado.

APAGÓN

Interrupción en el suministro eléctrico, afectando a un número considerable de consumidores de un edificio de una determinada zona geográfica y por un periodo significante de tiempo.

Nota: No hay una norma que indique a partir de qué lapso se le llama interrupción (momentáneo o temporal) y cuando se le califica como apagón.

ÁREA DE TRABAJO

Es la superficie de referencia, definida como el plano donde normalmente se lleva a cabo el trabajo.

BALASTRO

Dispositivo para controlar los parámetros eléctricos de alimentación a lámparas fluorescentes y HID.

Nota CONAE.- Se puede decir también "balastra".

BALASTRO DE ALTA EFICIENCIA

Balastro de una tecnología más avanzada que el electromagnético convencional, su eficiencia mejora sensiblemente. Usualmente llevan un termoprotector que los hace más seguros; comercialmente se abrevia EE.

BALASTRO ELECTRÓNICO/ESTADO SÓLIDO/ALTA FRECUENCIA

Balastro con circuitos electrónicos de estado sólido, que permiten reducir su peso, ruido y temperatura; al mismo tiempo que mejorar su eficiencia, distorsión de armónicas factor de potencia; comercialmente se abrevia HF.

BREAKER

Interruptor termo y/o magnético, de baja a media capacidad; usualmente va de 15 A a pocos cientos de amperes; cada capacidad nominal tiene varios marcos para diferentes capacidades interruptivas y puede ajustarse en un rango limitado; tienen elementos removibles.

Nota,.. No tiene traducción equivalente al español; a los de baja capacidad los técnicos electricistas les llaman "pastillas".

CAPACIDAD (como potencia)

La potencia nominal para la cual se diseña una máquina, aparato, equipo, planta, sistema o parte del mismo, o bien la que toman a plena carga los motores, aparatos, equipos o un sistema eléctrico de utilización, expresada en watts, kilowatts u otras unidades convenientes.

La máxima cantidad de electricidad que una unidad de generación o una planta puede producir bajo condiciones específicas.

CARGA

La potencia entregada a un punto dado, expresada en watts, kilowatts u otras unidades convenientes.

CARGA CONECTADA

La suma de las capacidades de los aparatos y equipos, que consumen energía eléctrica, conectados al suministrador (sistema de la compañía suministradora).

La suma de las potencias nominales de las máquinas y aparatos que consumen energía eléctrica, conectados a un circuito o a un sistema.

CARGA CONTÍNUA

Carga cuya corriente máxima se espera que se conserve durante tres horas o más.

CARGA ELÉCTRICA

Potencia que demanda, en un momento dado, un aparato o máquina o un conjunto de aparatos de utilización, conectados a un circuito eléctrico. (La carga puede variar en el tiempo, dependiendo del tipo de servicio).

CARGO POR ENERGÍA

La cantidad de dinero adeudada por el usuario por kilowatt(s) hora consumido(s).

CÉLULA FOTOVOLTAICA

Dispositivo que utiliza el efecto fotovoltaico y permite conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica. Se usan más los términos CELDA FOTO VOLTAICA o CELDA SOLAR.

CIRCUITO (eléctrico)

Uno o más conductores a través de los cuales fluye una corriente eléctrica.

Algunos dispositivos y equipos pueden formar parte del circuito eléctrico.

Conjunto de conductores que forman un sistema eléctricamente indisociable y que transportan la energía eléctrica.

CIRCUITO ALIMENTADOR

Es el conjunto de los conductores y demás elementos de un circuito, en una instalación de utilización, que se encuentra entre el medio principal de desconexión de la instalación y los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos derivados.

CIRCUITO DERIVADO

Es una instalación de utilización, es el conjunto de los conductores y los demás de cada uno de los circuitos que se extienden desde los últimos dispositivos de protección contra sobrecorriente en donde termina el circuito alimentador, hasta las salidas de las cargas.

Los dispositivos de protección contra sobrecarga de motores, tales como relevadores térmicos y otros dispositivos semejantes, no deben considerarse como los dispositivos de protección contra sobrecorriente mencionados en el párrafo anterior.

CONSUMIDOR (de energía eléctrica)

Cualquier persona, ya sea física o moral, a quien los suministradores proporcionen servicio amparado por el contrato respectivo.

CONSUMO ELÉCTRICO

Cantidad de energía eléctrica utilizada durante un periodo de tiempo determinado. Medido usualmente en kWh.

CONTACTO

Dispositivo formado por un receptáculo (no del tipo de casquillo roscado), previsto como salida de una instalación eléctrica y que usualmente se usa para recibir las clavijas de cordones o cables flexibles de aparatos que están alimentados por este medio.

CONTRATO

El documento en que consta el convenio celebrado entre el suministrador y el usuario, que contiene las estipulaciones aprobadas por la Secretaría para el suministro de energía que proporciona el primero o el segundo.

CONVERSIÓN DIRECTA DE ENERGÍA

Producción de electricidad a partir de cualquier fuente de energía, sin convertirla en un fluido o vapor de trabajo. Los sistemas de conversión directa no tienen partes móviles y producen usualmente corriente directa.

COSTO DE OPERACIÓN (de una fuente luminosa)

Se determina por el consumo de energía durante el tiempo de vida de una lámpara.

DELAMPAREAR (neologismo)

Desconectar o remover lámparas; disminuir el número de lámparas.

DEMANDA (eléctrica)

La carga promedio de las terminales de una instalación o sistema en un intervalo especificado (se expresa usualmente en kilowatts).

DEMANDA BASE DE FACTURACION (eléctrica)

La demanda usada para determinar el cargo por demanda, en los términos de las disposiciones de las tarifas.

DEMANDA CONTRATADA

La demanda que el suministrador y el usuario convienen inicialmente en el contrato respectivo (60% de la carga conectada o bien la capacidad de la subestación con un factor de potencia de 85%) y que posteriormente se modifica conforme al promedio de las tres demandas máximas consecutivas que la hubieran rebasado.

DEMANDA MÁXIMA MENSUAL

La mayor demanda, medida en el intervalo de 15 (quince) minutos, durante un mes de suministro, salvo aquellos casos especiales en que este periodo podrá variar en más o menos tiempo conforme a disposiciones de la Secretaría.

Nota CONAE: La medición de hace de las demandas integradas, a lapsos que varían según el tipo de equipo de medición (p.e. se hacen 'fijos', 'rolados', cada 5 mm., cada 15 mm., etc.).

DEMANDA MEDIA

Es el consumo en kilowatts hora medido en un periodo, dividido entre el número de horas de dicho periodo.

DIFUSOR

Dispositivo a manera de pantalla intermedia, que se coloca entre la fuente luminosa y la abertura de salida de un luminario. También se dice CONTROLENTE, pero este último término debe limitarse a difusores "cerrados"; los difusores direccionan la luz. Su eficiencia (no eficacia) es consecuencia de su transmitancia y absorbencia.

DISTORSIÓN ARMÓNICA

Múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz) que distorsionan la forma de onda de la línea de CA. Las armónicas de potencias de 3 (3ra..., 9a...) provocan grandes corrientes en el neutro de la línea en un sistema trifásico. Entre más bajo sea el porcentaje del contenido armónico es mejor para el sistema eléctrico.

EFICACIA (lumínica de una fuente)

Es definida como la relación de la radiación visible o flujo luminoso, entre la potencia de entrada; está dada en lúmenes entre watt (lm/W).

EFICIENCIA

De una lámpara, de su circuito, o de un sistema de iluminación completo; es la porción de la potencia de entrada que es convertida en radiación visible, la eficiencia está dada en porcentaje o fracción propia.

EFICIENCIA LUMINOSA

Flujo luminoso emitido por una lámpara al consumirse un watt de potencia.
Nota CONAE. Se prefiere el término Eficacia Lumínica".

ENCENDIDO (de una lámpara)

El tipo de encendido depende de la construcción de las lámparas y se traduce a un lapso para el encendido total.

Los tipos comunes de encendido de lámparas fluorescentes son: precalentamiento, rápido, instantáneo.

ENERGÍA ELÉCTRICA ACTIVA

Es la energía real que la instalación del usuario requiere para operar una carga. Identificada comúnmente como consumo de kilowatt-hora (kWh); estos (kWh) producen calor o trabajo.

ENERGÍA ELÉCTRICA REACTIVA

Es la energía que la instalación del usuario requiere para satisfacer la carga inductiva de motores, transformadores, etc. se mide en kilovolts amperes reactivos hora (kVARh); estos (kVARh) no producen directamente ni calor, ni trabajo.

FACTOR DE BALASTRO

Relación entre la cantidad de luz de salida de una lámpara de referencia conectada al balastro bajo prueba y la cantidad de luz de salida de la misma lámpara controlada con balastro de referencia de 60 Hz.

FACTOR DE CARGA

Es la relación entre la Demanda Media y la Demanda Máxima.

FACTOR DE COINCIDENCIA

Razón entre la demanda máxima de un grupo de cargas y la suma de las demandas máximas individuales de cada componente que conforman dicho grupo.

FACTOR DE CRESTA DE LA CORRIENTE DE LÁMPARA

La relación entre el valor pico de la corriente de lámpara y el valor RMS (promedio) de la misma. Para una mejor vida de la lámpara se requiere de un factor de cresta menor a 1.7. Un FCCL de 1.414 es una onda senoidal perfecta.

FACTOR DE DEMANDA

Razón entre la demanda máxima y la carga conectada registrados durante cierto intervalo de tiempo.

Nota: La demanda es el promedio del lapso (usualmente 15 minutos) con mayor carga en un periodo de facturación (usualmente un mes).

FACTOR DE DIVERSIDAD

(Inverso del Factor de Coincidencia)

Razón entre la suma de las cargas máximas individuales durante un periodo y las cargas máximas simultáneas de todas las mismas unidades durante el mismo periodo.

FACTOR DE POTENCIA

Su valor lo da la relación de los kilowatts o los kilowatts-amperes, o bien, según el procedimiento aprobado por la Secretaría, el coseno del arco cuya tangente es la relación de los kilovolts-amperes reactivos hora a los kilowatts-horas.

FACTOR DE RENDIMIENTO (en lámparas)

Es el cálculo que expresa el costo en unidades monetarias por cada hora de funcionamiento de una lámpara durante el tiempo total de vida.

FACTOR DE RENDIMIENTO DE CONTRASTE

Es la relación del contraste de la tarea visual con una iluminación dada del medio ambiente y el contraste con la esfera de iluminación.

FASES

Se refiere a los hilos de corriente con que se suministra un servicio en un sistema de corriente alterna.

FLUJO LUMINOSO

Es la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa. Su unidad es el lumen. Es la energía luminosa radiada al espacio por unidad de tiempo.

HORA PUNTA

Desde un punto de vista de tarifa eléctrica. Es el tiempo comprendido entre las 18:00 y las 22:00 h de lunes a sábado, a excepción de las regiones de Baja California Sur y Noreste, para las cuales y durante los meses de julio a octubre será el tiempo comprendido entre las 16:00 a las 22:00 h. Exceptuando los días marcados por la Ley Federal del Trabajo.

ILUMINACIÓN O ALUMBRADO:**GENERAL**

La iluminación general se obtiene distribuyendo un número de luminarias con una disposición, más o menos regular por toda la superficie del techo. El resultado es una iluminancia horizontal de un cierto nivel medio y un determinado grado de uniformidad. La iluminación general produce condiciones uniformes de visión.

LOCAL

Iluminación diseñada para aumentar la iluminancia en ciertas áreas de interés principal o donde se realiza un trabajo.

LOCALIZADA O DE LA TAREA

Iluminación diseñada para una función específica, con luminarios muy cerca de la tarea visual, y es dirigida a la superficie donde se realiza la tarea. Por ej.: mesa de trabajo mecánico, escritorio, pupitre, etc.

VDT

Diseño lumínico en base a terminales de video. Nota: VDT viene del inglés y español video terminal.

ILUMINANCIA

La iluminancia de una superficie es la relación entre el flujo luminoso incidente y el área. Su unidad es el lux.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Cualquier combinación de equipo eléctrico que se encuentra interconectado, incluyendo los conductores y demás elementos de interconexión y accesorios, dentro de un espacio o localización determinados.

INSTALACIÓN OCULTA

La que tiene canalización embebida en muros, techos, pisos, etc., o dentro de éstos, en forma que no sea visible.

INSTALACIÓN VISIBLE

Instalación en línea abierta o en canalización colocada en forma que sea visible.

INSTALACIONES DEL USUARIO

La instalación eléctrica autorizada por la Secretaría, a partir del punto de entrega.

INTERRUPTOR

Dispositivo que puede abrir un circuito eléctrico, cuando circula corriente, con un valor hasta de la capacidad del mismo dispositivo, sin sufrir daño alguno.

JUEGO DE TARIFA

El conjunto de tarifas y disposiciones complementarias que autoriza la Secretaría y que se publica en el "Diario Oficial" de la Federación, para ser aplicados por los suministradores a los servicios que prestan a sus usuarios.

LÁMPARA

Dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía luminosa.

Nota CONAE.- Fuera del ámbito técnico también les llaman "focos".

LÁMPARA COMPACTA FLUORESCENTE

Las lámparas fluorescentes domésticas son un dispositivo propio para la emisión de luz y funcionan mediante una descarga eléctrica originada en el cuerpo del receptáculo de vidrio sobre un gas enrarecido, desencadenando radiaciones ultravioleta que se transforman en luz. La fluorescencia se obtiene gracias al pigmento adherido en el interior del receptáculo de vidrio. La lámpara compacta fluorescente está formada por delgados tubos fluorescentes de 12 mm de diámetro. Se complementan con una base adaptadora que habilita la conexión de la lámpara con el "socket" normalizado a través del balastro, alojado en el interior del adaptador.

Nota CONAE.-a) se recomienda usar la abreviatura internacional de "CF"

b) la balastra, que puede ser de varios tipos (electromagnética, híbrida, electrónica, etc.) puede ser unitaria con la lámpara o por separado.

LÁMPARA FLUORESCENTE

Este tipo de lámpara, son una fuente que produce luz por medio de una descarga eléctrica en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión. La radiación del mercurio en estas condiciones no es visible, por lo que se utilizan polvos fluorescentes que tienen la propiedad de cambiar la radiación ultravioleta del arco a radiaciones del espectro visible.

Nota CONAE.- Los tipos más comunes se relacionan con el encendido, siendo usualmente arranque por precalentamiento, rápido, instantáneo.

LÁMPARA FLUORESCENTE ENCENDIDO INSTANTANEO

Estas lámparas están provistas de un solo perno (pin) en cada extremo de la lámpara (o "tubo"), este tipo de lámparas tienen vida más corta que las de encendido rápido.

Nota CONAE. - Se les conoce como "slim line" y se recomienda fuertemente no usarlas.

LÁMPARA FLUORESCENTE DE ENCENDIDO RÁPIDO

Las lámparas fluorescentes son encendidas con un balastro que provee un bajo voltaje para el precalentamiento de los electrodos.

LUMINANCIA

Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie operante en la dirección determinada.

LUMINARIO

Aparato eléctrico que se utiliza para controlar y dirigir el flujo luminoso generado por una o más lámparas. Es un aparato que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una o varias lámparas, el cual incluye todos los accesorios necesarios para la fijación, protección y funcionamiento de dichas lámparas.

LUMINARIOS DIRECTOS

Son aquellos que emiten prácticamente toda la luz (90 a 100%) hacia abajo, usualmente proporcionan la iluminación más eficiente al área de trabajo.

LUMINARIOS SEMIDIRECTOS

Son aquellos que emiten del 60 al 90% de la luz de su flujo luminoso hacia abajo del centro focal del luminario.

LUMINARIOS DIFUSOS

Son aquellos que emiten la misma cantidad de flujo luminoso en todas direcciones.

LUMINARIOS INDIRECTOS

Estos emiten del 90 a 100% de su flujo luminoso total hacia arriba del centro focal del luminario.

LUMINARIOS SEMI-INDIRECTOS

Estos dirigen del 60 al 90% de su flujo luminoso total hacia arriba del centro focal del luminario y de un 40 al 10% hacia abajo.

PARPADEO (FLICKER)

Variación en la intensidad luminosa debido al ciclo de operación de 60 Hz. Puede ocasionalmente provocar vista cansada o fatiga debido al efecto estroboscópico.

PÉRDIDAS DE BALASTRO

Potencia suministrada al balastro pero no transformada en energía usada por la lámpara. Esta pérdida de energía es convertida en calor.

PLANO DE TRABAJO

Es el plano en el cual el trabajo es usualmente realizado y en el cual la iluminancia es especificada y medida. Cuando no es indicado, éste se asume como un plano horizontal a 0.76 m (30 in) sobre el piso.

Es la superficie de referencia, definida como el plano donde normalmente se lleva a cabo el trabajo.

Nota: En el alumbrado interior y cuando no se indica otra cosa, se considera que éste es un plano horizontal de 0.7 a 0.85 m sobre el piso y limitado por las paredes de la sala.

REFLECTANCIA

Se define como la relación de flujo luminoso reflejado de una superficie entre el flujo total o incidente. Es expresado como un porcentaje.

REFLECTOR

Dispositivo o parte de un luminario que refleja la luz; cuando tienen diseño expreso, su función es direccionar el flujo de luz.. Su eficiencia es función de la reflectancia (flujo reflejado entre flujo incidente).

REFLECTOR ESPECULAR O "DE ESPEJO"

Reflector con reflexión especular, que puede formar parte de un luminario o sobreponerse al reflector normal.

Estrictamente hablando, no son dispositivos "ahorradores" de energía, sino que son "promotores".

RELACIÓN DE EFICIENCIA DE ENERGÍA (REE)

Es el valor que representa la eficiencia eléctrica relativa de un acondicionador de aire, expresada en $W_{\text{térmicos}} / W_{\text{eléctricos}}$ (BTU/Wh) y se obtiene dividiendo la capacidad nominal de enfriamiento del equipo en W_{tj0} (BTU/h), entre la potencia eléctrica promedio de entrada en watts.

RELAMPAREAR (neologismo)

Cambiar las lámparas actuales por nuevas, es decir, por unas diferentes (generalmente con tecnología más avanzada).

RENDIMIENTO DE COLOR

Propiedad de una fuente de luz indicando su habilidad de reproducción de colores en relación a los mismos colores en relación a los mismos colores iluminados por una fuente de referencia. Analíticamente las propiedades de rendimiento de color de una fuente son especificadas por el índice de rendimiento de color (CR1).

Nota CONAE.- Se recomienda usar las siglas de uso internacional "CR1".

RETROFIT (anglicismo), REARREGLO O ADECUACIÓN

Acciones de modificación y mantenimiento de una instalación, usualmente para mejorar su eficiencia energética.

Por ampliación, se aplica a tipos de lámpara, dispositivos o sistemas adecuados especialmente para eficientar una instalación. El término retrofit se recomienda por ser de uso universal.

SALIDA

En una instalación de utilización, caja de conexiones de la cual se toma la alimentación para una o varias cargas eléctricas determinadas, tales como las de luminarios, motores, contactos, etc.

SOBRECARGA

Condición de operación de un equipo en la que se demanda una potencia en exceso de la nominal, o de un conductor por el cual circula una corriente en exceso de su valor permisible, cuando dicha condición persiste durante suficiente tiempo para causar daños o sobrecalentamientos perjudiciales. Una sobrecarga no incluye condiciones de cortocircuito o fallas a tierra.

SUBSISTEMA AUXILIAR DE ENERGÍA

Es aquel equipo que usando combustible convencional complementa la salida de energía de un sistema solar, cuando no existe la luz solar suficiente.

SUMINISTRO

La energía eléctrica puesta por parte del suministrador, en el punto de entrega, a disposición del usuario.

SUMINISTRADOR

Cualquiera de los Organismos, Empresas y Entidades que proporcionan energía eléctrica, conforme a los servicios de las Tarifas Generales en vigor o las en el futuro las sustituyan.

Nota CONAE.- El término puede usarse como "suministradora".

TARIFA

Las disposiciones específicas, cuotas y condiciones que rigen para los suministros agrupados en cada clase de servicio.

TARIFA. SERVICIO PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Se aplica al suministro de energía eléctrica para el servicio a semáforos, alumbrado y alumbrado ornamental por temporadas, de calles, plazas, parques y jardines públicos.

TEMPERATURA DE COLOR

Expresa la apariencia de color de una fuente, la cual está correlacionada con el lugar geométrico del cuerpo negro. Temperaturas de color de 4 000 K o más, parecen blancas y frías; menores de 3 000 K tienen una apariencia de color cálida, como las lámparas incandescentes.

TENSIÓN DE SUMINISTRO

La diferencia de potencial efectiva que registran dos conductores de un servicio en el punto de entrega.

USUARIO

(Ver consumidor)

Cualquier persona, física o moral, a quien el organismo suministrador proporciona servicio eléctrico.

ANEXOS

NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría del Trabajo y Previsión Social

MARIANO PALACIOS ALCOCER, Secretario del Trabajo y Previsión Social, con fundamento en los artículos 16 y 40 fracciones I y XI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 512, 523 fracción I, 524 y 527 último párrafo de la Ley Federal del Trabajo; 3º, fracción XI, 38 fracción II, 40 fracción VII, 41, 43 a 47 y 52 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 3º, 4º 95 y 96 del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, 3º, 5º. y 22 fracciones I, XIII y XV del Reglamento Interior de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, y

CONSIDERANDO

Que con fecha 25 de mayo de 1994, fue publicada en el **Diario Oficial de la Federación** la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1993, Relativa a los niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo;

Que esta Dependencia a mi cargo, con fundamento en el artículo cuarto transitorio, primer párrafo del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el día 21 de enero de 1997, ha considerado necesario realizar diversas modificaciones a la referida Norma Oficial Mexicana, las cuales tienen como finalidad adecuarla a las disposiciones establecidas en el ordenamiento reglamentario mencionado; Que con fecha 25 de agosto de 1998, en cumplimiento de lo previsto en el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social presentó ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente Laboral, el Anteproyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana, y que el 29 de septiembre de 1998 el citado Comité lo consideró correcto y acordó que se publicara como proyecto de modificación en el **Diario Oficial de la Federación**;

Que con objeto de cumplir con los lineamientos contenidos en el Acuerdo para la desregulación de la actividad empresarial, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 24 de noviembre de 1995, las modificaciones propuestas a la Norma fueron sometidas por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial a la opinión del Consejo para la Desregulación Económica, y con base en ella se realizaron las adaptaciones procedentes, por lo que dicha dependencia dictaminó favorablemente acerca de las modificaciones contenidas en la presente Norma;

Que con fecha 31 de mayo de 1999, y en cumplimiento del Acuerdo del Comité y de lo previsto en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el Proyecto de Modificación de la presente Norma Oficial Mexicana, a efecto de que, dentro de los siguientes 60 días naturales a dicha publicación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente Laboral;

Que habiendo recibido comentarios de 3 promoventes, el Comité referido procedió a su estudio y resolvió oportunamente sobre los mismos, publicando esta Dependencia las respuestas respectivas en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1999, en cumplimiento a lo previsto por el artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización;

Que en atención a las anteriores consideraciones y toda vez que el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente Laboral, otorgó la aprobación respectiva, se expide la siguiente: Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

ÍNDICE

1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Obligaciones del patrón
6. Obligaciones de los trabajadores
7. Niveles de iluminación
8. Reconocimiento
9. Evaluación
10. Control
11. Reporte del estudio
12. Unidades de verificación y laboratorios de prueba

Apéndice A	Evaluación de los niveles de iluminación
Apéndice B	Evaluación del factor de reflexión
Apéndice C	Contenido mínimo de los reportes para unidades de verificación y laboratorios de prueba

13. Vigilancia
14. Bibliografía
15. Concordancia con normas internacionales

Transitorios

1 Objetivo

Establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, de tal forma que no sea un factor de riesgo para la salud de los trabajadores al realizar sus actividades.

2 Campo de aplicación

La presente Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo.

3 Referencias

Para la correcta interpretación de esta Norma, debe consultarse la siguiente norma oficial mexicana vigente:

NOM-008-SCFI-1993, Sistema general de unidades de medida.

4 Definiciones

Para efectos de esta Norma, se establecen las definiciones siguientes:

- a) **área de trabajo:** es el lugar del centro de trabajo, donde normalmente un trabajador desarrolla sus actividades.
- b) **autoridad del trabajo; autoridad laboral:** las unidades administrativas competentes de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, que realicen funciones de inspección en materia de seguridad e higiene en el trabajo y las correspondientes de las entidades federativas y del Distrito Federal, que actúen en auxilio de aquéllas.
- c) **brillo:** es la intensidad luminosa de una superficie en una dirección dada, por unidad de área proyectada de la misma.
- d) **deslumbramiento:** es cualquier brillo que produce molestia, interferencia con la visión o fatiga visual.
- e) **iluminación; iluminancia:** es la relación de flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área, expresada en lux.
- f) **iluminación complementaria:** es un alumbrado diseñado para aumentar el nivel de iluminación en un área determinada.
- g) **iluminación localizada:** es un alumbrado diseñado para proporcionar un aumento de iluminación en el plano de trabajo.
- h) **luminaria; luminario:** equipo de iluminación que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una lámpara o lámparas y el cual incluye todo los accesorios necesarios para fijar, proteger y operar esas lámparas y los necesarios para conectarse al circuito de utilización eléctrica.
- i) **luxómetro:** es un instrumento para la medición del nivel de iluminación.
- j) **nivel de iluminación:** cantidad de energía radiante medida en un plano de trabajo donde se desarrollan actividades, expresada en lux.
- k) **plano de trabajo:** es la superficie horizontal, vertical u oblicua, en la cual el trabajo es usualmente realizado, y cuyos niveles de iluminación deben ser especificados y medidos.
- l) **reflexión:** es la luz reflejada por la superficie de un cuerpo.
- m) **sistema de iluminación:** es el conjunto de luminarias destinadas a proporcionar un nivel de iluminación para la realización de actividades específicas.
- n) **tarea visual:** actividad que debe desarrollarse con determinado nivel de iluminación.

5 Obligaciones del patrón

5.1 Mostrar a la autoridad del trabajo, cuando así lo solicite, los documentos que la presente Norma le obligue a elaborar.

5.2 Efectuar y registrar el reconocimiento, evaluación y control de los niveles de iluminación en todo el centro de trabajo, según lo establecido en los capítulos 8, 9 y 10.

5.3 Informar a todos los trabajadores por escrito, sobre los riesgos que puede provocar el deslumbramiento o un deficiente nivel de iluminación.

5.4 Elaborar el programa de mantenimiento de las luminarias, incluyendo los sistemas de iluminación de emergencia.

5.5 Instalar sistemas de iluminación eléctrica de emergencia, en aquellas áreas del centro de trabajo donde la interrupción de la fuente de luz artificial represente un riesgo.

6 Obligaciones de los trabajadores

6.1 Informar al patrón de las condiciones no seguras, derivadas de la iluminación en su área de trabajo.

6.2 Utilizar los sistemas de iluminación, de acuerdo a las instrucciones del patrón.

6.3 Colaborar en las evaluaciones y observar las medidas de control.

7 Niveles de iluminación

Los niveles mínimos de iluminación que deben presentarse en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la tabla 1.

TABLA 1
NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN

TAREA VISUAL DEL PUESTO DE TRABAJO	ÁREA DE TRABAJO	NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN (LUX)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble e inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies, y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabado con pulidos finos.	Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino.	1
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Áreas de proceso de gran exactitud.	2

8 Reconocimiento

3.1 El propósito del reconocimiento, es determinar las áreas y puestos de trabajo que cuenten con una deficiente iluminación o que presenten deslumbramiento, para lo cual se deben considerar los reportes de los trabajadores y realizar un recorrido por todas las áreas del centro de trabajo donde haya trabajadores, así como recabar la información técnica y administrativa que permita seleccionar las áreas y puestos de trabajo por evaluar.

8.2 La información que debe recabarse y registrarse es la siguiente:

- a. plano de distribución de áreas, luminarias, maquinaria y equipo;
- b. descripción del proceso de trabajo;
- c. descripción de los puestos de trabajo;
- d. número de trabajadores por área de trabajo.

9 Evaluación

9.1 A partir de los registros del reconocimiento, se debe realizar la evaluación de los niveles de iluminación, de acuerdo a lo establecido en el apéndice A, en las áreas o puestos de trabajo.

9.2 Determinar el factor de reflexión en las áreas y puestos de trabajo, según lo establecido en el apéndice B y compararlo contra los niveles máximos permisibles del factor de reflexión de la tabla 2.

TABLA 2

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL FACTOR DE REFLEXIÓN

CONCEPTO	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES
TECHOS	90%
PAREDES	60%
PLANO DE TRABAJO	50%
SUELOS	50%

NOTA: Se considera que existe deslumbramiento en las áreas y puestos de trabajo, cuyo K_r supere los valores establecidos en esta tabla

9.3 La evaluación de los niveles de iluminación debe realizarse en una jornada laboral bajo condiciones normales de operación. Se puede hacer por áreas de trabajo, puestos de trabajo o una combinación.

9.4 La evaluación debe realizarse y registrarse al menos cada dos años, o antes si se modifican las tareas visuales, el área de trabajo o los sistemas de iluminación.

10 Control

10.1 Si en el resultado de la evaluación se detectaron áreas o puestos de trabajo que deslumbren al trabajador, se deben aplicar medidas de control para evitar que el deslumbramiento lo afecte.

10.2 Si en el resultado de la evaluación se observa que los niveles de iluminación en los puntos de medición para las tareas visuales o áreas de trabajo están por debajo de los niveles indicados en la

tabla 1, o que los factores de reflexión estén por encima de lo establecido en la tabla 2, se debe dar mantenimiento, modificar el sistema de iluminación o su distribución, y en caso necesario, instalar la iluminación complementaria o localizarla donde se requiera de una mayor iluminación, para lo cual se deben considerar los siguientes aspectos:

- a. evitar el deslumbramiento directo o por reflexión al trabajador;
- b. seleccionar un fondo visual adecuado a las actividades de los trabajadores;
- c. evitar bloquear la iluminación durante la realización de la actividad;
- d. evitar las zonas donde existan cambios bruscos de iluminación.

10.3 Se debe elaborar y cumplir un programa de implantación de las medidas de control a desarrollar.

10.4 Una vez que se han realizado las medidas de control, se tiene que realizar una nueva evaluación, para verificar que las nuevas condiciones de iluminación cumplen con lo establecido en esta Norma.

Pot (hp)	Tipo	Carcasa	Polos	rpm	Et0.25	Err	Et0.50	Err	Et0.75	Err	Et1.0	Err	\$ USD	Err
5	STD	abierto	2	3600	0.7615	±0.0101	0.8247	±0.0226	0.8374	±0.0237	0.8270	±0.0145	259.74	±65%
5	STD	abierto	4	1800	0.7435	±0.0134	0.8152	±0.0214	0.8422	±0.0256	0.8320	±0.0163	255.81	±61%
5	STD	abierto	6	1200	0.7735	±0.0077	0.8118	±0.0265	0.8285	±0.0137	0.8303	±0.0186	389.54	±37%
5	STD	abierto	8	900	0.7020	±0.0226	0.8003	±0.0111	0.8267	±0.0109	0.8218	±0.0142	704.44	±23%
5	STD	cerrado	2	3600	0.7633	±0.0263	0.8424	±0.0156	0.8608	±0.009	0.8575	±0.007	323.35	±37%
5	STD	cerrado	4	1800	0.7840	±0.013	0.8528	±0.009	0.8533	±0.0375	0.8549	±0.0083	292.05	±31%
5	STD	cerrado	6	1200	0.7674	±0.0087	0.8204	±0.0231	0.8443	±0.0182	0.8470	±0.0163	520.09	±26%
5	STD	cerrado	8	900	0.7230	±0.0069	0.8390	±0.0113	0.8365	±0.0049	0.8360	±0.0086	1,027.65	±16%
5	AE	abierto	2	3600	0.6080	±0.0125	0.6537	±0.0175	0.8797	±0.02	0.8753	±0.0184	421.20	±40%
5	AE	abierto	4	1800	0.6358	±0.0252	0.6927	±0.0127	0.8963	±0.0103	0.8898	±0.008	390.98	±31%
5	AE	abierto	6	1200	0.6265	±0.037	0.8793	±0.0192	0.8920	±0.0154	0.8891	±0.0106	500.69	±37%
5	AE	abierto	8	900	0.6170	±0.0061	0.6345	±0.0162	0.8965	±0.0134	0.8900	±0.0151	867.53	±17%
5	AE	cerrado	2	3600	0.6267	±0.0288	0.8311	±0.0141	0.8938	±0.0083	0.8894	±0.0072	476.61	±39%
5	AE	cerrado	4	1800	0.6429	±0.0151	0.8883	±0.0079	0.9055	±0.0064	0.8959	±0.0109	427.51	±4%
5	AE	cerrado	6	1200	0.6375	±0.0145	0.8918	±0.0084	0.9014	±0.0093	0.8931	±0.0113	676.06	±33%
5	AE	cerrado	8	900	0.6130	±0.0358	0.8928	±0.0066	0.8545	±0.009	0.8900	±0.01	917.31	±12%
7.5	STD	abierto	2	3600	0.8290	±0.0018	0.8553	±0.0131	0.8616	±0.0125	0.8483	±0.0122	323.58	±45%
7.5	STD	abierto	4	1800	0.8044	±0.0315	0.8525	±0.016	0.8588	±0.0113	0.8492	±0.0084	326.05	±41%
7.5	STD	abierto	6	1200	0.7675	±0.0247	0.8460	±0.0277	0.8570	±0.0149	0.8488	±0.0147	601.39	±35%
7.5	STD	abierto	8	900	0.7430	±0.0256	0.8358	±0.0088	0.8506	±0.0076	0.8498	±0.0174	906.86	±13%
7.5	STD	cerrado	2	3600	0.7933	±0.0068	0.8619	±0.0052	0.8758	±0.0061	0.8588	±0.0151	433.72	±37%
7.5	STD	cerrado	4	1800	0.7995	±0.0307	0.8679	±0.0151	0.8783	±0.01	0.8722	±0.0064	438.13	±29%
7.5	STD	cerrado	6	1200	0.7941	±0.0154	0.8449	±0.0288	0.8595	±0.0198	0.8567	±0.0173	729.14	±19%
7.5	STD	cerrado	8	900	0.7420	±0.0207	0.8332	±0.014	0.8743	±0.0335	0.8329	±0.0121	1,155.98	±16%
7.5	AE	abierto	2	3600	0.6630	±0.0191	0.9066	±0.0164	0.9057	±0.016	0.8897	±0.0125	531.52	±40%
7.5	AE	abierto	4	1800	0.6431	±0.0227	0.9019	±0.0161	0.9088	±0.0129	0.9060	±0.0119	459.55	±34%
7.5	AE	abierto	6	1200	0.6362	±0.0193	0.8935	±0.0225	0.9034	±0.0192	0.9029	±0.0106	702.41	±34%
7.5	AE	abierto	8	900	0.6360	±0.008	0.8945	±0.0071	0.9010	±0.0076	0.9040	±0.0073	1,047.37	±11%
7.5	AE	cerrado	2	3600	0.6495	±0.03	0.8993	±0.0183	0.9080	±0.0136	0.9024	±0.0115	566.00	±41%
7.5	AE	cerrado	4	1800	0.6561	±0.0158	0.9077	±0.0095	0.9150	±0.0079	0.9102	±0.0064	577.99	±32%
7.5	AE	cerrado	6	1200	0.6482	±0.0113	0.9017	±0.0062	0.9111	±0.0077	0.9078	±0.0079	924.33	±26%
7.5	AE	cerrado	8	900	0.6294	±0.0148	0.8867	±0.0176	0.8950	±0.0156	0.8957	±0.0148	1,388.40	±11%
10	STD	abierto	2	3600	0.6123	±0.0179	0.6649	±0.0245	0.8763	±0.0157	0.8684	±0.0102	336.32	±45%
10	STD	abierto	4	1800	0.6181	±0.0291	0.6553	±0.0157	0.8695	±0.0097	0.8539	±0.0105	394.32	±36%
10	STD	abierto	6	1200	0.6513	±0.0269	0.6646	±0.031	0.8808	±0.0185	0.8747	±0.0165	663.30	±31%
10	STD	abierto	8	900	0.7960	±0.0155	0.8562	±0.0181	0.8576	±0.0154	0.8570	±0.0178	1,021.28	±11%
10	STD	cerrado	2	3600	0.6308	±0.018	0.6986	±0.0151	0.8973	±0.0184	0.8860	±0.0154	533.50	±33%
10	STD	cerrado	4	1800	0.6274	±0.0308	0.6780	±0.0163	0.8843	±0.0118	0.8754	±0.0042	516.29	±27%
10	STD	cerrado	6	1200	0.6035	±0.0281	0.6715	±0.0175	0.8741	±0.0148	0.8589	±0.0145	898.81	±19%
10	STD	cerrado	8	900	0.7960	±0.0334	0.8432	±0.0175	0.8009	±0.0650	s/d	1,513.53	±14%	
10	AE	abierto	2	3600	0.8345	±0.0274	0.8930	±0.0157	0.9254	±0.0111	0.8995	±0.0116	623.75	±29%
10	AE	abierto	4	1800	0.8697	±0.0172	0.9137	±0.0104	0.9162	±0.0082	0.9083	±0.0074	533.10	±30%
10	AE	abierto	6	1200	0.8633	±0.0216	0.9130	±0.0081	0.9187	±0.0081	0.9140	±0.0035	920.04	±3%
10	AE	abierto	8	900	0.8595	±0.0093	0.9053	±0.0049	0.9113	±0.0049	0.9050	±0.0075	1,223.95	±34%
10	AE	cerrado	2	3600	0.8723	±0.0225	0.9119	±0.0147	0.9177	±0.009	0.9110	±0.0067	687.36	±13%
10	AE	cerrado	4	1800	0.8758	±0.0153	0.9142	±0.0092	0.9196	±0.0067	0.9059	±0.0089	658.21	±34%
10	AE	cerrado	6	1200	0.8534	±0.0142	0.9065	±0.0135	0.9140	±0.0104	0.9064	±0.0077	1,102.71	±23%
10	AE	cerrado	8	900	0.8333	±0.0045	0.8983	±0.0104	0.8959	±0.0096	0.9008	±0.0121	1,717.97	±9%
15	STD	abierto	2	3600	0.8605	±0.0167	0.8986	±0.0348	0.8919	±0.0281	0.8726	±0.0156	532.03	±42%
15	STD	abierto	4	1800	0.8477	±0.0375	0.8902	±0.0195	0.8943	±0.0148	0.8915	±0.0138	534.83	±33%
15	STD	abierto	6	1200	0.7973	±0.0255	0.8543	±0.0219	0.8731	±0.0195	0.8675	±0.0072	810.49	±28%
15	STD	abierto	8	900	0.8135	±0.019	0.8708	±0.0183	0.8764	±0.0125	0.8600	±0.0111	1,314.82	±7%
15	STD	cerrado	2	3600	0.8219	±0.0299	0.8728	±0.0254	0.8878	±0.0159	0.8770	±0.0142	662.58	±22%
15	STD	cerrado	4	1800	0.8028	±0.0328	0.8713	±0.0257	0.8653	±0.0186	0.8790	±0.0141	746.10	±21%
15	STD	cerrado	6	1200	0.7954	±0.0341	0.8576	±0.0285	0.8761	±0.0152	0.8763	±0.0139	1,173.98	±14%
15	STD	cerrado	8	900	0.7803	±0.023	0.8785	±0.0009	0.8815	±0.0009	0.8660	±0.002	1,851.85	±12%
15	AE	abierto	2	3600	0.8754	±0.0208	0.9136	±0.0105	0.9149	±0.0087	0.9049	±0.0083	604.68	±30%
15	AE	abierto	4	1800	0.8728	±0.0038	0.9261	±0.0097	0.9298	±0.0082	0.9263	±0.0046	783.59	±25%
15	AE	abierto	6	1200	0.8534	±0.0239	0.9134	±0.0111	0.9198	±0.0073	0.9186	±0.0078	1,079.71	±27%
15	AE	abierto	8	900	0.8665	±0.0063	0.9100	±0.0067	0.9130	±0.0068	0.9050	±0.0075	1,580.67	±7%
15	AE	cerrado	2	3600	0.8691	±0.0202	0.9119	±0.0109	0.9206	±0.0075	0.9159	±0.0056	903.84	±34%
15	AE	cerrado	4	1800	0.8964	±0.0031	0.9236	±0.0109	0.9276	±0.0087	0.9243	±0.0056	695.01	±33%
15	AE	cerrado	6	1200	0.8736	±0.007	0.9155	±0.0078	0.9220	±0.0053	0.9258	±0.0032	1,451.13	±20%
15	AE	cerrado	8	900	0.8486	±0.0075	0.9055	±0.0105	0.9102	±0.0093	0.9008	±0.0121	2,130.05	±4%
20	STD	abierto	2	3600	0.8736	±0.0215	0.9032	±0.0261	0.9037	±0.0153	0.8965	±0.0124	560.07	±33%
20	STD	abierto	4	1800	0.8339	±0.0179	0.8657	±0.0119	0.8688	±0.0081	0.8789	±0.0069	649.26	±26%
20	STD	abierto	6	1200	0.8006	±0.0188	0.8902	±0.0222	0.8945	±0.0179	0.8844	±0.015	1,004.07	±24%
20	STD	abierto	8	900	0.8345	±0.0304	0.8783	±0.0202	0.8883	±0.0167	0.8800	±0.0173	1,542.78	±7%
20	STD	cerrado	2	3600	0.8140	±0.023	0.8798	±0.0264	0.8934	±0.0175	0.8961	±0.0338	811.25	±23%
20	STD	cerrado	4	1800	0.8294	±0.0256	0.8876	±0.023	0.8970	±0.0158	0.8903	±0.0094	919.57	±20%
20	STD	cerrado	6	1200	0.8181	±0.0302	0.8849	±0.0172	0.8912	±0.0117	0.8841	±0.0113	1,386.78	±13%
20	STD	cerrado	8	900	0.8492	±0.003	0.8930	±0.0197	0.8938	±0.0133	0.8918	±0.0082	2,082.49	±14%
20	AE	abierto	2	3600	0.8754	±0.0208	0.9100	±0.0258	0.9137	±0.0192	0.9004	±0.0192	693.80	±23%
20	AE	abierto	4	1800	0.8926	±0.008	0.9295	±0.0352	0.9314	±0.0095	0.9218	±0.0095	825.67	±26%
20	AE	abierto	6	1200	0.8627	±0.0225	0.9239	±0.0113	0.9272	±0.0067	0.9202	±0.0062	1,330.42	±23%
20	AE	abierto	8	900	0.8870	±0.0007	0.9210	±0.0027	0.9230	±0.0054	0.9144	±0.0036	1,893.19	±7%
20	AE	cerrado	2	3600	0.8998	±0.016	0.9208	±0.0172	0.9277	±0.0072	0.9155	±0.0081	1,134.27	±24%
20	AE	cerrado	4	1800	0.8964	±0.018	0.9301	±0.0089	0.9341	±0.0082	0.9260	±0.0061	1,045.60	±32%
20	AE	cerrado	6	1200	0.8657	±0.0064	0.9242	±0.0068	0.9269	±0.0054	0.9178	±0.0076	1,733.34	±17%
20	AE	cerrado	8	900	0.8800	±0.0039	0.9164	±0.0032	0.9201	±0.0051	0.9089	±0.0062	2,652.33	±8%

Fot (ha)	Tipo	Carcasa	Polos	rpm	EfC 25	Err	EfO 50	Err	EfO 75	Err	EfC	Err	\$ USO	Err
25	STD	abierto	2	3600	0.8510	±0.0074	0.8950	±0.02	0.9C17	±0.0114	0.8866	±0.009	720.77	±21%
25	STD	abierto	4	1800	0.8714	±0.021	0.9056	±0.0166	0.9C85	±0.0122	0.8932	±0.032	756.75	±26%
25	STD	abierto	6	1200	0.8544	±0.0289	0.8932	±0.046	0.8590	±0.014	0.8913	±0.012	1,205.28	±27%
25	STD	abierto	8	900	0.8430	±0.0197	0.8818	±0.0135	0.8513	±0.0083	0.8525	±0.005	1,800.50	±5%
25	STD	cerrado	2	3600	0.8406	±0.013	0.8907	±0.0137	0.9C21	±0.0093	0.8863	±0.0097	956.50	±19%
25	STD	cerrado	4	1800	0.8691	±0.0086	0.9121	±0.0059	0.9171	±0.0047	0.9355	±0.0078	1,073.55	±16%
25	STD	cerrado	6	1200	0.8411	±0.0249	0.8901	±0.0142	0.8594	±0.011	0.8915	±0.0093	1,630.81	±15%
25	STD	cerrado	8	900	0.7890	±0.0005	0.8702	±0.0086	0.8550	±0.0069	0.8517	±0.0057	2,516.60	±16%
25	AE	abierto	2	3600	0.8804	±0.0262	0.9271	±0.0272	0.9305	±0.0162	0.9264	±0.0097	966.96	±26%
25	AE	abierto	4	1800	0.8919	±0.0203	0.9357	±0.0109	0.9387	±0.0096	0.9331	±0.009	1,011.42	±22%
25	AE	abierto	6	1200	0.8910	±0.0212	0.9350	±0.0089	0.9372	±0.0067	0.9291	±0.0057	1,648.08	±21%
25	AE	abierto	8	900	0.8905	±0.0049	0.9237	±0.0034	0.9260	±0.0045	0.9147	±0.0034	2,182.27	±5%
25	AE	cerrado	2	3600	0.8835	±0.0263	0.9220	±0.0113	0.9292	±0.0077	0.9234	±0.0068	1,334.00	±26%
25	AE	cerrado	4	1800	0.9109	±0.0089	0.9372	±0.0062	0.9401	±0.0051	0.9352	±0.0042	1,254.78	±29%
25	AE	cerrado	6	1200	0.8360	±0.0128	0.9348	±0.0059	0.9366	±0.0043	0.9274	±0.006	2,183.35	±16%
25	AE	cerrado	8	900	0.8833	±0.0304	0.9195	±0.0304	0.9216	±0.0065	0.9064	±0.0068	2,946.94	±6%
30	STD	abierto	2	3600	0.8661	±0.0245	0.8998	±0.0228	0.9043	±0.015	0.8915	±0.0091	847.99	±19%
30	STD	abierto	4	1800	0.8821	±0.0161	0.9188	±0.0078	0.9157	±0.006	0.8968	±0.0062	897.26	±23%
30	STD	abierto	6	1200	0.9073	±0.0275	0.9068	±0.016	0.9093	±0.0119	0.9019	±0.0102	1,370.92	±24%
30	STD	abierto	8	900	0.8355	±0.0346	0.8865	±0.0128	0.8960	±0.0108	0.8868	±0.0112	2,030.60	±6%
30	STD	cerrado	2	3600	0.8543	±0.0102	0.8956	±0.0194	0.9049	±0.0142	0.8930	±0.0081	1,071.69	±17%
30	STD	cerrado	4	1800	0.8871	±0.0272	0.9188	±0.0061	0.9210	±0.006	0.9090	±0.0056	1,221.27	±16%
30	STD	cerrado	6	1200	0.8387	±0.0299	0.9009	±0.0150	0.9078	±0.0079	0.8994	±0.0047	1,902.79	±15%
30	STD	cerrado	8	900	0.8300	±0.0329	0.8894	±0.014	0.8952	±0.0105	0.8830	±0.0109	2,907.32	±16%
30	AE	abierto	2	3600	0.8726	±0.0275	0.9218	±0.0168	0.9275	±0.0119	0.9290	±0.0094	1,126.62	±25%
30	AE	abierto	4	1800	0.9001	±0.0183	0.9380	±0.0101	0.9411	±0.0076	0.9334	±0.0079	1,166.14	±23%
30	AE	abierto	6	1200	0.9003	±0.0324	0.9377	±0.0119	0.9383	±0.0069	0.9338	±0.0033	1,748.50	±19%
30	AE	abierto	8	900	0.8960	±0.001	0.9260	±0.0008	0.9298	±0.0038	0.9251	±0.0067	2,518.83	±4%
30	AE	cerrado	2	3600	0.8827	±0.0008	0.9237	±0.014	0.9290	±0.009	0.9244	±0.0057	1,565.49	±16%
30	AE	cerrado	4	1800	0.9138	±0.0076	0.9475	±0.0047	0.9424	±0.0029	0.9358	±0.0046	1,496.02	±27%
30	AE	cerrado	6	1200	0.9292	±0.0141	0.9362	±0.0063	0.9370	±0.0049	0.9296	±0.0068	2,505.95	±15%
30	AE	cerrado	8	900	0.8830	±0.0032	0.9246	±0.0068	0.9296	±0.0067	0.9234	±0.0102	3,604.64	±8%
40	STD	abierto	2	3600	0.8663	±0.0245	0.9090	±0.0216	0.9111	±0.0146	0.8970	±0.0062	1,093.72	±16%
40	STD	abierto	4	1800	0.8939	±0.0261	0.9028	±0.015	0.9109	±0.0111	0.9046	±0.0076	1,137.34	±22%
40	STD	abierto	6	1200	0.8718	±0.0234	0.9063	±0.0133	0.9122	±0.0138	0.9058	±0.013	1,973.21	±21%
40	STD	abierto	8	900	0.8500	±0.0268	0.8975	±0.0176	0.9035	±0.0148	0.8935	±0.012	2,410.85	±9%
40	STD	cerrado	2	3600	0.8450	±0	0.8833	±0.01	0.8945	±0.0104	0.8919	±0.0069	1,623.70	±16%
40	STD	cerrado	4	1800	0.8770	±0.0074	0.9011	±0.0186	0.9119	±0.0137	0.9131	±0.0071	1,641.83	±14%
40	STD	cerrado	6	1200	0.8523	±0.0253	0.8933	±0.0174	0.9021	±0.0115	0.8995	±0.011	2,771.64	±13%
40	STD	cerrado	8	900	0.8550	±0.0222	0.8900	±0.0112	0.9080	±0.0123	0.8986	±0.0076	3,556.28	±14%
40	AE	abierto	2	3600	0.8879	±0.0222	0.9346	±0.0102	0.9363	±0.0092	0.9331	±0.0084	1,473.55	±24%
40	AE	abierto	4	1800	0.9110	±0.0149	0.9404	±0.0119	0.9500	±0.0105	0.9407	±0.0084	1,481.48	±23%
40	AE	abierto	6	1200	0.9083	±0.01	0.9376	±0.0095	0.9434	±0.0041	0.9401	±0.0029	2,368.84	±23%
40	AE	abierto	8	900	0.8990	±0.0012	0.9270	±0.0065	0.9294	±0.0073	0.9271	±0.0087	2,957.70	±9%
40	AE	cerrado	2	3600	0.8954	±0.0215	0.9249	±0.0104	0.9338	±0.0071	0.9321	±0.0071	2,023.95	±19%
40	AE	cerrado	4	1800	0.9147	±0.0089	0.9428	±0.004	0.9462	±0.0026	0.9411	±0.0032	1,911.28	±26%
40	AE	cerrado	6	1200	0.9050	±0.0135	0.9380	±0.0075	0.9430	±0.0062	0.9384	±0.0049	3,381.76	±14%
40	AE	cerrado	8	900	0.8905	±0.0049	0.9273	±0.0043	0.9318	±0.0064	0.9298	±0.0091	4,347.79	±7%
50	STD	abierto	2	3600	0.8704	±0.0161	0.8997	±0.0186	0.9122	±0.014	0.9055	±0.0094	1,441.00	±14%
50	STD	abierto	4	1800	0.8982	±0.0307	0.9116	±0.0115	0.9167	±0.0071	0.9091	±0.0075	1,278.77	±24%
50	STD	abierto	6	1200	0.8833	±0.0216	0.9200	±0.0082	0.9129	±0.0314	0.9133	±0.0117	2,367.43	±15%
50	STD	abierto	8	900	0.8790	±0.0099	0.9113	±0.0005	0.9113	±0.0011	0.8989	±0.0075	3,065.49	±6%
50	STD	cerrado	2	3600	0.8571	±0.0275	0.8882	±0.0251	0.9047	±0.0175	0.9018	±0.0122	2,048.00	±15%
50	STD	cerrado	4	1800	0.8853	±0.0153	0.9198	±0.0086	0.9259	±0.0069	0.9208	±0.0036	2,073.40	±11%
50	STD	cerrado	6	1200	0.8980	±0.0274	0.9121	±0.0105	0.9178	±0.0082	0.9130	±0.0084	3,240.71	±11%
50	STD	cerrado	8	900	0.8716	±0.0268	0.9069	±0.0149	0.9121	±0.0114	0.9036	±0.008	4,414.52	±14%
50	AE	abierto	2	3600	0.8982	±0.0155	0.9291	±0.007	0.9346	±0.0056	0.9306	±0.0058	1,695.74	±23%
50	AE	abierto	4	1800	0.9133	±0.0198	0.9487	±0.0086	0.9484	±0.0064	0.9409	±0.0071	1,871.03	±19%
50	AE	abierto	6	1200	0.9123	±0.0127	0.9399	±0.0097	0.9445	±0.0051	0.9408	±0.0024	2,704.00	±21%
50	AE	abierto	8	900	0.9000	±0.0076	0.9363	±0.006	0.9373	±0.0068	0.9274	±0.0069	3,648.04	±10%
50	AE	cerrado	2	3600	0.9049	±0.0162	0.9349	±0.0069	0.9397	±0.0051	0.9360	±0.0047	2,613.50	±17%
50	AE	cerrado	4	1800	0.9275	±0.0056	0.9494	±0.0035	0.9489	±0.0027	0.9430	±0.0048	2,276.15	±31%
50	AE	cerrado	6	1200	0.9113	±0.0106	0.9342	±0.0234	0.9428	±0.0045	0.9377	±0.0046	3,823.19	±20%
50	AE	cerrado	8	900	0.9210	±0.0007	0.9387	±0.0065	0.9410	±0.0038	0.9299	±0.0058	5,430.02	±5%
50	STD	abierto	2	3600	0.8956	±0.0223	0.9157	±0.0126	0.9185	±0.0087	0.9084	±0.0074	1,561.08	±13%
50	STD	abierto	4	1800	0.8507	±0.0271	0.9079	±0.0114	0.9156	±0.0076	0.9141	±0.0084	1,790.62	±19%
50	STD	abierto	6	1200	0.8920	±0.0295	0.9166	±0.0097	0.9184	±0.0083	0.9108	±0.0089	2,627.38	±18%
50	STD	abierto	8	900	0.9043	±0.0134	0.9275	±0.0095	0.9277	±0.008	0.9179	±0.0078	3,699.31	±9%
50	STD	cerrado	2	3600	0.8597	±0.004	0.8836	±0.007	0.8899	±0.0185	0.9035	±0.0098	2,922.55	±11%
50	STD	cerrado	4	1800	0.8924	±0.0076	0.9175	±0.0073	0.9252	±0.0073	0.9237	±0.0064	2,728.27	±11%
50	STD	cerrado	6	1200	0.8618	±0.0303	0.9101	±0.0111	0.9174	±0.009	0.9135	±0.008	4,086.46	±13%
50	STD	cerrado	8	900	0.8395	±0.0176	0.9148	±0.0059	0.9190	±0.0034	0.9100	±0	4,971.65	±14%
50	AE	abierto	2	3600	0.9113	±0.0195	0.9346	±0.0068	0.9394	±0.0062	0.9376	±0.0045	1,590.71	±22%
50	AE	abierto	4	1800	0.9125	±0.0214	0.9469	±0.012	0.9498	±0.0089	0.9485	±0.0049	2,012.35	±24%
50	AE	abierto	6	1200	0.9110	±0.0209	0.9469	±0.0124	0.9495	±0.0087	0.9466	±0.005	3,365.62	±15%
50	AE	abierto	8	900	0.9140	±0.0035	0.9426	±0.0038	0.9440	±0.0027	0.9362	±0.0004	4,338.62	±9%
50	AE	cerrado	2	3600	0.8977	±0.0218	0.9311	±0.0151	0.9412	±0.0075	0.9395	±0.0064	3,424.97	±15%
50	AE	cerrado	4	1800	0.9224	±0.0096	0.9470	±0.0049	0.9511	±0.004	0.9463	±0.0046	3,235.43	±16%
50	AE	cerrado	6	1200	0.9344	±0.0212	0.9410	±0.0085	0.9467	±0.0059	0.9434	±0.0043	4,521.67	±6%
50	AE	cerrado	8	900	0.9305	±0.0016	0.9363	±0.003	0.9375	±0.0074	0.9264	±0.0071	5,947.62	±6%

Prod (Kg)	Typo	Carcaza	Polos	rpm	EtC 75	En	EtC 50	En	EtC 75	En	EtC 50	En	EtC 75	En	\$ USD	En
75	STD	abierto	2	3600	0.8575	±0.0185	0.9066	±0.0145	0.9163	±0.0102	0.9105	±0.0083	2.289.58	±12%		
75	STD	abierto	4	1800	0.8788	±0.0233	0.9224	±0.0174	0.9256	±0.0086	0.9192	±0.0080	2.154.75	±15%		
75	STD	abierto	6	1200	0.8990	±0.0259	0.9234	±0.0063	0.9224	±0.0057	0.9132	±0.0068	3.030.24	±18%		
75	STD	abierto	8	900	0.8590	±0.0254	0.9135	±0.0117	0.9188	±0.0085	0.9112	±0.0062	4.240.21	±17%		
75	STD	cerrado	2	3600	0.8598	±0.0025	0.8967	±0.0194	0.9047	±0.0129	0.9113	±0.0094	3.572.94	±6%		
75	STD	cerrado	4	1800	0.8965	±0.006	0.9173	±0.0155	0.9293	±0.0061	0.9272	±0.0071	3.563.95	±11%		
75	STD	cerrado	6	1200	0.8905	±0.0132	0.9121	±0.0143	0.9189	±0.0112	0.9184	±0.0097	4.510.27	±11%		
75	STD	cerrado	8	900	0.8340	±0.0072	0.9060	±0.0086	0.9127	±0.0023	0.9047	±0.0046	6.612.23	±16%		
75	AE	abierto	2	3600	0.9042	±0.0177	0.9369	±0.0066	0.9430	±0.0049	0.9438	±0.0057	2.641.17	±20%		
75	AE	abierto	4	1800	0.9248	±0.0157	0.9512	±0.005	0.9542	±0.0048	0.9509	±0.0038	2.402.93	±19%		
75	AE	abierto	6	1200	0.9150	±0.0247	0.9497	±0.011	0.9489	±0.015	0.9483	±0.0069	3.816.87	±13%		
75	AE	abierto	8	900	0.9070	s/d	0.9472	±0.0043	0.9454	±0.0032	0.9435	±0.002	5.073.49	±14%		
75	AE	cerrado	2	3600	0.9361	±0.0194	0.9400	±0.009	0.9454	±0.0061	0.9427	±0.0058	4.382.14	±14%		
75	AE	cerrado	4	1800	0.9283	±0.0091	0.9482	±0.0093	0.9523	±0.0055	0.9500	±0.0031	4.101.98	±22%		
75	AE	cerrado	6	1200	0.9098	±0.0229	0.9430	±0.0062	0.9487	±0.0055	0.9463	±0.0037	5.510.17	±24%		
75	AE	cerrado	8	900	0.8991	±0.0043	0.9388	±0.0063	0.9433	±0.0037	0.9391	±0.004	7.958.52	±6%		
100	STD	abierto	2	3600	0.8903	±0.0175	0.9212	±0.0081	0.9248	±0.0066	0.9159	±0.0052	2.770.17	±18%		
100	STD	abierto	4	1800	0.8958	±0.0343	0.9221	±0.0162	0.9268	±0.0103	0.9184	±0.0074	2.489.84	±21%		
100	STD	abierto	6	1200	0.8735	±0.0205	0.9216	±0.0114	0.9276	±0.0094	0.9233	±0.0104	3.721.41	±22%		
100	STD	abierto	8	900	0.8625	±0.0176	0.9157	±0.0104	0.9200	±0.0089	0.9183	±0.012	5.534.26	±6%		
100	STD	cerrado	2	3600	0.8643	±0.0249	0.8987	±0.0254	0.9113	±0.0183	0.9147	±0.0124	4.703.18	±11%		
100	STD	cerrado	4	1800	0.8910	±0.0202	0.9267	±0.0115	0.9340	±0.0098	0.9337	±0.0068	4.890.60	±9%		
100	STD	cerrado	6	1200	0.8980	±0.0291	0.9211	±0.0141	0.9297	±0.0108	0.9260	±0.0125	5.859.82	±19%		
100	STD	cerrado	8	900	0.8790	s/d	0.9215	±0.0021	0.9265	±0.0007	0.9155	±0.0021	8.448.70	±18%		
130	AE	abierto	2	3600	0.9090	±0.0305	0.9354	±0.0141	0.9403	±0.0088	0.9366	±0.0095	3.212.21	±7%		
130	AE	abierto	4	1800	0.9293	±0.0186	0.9516	±0.0069	0.9545	±0.0069	0.9508	±0.0047	3.060.77	±13%		
130	AE	abierto	6	1200	0.9050	±0.017	0.9427	±0.0095	0.9480	±0.0075	0.9452	±0.0049	4.894.63	±13%		
130	AE	abierto	8	900	0.9170	±0.0069	0.9466	±0.0025	0.9490	±0.0028	0.9437	±0.0023	6.430.45	±15%		
130	AE	cerrado	2	3600	0.8927	±0.0162	0.9347	±0.0106	0.9437	±0.008	0.9442	±0.0063	5.899.27	±13%		
130	AE	cerrado	4	1800	0.9273	±0.012	0.9502	±0.0077	0.9551	±0.0035	0.9518	±0.0041	5.172.45	±27%		
130	AE	cerrado	6	1200	0.9190	±0.0067	0.9446	±0.0063	0.9505	±0.0051	0.9475	±0.0042	7.186.40	±16%		
130	AE	cerrado	8	900	0.9110	±0.001	0.9420	±0.005	0.9452	±0.0037	0.9373	±0.0051	9.552.08	±12%		
125	STD	abierto	2	3600	0.8640	±0.0345	0.9195	±0.0168	0.9255	±0.0107	0.9199	±0.0083	3.558.28	±15%		
125	STD	abierto	4	1800	0.9020	±0.0028	0.9373	±0.0078	0.9373	±0.0068	0.9318	±0.0069	3.290.95	±22%		
125	STD	abierto	6	1200	0.8955	±0.0205	0.9272	±0.0099	0.9275	±0.0097	0.9224	±0.0101	4.535.98	±22%		
125	STD	abierto	8	900	0.9182	±0.0138	0.9417	±0.0096	0.9422	±0.0092	0.9356	±0.0104	10.267.76	±9%		
125	STD	cerrado	2	3600	0.8905	±0.0203	0.9069	±0.0226	0.9234	±0.0176	0.9278	±0.0137	6.759.57	±7%		
125	STD	cerrado	4	1800	0.8830	±0.0296	0.9222	±0.0107	0.9314	±0.0083	0.9318	±0.0069	5.632.68	±11%		
125	STD	cerrado	6	1200	0.8900	±0.0117	0.9300	±0.0067	0.9363	±0.0058	0.9323	±0.0044	6.445.89	±18%		
125	STD	cerrado	8	900	s/d	s/d	0.9215	±0.0012	0.9320	±0.0002	0.9240	s/d	12.537.20	s/d		
125	AE	abierto	2	3600	0.8957	±0.033	0.9150	±0.014	0.9189	±0.0064	0.9475	±0.0078	4.574.54	±18%		
125	AE	abierto	4	1800	0.9308	±0.0175	0.9515	±0.0069	0.9550	±0.0069	0.9523	±0.0032	3.553.83	±16%		
125	AE	abierto	6	1200	0.9145	±0.0139	0.9480	±0.0075	0.9503	±0.0071	0.9465	±0.0051	5.455.02	±11%		
125	AE	abierto	8	900	0.9223	±0.0019	0.9490	±0.0028	0.9440	±0.0054	0.9463	±0.0025	7.262.45	±29%		
125	AE	cerrado	2	3600	0.9060	±0.0121	0.9430	±0.0084	0.9496	±0.0065	0.9494	±0.0061	7.464.76	±15%		
125	AE	cerrado	4	1800	0.9271	±0.0091	0.9494	±0.0076	0.9559	±0.0049	0.9545	±0.0041	7.119.23	±13%		
125	AE	cerrado	6	1200	0.9238	±0.0114	0.9484	±0.0076	0.9538	±0.0043	0.9497	±0.0052	8.424.06	±39%		
125	AE	cerrado	8	900	0.9240	±0.0054	0.9478	±0.0031	0.9492	±0.0033	0.9414	±0.0049	11.217.16	s/d		
150	STD	abierto	2	3600	0.8943	±0.0337	0.9215	±0.0155	0.9263	±0.0093	0.9213	±0.0064	4.673.50	±15%		
150	STD	abierto	4	1800	0.9110	±0.0134	0.9254	±0.0074	0.9343	±0.0103	0.9323	±0.0074	3.804.85	±18%		
150	STD	abierto	6	1200	0.9000	±0.0069	0.9295	±0.0041	0.9325	±0.0067	0.9300	±0.0065	5.117.84	±23%		
150	STD	abierto	8	900	0.9270	s/d	0.9450	s/d	0.9420	s/d	0.9620	s/d	10.900.50	s/d		
150	STD	cerrado	2	3600	0.8770	±0.0062	0.9103	±0.0176	0.9256	±0.0138	0.9260	±0.0108	8.080.84	±10%		
150	STD	cerrado	4	1800	0.8995	±0.0275	0.9295	±0.0081	0.9375	±0.0078	0.9376	±0.0053	6.741.48	±13%		
150	STD	cerrado	6	1200	0.9380	±0.012	0.9398	±0.0025	0.9420	±0.0044	0.9343	±0.0068	8.394.62	±23%		
150	STD	cerrado	8	900	0.9020	s/d	0.9450	s/d	0.9420	s/d	0.9240	s/d	15.296.90	±24%		
150	AE	abierto	2	3600	0.9193	±0.0154	0.9442	±0.0083	0.9474	±0.0064	0.9450	±0.009	4.843.67	±14%		
150	AE	abierto	4	1800	0.9238	±0.0228	0.9532	±0.0052	0.9578	±0.0065	0.9572	±0.007	5.335.59	±10%		
150	AE	abierto	6	1200	0.9200	±0.0132	0.9504	±0.0068	0.9534	±0.0063	0.9507	±0.0065	6.087.16	±15%		
150	AE	abierto	8	900	0.9185	±0.0233	0.9483	±0.0098	0.9507	±0.0065	0.9480	±0.006	8.396.31	±10%		
150	AE	cerrado	2	3600	0.9173	±0.0084	0.9470	±0.0061	0.9523	±0.0061	0.9500	±0.0078	8.706.23	±14%		
150	AE	cerrado	4	1800	0.9302	±0.0116	0.9500	±0.0107	0.9552	±0.0075	0.9569	±0.0036	8.222.63	±12%		
150	AE	cerrado	6	1200	0.9310	±0.0117	0.9525	±0.0071	0.9565	±0.0056	0.9551	±0.0047	10.096.97	±21%		
150	AE	cerrado	8	900	0.9193	±0.0115	0.9488	±0.0051	0.9502	±0.0028	0.9452	±0.0028	13.602.34	±9%		
200	STD	abierto	2	3600	0.8843	±0.0337	0.9244	±0.0105	0.9338	±0.0072	0.9325	±0.0064	6.545.93	±20%		
200	STD	abierto	4	1800	0.9106	±0.0192	0.9389	±0.0086	0.9421	±0.0067	0.9351	±0.0069	5.107.57	±15%		
200	STD	abierto	6	1200	0.9190	±0.0069	0.9280	±0.0155	0.9413	±0.0067	0.9318	±0.009	7.430.48	±21%		
200	STD	abierto	8	900	s/d	s/d	0.9363	±0.0034	0.9383	±0.0043	0.9253	±0.0061	8.193.25	±18%		
200	STD	cerrado	2	3600	0.9113	±0.0028	0.9157	±0.0185	0.9287	±0.0138	0.9308	±0.0098	10.239.75	±13%		
200	STD	cerrado	4	1800	0.8980	±0.0092	0.9406	±0.0085	0.9473	±0.0065	0.9427	±0.0038	8.708.70	±21%		
200	STD	cerrado	6	1200	0.9251	±0.0053	0.9429	±0.0065	0.9451	±0.0034	0.9357	±0.0089	12.997.16	±28%		
200	STD	cerrado	8	900	s/d	s/d	0.9473	±0.0068	0.9490	±0.0086	0.9420	±0.0158	13.734.72	±21%		
200	AE	abierto	2	3600	0.9360	±0.012	0.9480	±0.0073	0.9533	±0.0033	0.9498	±0.0036	9.135.09	±17%		
230	AE	abierto	4	1800	0.9313	±0.022	0.9591	±0.007	0.9630	±0.0056	0.9588	±0.0035	5.895.53	±10%		
200	AE	abierto	6	1200	0.9330	±0.0094	0.9548	±0.0054	0.9604	±0.008	0.9510	±0.0054	7.700.55	±20%		
200	AE	abierto	8	900	s/d	s/d	0.9578	±0.0023	0.9573	±0.0018	0.9503	±0.0045	9.718.71	±18%		
200	AE	cerrado	2	3600	0.9178	±0.0193	0.9438	±0.0081	0.9516	±0.0065	0.9527	±0.0049	10.994.83	±23%		
230	AE	cerrado	4	1800	0.9407	±0.0089	0.9553	±0.0133	0.9591	±0.0103	0.9585	±0.004	10.410.64	±13%		
200	AE	cerrado	6	1200	0.9390	±0.0181	0.9548	±0.0065	0.9579	±0.0054	0.9545	±0.0041	13.542.37	±23%		
200	AE	cerrado	8	900	0.9290	±0.0052	0.9514	±0.0025	0.9541	±0.0022	0.9483	±0.0041	14.367.86	±43%		