

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TEMA

**“Técnicas y estrategias para el ahorro de energía eléctrica en la pequeña y mediana empresa”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL GRADO DE  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

PRESENTAN

**MIGUEL ÁNGEL PLATERO VILLATORO  
JOSÉ ROBERTO TURCIOS VIDAL  
CARLOS STANLEY LUNA RODRÍGUEZ**

**ENERO 2007**

**SAN SALVADOR - EL SALVADOR – CENTRO AMÉRICA**

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA

## **AUTORIDADES**

**ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA**  
RECTOR

**PBRO. VICTOR BERMUDEZ YÁNEZ**  
VICERRECTOR ACADÉMICO.

**LIC. MARIO OLMOS ARGUETA**  
SECRETARIO GENERAL

**ING. ERNESTO GODOFREDO GIRÓN**  
DECANO FACULTAD DE INGENIERIA.

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

---

**ING. ERICK BLANCO**

TUTOR

**ING. WILFREDO GUZMÁN**

ASESOR

---

**ING. CARLOS NÁJERA**

JURADO 1

---

**ING. MANUEL FERNÁNDEZ**

JURADO 2

---

**ING. CARLOS LÓPEZ**

JURADO 3

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer infinitamente a Dios por darme la oportunidad de aprender y guiar mi camino. Gracias Dios por darme un ángel como mi abuelita Marina a quien le agradezco profundamente por su inmenso amor hacia mi persona y su ayuda.

A mi padre José Roberto por ser mi inspiración y por confiar siempre en mí.....te amo papá. Gracias a mi mamá Juanita sin tu ayuda no fuera ni la sombra de lo que soy en este momento. A mis hermanos Alejandra, Máx y pablo, por ser la energía de mi alma para superarme.

A Fátima Cabrera, gracias por confiar ciegamente en esta etapa en mi, gracias por tu apoyo, animo, cariño y amor. Gracias por alegrar mi vida y ser de ella algo diferente.

Gracias a nuestro asesor Ing. Wilfredo Guzmán y a su familia, por sus lineamentos, por su humildad al transmitir sus conocimientos por su tiempo y su comprensión mil gracias.

Gracias a mis compañeros y amigos de tesis a Stanley y Platero, gracias por enseñarme gran parte de sus conocimientos, por los momentos vividos en esta aventura y por supuesto gracias por soportarme. He aprovechado, cada oportunidad de aprender de ustedes gracias por haberme dado esa oportunidad.

Por ultimo pero no menos importante a quienes siempre confiaron en mi y a quienes les estaré siempre en deuda tia Cristi, Maritza Pineda, Cristian Flores, Roberto Carlos R., Carlos Flores, Jonathan Flores.

Gracias Dios.....quiero ser lo que tu quieras que sea.....sólo dame la fuerza para poder serlo.

**JOSÉ ROBERTO TURCIOS VIDAL**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por su infinita provisión y constantes misericordias para conmigo, y para con mi familia. Mi alma está ligada a sus propósitos, y en sus sendas está trazado mi camino. Espero que hagamos las pases pronto.

Agradezco a mi familia. Ellos son lo único, fuera de Dios, con lo que cuento, y en donde encuentro paz y descanso; en ellos me refugio y renuevo mis fuerzas. Me debo a ellos, y me alegra saberlo. A ustedes, mi amor eterno.

Agradezco a mis compañeros de tesis, por su paciencia y disposición incondicional para trabajar en pro de algo que considerábamos significativo para nosotros, pero también para los demás. Por su comprensión para conmigo, muchas gracias.

Agradezco al programa de BECAS FANTEL, por haber creído en mí. Tengo una deuda con ustedes, que por cierto no he olvidado. A todos ustedes, a los que hacen posible ese programa, mis agradecimientos y mis mayores respetos por la labor que desempeñan; sigan adelante.

**STANLEY LUNA**

# ***INTRODUCCIÓN***

Al elaborar este manual no sólo pretendíamos que las PYMES encontraran una herramienta que les permitiera conocer y evaluar las oportunidades de ahorro de energía eléctrica, con una base técnica bien fundamentada y análisis económico sencillo y fácilmente comprensible; sino que también, esperábamos crear para los estudiantes de las diferentes ramas de la ingeniería, y en general todo aquel que deseara conocer más, una herramienta que proporcionara los fundamentos más esenciales sobre una diversidad de temas que pueden perfectamente ser aplicados al ahorro de energía eléctrica.

Es así como el lector, en el caso que fuera un empresario, encontrará interesante hojear el manual en búsqueda de aquellos temas de los que pueda sacar provecho en su empresa, además podrá analizarlos técnica y económicamente con el programa que adjuntamos. Por otro lado, en el caso en que el lector sea un estudiante, encontrará en el manual una fuente de consulta en donde se trata cada tema con un lenguaje sencillo y un orden lógico, y en donde también encontrará que hemos incluido no sólo información teórica de los mejores libros que encontramos, sino información confiable de muchos profesionales que nos ayudaron a desarrollar este manual. También será de ayuda para el estudiante, el programa que se adjunta, pues encontrará en él una herramienta muy útil para el dimensionamiento.

Finalmente, este manual está elaborado para que pueda ser leído según sea la necesidad o el interés del lector, es decir, que cada capítulo ha sido elaborado para que pueda ser leído de forma independiente de los demás. De este mismo modo, el programa de ahorro de energía eléctrica, incluye cada uno de los temas tratados en el manual, y puede ser utilizado de la misma forma.

# ***PRESENTACIÓN***

El manual de ahorro de energía eléctrica para las PYMES contiene las partes siguientes:

- MANUAL DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA PYME
- PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En el manual de ahorro de energía eléctrica se presentan los siguientes temas:

## **1. VARIABLES ELECTRICAS**

En este capítulo se desarrollan los conceptos más fundamentales sobre las variables eléctricas, y se exponen las técnicas para la medición de éstas. De la misma forma se exponen los criterios básicos para el diseño de instalaciones eléctricas, como el dimensionamiento de conductores y la elaboración de cuadros de carga.

## **2. PLIEGO TARIFARIO**

En este capítulo se tratan los puntos más fundamentales del pliego tarifario salvadoreño; además se exponen las características y funcionamiento de los equipos para la medición de la energía. Por otro lado, se discuten los principios de la compensación del factor de potencia.

## **3. ILUMINACIÓN**

En este capítulo se exponen las generalidades sobre la iluminación y su importancia para la visión humana; además se estudian las diferentes fuentes de luz artificial, en donde se discuten sus características particulares. Al final del capítulo se desarrollan los fundamentos de la iluminación natural de interiores.

## **4. MOTORES ELÉCTRICOS**

En este capítulo se exponen los diferentes tipos de motores eléctricos y sus características, se introduce al lector en la identificación de los parámetros más importantes en un motor eléctrico para su selección. Al final del capítulo se exponen técnicas para el ahorro de energía eléctrica con motores, haciendo énfasis en los rodamientos.

## **5. REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO**

En este capítulo se componen de dos partes; en la primera parte se exponen las características y funcionamiento de los equipos de refrigeración, en la segunda parte se tratan los principios de funcionamiento y características de las unidades de aire acondicionado. En ambos casos, se exponen técnicas y estrategias para el ahorro eficiente de estos equipos.

## **6. ESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN**

En este capítulo se exponen las principales características de los transformadores de tipo distribución, además se explican las características de las diferentes conexiones de los transformadores monofásicos en bancos trifásicos. Al final del capítulo se explican los beneficios de la instalación de una estación de transformación, con base en la diferencia tarifaria del costo de la energía.

Al final de cada uno de los capítulos, se adjunta una hoja de cotejo que puede ser llenada por el lector, para efectos de dimensionamiento, inspección técnica, o evaluación económica. En estas hojas de cotejo se recopila información relevante, la cual puede ser ingresada en el programa de ahorro de energía eléctrica para obtener un análisis rápido de la información recopilada.

Adicionalmente, y sólo para aquellos temas en que se ha considerado que existe un mayor grado de dificultad, se ha incluido un problema modelo que ha sido desarrollado a manera de ejemplo de utilización del programa de ahorro de energía eléctrica.

En el programa de ahorro de energía eléctrica se compone de las siguientes partes:

DIMENSIONAMIENTO

INSPECCIÓN TÉCNICA

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Las particularidades de cada una de las partes del programa de ahorro de energía eléctrica son las siguientes:

### **DIMENSIONAMIENTO**

Las hojas de cotejo de dimensionamiento son hojas electrónicas diseñadas para asistir al usuario en el dimensionamiento un elemento o equipo en particular. En ellas, el usuario podrá introducir en las casillas de color amarillo, los datos recopilados en las hojas de cotejo adjuntadas en el manual, pudiendo obtenerse desde un dimensionamiento, hasta una comparación técnico-económica entre una condición actual y una futura. Generalmente la condición futura se muestra resaltada en color celeste, mientras que la condición actual se muestra en color morado.

### **INSPECCIÓN TÉCNICA**

Las hojas de cotejo de inspección técnica son hojas electrónicas diseñadas para asistir al usuario en la evaluación de un equipo en particular. En ellas, el lector podrá evaluar desde las condiciones de funcionamiento, hasta las condiciones de operación de un equipo, logrando obtener un diagnóstico y una recomendación sobre el estado actual de éste. La lógica de todas las hojas de cotejo de inspección técnica es la misma, se deben marcar aquellas casillas en que la afirmación descrita corresponda con la condición actual del equipo; en caso contrario, la casilla no se debe marcar. El diagnóstico de dichas hojas se obtiene al presionar el botón "RESULTADO", mostrándose en blanco un estado favorable del equipo, y en anaranjado, una recomendación para mejorar una condición desfavorable.

### **EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Las hojas de cotejo de evaluación económica son similares a las hojas de dimensionamiento, con la diferencia que el enfoque de estas es más en aspectos económicos que técnicos. A pesar que existen hojas de evaluación económica con un enfoque muy puntual y particular, lo cierto es que las evaluaciones económicas son una constante en la mayoría de las hojas de dimensionamiento, las cuales poseen apartado resaltado en anaranjado, donde se muestra el análisis económico del dimensionamiento realizado.

Cada hoja de cotejo contiene una serie de recuadros titulados según sea la información requerida o presentada, debiendo introducirse la información siguiendo las instrucciones que se encuentran en la parte superior de cada recuadro, y utilizando únicamente las casillas de color amarillo.

Además de lo anterior, a través de todo el programa hay botones que activan interfaces que muestran el índice general o subíndices según sea el capítulo. Estos botones permiten al usuario desplazarse por todo el programa de manera rápida y ordenada.

Cada hoja de cotejo está enmarcada dentro de un fondo blanco, lo cual permite identificar claramente todos los elementos de dicha hoja; además, este formato permite una impresión sencilla y presentable de la hoja de cotejo, por lo cual también se ha incluido un espacio para introducir el nombre proyecto y el nombre del propietario del mismo.

Finalmente, recordamos a los lectores que todos los conceptos expuesto en el manual son aplicados en el programa, lo cual se evidencia en las notas de referencia que se encuentra en la mayoría de las hojas de cotejo; con esto queremos hacer notar que tanto el manual como el programa son uno solo, y por lo tanto, los resultados obtenidos con el programa pueden ser incorrectos si no se aplican adecuadamente los conceptos expuestos en el manual.

# CAPÍTULO I

## I.1. GENERALIDADES SOBRE LAS VARIABLES ELÉCTRICAS

<u>I.1.1 Las Variables Eléctricas</u>	<b>I-3</b>
I.1.1.1 La corriente eléctrica	I-3
I.1.1.2 La tensión eléctrica	I-4
I.1.1.3 La resistencia eléctrica	I-5
<u>I.1.2 La Ley de Ohm</u>	<b>I-7</b>
I.1.2.1 Las cargas eléctricas	I-8
I.1.2.2 La impedancia	I-9

## I.2 GENERALIDADES SOBRE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

<u>I.2.1 Parámetros de una Onda Sinusoidal</u>	<b>I-13</b>
<u>I.2.2 Cargas Resistivas, Inductivas y Capacitivas</u>	<b>I-15</b>
I.2.2.1 Carga Resistiva	I-15
I.2.2.2 Carga Inductiva	I-16
I.2.2.3 Carga Capacitiva	I-16
<u>I.2.3 La Potencia Eléctrica</u>	<b>I-17</b>
I.2.3.1 Potencia Activa	I-18
I.2.3.2 Potencia Reactiva	I-18
I.2.3.3 Potencia Aparente	I-19
<u>I.2.4 El Triángulo de Potencia</u>	<b>I-20</b>
<u>I.2.5 La Energía Eléctrica</u>	<b>I-21</b>
I.2.5.1 Equipos de medición de las variables eléctricas	I-24
I.2.5.2 Normas de seguridad	I-26
<u>I.2.6 Criterios Básicos para el Dimensionamiento de una Instalación Eléctrica</u>	<b>I-28</b>
I.2.6.1 Pérdidas de potencia en conductores eléctricos	I-28
I.2.6.2 Dimensionamiento de conductores eléctricos	I-29
I.2.6.3 Desbalance de corriente entre líneas	I-31
I.2.6.4 Censo de carga	I-31

## CAPÍTULO II

<b>II.1. ACTORES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL</b>	<b>II-3</b>
<u>II.1.1 La ley general de electricidad</u>	II-3
II.1.1.1 La Unidad de Transacciones y el Mercado Eléctrico Nacional	II-4
II.1.1.2 Los Participantes del Mercado Eléctrico	II-5
<u>II.1.2 La curva de carga</u>	II-7
II.1.2.1 Medidor de Energía (KWH).	II-8
II.1.2.2 Bases para medidores:	II-11
II.1.2.3 Diagramas de conexión:	II-11
II.1.2.4 Medidores Horarios.	II-12
II.1.2.5 Monitoreo en tiempo real.	II-13
II.1.2.6 Sistemas de comunicación.	II-14
II.1.2.7 Conexiones.	II-14
<b>II.2. LOS COMPONENTES TARIFARIOS</b>	<b>II-15</b>
<u>II.2.1 Lectura de la factura eléctrica</u>	II-15
II.2.1.1 Tipos principales de cargos.	II-17
II.2.1.2 Cargos varios y penalizaciones	II-18
II.2.1.3 Metodología para mejorar el factor de potencia	II-21
<u>II.2.2 Compensación de reactivos</u>	II-24
II.2.2.1 Instalación de banco de capacitares	II -26
<u>II.2.3 Recomendaciones técnicas para el uso favorable del pliego tarifario</u>	II-30
II.2.3.1 Unificación de la medición del consumo de energía eléctrica	II-30
II.2.3.2 Ubicación de la medición para servicios a media tensión	II-31
II.2.3.3 Cambio de horarios de producción y operación	II-32

## CAPÍTULO III

### III.1 GENERALIADES SOBRE LA ILUMINACIÓN

<u>III.1.1 Magnitudes y Definiciones en Iluminación</u>	<b>III-4</b>
<u>III.1.2 El Proceso de Percepción Visual</u>	<b>III-5</b>
III.1.2.1 El contraste	III-5
III.1.2.2 El tamaño y la forma	III-6
III.1.2.3 La velocidad de percepción	III-6
III.1.2.4 La agudeza visual	III-6
<u>III.1.3 El Confort Visual</u>	<b>III-7</b>
III.1.3.1 Niveles de iluminación	III-8
III.1.3.2 Sistema de iluminación artificial	III-11
<u>III.1.4 Principios del Diseño de Iluminación de Interiores</u>	<b>III-13</b>

### III.2 FUENTES DE LUZ ARTIFICIAL

<u>III.2.1 Incandescencia</u>	<b>III-23</b>
III.2.1.1 Lámparas incandescentes	III-24
III.2.1.2 Lámparas incandescentes halogenadas	III-25
<u>III.2.2 Descarga Eléctrica</u>	<b>III-28</b>
III.2.2.1 Lámparas fluorescentes	III-28
III.2.2.2 Lámparas fluorescentes compactas	III-29
III.2.2.3 Lámparas de vapor de mercurio	III-32
III.2.2.4 Lámparas de haluros metálicos	III-34
III.2.2.5 Lámparas de sodio	III-35
<u>III.2.3 Ahorro de Energía Eléctrica con Fuentes de Luz Artificial</u>	<b>III-37</b>
III.2.3.1 Selección de lámparas por su vida útil	III-37
III.2.3.2 Selección y limpieza de las luminarias	III-38
III.2.3.3 Repartir las luminarias entre más interruptores	III-39

### III.3 ILUMINACIÓN NATURAL DE INTERIORES

<u>III.3.1 El Sol</u>	<b>III-43</b>
<u>III.3.2 Elementos para la Iluminación Natural de Interiores</u>	<b>III-46</b>
III.3.2.1 Ventanas	III-46
III.3.2.2 Techos dientes de sierra	III-50
III.3.2.3 Láminas traslúcidas	III-52
III.3.2.4 Domos	III-53

# CAPÍTULO IV

## IV.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE MOTORES ELÉCTRICOS

<u>IV.1.1 Motores Monofásicos</u>	<b>IV-4</b>
IV.1.1.1 Motores de fase dividida	IV-5
IV.1.1.2 Motores de arranque con capacitor	IV-6
IV.1.1.3 Motores de fase dividida con capacitor permanente	IV-6
IV.1.1.4 Motores de arranque con capacitor permanente y de marcha	IV-7
IV.1.1.5 Motor de polos sombreados	IV-8
<u>IV.1.2 Partes Principales de un Motor Eléctrico</u>	<b>IV-9</b>
IV.1.2.1 Placa característica de un motor eléctrico	IV-11
IV.1.2.2 Aislamiento eléctrico de motores	IV-15

## IV.2 SELECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

<u>IV.2.1 Potencia Nominal, Velocidad, y Par de Arranque</u>	<b>IV-17</b>
IV.2.1.1 Potencia nominal	IV-17
IV.2.1.2 Velocidad de operación	IV-19
IV.2.1.3 Par de arranque	IV-19
IV.2.1.4 Efecto de inercia o de volante	IV-22
<u>IV.2.2 Otros Factores Para la Selección de un Motor</u>	<b>IV-22</b>
IV.2.2.1 Velocidad	IV-22
IV.2.2.2 Eficiencia	IV-22
IV.2.2.3 Posición de operación	IV-23
IV.2.2.4 Temperatura ambiente del lugar de instalación	IV-23
IV.2.2.5 Condiciones circundantes en el lugar de instalación	IV-24
IV.2.2.6 Altura sobre el nivel del mar	IV-24
IV.2.2.7 Características de la alimentación eléctrica	IV-26
<u>IV.2.3 Clases de Diseño de un Motor de Inducción</u>	<b>IV-26</b>
IV.2.3.1 Diseño clase A	IV-27
IV.2.3.2 Diseño clase B	IV-27
IV.2.3.3 Diseño clase C	IV-28
IV.2.3.4 Diseño clase D	IV-28
IV.2.3.5 Diseño clase E y F	IV-28

## IV.3 AHORRO DE ENERGÍA CON MOTORES

<u>IV.3.1 Mantenimientos Recomendados Para Motores Eléctricos</u>	<b>IV-29</b>
IV.3.1.1 Los cojinetes de un motor eléctrico	IV-30
IV.3.1.2 Tipos básicos de cojinetes	IV-31
IV.3.1.3 Identificación de cojinetes	IV-37

<u>IV.3.2 Factor de Potencia</u>	<b>IV-40</b>
IV.3.2.1 Compensación individual	IV-41
IV.3.2.2 Compensación centralizada	IV-42
<u>IV.3.3 La Eficiencia de un Motor desde el Punto de Vista del Ahorro Energético</u>	<b>IV-44</b>
<u>IV.3.4 Técnicas de Ahorro Energético en el Arranque de Motores</u>	<b>IV-48</b>
IV.3.4.1 Características básicas de protección de motores	IV-48
IV.3.4.2 Arrancadores de voltaje de CA reducido.	IV-50

## CAPÍTULO V

### V.1 LA REFRIGERACIÓN

<u>V.1.1 Los Refrigerantes</u>	<b>V-3</b>
V.1.1.1 Identificación de los refrigerantes	V-4
V.1.1.2 Los refrigerantes y sus características	V-6
V.1.1.3 El medio ambiente y los refrigerantes	V-9
<u>V.1.2 El Circuito de Refrigeración</u>	<b>V-12</b>
V.1.2.1 Elementos del circuito básico de refrigeración	V-12
V.1.2.2 Equipos de refrigeración de frío húmedo y frío seco	V-20
V.1.2.3 Equipo frío	V-24
V.1.2.4 Estrategias para el ahorro energético en equipos de refrigeración	V-27
V.1.2.5 Prácticas recomendadas en equipos de refrigeración	V-29

### V.2 EL AIRE ACONDICIONADO

<u>V.2.1 El Circuito Básico de Aire Acondicionado</u>	<b>V-36</b>
<u>V.2.3 Equipos de Aire Acondicionado</u>	<b>V-39</b>
V.2.2.1 Tipos de equipos de aire acondicionado	V-39
V.2.2.2 Climatización de espacios	V-42
<u>V.2.3 Ganancia Térmica</u>	<b>V-43</b>
V.2.3.1 Ganancia de calor por conducción	V-44
V.2.3.2 Otros factores de ganancia de calor	V-48
V.2.3.3 Dimensionamiento de unidades de aire acondicionado	V-48
<u>V.2.4 Mantenimiento de Equipos de Aire Acondicionado</u>	<b>V-24</b>
V.2.4.1 Limpieza de evaporador y condensador	V-49
V.2.4.2 Otros mantenimientos recomendados	V-51

# CAPÍTULO VI

## VI.1 GENERALIDADES SOBRE LOS TRANSFORMADORES

<u>VI.1.1 Principio de Funcionamiento</u>	<b>VI-4</b>
VI.1.1.1 Teoría del funcionamiento de un transformador	VI-4
VI.1.1.2 Funcionamiento del transformador cuando se carga	VI-5
VI.1.1.3 Condiciones de servicio y capacidad de tensión	VI-6
VI.1.1.4 Núcleo y devanados	VI-7
VI.1.1.5 Refrigeración	VI-7
VI.1.1.6 Parte Activa	VI-8
VI.1.1.7 Aceite	VI-8
VI.1.1.8 Tanque principal	VI-10
VI.1.1.9 Conmutador de derivaciones	VI-10
VI.1.1.10 Impedancia de los transformadores	VI-11
<u>VI.1.2 Transformador Monofásicos (1<math>\phi</math>) y Trifásicos (3<math>\phi</math>)</u>	<b>VI-12</b>
VI.1.2.1 Transformador Monofásico (1 $\phi$ )	VI-12
VI.1.2.2 Transformador Trifásico (3 $\phi$ )	VI-14
<u>VI.1.3 Conexión de los Transformadores de Distribución</u>	<b>VI-16</b>
VI.1.3.1 Servicio monofásico 120 V	VI-16
VI.1.3.2 Servicio monofásico 240 V	VI-17
VI.1.3.3 Servicio monofásico 120/240 V	VI-17
VI.1.3.4 Conexión de transformadores monofásicos en arreglos trifásicos	VI-17
VI.1.3.5 Conexión Delta-Delta a 240V, desplazamiento angular 0°	VI-18
VI.1.3.6 Conexión Estrella-Estrella a 120/208 V, desplazamiento angular 0°	VI-18
<u>VI.1.4 Pérdidas en Transformadores</u>	<b>VI-21</b>
VI.1.4.1 Pérdidas con carga y sin carga en un transformador	VI-21
VI.1.4.2 Corriente sin carga	VI-24
VI.1.4.3 Rendimiento	VI-24
VI.1.4.4 Sobrecarga	VI-27
<u>VI.1.5 Ahorro Energético en Unidades de Transformación</u>	<b>VI-28</b>
VI.1.5.1 Ahorro económico por cambio de tarifa eléctrica.	VI-28

CAPÍTULO I

***VARIABLES ELÉCTRICAS***

Este capítulo contiene los siguientes temas:

## **I.1 Generalidades sobre las variables eléctricas**

### I.1.1 Las variables eléctricas

I.1.1.1 La corriente eléctrica

I.1.1.2 La tensión eléctrica

I.1.1.3 La resistencia eléctrica

### I.1.2 La ley de Ohm

I.1.2.1 Las cargas eléctricas

I.1.2.2 La impedancia

## **I.2 Generalidades sobre la energía eléctrica**

### I.2.1 Parámetros de una onda sinusoidal

### I.2.2 Cargas resistivas, inductivas y capacitivas

I.2.2.1 Carga Resistiva

I.2.2.2 Carga Inductiva

I.2.2.3 Carga Capacitiva

### I.2.3 La Potencia Eléctrica

I.2.3.1 Potencia Activa

I.2.3.2 Potencia Reactiva

I.2.3.3 Potencia Aparente

### I.2.4 El Triángulo de Potencia

### I.2.5 La Energía Eléctrica

I.2.5.1 Equipos de medición de las variables eléctricas

I.2.5.2 Normas de seguridad

### I.2.6 Criterios Básicos para el Dimensionamiento de una Instalación Eléctrica

I.2.6.1 Pérdidas de potencia en conductores eléctricos

I.2.6.2 Dimensionamiento de conductores eléctricos

I.2.6.3 Desbalance de corriente entre líneas

I.2.6.4 Censo de carga

## 1. Generalidades sobre las variables eléctricas

La energía eléctrica es hoy por hoy, la forma de energía más versátil tanto por su facilidad de transformación en otras formas de energía, así como también por la relativa facilidad de transportarla desde lugares remotos, desde los puntos de generación hasta los puntos en donde es requerida por el usuario final.

La energía eléctrica es obtenida a través varias formas de energía tales como: El petróleo (generación térmica), flujo de agua en ríos (generación hidroeléctrica), el viento (generación eólica), energía atómica, entre otras. Todas estas formas de energía se transforman en energía eléctrica para ser transportada y hacerlas llegar hasta el consumidor (industrial, comercial, residencial), para que éste finalmente la transforme en un tipo de energía que produzca un bien o servicio aprovechable (iluminación, movimiento mecánico, calor, etc.)

El comportamiento de la energía eléctrica puede describirse en función de variables físicas, siendo las más significativas:

- La intensidad de corriente eléctrica.
- La tensión eléctrica.
- La frecuencia

### **1.1 LAS VARIABLES ELÉCTRICAS**

Es importante conocer las diferentes variables eléctricas, para conocer las características y comportamiento de la energía eléctrica. A continuación se describe cada una de las variables eléctricas:

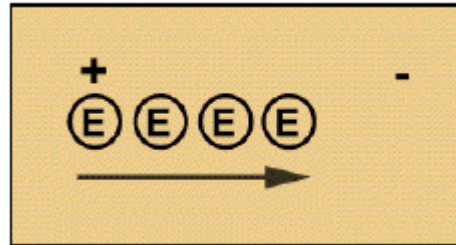
#### ***1.1.1 La Corriente Eléctrica***

Un flujo de electrones libres circulando en la misma dirección y pasando de átomo en átomo se conoce como corriente. Las unidades de la corriente son el Amperio (A).

El sentido en que circula la corriente eléctrica puede ser analizada de dos puntos de vista distintos. Para efectos de realizar cálculos y análisis matemáticos, se considera que la corriente fluye según la teoría del flujo convencional; sin embargo, la teoría del flujo de electrones explica mejor el comportamiento de ésta. A continuación se presenta una breve reseña de cada una de las teorías:

### EL FLUJO CONVENCIONAL

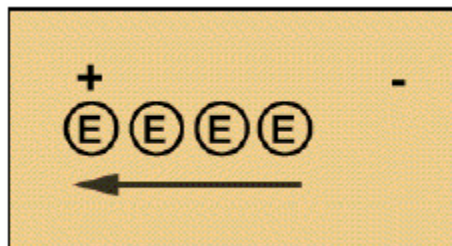
Esta teoría establece que los electrones fluyen de positivo a negativo. Benjamín Franklin estableció esta teoría cuando se sabía muy poco de la electricidad. Esta teoría plantea el hecho que un fluido invisible conocido como electricidad tiende a fluir a través de un alambre desde el polo positivo hacia el polo negativo.



*Figura 1.1.1*  
Flujo convencional.

### EL FLUJO DE ELECTRONES

Esta teoría plantea que los electrones fluyen desde negativo a positivo. Esto fue comprobado por los científicos, quienes descubrieron que los electrones fluyen de negativo a positivo, debido a que los electrones, cargados negativamente, son atraídos por cargas positivas.



*Figura 1.1.2*  
Flujo de electrones.

#### **1.1.2 La Tensión eléctrica**

La tensión es la fuerza que es aplicada a un conductor para liberar electrones, lo que provoca un flujo de electrones, llamado corriente eléctrica. Las unidades de la tensión eléctrica son el Voltio (V).

Existen dos maneras a través de las cuales la tensión obliga a la corriente a fluir:

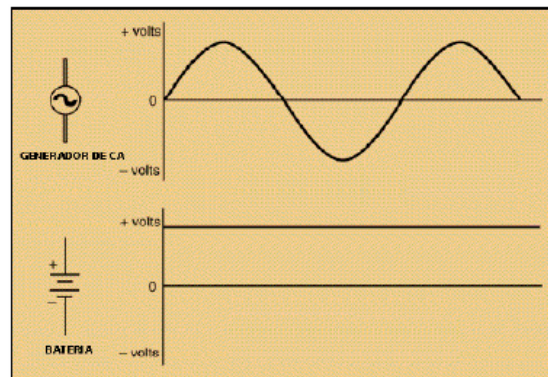
- *Corriente Directa*
- *Corriente Alterna*

### TENSIÓN DE CORRIENTE DIRECTA

En este tipo de tensión eléctrica obliga a los electrones a fluir continuamente en una única dirección. Generalmente los circuitos electrónicos trabajan con este tipo de tensión eléctrica, así como algunos motores eléctricos de alto torque.

### TENSIÓN DE CORRIENTE ALTERNA

Este tipo de tensión eléctrica obliga a los electrones a fluir primero en una dirección, y después en la dirección opuesta, alternando muy rápidamente. La energía que suministran las empresas distribuidoras de energía eléctrica posee una tensión eléctrica de este tipo, y la mayoría de equipos eléctricos trabaja con ella.



*Figura 1.1.3*  
Corriente Alterna y Directa.

#### 1.1.3 La resistencia eléctrica

Se conoce como resistencia eléctrica a la propiedad de los materiales de oponerse al flujo de una corriente eléctrica que pasa a través de ellos. La unidad de la resistencia eléctrica es el Ohm ( $\Omega$ ).

En general, existen cuatro factores que afectan la cantidad de resistencia en un conductor:

- Material
- Longitud
- Área de Sección Transversal
- Temperatura

MATERIAL

Como se explicó con anterioridad, la resistencia eléctrica es una propiedad cada material, y su valor difiere según sea el material que se ocupe. Generalmente los metales son buenos conductores de la electricidad, sin embargo los metales que más se utilizan en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. El hule, el vidrio y la porcelana son ejemplos de materiales malos conductores de la electricidad.

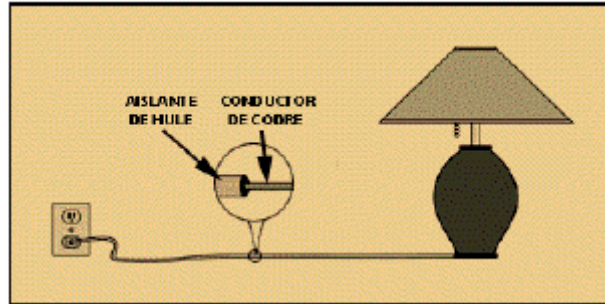


Figura 1.1.4  
Conductores y aislantes.

LONGITUD

La longitud de un material es otro factor que afecta la resistencia. Si la longitud de un aumeta aumenta, también lo hace su resistencia. Esto debido primordialmente que entre mayor es la distancia que debe recorrer la electricidad, cuanto mayor es la resistencia que encuentra a su paso.

SECCIÓN TRANSVERSAL

La sección transversal en un material es inversamente proporcional a su resistencia; es decir, entre mayor es la sección transversal del conductor, menor será su resistencia.

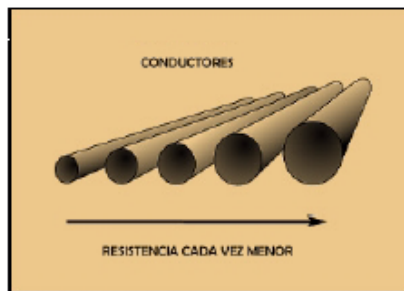


Figura 1.1.5  
Resistencia y sección transversal.

TEMPERATURA

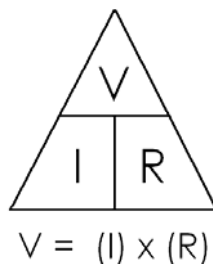
Existen dos razones fundamentales por las que la temperatura sea factor a tomar muy en cuenta en los conductores eléctricos. La primera es que al aumentar la temperatura, la resistencia de los conductores aumenta. La segunda razón es que los aumentos de temperatura en un conductor son perjudiciales para el aislamiento eléctrico de éstos. Si la temperatura de un conductor aumenta más allá de la temperatura a la que está diseñado su forro aislante, la vida útil del forro se reduce dramáticamente.

La resistencia eléctrica es una característica indeseable un conductor eléctrico, sin embargo, un buen dimensionamiento de los conductores en una instalación eléctrica, no sólo permitirá evitar pérdidas innecesarias por caídas de voltaje, sino que alargará la vida de éstos.

Generalmente los conductores se dimensionan según tablas donde se muestra la ampacidad (Capacidad de transportar corriente sin dañarse) de cada conductor según sea el tipo y la sección transversal de éste. Sin embargo, la longitud de los conductores puede afectar el dimensionamiento de éstos, ya que para compensar el aumento de la resistencia eléctrica por la longitud del conductor, se debe aumentar su sección transversal. Los criterios básicos para el correcto dimensionamiento de los conductores eléctricos se expondrán con detalle más adelante.

**1.2 LA LEY DE OHM**

La ley de Ohm es la ley más importante en electricidad, pues ésta relaciona todas las variables eléctricas antes mencionadas en una pequeña y simple fórmula. Esta ley fue descubierta por el matemático alemán George Simon Ohm, quien estableció que a la corriente eléctrica es directamente proporcional la tensión eléctrica e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica.



*Figura 1.1.6*  
Representación de la ley de Ohm.

La ley de Ohm es la fórmula básica empleada en todos los circuitos eléctricos CA y CD. Conociendo dos de las tres magnitudes de la fórmula, se puede conocer la tercera simplemente despejando la que se desea encontrar. Sin embargo, el valor y las magnitudes de la resistencia eléctrica pueden variar si el voltaje de alimentación es de corriente alterna, y dependiendo de las características de las cargas eléctricas.

### *1.2.1 Las cargas eléctricas*

Se denomina carga eléctrica a todo aquel elemento que al ser conectado a una fuente de energía eléctrica, consume cierta cantidad de ésta de forma constante o variable en el tiempo. Las cargas eléctricas se pueden clasificar por sus características de resistencia eléctrica en dos tipos:

- Cargas resistivas
- Cargas reactivas
  - Capacitivas
  - Inductivas

#### CARGAS RESISTIVAS (R)

Este tipo de cargas disipan energía única y exclusivamente en forma de calor. Algunos ejemplos de cargas resistivas son las planchas, cocinas eléctricas, calentadores de agua eléctricos, secadoras de cabello, lámparas incandescentes, etc.

#### CARGAS REACTIVAS (X)

Existen dos tipos de cargas reactivas; las cargas reactivas capacitivas son aquellas que idealmente disipan la energía eléctrica en forma de campos eléctricos; mientras que las cargas reactivas inductivas disipan la energía en forma de campos magnéticos. Los campos eléctricos y magnéticos producidos en por cada uno de los tipos de cargas mencionados tienen infinidad de aplicaciones.

Una carga reactiva capacitiva es aquella que se comporta como un capacitor, mientras que una carga reactiva inductiva es aquella que se comporta como un inductor. Un capacitor es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en campos eléctricos; mientras que un inductor transforma la energía eléctrica en campos magnéticos.

Cada una de las cargas reactivas tiene un efecto diferente y opuesto sobre la corriente eléctrica y el voltaje. El efecto de una reactancia inductiva es opuesto al de una carga capacitiva, de tal manera que si ambos efectos poseen la misma magnitud, estos se anulan mutuamente.

### 1.2.2 La impedancia

La impedancia es una generalización de la resistencia eléctrica, pues ésta es la suma vectorial de las resistencias y las reactancias en un circuito eléctrico. Su unidad es el Ohm ( $\Omega$ ), y su fórmula general es la siguiente:

$$Z = R + j X$$

Los términos que componen la fórmula de la impedancia no pueden sumarse, pues vectorialmente son distintos. Mientras que la resistencia eléctrica posee un ángulo fasorial de cero, las reactancias poseen un ángulo fasorial de  $\pm 90$  dependiendo del tipo de reactancia. Si la reactancia es inductiva el ángulo es positivo, mientras que si la reactancia es capacitiva el ángulo es negativo.

La diferencia en el ángulo fasorial entre las reactancia inductivas y capacitivas, es la razón por la cual sus efectos son opuestos. De tal forma que si en un circuito eléctrico se encontraran cargas tanto capacitivas como inductivas produciendo efectos de la misma magnitud, dichos efectos se anularían entre sí, llevando a que la impedancia del circuito fuera puramente resistiva.

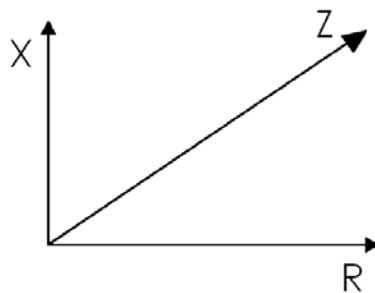


Figura 1.1.7

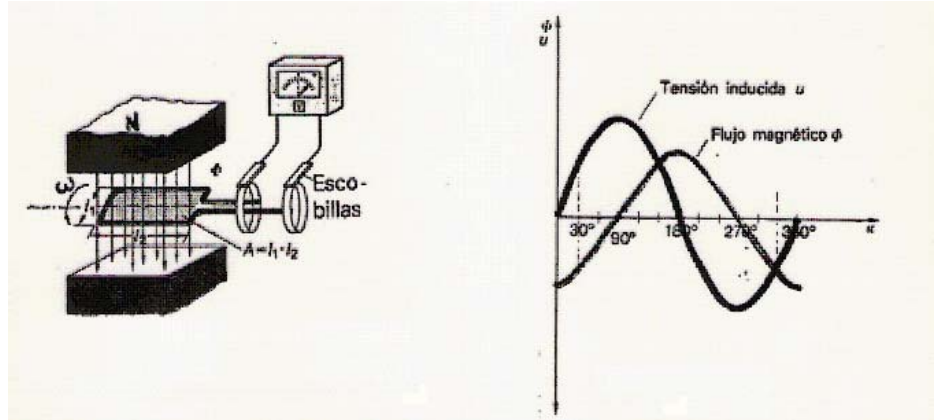
En la gráfica se muestra el diagrama fasorial de una impedancia con una componente resistiva y una componente reactiva inductiva.

Se puede observar que las reactancias se grafican en el eje Y pudiendo dirigirse para arriba o para abajo, dependiendo del tipo de reactancia de la carga. . Las resistencias se grafican en el eje X, aunque sólo en la parte positiva de éste. El valor de la impedancia resulta ser el de la línea diagonal, y la fórmula encontrar su magnitud es:

$$|Z| = \sqrt{(R)^2 + (X)^2}$$

## 2. Generalidades sobre la energía eléctrica

A continuación se presentará el principio de un generador de CA con una simple espira de alambre y un campo magnético. La figura muestra la espira de alambre girando en la dirección de las manecillas del reloj a través del campo magnético de los imanes, el plano horizontal de la espira percibe un campo magnético variable que depende de la posición de la espira, provocando un flujo magnético variable que induce una tensión eléctrica.

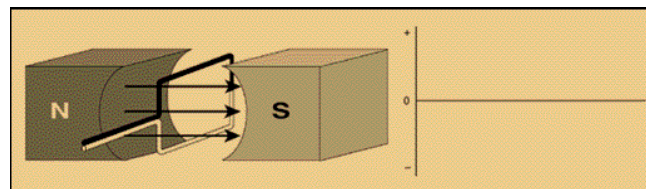


*Figura 1.2.1*  
Principio de Generación de Energía Eléctrica.

A continuación se muestra cómo una onda sinusoidal representa gráficamente una tensión y corriente de CA. La bobina abarcará una rotación de 360 grados y muestra lo que pasa en diferentes puntos de la rotación. La bobina rotatoria está dividida en mitades negra y blanca para ayudar a rastrear la posición de ésta.

### PASO 1: Punto de inicio a 0 grados.

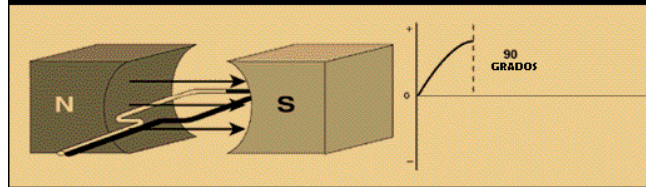
Con la bobina a 0 grados y sin rotación, no se genera ninguna tensión y ninguna porción de la onda sinusoidal aparece en los ejes horizontal y vertical.



*Figura 1.2.2*  
Espira posición  $0^\circ$ .

PASO 2: Generación desde 0 grados a 90 grados.

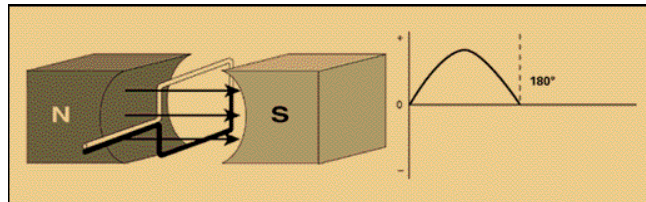
Conforme la bobina gira de 0 a 90 grados, corta un número cada vez mayor de líneas de flujo. Conforme las líneas de flujo son cortadas, se genera una tensión en la dirección positiva.



*Figura 1.2.3*  
Espira posición 90°.

PASO 3: Generación de 90 a 180 grados.

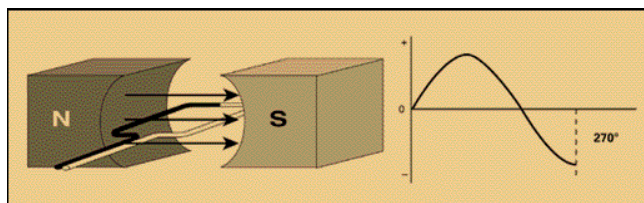
Conforme la bobina sigue girando, corta cada vez menos líneas de flujo, por consiguiente, la tensión generada pasa de un máximo hasta 0 de nuevo.



*Figura 1.2.4*  
Espira posición 180°.

PASO 4: Generación de 180 a 270 grados.

Es similar al Paso 2, excepto que la tensión es ahora generada en la dirección negativa.



*Figura 1.2.5*  
Espira posición 270°.

PASO 5: Generación de 270 a 360 grados.

Este es similar al Paso 3 excepto que la tensión todavía es negativa. Una vez que alcanza 0 grados, una revolución completa de 360 grados ha terminado. En este punto, la bobina es regresa a su estado original y un ciclo ha terminado. Si la bobina sigue girando, el ciclo será repetido.

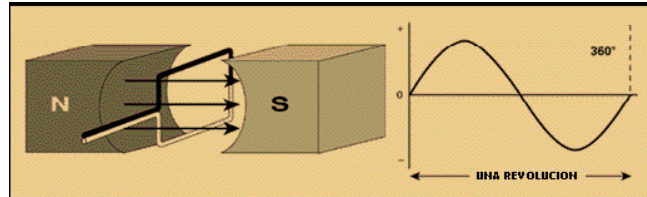


Figura 1.2.6  
Espira posición 360°.

La corriente alterna pasa a través de muchos de estos ciclos cada segundo. El número de ciclos por segundo se conoce como la *Frecuencia*. En América, la corriente alterna se genera de 60 hertz. Esto significa que se llevan a cabo 60 ciclos cada segundo, es decir la espira debería de girar 60 veces 360° durante un segundo.

**2.1 PARÁMETROS DE UN ONDA SINUSOIDAL**

Según la forma particular de la onda sinusoidal, podemos definir ciertas parámetros para describir completamente su comportamiento a través del tiempo. Dichas características son las siguientes:

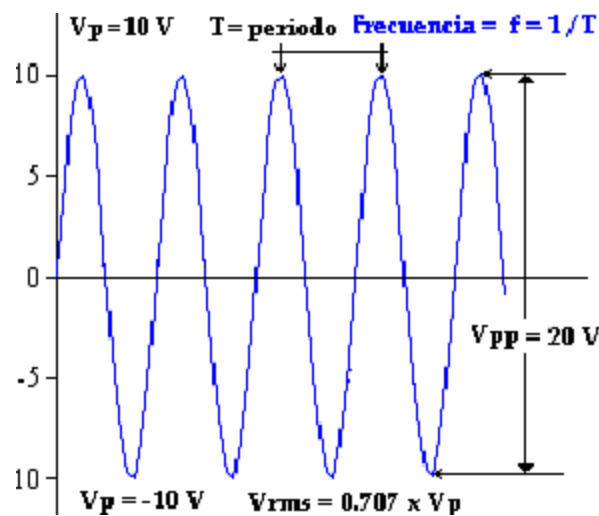


Figura 1.2.7  
Forma de Onda Sinusoidal de Voltaje.

FRECUENCIA (f)

La frecuencia es la magnitud que describe cuántos ciclos realiza una señal por segundo. Su unidad es el Hertz.

PERÍODO (T)

El período, magnitud inversa a la frecuencia, describe cuánto tiempo le toma a una señal completar un ciclo.

VOLTAJE PICO - PICO (Vpp)

Al observar la gráfica de la onda sinusoidal de voltaje, se puede apreciar que ésta alcanza un valor máximo y un valor mínimo durante su ciclo. Si se mide el voltaje de cresta a cresta, es decir, del valor máximo al mínimo, se obtendrá el voltaje pico –pico. El voltaje medido del eje x hasta el valor máximo de la cresta, se denomina voltaje pico (Vp), el cual se relaciona con el voltaje pico – pico de la siguiente forma:

$$V_{pp} = 2 (V_p)$$

VOLTAJE EFICAZ (Vrms)

Durante un ciclo, la onda sinusoidal alcanza diferentes valores que van positivos a negativos. El valor eficaz describe el comportamiento promedio de la cresta positiva de la onda. El Voltaje eficaz se relaciona con el voltaje pico de la siguiente forma:

$$V_{rms} = 0.707 (V_p)$$

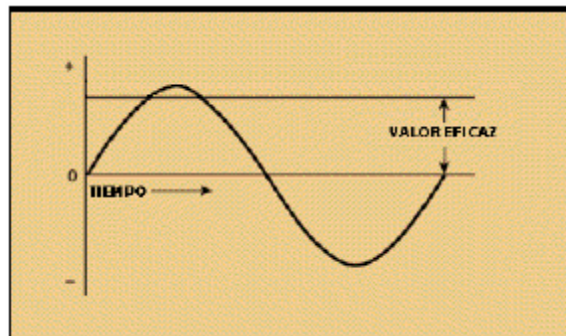
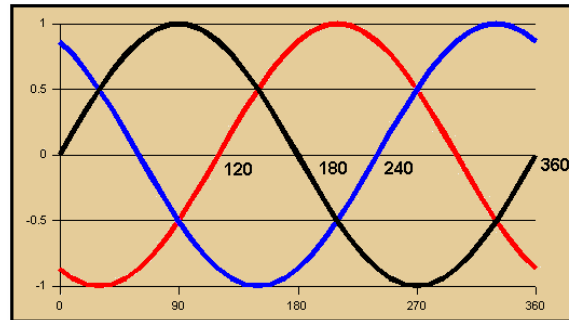


Figura 1.2.8  
Valor Eficaz Cuadrático medio.

Como puede intuirse de la definición del Voltaje eficaz, el valor más alto de la cresta de la onda sinusoidal de voltaje en un hogar típico de nuestro país, es de 169 Voltios. Sin embargo, al medir con un voltímetro, se verá que la lectura marca 120 Voltios aproximadamente; esto se debe a que los voltímetros realizan una lectura del valor eficaz, ya que es poco práctico que realicen una lectura de los diferentes valores que toma onda sinusoidal de voltaje en todo su ciclo.

Finalmente, los mismos parámetros que se expusieron con anterioridad, son los que pueden ser utilizados para describir el comportamiento del voltaje en un sistema trifásico. La diferencia es que las ondas de voltaje de cada una de las fases del sistema trifásico, se encuentra desfasadas  $120^\circ$  eléctricos una de la otra, como se puede apreciar en la siguiente gráfica:



*Figura 1.2.9*  
Forma de Onda Sinusoidal de Voltaje Trifásico.

## **2.2 CARGAS RESISTIVAS, INDUCTIVAS, Y CAPACITIVAS**

Como se mencionó con anterioridad existen distintos tipos de cargas eléctricas, cada una de ellas con características particulares; de igual forma, se expuso cómo la onda sinusoidal describe el comportamiento del voltaje y la corriente en un circuito de corriente alterna. Ahora se expondrán los efectos particulares que tienen las diferentes cargas eléctricas sobre la onda sinusoidal de la corriente eléctrica.

### ***2.2.1 Carga resistiva***

La corriente (**I**) que fluye por un circuito eléctrico de corriente alterna, así como la tensión o voltaje (**V**) aplicado al mismo, se puede representar gráficamente por medio de dos sinusoides. Para un circuito cerrado con una carga resistiva conectada al mismo, tanto la sinusoide de la corriente como la del voltaje aplicado al circuito, coincidirán tanto en fase como en frecuencia, es decir, no habrá ningún adelanto ni atraso en la corriente respecto al voltaje.

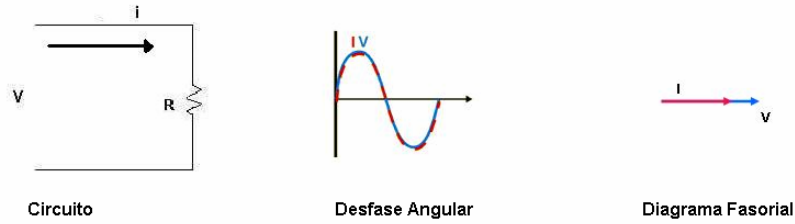


Figura 1.1.10

Desfase entre voltaje y corriente en circuito resistivo.

### 2.2.2 Carga Inductiva

Cuando la carga conectada en el circuito de corriente alterna es inductiva, como es el caso de motores y transformadores, la senoide de la corriente ( $I$ ) se atrasa en relación con el voltaje ( $V$ ). Es decir, cuando el voltaje ya ha alcanzado un cierto valor en la senoide, superior a "0" voltios, en ese preciso instante y con cierto retraso, la intensidad de la corriente comienza a incrementar su valor, a partir de "0" Amperios.

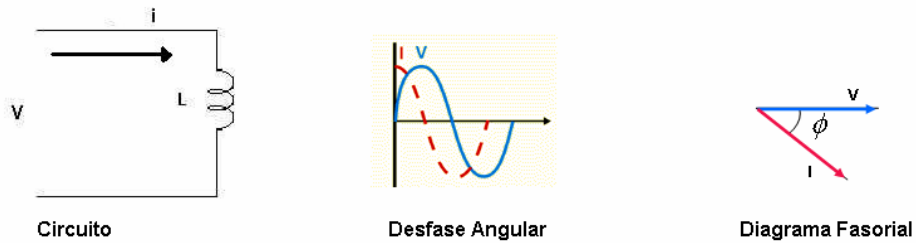


Figura 1.1.11

Desfase entre voltaje y corriente en circuito inductivo.

### 2.2.3 Carga Capacitiva.

Si lo que se conecta al circuito de corriente alterna es una carga capacitiva, como un capacitor o condensador, entonces ocurrirá todo lo contrario al caso anterior, es decir, la senoide de la corriente ( $I$ ), se adelantará a la senoide del voltaje. En este caso, cuando la senoide de la corriente ya ha alcanzado un cierto valor, superior a "0" amperios, entonces en ese momento el voltaje comienza a aumentar su valor a partir de "0" voltios.

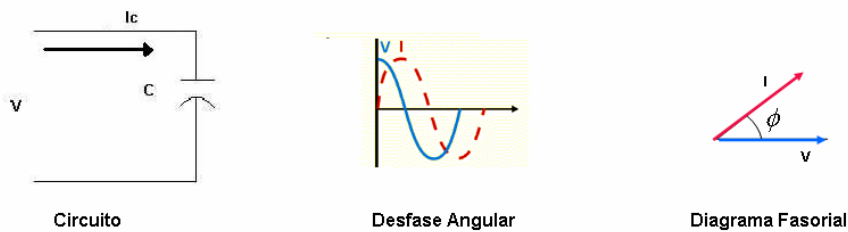


Figura 1.1.12

Desfase entre voltaje y corriente en circuito capacitivo.

Como puede verse, el efecto de los diferentes tipos de cargas eléctricas afecta únicamente a la sinusoide de la corriente, mientras que la sinusoide del voltaje no se ve afectada y actúa como una magnitud de referencia. El atraso o el adelanto de la corriente respecto al voltaje dependerá de qué tan inductiva o capacitiva sea la carga. El efecto del atraso o el adelanto de la corriente en un circuito eléctrico, tiene un efecto directo sobre la potencia eléctrica como se verá a continuación.

### 2.3 LA POTENCIA ELÉCTRICA

La potencia eléctrica describe la intensidad con la cual se efectúa un trabajo o la intensidad con la cual se utiliza la energía. El trabajo es frecuentemente expresado en joules. En términos eléctricos, un joule de trabajo se logra cuando una tensión de un Voltios provoca que un Coulomb de electrones pase a través de un circuito. Cuando esta cantidad de trabajo se logra en un segundo, es igual a un *Watt*.

El Watt es la unidad básica de potencia. Un watt se define también como la cantidad de trabajo que se logra cuando una tensión de un voltios provoca que un amperio de corriente pase a través de un circuito. La relación entre potencia, tensión e intensidad se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{POTENCIA} &= (\text{VOLTAJE}) \times (\text{CORRIENTE}) \\ P &= (V) \times (I) \end{aligned}$$

Utilizando la ley de Ohm, la fórmula anterior puede reescribirse de las siguientes formas:

$$P = (I)^2 \times (R) \qquad P = \frac{(V)^2}{R}$$

En algunos equipos eléctricos se destaca a la potencia como medida de fuerza o tamaño, sin embargo, esta magnitud indica la velocidad con la que el equipo eléctrico convierte la energía eléctrica en otras formas de energía como calor, luz, sonido, movimiento, etc.

Debido a que la corriente eléctrica es afectada por los diferentes tipos de cargas eléctricas, consecuentemente la potencia eléctrica también es afectada. La potencia eléctrica, al igual que la resistencia se clasifica de la siguiente forma:

- POTENCIA REAL O ACTIVA
- POTENCIA REACTIVA
  - Reactiva capacitiva
  - Reactiva inductiva

El símil de impedancia en la potencia eléctrica se denomina potencia aparente, y ésta es también el resultado de una suma fasorial de las potencias activa y reactiva. A continuación se describe con mayor detalle cada una de ellas:

### 2.3.1 Potencia real o activa (P)

La potencia activa es la potencia que consume una carga cuando ésta es totalmente resistiva. La potencia activa se representa por medio de la letra (P) y su unidad de medida es el watt (W).

La fórmula para encontrar la potencia activa en un circuito eléctrico, cualquiera que sea las características de la carga en éste, es la siguiente:

$P = (V) \times (I) \cos \phi$	$P = \sqrt{3} (V) \times (I) \cos \phi$
Para un circuito monofásico	Para un circuito trifásico

En la fórmula anterior, el  $\cos \phi$  es el valor del factor de potencia, dicho factor será descrito con detalle más adelante.

### 2.3.2 Potencia reactiva (Q)

La potencia reactiva es la potencia que consumen las cargas reactivas, ya sean éstas inductivas o capacitivas. Las cargas inductivas como motores demandan potencia reactiva inductiva, la cual puede ser compensada instalando un capacitor, el cual al ser una carga capacitiva, entrega al sistema potencia reactiva capacitiva que se anula con la potencia reactiva inductiva. Esta diferencia entre las potencias reactivas es el principio utilizado en el mejoramiento del factor de potencia, tema que será tratado con más detalle en capítulos posteriores.

La potencia reactiva demandada por una carga es utilizada para generar campos eléctricos en el caso de las cargas capacitivas, o campos magnéticos en el caso de las inductivas. La unidad de la potencia reactiva es el voltio amperio reactivo (VAR).

La fórmula para encontrar la potencia reactiva en un circuito eléctrico, cualquiera que sea las características de la carga en éste, es la siguiente:

$$Q = (V) \times (I) \text{ SEN } \phi$$

Para un circuito monofásico

$$Q = \sqrt{3} (V) \times (I) \text{ SEN } \phi$$

Para un circuito trifásico

### 2.3.3 Potencia aparente (S)

La potencia aparente es el resultado de la suma fasorial de las potencias activa y reactiva en un circuito. La unidad de la potencia aparente es el voltio – amperio (VA).

La fórmula para encontrar la potencia reactiva en un circuito eléctrico, cualquiera que sea las características de la carga en éste, es la siguiente:

$$S = (V) \times (I)$$

Para un circuito monofásico

$$S = \sqrt{3} (V) \times (I)$$

Para un circuito trifásico

La potencia aparente, al ser la suma fasorial de la potencia activa y reactiva, puede ser expresada en función de éstas de la siguiente forma:

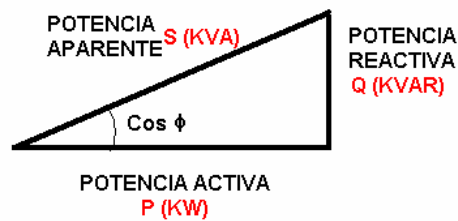
$$S = \sqrt{(P)^2 + (Q)^2}$$

La potencia aparente se puede obtener simplemente multiplicando el voltaje alimentación de una carga eléctrica cualquier, por la corriente eléctrica que ésta demanda. La lectura tanto del voltaje como de la corriente puede hacerse con un multímetro, según se expondrá más adelante.

La relación fasorial entre las distintas potencias da lugar al llamado triángulo de potencia, el cual describe completamente las características de la potencia que demanda una carga eléctrica cualquiera. El triángulo de potencia y cada uno de sus componentes se describe con detalle a continuación:

## 2.4 EL TRIÁNGULO DE POTENCIA

El triángulo de potencia representa gráficamente la relación fasorial de las distintas potencias que pueden existir en un circuito eléctrico de C.A. La potencia activa se grafica en el eje X, mientras que la potencia reactiva se grafica en el eje Y, la suma fasorial de ambas es la potencia aparente. El coseno del ángulo formado entre la potencia aparente y la potencia activa se denomina factor de potencia, y su valor indica en qué cantidad la potencia aparente demanda por la carga se transforma en potencia activa, es decir, en trabajo útil.



*Figura 1.2.13*  
Triángulo de Potencia.

Trigonométricamente el factor de potencia es la relación de potencia real entre la potencia aparente. Esta sencilla relación es sumamente significativa, debido a que indica, en cierto modo, una eficiencia energética. Cuanto menor es el factor de potencia, cuanto menor es la potencia activa en relación con la potencia aparente, lo cual indica que de toda la potencia demandada, sólo una pequeña cantidad se convirtió en trabajo útil. Por el contrario, si el factor de potencia es igual a 1, significaría que toda la potencia demandada fue transformada en trabajo útil.

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

Un factor de potencia cercano a 1, indica que la potencia demandada por la carga eléctrica ha sido utilizada eficientemente. Un factor de potencia cercano a cero es indeseable pues indica que gran parte de la potencia demandada no fue transformada en trabajo útil, y por lo tanto no fue aprovechada.

Generalmente las cargas inductivas, como los motores eléctricos, poseen un bajo factor de potencia. Para compensar este bajo factor de potencia, se instalan capacitores que entregan al sistema potencia reactiva capacitiva, la cual compensa el factor de potencia. En este caso, la instalación de capacitores no hace más eficiente al transformador, pero sí hace más eficiente al circuito eléctrico en general, evita el calentamiento en los conductores, y evita posibles penalizaciones por parte de la distribuidora eléctrica.

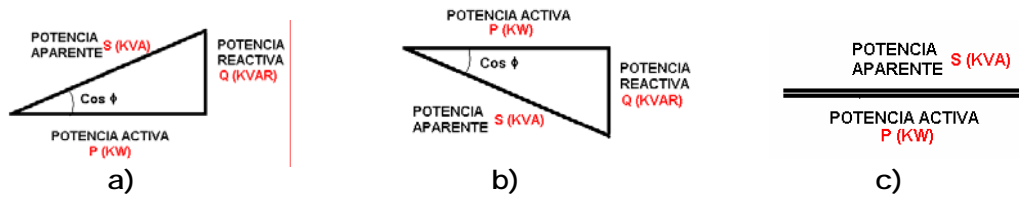


Figura 1.2.14

Triángulo de potencia Inductivo, Capacitivo y Resistivo.

En la figura "a" se muestra el triángulo de potencia de una carga con característica predominantemente inductivas. Este triángulo de potencia es común para las industrias que poseen motores eléctricos con los que llevan acabos sus procesos de producción.

En la figura "b" se muestra el triángulo de potencia de una carga con características predominantemente capacitivas. Este triángulo es poco común, pero puede darse en el caso en que una instalación eléctrica esté sobre compensado con capacitores.

En la figura "c" se muestra un triángulo de potencia ideal, en donde la carga eléctrica es predominantemente resistiva. Este triángulo indicaría que la potencia demandada por la carga siendo utilizada con la máxima eficiencia.

## 2.5 LA ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica es una magnitud que relaciona la potencia eléctrica con el tiempo, representando la cantidad de potencia que se consume por unidad de tiempo. La energía eléctrica usualmente se mide en Kilowatt – Hora (KWH), lo cual indica la demanda constante de 1 KW durante una hora.

Demanda y consumo son términos usualmente utilizados indistintamente, sin embargo, demanda es un término que se refiera a la potencia, mientras que el consumo se refiere a la energía. De esta forma, una carga cualquiera podría demandar 12 KW, pero consumir sólo 3 KWH, si su demanda de 12KW se lleva acabo sólo por 15 min, es decir, sólo en un cuarto de hora.

Debido a que las demandas de potencia de algunos equipos son variables en el tiempo, pero principalmente a la gran diversidad de cargas que pueden estar conectados en una instalación eléctrica, la demanda de potencia es varía constantemente a través del tiempo. Por ello, para conocer el consumo de energía de una instalación eléctrica, es necesario dividir el consumo de la energía en pequeños intervalos de tiempo, para luego trasladar dicho consumo a unidades estandarizadas.

Para el siguiente ejemplo, se muestra una gráfica en la que cada barra representa la demanda de potencia eléctrica durante un minuto. Para conocer el consumo de energía total, se debe multiplicar cada demanda de potencia por el período en que es demanda, es decir, por minuto. Luego, se deben sumar todos los consumos obtenidos, y transformarlos a unidades de KWH.

A continuación se presenta un gráfico que permitirá comprender mejor el consumo de la energía. Para esta ilustración, se asume que el nivel de la energía está llevado a cabo constante durante un minuto. Cada barra en el gráfico representará la demanda energía durante un minuto del tiempo. En la realidad el valor de la energía se mueve casi constantemente y difícilmente de mantiene durante un minuto constante.

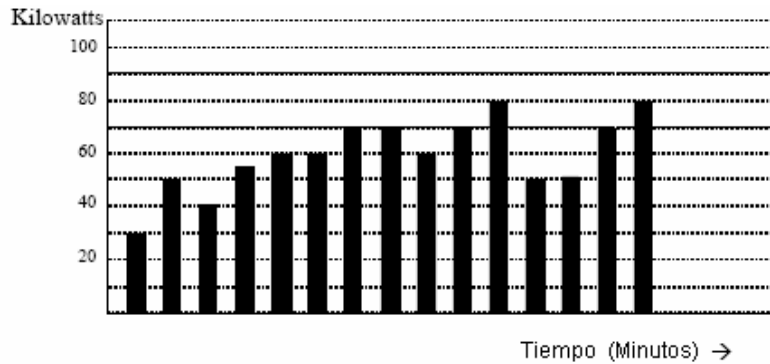


Figura 1.2.15  
Demanda y Energía en el tiempo.

El procedimiento para conocer el consumo de energía en KWH para la gráfica se detalla a continuación:

CONSUMO DE ENERGÍA DEL PRIMER MINUTO

$$30 \text{ KW} \times 1 \text{ Minuto} = 30 \text{ KWmin}$$

Trasladando a unidades KWH tenemos:

$$30 \text{ KWmin} \cong 0.50 \text{ KWH}$$

Este procedimiento se realiza para cada barra de la gráfica, obteniéndose la siguiente tabla:

Tiempo Intervalo	Potencia (KW)	Energía (KWh)	Acumulado de Energía (Kwh)
1	30	0.50	0.50
2	50	0.83	1.33
3	40	0.67	2.00
4	55	0.92	2.92
5	60	1.00	3.92
6	60	1.00	4.92
7	70	1.17	6.08
8	70	1.17	7.25
9	60	1.00	8.25
10	70	1.17	9.42
11	80	1.33	10.75
12	50	0.83	11.58
13	50	0.83	12.42
14	70	1.17	13.58
15	80	1.33	14.92

*Tabla 1.2.1*  
Potencia y Energía consumidas en el tiempo.

Finalmente, se puede apreciar que el consumo de energía eléctrica total para los 15 minutos en que se demando potencia, es de 14.92 KWH. Este procedimiento puede ser utilizado para calcular el consumo de energía eléctrica de una instalación, y su precisión dependerá del tamaño de los intervalos de tiempo seleccionados. Así por ejemplo, si los intervalos de tiempo en que se mide la demanda son más pequeños, el valor consumo total obtenido será más preciso.

**2.5.1 Equipos de medición de las variables eléctricas.**

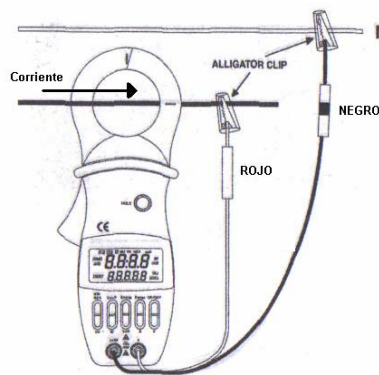
Las variables eléctricas mostradas en este capítulo pueden ser medidas y cuantificadas a través de un voltímetro amperímetro digital con medición de potencia. Los amperímetros de esta naturaleza pueden medir corrientes sin contacto directo con las partes energizadas. Estos cuentan con una sólida carcasa aislante, la cual puede ser fácilmente manejable por usuario.

Es indispensable que antes que se realice cualquier medición con estos aparatos de medición, se tomen en cuenta los parámetros máximos de operación del equipo de medición. Generalmente el máximo voltaje de operación para la baja tensión es 600 VAC. De igual forma, es importante conocer los rangos de corrientes permisibles para asegurarse que estos no sean superados y provoquen daños en el equipo de medición, o provoquen algún daño físico a la persona que realiza la lectura.

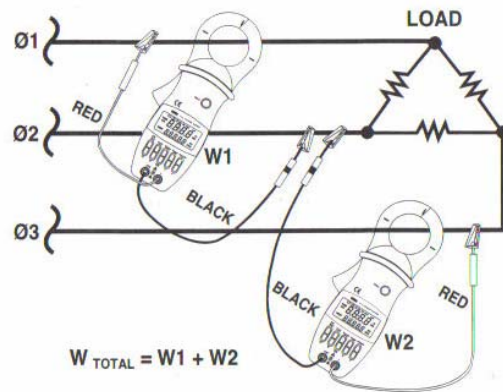


*Figura 1.2.16*  
Medidor de potencia digital.

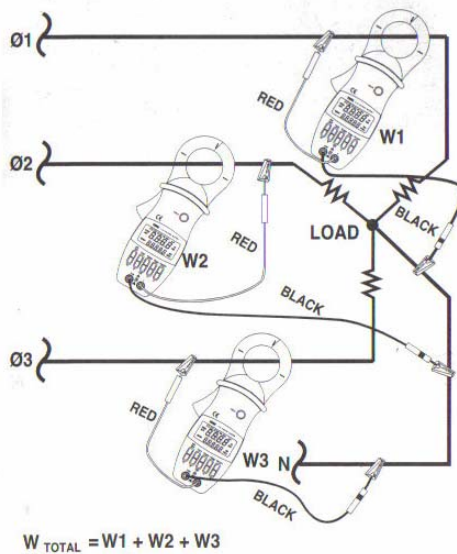
Para efectuar la toma de lecturas con estos dispositivos es necesario seguir los diferentes esquemas de conexión, los cuales se muestran a continuación:



*Figura 1.2.17*  
Medición de potencia monofásica.



**Figura 1.2.18**  
Medición de Potencias 3φ de tres hilos.



**Figura 1.2.19**  
Medición de Potencias 3φ de cuatro hilos.

Las lecturas que se pueden tomarse con un dispositivo de esta naturaleza son: Tensión, Intensidad de corriente, Watts, VA, VARS y Factor de Potencia, todas ellas de tipo instantáneo y lecturas por fases. Una vez obtenidas todas ellas, o parte de éstas, pueden operarse con las fórmulas matemáticas presentadas en cada capítulo.

**2.5.2 Normas de seguridad.**

Toda actividad humana que implique un trabajo conlleva, en menor o mayor grado, un peligro para quienes lo realizan. La manipulación de equipos para medir los niveles de baja tensión y corriente aumenta la posibilidad de sufrir un accidente eléctrico, si estos equipos no se utilizan correctamente.

El proceso mediante el cual una persona recibe energía eléctrica en un accidente puede ser una simple exposición a radiaciones electromagnéticas, o aun más grave, debido a un acoplamiento eléctrico a la red. No obstante para que circule una corriente eléctrica en el organismo es necesario que se cumpla tres aspectos básicos:

- Que exista una diferencia de potencial entre dos puntos del cuerpo.
- Que haya un circuito cerrado.
- Que el elemento que une los dos puntos del cuerpo sea conductor.

Los fenómenos fisiológicos provocados por la corriente eléctrica son diversos, y estos dependen principalmente del valor de la intensidad de corriente que fluye dentro del cuerpo. El efecto de la corriente en el cuerpo humano, se traduce en tres fenómenos que tienen lugar a medida que la intensidad de la corriente eléctrica aumenta. Estos tres fenómenos son los siguientes:

INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA	EFFECTO FISIOLÓGICO
1 a 3 mA	Sensibilidad o umbral de percepción
10 a 15 mA	Contracción de los músculos cercanos al contacto
25 a 50 mA	Fibrilación cardiaca, y contracción de la caja torácica

*Tabla 1.2.2*  
Efectos fisiológicos según la intensidad de la corriente eléctrica.

Los efectos de la fisiológicos de la corriente eléctrica pueden agravarse o atenuarse dependiendo del tiempo en que la persona se encuentra expuesta a ésta. Si el tiempo de exposición aumenta, el valor en que la corriente eléctrica puede llegar a ser fatal, disminuye rápidamente.

Los efectos de la corriente eléctrica sobre el organismo, siguen la siguiente secuencia:

- Dificultad respiratoria.
- Fibrilación ventricular.
- Paro cardiaco.
- Inhibición respiratoria.
- Daño nervioso irreversible.
- Quemaduras graves.
- Pérdida del conocimiento.
- La muerte.

Como se mencionó con anterioridad, cualquier actividad humana conlleva un riesgo de accidente, sin embargo, algunos factores físicos o psicológicos pueden aumentar considerablemente las posibilidades de sufrir uno de ellos. Entre los factores que más inciden en aumentar las posibilidades de ocurrencia de un accidente, están:

- La fatiga.
- El Sueño.
- Falta de concentración.

Está demostrado que la fatiga reduce la rapidez de los reflejos, mientras que el sueño afecta nuestra capacidad de resolver problemas y la concentración. Los problemas económicos, sentimentales, el estrés, las emociones fuertes, entre otros, afectan de igual manera la atención que las personas prestan a la realización de una actividad. Debido a lo anterior, cualquier actividad laboral realizada bajo la influencia de los factores citados conlleva una mayor posibilidad de riesgo.

La seguridad en la realización de las actividades laborales no sólo debe limitarse a la utilización de equipos o implementos de seguridad tales como; guantes, gafas, herramientas en buen estado, calzado de seguridad, entre otros, sino que debe toma en cuenta la condición física y psicológica de las personas que las realizan.

## 2.6 CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICA

Las instalaciones eléctricas pueden ser causa de una pérdida considerable de energía si no se dimensionan correctamente, o si han sido superadas en su capacidad debido al crecimiento de la carga. En este apartado se presentan los criterios básicos para el dimensionamiento de conductores, el balanceo de corrientes y el dimensionamiento de protecciones eléctricas en instalaciones eléctricas de baja tensión.

### *2.6.1 Pérdidas de potencia en los conductores eléctricos.*

Una causa común de consumo innecesario de energía eléctrica se debe al mal dimensionamiento de las instalaciones eléctricas, o a la sobre carga de éstas. Cuando los conductores eléctricos trabajan más allá de sus límites de corriente permitidos, se calientan, dañándose sus forros y acortándose su vida útil. El calentamiento no sólo es signo de sobrecarga en la capacidad de los conductores, sino que evidencia una pérdida de energía eléctrica debido al denominado efecto joule.

$$P = (I)^2 \times (R)$$

Como puede verse, el efecto Joule relaciona la corriente que circula por el conductor con la resistencia de éste. Si la corriente que circula por un conductor aumenta, o si también la resistencia del conductor lo hace, las pérdidas por el efecto Joule también aumentarán. Generalmente, los fabricantes de conductores elaboran tablas en donde se presenta la resistencia de los distintos conductores, en unidades de  $\Omega / \text{Km}$  para una temperatura de 30 °C. Debido a que la resistencia de un conductor aumenta al aumentar la longitud de éste, el efecto Joule también aumenta. Así, para conocer las pérdidas de potencia por metro de conductor, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$P = \frac{(I)^2 \times (R) \times (L)}{1,000}$$

Para la fórmula anterior, las unidades de la longitud (L) deben estar en metros, la corriente en amperios, y la resistencia en  $\Omega / \text{Km}$ , tal como aparece en las tablas de los fabricantes. De la fórmula anterior también se aprecia que si la resistencia del conductor disminuye, también disminuyen las pérdidas por el efecto Joule; de igual forma, si disminuye la corriente, o la longitud del conductor, también disminuye el efecto Joule. A pesar de lo anterior, disminuir la corriente no siempre es una opción pues

generalmente las cargas poseen una demanda de corriente ya definida; por lo tanto, disminuir la distancia entre las cargas y el tablero eléctrico para disminuir la longitud del conductor, o aumentar el calibre de los conductores utilizados, son las dos únicas alternativas para reducir las pérdidas de potencia por el efecto Joule.

Aunque la pérdida de potencia en los conductores eléctricos es inevitable, lo cierto es que el profesional en electricidad debe procurar diseñar y dimensionar las instalaciones eléctricas para que esas pérdidas sean mínimas. Un valor de hasta 3% de pérdida de la potencia total que conduce el conductor eléctrico se considera aceptable.

### *2.6.2 Dimensionamiento de conductores eléctricos.*

Generalmente cuando se diseña una instalación eléctrica se conocen las características de la carga eléctrica a conectarse, es decir, se conoce la demanda de potencia de la carga y el voltaje de operación de ésta. Dado que se conoce previamente tanto la demanda de la carga a conectarse, como el voltaje nominal al que trabajará ésta, se puede conocer la sección del conductor, aplicando la siguiente fórmula:

$$s = \frac{200 (p) \times (P) \times (L) \times (f.p.)}{(V)^2 \times (e)}$$

Donde:

**s:** Sección transversal del conductor (mm<sup>2</sup>).

**p:** Resistividad del material (Para cobre 1/56; para aluminio 1/35).

**P:** Potencia que demandará la carga (W).

**L:** Longitud del conductor (m).

**f.p.:** Factor de potencia de la carga eléctrica conectada.

**V:** Voltaje nominal al que operará la carga eléctrica (V).

**e:** Porcentaje máximo permisible de caída de voltaje en el conductor.

En la fórmula anterior, el porcentaje máximo permisible de caída de voltaje a lo largo del conductor, no debe exceder el 3% del voltaje nominal. La caída de voltaje en un conductor significa no sólo una pérdida en la potencia total transportada a través de éste, sino que supone condiciones de voltajes deficientes para las cargas eléctricas conectadas a través de él.

Una vez se ha encontrado la sección correcta del conductor para transportar la potencia que demanda la carga eléctrica, se deben afectar este valor por un factor 1.20. Dicho factor considera un crecimiento futuro de la carga de hasta un 20% de su valor actual. Valores mayores a un 20% de crecimiento no son recomendables porque encarecerían innecesariamente la instalación eléctrica, y sólo en el caso de que se conozca previamente que la instalación eléctrica crecerá en el corto plazo en un porcentaje mayor al 20%, se recomienda utilizar porcentajes mayores de crecimiento.

En la siguiente tabla se presentan las secciones transversales de los conductores correspondientes a su calibre según la norma AWG.

SECCIÓN DEL CONDUCTOR (mm <sup>2</sup> )	CALIBRE AWG / KMC
2.08	14
3.31	12
5.26	10
8.37	8
13.30	6
21.15	4
33.62	2
53.59	1/0
67.43	2/0
85.01	3/0
107.20	4/0
127	250
152	300
177	350
203	400
253	500
304	600
355	700
405	800
456	900
507	100

*Tabla 1.2.3*  
Tabla de calibre de conductores y sus secciones transversales.

### ***2.6.3 Desbalance de corriente entre líneas.***

Otra causa muy común de pérdidas de energía en instalaciones eléctricas de baja tensión, es el desbalance de corriente entre las líneas, cuando las instalaciones son monofásicas trifilares o trifásicas. El desbalance entre las líneas puede deberse principalmente a dos razones; la primera debido a un mal diseño, y la segunda debido a un incremento desordenado de la carga.

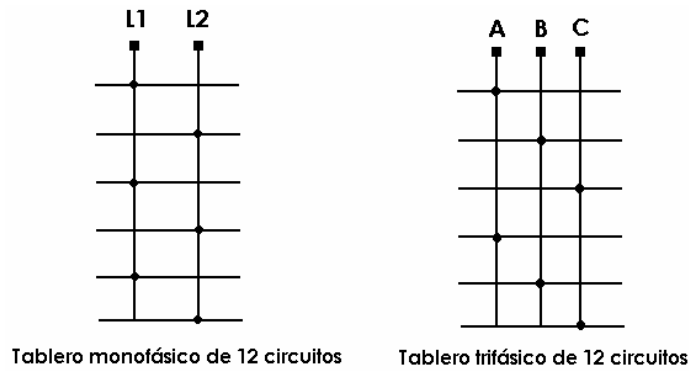
En una instalación monofásica trifilar existen dos líneas vivas (L1, L2), una línea neutro (N), y una línea a tierra (T). Si por L1 circulan 15 A más que por L2, entonces los 15A de desbalance entre L1 y L2 circularán por el neutro. Como se vio con anterioridad, con sólo el hecho de que circule corriente por un conductor, se tienen pérdidas debido a que el conductor posee resistencia; es por ello que al circular corriente por el neutro se tiene una pérdida de potencia eléctrica. La pérdida de potencia por el neutro se puede calcular con las fórmulas antes expuestas, aunque en este caso, tanto la longitud (L), como la resistencia (R) requeridos en la fórmula, deben corresponder al conductor neutro que va desde el tablero hacia el medidor de energía eléctrica

Para corregir este problema, el profesional en electricidad deberá balancear adecuadamente la carga en cada una de las líneas o fases de la instalación, procurando que el desbalance entre estas no sea mayor a 5%. En el caso en que se encuentre con una instalación antigua y deba corregir este problema, el profesional en electricidad deberá medir la corriente por cada línea o fase, y redistribuir las cargas en los tableros eléctricos para balancear las corrientes hasta alcanzar un desbalance no mayor al 5% entre las líneas o fases.

### ***2.6.4 Censo de carga***

Un censo de carga es una herramienta muy útil para diagnosticar una gran cantidad de posibles factores que contribuyen a las pérdidas de potencia en una instalación eléctrica. Un censo de carga consiste básicamente en la identificación de las cargas eléctricas conectadas a cada uno de los circuitos instalados en un tablero eléctrico. Es por esta razón, que todo censo de carga debe comenzar desde la identificación del tablero principal, y los sub-tableros si es que existen.

Los tableros eléctricos, ya sea que éstos sean monofásicos o trifásicos, poseen el un orden específico de sus puntos de conexión. Cada uno de esos puntos, conecta a un terminal directamente conectado a una barra específica dentro del tablero eléctrico. Las barras de los tableros eléctricos se conectan a los conductores de la acometida principal procedentes del medidor de energía eléctrica, a través de bornes especiales, generalmente ubicados en la parte superior de los tableros. El orden de los distintos puntos de conexión en un tablero eléctrico se muestra a continuación:



*Figura 1.2.20*

Orden de conexión a barras de tablero monofásico y trifásico de los puntos de conexión.

Puede verse en las figuras, cómo los puntos de conexión se alterna en su conexión con las barras principales del tablero. Así, según el punto de conexión utilizado, se puede conocer a qué línea está conectado cualquier circuito en particular. Es recomendable que al realizar una instalación eléctrica, se utilicen un código de colores estandarizado para facilitar los futuros censos de carga. De esta manera, se sugiere el siguiente código de colores:

LÍNEA ELÉCTRICA	COLOR CÓDIGO
A, L1	Negro
B, L2	Rojo
C	Azul
RETORNO	Amarillo
NEUTRO	Blanco
TIERRA	Negro

*Tabla 1.2.4*

Código de colores sugerido para las líneas eléctricas.

Como ya se conoce el orden en que están conectados los distintos puntos de conexión en un tablero eléctrico, el siguiente paso es identificar qué circuitos están conectados a cada una de las líneas o fases del tablero. Un circuito está compuesto por una protección eléctrica, los conductores eléctricos, y las cargas eléctricas. La protección eléctrica se conecta al tablero eléctrico a través de uno o más puntos de conexión, dependiendo del número de polos de ésta, es decir, dependiendo de cuántas líneas o fases protege. Por ejemplo, si la protección eléctrica es de un polo, ocupará un punto de conexión, y por lo tanto protegerá una única línea o fase.

Una vez se ha identificado la línea o fase que alimenta un circuito, es necesario rastrear las cargas conectadas a ese circuito en particular. El rastreo de las cargas es una labor engorrosa, dado que si no se tiene un plano eléctrico, se deberá literalmente rastrear por toda la instalación eléctrica las cargas que pertenecen a cada circuito en particular.

Finalmente, cuando se ha terminado la identificación de las cargas eléctricas de los diferentes circuitos, se debe elaborar un cuadro de carga, el cual consiste en la representación de cómo están repartidos los circuitos dentro del tablero eléctrico. También, en el cuadro de carga se presenta información relevante como; el voltaje nominal de los distintos circuitos, la corriente eléctrica demanda por circuito, las características de la protección eléctrica, e información adicional de las cargas eléctricas conectadas a éstas.

DIAGRAMA	ESPACIO	CIRCUITO	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	CORRIENTE			PROTECCIÓN		DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	
					A	B	C	I	Polos		
	1	1	120	1,000	8.33		X	20	1	5 Tomacorrientes	
	3	2	120	6,00		5.00	X	15	1	6 Focos 100 W	
	2	3	120	7,00	5.83		X	15	1	7 Focos 100W	
	4	4	120	1,200		10.0	X	20	1	6 Tomacorrientes	
	CARGA INSTALADA				3,500.00	14.17	15.00	--	Tablero monofásico 4 circuitos		
	CARGA DEMANDADA (F.D.= 0.85)				<b>3,975.00</b>	<b>12.04</b>	<b>12.75</b>	--	Barras 125A, Alimentador: 3 THHN # 8 (L1, L2, N) + 1 THHN # 10 (T)		

*Tabla 1.2.5*  
Cuadro de carga sugerido para un tablero trifásico.

En el cuadro de carga anterior se muestra toda la información relevante del tablero eléctrico monofásico de 4 circuitos, de una instalación eléctrica en una oficina. En este cuadro de carga se incluye un diagrama con la ubicación de los distintos circuitos eléctricos de la instalación, junto con la información de las protecciones eléctricas de éstos. Adicionalmente se presenta información detallada de cada circuito como; el voltaje nominal, la demanda de potencia, la corriente demanda, e información sobre las cargas eléctricas conectadas a cada circuito. En la esquina inferior derecha se presenta información referente al tablero eléctrico y las características de los conductores eléctricos del alimentador, donde se especifica que tres conductores del tipo THHN de calibre # 8 se utilizarán para L1, L2, y el neutro, mientras que un conductor tipo THHN de calibre # 10 se utilizará para la tierra.

Como puede verse en el cuadro de carga, la corriente y la potencia demandada de los distintos circuitos se colocan en las columnas correspondientes. Una vez se ha completado toda la información de los distintos circuitos de la instalación, los valores de la potencia de cada circuito se suman en una casilla llamada carga instalada. La carga instalada es la suma de la potencia total que demandarían las cargas si éstas operaran de forma simultánea. Sin embargo, en la realidad, las cargas eléctricas rara vez operan simultáneamente, mas bien, operan según se necesitan que lo hagan. Por ejemplo, en una oficina típica, los tomacorrientes de las computadoras trabajan simultáneamente, mientras que los tomacorrientes destinados a las máquinas dispensadoras de agua, cafeteras, entre otros, no lo hacen. Lo mismo ocurre con las luminarias, mientras que las luminarias de las áreas de trabajo trabajan simultáneamente, las luminarias de baños y bodegas, no. Es debido a este hecho, que la carga instalada, se afecta por un factor llamado factor de demanda (F.D.), el cual presupone el porcentaje de la carga que operará simultáneamente. Este factor es elegido por el diseñador de la instalación eléctrica, y se selecciona con base a las características de las cargas, el tipo de actividad que se realiza en el lugar donde están instaladas las cargas, entre otros.

A pesar que el factor de demanda queda a discreción del diseñador, su valor no puede ser inferior a 0.70, según la normativa de las distribuidoras en nuestro país. Cuando a la carga instalada se le afecta con el factor de demanda, se obtiene la llamada carga demandada, la cual es la que se toma en cuenta para realizar contratos de suministro de energía eléctrica con las distribuidoras.

Finalmente, tanto el tablero eléctrico, como los conductores alimentadores, deben dimensionarse con los valores de la carga instalada, y con base en los criterios de dimensionamiento anteriormente expuestos. Para facilitar la selección de los conductores se presenta la siguiente tabla con las ampacidades de los conductores de cobre de tipo THHN. Tanto el material del conductor como las características de su forro aislante determinan el tipo de conductor. El forro de conductor es el factor principal que determina las condiciones a las que puede ser sometido el conductor sin deteriorarse. Para conocer las características de los distintos forros de los conductores se recomienda consultar los manuales de los fabricantes de éstos. La selección adecuada de un tipo de conductor alargará su vida útil, y de igual forma, asegurará la operación segura de éstos.

<b>Ampacidad de conductor eléctrico tipo THHN, 90 °C</b>		
<b>CALIBRE AWG / KMC</b>	<b>CONDUCTORES EN CANALIZACIÓN O ENTERRADOS</b>	<b>CONDUCTORES EN EL AIRE</b>
14	25	30
12	30	40
10	40	55
8	50	70
6	70	100
4	90	135
2	120	180
1/0	155	245
2/0	185	285
3/0	210	330
4/0	235	385
250	270	425
300	300	480
400	360	575
500	405	660
1000	585	1000

*Tabla I.2.6*

Tabla de ampacidad de conductores eléctricos tipo THHN 90 °C, para una temperatura ambiente de 30 °C.

CAPÍTULO II

***EL PLIEGO TARIFARIO***

Este capítulo contiene los siguientes temas:

## **II.1 Actores en el sistema eléctrico nacional**

### II.1.1 Ley General de electricidad

II.1.1.1 La Unidad de Transacciones y el Mercado Eléctrico

II.1.1.2 Los Participantes del Mercado Eléctrico

### II.1.2 LA CURVA DE CARGA.

II.1.2.1 Medidor de Energía (KWH).

II.1.2.2 Bases para medidores:

II.1.2.3 Diagramas de conexión:

II.1.2.4 Medidores Horarios.

II.1.2.5 Monitoreo en tiempo real.

II.1.2.6 Sistemas de comunicación.

II.1.2.7 Conexiones.

## **II.2 Los componentes tarifarios**

### II.2.1 Lectura de la factura eléctrica

II.2.1.1 Tipos principales de cargos

II.2.1.2 Cargos varios y penalización.

II.2.1.3 Metodología para mejorar el factor de potencia.

### II.2.2 Compensación de reactivos

II.2.2.1 Instalación de banco de capacitores

### II.2.3 Recomendaciones y técnicas para el uso favorable del pliego tarifario

II.2.3.1 Unificación de la medición del consumo de energía eléctrica

II.2.3.2 Ubicación de la medición para servicios a media tensión

II.2.3.3 Cambio de horarios de producción y operación

## 1. Actores en el sistema eléctrico nacional

La energía eléctrica es uno de los recursos más importantes para la mayoría de las empresas a nivel nacional, y su importancia no sólo radica en que la mayoría de actividades productivas utilizan aparatos eléctricos para su realización, sino que aun las actividades más sencillas en el hogar serían más complicadas sin ésta. Empresas de rubros tan disímiles como un despacho de abogados y una fábrica de ropa, utilizan en la mayoría de sus operaciones energía eléctrica. Es por ello que es importante conocer quiénes son los involucrados en hacer llegar la energía eléctrica hasta las distintas empresas y hogares en nuestro país.

### 1.1 LA LEY GENERAL DE ELECTRICIDAD

A mediados de la década de los 90, y en el marco del ajuste estructural del Estado salvadoreño, se crea la LEY GENERAL DE ELECTRICIDAD con el objetivo de reformar el sector eléctrico nacional y promover entre otras cosas:

- Reducciones en las tarifas eléctricas dado el grado de competencia entre los diferentes actores del mercado.
- Incremento en la cobertura.
- Mejoras en la calidad del servicio a través de inversión en nueva tecnología.
- Liberar al gobierno de la gravosa carga fiscal que suponían las empresas eléctricas en el pasado.

La Ley General de Electricidad, establece creación de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) como el ente responsable del cumplimiento de ésta. La aplicación de esta ley tiene como objetivos:

- El desarrollo de un mercado competitivo en la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en El Salvador.
- El libre acceso de los generadores a las instalaciones de transmisión y distribución con las limitaciones señaladas en la legislación.
- Uso racional y eficiente de los recursos.
- Fomento al acceso del suministro de energía eléctrica para todos los sectores de la población.
- Protección de los derechos de los usuarios y de todas las entidades que desarrollan actividades dentro del sector.

### ***1.1.1 La Unidad de Transacciones y el Mercado Eléctrico Nacional***

Como parte de la reforma al sector eléctrico y en conformidad con la Ley General de Electricidad, se crea la Unidad de transacciones (UT) con el objeto de ser una entidad reguladora del Mercado Eléctrico, y entre sus principales funciones están:

- Operar el sistema de transmisión, mantener la seguridad del sistema y asegurar la calidad de los servicios y suministros.
- Operar el mercado mayorista de energía eléctrica.

Adicionalmente, la UT administra las transacciones internacionales, las cuales actualmente se realizan con Guatemala y Honduras.

Otra entidad participante en el sector eléctrico es el Mercado Mayorista de Electricidad de El Salvador (MME), y tiene como objetivo principal posibilitar un ambiente de eficiencia y competitividad para el desarrollo de las transacciones de energía a través del sistema de transmisión nacional. Este mercado es operado por la UT, y permite que participen directamente en las transacciones de energía eléctrica todos los Participantes del Mercado (PM) que tengan una conexión directa con el sistema de transmisión. Estos PM pueden ser generadores, distribuidores o usuarios finales. También existe la posibilidad para que otros agentes que no tienen conexión directa con la red de transmisión puedan participar indirectamente en Mercado, pero bajo la figura de comercializadores.

El Mercado Mayorista de Electricidad actualmente posee dos instancias para realizar los intercambios de energía:

MERCADO DE CONTRATOS (MC): Este mercado se basa en transacciones declaradas entre dos PM, negociadas libremente entre ellos y en las cuales únicamente indican a la UT las cantidades de energía que intercambiarán en cada hora. Estas transacciones son despachadas de acuerdo a lo declarado, a menos que la UT determine que afectan las condiciones de calidad y seguridad establecidas. Del conjunto de las transacciones aceptadas se prepara el Despacho Programado.

MERCADO REGULADOR DEL SISTEMA (MRS): Su objetivo principal es mantener en todo momento el balance entre la oferta y la demanda de energía eléctrica. Este mercado funciona sobre la base de las oferta de incremento o decremento de las cantidades de energía incluidas en el Despacho Programado. Los generados que tienen excedentes de energía eléctrica, no comprometida en contratos, pueden presentar ofertas incrementales de la potencia disponible; los compradores de energía eléctrica que tienen demanda no cubierta en contratos pueden presentar ofertas decrementales para adquirirla en el MRS. De la misma forma, los generadores pueden presentar ofertas decrementales para reducir su producción si existen fuentes más baratas a las disponibles en el MRS. El punto de equilibrio entre la suma de la oferta y la suma de la demanda en el MRS fija el precio de dicho mercado en cada hora, según el resultado de la operación real.

### ***1.1.2 Los Participantes del Mercado Eléctrico***

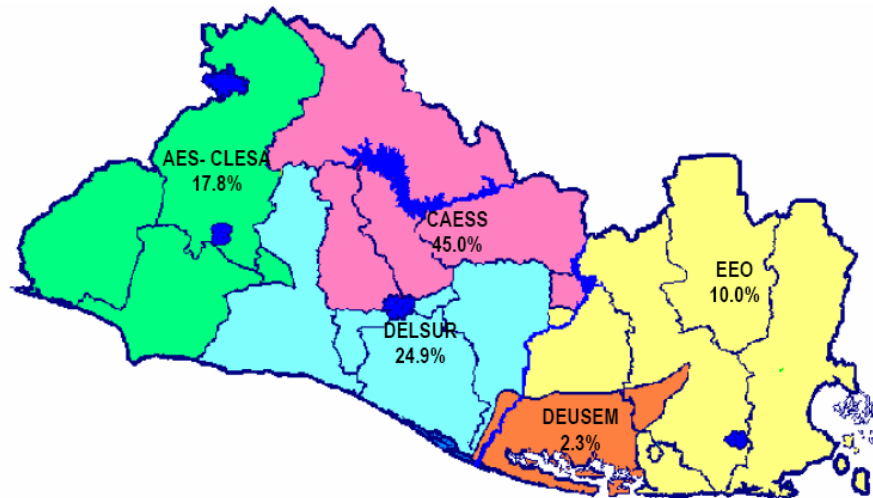
Como se mencionó con anterioridad, existen distintos agentes que interactúan dentro del Mercado Eléctrico nacional, y es gracias a éstos que la energía eléctrica llega hasta los usuarios finales. Los distintos Participante del Mercado, y sus roles se describen a continuación:

**GENRADORA**: Es la entidad poseedora de una o más centrales de producción de energía eléctrica, la cual comercializa su producción en forma total o parcial.

**TRANSMISORA**: Es la entidad encargada de poseer las instalaciones destinadas al transporte de la energía eléctrica en redes de alta tensión, la cual comercializa sus servicios.

**COMERCIALIZADORA**: Es la entidad que compra la energía a otros operadores con el objeto de revenderla.

**DISTRIBUIDORA**: Es la entidad poseedora y operadora de instalaciones, cuya finalidad es la entrega de energía eléctrica en redes de media y baja tensión.



*Figura II.1.1*

En figura se muestran las distintas zonas en que las diferentes distribuidoras de energía eléctrica prestan sus servicios.

Existen diversas formas en que los usuarios finales pueden obtener el suministro de la energía eléctrica, entre las cuales están:

1. Directamente a partir de uno o varios generadores.
2. A través de un distribuidor que compre la energía a uno o varios generadores.
3. A través de un comercializador, el cual puede negociarla de tres formas:
  - a. Directamente con los generadores.
  - b. A través de los distribuidores.
  - c. En el Mercado Mayorista
4. En el mercado minorista, en el que se incluyen las pequeñas centrales hidroeléctricas.

La forma en que se le suministra la energía a los usuarios finales depende principalmente del consumo de energía eléctrica que éstos tengan, por lo cual, algunas de éstas formas de suministro podrían no aplicar para la mayoría de pequeñas y medianas empresas.

**1.2 LA CURVA DE CARGA.**

En forma general, los usuarios de un sistema de distribución de energía eléctrica se pueden clasificar en sectores: Industriales, gubernamentales, residenciales, comerciales y de servicios. Las características particulares de consumo de cada uno de ellos son distintas; así, un usuario de tipo industrial que posea motores tendrá un consumo elevado de energía eléctrica y una demanda de ésta casi constante a lo largo del día; por otro lado, un usuario de tipo residencial tendrá un consumo mucho inferior al industrial y su demanda de energía será mayor durante la noche.

Debido a estas particularidades de la demanda por sectores, en El Salvador el consumo de energía eléctrica varía constantemente a lo largo del día, del mes, y del año. Esta demanda de energía eléctrica, sumada a la pérdidas en los sistemas de transmisión y distribución de la misma, constituyen la carga total del sistema eléctrico nacional. La representación gráfica de la demanda a lo largo del día se denomina Curva de Carga, y su comportamiento incide directamente en la facturación de los usuarios.

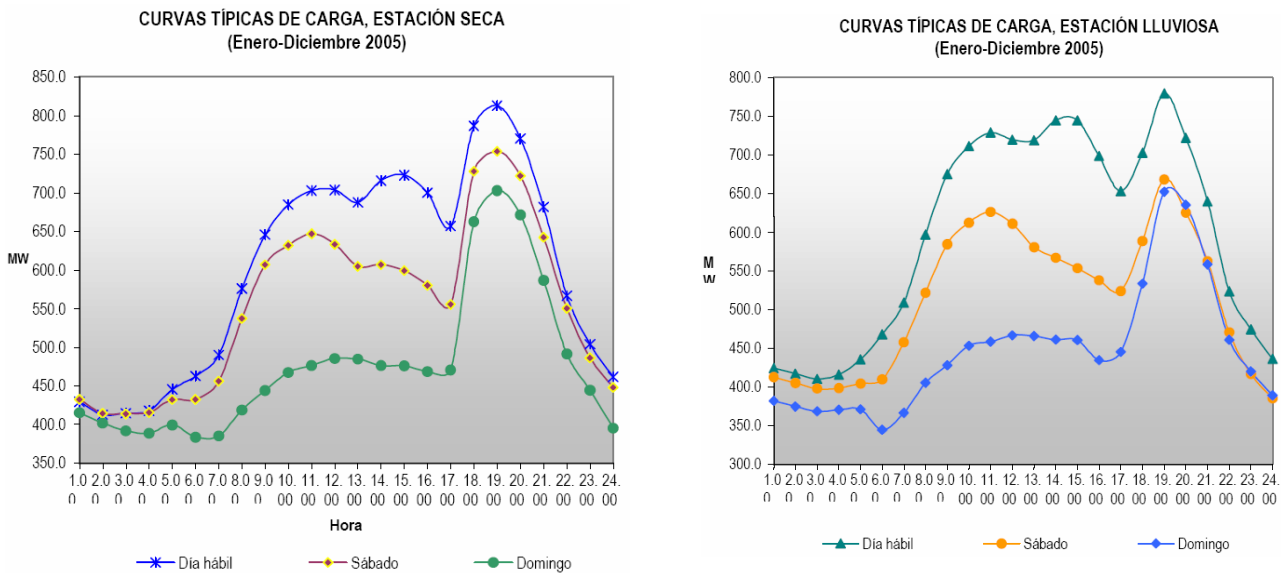


Figura II.1.2

En la gráfica de la izquierda se muestra la curva típica de carga para un día de la estación seca, en la derecha la curva típica para un día de la estación lluviosa.

De las características de la curva de demanda se desprenden tres horarios de facturación en los cuales las tarifas aplicadas al consumo dentro de los mismos varían. Los tres horarios de facturación, así como sus intervalos se describen a continuación:

- PUNTA: Comprende de las 18:00 a las 22:59 horas
- VALLE: Comprende de las 23:00 a las 04:59 horas
- RESTO: Comprende de las 05:00 a las 17:59 horas

Las tarifas aplicadas a cada uno de los horarios varían constantemente debido a las interacciones en el mercado eléctrico y algunos agentes externos como temporadas de sequía, alza en los precios del petróleo, entre otras. Los ajustes a la tarifas por el consumo de energía eléctrica, según la Ley General de Electricidad, se realizan semestralmente.

#### **1.2.1 Medidor de Energía (KWh).**

Antes de conocer como es el funcionamiento de un "Contador de Energía" es importante poner en claro la diferencia existente entre la demanda (KW) y la energía (KWh); la primera se refiere a una cantidad instantánea y la segunda se refiere a una cantidad que involucra tiempo a lo largo del cual la potencia (KW) han sido aplicada. La energía equivale al valor promedio de la demanda multiplicado por el tiempo en el que permaneció la demanda, así cuando se hace necesario realizar una medición de energía el instrumento debe medir una cantidad de potencia usada durante un periodo de tiempo.

La unidad básica de la energía es el waththora, y el instrumento utilizado para medir es llamado medidor waththora. Para tener mas claro el concepto podemos acudir a un ejemplo equivalente, el cual comparar un medidor de waththora con un velocímetro de vehiculo, el velocímetro marca los kilómetros por hora a los cuales marcha el automotor 80 Kmt/h y transcurrido un tiempo muestra los kilómetros recorridos durante el vehiculo estuvo en marca, es decir, si el auto se desplaza a una velocidad de 80 Kmt/h; durante 2 horas, este recorrido una distancia total de 160 Kmt. Así mismo un medidor de waththora que ha registrado 1000 watt hora durante un periodo de 2 horas, es porque estuvo presente una demanda de 500 watts durante todo ese tiempo.

Básicamente un medidor de wathhora electromecánico sólo se encarga de contar energía (KWh); esto lo hace con la ayuda de un motor, el cual es impulsado por un torque que es proporcional a la potencia que fluye a través de el; además cuenta con un freno magnético para retardar la velocidad del motor, este es proporcional a la potencia (haciendo que el freno sea proporcional a la velocidad del motor), esto para evitar que cuente energía debido a la inercia del disco.

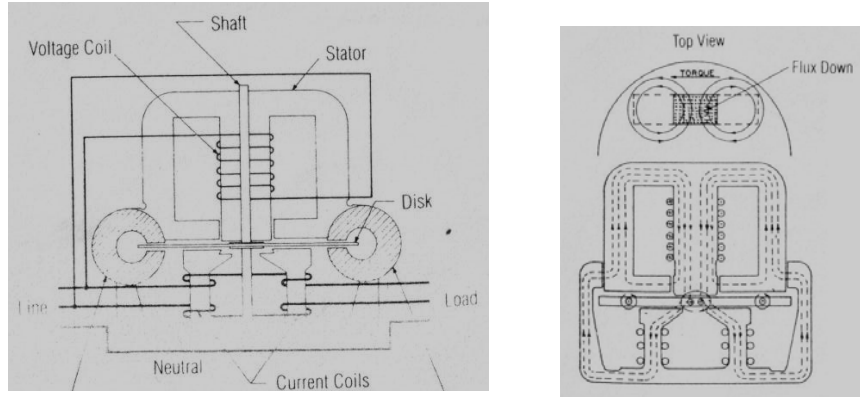


Figura II.1.3

Rotor y estator de un medidor electromecánico con bobinas de excitación.

Los medidores con estas características cuentan con un contador de revoluciones de tal forma que este puede cuantificar la energía consumida mediante una relación electromecánica, el disco giratorio se encarga de hacer girar un juego de 5 engranes los cuales representan 5 cifras significativas para cuantificar el consumo de energía, cada uno de los engranajes guardan una relación de 10:1 es decir que por cada 10 revoluciones del engrane de la cifra menos significativas hace girar una revolución del engrane inmediato superior y así sucesivamente.

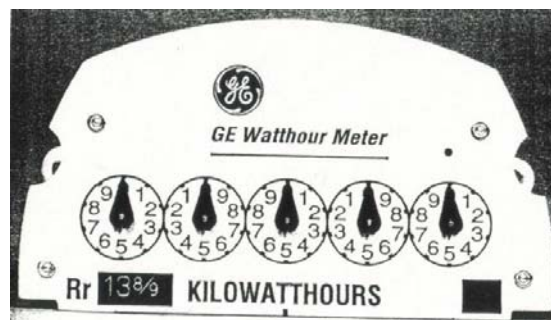


Figura II.1.4

Registrador de un medidor de potencia electromecánico de 5 dígitos.

Las lecturas se cuentan de izquierda a derecha, tomando en cada uno de ellos el número inmediato inferior.

El principio de funcionamiento de estos dispositivos consta en hacer girar un disco en el cual su velocidad es proporcional al troqué aplicado y el torque aplicado es proporcional a la cantidad de potencia que circula a través de ellos.

A continuación se presenta como se encuentran distribuidas las bobinas de excitación, el registrador, el disco giratorio, el sistema de retardo magnético (freno de inercia).

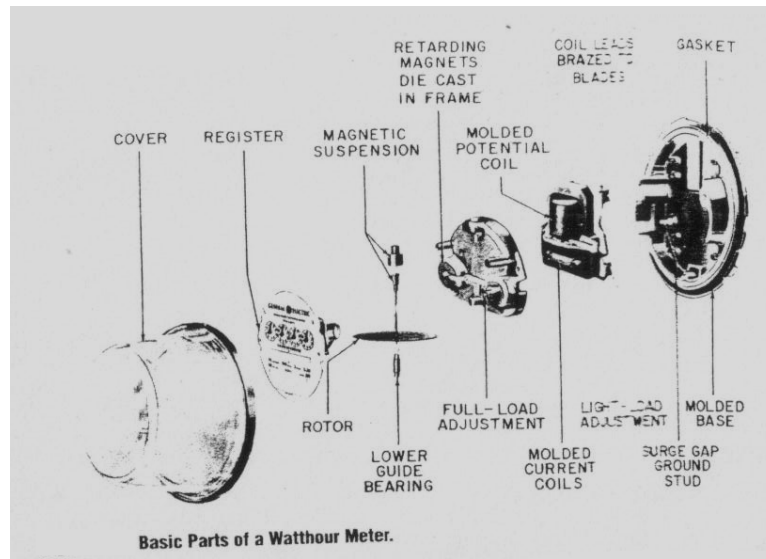


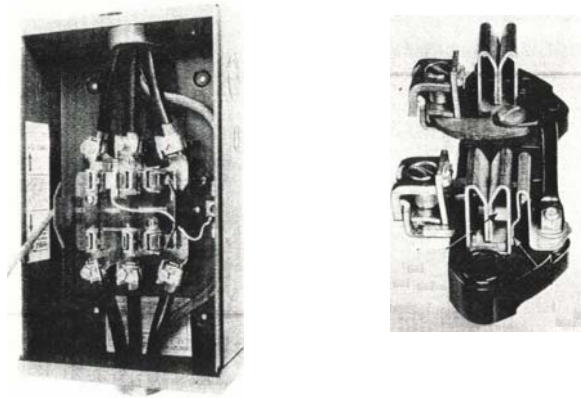
Figura II.1.5

Medidor electromecánico con todos sus componentes.

Al circular energía eléctrica a través de este dispositivo, se generan campos magnéticos los cuales de acuerdo a su magnitud, logran aplicar un torque en el disco giratorio que lo hace girar o acelerar, el cambio de velocidad del disco es proporcional a la cantidad de corriente que pasa a través de él; existe un límite de corriente para el cual puede conducir un medidor de esta naturaleza sin ningún inconveniente; este es de 200 A, todas las corrientes que estén por debajo de este valor el dispositivo podrá realizar lecturas directas, sin embargo los valores de corriente que sobrepasen este límite, deberán de instalarse transformadores de corriente, estos elementos se encargan de reducir los niveles de corriente que circulan dentro de el medidor, obviamente, los torques que generaran las magnitudes de corriente que provienen de transformadores de corriente serán mucho menor a que si pasase por el la "In"; por lo que es necesario ajustar el valor de la lectura por un factor de corrección, el cual depende de la capacidad de los transformadores instalados.

**1.2.2 Bases para medidores:**

Este tipo de equipos poseen una forma estándar de instalación y conexión, básicamente se guían por códigos con los que se describen sus bases (9S, 14S, 16S 26S). Las bases de medidores brindan dispositivos integrado de seguridad, tal es el caso que existen bases que una vez retirado el medidor automáticamente cortocircuita las terminales de los transformadores de corriente con el objeto de evitar que se dañen los TC'S. A continuación se presenta la forma de una base típica par este tipo de medidores.

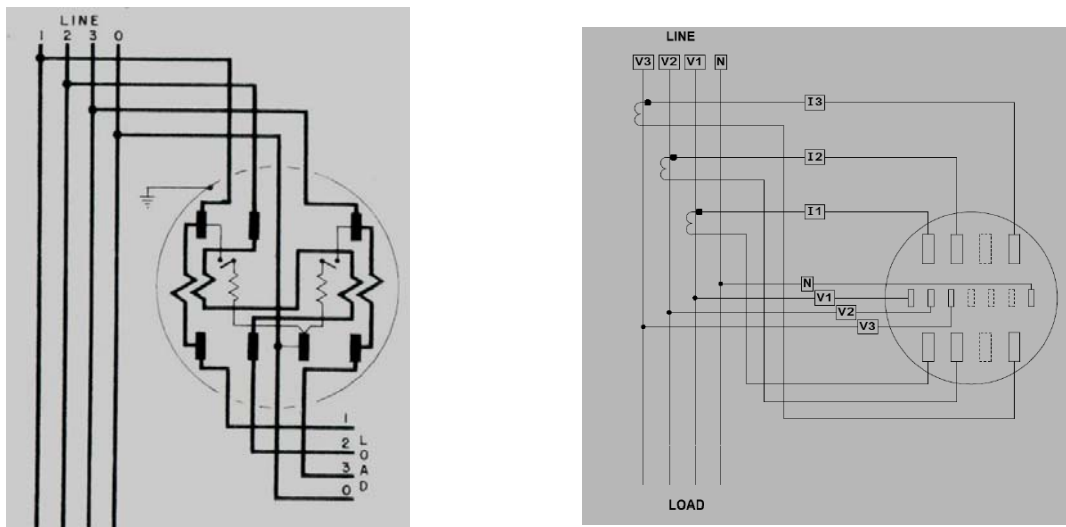


*Figura II.1.6*

Base estándar tipo 9S para medidor de energía.

**1.2.3 Diagramas de conexión:**

A continuación se presentan los diagramas de conexión para medidores sin transformador de corriente y con los transformadores de corrientes.



*Figura II.1.7*

En la izquierda una conexión directa al sistema, a la derecha, una conexión a través de TC's

1.2.4 Medidores Horarios.

A diferencia de los medidores electromecánicos, los medidores horarios son mas precisos y son capaces de monitorear muchas mas variables.

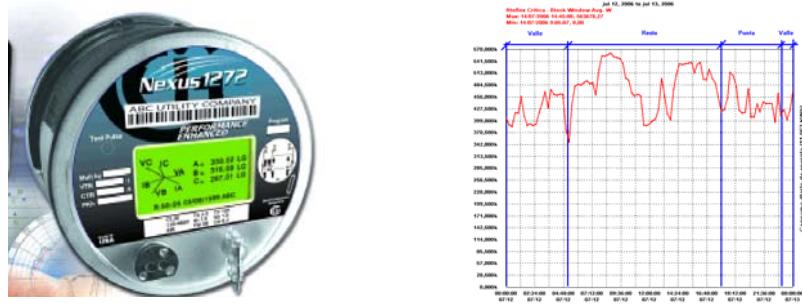


Figura II.1.8

Medidor horaria con capacidad de registrar formas de onda.

Además son capaces de almacenar registros en unidades de memoria que les permite cuantificar el consumo en las diferentes tarifas horarios (punta, resto, valle).

La medición de potencia y energía la realiza en base a operaciones aritméticas de dos variables que se podrían considerar como materia prima; estas son la corriente y el voltaje.

$$V_{RMS_x} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n v_{x(t)}^2}{n}} \quad I_{RMS_x} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n i_{x(t)}^2}{n}}$$

A partir de estos dos valores pueden obtener las potencias con la ayuda de operaciones tales como.

$$VA_x = V_{RMS_{xV}} \bullet I_{RMS_x}$$

Estos medidores son capaces de de cuantificar el ángulo de desfase entre la forma de onda de la corriente y forma de onda de voltaje, conociendo de esta manera el factor de potencia; con estos datos pueden conocer el factor de potencia y por tanto la potencia real y reactiva del sistema. Utilizando las siguientes formulas:

$$VAR_x = \sqrt{VA_x^2 - Watt_x^2} \quad PF_x = \frac{Watt_x}{VA_x}$$

De igual forma con operaciones e integraciones matemáticas pueden cuantificar el consumo de energía real (KWh), Aparente (KVAh) y Reactiva (KVARh).

Los valores de voltaje y corriente son rms, y esto son calculados en cada instante e integrados cada 1 segundo o cada .1 segundo y de esta manera poder conocer toda los factores antes mencionados con precisiones superiores al 0.2% de error. Entre otros variables que puede registrar un medidor de esta naturaleza son:

Line	Point	Description
34	0	One Second Phase to Neutral Volts: Volts AN
34	1	One Second Phase to Neutral Volts: Volts BN
34	2	One Second Phase to Neutral Volts: Volts CN
35	0	One Second Auxiliary Volts: V Aux
36	0	One Second Current (A, B, C): IA
36	1	One Second Current (A, B, C): IB
36	2	One Second Current (A, B, C): IC
37	0	One Second Measured N Current: I Nm
38	0	One Second Calculated N Current: I Nc
39	0	One Second Phase to Phase Volts: Volts AB
39	1	One Second Phase to Phase Volts: Volts BC
39	2	One Second Phase to Phase Volts: Volts CA
40	0	One Second VA (A, B, C): VA A
40	1	One Second VA (A, B, C): VA B
40	2	One Second VA (A, B, C): VA C
41	0	One Second VA Total: VA Total
42	0	One Second VAR (A, B, C): VAR A
42	1	One Second VAR (A, B, C): VAR B
42	2	One Second VAR (A, B, C): VAR C
43	0	One Second VAR Total: VAR Total
44	0	One Second Watts (A, B, C): Watts A
44	1	One Second Watts (A, B, C): Watts B
44	2	One Second Watts (A, B, C): Watts C
45	0	One Second Watts Total: Watts Total
46	0	One Second Frequency: Frequency
47	0	One Second Power Factor (A, B, C): PF A
47	1	One Second Power Factor (A, B, C): PF B
47	2	One Second Power Factor (A, B, C): PF C
48	0	One Second Power Factor Total: PF Total

Tabla II.1.1

Gama de variables eléctricas medidas por un medidor horario.

### 1.2.5 Monitoreo en tiempo real.

Este tipo de medidores son capaces mostrar información en tiempo real a través de un sistema operativo.

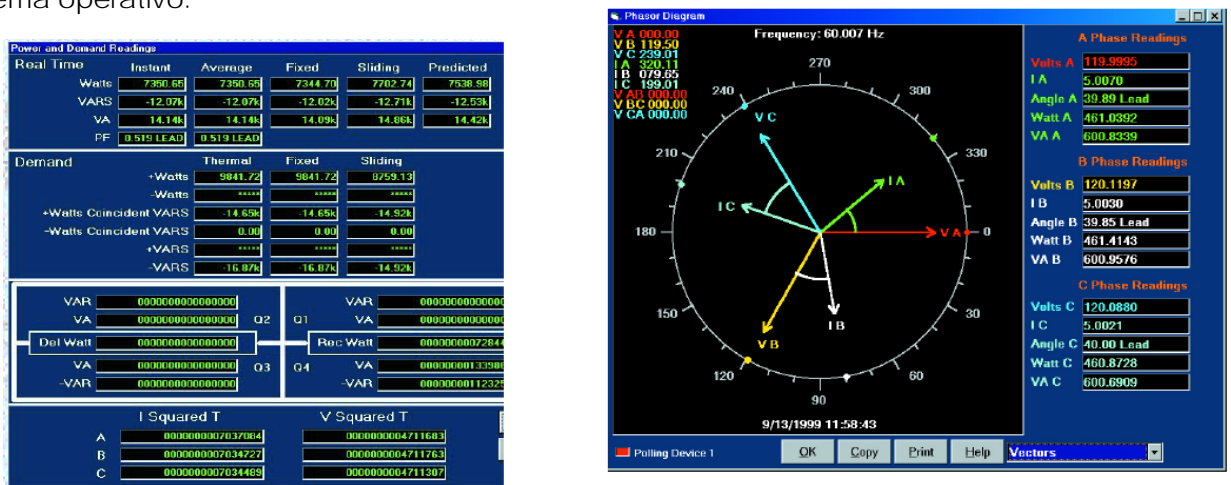
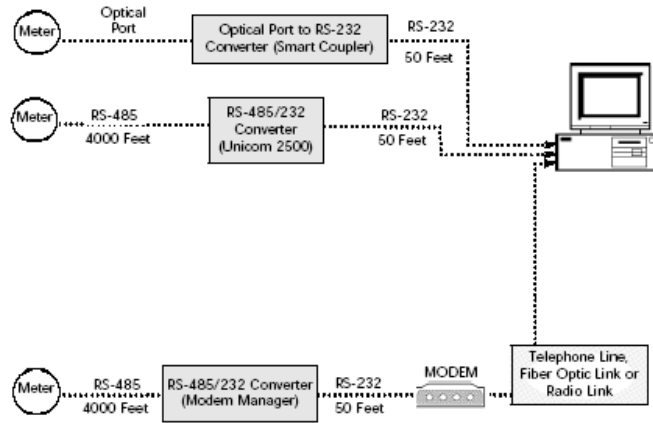


Figura II.1.9

Información en tiempo real

**1.2.6 Sistemas de comunicación.**

Este tipo de medidores cuenta con una amplia gama de comunicación que les permite una comunicación local con señales RS485, comunicación remota con MODEM y con DNP 3 en Ethernet.



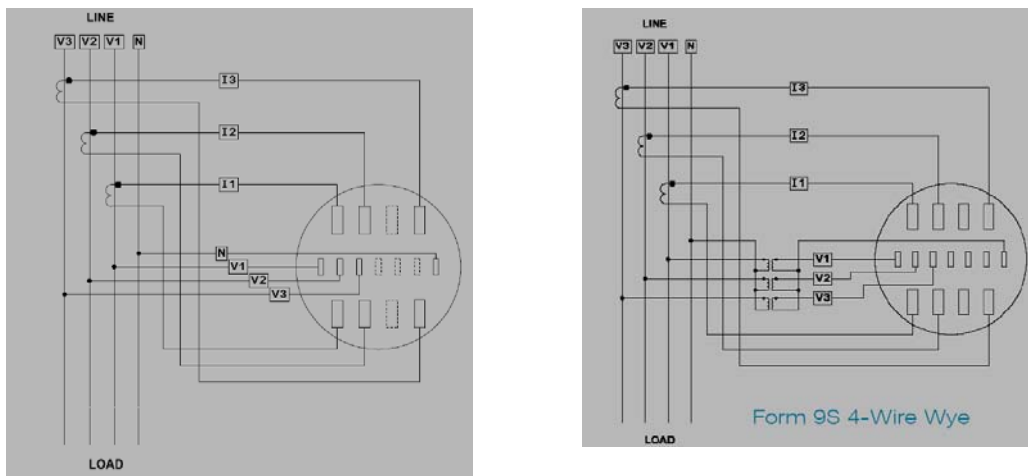
*Figura II.1.10*

*Interconexión del medidor a través de PC.*

**1.2.7 Conexiones.**

Debido al tipo de dispositivos electrónicos que lo conforman, este tipo de medidor no es capaz de soportar una circulación de corriente de 200 A. por lo que todas las conexiones incluyen transformadores de corriente, los cuales se encargan que dentro del medidor circulen corrientes de hasta 5 A, máximo.

Al igual que los medidores electromecánicos, estos tienen formas estándares para conectarse a bases 9S y 36S.



*Figura II.1.11*

*A la izquierda se muestra una medición en baja tensión utilizando solamente transformadores de corriente; a la derecha se muestra una medición en media tensión utilizando transformadores de voltaje y corriente.*

## 2. Los componentes tarifarios

Se denomina pliego tarifario a la publicación de todas las tarifas aplicada al consumo de energía eléctrica que aplican las distintas distribuidoras. Estas tarifas son aprobadas por la SIGET y son válidas durante un semestre hasta el siguiente ajuste semestral de las tarifas según se establece en la Ley General de Electricidad.

Las distintas aplicaciones del pliego tarifario en la facturación del consumo de energía eléctrica para los usuarios se tratan a continuación en este apartado.

### 2.1 LECTURA DE LA FACTURA ELÉCTRICA

La correcta lectura de la factura eléctrica permite conocer las características del consumo de ésta, además que puede ser una herramienta muy útil a la hora de identificar las posibles áreas en que se puede ahorrar energía eléctrica. En este apartado se presentan los diferentes que cargos que afectan la facturación.

Primeramente es importante definir algunos conceptos a fin de entender claramente cada uno de los componentes de la facturación de la energía eléctrica, y la forma en que inciden en el monto final de ésta.

**CAPACIDAD DE SUMINISTRO:** Se refiere a la demanda contratada en el contrato de suministro concertado entre el proveedor y el usuario de energía.

**TARIFA:** Dependiendo del consumo pactado entre ambas partes y el voltaje de suministro de la energía, se determina la tarifa que se aplicará al usuario. Los parámetros de clasificación de los usuarios en las distintas categorías tarifarias se muestran a continuación:

- Según la potencia demanda:
  - Pequeñas demandas: Hasta 10kW.
    - i) Residencial con consumo  $\leq$  200KWh
    - ii) Residencial con consumo  $>$  200KWh
    - iii) Residencial de uso general
    - iv) Alumbrado público

- Medianas demandas: Mayores de 10KW y hasta 50KW.
  - i) Baja tensión con medidor electromecánico
  - ii) Media tensión con medidor electromecánico
  - iii) Baja tensión con medidor horario
  - iv) Media tensión con medidor horario
  
- Grandes demandas: Mayores a 50KW.
  - i) Baja tensión con medidor horario
  - ii) Media tensión con medidor horario
  
- Según el nivel de voltaje suministrado:
  - Baja tensión: Voltaje hasta 600V.
  - Media Tensión: Voltajes mayores a 600V hasta 115,000V.

Las tarifas difieren para cada categoría tarifaria, por lo es importante conocer en qué categoría se encuentra el usuario en cuanto a su consumo; en este sentido la clasificación está sujeta al consumo de energía y el usuario no puede seleccionar a qué clasificación tarifaria pertenecer, a menos que incremente o decremente su demanda de energía eléctrica.

De la misma forma, las tarifas para suministro de energía a baja y media tensión son diferentes, por lo que se deberá evaluar a que voltaje es más conveniente solicitar el suministro de la energía eléctrica.

PERÍODO FACTURADO: Es el período de días a los que corresponde al cobro hecho en la factura de energía eléctrica. Debe tenerse especial cuidado si dentro del período de la facturación existe un ajuste a la tarifa, cambio de precio, o aplicación de un subsidio.

### **2.1.1 Tipos principales de cargos.**

En general, dentro de las facturas de energía eléctrica se pueden identificar tres grandes tipos de cargos, los cuales se listan a continuación:

- Cargos fijos
  - Cargo por comercialización o cargo por atención al cliente (\$/mes).
  - Cargo fijo por uso de la red (\$/KWh)
  
- Cargos variables
  - Cargo por consumo de energía (\$/KWh).
  - Cargo variable por uso de la red (\$/KWh) ó (\$/KW)
  
- Cargos varios y penalizaciones
  - Penalización por bajo factor de potencia.
  - Cargo por alquiler de transformador.
  - Cargo por compensación de energía no servida.

#### **a) Cargos fijos**

Los cargos fijos aplicados a la facturación son invariables y no dependen de la energía consumida por el usuario. Los dos tipos de cargos fijos que existen se detallan a continuación.

#### CARGO POR COMERCIALIZACIÓN O POR ATENCIÓN AL CLIENTE

Este cargo se aplica al consumidor debido a gastos administrativos en que deben incurrir las distribuidoras en la atención de los clientes y otros servicios que proporcionan.

#### CARGO FIJO POR USO DE LA RED

Este cargo es aplicado a usuarios con medianas y grandes demandas, y depende de la capacidad de suministro, así, un usuario con una capacidad de suministro contratada de 200KW pagará una cantidad mayor por uso de la red, que un usuario que ha contratado 100KW. Este cargo es menor si el suministro de la energía se realiza en media tensión, por lo que se recomienda que para medianos y grandes consumidores, el suministro de energía eléctrica se realice en media tensión.

**b) Cargos variables**

Los cargos variables dependen del consumo de energía durante el período de facturación. Los dos tipos de cargos variables que existen se detallan a continuación.

CARGO VARIABLE POR USO DE LA RED

Este cargo sólo es aplicado a los usuarios con pequeñas demandas, y es proporcional a la energía consumida dentro del periodo de facturación. Este cargo menor cuando el suministro se realiza en media tensión.

CARGO POR CONSUMO DE ENERGÍA

Este cargo es aplicado tanto a los usuarios con medianas demandas como a aquellos con grandes demandas. En su aplicación, si el usuario posee medidor horario, e independientemente del nivel de voltaje con que se suministra la energía eléctrica, se aplica una tarifa horaria diferenciada. Los diferentes horarios tarifarios son PUNTA, VALLE y RESTO, correspondiendo una tarifa diferente a cada uno. En este cargo, al igual que en el caso del cargo variable por uso de la red, las tarifas aplicadas son menores cuando el suministro de la energía se realiza en media tensión.

**2.1.2 Cargos varios y penalizaciones**

En la facturación de energía eléctrica existen algunos cargos y penalizaciones que afectan el monto facturado a los usuarios finales. Los más relevantes son los que se listan a continuación:

- a) Penalización por Bajo Factor de Potencia.
- b) Cargo por alquiler de transformador.
- c) Cargo por compensación de energía no servida

**a) Bajo Factor de Potencia**

Se denomina Factor de Potencia a la relación que existe entre la potencia Activa (W) y la potencia aparente (VA). Dicho factor es una característica de la energía demanda de cada usuario, y depende principalmente de las característica de los equipos eléctricos que el usuario utiliza. Aparatos bombas, equipos de refrigeración, transformadores, aires acondicionados, balastos de algunas luminarias, y en general todos aquellos equipos que utilicen motores, afectan negativamente al factor de potencia. Las causas principales de un bajo factor de potencia son las siguientes:

- Existencia de una gran cantidad de motores o equipos que los contengan en la instalación.
- Subutilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, debido al mal dimensionamiento de los equipos y/o deficiente operación de los mismos.
- Mal estado físico de la red eléctrica o de los equipos electromecánicos de la instalación.

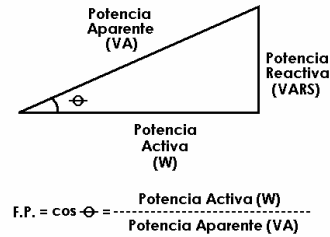


Figura II.2.1

En la gráfica se muestra el triángulo de potencia, donde se observa la relación entre los distintos tipos de potencia.

El hecho que un usuario tenga un bajo factor de potencia en su demanda de energía causa inconveniente a ambas partes, consumidor y distribuidora. Los inconvenientes para cada uno de ellos son los siguientes:

#### CONSUMIDOR

- Aumento de la corriente demanda.
- Pérdidas en los conductores y caídas sensibles de la tensión eléctrica.
- Incrementos de la potencia demanda a transformadores, plantas de emergencia, y en general a toda la instalación.
- Reducción de la capacidad de conducción de corriente de los conductores.
- Aumento en la temperatura de los conductores, lo cual disminuye la vida útil de su aislamiento.
- Aumento en la facturación de energía eléctrica.

#### EMPRESA DISTRIBUIDORA

- Mayor inversión en equipos de generación, transporte y transformación de la energía eléctrica.
- Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, lo cual afecta la estabilidad de las redes eléctricas.

En la Ley General de Electricidad se establece que los contratos de suministros deberán incluir recargos cuando el Factor de Potencia (FP) Inductivo sea inferior a 0.90. El recargo por bajo factor de potencia dependerá del valor del factor de potencia y el consumo energético registrado, de la siguiente manera:

- Si el factor de potencia sea mayor o igual a 0.75 y menor que 0.90, el cargo por energía será aumentado en 1% por cada centésima que el FP sea inferior a 0.90.
- Si el factor de potencia sea igual o mayor a 0.60 y menor que 0.75, el cargo por energía será aumentado en 15% más el 2% por cada centésima que el FP sea inferior a 0.75.
- Si el factor de potencia fuese inferior a 0.60, la distribuidora, previa notificación, podrá suspender el suministro hasta que el usuario final adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite.

**b) Cargo por alquiler de transformador**

En algunos casos es necesario instalar transformadores de medición para poder cuantificar el consumo de energía de un usuario, sobre todo cuando la medición del consumo de energía se realiza en el lado media tensión. En estos casos, y cuando los transformadores de medición son propiedad de la empresa distribuidora, ésta cobra un recargo por alquiler de éstos. Este recargo puede evitarse si los transformadores de medición son adquiridos por el usuario, quién luego de un tiempo razonable amortiza el costo de la compra de los transformadores.

**c) Cargo por compensación de energía no servida**

En el caso en que exista una interrupción en el servicio eléctrico por parte de la distribuidora hacia el usuario, la distribuidora está obligada a incluir en la facturación una compensación por la energía no servida. En la compensación de la energía no entregada, la energía eléctrica es valorizada al 200% del precio de ésta, según la tarifa que le es aplicada al usuario. De este modo, si por un caso fortuito existiera una interrupción del suministro eléctrico durante un período comprendido entre la hora punta, el valor de la energía compensada será del 200% de la tarifa aplicada en la hora punta al usuario.

### 2.1.3 Metodología para mejorar el factor de potencia

El bajo factor de potencia puede ser mejorado con dos métodos principalmente; utilizando condensadores eléctricos o a través de motores síncronos. La idea en ambos métodos es la misma, inyectar energía reactiva a través de los condensadores o con los motores síncronos para que en lugar de consumirla de la red, esta energía sea consumida de la que generan estos equipos.

A pesar que ambos, condensadores eléctricos y motores síncronos, realizan la misma función, resulta más económico adquirir un banco de condensadores eléctricos que un motor síncrono, sobre todo debido a que el motor síncrono necesita un generador para producir energía reactiva. Por tal motivo, se enfocará la solución al problema del bajo factor de potencia con banco de condensadores.

El dimensionamiento de un banco de condensadores es relativamente sencillo, basta con aplicar unas fórmulas para conocer la capacidad de los condensadores a instalar.

$$S = \sqrt{Q^2 + P^2} \qquad \text{f.p.} = \frac{P}{S}$$

La clave para el dimensionamiento del banco de capacitares necesario para la corrección de un bajo factor de potencia, está en conocer el valor del factor de potencia a corregir; con este valor se encuentra la potencia aparente que corresponde a este factor de potencia, con la que se calcula la potencia reactiva. Luego, se selecciona el valor del factor potencia deseado, el cual se recomienda que sea de 0.95; con este valor se encuentra la potencia aparente para determinar la potencia reactiva con este nuevo factor de potencia. La diferencia entre las potencias reactivas será la capacidad del banco de capacitores a instalar para mejorar el factor de potencia.

Por ejemplo, si en una empresa se tiene un factor de potencia de 0.80 y un consumo de 50 KW, la capacidad del banco de capacitares se calcula como sigue:

PASO 1

Se calcula la potencia aparente y reactiva para el factor de potencia de 0.80.

$$S = \frac{(50 \text{ KW})}{(0.8)}$$

$$S = 62 \text{ KVA}$$

$$Q = ((62 \text{ VA})^2 - (50\text{KW})^2)^{1/2}$$

$$Q = 37.5 \text{ VARS}$$

PASO 2

Se calcula la potencia aparente y reactiva para el factor de potencia de 0.95.

$$S = \frac{(50 \text{ KW})}{(0.95)}$$

$$S = 52.63 \text{ KVA}$$

$$Q = (52.63 \text{ KVA})^2 - (50\text{KW})^2)^{1/2}$$

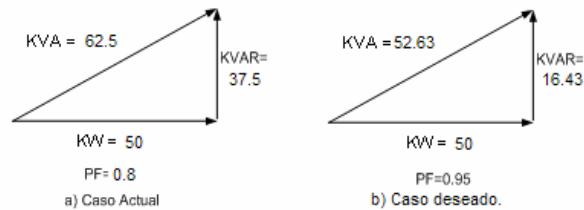
$$Q = 16.43 \text{ VARS}$$

PASO 3

La diferencia entre la potencia reactiva con un factor de potencia 0.80 y la potencia reactiva de 0.95, será la capacidad del banco de capacitores a instalar.

$$Q = 37.5\text{VARS} - 16.5\text{VARS}$$

$$Q = 21.07 \text{ VARS}$$



*Figura II.2.2*

En esta figura se muestran como un bajo factor de potencia afecta en el incremento innecesario de la potencia aparente (KVA)

Explicación: con la instalación de un capacitor que aporte una potencia reactiva de 21.07 KVAR el factor de potencia se elevara de 0.8 hasta 0.9; para obtener los datos requeridos en las fórmulas para el dimensionamiento de la capacidad de los condensadores, (triángulo de potencia) podemos consultar los recibos de energía eléctrica emitidos por la distribuidora, como mínimo, los últimos 3 meses, esto permitirá contemplar cualquier variación ocurrida durante los últimos 90 días.

Una forma mas precisa de cuantificar el banco de capacitares necesarios es con la elaboración de un estudio de carga se a través de analizadores que registran diferentes parámetros eléctricos que describen las características de la demanda de la instalación. Estos analizadores realizan mediciones a intervalos definidos por los operadores de éstos, generalmente a intervalos no mayores de 15 minutos.

Los bancos de condensadores eléctricos generalmente se instalan en puntos de la instalación con bajo voltaje y antes de los instrumentos de medición de las distribuidoras. Los bancos de condensadores se instalan antes de los equipos de medición, por la obvia razón que instalados después de éstos, los equipos de medición no percibirían la compensación de la energía reactiva entregada por los condensadores y registrarían siempre un bajo factor de potencia. Por otro lado, los condensadores que operan a bajos niveles de voltajes son más costosos que los que operan a niveles de voltaje mayores.

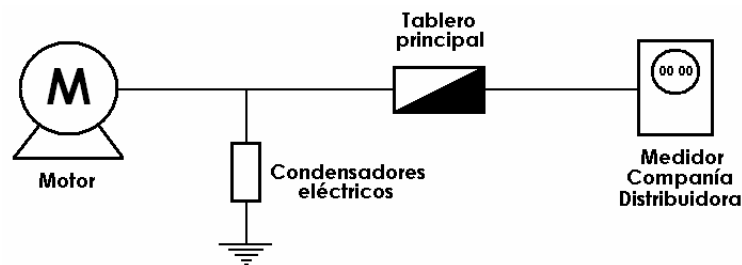


Figura II.2.3

En la gráfica se muestra la ubicación idónea de los condensadores eléctricos para la corrección del factor potencia en una instalación eléctrica.

## **2.2 COMPENSACION DE REATIVOS.**

Los elementos que se encargan de proporcionar energía reactiva al sistema para mejorar el factor de potencia del mismo pueden ser:

### a) MOTORES SÍNCRONOS

Se utilizan motores síncronos que son capaces de proporcionar trabajo mecánico y al mismo tiempo actuar como una carga reactiva, operando sub-excitados o sobreexcitados.

### b) CONDENSADORES SÍNCRONOS

Dichos condensadores son máquinas sincronias diseñadas para que generando o absorbiendo reactivos de la red controlen el factor de potencia. Suelen ser de gran tamaño y capaces de proporcionar potencia reactiva elevada; sin embargo, su uso implica un inversión inicial muy elevada y un mantenimiento costosos.

### c) COMPENSADORES ESTÁTICOS

Los compensadores estáticos esta integrados por capacitores, transformadores y tiristores, combinados de tal forma que proporcionan una rápida y continua compensación de reactivos; el principal problema de estos compensadores es el costo elevado de sus componentes de estado solidó (tiristores), ya que estos se utilizan para compensación en media y alta tensión.

### d) BANCO DE CAPACITORES

Estos proporcionan la potencia reactiva de carácter capacitivo que sea necesaria, pudiéndose instalar en bancos fijos o bancos formados por secciones fijas desconectables Esta ultima alternativa de compensación de reactivos, comparado con la de otros medios de generación de potencia reactiva, presenta las ventajas de un bajo costo por KVAR instalado, un fácil manejo, mantenimiento sencillo y barato, que en muchos casos se hace prácticamente inexistente. Los capacitores que se hará referencia en este documento no se refiere a capacitores de sistemas DC (niveles de 0-24 VDC) encontrados en tarjetas electrónicas, donde sus capacidades están dadas en  $\mu\text{F}$ . Los capacitores que se utilizan para estas aplicaciones son capacitores de potencia, para voltajes de baja tensión ( $V < 600$ ) y su capacidad se mide en la cantidad de energía reactiva que puede entregar en KVAR.

RAZONES QUE JUSTIFICAN LA INSTALACIÓN DE REACTIVOS

En primer lugar para reducir o eliminar la penalización por bajo factor de potencia aplicada por el distribuidor de energía. La otra es para bajar el porcentaje de carga de los transformadores que se encargan de energizar el sistema con el objeto de aprovechar su máxima capacidad. Dependiendo la cantidad de potencia reactiva que se necesite para mejorar el factor y de la operación dinámica de la carga, a si será el arreglo de los capacitares que deberán instalarse, (capacitares fijos o un banco de capacitares que entra y salen por medio de switches automáticos).

DESCRIPCIÓN DE CAPACITORES DE POTENCIA

Condensadores tipo seco (composición: Película de polipropileno metalizado), auto cicatrizantes en caso de falla interna se auto desconecta.

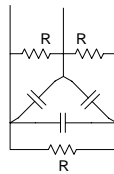


Figura II.2.4

Representación esquemática de capacitor.

CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN

- Posee relleno de resina seca dieléctrica de polimero termo-ajustada, autocicatrizante.
- Cuenta con resistencias de descarga externa para eliminar el voltaje de remanencia una vez este ha sido desenergizado.
- Cuentan con Interruptor interno a presión el cual desconecta las tres fases si ocurre una falla.

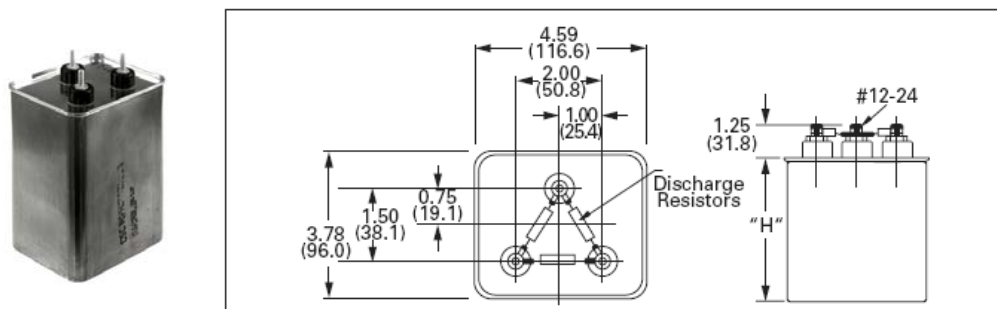


Figura II.2.5

Dimensiones de capacitor trifásico.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Voltaje Nominal: de 208 V, a 480 V. (baja tensión).
- Voltaje máximo permisible 10%.
- Temperatura ambiente: 40 C°.
- Temperatura maxima: 50C°.
- Clase de aislamiento: 0.6 KV.
- Sobre tensiones de corta duración: 20% (durante 5 mn).
- Sobre intensidades debidas a los armónicos: 30%.
- Corriente: capaz de operar continuamente al 135% la "In" a 60 Hz.
- Tolerancia de los Kvar nominales: -0% to +5%
- Durabilidad: La expectativa de vida del condensador es de 20 años operando dentro de las especificaciones.

2.2.1 Instalación de bancos de capacitores

Los condensadores pueden instalarse físicamente de una forma horizontal o verticalmente. Para que el capacitor logre inyectar la energía a un sistema debe de conectarse con dispositivos de protección y desconexión, tales como fusibles e interruptores, los cuales se dimensionan tomando como base la "In" del capacitor .

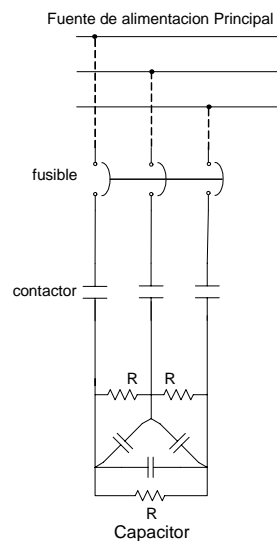


Figura II.2.6

Esquema eléctrico de capacitor con los elementos necesarios de protección switchceo.

DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROTECCIONES TOMANDO COMO BASE LA CORRIENTE NOMINAL "IN".

Funcionando a plena capacidad, el calibre mínimo de los aparatos debe ser:

- Interruptor, con su relé térmico regulado a 1.3 In.
- Fusibles, 1.6 a 2 In.
- El poder de corte de los aparatos será como mínimo igual a la corriente de cortocircuito en el lugar de la instalación del condensador.

#### CONEXIÓN A LA INSTALACIÓN

Los cables de conexión a la red se seleccionaran:

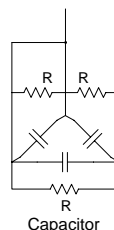
- Cables + interruptor: calibrar a 1.3 In del condensador.
- Cables + fusibles NH: Calibrar a 1.6 In del condensador.

Cuando se produce un arco eléctrico entre las armaduras de una condensador seco metalizado, la energía emitida por el arco eléctrico es suficiente para evaporar localmente el metal conductor en un sitio de falla. El arco se extingue, el aislamiento se restablece y el condensador se ha auto cicatrizado.

Cada condensador tiene una resistencia de descarga y un sistema de protección Inter eficaz, constituido por un dispositivo cortocircuitador a la sobrepresión.

#### COMPENSACIÓN DE REACTIVOS PARA UN SISTEMA MONOFASICO

Hasta el momento se han considerado compensación de reactivos para sistemas 3φ, sin embargo este fenómeno no excluye a los sistema 1φ, en este caso especial existe el impase que en nuestro medio no se distribuyen capacitares 1φ por el echo que no tienen tanta demanda como los 3φ, por tanto es necesario hacer una modificación sensilla en la conexión externa del capacitor, la cual consiste en cortocircuitar uno de los capacitores internos y salir con dos líneas a L1 y L2.



**Figura II.2.7**

Esquema de un capacitor trifásico en conexión monofásica.

El hecho de hacer esta modificación reduce la capacidad de los reactivos en "1/3", es decir, si la capacidad de la "botella" es de 10 KVAR trifásico, al conectarlo monofásico, su capacidad se convierte en 6.33 KVAR monofásicos.  $(10 \cdot (1-1/3))$ . De igual forma la "In" se reduce en un factor de "1/3", como esta es la base para calcular los elementos de protección y switcheo estos también se reducen en "1/3".

A continuación se presentan una tabla que muestra las dimensiones en conductor, fusibles de protección de cortocircuito y elementos de switcheo, que el fabricante pone a disposición, tomando como base la potencia reactiva del capacitor o el conjunto de capacitores que se necesiten. La "botella" de mayor capacidad disponible por el fabricante para los niveles de 240 V es de 40 KVAR y para los niveles de tensión de 480 V son de 60 KVAR (resaltadas con color azul); sin embargo, en nuestro medio podemos encontrar únicamente dimensiones de capacitores tal como se resalta en la siguiente tabla (color verde).

kvar	240 VOLTS				480 VOLTS			
	Current* (Amps)	Wire size 90C- Type THHN XHHW* or Equiv.+	Fuse (Amps)	Switch (Amps)	Current* (Amps)	Wire size 90C- Type THHN XHHW* or Equiv.+	Fuse (Amps)	Switch (Amps)
0.5	1.2	14	3	30				
1	2.4	14	6	30	1.2	14	3	30
1.5	3.6	14	6	30	1.8	14	3	30
2	4.8	14	10	30	2.4	14	6	30
2.5	6.0	14	10	30	3.0	14	6	30
3	7.2	14	15	30	3.6	14	6	30
4	9.6	14	20	30	4.8	14	10	30
5	12	14	20	30	6.0	14	10	30
6	14	14	25	30	7.2	14	15	30
7.5	18	12	30	30	9.0	14	15	30
8	19	10	35	60	9.6	14	20	30
10	24	10	40	60	12	14	20	30
12.5	30	8	50	60	15	14	25	30
15	36	8	60	60	18	12	30	30
17.5	42	6	80	100	21	10	40	60
20	48	6	80	100	24	10	40	60
22.5	54	4	100	100	27	10	50	60
25	60	4	100	100	30	8	50	60
30	72	3	125	200	36	8	60	60
35	84	2	150	200	42	6	80	100
40	96	1	175	200	48	6	80	100
45	108	1/0	200	200	54	4	100	100
50	120	2/0	200	200	60	4	100	100
60	144	3/0	250	400	72	2	125	200
75	180	250M	300	400	90	1/0	150	200
80	192	300M	350	400	96	1/0	175	200
90	216	350M	400	400	108	1/0	200	200
100	241	400M	400	400	120	2/0	200	200
120	289	(2)3/0	500	600	144	3/0	250	400
125	300	(2)3/0	500	600	150	3/0	250	400
150	361	(2)250M	600	600	180	250M	300	400
180	432	(2)350M	750	800	216	350M	400	400
200	481	(2)400M	800	800	241	400M	400	400
240					289	(2)3/0	500	600
250					300	(2)3/0	500	600
300					361	(2)250M	600	600
360					432	(2)350M	750	800
400					480	(2)400M	800	800

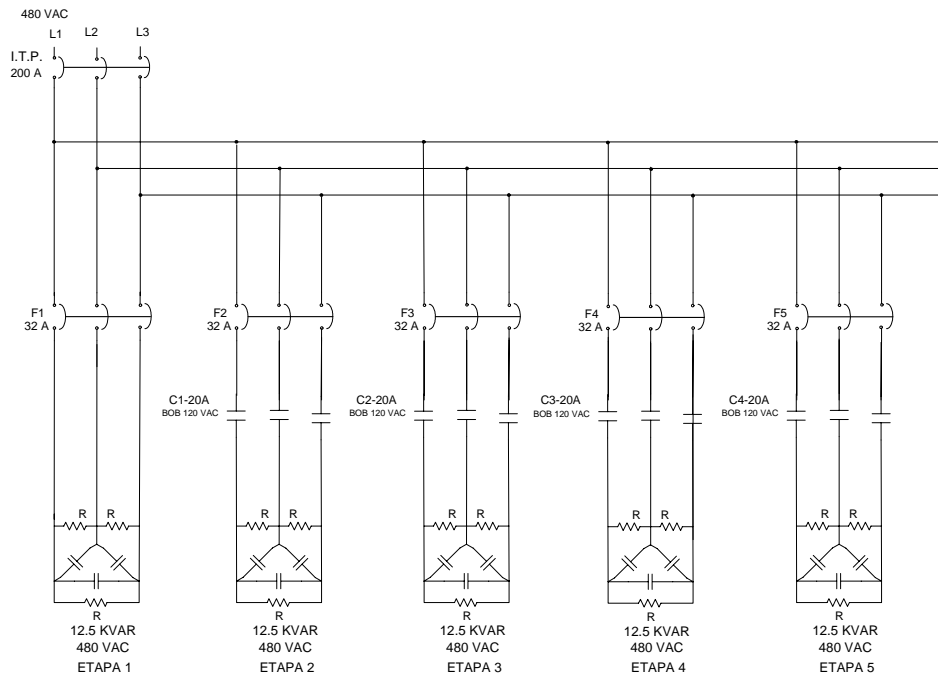
Tabla II.2.1

Tamaños de protección, elementos de switcheo recomendados en base a la capacidad en KVAR.

Si el dimensionamiento del capacitor a instalar es superior a los resaltados en la tabla (verdes), se deberán de seleccionarse múltiplos de estos para llegar al valor deseado; es decir un capacitor de 50 KVAR a 240 VAC, no esta disponible en una sola "botella", por tanto deberá de seleccionarse 2x25 KVAR o 5x10 KVAR ó 4x12.5 KVAR, y las protecciones globales deberán de elegirse en base a los 50 KVAR.

**BANCO DE CAPACITARES AUTOMÁTICO**

Esta opción es considerada cuando los reactivos a instalar en el sistema superan una demanda de 15 KVAR (mas de dos capacitares conectados de forma permanente al sistema). Un banco de capacitares automático es capaz de registrar el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente en cualquier instante de tiempo, conociendo de esta manera el factor de potencia del sistema, esto lo logra con un dispositivo llamado "regulador de energía reactiva" el cual toma decisiones en base al resultado de compara el factor de potencia en cada instante de tiempo, con un factor de potencia ajustado en su memoria, el cual debe de ser > 0.9, (por lo general este valor es ajustado a 0.95) y en base a la diferencia entre ambos toma decisiones para conectar o desconectar reactivos por medio contactores. A continuación se muestra un esquema de un banco de capacitares trifásico automático, el cual cuenta con una etapa fija y cuatro etapas automáticas de 12.5 KVAR gobernadas por un regulador de energía reactiva.



**Figura II.2.8**

Esquema de conexión de un banco de capacitares automático.

PRECIO DE BANCO DE CAPACITARES EN EL MERCADO NACIONAL

Como se puede observar, cuando existe la necesidad de la instalación de reactivos en un sistema, el costo de la instalación no se puede asociar directamente al costo de cada "botella" de reactivos, debido a que esta necesita de elementos de protección y elementos de desconexión tanto manual como automática. A continuación se presentan precios de capacitores existentes en el mercado, los cuales incluyen el precio de los elementos antes mencionados.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO
1	Capacitor 3F de 05 KVAR 240 V, 60 Hz	\$176.40
2	Capacitor 3F de 06 KVAR 240 V, 60 Hz	\$190.40
3	Capacitor 3F de 10 KVAR 240 V, 60 Hz	\$253.40
4	Capacitor 3F de 12.5 KVAR 240 V, 60 Hz	\$281.40
5	Capacitor 3F de 25 KVAR 240 V, 60 Hz	\$414.40
6	Capacitor 3F de 10 KVAR 480 V, 60 Hz	\$176.40
7	Capacitor 3F de 12.5 KVAR 480 V, 60 Hz	\$190.40
8	Capacitor 3F de 25 KVAR 480 V, 60 Hz	\$267.40

*Tabla II.2.3*

Precio de capacitares disponibles en el mercado nacional, incluyen elementos de protección y desconexión.

**2.3 RECOMENDACIONES Y TÉCNICAS PARA EL USO FAVORABLE DEL PLIEGO TARIFARIO**

Como ya se han descrito algunas de los componentes más relevantes del pliego tarifario y algunos de los componentes de la facturación, se tratarán algunas recomendaciones y técnicas para aprovechar al máximo las características de éstos a favor de la reducción de la facturación. Cabe aclarar que estas recomendaciones y técnicas no tienen la finalidad de reducir el consumo de energía eléctrica, sino que buscan una reducción en la facturación de ésta.

**2.3.1 Unificación de la medición del consumo de energía eléctrica**

En ocasiones, algunos usuarios poseen más de un medidor de energía eléctrica en una misma instalación. Imagínese que un usuario posea una empresa donde se manufactura ropa, y que en esta empresa existe una nave industrial donde se llevan acabo la mayoría de los procesos de confección, y que en un local contiguo están sus oficinas. Para este usuario es importante conocer cuánta energía consume en el área de producción y cuánta en el área administrativa, y para ello contrata dos servicios distintos a la distribuidora, y ésta le instala dos medidores en cada una de las áreas.

En el caso anterior, el usuario deberá pagar del consumo de energía eléctrica propio de cada una de las áreas, pero además deberá cancelar dos veces el cargo por atención al cliente, el cargo por tasa municipal por poste, y el cargo fijo por uso de la red.

Por otro lado, si en el área de producción la tarifa aplicada al usuario es la de mediana demanda, y en el área administrativa es pequeña demanda de uso general, se podrá apreciar en las tarifas que es más conveniente que le sea aplicada la tarifa de mediana demanda a toda la energía eléctrica que consume.

Después de todo lo anterior, es sencillo ver que la instalación de un solo medidor para dicha empresa no sólo permitirá un ahorro significativo por evitar los cobros fijos repetidos en la facturación, sino que los costos variables también pueden ser menores dependiendo de la tarifa aplicada y el voltaje al que es servida la energía. Pese a lo anterior, el usuario podrá conocer exactamente cuánta energía es consumida por cada área si instala medidores de energía en las áreas que necesita. Estos medidores de energía son muy comunes en el mercado, y los hay de varias marcas y modelos según la necesidad del usuario.

### **2.3.2 Ubicación de la medición para servicios a media tensión**

La medición de la energía eléctrica consumida para un usuario que recibe energía eléctrica de la distribuidora en media tensión, puede realizarse en dos puntos diferentes; en el lado de baja tensión o en el lado de media tensión. Si la medición se realiza en el lado de baja tensión, el distribuidor puede aplicar al consumo de energía eléctrica medido un incremento de hasta el 1.50% debido a las pérdidas que se dan en el transformador que el usuario utiliza para la transformación de voltaje de media a baja tensión. Este incremento del 1.50% puede ser menor dependiendo de las características del transformador instalado por el usuario.

Como se sabe que las pérdidas en los transformadores son variables y dependen del porcentaje de carga con el que trabajen, el incremento del 1.50% del consumo de la energía medida por la distribuidora, puede que sea el que corresponda a las pérdidas reales en el transformador en algún momento de la medición, pero en el resto del tiempo, pueda que sea mayor o menor. De cualquier forma, es recomendable la instalación de la medición en el lado de alta, pues de esta forma se estará cobrando

exactamente la energía eléctrica consumida por el usuario, incluyendo las pérdidas variables reales del transformador.

### **2.3.3 Cambio de horarios de producción y operación**

Anteriormente se expuso la diferencia que existe entre distintos horarios en que se consume la energía eléctrica, y se vio que la energía consumida dentro del horario valle es la más económica. Es por ello que, aprovechando esta característica del pliego tarifario, una empresa puede cambiar sus horarios de producción y/o operación para realizar aquellas actividades o procesos que más consumen energía dentro del horario valle, el cual comprende desde las 23:00 hasta las 04:59 del siguiente día; es decir, cambiar el horario diurno por un horario nocturno.

El cambio al horario nocturno en alguna empresa podría no sólo traer beneficios respecto a la reducción en el precio de energía eléctrica, sino que los trabajadores se encontraría con menos tráfico para llegar a sus trabajos, los equipos de aire acondicionado y ventilación trabajarían menos por que la temperatura del ambiente es menor, en algunas zonas la presión del agua es mucho mejor por la noche que por el día por lo que no habría necesidad de usar una bomba de agua ni una cisterna, entre otras cosas.

A pesar de lo anterior, el hecho de cambiar el horario de producción y/o operación de algunas empresas podría ser poco factible, debido principalmente al tipo de actividad que realizan. Además, el trabajar en un horario nocturno podría suponer problemas como; necesidad de utilizar iluminación artificial, ruidos molestos para los vecinos en el caso que la empresa se encuentre cercana a un área residencial, dificultades de transporte de algunos trabajadores que utilizan el transporte público o la necesidad de invertir en privado transporte para éstos, poca disponibilidad del personal para cambiar de horario, entre otras cosas.

Finalmente, y luego de todo lo discutido, es recomendable realizar una valoración no sólo económica de la factibilidad del cambio de horario, sino también una valoración del impacto que tendrá el cambio de horario en los trabajadores y en la zona en donde se encuentra la empresa.

Para referencia de precios en las diferentes tarifas según la demanda y el nivel del voltaje de la energía eléctrica suministrada, se adjunta en este capítulo el pliego tarifario correspondiente al segundo semestre del año del 2006. Este pliego tarifario fue tomado de la publicación electrónica que realiza la SIGET en su página web, tal y como lo estipula la ley. Para actualizar los precios según las distintas tarifas, deberá consultarse semestralmente los ajustes realizados en los precios de la energía eléctrica en la página web de la SIGET.

CAPÍTULO III

*ILUMINACIÓN*

Este capítulo contiene los siguientes temas:

### **III.1 Generalidades sobre la iluminación**

#### III.1.1 Magnitudes y definiciones en iluminación

#### III.1.2 El proceso de percepción visual

III.1.2.1 El tamaño y la forma

III.1.2.2 El contraste

III.1.2.3 La velocidad de percepción

III.1.2.4 La agudeza visual

#### III.1.3 El confort visual

III.1.3.1 Niveles de iluminación

III.1.3.2 Sistema de iluminación artificial

#### III.1.4 Principios del diseño de iluminación de interiores

### **III.2 Fuentes de luz artificial**

#### III.2.1 Incandescencia

III.2.1.1 Lámparas incandescentes

III.2.1.2 Lámparas incandescentes halogenadas

#### III.2.2 Descarga eléctrica

III.2.2.1 Lámparas fluorescentes

III.2.2.2 Lámparas fluorescentes compactas

III.2.2.3 Lámparas de vapor de mercurio

III.2.2.4 Lámparas de haluros metálicos

III.2.2.5 Lámparas de sodio

#### III.2.3 Ahorro de energía eléctrica con fuentes de luz artificial

III.2.3.1 Selección de lámparas por su vida útil

III.2.3.2 Selección y limpieza de las luminarias

III.2.3.3 Repartir las luminarias entre más interruptores

### **III.3 Iluminación natural de de interiores**

#### III.3.1 El sol

#### III.3.2 Elementos para la iluminación natural de interiores

III.3.2.1 Ventanas

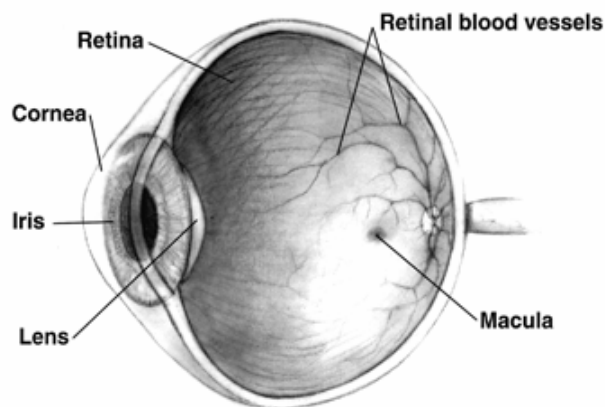
III.3.2.2 Techos dientes de sierra

III.3.2.3 Láminas traslúcidas

III.3.2.4 Domos

## 1. Generalidades sobre la iluminación

En los seres humanos, el sentido de la vista percibe cerca del 80% de toda la información que recibimos de nuestro alrededor a través de los sentidos. Su funcionamiento puede compararse con el de una cámara fotográfica, siendo el cristalino como el lente por el cual penetran los rayos luminosos, los cuales luego de pasar por la pupila, inciden las células fotosensibles localizadas en la retina quienes actúan como una película fotográfica. Los párpados realizan la función de un obturador y el iris es el que regula la entrada de luz.



*Figura III.1.1*

En la figura se muestran las distintas partes del ojo humano.

La luz es el elemento esencial para el sentido de la vista, puede afectar la percepción de la forma, color y perspectiva de los objetos a nuestro alrededor. Además de lo anterior, el color y los niveles de iluminación juegan un papel fundamental en ciertos aspectos del bienestar humano, como nuestro estado mental o nuestro nivel de fatiga.

La luz, como actualmente se acepta, es un fenómeno ondulatorio electromagnético de pequeñas partículas denominadas fotones cuya energía es proporcional a su frecuencia de vibración. Dicha frecuencia es inversamente proporcional a su longitud de onda. La luz está compuesta por colores a los cuales les corresponden diferentes longitudes de onda; estos forman una gama de colores que se denomina espectro visible. Las longitudes de onda de este espectro visible se encuentran entre 0.000038 y 0.000076 cm.

Antes de iniciar el desarrollo de este capítulo, definiremos algunos términos importantes para uniformizar y aclarar el lenguaje técnico a utilizar en éste.

### **1.1 MAGNITUDES Y DEFINICIONES EN LA ILUMINACIÓN**

Para uniformizar el lenguaje técnico en iluminación, se harán mención de algunos términos y magnitudes comúnmente utilizadas en esta materia.

LÁMPARA: Se denominarán como lámparas a todas las fuentes de luz artificial indistintamente de su naturaleza, forma, o modo de funcionamiento; así tanto un bombillo incandescente o uno de tipo ahorrador, o bien un tubo fluorescente como un bombillo de vapor de mercurio, serán nombrados como lámparas.

LUMINARIO: Rara vez una lámpara carece de un elemento que permite su conexión a la instalación eléctrica del recinto que iluminará; por lo general estos elementos, además de permitir la conexión eléctrica de la lámpara, proveen protección contra el polvo, la intemperie, alojan transformadores de voltaje y corriente, terminales de conexión, y en ocasiones poseen elementos difusores de la luz o antideslumbrantes.

LUMINARIA: Se denominará luminaria al conjunto de lámpara y luminario; así por ejemplo, si un luminario aloja una lámpara incandescente, nos referiremos a una luminaria incandescente, pero si ese mismo luminario, en lugar de contener una lámpara incandescente, contiene una lámpara fluorescente compacta, nos referiremos a una luminaria fluorescente.

FLUJO LUMINOSO: Se conoce como flujo luminoso a la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo, su unidad es el lumen (lm).

INTENSIDAD LUMINOSA: Cuando una fuente de luz emite un flujo luminoso lo hace en diferentes direcciones dependiendo de la forma de la fuente de luz y sus características lumínicas propias; la intensidad luminosa mide entonces la variación del flujo luminoso en las diferentes direcciones, valiéndose de ángulos sólidos llamados estereorradianes. La unidad de la intensidad luminosa es la candela (cd).

NIVEL DE ILUMINACIÓN O ILUMINANCIA: Esta variable indica la cantidad de flujo luminoso que incide en un área determinada, su unidad es el lux, el cual se define como el flujo luminoso de un lumen que incide sobre un área de un metro cuadrado. Por este motivo, y alternativamente, las unidades de la iluminancia se expresan en lúmenes / m<sup>2</sup>.

CONTRASTE: Se refiere a cualquier diferencia en el aspecto visual de entre dos objetos, un objeto y su entorno, o las diferentes partes de un mismo objeto.

TEMPERATURA DE COLOR: Este término se utiliza para describir la comparación de la luz producida por una fuente de luz artificial, con el color de un cuerpo negro a determinada temperatura; es por ello la temperatura de color se expresa en Kelvin (K). Las lámparas con baja temperatura de color producen una luz con una tonalidad rojiza, y las fuentes luminosas con temperatura de color alta producen una luz con una tonalidad azulada.

### **1.2 EL PROCESO DE PERCEPCIÓN VISUAL**

El proceso de percepción de los objetos a través del sentido de la vista, se lleva a cabo por comparaciones. El contraste entre la luz y la sombra, lo recto y lo curvo, lo grande y lo pequeño, lo hondo y lo superficial, y lo cercano y lo lejano, son los factores que percibe el ojo humano en un objeto cualquiera. Pese a lo anterior, podemos mencionar otros factores que pueden atenuar o exagerar dicho contrastes, tales como:

#### ***1.2.1 El Contraste***

Un factor determinante para la visión es la diferencia de luminancia y/o el color entre el objeto que se contempla y su entorno inmediato. La luminancia de un objeto depende de la intensidad de la luz que incide sobre él y la cantidad de luz que es capaz de reflejar. Resulta obvia la importancia del contraste entre la luminancia de un objeto y su entorno para facilitar la percepción un objeto; así por ejemplo, una moneda de diez centavos será más fácil de encontrar si cae sobre el asfalto negro de la calle, que sobre el concreto gris de la acera, esto es porque el color de la moneda con el color del asfalto son muy diferentes, es decir, el contraste entre ambos es muy grande. Sin embargo, si es de noche la moneda no será encontrada aunque caiga sobre la calle. Aunque se debe guardar cierta proporción de contraste entre el objeto y su entorno, se encuentra aceptable una relación de 10 a 1 y hasta 30 a 1.

### 1.2.2 El Tamaño y la Forma

Aunque resulte obvio, hay que mencionar que un objeto de mayor tamaño es más fácilmente visto que uno de menor tamaño, la forma de los objetos también facilita la visión; por ejemplo, una letra alargada y delgada, será más difícil de leer que una del mismo tamaño pero más ancha.



Figura III.1.2

En la figura de la izquierda se muestra una palabra con letras alargadas y delgadas, mientras que a la derecha se muestra la misma palabra pero con un tipo de letra más ancha. Los tamaños para ambas palabras son similares.

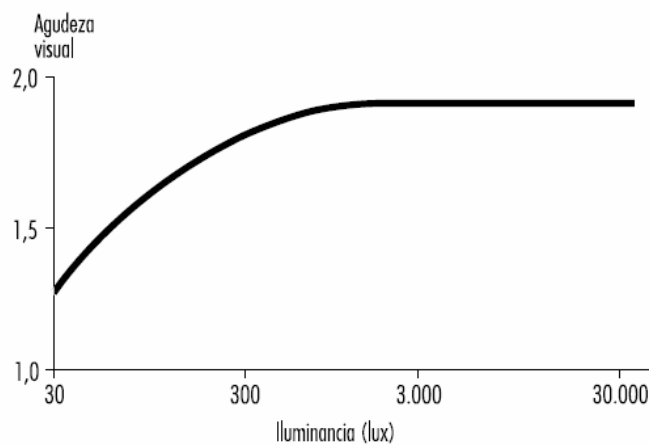
### 1.2.3 Velocidad de Percepción

La velocidad de percepción de un objeto depende del nivel de iluminación, y se define como el valor recíproco del intervalo de tiempo transcurrido entre la aparición del un objeto y el percepción de su forma. Cuando los niveles de iluminación son bajos el ojo necesitará más tiempo para percibir la forma de un objeto y tendrá que esforzarse más para poder ver y enfocar una imagen mal iluminada o sin contraste. Por ejemplo, cuando se desea contar las monedas del cambio recibido del transporte público, la tarea se vuelve mucho más complicada si es de noche y el conductor lleva las luces interiores apagadas, a que si es de día. En el segundo caso, una mirada rápida será suficiente, mientras que en el primer caso, el tiempo y el esfuerzo visual necesarios son considerablemente mayores para realizar la misma tarea visual.

### 1.2.4 Agudeza Visual

A la capacidad del ojo humano para distinguir los detalles se le denomina agudeza visual, esta se ve afectada por el contraste, la forma, y el rendimiento visual de la persona, el cual se define como la capacidad del ojo humano para realizar una tarea visual con rapidez y precisión. Como se explicará más adelante, los niveles de iluminación son sumamente importantes para la realización de una tarea cualquiera.

La siguiente gráfica muestra cómo es afectada la agudeza visual por los niveles de iluminación, pudiéndose observar que para mayores niveles de iluminación la agudeza visual aumenta hasta un límite que por lo general se encuentra entre los 2 500 a 3 000 luxes. Esta gráfica también permite observar que más iluminación, no siempre significa mejor visión, pues en el caso de tareas visuales sencillas, y en otras similares como se explicará más adelante, los niveles de iluminación necesarios pueden ser bajos sin que esto afecte el desempeño de las personas en la realización de dichas actividades. Lo anterior, supone que utilizando los niveles adecuados de iluminación, pueden realizarse satisfactoriamente las tareas visuales sin que esto afecte la salud visual de las personas y sin que suponga un gasto extra en iluminación innecesaria.



*Figura III.1.3*

En la figura se muestra la relación entre la agudeza visual y los niveles de iluminación.

### **1.3 EL CONFORT VISUAL**

Se llama confort visual, a la condición luminica mediante la cual la persona puede realizar cierta actividad sin la necesidad de forzar la vista. Las condiciones que se deben exigir a un sistema de iluminación para proveer las condiciones para el confort visual son las siguientes:

- Iluminación uniforme, sin zonas de claridad y oscuridad en la misma área de trabajo.
- Niveles de iluminación óptimos, determinados por la actividad a realizarse.
- Ausencia de brillos deslumbrantes.
- Condiciones de contraste adecuadas, los objetos de trabajo fácilmente distinguibles de su entorno.
- Ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscopios.

Como primer paso, para seleccionar el mejor sistema de iluminación para un local, debemos estudiar el puesto de trabajo; conocer el tipo de trabajo o actividad a realizarse en el local, el nivel de precisión del trabajo, la movilidad de los ocupantes, así como la edad de los mismos. Los datos anteriores nos ayudarán a conocer el nivel de iluminación requerido para un local, así como también, el tipo de sistema de iluminación idóneo.

### ***1.3.1 Niveles de Iluminación***

Los niveles de iluminación, son una medida de la cantidad de luz que incide en el plano de trabajo. Esta cantidad de luz se cuantifica en LUXES (Lúmenes/m<sup>2</sup>), y el aparato para su medición es el Luxómetro. Se ha demostrado que el nivel de iluminación determina en gran parte la calidad de la visión; así, cuanto mayor es el nivel de iluminación se puede ver más fácil y claramente, pero esto hasta un límite como se vio con anterioridad.

Aunque nuestros ojos están diseñados para tener una visión óptima con luz natural, la cual provee niveles de iluminación que van desde unos miles de luxes hasta 100,000 luxes, no es técnica ni económicamente factible lograr tales niveles con iluminación artificial, siendo necesario en la práctica hacer uso de niveles de iluminación mínimos pero adecuados para la actividad visual a realizar, sacando provecho de la gran capacidad de adaptación y acomodación de la vista humana. Los aspectos a tomar en cuenta para la selección del nivel de iluminación mínimos son los siguientes:

- Tipo de trabajo a realizarse.
- Reflectancia del objeto y su entorno inmediato.
- Edad del trabajador.

Aunque existen muchas tablas con niveles de iluminación recomendados según la tarea a realizar, en este manual se ha seleccionado un esquema elaborado por la OIT (Organización Internacional del Trabajo) por ser muy explícito y simple, y en el cual se presentan los niveles de iluminación recomendados por actividad<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> OIT, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, Juan Guasch Farrás, Capítulo de Iluminación, pág. 46.8



Figura III.1.4

En la figura se muestran los niveles mínimos de iluminación recomendados para diferentes actividades.

Aunque los niveles de iluminación que se presentan en el esquema anterior son adecuados para ser aplicados según las actividades que lista, se debe también considerar la edad de las personas que realizarán dichas actividades; esto debido a que con el aumento de la edad se hacen necesarios mayores niveles de iluminación para ejecutar las mismas tareas visuales. Para ajustar los valores recomendados de iluminación en función de la edad promedio de los usuarios se presenta la siguiente tabla:

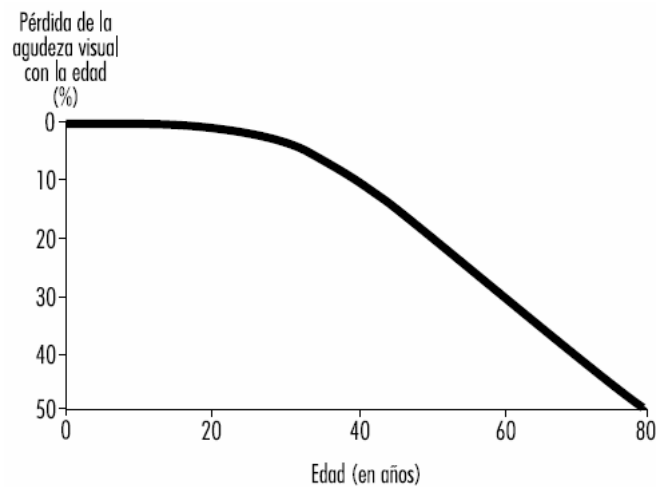
Edad	Porcentaje de aumento del nivel de iluminación
10 años	Utilizar el nivel recomendado
20 años	30%
30 años	40%
40 años	50%
50 años	80%
60 ó más años	170%

Tabla III.1.1

En la tabla se presenta el factor de aumento de los niveles de iluminación según la edad de las personas.

Aunque los valores mostrados en la tabla anterior son los recomendados para las distintas edades de las personas, es necesario que los cambios en los niveles de iluminación sean ajustados tomando en cuenta la apreciación de los usuarios respecto a estos cambios, pues la visión de las personas, aunque disminuye con la edad, en ciertas personas la pérdida de agudeza visual con la edad es poco significativa, y un exceso en los niveles de iluminación podría causar deslumbramiento y molestias visuales para las personas.

La siguiente gráfica muestra más claramente el proceso de pérdida de la agudeza visual en los seres humanos con el aumento en la edad. Se puede apreciar que luego de los 20 años, el ser humano comienza a perder agudeza visual de forma progresiva y a una tasa casi constante.



*Figura III.1.5*

La gráfica muestra el descenso de la agudeza visual con el aumento de la edad.

Con el objeto de proveer los niveles de iluminación adecuados para las distintas personas dentro de un recinto, se recomienda diseñar la iluminación tomando en cuenta los niveles de iluminación mínimos dada la actividad a realizar, y en los casos particulares en que las personas necesiten mayores niveles de iluminación, se deberá colocar iluminación de apoyo sobre el plano de trabajo de dicha persona. Lo anterior no sólo garantiza la salud visual de las personas, sino que permite que los gastos de operación de la iluminación sean los mínimos posibles.

Existen diferentes formas de alcanzar los niveles deseados de iluminación, y son tres los principales sistemas de iluminación que pueden ser aplicados según la necesidad y las exigencias del trabajo a realizar. La elección cuidadosa de un sistema de iluminación permitirá que los usuarios de ésta desarrollen satisfactoriamente las tareas visuales requeridas, a la vez que se consume solamente la cantidad justa de energía para ello.

### ***1.3.2 Sistemas de Iluminación Artificial***

En la antigüedad, la iluminación natural fue la principal forma de iluminación utilizada por el hombre, y aunque recientemente existe un creciente interés por utilizar cada vez más la iluminación natural, no sólo por su alta calidad, sino también por los beneficios que proporciona a la personas, su naturaleza no uniforme a lo largo del día han hecho necesario la iluminación artificial, la cual es la forma más extendida de iluminación para espacios interiores.

Entre sistemas de iluminación artificial más comunes y más utilizados están los que se describen con detalle a continuación:

#### ***a) Iluminación general uniforme***

Generalmente utilizada donde no se cuentan con puestos de trabajo fijos, este sistema de iluminación se basa en la distribución uniforme de las fuentes de luz sin tener en cuenta la ubicación de los puestos de trabajo.

El nivel medio de iluminación debe ser igual al nivel mínimo de iluminación requerido para la realización de la actividad dentro del recinto. Como se asume el tránsito de las personas por todo el local, se recomienda la instalación de las fuentes de luz a la mayor altura posible; además se recomienda el uso de dispositivos antideslumbramiento como difusores o rejillas.

Con este sistema de iluminación se obtiene una distribución uniforme de la luz , a la vez que se obtienen buenos niveles de iluminación sobre el plano de trabajo y sus alrededores; sin embargo, no se recomienda este sistema para recintos de grandes dimensiones que requieran niveles de iluminación elevados mayores de 1,000 luxes sobre el plano de trabajo. Lo anterior es debido a que para alcanzar los niveles de iluminación requeridos se necesitarían una gran cantidad de luminarias, siendo económicamente poco factible y no rentable.

Usualmente este sistema se utiliza en locales para oficinas, en los que principalmente se llevan a cabo actividades de escritorio. Una técnica sencilla para mejorar la uniformidad de la luz al interior del recinto y los niveles de iluminación sobre el plano de trabajo, es pintar las paredes y techos con colores claros. Lo anterior no sólo mejora la iluminación del local, sino que hace que el local parezca más espacioso y limpio.

### *b) Iluminación general e iluminación localizada de apoyo*

En este sistema se trata de reforzar la iluminación general con iluminación localizada sobre la superficie de trabajo. Este sistema es muy utilizado cuando los niveles de iluminación requeridos son muy altos como para proporcionarlos con iluminación general, siendo más económico disponer de una fuente de luz focalizada sobre el plano de trabajo, que una iluminación general que proporcione tales niveles.

Este método también es utilizado cuando por la edad de los usuarios, la iluminación general resulta insuficiente. Es de hacer notar que las luminarias de apoyo pueden provocar deslumbramiento si la fuente de luz se encuentra en línea directa con línea de visión del usuario, para lo cual deberán disponerse de luminarias que dirijan la luz sobre el plano de trabajo, y que a la vez impidan el deslumbramiento.

Este sistema de iluminación es generalmente utilizado en locales donde se desarrollan trabajos sobre mesas de taller, y una de las ventajas más importantes es que cuando no se utiliza una mesa de taller, las luminarias de dicha mesa pueden ser apagadas sin afectar la iluminación de las demás.

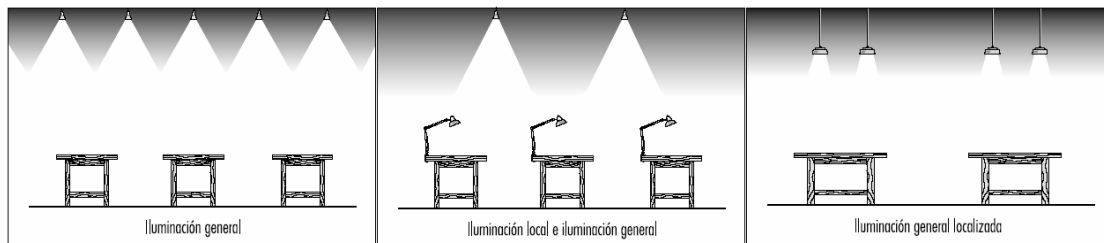
La clave para el ahorro energético en este sistema de iluminación está en instalar luminarias de apoyo con interruptores independientes por luminaria, de este modo las luminarias de apoyo que no se utilizan pueden ser apagadas.

Para locales de grandes dimensiones y con una altura de techo mayor a los 5.0mts, se suelen utilizar luminarias de haluro metálico como iluminación general. Lo anterior reduce el número de luminarias instaladas reduciendo los costos de instalación y del mantenimiento de éstas. Generalmente estas luminarias se instalan con difusores para evitar el deslumbramiento.

### *c) Iluminación general localizada*

Es utilizado cuando se disponen de puestos fijos de trabajo y se requiere de un alto nivel de iluminación. Para este sistema de iluminación, las luminarias se colocan directamente sobre el puesto de trabajo.

Este sistema resulta ser muy ventajoso cuando dentro del recinto no hay mucho tránsito de personas. Generalmente el tipo de luminarias utilizadas son del tipo fluorescente tubular dentro de un luminario sin difusor. Cuando la altura del techo es considerable, las luminarias antes mencionadas se cuelgan para reducir la distancia de estas respecto al plano de trabajo, esto focaliza la luz sobre el plano de trabajo y mejora los niveles de iluminación sobre éste.



*Figura III.1.6*

En la figura de la izquierda se muestra un ejemplo de iluminación general, al centro uno de iluminación general y de apoyo, y a la derecha uno de iluminación general localizada.

## **1.4 PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE ILUMINACIÓN DE INTERIORES**

Antes de tratar sobre las diferentes fuentes de luz artificial, es necesario hacer mención de uno de los métodos para el diseño de iluminación de interiores. El método que se expondrá a continuación es el método de las cavidades zonales, siendo este, uno de los métodos más sencillos y prácticos para el diseño de iluminación de interiores, y a través del cual podrán hacerse cálculos sencillos sobre la cantidad de lámparas a instalar y su ubicación dentro de los recintos.

El método de las cavidades zonales divide el interior de un recinto en tres diferentes zonas o cavidades; la cavidad de techo, la cavidad de local, y la cavidad de piso. A continuación se describe cada una de ellas con mayor detalle:

CAVIDAD DE TECHO (Hct): Esta cavidad es el área medida transversalmente desde el plano de montaje de las luminarias al techo. En los casos en los que las luminarias sean del tipo colgante, la cavidad de techo posee un valor distinto de cero; sin embargo, cuando las luminarias estén montadas al ras del techo, la cavidad zonal tendrá un valor de cero.

CAVIDAD DE LOCAL (Hcl): Esta cavidad es el área medida transversalmente desde el límite inferior de la cavidad de techo, o sea desde la altura de montaje de las luminarias, hasta el plano de trabajo. Generalmente para oficinas u otros similares, la altura del plano de trabajo es aproximadamente de 0.75mts medidos desde el nivel de piso, pero en otros casos la altura de trabajo será la misma altura en donde se desarrolla la tarea visual, como por ejemplo, en mesas de trabajo industriales en donde la altura del plano de trabajo es aproximadamente 0.90mts. Los valores anteriores pueden variar de un país a otro dependiendo de la altura promedio de sus habitantes.

CAVIDAD DE PISO (Hcp): Esta cavidad es el área medida transversalmente desde el plano de trabajo hasta el piso.

La fórmula general para determinar cualquiera de las cavidades es la siguiente:

$$\text{Relación de cavidad} = \frac{(5) \times (\text{altura de la cavidad}) \times (\text{largo} + \text{ancho})}{(\text{largo}) \times (\text{ancho})}$$

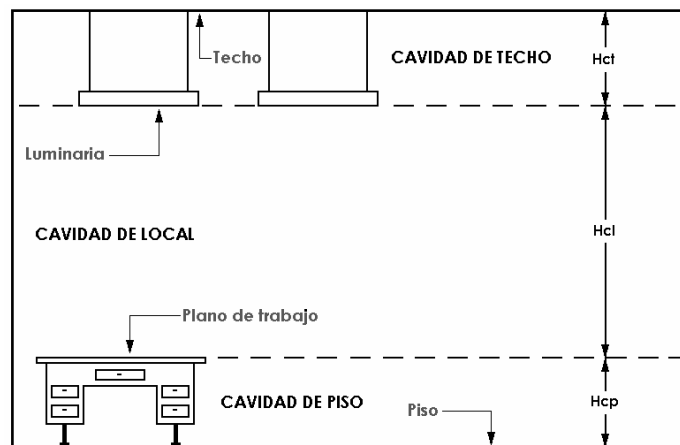


Figura III.1.7

En la figura se observa la vista transversal de un local en donde se muestran las distintas cavidades que se consideran en el método de las cavidades zonales.

Aunque el método de las cavidades zonales es sencillo y provee un nivel de iluminación promedio y uniforme en el local en estudio, los resultados obtenidos con éste serán válidos siempre y cuando las luminarias sean correctamente localizadas a lo largo y ancho del local y tengan una altura de montaje adecuada. Con todo, las distribuciones uniformes y simétricas de las luminarias siempre dan buenos resultados, esto es, iguales distancia entre luminarias a lo largo y a lo ancho del local, dependiendo de las dimensiones y forma de éste.

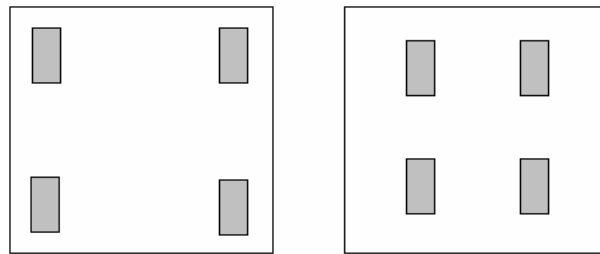


Figura III.1.8

En ambas figuras se muestra una vista en planta de una habitación con cuatro luminarias fluorescentes; a la izquierda se muestra una distribución inadecuada de las luminarias, a la derecha una ubicación adecuada para las mismas luminarias.

La fórmula básica que utilizaremos para este método es la que se muestra a continuación:

$$\text{No. de Luminarias} = \frac{(\text{Nivel de iluminación requerido}) \times (\text{área total del recinto})}{(\text{No. Lámparas/luminaria}) \times (\text{Lúmenes/lámpara}) \times (\text{Coeficiente de utilización}) \times (\text{Factor de mantenimiento})}$$

Los elementos necesarios para utilizar la fórmula anterior se describen a continuación:

#### FACTOR DE MANTENIMIENTO

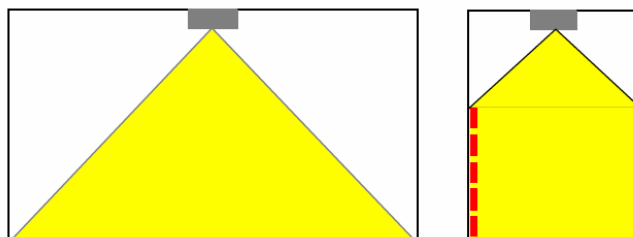
Todos los elementos que constituyen una luminarias están sujetos al deterioro por el efecto del tiempo o bien las condiciones ambientales del lugar donde se encuentran instalados. Las lámparas pierden eficiencia lumínica con el paso del tiempo, los difusores acrílicos se envejecen y pierden sus características, y las partes reflejantes de rejillas o reflectores se ensucian con polvo y pierden eficiencia. Cada luminaria en particular posee características que la hacen más o menos susceptible al deterioro de sus características lumínicas y el factor de mantenimiento para cada tipo de luminaria es distinto.

A pesar de lo anterior, un factor de mantenimiento de 0.75 que puede ser utilizado de forma generalizada para cualquier tipo de luminaria. Este valor se considera como aceptable para realizar los cálculos del número de luminarias, e indica que la luminaria mantendrá el 75% de sus características lumínicas durante toda su vida útil. Elevar el factor de mantenimiento implica considerar que la luminaria no sufrirá ninguna depreciación de sus características lumínicas durante su vida útil, y bajarlo implicaría lo contrario.

### FACTOR DE UTILIZACIÓN

El factor de utilización define el efecto que tendrá la luminaria en la iluminación del plano de trabajo, es decir, cuanta de la iluminación que produce llegará al plano de trabajo. Este factor depende del valor de la cavidad de local, las reflectancias de paredes, techos y pisos del local que dependen de su color y su textura, y de las características particulares de la luminaria en cuanto a la forma en que ésta distribuye la luz.

Para determinar el valor exacto de este factor se debe calcular primero la relación de cavidad local, y luego se debe conocer las reflectancias particulares de techos, paredes y pisos, y finalmente se debe buscar, en una tabla provista por el fabricante, el factor de utilización correspondiente a los valores antes mencionados y a la luminaria que se desea instalar.



*Figura III.1.9*

A la izquierda una luminaria a la cual se le puede asignar un alto valor de factor de utilización por que toda la luz que produce llega al plano de trabajo; a la derecha, una luminaria en la que las paredes del local absorben parte de la luz.

El procedimiento anterior, además de ser un tanto engorroso y complicado, tiene su mayor desventaja en que los fabricantes rara vez proveen este tipo de tablas, pues deberían proporcionarlas para cada luminaria que fabrican. Debido a esto, y para efectos de simplificar los cálculos del número de luminarias, se recomienda utilizar valores elevados del factor de utilización (cercaos a 1) cuando el valor de la cavidad

de local sea cercano a 1, y en lo casos en que el valor de la cavidad de local sea cercano a 10, se deberán utilizar valores bajos (ceranos a cero). Generalmente se utilizan factores de utilización no menores que 0.70 para realizar los cálculos de número de luminarias. Elevar el factor de utilización implica considerar que la luz producida por la luminaria instalada en el local será aprovechada en un mayor porcentaje, bajar el factor implica lo contrario.

Una vez se han identificado y asignado todos los elementos de la fórmula para el cálculo de luminarias, resta mencionar que el nivel de iluminación requerido dependerá de la actividad a realizarse dentro del local, así como de la edad de sus ocupantes. Los valores de área que deben ocuparse en las fórmulas, deberán estar en metros.

Una vez se ha encontrado el número de luminarias a instalarse, se puede calcular el espaciamiento promedio entre cada una de ellas para obtener una mejor distribución de la luz. El cálculo para encontrar el espaciamiento promedio es el siguiente:

$$\text{Espaciamiento promedio} = \sqrt{\frac{\text{Área total del local}}{\text{Número de luminarias}}}$$

Si el arreglo de las luminarias dentro del recinto será en hileras, se puede conocer el número de luminarias a instalarse tanto a lo largo como a lo ancho, simplemente dividiendo el ancho o el largo del recinto entre el espaciamiento promedio de la siguiente forma:

$$\text{No. Luminarias a lo largo} = \frac{\text{Largo del recinto}}{\text{Espaciamiento promedio}}$$

$$\text{No. Luminarias a lo ancho} = \frac{\text{Ancho del recinto}}{\text{Espaciamiento promedio}}$$

## 2. Fuentes de luz artificial

La luz artificial puede ser producida por medios eléctricos de dos formas principalmente; por incandescencia de un material, y por un arco voltaico o descarga eléctrica. Sin embargo, dentro de estas dos formas existen algunas variantes las cuales se describirán a continuación:

### **INCANDESCENCIA**

- Incandescentes.
- Incandescentes halogenadas.

### **DESCARGA ELECTRICA**

- Descarga de gas a baja presión.
  - Lámparas fluorescentes.
  - Lámparas de sodio de baja de presión.
- Descarga de gas a alta presión.
  - Lámparas de vapor de mercurio.
  - Lámparas de haluros metálicos.
  - Lámparas de sodio a alta presión.

Antes de comenzar a hablar sobre los distintos tipos de lámparas es necesario hablar de algunos elementos importantes para la operación de algunas de ella como son los balastos, y un elemento muy utilizado en los luminarios para evitar el deslumbramiento como los difusores.

### **BALASTROS**

Las lámparas de descarga poseen características de resistencia negativa, y sin un dispositivo que limite la corriente que circula por ellas, ésta se desbocaría y destruiría la lámpara. Esto ocurre debido a que en el momento en que se establece el flujo de electrones entre los cátodos, la resistencia interna de la lámpara disminuye dramáticamente, propiciando un aumento considerable de la corriente. Es por ello que las lámparas de descarga necesitan de un dispositivo que permita su arranque y su operación adecuada.

El balastro suministra un voltaje adecuado para el arranque de la lámpara y una vez que se establece el arco, limita la corriente a valores seguros para ésta. Además de lo anterior, los balastos poseen características de resistencia positiva, la cual es contraria a la resistencia negativa de las lámparas. Aunque existen varios tipos de balastos, el principio de funcionamiento es el mismo, y entre los principales tipos que existen están:

- a) Balastos resistivos.
- b) Balastos reactivos o inductivos.
- c) Balastos electrónicos.

#### ***a) Balastos Resistivos***

Estos balastos, en la actualidad obsoletos, proveen una forma muy económica para limitar la corriente. Al limitar la corriente por medios resistivos, la energía eléctrica se disipa en forma de calor. El uso más extendido de este tipo de balastos se encontraba en las lámparas fluorescentes tubulares que operaban con una alimentación de corriente continua.

#### ***b) Balastos Inductivos***

Este tipo de balastro es quizás el de uso más extendido en aplicaciones de corriente alterna. Su fácil construcción y bajo precio propiciaron su gran popularidad y extendido uso en la mayoría de luminarias fluorescentes de lámparas tubulares. Su construcción consiste en un gran número de bobinas de alambre de cobre arrolladas sobre un núcleo de hierro laminado. Sin embargo por sus características inductivas afectan considerablemente el factor de potencia.

#### ***c) Balastos Electrónicos***

Los balastos electrónicos, aunque más caros que los inductivos, ofrecen una serie de ventajas sobre éstos, entre las que podemos mencionar:

- Mejoran la eficiencia de la lámpara.
- No producen parpadeos, ni efecto estroboscópico.
- Brindan un arranque instantáneo.
- Incrementan la vida útil de la lámpara.
- Algunos de ellos permiten el control del flujo luminoso de las lámparas, es decir, permiten aumentar o disminuir la cantidad de luz que producen éstas.

- Tienen menores pérdidas.
- Baja emisión de ruidos.
- Tienen un peso menor.
- La conexión eléctrica es más sencilla.

Luego de la exposición de las características de los distintos tipos de balastos que existen, queda claro que el tipo de balastro recomendado para disminuir el consumo energético es el balastro electrónico por todas las ventajas que provee. Adicionalmente, existe un tipo de balastro electrónico ahorrador de energía, el cual ha sido especialmente diseñado para consumir menos energía, reduciendo la cantidad de pérdidas del mismo.

Además de los distintos tipos de balastos existentes, los electrónicos principalmente, pueden ser adquiridos en cuatro distintos tipos de arranque. La diferencia entre cada uno de ellos estriba en lo que a simple vista puede intuirse, la rapidez con que encienden las lámparas, y en el precio del balastro.

- Precalentamiento
- Arranque rápido
- Arranque acelerado
- Arranque instantáneo

Aunque el tipo de arranque tiene un efecto rara vez apreciable sobre la vida útil de la lámpara, el parpadeo en el encendido de las lámparas fluorescentes tubulares puede llegar a ser molesto para las personas y antiestético. Por tal motivo, se recomienda el uso de balastos con arranque instantáneo.

A pesar que la descripción anterior de los balastos aplica solamente para los balastos de lámparas fluorescentes, el principio de funcionamiento de los balastos para los otros tipos de lámparas de descarga eléctrica es el mismo, habiendo un tipo de balastos para cada tipo de lámpara de descarga debido a los ciclos particulares de operación de cada una de ellas.

El consumo de energía de los balastos dependerá de varios factores, pero principalmente del tipo de balastro, y de la cantidad y tipo de lámparas que manejará.

En todo caso, para conocer el consumo energético de una luminaria de descarga, se deberá conocer únicamente el tipo de balastro a ser instalado en la luminaria y el consumo energético de éste.

Así por ejemplo, para una luminaria fluorescente 4X32w se podría instalar un balastro VEL-4P32-SC, de la marca SYLVANIA, el cual consume 112w, siendo el consumo energético total de la luminaria 112w. Otro caso similar sucede con una luminaria 2X40w en la que se podría instalar un balastro RQM-2S40-TP, también de la marca SYLVANIA, el cual consume 96w, siendo este mismo valor el consumo energético de dicha luminaria.

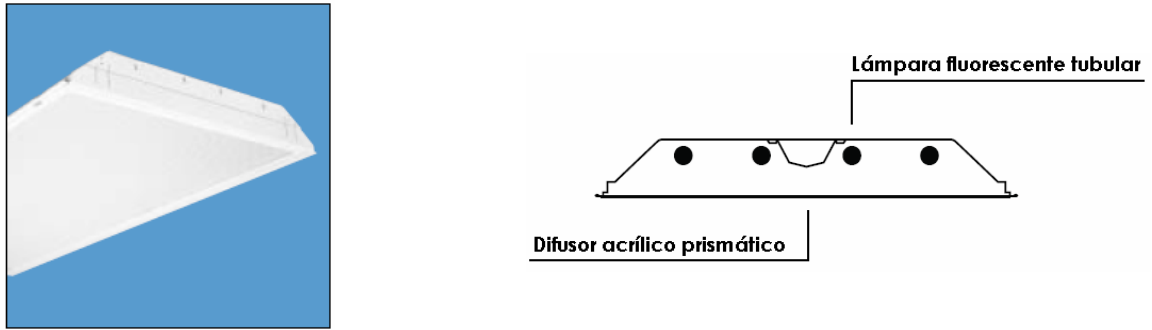
Para obtener un dato exacto sobre el consumo energético un balastro en particular, se recomienda consultar a los vendedores sobre el tipo de balastro incluido en la luminaria a instalar, y consultar los catálogos de los fabricantes de los mismos.

### *DIFUSORES*

Los difusores son comúnmente utilizados en las luminarias como elementos antideslumbramiento. Su funcionamiento consiste en incrementar el área efectiva de la fuente de luz, haciéndola parecer de mayor tamaño y menos brillante. El hecho que una lámpara dentro de un luminario con un difusor parezca menos brillante, no significa precisamente que reduzca su potencia luminosa, sino que distribuye su luz producida en un área mayor.

Generalmente el material de los difusores es vidrio en el caso de lámparas incandescentes, y plástico en el caso de luminarias de descarga. La razón principal del uso específico de vidrio con lámparas del tipo incandescente estriba en que éstas disipan grandes cantidades de calor durante su operación, impidiendo el uso de plásticos por su eventual deterioro a causa de las elevadas temperaturas.

Existen en el mercado una gran cantidad de difusores, siendo los mejores aquellos que poseen un mayor factor de transmisión de la luz. Lo anterior significa que entre mayor sea el factor de transmisión de un difusor, menos luz absorberá y mayor luz entregará. Generalmente los fabricantes de luminarias publican catálogos, en los cuales se pueden encontrar información sobre los distintos difusores o rejillas que fabrican.



*Figura III.2.1*

A la izquierda se muestra una fotografía de una luminaria fluorescente con difusor acrílico prismático, a la derecha un corte transversal de la luminaria donde se muestra la ubicación de las lámparas y el difusor acrílico prismático.

En la actualidad, los difusores más comunes para lámparas fluorescentes son los acrílicos prismáticos. Estos difusores, además de ser elementos antideslumbrantes, poseen un alto factor de transmisión de la luz; sin embargo, por efectos del polvo y del envejecimiento se tornan quebradizos y de un color amarillento. En tales casos, se recomienda su reemplazo pues su eficiencia y su factor de transmisión de la luz se reducen sensiblemente provocando una disminución de los niveles de iluminación y un deterioro de la calidad de la luz proporcionada por las luminarias.

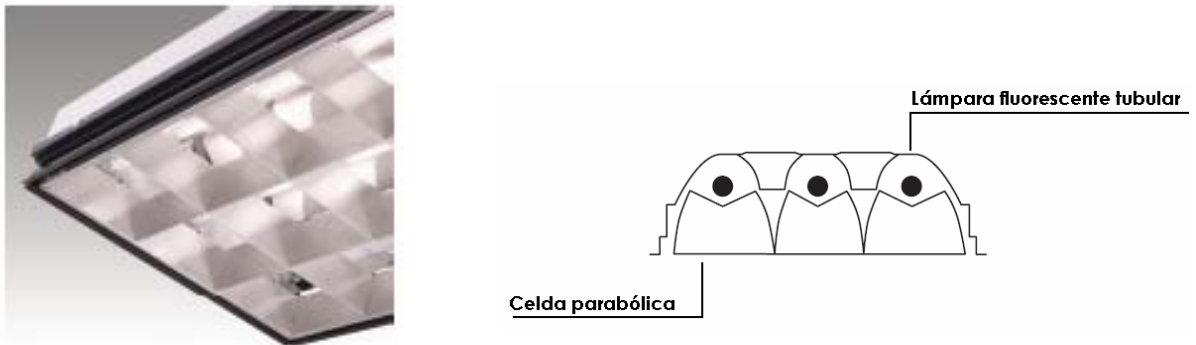
### **REJILLAS**

Las rejillas, al igual que los difusores, son elementos antideslumbrantes que actúan ocultando las lámparas del la zona de visión de las personas. Actualmente las rejillas que más se utilizan por su belleza estética y apariencia sofisticada, pero principalmente por su excelente y preciso control de la luz, son las rejillas parabólicas de aluminio. El nombre de estas rejillas proviene de la forma parabólica de las celdas que las componen. La superficie parabólica de las celdas actúa como un reflector dirigiendo la luz en un área de trabajo de 0 a 45 grados medidos desde la vertical.

Los difusores parabólicos poseen entre sus características más importantes:

- Ocultan la fuente de luz.
- Permiten el control de la luz en una zona determinada.
- Reducen los reflejos indeseados.
- Brinda una apariencia agradable, a la vez que reducen las molestias ocasionadas por el brillo de las lámparas.

Los difusores parabólicos se pueden encontrar en dos tipos de acabados principalmente, especular y semi- especular. En un difusor parabólico con un acabado especular, la superficie reflectora se asemeja a un espejo, por lo que el control y la luz del brillo son mejores y más precisos. En general, las rejillas con acabados más oscuros son menos eficientes, por lo que deberá procurarse la utilización de rejilla con acabados claros o especulares.



*Figura III.2.2*

A la izquierda una fotografía de una luminaria fluorescente con rejilla parabólica de 18 celdas, a la derecha un corte transversal de la luminaria donde se muestra la forma parabólica de las celdas y las lámparas dentro del luminaria.

Como las rejillas generalmente son de materiales no traslúcidos, la cantidad de luz entregada por una luminaria con rejilla parabólica es menor que la cantidad de luz producida por las lámparas desnudas. De esta manera, la forma particular de una rejilla determinará la eficiencia de la luminaria en general. Para conocer la eficiencia de una rejilla a instalar, se recomienda consultar este dato con los proveedores o fabricantes de ésta.

## **2.1 INCADESCENCIA**

Se denomina incandescencia a la radiación de luz visible cuando una la superficie de un cuerpo se encuentra a alta temperatura. La luz puede ser producida por superficies a temperaturas superiores a 900K, pero hasta los 6,000K la mayoría de la radiación emitida es calor.

Por medios eléctricos, la generación de luz se logra cuando una corriente eléctrica se hace pasar por un hilo conductor el cual aumenta su temperatura hasta la incandescencia.

En las lámparas incandescentes, el hilo conductor es generalmente tungsteno el cual se confina dentro de un bombillo lleno de un gas inerte como el argón.

El gas inerte se utiliza para evitar que el hilo de tungsteno se evapore debido a las altas temperaturas. Por otro lado, el hilo de tungsteno se moldea en forma de espiral, porque de esa manera alcanza su máxima eficiencia lumínica.

### ***2.1.1 Lámparas Incandescentes***

Estas lámparas están compuestas por un filamento de tungsteno confinado dentro de un bombillo lleno de gas argón o xenón. El rendimiento de estas lámparas es bastante bajo, pues del 100% de la energía que consumen, sólo del 10 al 12% se transforma en luz, y el resto en calor. Por lo tanto, este tipo de lámparas aunque de un costo inicial bajo, su baja eficiencia hacen que su costo de operación sea elevado.

La luz que irradian las lámparas incandescentes contiene bastantes de las longitudes de onda visible, y cuando su filamento alcanza la incandescencia parece de un color que va del rojo hasta el blanco. La luz generada por este tipo de lámparas resalta bien todos los colores, pero más los rojos y amarillos, dando a los objetos una apariencia cálida.

#### **Ventajas**

- Tamaño compacto.
- Bajo costo de la lámpara.
- Flujo luminoso no alterado por la temperatura ambiente.
- No utiliza accesorios de arranque.
- Flujo luminoso controlable.
- Funcionamiento con corriente continua y alterna.

#### **Desventajas:**

- Corta vida (desde 750 a 1,000 horas).
- Baja eficiencia y por lo tanto alto costo de operación (19 Lúmenes/Watt).
- Generación de calor considerable.

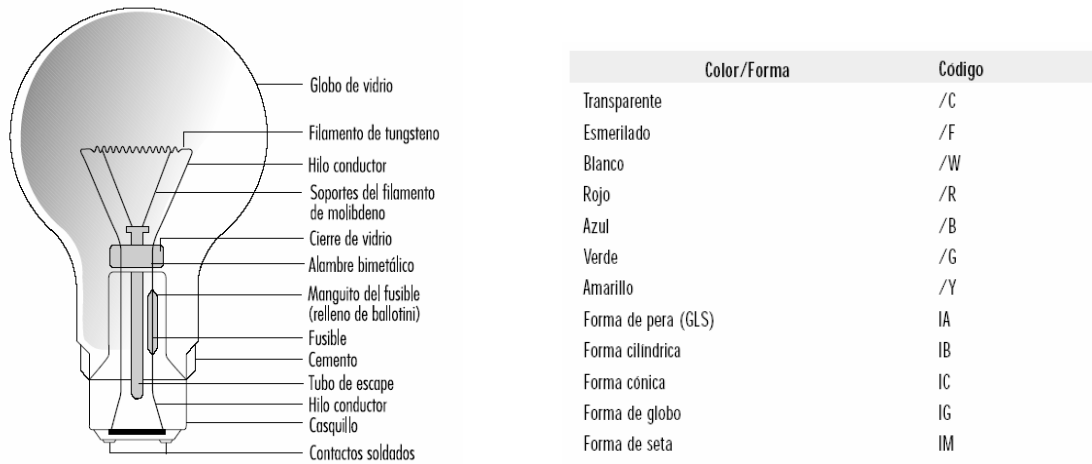


Figura III.2.3

A la izquierda se muestra un figura con las distintas parte de una lámpara incandescente típica; a la derecha se muestra una tabla con los códigos utilizados por algunos fabricantes para detallas la forma y color de las lámparas incandescentes.

La mayor aplicación de las lámparas incandescentes se encuentra en el uso residencial debido principalmente a su bajo costo inicial y a las características cálidas de su luz. Sin embargo para un país tropical con temperaturas ambientes elevadas en la mayoría de los meses del año, los tonos cálidos en los colores de las paredes o en la iluminación generan la sensación de existir una temperatura aun mayor a la ambiental. Por otro lado y como se mencionó con anterioridad, la baja eficiencia luminosa de estas lámparas conllevan a elevados costos de operación, es por ello que no se recomienda su uso en lugares en donde permanecerán encendidas por largos periodos de tiempo.

### 2.1.2 Lámparas Incandescentes Halógenas

En este tipo de lámparas incandescentes un filamento de tungsteno sublimado se confina dentro de un bulbo de cuarzo que contiene yodo en su interior. El bulbo de cuarzo permite que la lámpara tenga un tamaño muy compacto, pero a la vez resistente a los cambios bruscos de temperatura, alta eficiencia y mantenimiento casi nulo durante su vida. Su eficiencia luminosa es de aproximadamente 22 Lúmenes/Watt.

Como se mencionó con anterioridad, una de las ventajas de las lámparas incandescentes es su sencillo control de su flujo luminoso, el cual puede ser controlado a través de la tensión eléctrica que se aplica a la lámpara. Si aplicamos una tensión eléctrica menor a la nominal de trabajo de la lámpara, podremos disminuir los lúmenes producidos por la lámpara; si por el contrario se aplica una tensión eléctrica mayor, la cantidad de lúmenes producidos aumentará. Una relación inversa guarda la tensión

eléctrica con la vida útil de la lámpara; cuando operamos la lámpara a una tensión eléctrica mayor a la nominal su vida útil disminuye, lo contrario ocurre cuando aplicamos una tensión menor.

La gráfica siguiente ilustra los fenómenos antes mencionados, pudiéndose observar que cuando se opera la lámpara al 100% de su tensión eléctrica nominal, su vida útil es la de diseño y su producción de lúmenes es la nominal. Por otro lado cuando se opera la lámpara al 85% de su voltaje nominal, los lúmenes disminuyen al 60% de los nominales, y su vida útil cerca de un 160 % de la de diseño.

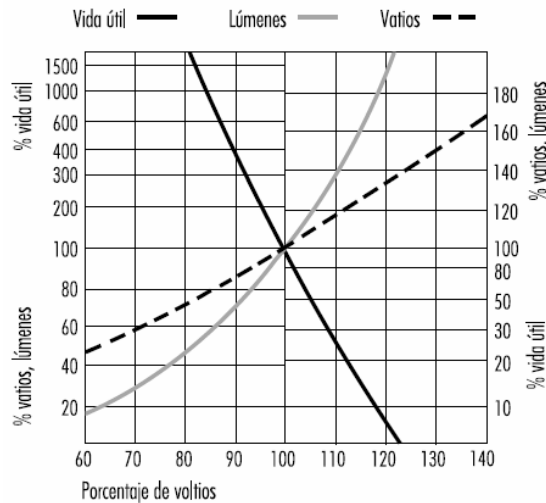
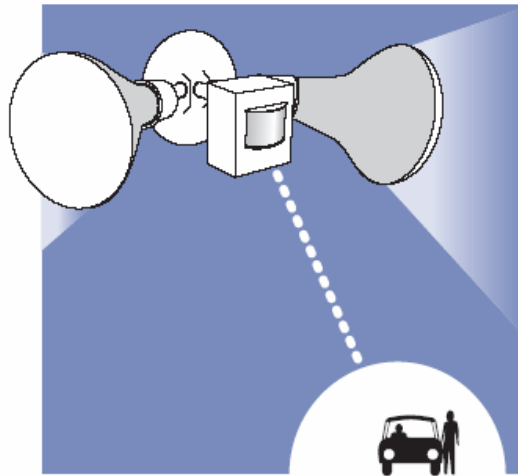


Figura III.2.4

En la gráfica se muestran las distintas relaciones entre la tensión eléctrica suministrada a una lámpara incandescente, su vida útil, y la cantidad lúmenes producidos.

A pesar que aparentemente operar una lámpara incandescente a tensión eléctrica reducida es beneficioso por el aumento de su vida útil, esto afecta la eficiencia de las lámparas, es decir se obtiene una lámpara que produce menos luz, consume mucha energía y que hará esto por más tiempo de lo esperado. Cuando una lámpara incandescente opera al 50% de la tensión eléctrica nominal, su producción de lúmenes es insignificante, pero su consumo de energía es sensiblemente alto respecto a la luz producida; es por ello que se recomienda que si una lámpara incandescente será utilizada con un dimmer (Resistencia variable que regula el voltaje que es aplicado a una lámpara), éste apague la lámpara cuando se llegue al 50% de la tensión eléctrica nominal.

Una de las principales aplicaciones de las lámpara incandescentes halógenas es la iluminación de seguridad. Usualmente se les encuentra en los perímetros de vallas, en casetas de seguridad, en fachadas de residencias, entre otros. Al igual que las lámparas incandescentes comunes, no se recomienda su operación por largos períodos de tiempo pues los costos de operación son elevados.



*Figura III.2.5*

En la gráfica se muestran las distintas relaciones entre la tensión eléctrica suministrada a una lámpara incandescente, su vida útil, y la cantidad lúmenes producidos.

Con el objeto de conciliar el ahorro energético con el uso como iluminación de seguridad de estas lámparas, se recomienda su uso en luminarios con sensores de movimientos que las enciendan al detectar movimiento, y que las apaguen luego de un tiempo prudencial de no detectarlo. Esto permite obtener una iluminación de seguridad con bajo costo inicial y bajo costo de operación.

## 2.2 DESCARGA ELECTRICA

Este método consiste en la iluminación que se produce cuando una descarga de electrones se produce entre dos electrodos. Los distintos tipos de lámparas de descarga se describen con detalle a continuación.

### 2.2.1 Lámparas Fluorescentes

Estas lámparas poseen un tubo de vidrio con una capa delgada de fósforo depositada a todo su largo, mercurio líquido, y dos electrodos. La luz artificial se produce cuando una tensión eléctrica es aplicada en los electrodos generando una descarga de electrones entre estos, esta descarga de electrones choca con los átomos de mercurio, que en ese momento se encuentra vaporizado, haciendo que estos emitan rayos de luz ultravioleta que a su vez excitan al fósforo, produciendo luz de espectro visible.

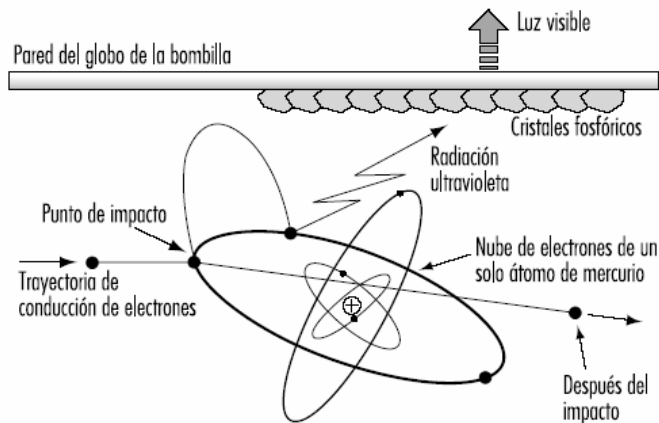


Figura III.2.6

En la figura se muestra el proceso de producción de luz dentro de una lámpara fluorescente.

En una lámpara fluorescente el 90% de la luz generada es producto de la fosforescencia y el 10% por las radiaciones de luz del mercurio. Por otro lado, el factor más importante para determinar las características de la luz producida por el este tipo de lámparas, es el recubrimiento de fósforo y los componentes de éste. Variando las combinaciones de polvos fluorescentes es posible lograr varias tonalidades de luz que van desde el blanco frío, pasando por el blanco cálido, hasta el blanco luz de día; esto, obviamente afectando la apariencia de los colores. También utilizando distintas combinaciones de polvos es posible variar el índice de reproducción del color y la eficiencia lumínica de la lámpara.

Entre las principales ventajas y desventajas que podemos citar de este tipo de lámparas están:

#### Ventajas

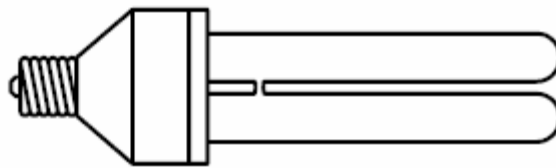
- Alta eficiencia luminosa.
- Larga duración (12 000 horas de vida).
- Realce de colores azules, verdes y violetas.

#### Desventajas

- Gran tamaño en relación con su potencia.
- La necesidad de un balastro para su correcta operación.
- Reducción del flujo luminoso a bajas temperaturas ambientales.

#### 2.2.2 Lámparas Fluorescentes Compactas

Este tipo de lámparas fluorescentes de pequeño tamaño fueron desarrolladas como sustitutos de las lámparas incandescentes en las aplicaciones que generalmente correspondían a estas últimas. Combinan características deseables como mayor eficiencia, buena reproducción del color, bajo consumo de energía y larga vida útil.



*Figura III.2.7*

En la figura se muestra una lámpara fluorescente compacta.

Este tipo de lámparas se fabrican de variadas formas, y al operar bajo el mismo principio que las lámparas fluorescentes comunes, pueden conseguirse en varias tonalidades desde el blanco frío, pasando por el blanco cálido, hasta el blanco luz de día. Además de sus variadas formas y colores, este tipo de lámparas se encuentran en presentaciones con balastro incorporado y casquillo con rosca estándar que permite su conexión a un receptáculo común. Existe otra presentación de estas lámparas en donde la lámpara y el balastro se venden por separado, pero su uso es cada vez menos común en nuestro medio.

LÁMAPARA INCANDESCENTE	LÁMAPARA FLUORESCENTE COMPACTA	ENERGÍA AHORRADA (W)
40W	11W	29W
50W	13W	37W
60W	13 – 15W	45W
75W	18 – 22W	55W
100W	22 – 26W	74W

*Tabla III.2.1*

En la tabla se muestran los reemplazos recomendados de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas, y el ahorro de energía aproximado gracias al reemplazo; los niveles de iluminación producidos por ambas lámparas son similares.

Las lámparas fluorescentes compactas, al igual que las fluorescentes comunes, son afectadas sensiblemente por la temperatura. El rendimiento máximo de este tipo de lámparas se alcanza cuando se opera a 25 C; sin embargo, a temperaturas menores a los 15 C su rendimiento disminuye rápidamente, al igual que a mayores temperaturas que la óptima pero a una velocidad menor. Por otro, las lámparas fluorescentes pueden tener problemas de arranque a bajas temperaturas, por lo que si se desean operar a temperaturas bajas es necesario aplicar una tensión eléctrica en el arranque más alta.

Respecto a la vida útil de las lámparas fluorescentes en general, su flujo luminoso disminuye sensiblemente después de un aproximado de 8 000 horas de uso, alcanzando valores de 90% hasta un 70% del su flujo luminoso inicial. La causa principal de la disminución del flujo luminoso es la pérdida de la efectividad de los polvos fluorescentes por la acción del tiempo y uso. Estos polvos fluorescentes que actúan como un convertidor de radiación ultravioleta a luz visible, pierden su eficiencia original después de las 8, 000 horas de uso.

Otro factor que afecta la vida útil de las lámparas fluorescentes, son los periodos de encendido de estas. Los periodos de encendido más cortos disminuyen la vida útil de las lámparas, mientras que periodos de encendido más largos la aumentan. Es decir, que si se encienden repetidas veces una lámpara fluorescente, su vida útil será menor. Por tal motivo, no se recomienda el uso de este tipo de lámparas en lugares en donde se permanecen periodos cortos de tiempo, puesto que eso supone mayor cantidad de encendido.

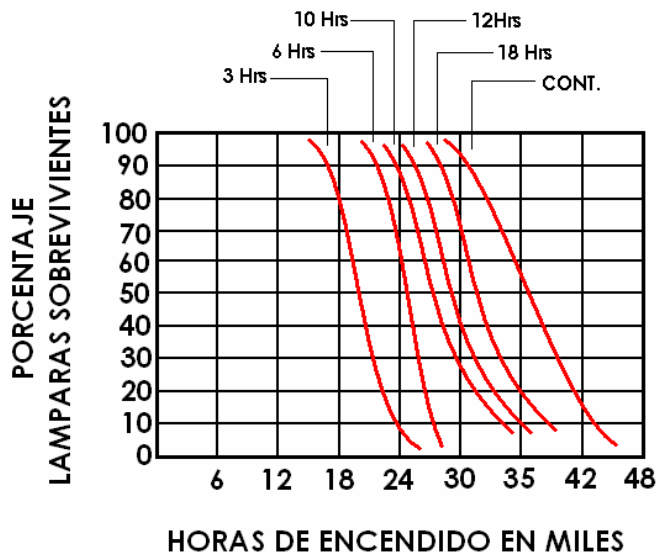


Figura III.2.8

En la gráfica se muestran, de izquierda a derecha, las curvas de ciclos de operación en incremento de lámparas fluorescentes, pudiéndose ver que para un ciclo continuo sobreviven un mayor número de lámparas por mayor tiempo.

Un servicio sanitario pequeño de oficina muy concurrido es un ejemplo de un lugar no recomendado para su uso, porque los periodos de encendido son cortos y el número de encendidos alto; en ese caso preferible utilizar una lámpara incandescente de baja potencia y costo inicial bajo, en lugar de una lámpara fluorescente con mayores lúmenes y con un costo inicial alto, esto debido a que la inversión tanto a corto como a largo plazo será menor con la lámpara incandescente.

### 2.2.3 Lámparas de Vapor de Mercurio

Este tipo de lámpara de descarga genera su luz directamente por la formación de un arco eléctrico entre sus electrodos. Las características de la luz generada por este tipo de lámparas, en su versión de bulbo claro, es de color blanco azulado, haciendo resaltar los colores azules, verdes y amarillos. A pesar que la radiación roja en este tipo de lámparas es casi nula, un revestimiento de fósforo en las paredes interiores de su bulbo, mejora las características de color de la luz producida. Además, de que el recubrimiento con fósforo mejora el rendimiento de color de la lámpara incluyendo el color rojo, en ocasiones, también aumenta la producción de lúmenes.

Estas lámparas, al igual que las fluorescentes, necesitan de un balastro para su correcto arranque y funcionamiento, por lo que para conocer su verdadero consumo de energía hay que conocer el consumo de su balastro.

Respecto a su construcción, estas lámparas poseen un bulbo exterior lleno de nitrógeno que protege a la lámpara de las condiciones atmosféricas, regula la temperatura del arco eléctrico formado y actúa como un filtro de radiación ultravioleta. En su interior se encuentra el tubo del arco donde en su interior se genera el arco debido a la ionización del argón y el vapor de mercurio en su interior. En la gráfica siguiente se pueden observar con detalle todas las partes constituyentes de una lámpara de mercurio típica.

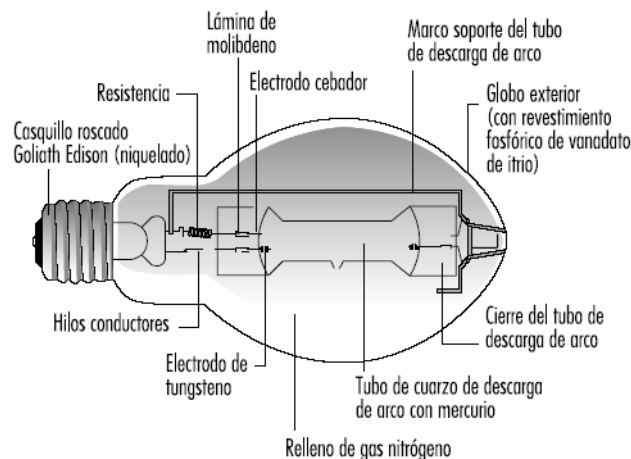


Figura III.2.9

En la figura se muestran las distintas partes de una lámpara de mercurio.

Una de las características más notables de este tipo de lámpara es su larga vida útil, la cual es de alrededor de 16 000 horas para las lámparas de 40 a 100 W, y de 24 000 para lámparas de 100 a 1 000 W. A pesar de su larga vida útil, estas lámparas pueden acortar su vida si sus períodos de operación son cortos. Su máxima vida útil se obtiene cuando se opera a un régimen de operación continuo, es decir, cuando nunca se apaga.

Gracias al tubo exterior de la lámpara, el cual actúa como un aislante térmico, éstas no se ven afectadas sensiblemente con los cambios en la temperatura ambiente, sin embargo si se operará la lámpara a bajas temperaturas, es recomendable hacer uso de balastos que proporcionen una tensión eléctrica de arranque más mayor.

Aunque poseen una larga vida útil, las lámparas de mercurio pueden ver reducida su rendimiento lumínico hasta un 55% del inicial en sus últimas horas de vida, por lo cual aunque pueden tener una larga duración, tanto las características de color de su flujo luminoso como su producción de lúmenes pueden hacer que su vida económica sea menor a su vida útil.

La posición de la lámpara también podría afectar su producción luminica, puesto que cuando no se opera en su posición vertical de diseño; la potencia, la emisión luminosa y su eficiencia se reducen ligeramente debido a la curvatura de su arco eléctrico.

Entre las principales ventajas y desventajas que podemos citar de este tipo de lámparas están:

### **Ventajas**

- Larga vida útil y baja depreciación luminosa.
- Flujo luminoso concentrado que facilita el control de preciso de sus rayos luminosos.
- Flujo luminoso inalterable con los cambios de la temperatura ambiente.
- Construcción fuerte y robusta, no afectada por vibraciones, e ideal para trabajo rudo.

### Desventajas

- Necesidad de un balastro.
- Tiempo de encendido largo, ya que luego de aplicada la tensión eléctrica de arranque son necesarios varios minutos para obtener su máxima eficiencia luminosa.
- Cuando se apaga, es necesario un lapso de enfriamiento de 3 a 5 minutos antes de tener nuevamente el total de su flujo luminoso.

#### ***2.3.4 Lámpara de Haluros Metálicos***

Las lámparas de haluros metálicos poseen características constructivas similares a las lámparas de mercurio, pero a diferencia de éstas, las lámparas de haluros metálicos poseen al interior del tubo del arco sales de haluros metálicos. Entre los distintos metales en forma de sales existentes en este tipo de lámparas se encuentran: Disproseo, Indio, Litio, Escandio, Sodio, Talio, y Estaño. El propósito principal de agregar dichos metales es mejorar las características de la luz de la lámpara de mercurio, pues estos metales añaden los colores rojo, amarillo y naranja faltantes.

La vida útil de estas lámparas puede oscilar entre 7 500 horas hasta 15 000 horas, pero a diferencia de las lámparas de mercurio, la producción de lúmenes de las lámparas de haluros metálicos al final de su vida útil es del 75% del valor inicial.

La eficiencia de una lámpara de haluro metálico puede superar a la eficiencia de una lámpara de mercurio de la misma potencia en cerca de 65 al 70%.

La posición de este tipo de lámparas es importante por que están diseñadas para trabajar en posición vertical, aunque se fabrican en dos modelos principalmente; base arriba a horizontal, y base abajo. Las primeras pueden trabajar de posiciones que van desde vertical hasta horizontal, y las segunda en posiciones de abajo hacia arriba pero sin llegar a posición horizontal. Cuando las lámparas son operadas en posiciones diferentes a la vertical, los watts y la producción de lúmenes decrecen ligeramente; lo mismo ocurre con el mantenimiento de lúmenes a través de la vida útil de la lámpara.

Como el sistema de las lámparas de haluro metálico resulta ser químicamente complejo, sus componentes se estabilizan después de aproximadamente 100 horas de operación, luego de lo cual, la lámpara alcanza todas sus ventajas y características lumínicas de diseño.

El mantenimiento de lúmenes de este tipo de lámparas es muy bueno, y la producción de lúmenes decrece muy lentamente a lo todo lo largo de su vida útil. Sin embargo, cuando se opera en posición vertical, y en períodos de operación continuos, el mantenimiento de lúmenes es mejor. Los períodos largos de operación también tienen el mismo efecto en la vida útil de la lámpara.

### **2.2.5 Lámparas de Sodio**

Existen dos tipos distintos de lámparas de sodio; las lámparas de baja presión de sodio, y las de alta presión de sodio. Sus características y diferencias van más allá de las que se pueden intuir con sus nombres. A continuación se detalla con mayor profundidad cada tipo.

#### **a) Lámpara de Sodio de Baja Presión**

Este tipo de lámparas producen una luz monocromática de un color amarillo muy característico. Los objetos iluminados por este tipo de lámparas aparecen a los ojos en diferentes tonos de grises y café excepto para los objetos amarillos. Su aplicación más común esta en zonas donde no es importante la correcta reproducción de los colores, por lo tanto, es muy común encontrar este tipo de lámparas en autopistas, túneles, parqueos, pasos subterráneos, calles residenciales, y otros similares.

Su uso tan difundido en alumbrado público es debido a dos notables características; por un lado, su alta eficiencia luminosa que alcanza hasta unos 200 lúmenes/watt, y por otro, su larga vida útil de alrededor de 20 000 horas.

#### **b) Lámpara de Sodio de Alta Presión**

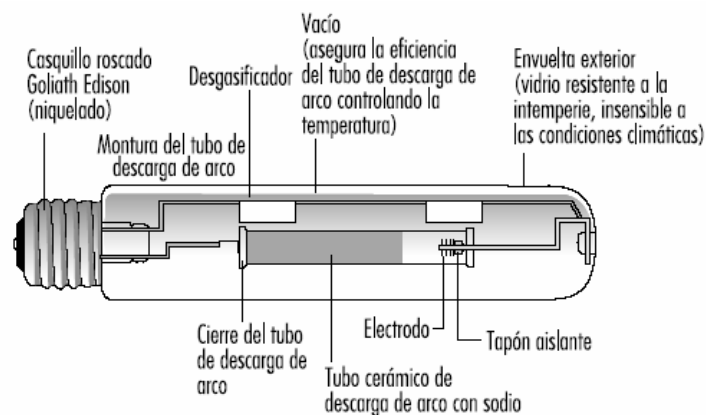
Al incrementar la presión del sodio al interior de la lámpara, se logra obtener una lámpara que produce una luz blanco-dorado, esto no sin afectar la eficiencia lumínica que para el caso de las lámparas de sodio a alta presión es de alrededor de 120 lúmenes / watt. Su forma es muy característica, siendo de forma estrecha y alargada, geometría que responde a la búsqueda de incrementar su eficiencia.

Otro efecto del incremento de la presión del sodio, es la necesidad de incrementar la tensión eléctrica en el arranque de la lámpara. Esta lámpara necesita de 3 a 4 minutos para calentarse y lograr su máxima brillantez, minutos durante los cuales, pasa desde un débil resplandor blanco-azul, pasando por un amarillo monocromático, y finalizando con su característica luz color blanco-dorada.

Su vida útil promedio es similar a la de una lámpara de mercurio, y también es igualmente afectada por variaciones de voltajes, y por períodos de operación cortos. Al final de la vida útil de la lámpara, esta encenderá hasta su máxima brillantez y luego se apagará; momento en el cual deberá ser reemplazada.

La posición de operación no es relevante, pues pueden operar en cualquier posición sin ninguna restricción. Esto representa una gran ventaja, pues no es posible equivocarse en su instalación, y supone también una posible reducción en el inventario requerido para éstas.

Como la eficacia de este tipo de lámparas es más del doble de una lámpara de mercurio, las lámparas de sodio de alta presión de potencias de 330 y 210, pueden reemplazar a lámparas de mercurio de 400 y 250 respectivamente. Lo anterior, ahorrando un 15% de energía y produciendo un 25% más de lúmenes.



*Figura III.2.10*

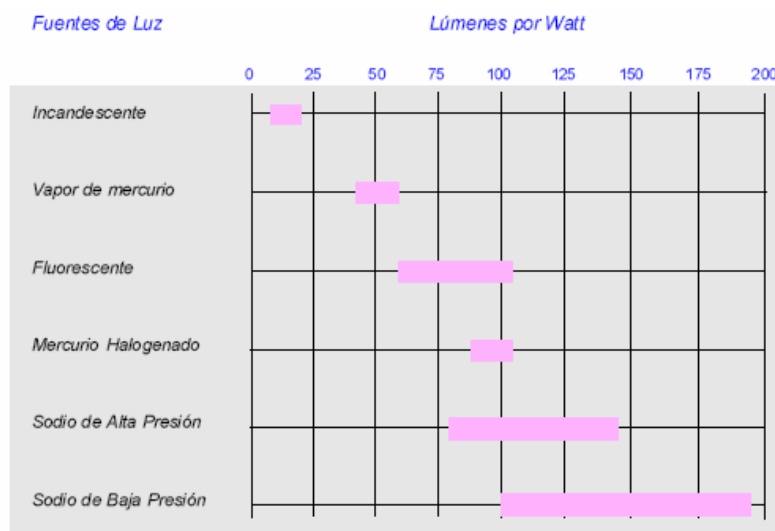
En la gráfica se muestran las distintas partes de una lámpara de sodio de alta presión.

### 2.3 AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON FUENTES DE LUZ ARTIFICIAL

Ahora que los tipos de lámparas han sido expuestas, se describirán algunas técnicas sencillas para el ahorro de energía eléctrica aprovechando las características particulares de cada una de las lámparas expuesta en los apartados anteriores.

#### 2.3.1 Selección de lámparas por su vida útil

Como se vio con anterioridad, la vida útil de los distintos tipos de lámparas es diferente, y ésta se ve afectada por las condiciones de uso y por el número de veces en que son encendidas. Es por ello que para elegir cierto tipo de lámpara, es necesario conocer las condiciones de uso a las que operará para obtener su máximo rendimiento.



*Figura III.2.11*

En la gráfica se muestra una comparación de las eficiencias luminicas de las diferentes fuentes de luz artificial.

Generalmente las lámparas incandescentes comunes pueden ser reemplazadas por lámparas fluorescentes compactas con la misma producción de lúmenes, siempre y cuando no estén instaladas en lugares donde se necesite encender y apagar repetidamente estas lámparas. De la misma forma, las lámparas de vapor de mercurio pueden ser emplazadas por luminarias de alta presión de sodio teniendo en cuenta que la luz que producen es de diferente tonalidad, y si la reproducción del color no es determinante, pueden ser reemplazadas por una lámpara de baja presión de sodio.

Pese a lo anterior, es necesario recordar que cada tipo de lámpara de descarga posee un tipo de balastro particular para sus características propias de encendido y

operación, por lo cual antes de hacer un cambio apresurado se deberá tomar en cuenta el balastro y la posición de operación de la lámpara, así como las dimensiones del luminario donde se instalará.

La elección de una determinada lámpara, no sólo debe estar basada en la cantidad de iluminación que produce, la eficiencia luminica, o la vida útil de ésta; sino que debe tomarse muy en cuenta el tipo de luminario en que será instalada por que éste puede afectar la cantidad de iluminación total entregada por la luminaria. Por otro lado, es importante recalcar que la tonalidad de la luz, al igual que la reproducción de los colores son sumamente importantes para algunas tareas visuales, por lo cual estos también deberán ser criterios a considerar a la hora de seleccionar una lámpara.

### **2.3.2 Selección y limpieza de las luminarias**

En la actualidad existen un sin número de tipos de luminarias con diferentes características particulares, y cada una de ellas afecta de manera diferente la cantidad de luz entregada por éstas. Por ejemplo, una luminaria fluorescente con rejilla parabólica entrega menos luz que la misma luminaria pero con difusor acrílico; sin embargo la cantidad de luz entregada por estas luminarias siempre será menor que la que entregan las lámparas fluorescentes desnudas.

A pesar de lo bello que parezca un luminario, sea ojo de buey, reflector, luminario para oficinas, de tipo colgante, o de cualquiera de los tipos que existe, es importante seleccionar el luminario con base no sólo en su belleza, sino en la eficiencia global que se tendrá con éste. Pese a lo anterior, la eficiencia de un luminario generalmente no es especificada por los fabricantes, sin embargo ciertas características del luminario son deseables para aprovechar mejor la luz producida por las lámparas como; superficies internas de colores reflejantes o especulares, formas curvas en sus reflectores, desmontaje y limpieza sencilla del luminario y de la lámpara.

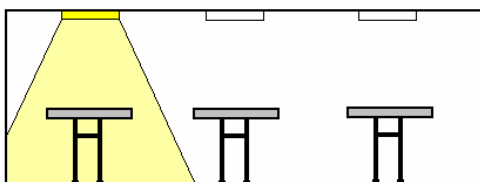
Una vez que las luminarias se han seleccionado, es importante mantener limpias tanto el luminario, como lámparas, y difusores si es que posee. Lo anterior se debe a que, si bien es cierto las lámparas poseen una determinada vida útil con producciones de lúmenes ya definidas, la suciedad y el polvo reducen la cantidad de luz que entrega la luminaria. La limpieza periódica de las partes reflejantes del luminario y la lámpara mantendrá la eficiencia original de la luminaria. En el caso que la luminaria posea rejillas, éstas

deberán limpiarse regularmente pues sus superficies también son reflejantes, y en el caso de los difusores acrílicos, éstos deben reemplazarse cuando se tornen de color amarillento.

### 2.3.3 Repartir las luminarias entre más interruptores

Generalmente los recintos no sólo son iluminados con iluminación artificial, sino que ya sea por ventanas, puertas, domos, u otros, también reciben iluminación de la luz solar. Esta iluminación recibida del sol produce no sólo buenos niveles de iluminación si las paredes y techos son de colores claros, sino que produce otros efectos positivos en el ánimo de las personas como se verá más adelante. Si el recinto posee ventanas, paredes y techos de color claro, y la luz solar que entra provee considerable niveles de iluminación, es posible que sólo una parte las luminarias instaladas en el recinto sean necesarias para lograr los niveles de iluminación necesarios. Si se desea utilizar sólo una parte de las luminarias instaladas en el recinto como apoyo a la luz que provee el sol dentro del recinto, se recomienda que éstas sean encendidas por sectores o alternadas.

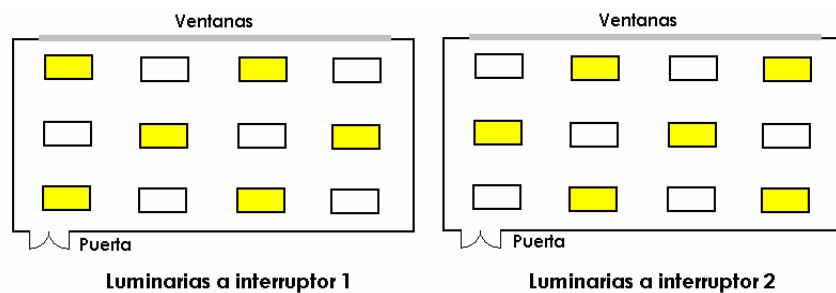
Dividir las luminarias instaladas en un recinto entre un mayor número de interruptores es una buena alternativa para el ahorro energético, pues esto permitiría encender sólo las luminarias necesarias en las áreas requeridas. Por ejemplo, imagínese que en un taller de metal-mecánica hay tres mesas de trabajos distribuidas uniformemente en todo el recinto, y que en cada mesa trabaja un mecánico diferente. Si todas las luminarias en el taller se accionan con el mismo interruptor, el consumo de energía eléctrica en iluminación siempre sería el mismo, aun si sólo un mecánico trabajara. Por el contrario, si las luminarias están repartidas en tres interruptores, uno por cada puesto de trabajo, si sólo un mecánico llegara a trabajar, éste sólo consumiría un tercio de la energía eléctrica para iluminación, lo que significaría un importante ahorro de energía eléctrica.



*Figura III.2.12*

En la gráfica se muestra el encendido individual de una luminaria por puesto de trabajo.

Un resultado similar se obtiene si la luz que entra por las ventanas es sólo un poco menor que la necesaria para la actividad visual a realizar. En este caso, sólo podría ser necesario encender la mitad de las luminarias instaladas en el recinto, pero éstas deberán estar conectadas alternadamente a dos interruptores. La conexión alternada de las luminarias a dos interruptores permite no sólo complementar la luz que entra por las ventanas para alcanzar los niveles de iluminación requeridos, sino que permite una mejor distribución de la luz. Esta técnica puede ser especialmente útil para oficinas, salones de clases, salones de usos múltiples, entre otros similares, siempre y cuando haya una iluminación natural a través de ventanas, puertas u otros elementos similares.



*Figura III.2.13*

En la gráfica se muestra a la izquierda el encendido alternado de luminarias con un interruptor, mientras que a la izquierda se muestra el encendido de las luminarias restantes con otro interruptor

Existen algunos recintos de tipo educativo donde se desarrollan actividades académicas con estudiantes jóvenes durante el día, y capacitaciones y cursos con personas adultas durante la noche. Como se mencionó con anterioridad, se necesitan diferentes niveles de iluminación según la edad de las personas. Esta técnica de encendido alternado de las luminarias es perfecta para ese tipo de recintos, pues permite proveer niveles distintos de iluminación según se requiera, ya sea que el recinto esté ocupado por jóvenes o por adultos, o bien que sea un día nublado o soleado.

### 3. Iluminación natural de interiores

El sol, es la fuente de energía más abundante con que se cuenta en el planeta tierra. La enorme cantidad de luz que irradia sobre la tierra, es la responsable del crecimiento de las plantas que sustentan la vida, y su calor provoca que las masas de aire caliente desplacen a las masas de aire frío, creando el viento. El calentamiento atmosférico provocado por la energía solar, es también responsable de las olas, las corrientes marinas, así como de la energía cinética de los ríos, lagos, y de la lluvia.

Como bien es sabido, en la actualidad existe la tecnología para aprovechar la energía solar tanto en forma de luz como en forma de calor para generar energía eléctrica. En forma de luz, su energía puede ser transformada en energía eléctrica haciendo uso de paneles fotovoltaicos, los cuales hacen uso del principio fotoeléctrico, en donde un material semiconductor produce una diferencia de potencial cuando sobre él incide la luz. El calor, puede ser aprovechado haciendo uso de la llamada tecnología fototérmica, la cual consiste esencialmente en captar y enfocar la luz solar sobre un punto para aprovechar el efecto fototérmico, en el cual se produce calor cuando la luz solar incide sobre ciertos materiales.

Aunque no es del interés de este manual tratar sobre las diferentes tecnologías solares para producir energía eléctrica, hay que resaltar que la tecnología fotovoltaica al igual que la fototérmica, tienen aun importantes desventajas; entre las que podemos mencionar, su coste elevado y su baja eficiencia. Estas dos grandes desventajas impiden el uso extendido de estas tecnologías actualmente disponibles, pero aun incosteables para muchos.

Aunque el uso de la energía solar pareciera un tema de actualidad e incluso futuristas, lo cierto es que los seres humanos la hemos utilizado desde la antigüedad para la iluminación de diferentes recintos; a este uso de la energía solar se le llama pasiva, y su uso e integración en la arquitectura antigua puede fácilmente apreciarse en las diferentes culturas antiguas.

La naturaleza altamente predecible de la luz solar, durante el día y a través de las distintas épocas del año, han permitido integrar diversos elementos en las edificaciones que potencian su uso como principal, y en ocasiones, única fuente de iluminación.

Además de ser una fuente de energía gratuita, la luz solar provee muchos beneficios para la salud tanto anímica como visual de las personas. Sus ventajas respecto a la iluminación artificial son:

- Es gratuita y disponible en cualquier época del año. Un uso inteligente de su potencial podría no sólo proveer niveles de iluminación adecuados dentro de un recinto durante las horas diurnas, sino que su uso supondrían un ahorro de hasta un 90% de energía eléctrica en iluminación.
- Es una fuente de luz de alta calidad. No sólo provee altos niveles de iluminación, sino que permite una excelente discriminación de los colores y una buena reproducción de los mismos.
- Es dinámica. La visión humana está desarrollada de tal forma que tiene una gran capacidad de adaptación a las características cambiantes de la luz natural; además sus cambios continuos son favorables por su efecto estimulante, y la conexión que proveen con el entorno exterior al recinto de trabajo es anímicamente beneficiosa para las personas.



*Figura III.3.1*

En la fotografía se evidencian los altos niveles de iluminación que pueden ser obtenidos con la luz natural.

Aunque se cree que trabajar con luz natural es menos estresante y más confortante que trabajar con luz artificial, lo cierto es que también posee desventajas. La luz directa del sol puede causar deslumbramiento, no sólo al ser vista directamente, sino al ser reflejada por una superficie, esto es debido a que su gran intensidad puede llegar a ser de hasta

100,000 luxes. Además, la luz solar directa puede ocasionar aumentos de temperaturas importantes que pueden provocar molestias a las personas.

Por otro lado, la disponibilidad de la luz solar, se ve afectada irremediablemente por las condiciones ambientales, y la trayectoria natural del sol durante el día. No obstante, la disponibilidad de la luz solar en nuestro país es muy buena, y las condiciones climáticas muy predecibles, permitiendo que el uso pasivo de la luz solar como fuente de iluminación sea totalmente viable.

Para introducir al lector en la implementación de estrategias sobre el aprovechamiento de la luz solar, debemos primeramente hablar del sol y su comportamiento, para luego hablar de los diferentes elementos que permitirán el uso eficiente de la luz solar para la iluminación de recintos.

### **3.1 EL SOL**

El sol, una de las millones estrella de la Vía Láctea, es la fuente de iluminación de la que se valen los diseños solares pasivos para llevar iluminación al interior de los recintos. El conocimiento de su comportamiento y sus características es esencial para aprovechar al máximo este recurso.

Como todos sabemos, la tierra gira alrededor del sol durante todo el año, completando una vuelta entera en su orbita en 365 días. Además del movimiento de traslación, la tierra gira alrededor de su eje en un lapso de 24 horas. Estos hechos explican la naturaleza cambiante del sol, y aunque sabemos que es la tierra la que se mueve, desde el punto de vista de un observador en la tierra el sol es quien lo hace; es por ello que en lo posterior diremos que el sol es el que se mueve y no la tierra, aunque se sabe de antemano que es lo contrario.

Ahora bien, el hecho que la tierra gire sobre su eje, provoca que el sol salga por las mañanas en el oriente (Este) y se oculte por la tarde en el poniente (Oeste). Esto le confiere al sol un eje de movimiento con 180 grados de libertad, siendo este hecho de especial importancia porque el sol proyecta sus rayos sobre la tierra a diferentes ángulos a diferentes horas del día. Por ejemplo, durante el amanecer como en el atardecer, los rayos del sol se proyectan casi paralelos a la superficie de la tierra, y la cantidad de luz solar disponibles sobre un plano horizontal es poca; durante el mediodía, sus rayos son

casi perpendiculares a ella, proveyendo grande niveles de iluminación sobre un plano horizontal.

Por otro lado, si se es observador se podrá notar que al mediodía el sol no se encuentra totalmente perpendicular a la tierra, sino que se inclina un poco hacia el norte o hacia el sur. Esta inclinación norte o sur se denomina declinación, y esta varía dependiendo principalmente de la inclinación del eje de la tierra, la ubicación geográfica del lugar en cuestión, y del movimiento de traslación. Esta declinación solar puede tomar valores positivos, cuando el sol se inclina hacia el norte, y negativos cuando el sol se inclina hacia el sur. Como se ha mencionado que la declinación depende del movimiento de traslación, es obvio que varía a lo largo del año. Esta variación comprende valores de 23.45 grados en el solsticio de verano, hasta -23.45 grados en el solsticio de invierno.

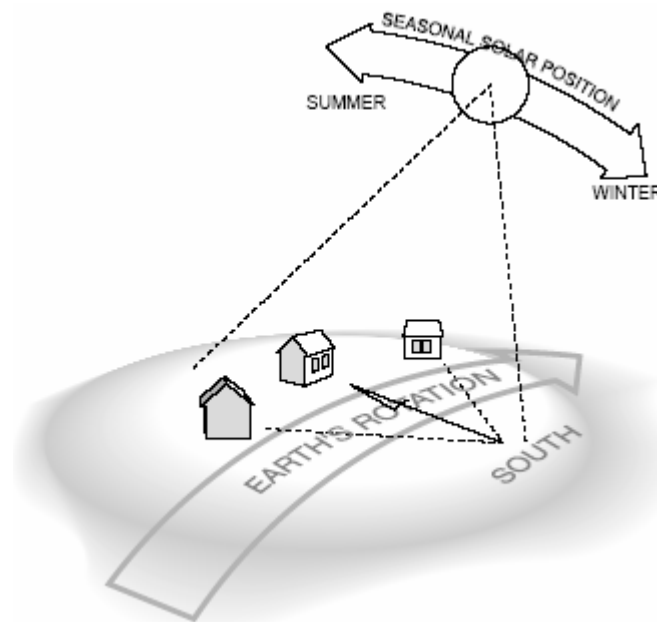


Figura III.3.2

En la figura se muestra los dos sentidos de movimiento del sol.

Debido a lo anterior, el sol pareciera moverse en dos direcciones; a lo largo del día de oriente a poniente, y a lo largo del año inclinándose un poco hacia el norte o hacia el sur. Esta información y su el manejo adecuado, puede ser utilizada para lograr buenos niveles de iluminación al interior de los recintos, pero a la vez evitando la luz solar directa la cual, como ya se mencionó antes, puede causar deslumbramiento por sus altos niveles de luminancia.

La luz solar que recibe un plano horizontal paralelo a la superficie terrestre puede dividirse en tres tipos; luz solar directa, luz solar indirecta y luz solar difusa. La primera es la que viaja en línea recta y que proviene directamente del sol. La segunda es resultado de la reflexión de la primera, es decir, que la luz solar directa al incidir sobre un objeto cualquiera puede cambiar de dirección y ser dirigida hacia diversas direcciones, ya sea al incidir en la pared de una casa contigua o en un árbol. La tercera es la luz que proviene de la toda la esfera celeste, es decir de la atmósfera, y es el resultado de la reflexión de la luz solar directa por la nubes, el polvo, diferentes gases atmosféricos, entre otras cosas.

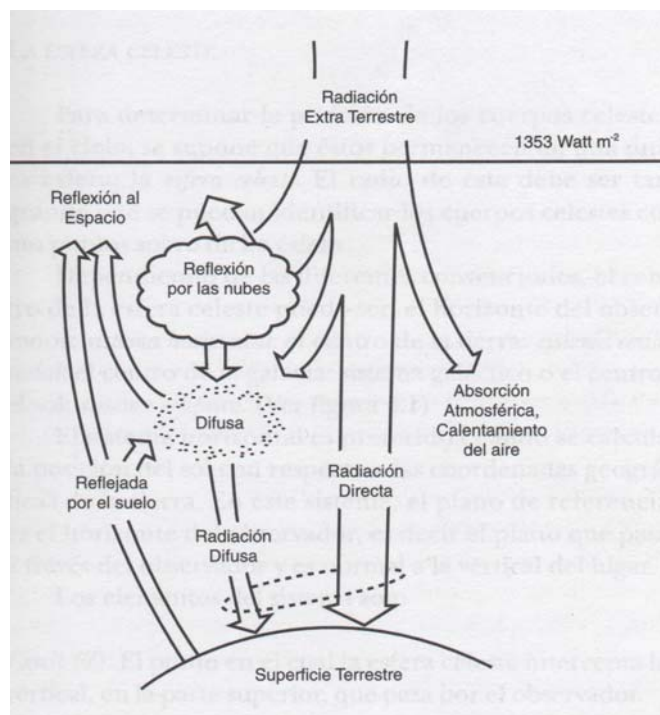


Figura III.3.3

En la figura se muestra la entrada de luz solar a la atmósfera terrestre y la forma en que se divide en radiación directa y difusa.

Para los usos en iluminación de interiores, la luz solar directa debe ser evitada sobre el plano de trabajo, pero puede ser redirigida para ser utilizada como luz solar indirecta, como se explicará más adelante.

### **3.2 ELEMENTOS PARA ILUMINACIÓN NATURAL DE INTERIORES**

Existen una gran variedad de elementos, así como de materiales para construirlos, que permiten aprovechar la luz solar para la iluminación de interiores. En esta sección se detallan los más comunes actualmente utilizados.

#### ***3.2.1 Ventanas***

Las ventanas están dentro de los elementos más básicos y comunes para introducir luz solar a un recinto. Entre los principales factores a tomar en cuenta para aprovechar la luz natural con estos elementos están:

- a) Orientación, colocación, y tamaño de las ventanas.
- b) Dimensiones del local a iluminar.
- c) Color de las paredes y techos.
- d) Limpieza de las ventanas.
- e) Grado de transmisión de luz del material utilizado en las ventanas.

#### ***a) Orientación, colocación, y tamaño de las ventanas.***

En ocasiones, la orientación del edificio no es uno de los factores controlables en un proyecto de iluminación natural; sin embargo, siempre que sea posible, se deberán orientar el edificio para que sus ventanas queden hacia el Norte o hacia el Sur, de este modo se evitará la entrada de luz solar directa, la cual puede causar deslumbramiento y un elevado aumento de temperatura. Cuando un edificio tiene las ventanas orientadas hacia el Este u Oeste, se recomienda utilizar cortinas, persianas u otros elementos para evitar entrada de luz solar directa a los recintos. Por otro lado, las ventanas que se ubican más arriba en una pared, son más eficientes para introducir luz natural que las que se sitúan más debajo de la misma.

Una forma de aumentar los niveles de iluminación en un recinto de baja altura, es colocar pisos exteriores de colores claros. Esto no sólo aumentará la cantidad de luz solar indirecta dentro del recinto, sino que además, mejorará la reflexión de la luz artificial en el exterior durante la noche. Otro método para mejorar la entrada de luz a un recinto es inclinarlas en un cierto ángulo; sin embargo, aunque esto mejora sustancialmente la entrada de luz, esto provoca una mayor acumulación de polvo y suciedad sobre éstas, siendo necesario una limpieza más frecuente de éstas para mantener una entrada óptima de luz.

En cuanto al tamaño de las ventanas y su cantidad dentro de un recinto cualquiera, se considera que el área total de las ventanas debe ser de al menos 30% de área total del piso del recinto. Con este valor de área de ventanas, se garantiza la uniformidad de la iluminación natural dentro de éste.



*Figura III.3.4*

Utilización de una persiana para evitar la entrada de luz directa a través de una ventana hacia el puesto de trabajo.

***b) Dimensiones del local a iluminar.***

Aunque pueden lograrse muy buenos niveles de iluminación con una ventana, a medida que nos alejamos de ésta, los niveles de iluminación se reducen gradualmente. Por esta razón se recomienda acercar el plano de trabajo lo más posible a las ventanas para aprovechar los elevados niveles de iluminación natural, y pintar los techos y paredes de colores claros.

Sin embargo, cuando las dimensiones del local y la ubicación de los planos de trabajo dentro de éste determinan una distancia excesiva a las ventanas, se pueden obtener niveles de iluminación natural convenientes haciendo uso de domos, techos dientes de sierra, o láminas de techo traslúcida, elementos que describiremos más adelante con mayor detalle.



*Figura III.3.5*

En la fotografía se observa la ubicación conveniente de los planos de trabajo respecto a las ventanas, de igual forma se observa que el color claro de la pintura de las paredes y techo mejora la distribución de la luz en el recinto.

### ***c) Color de los techos y las paredes.***

El color de las paredes y techos es un factor muy importante para potenciar el uso de la iluminación natural en un local. Como bien se sabe, los colores claros reflejan mejor la luz que los colores oscuros; por tal motivo, se recomienda pintar las paredes y techos del interior de los locales con colores claros. Los acabados brillantes de la pintura de aceite reflejan mejor la luz que los acabados mates; sin embargo, en ocasiones los acabados brillantes pueden producir destellos deslumbrantes que molestan o dificultan la visión de las personas, por lo cual se recomiendan acabados mates en la parte superior de las paredes, aunque en las partes inferiores se utilice pintura de aceite por motivos de limpieza y durabilidad.

Un beneficio adicional de utilizar colores claros para techos y paredes interiores es la sensación de mayor espacio. Un local parecerá más espacioso si está pintado con un color claro que con un color oscuro. Otro beneficio aun mayor se logra cuando se pintan las paredes y techos exteriores con colores claros, y es que estos colores poseen un factor de reflexión de la luz alto, lo cual contribuye a reflejar los rayos solares y evitar aumentos de temperatura indeseables dentro de un local.

El factor de reflexión indica en qué cantidad la luz que incide sobre un objeto es reflejada. Al pintar las paredes y techos de un local con colores claros, se mejora la distribución de la luz sobre el plano de trabajo, a la vez que se mejora la uniformidad de la luz dentro del mismo.

COLOR DE LA PINTURA (Acabado mate)	FACTOR DE REFLEXIÓN (Valores en porcentaje)
Blanco	85 – 70
Crema pálido	70.2
Crema fuerte	61.9
Amarillo oro	53.8
Amarillo limón	52.3
Gamuza medio	38.5
Azul celeste	36.9
Gris plata	36.3
Rosa salmón	35.7
Gris acero claro	31.4
Gris quaker	28.3
Anaranjado	25.4
Azul turquesa	21.1
Rojo vivo	12.2
Gris acero oscuro	12.1
Verde brillante	12.0
Tierra cocida (Terracota)	11.8
Verde bronswick claro	8.4
Marrón medio	7.8
Azul faisán	7.7
Rojo óxido de hierro	5.3
Azul cobalto	4.5
Marrón oscuro	3.9
Verde bronswick medio	3.9
Chocolate	1.6
Azul ultramar	0.4

**Tabla III.3.1**

En la tabla se presentan los diferentes valores del factor de reflexión para los distintos colores, estos valores pueden servir de guía al lector para seleccionar mejor el color de las paredes y techos de un local.

#### ***d) Limpieza de las ventanas.***

Aunque el material traslúcido utilizado en una ventana posea un elevado factor de transmisión de la luz, su efectividad se verá notablemente disminuida si sobre su superficie se acumula suciedad y polvo. Lo anterior, se aplica tanto a ventanas como a persianas, cortinas u otro elemento traslúcido que evite la entrada directa de la luz solar. Se requiere entonces, una limpieza periódica de todos los elementos que constituyen la ventana para mantener su efectividad en óptimas condiciones.

**e) Grado de transmisión de luz del material utilizado en las ventanas.**

El factor de transmisión indica cuánta de la luz que incide sobre una cara un objeto atraviesa hacia el otro extremo. Las ventanas pueden ser fabricadas de una gran cantidad de materiales, cada uno con sus características propias en cuanto a su factor de transmisión de la luz, color, peso, y costo.

Por otro lado, y como ya se ha mencionado con anterioridad, la cantidad de calor que permite pasar un material traslúcido es muy importante para evitar una excesiva ganancia térmica, y a este respecto, se han desarrollado algunos vidrios con un alto factor de transmisión de la luz, pero bajo factor de transmisión de calor. Estos vidrios de última tecnología son denominados LOW – E.

Tipos de vidrios	Porcentaje de ganancia de calor solar %	Porcentaje de transmisión de luz natural %
Hoja de vidrio simple-standard		
Claro	85	90
Bronce	72	67
Gris	68	60
Gris Oscuro	58	30
Hoja de vidrio simple-espectralmente selectivo		
Estándar tinte verde	70	83
Alta Tecnología tinte verde	61	76
Alta Tecnología tinte azul	57	77
Doble hojas de vidrios		
Claro	76	81
Estándar Low-e	65	76
Espectralmente selectivo Low-e	38	71

**Tabla III.3.2**

En la tabla se presentan los diferentes valores del factor de transmisión y factor de transmisión de calor para distintos tipos vidrios utilizados en la fabricación de ventanas.

### **3.2.2 Techos Diente de Sierra**

El nombre de este método de iluminación con luz natural proviene de la forma de los techos semejantes a los dientes de una sierra. Este método se ha popularizado en construcciones de grandes naves industriales, en donde las edificaciones son de grandes dimensiones a lo largo y ancho, pero sobre todo poseen grandes alturas. Este tipo de locales, muchos de los cuales funcionan como bodegas, necesitarían una gran cantidad de lámparas para lograr niveles de iluminación adecuados. La gran cantidad de iluminación no sólo supondría una gran inversión inicial, sino que supondría importantes retos de mantenimiento y elevados costos de operación.

Por todo lo anterior, la iluminación de estos recintos con techos dientes de sierra resulta ser muy factible y muy económico. Un buen diseño de estos techos permite una iluminación suficiente en cuanto a cantidad como a calidad.

En este tipo de techos, los rayos solares penetran por las ventanas y son reflejados por las superficies inclinadas formadas por la forma particular del techo, produciendo una iluminación uniforme en el interior del recinto si el espaciamiento entre las ventanas es el adecuado. Generalmente la superficie exterior de los techos, así como la interior, se pintan de blanco para mejorar la iluminación del recinto por la reflexión de los rayos solares. No hay que olvidar que la limpieza de las ventanas es fundamental para permitir la entrada de los rayos solares.

En ocasiones, la separación de las ventanas no es la adecuada debido que la ubicación de estas está determinada por la forma de la estructura de los techo. En este caso la iluminación al interior no es uniforme, pero el problema se soluciona colocando en el techo láminas traslúcidas, esto no sólo mejora la uniformidad de la iluminación, sino que la aumenta considerablemente.



*Figura III.3.6*

En la fotografía se observa un ejemplo de la utilización de techos tipo diente de sierra, logrando niveles de iluminación muy buenos y excelente uniformidad en la distribución de la luz.

### ***3.2.3 Láminas Traslúcidas***

En los casos en los que el diseño de las naves industriales no contempló la iluminación con techos diente de sierra, o en aquellos en los que las características de la estructura de techo no lo permiten, la iluminación natural de los recintos puede lograrse simplemente con la instalación de láminas traslúcidas en lugar de las láminas comunes.

Generalmente las láminas traslúcidas utilizadas son de fibra de vidrio, aunque las hay de plástico acrílico traslucido con un acabado nevado o difuso. No se recomienda la utilización de láminas de vidrios por razones obvias de seguridad de las personas al interior del recinto y por su elevado costo; tampoco se recomiendan las láminas de fibra de vidrio o plásticas acrílicas de colores para no afectar las características cromáticas de la luz solar.

Aunque una limpieza regular evitará una disminución en la entrada de luz al recinto por efectos del polvo y la suciedad; por efectos del envejecimiento, las condiciones atmosféricas, y la continua exposición al sol, las láminas de fibra de vidrio y las plástica suelen tornarse amarillentas y en ocasiones quebradizas. En tales condiciones, se aconseja su reemplazo, el cual se recomienda que sea generalizado es decir, todas las láminas traslúcidas a la vez, para evitar zonas con diferentes tonalidades de luz y una iluminación no uniforme dentro del recinto.

La separación entre las láminas traslúcidas depende de los niveles de iluminación deseados y la altura del recinto. Cuanto mayor sea la altura del recinto, menor deberá ser la separación entre las láminas traslúcida; la misma relación se aplica cuando se desea mayores niveles de iluminación.

A pesar que este método es muy económico y sencillo, hay que tener en cuenta que las ganancias térmicas en el recinto podrían ser importantes, provocando un aumento considerable de la temperatura dentro del mismo. Este problema generalmente se resuelve instalando extractores estáticos de aire que extraen el aire caliente del recinto, o un sistema de inyectores y extractores eléctricos de aire para la renovación del aire dentro del recinto.

MATERIAL	FACTOR DE TRANSMISIÓN (Valores en porcentaje)
Vidrio transparente	80 a 90
Vidrio esmerilado	60 a 85
Vidrio con pigmento natural	50 a 60
Vidrio con recubrimiento de sílice	40 a 50
Vidrio con recubrimiento de pintura	30 a 40
Plástico acrílico transparente	80 a 90
Plástico acrílico traslúcido	60 a 90
Plástico acrílico con pigmento natural	60 a 75

**Tabla III.3.3**

En la tabla se presentan los diferentes valores del factor de transmisión para distintos materiales utilizados en la fabricación de ventanas, domos, y láminas traslúcidas.

### 3.2.4 Domos

Los domos son una de las formas más estéticamente bellas de la iluminación artificial. Existen de diversos tamaños, formas y materiales; por otro lado, su principal ventaja es que permiten la entrada de luz independientemente de la posición del sol o del local. Sin embargo, su elevado costo, varias veces el costo de la instalación de una lámina traslúcida, restringen su uso a aplicaciones meramente estéticas.



**Figura III.3.7**

En la figura se muestra la instalación de un domo triangular sobre un edificio de oficinas en Alemania.

## Lecturas Recomendadas

### **Manual de Iluminación**

PHILIPS  
Buenos aires, Argentina  
1995.

### **Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo**

Juan Guasch Farrás  
OTI  
2006.

### **Manual de Alumbrado y Fotometría**

Jorge Chapa Carreón  
Primera edición  
Noriega Editores, LIMUSA  
2001

### **Manual de Alumbrado**

WESTINGHOUSE  
Estados Unidos de América  
1967

### **Luminotecnia**

José Ramírez Vázquez  
Enciclopedia CEAC de electricidad  
Ediciones CEAC  
España  
1979

CAPÍTULO IV

*MOTORES ELÉCTRICOS*

Este capítulo contiene los siguientes temas:

## **IV.1 Aspectos generales sobre motores eléctricos**

### IV.1.1 Motores monofásicos

- IV.1.1.1 Motores de fase dividida
- IV.1.1.2 Motores de arranque con capacitor
- IV.1.1.3 Motores de fase dividida con capacitor permanente
- IV.1.1.4 Motores de arranque con capacitor permanente y de marcha
- IV.1.1.5 Motores de polos sombreados

### IV.1.2 Partes principales de un motor eléctrico

- IV.1.2.1 Placa característica de un motor eléctrico
- IV.1.2.2 Aislamiento eléctrico de motores

## **IV.2 Selección de motores eléctricos**

### IV.2.1 Potencia nominal, velocidad, y par de arranque

- IV.2.1.1 Potencia nominal
- IV.2.1.2 Velocidad de operación
- IV.2.1.3 Par de arranque
- IV.2.1.4 Efecto de inercia o de volante

### IV.2.2 Otros factores para la selección de un motor

- IV.2.2.1 Velocidad
- IV.2.2.2 Eficiencia
- IV.2.2.3 Posición de operación
- IV.2.2.4 Temperatura ambiente del lugar de instalación
- IV.2.2.5 Condiciones circundantes en el lugar de instalación
- IV.2.2.6 Altura sobre el nivel del mar
- IV.2.2.7 Características de la alimentación eléctrica

### IV.2.3 Clases de diseño de un motor de inducción

- IV.2.3.1 Diseño clase A
- IV.2.3.2 Diseño clase B
- IV.2.3.3 Diseño clase C
- IV.2.3.4 Diseño clase D
- IV.2.3.5 Diseño clase E y F

### **IV.3 Ahorro de energía eléctrica con motores**

#### IV.3.1 Mantenimientos recomendados para motores eléctricos

IV.3.1.1 Los cojinetes de un motor eléctrico

IV.3.1.2 Tipos básicos de cojinetes

IV.3.1.3 Identificación de cojinetes

#### IV.3.2 Factor de potencia

IV.3.2.1 Compensación individual

IV.3.2.2 Compensación centralizada

#### IV.3. La eficiencia de un motor desde el punto de vista del ahorro energético

#### IV.3.4 Técnicas de ahorro energético en el arranque de motores

IV.3.4.1 Características básicas de protección de motores

IV.3.4.2 Arranque de motores a voltaje reducido

## 1. Aspectos generales sobre motores Eléctricos.

Los motores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica. La energía eléctrica puede presentarse en dos formas; directa ó alterna.

Esta descripción de motores eléctricos será dedicada solo a los del tipo de corriente alterna.

Los motores de corriente alterna se clasifican en dos categorías principales, que dependerá del tipo de sistema eléctrico que se encuentra instalado.

- MONOFÁSICOS.
- TRIFÁSICOS.

### 1.1 MOTORES MONOFÁSICOS

En cuanto a eficiencia podemos decir que los motores monofásicos son menos eficientes que los trifásicos. Su uso más común es cuando se requiere de "n" cabalaje fraccionario, o cuando solo se dispone de suministro eléctrico monofásico. En algunos tipos para aplicaciones especiales, se pueden usar motores monofásicos con tamaño de varios caballos, pero en general, la potencia de los motores monofásicos llega hasta 5 hp.

Existen diferentes tipos de motores estos se diferencian por su aplicación para las distintas tareas para las cuales fueron diseñados. Un motor eléctrico monofásico suele ser más complejo de entender que un motor trifásico.

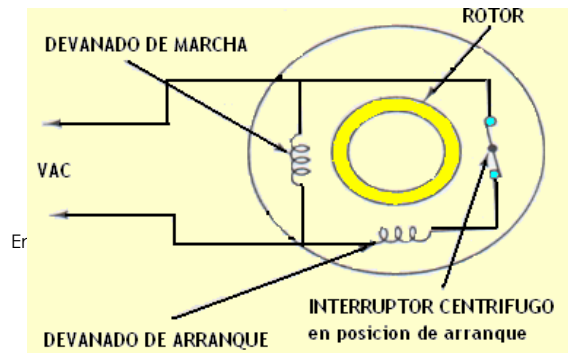
Los motores monofásicos se clasifican de la siguiente manera:

- De fase partida.
- De arranque con capacitor
- De fase partida y capacitor permanente.
- De arranque y marcha con capacitor.
- Polo sombreado.

**1.1.1 Motores de fase dividida.**

El motor de fase dividida tiene la característica de contar con un segundo conjunto de devanados en el estator, con este segundo devanado logra la propiedad de realizar un arranque automático.

A este segundo devanado se le conoce con el nombre de devanado de arranque; esta formado de un numero de vueltas mucho mayor que el devanado primario o devanado de marcha.



*Figura IV.1.1*

Diagrama de motor de fase dividida.

A causa de este mayor numero de vueltas, la corriente que pasa por el devanado de arranque sufre un atraso con respecto al devanado de marcha. La falta de existencia del devanado de arranque causaría que el rotor no siempre iniciara su giro, sino que a veces estaría parado y zumbaría cuando se le energizaría.

El devanado de arranque en un motor de fase partida permanece en el circuito energizado durante solo en el periodo de arranque o hasta que el motor alcance un 75% de su velocidad nominal a plena carga. Es en este instante que se desconecta del circuito el devanado secundario o de arranque, mediante un interruptor centrífugo o relevador térmico de corriente o de potencial.

Los motores de fase dividida tienen bajos pares de arranque y se emplean en unidades pequeñas de refrigeración y aire acondicionado, motores de bomba para agua, lavadoras de ropa, sacadoras etc. la mayoría de estos se fabrican en el rango de 1/30 hp (24.9 w) a ½ hp (373 w).

**1.1.2 Motor de arranque con capacitor.**

Consta de un arreglo semejante al motor de fase dividida, con la diferencia que se incluye o se conecta un componente más, el capacitor, este esta conectado en serie con el interruptor centrífugo y el devanado de arranque. El capacitor origina un adelanto en la corriente y con esto queda fuera de fase con respecto al devanado de marcha. El interruptor centrífugo es el encargado de sacar del circuito al capacitor y al devanado de arranque con el rotor alcanza un 75% de su velocidad nominal.

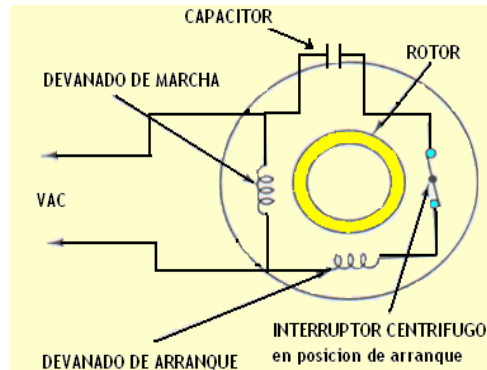


Figura IV.1.2

Diagrama motor de arranque con capacitor.

**1.1.3 Motor de fase dividida con capacitor permanente.**

El capacitor permanente funciona de forma permanente en el circuito del motor de tal forma que el devanado de arranque queda conectado también en forma permanente y no son desconectados por ningún interruptor centrífugo.

Es necesario seleccionar o dimensionar de forma adecuada el capacitor que será empleado con el devanado de arranque para que se produzca un par adecuado.

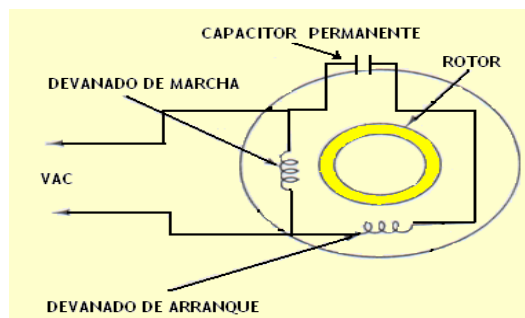


Figura IV.1.3

Diagrama de fase dividida con capacitor permanente.

Se debe tener el cuidado no permitir el paso de mucha corriente para que el devanado de arranque no sufra un sobrecalentamiento mientras el motor esta funcionando.

#### 1.1.4 Motor de arranque con capacitor y capacitor de marcha.

Este motor es bastante similar en diseño y funcionamiento al de arranque por capacitor y marcha por inducción.

La forma de funcionamiento de este motor se conecta un interruptor centrífugo en serie al capacitor de mayor valor de capacitancia este circuito en serie se conecta en paralelo con el capacitor de marcha.

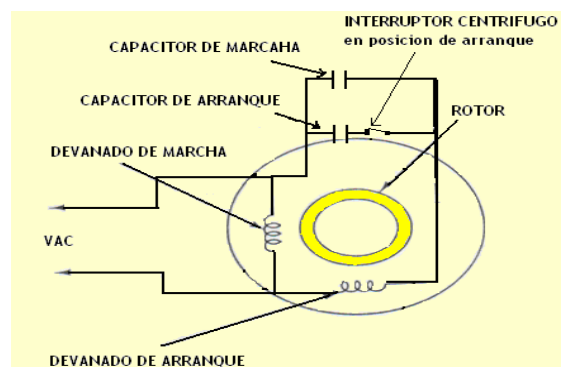


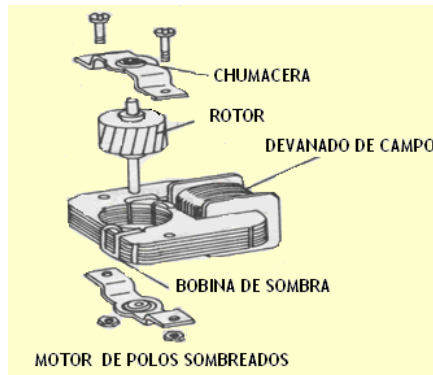
Figura IV.1.4

Motor de arranque con capacitor y marcha con capacitor.

Este motor cuenta con un interruptor centrífugo que saca del arreglo o desconecta el capacitor de mayor valor cuando el rotor del motor ha alcanzado un 75% de su velocidad nominal. Este tipo de motor es muy utilizado cuando el motor se adapta a condiciones en las que es necesario un alto torque de arranque por ejemplo cuando motor tiene que arrancar a toda carga.

**1.1.5 Motor de polos sombreados.**

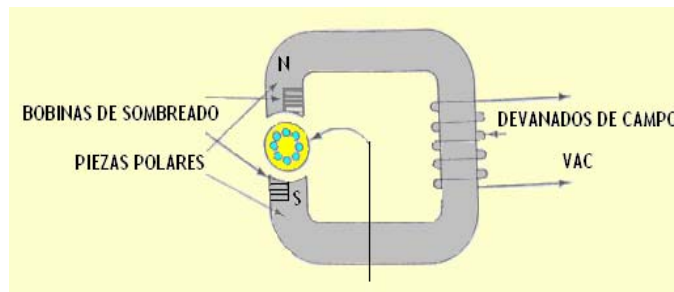
Un motor de polos sombreados no tiene devanado de arranque, pero en lo demás es igual al motor de fase partida. Los polos de un motor sombreado están divididos o ranurados, de tal forma que un polo más pequeño sustituye parte del polo principal. Alrededor de este polo mas pequeño se encuentra una bobina o banda de cobre, que se llama bobina de sombreado.



*Figura IV.1.5*

Motor de polos sombreados.

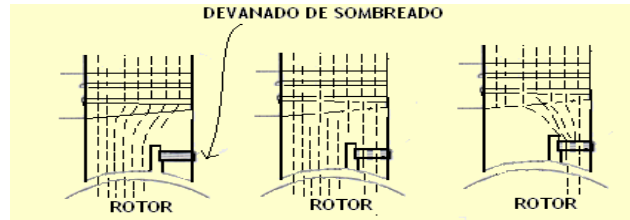
En lugar de depender de un devanado separado de arranque para crear una segunda fase, las bobinas de sombreado producen el giro del rotor mediante el corrimiento de una parte del campo magnético.



*Figura IV.1.4 A*

Armadura de motor de polos sombreados

En lugar de depender de un devanado separado de arranque para crear una segunda fase, las bobinas de sombreado producen el giro del rotor mediante el corrimiento de una parte del campo magnético.



*Figura IV.1.4 B*

Corrimiento de una parte del campo magnético.

El devanado sombreado produce un par o torque es una fuerza, o combinación de fuerzas, que produce o tiende a producir giro. En el caso de un motor eléctrico es la capacidad de ejercer fuerza con la que gire una carga mecánica. Mientras mayor sea la capacidad que tenga un motor para hacer girar un objeto pesado, mayor será el par desarrollado por el motor.

## **1.2 PARTES PRINCIPALES DE UN MOTOR ELÉCTRICO.**

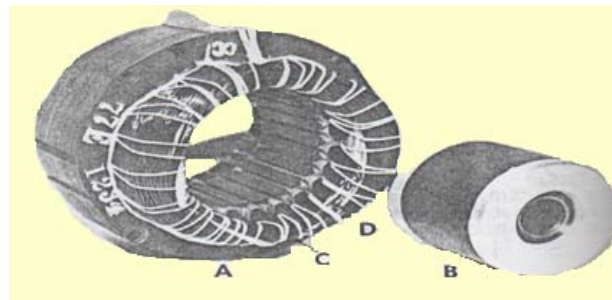
Un motor eléctrico está constituido de un gran número de partes, sin embargo las que se consideran como vitales son las siguientes:

A: Estator.

B: Rotor.

C: Devanado de marcha.

D: Devanado de arranques.



*Figura IV.1.5*

Partes principales de un motor de inducción.

El rotor es la parte que gira en la máquina eléctrica y a veces se le suele llamar armadura.

El estator es la parte estacionaria del motor se conoce como armazón o estator. El núcleo del estator está formado por laminaciones (laminas) de acero eléctrico de aproximadamente de 0.5 mm de espesor y troqueladas individualmente y unidas entre sí por cordones de soldadura u otro procedimiento equivalente que permita mantener alineadas las ranuras que servirán de alojamiento a las bobinas.

Partes principales de un motor eléctrico trifásico



Figura IV.1.6

Despiece de un motor trifásico

(Nótese que no cuenta con capacitor de arranque ya que un motor trifásico no tiene capacitor)

Partes principales de un motor eléctrico monofásico.

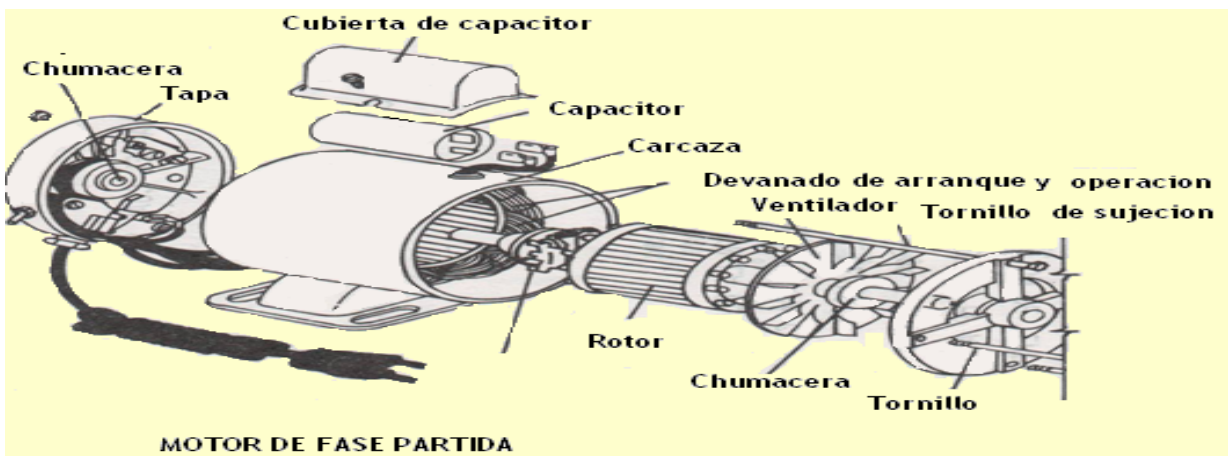


Figura IV.1.7

Partes principales de un motor eléctrico monofásico.

1.2.1 Placa característica de un motor eléctrico.

La placa de datos ó identificación de los motores suministran una gran cantidad de información útil sobre el diseño y mantenimiento. Esta información es muy valiosa para todo instalador y personal técnico de mantenimiento.

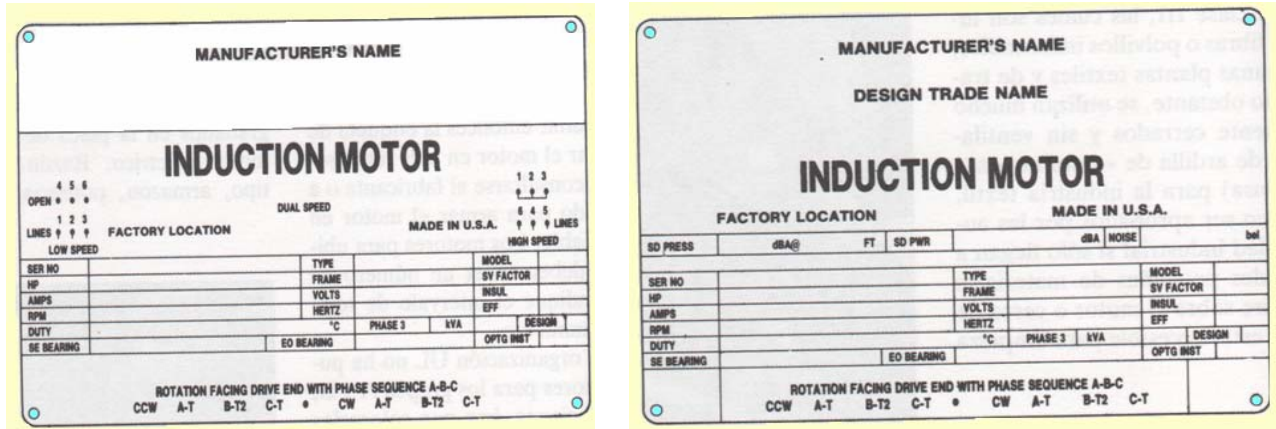


Figura IV.1.8

Datos de Placa de un motor.

En todo motor eléctrico deben de estar gravados en la placa de identificación la siguientes características básicas: Razón social del fabricante, armazón, potencia (hp), designación de servicio (tiempo), temperatura ambiente, velocidad (rpm), frecuencia (Hz), numero de fases, corriente de carga nominal(A), voltaje nominal (V), Letra clave para rotor bloqueado, letra clave de diseño, factor de servicio y clase de aislamiento.

Entre la información que podemos encontrar en una placa de características de un motor eléctrico se encuentra:

Número de serie (SER No): Es el número exclusivo de cada motor ó diseño para su respectiva identificación, en caso que sea necesario ponerse en comunicación del fabricante. Los números de serie sirven para poder rastrear información del motor mucho antes de ponerlo a trabajar.

Tipo (TYPE)

Combinación de letras, números ó ambos, seleccionados por el fabricante para identificar el tipo de carcasa y de cualquier modificación en ella. Es necesario tener el sistema de claves del fabricante para entender este dato.

Número de modelo (MODEL)

Datos adicionales de identificación del fabricante.

Potencia (HP)

La potencia nominal HP es la que desarrolla el motor en su eje cuando se aplican el voltaje y frecuencia nominales en los terminales del motor, con un factor de servicio de 1.0

Armazón (FRAME)

La designación del tamaño de la armazón es para identificar las dimensiones del motor.

Factor de servicio (SV FACTOR)

Los factores de servicio más comunes son de 1.0 a 1.15, un factor de servicio de 1.0 significa que no debe de demandarse que el motor entregue más potencia que la nominal, si se quiere evitar daño al aislamiento. Con un factor de servicio de 1.5 (ó cualquiera mayor a 1.0), el motor puede hacerse trabajar hasta una potencia igual a la nominal multiplicada por el factor de servicio sin que ocurran daños al sistema de aislamiento. Debe de tomarse en cuenta que el funcionamiento del motor dentro del factor de servicio hará que se reduzca la duración esperada del sistema de aislamiento.

Amperaje (AMPS)

Indica la intensidad de la corriente eléctrica que toma el motor al voltaje y frecuencia nominales, cuando funciona a plena carga (corriente nominal).

Voltaje (VOLTS)

Valor de la tensión de diseño del motor, que debe ser la medida en los terminales del motor y no en la línea.

Clase de aislamiento (INSUL)

Se indica la clase de materiales de aislamiento utilizados en el devanado del estator. Son sustancias aislantes sometidas a pruebas para determinar la duración al exponerlas a temperaturas predeterminadas. La temperatura máxima de trabajo del aislamiento clase B es de 130 °C; la de clase F es de 155 °C y la clase H es de 180 °C.

Velocidad (RPM)

Es la velocidad de rotación (rpm) del eje del motor cuando se entrega la potencia nominal a la Máquina impulsada, con el voltaje y la frecuencia nominales aplicados a los terminales del motor (velocidad nominal).

Frecuencia (Hertz)

Es la frecuencia eléctrica HZ del sistema de suministro para la cual esta diseñado el motor. Posiblemente esta también funcione con otras frecuencias, pero se alteraría su funcionamiento y podría sufrir daños.

Servicio (DUTY)

En este espacio se graba la indicación "intermitente" o "continuo", Esta ultima significa que el motor puede funcionar las 24 hrs. del día y los 365 días del año, durante muchos años. Si es "intermitente" se indica el periodo de trabajo, lo cual significa que el motor puede operar a plena carga durante ese tiempo. Una vez transcurrido ese tiempo hay que para el motor y esperar a que se enfríe antes de que arranque de nuevo.

Temperatura ambiente (°C)

Es la temperatura ambiente máxima (°C) a la cual el motor puede desarrollar su potencia nominal sin peligro. Si la temperatura ambiente es mayor que la señalada, hay que reducir la potencia de salida del motor para evitar daños al sistema de aislamiento. El valor normal de la temperatura de ambiente ó ambiental (TA) que se debe considera al diseñar un motor es de 40 °C.

Número de fase (PHASE)

Número de fases para el cual esta diseñado el motor, que debe de concordar con el sistema de suministro de energía eléctrica.

Clave de KVA (KVA)

En este espacio se escribe el valor en KVA que sirve para evaluar la corriente máxima en el arranque. Un valor común es la clave G, que abarca desde 5.6 hasta menos de 6.3 KVA /Hp.

Diseño (DESIGN)

En su caso, se graba en este espacio la letra de diseño NEMA, que especifica los valores mínimos de par de rotación a rotor bloqueado, durante la aceleración y a la velocidad correspondiente al par máximo, así como la corriente irruptiva máxima de arranque y el valor máximo de deslizamiento con carga.

Cojinetes (SE BEARING, EO BEARING)

En los motores que tienen cojinetes antifricción, estos se identifican con sus números y letras correspondientes conforme a las normas de la anti-fricción bearing manufacturers association (AFBMA), Por tanto los cojinetes pueden ser sustituidos por otros de igual diseño. El número especificado por AFBM incluye holgura y juego del ajuste del cojinete, tipo de retención, grado de protección (blindado, sellado, abierto etc.) y dimensiones.

Secuencia de fases (PHASE SEQUENCE)

El que se incluya la secuencia de fases en la placa de identificación permite al instalador conectar, a la primera vez, el motor para el sentido de rotación especificado, suponiendo que se conoce la secuencia en la línea es ABC, los conductores se conectan como indica la placa. Si la secuencia es ACB, se conectan en sentido inverso ahí señalado.

Bajo nivel de ruido (SD PRESS)

Algunos motores se construyen para bajas emisiones de ruido. El nivel ó intensidad de ruido se indica como potencia de sonido y como presión de sonido que se miden en las unidades "dBA", esto significa que el ruido producido por el motor ha pasado por una red ponedora de filtros "A", en la cual la sensibilidad se aproxima a la del sonido audible para el oído humano. Dado que la presión del sonido es direccional, debe especificarse a la distancia que se hizo la medición. La norma aceptada es de un 1 m (un metro)

Potencia de sonido (SD PWR)

Es una medida de la energía acústica total emitida por la fuente. Se prefiere para los análisis de ruido porque es posible hacer una combinación matemática con otras fuentes sonoras a fin de determinar las intensidades o niveles totales.

### Emisión de ruido

Es otra forma de expresar la potencia acústica (de sonido) en las unidades establecidas.

### ***1.2.2 Aislamiento eléctrico de motores.***

El aislamiento de un motor eléctrico está constituido por un conjunto de materiales dieléctricos elegidos cuidadosamente en cuanto a sus propiedades mecánicas y eléctricas, así como en lo relativo a su compatibilidad o afinidad química. Estos materiales desempeñan tres funciones básicas en el motor:

- Formar una barrera que aisle los conductores de los devanados entre sí y respecto a la armazón de acero (núcleo de hierro) del motor.
- Recubren cabalmente el devanado del motor, protegiendo de la humedad y el ataque de otros agentes perjudiciales del ambiente, como polvo, vapores corrosivos, etc.
- Mejoran la conducción hacia fuera del calor generado por las pérdidas de potencia en el motor.

Entre los diferentes componentes del sistema de aislamiento de un motor eléctrico se encuentran los siguientes elementos:

### Aislamiento de ranura

Esta separa las bobinas del núcleo formado por laminaciones del estator. Su espesor debe de ser tan pequeño como sea posible para que cumpla su función, sin reducir demasiado el espacio disponible para alojar correctamente los conductores dentro de la ranura.

### Un separador de fases

Aísla los conductores que no pertenecen a la misma fase y que se encuentran en la misma ranura.

### El aislamiento propio de cada conductor

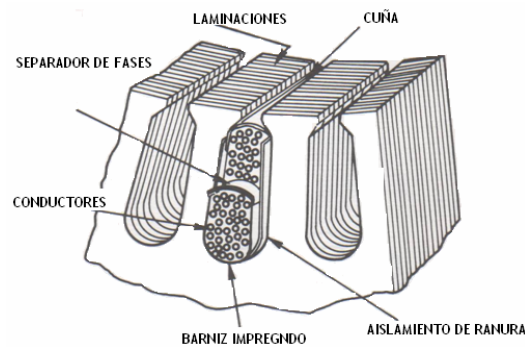
En la mayor parte de los casos, dicho aislamiento es un barniz aislante aplicado en varias capas al conductor desnudo.

### Una cuña de material aislante

Esta debe de ser más ó menos grueso, que mantiene los conductores firmemente sujetos en la ranura, y soporta los esfuerzos mecánicos a los que dichos conductores son sometidos durante el funcionamiento normal del motor.

### Un barniz

Este llena todos los espacios entre los conductores y demás elementos del alojamiento del devanado, este barniz debe sellar los conductores contra el ataque de agentes externos, formar un conjunto de altas resistencias mecánica y dieléctrica y ayudar a que el calor generado por las pérdidas eléctricas en el cobre del devanado se transmita al exterior.



*Figura IV.1.9*

Partes principales de un aislamiento.

En la actualidad se consideran básicamente tres clases de sistemas de aislamiento, dependiendo de la temperatura máxima de operación.

- Clase 130
- Clase 155
- Clase 180

Las designaciones anteriores indican la temperatura máxima a la cual se espera que funcione el aislamiento (130,155 y 180 °C respectivamente), para lograr una duración ó vida útil normal.

## 2. Selección de motores eléctricos.

Se deben de tener muchas características de un motor eléctrico antes de elegir ó seleccionar el motor adecuado para una determinada aplicación entre estas características tenemos.

- Potencia requerida por la carga
- Velocidad a la que debe operar
- Par de arranque necesario
- Par mínimo requerido durante la aceleración.
- Máximo par resistente que la carga puede oponer al motor
- Efecto de inercia (o de volante) de la carga.

### **2.1 POTENCIA NOMINAL, VELOCIDAD Y PAR DE ARRANQUE**

Los factores más relevantes para la selección adecuada de un motor son su potencia nominal, velocidad de operación y su par de arranque. A continuación se trata con detalle cada uno de éstos aspectos.

#### ***2.1.1 Potencia nominal***

Seleccionar un motor con la potencia nominal correcta es el primer paso hacia un costo total mínimo. Si se eligiera un motor con menor capacidad que la necesaria, funcionaría en condiciones de sobrecarga y su vida útil se vería reducida. Si en cambio se optara por un motor muy sobrado en capacidad, además de incurrir en un costo mayor innecesario se sacrificarían la eficiencia y el factor de potencia, y se elevarían los costos de operación.

El dato de placa de un motor eléctrico puede ser de mucha ayuda, pero en el caso que un motor eléctrico no cuente con los datos de placa y que el fabricante no pueda ayudar a dar especificaciones del mismo, se puede realizar una comparación de un motor de características conocidas, para esto se puede medir con un vatímetro la potencia ó corriente de entrada a un voltaje dado y puedan convertirse a una potencia mecánica real en Hp ó Kw .

$$T = K P / n$$

Donde :

T : Par de la Máquina

P: Se expresa en caballos Hp

n: En rpm

K: Es una constante adimensional que vale 7 124 si el par se desea en m N

y es igual a 726 si el par se requiere en m kg f ; y vale 5250 para obtener el par en pies libra .

Básicamente existen tres curvas par velocidad en función de las cuales, pueden clasificarse la mayor parte de las Máquinas por impulsar con un motor.

- Máquina par constante.
- Máquina par variable.
- Máquina de potencia centrifuga.

### Máquina de par constante:

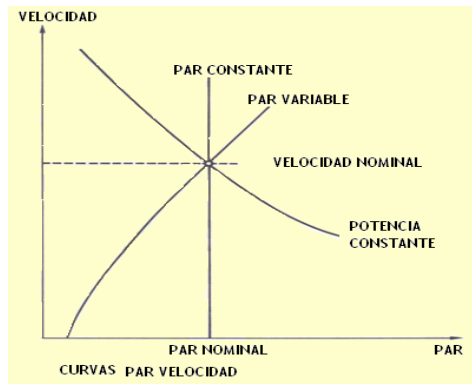
Es la que requiere el mismo valor de par a cualquier velocidad, como es el caso de algunas máquinas herramientas, algunas tipos de transportadores, cargas de fricción etc.

### Máquina par variable:

Es aquella en la que el par requerido varia en forma proporcional, al cuadrado de la velocidad, como en el caso de un ventilador, una bomba centrifuga etc.

### Máquina de potencia constante:

Es la que requiere mayor par a medida que disminuye la velocidad, ya que el producto de estos dos parámetros debe mantenerse invariable para conservar constante la potencia.



**Gráfica IV.2.1**

Curvas de velocidad.

**2.1.2 Velocidad de operación**

En la mayor parte de los casos se tiene un solo valor de velocidad a la que se requiere que funcione la máquina impulsada. Es importante tomar en cuenta la forma en que el motor será conectado a la carga. Si se trata de un acoplamiento (ó conexión) directo, la velocidad del motor debe de ser igual a la de la carga, pero si la conexión es por medio de un engranaje, transmisor de banda, etc. debe de tomarse en cuenta la relación de velocidades y considerarse que el par varia en proporción inversa a la velocidad.

La siguiente tabla muestra la potencia máxima a transmitir por medio de bandas trapeciales, o tipo “V”.

Número de polos	Potencia Máxima
2	25
4	200
6	125
10	100

**Tabla IV.2.1**

Potencia Máxima a transmitir.

**2.1.3 Par de arranque.**

Es importante determinar con precisión el par resistente que la carga presentara al motor en el instante de arranque y compararlo con el par de rotor bloqueado que el motor desarrolla, a fin de cerciorarse de que tal par tiene un margen suficiente. El margen mínimo que se recomienda es del 25 % en las condiciones más desfavorables en las que deba efectuarse la puesta en marcha, entre las que pueden mencionarse el arranque con bajo voltaje, arranque con el motor a su temperatura máxima etc.

Existen motores que requieren un par muy bajo en el arranque, como es en el caso de los ventiladores, que prácticamente pueden ponerse en movimiento sin oponer resistencia, mientras al ir acelerándose, su par resistente aumenta de manera proporcional al cuadrado de su velocidad.

Los requerimientos de par de la Máquina por accionar se deben conocer en tres condiciones adicionales a las del par a plena carga, estas son:

- Par de arranque
- Par de aceleración
- Par de máximo

### PAR MÍNIMO DE ACELERACIÓN

Una vez que el motor a vencido la resistencia inicial de la carga y su funcionamiento empieza a ascender por la curva par – velocidad hacia el punto de operación final, por lo común hay un descenso en el par durante cierto intervalo de velocidades (rpm), un lapso puede ser crítico para la operación del conjunto motor carga. El par mínimo no debe de ser menor que un 70% del par de arranque.

### PAR ACELERACIÓN

Es la diferencia entre el par que desarrolla el motor y el par que la carga opone a este, es decir, es el excedente de par del cual dispone el motor para acelerar la carga.

### PAR MÁXIMO RESISTENTE

Una vez rebasado la región donde se tiene el par mínimo, el momento de rotación empieza a incrementarse hasta llegar el punto en que tiene su valor más alto y desde ahí empieza nuevamente a decrecer hasta el valor nominal o valor correspondiente a la intersección con la curva par-velocidad de la carga.

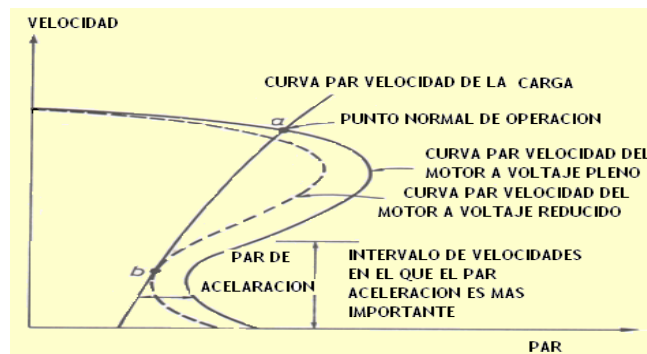


Gráfico IV.2.2

Corrimiento de una parte del campo magnético.

La figura anterior muestra que una vez vencido la resistencia inicial de la carga y su funcionamiento empieza a ascender por la curva par-velocidad hasta el punto de operación final, por lo común existe un descenso en el par durante cierto intervalo de velocidades (rpm), un lapso que puede ser crítico para un conjunto de operación motor-carga. Según las norma, el par mínimo no debe de ser menor que un 70% del par de arranque. El par de aceleración, es la diferencia entre el par desarrollado por el motor y el par de la carga opone a este; es decir, es el excedente de par del cual dispone el motor para acelerar la carga.

Si la curva par velocidad del motor se acerca demasiado a la propia de la carga, podría ocurrir que el tiempo de aceleración fuera demasiado prolongado, con el consiguiente daño del motor, y si a esto se le agrega un descenso en el voltaje que desplazara hacia la izquierda la curva par velocidad del motor, podría ocurrir que el motor no estuviera en posibilidad de continuar acelerando la carga.

En condiciones normales el motor arrancarías satisfactoriamente y aunque el par mínimo de aceleración no es grande, lograría acelerar la carga hasta donde el par aceleración valga cero; es decir, el punto donde se cortan las gráficas par velocidad. Pero el si el voltaje Terminal del motor se abatiera, en un 90% lo que representa un valor permisible, la caída de par al 81% del original podría hacer que las curvas par velocidad del motor y de la carga se cortaran ahora en el punto b de la figura anterior y al no haber ya par acelerante disponible el motor no podría continuar aumentando su velocidad. Trataría de operar de operar en ese punto con una corriente muy intensa que podría dañarlo antes de que se accionaran las protecciones de circuito.

Por estas razones es conveniente que el par mínimo del motor sea cuando menos un 25% mayor que el par requerido por la carga a ese valor de velocidad.

#### **2.1.4 Efecto de inercia o de volante**

Si la carga tiene un momento de inercia rotacional de mas de cinco veces el de propio motor, debe de ser considerado una carga de alta inercia y prestarse gran atención al tiempo que se requiere para alcanzar el punto de operación así como al calor desarrollado durante dicho periodo.

Efecto de inercia referido al eje ó flecha del motor multiplicándolo por el cuadrado de la relación de velocidades.

EI: Efecto de inercia

El referido al eje del motor=  $\frac{EI \text{ de la carga} \times \text{rpm de la carga}^2}{\text{rpm del motor}}$

Los puntos anteriores son los puntos básicos más importantes para seleccionar adecuadamente un motor de inducción.

### **2.2 OTROS FACTORES PARA SELECCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO.**

Otros de los factores que deberán tomarse en cuenta a la hora de seleccionar un motor eléctrico son los siguientes:

#### **2.2.1 Velocidad**

Esta se debe de calcular en relación a la velocidad en la flecha del motor, el par varia en proporción inversa a la velocidad angular en el caso de transmisiones por engranes, bandas o cadenas.

Una característica adicional de una Máquina eléctrica puede requerir.

- Una sola velocidad
- Dos ó más velocidades fijas
- Velocidad ajustable.

#### **2.2.2 Eficiencia**

En términos de los motores eléctricos es el cociente de la potencia mecánica de salida del motor y la potencia eléctrica que el propio motor toma de la línea del sistema de eléctrico, generalmente la eficiencia se expresa como un porcentaje.

$$\text{Eficiencia ( \% )} = \frac{\text{Watts de salida}}{\text{watts de entrada}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia ( \% )} = \frac{746 \times \text{hp}}{\text{V} \times \text{I} \times \text{FP}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia ( \% )} = \frac{\text{Potencia de entrada} - \text{pérdidas}}{\text{Potencia de entrada}} \times 100$$

**2.2.3 Posición de operación**

- Horizontal
- Vertical
- Soportado (colgado)

**2.2.4 Temperatura ambiente del lugar de instalación**

Se debe de tomar en cuenta ya que este dato es importante a momento de echar a funcionar la Máquina, se a dicho que algunos de los motores electricos por lo general están diseñados para funcionar en condiciones normales a 40 °C de temperatura. Un incremento a esta temperatura, la elevación de temperatura deberá reducirse de acuerdo a la tabla siguiente:

FACTOR DE SERVICIO	ELEVACION DE TEMPERATURA PERMISIBLE
<b>A para motores de factor de servicio de 1.0</b>	
1 Con aislamiento clase 130	0.9 ( 130 - TA )
2 Con aislamiento clase 155	0.9 ( 155 - TA )
<b>B Para motores con factor de servicio de 1.15</b>	
1 Con aislamiento clase 130	0.9 ( 140 - TA )
2 Con aislamiento clase 155	0.9 ( 165 - TA )

*Tabla IV.2.2*

Elevación de temperatura en los aislamientos

Por ejemplo si se tiene un motor con factor de servicio unitario y aislamiento clase 130, que debe de trabajar a una temperatura ambiente de 50 °C, su elevación de temperatura (la cual podría ser de 80 °C) tendrá que reducirse a:

$$T = 0.9 (130 - 50) = 72 \text{ }^\circ\text{C}$$

Lo que quiere decir que la elevación de temperatura debe de reducirse a 72°C a una temperatura ambiente de 50 °C, para que opere en condiciones normales.

### ***2.2.5 Condiciones circundantes en el lugar de la instalación***

Las condiciones circundantes del motor son muy importantes al momento de realizar una elección de un motor ya que pueden afectar los rodamientos en el caso de existir un área afectada por el polvo. Así además cuando algún motor se expone a las sales minerales del mar, en este caso el motor sufre considerablemente en sus aislamientos por lo que debe de ser sometidos a mantenimientos preventivos reguladamente.

Hoy en día se pueden adaptar diferentes motores a las distintas variantes existentes con las condiciones circundantes, existen motores de acero inoxidable, motores para procesos químicos, prueba de explosión y motores que pueden llegar tan herméticos que pueden ser lavables etc.

### Carcasa

Las condiciones atmosféricas circundantes al motor determinan el tipo de carcasa a emplear. Entre mas cerrado ó hermético se encuentre un motor es mayor su costo y tiende a calentarse mas, los motores totalmente cerrados pueden requerir un tamaño de carcasa mayor para una potencia dada que aquellos de una carcasa abierta.

### Aislamiento

Este concepto esta determinado por las condiciones circundantes atmosféricas y la temperatura de operación. La temperatura total que puede alcanzar un motor afecta directamente la vida del aislamiento.

La temperatura que el motor alcanza es la máxima que se tiene (sobre la temperatura ambiente) medida externamente con un termómetro de un punto caliente.

### ***2.2.6 Altura sobre el nivel del mar (asm)***

Este dato es muy importante cuando se va seleccionar un motor ó se esta diseñando un motor eléctrico, ya que se debe considerar un valor máximo de la temperatura ambiente a la que va operar el motor, el diseñador tiene presente la máxima altitud ( o altura sobre el nivel del mar ASM) a la que funcionara y que se supone de 1000 m.

A altura mayor de 1000 m la densidad del aire se reduce considerablemente, lo cual se acompaña de un decremento de su capacidad enfriante y por tanto de una mayor elevación de temperatura (ET) del propio aire de enfriamiento y de las diversas partes que configuran el motor.

No suele hacer correcciones para valores de ASM menores de 1000 m, aunque suele ser conveniente en casos especiales.

En la mayor parte de los motores de diseño normal, puede suponerse que la temperatura de operación del motor es directamente proporcional a la elevación de temperatura del aire de enfriamiento.

Para calcular la elevación de temperatura corregida de un motor en función de la densidad del aire se tiene:

$$ET_{\text{corregida}} = ET_{\text{normal}} + ET_{\text{normal del aire}} \times (100 / (\text{densidad del aire } \%) - 1)$$

La densidad del aire en función de la altitud puede tomarse de la grafica siguiente



Gráfico IV.2.3

Densidad del aire en función de la altitud

Por ejemplo un motor eléctrico cuya ET normal es de 80 °C, para la cual la diferencia entre las temperaturas del aire que entra al motor y del que sale es de 43 °C . Si este motor opera a una ASM 2200 m, su elevación de temperatura ET efectiva corregida será:

$$ET_{\text{corregida}} = 80 + 43 (100 / (81 \%) - 1) = 90^{\circ}\text{C}$$

La interpretación de este dato quiere decir que si el motor va a trabajar a plena carga a la altitud mencionada, la temperatura de ambiente debe reducirse en 10 °C con el objeto de no incrementar la temperatura de operación del motor.

Es importante mencionar que las pérdidas por ventilación del motor son directamente proporcionales a la densidad del aire, aun cuando tales pérdidas no contribuyen al aumento de temperatura de la Máquina.

### ***2.2.7 Características de la alimentación eléctrica***

Entre las características que se deben tomar en cuenta para la selección de un motor se deben considerar las características de la alimentación eléctrica para éste. Las más importante a tomarse en cuenta son:

VOLTAJE: Variación de  $\pm 10\%$  respecto al valor indicado en la placa de indicación.

FRECUENCIA: Variación de  $\pm 5\%$  respecto al valor señalado en la placa de características del motor. El voltaje y la frecuencia eléctrica en conjunto no deben de variar más del  $\pm 10\%$  (suponiendo que la frecuencia anterior varía menos del  $\pm 5\%$ ) respecto al valor de placa.

NUMERO DE FASES: Un motor eléctrico puede ser monofásico 120 v/ 220 v ó un motor trifásico de 3 fases y su nivel de tensión puede variar.

## **2.3 CLASE DE DISEÑO DE MOTORES DE INDUCCION**

Esta clasificación es muy útil para escoger una gran gama de variedad de aplicaciones e donde se debe de tomar en cuenta los caballos de fuerza, existen diferentes curvas de momentos de torsión – velocidad. Esta clasificación de motores se denominan como motor de diseño de clase x. los rasgos característicos de cada clase de diseño pueden ser DISEÑO A, B, C, D, E y F.

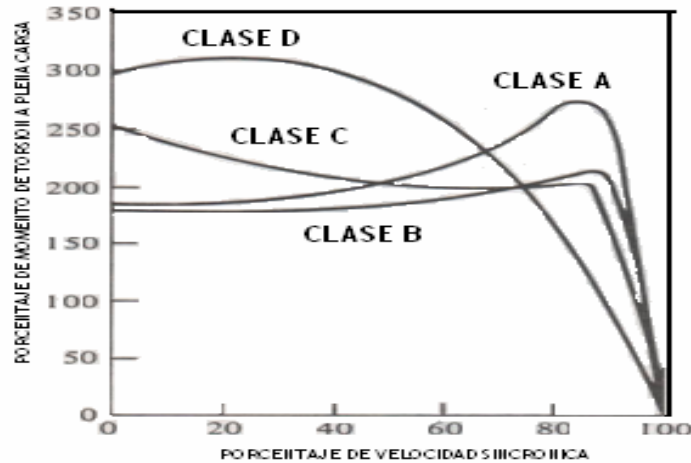


Gráfico IV.3.4

Clase de diseño de motores de inducción

La grafica anterior muestra las curvas características de momento de torsión vs velocidad de diferentes rotores de motores electricos de diferente clase de diseño.

### 2.3.1 Diseño clase a

Son los motores de diseño normales con un momento de arranque normal, una corriente de arranque normal y bajo deslizamiento. El deslizamiento a plena carga de los motores de diseño A debe de ser menor del 5% y menor también que el de los motores de diseño B de condiciones equivalentes. el momento de torsión esta entre 200 y 300 % del momento de torsión a plena carga y sucede a bajo deslizamiento (menos del 20%). Una de las desventajas principal de este diseño es el extremado valor de corriente en momento de arranque. Los valores de corriente están por 500% y 800 % de su corriente nominal. En esta clase de motores de deben de aplicar técnicas de arranques para desminuir los costos de energía eléctrica al momento de arranque así como la aplicaciones de arranques reducidos para evitar las caídas de tensión.

### 2.3.2 Diseño clase b

Estos tienen un momento de torsión de arranque normal, una corriente mas baja y un deslizamiento mas bajo. Este motor produce aproximadamente un momento de torsión igual al de clase A, con cerca de 25% menos de corriente. El momento de torsión máximo es mayor ó igual al 200% del momento de carga nominal. Este tipo de motores han sustituido a los motores de clase A.

### ***2.3.3 Diseño clase c***

Los motores de diseño de clase C tienen un momento de torsión de arranque alto, con corriente de arranque baja y bajo deslizamiento a plena carga. El momento de torsión máximo es ligeramente más bajo que el de los motores de clase A, mientras que el momento de torsión de arranque llega hasta un 250% del momento a plena carga. Estos motores tienen la característica de ser fabricados con un rotor de doble jaula por lo que son más costosos que los motores de clase anteriores. Son utilizados en aplicaciones donde se requiere un alto momento de arranque tales como bombas, compresores y bandas transportadoras.

### ***2.3.4 Diseño clase d***

Los motores de clase D tienen un momento de torsión de arranque muy alto (275 % ó más del momento de torsión nominal) y una corriente de arranque más baja, pero tienen un deslizamiento alto a plena carga. Estos son motores comunes de clase A con la diferencia con barras del rotor más pequeñas y hechos de un material de más alta resistencia. El efecto que causa la alta resistencia del rotor es que el momento de torsión máximo se presente a baja velocidad.

### ***2.3.5 Diseño clase e y f***

Estas son clases de diseño son llamadas arranque suaves de los motores de inducción. Estos motores se distinguen por tener bajas corrientes de arranques y se usan generalmente para cargas de momento de arranque baja, en donde las corrientes de arranque son un problema este punto es muy importante en el momento en donde se requiere ahorro energético.

### 3. Ahorro de energía eléctrica con motores eléctricos

En este último apartado se expondrán algunas técnicas y recomendaciones a seguir e para reducir el consumo debido al uso de motores eléctricos.

#### **3.1 MANTENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA MOTORES ELÉCTRICOS**

Los principales fabricantes de motores eléctricos tienen la finalidad de construir motores eléctricos más eficientes con características que van orientadas a la reducción de las pérdidas del motor y el ahorro energético. Al reducir las pérdidas en el motor de inducción se está ayudando considerablemente al ahorro energético.

Algunas técnicas de construcción de motores eléctricos son:

1. Utilizar mas cobre en los embobinados del estator, para reducir las perdidas en el cobre.
2. La longitud del núcleo del rotor y estator se aumentan para reducir la densidad del flujo magnético en el entrehierro de la Máquina. Esto reduce la saturación magnética, disminuyendo las perdidas en el núcleo.
3. Se utiliza mas acero en el estator, permitiendo que se transmita una mayor cantidad de calor hacía afuera del motor y se reduzca la temperatura de funcionamiento. El ventilador del rotor se rediseña, entonces, para reducir las perdidas por vendaval. Las pérdidas de vendaval son aquellas por rotación entre mas alta sea la velocidad del motor mas grandes serán las perdidas por fricción
4. El acero que se usa en el estator es un acero especial de alta calidad eléctrica con pocas perdidas por histéresis.
5. El acero se hace de un calibre especialmente delgado (es decir las laminas se encuentran muy compactas) y tienen una resistencia muy especifica interna muy alta. Ambos efectos tienden a reducir las perdidas por corrientes parasitas en el motor.
6. El rotor es maquinado con sumo cuidado, para producir un entrehierro uniforme, reduciendo así las perdidas diversas del motor.

### ***3.1.1 Los cojinetes de un motor eléctrico***

Los motores eléctricos duran más y trabajan mucho menos cuando se aplica un adecuado mantenimiento a éstos. El tiempo de mantenimiento de un motor eléctrico puede variar y dependerá de la aplicación del motor y la recomendación hecha por el fabricante. Una de las causas de las fallas de los motores eléctricos ocurren casi siempre por un mal funcionamiento de mecánico y generalmente ocurren en los cojinetes y sus alojamientos, el eje y las tapas (escudos) laterales.

Los cojinetes son una de las partes esenciales de un motor eléctricos donde descansa el eje del motor y le sirve como rodamiento a la parte móvil del motor es decir al eje o rotor. Se recomienda una inspección exhaustiva de los cojinetes como primera medida en su mantenimiento.

#### Inspección inicial de un cojinete

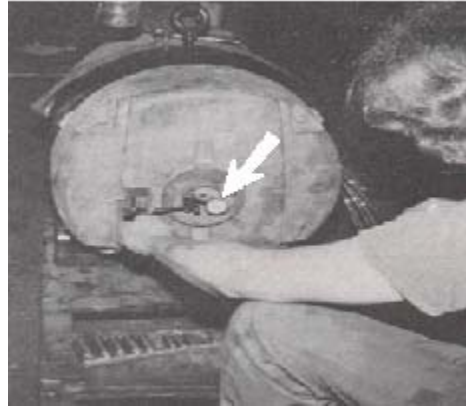
Se debe de hacer una inspección visual del cojinete y de su alojamiento o cuna, a fin de determinar si existe suciedad excesiva ó contaminantes, rayones o raspaduras, bolas o pistas ovaladas, la existencia de alguna deformación alguna, la existencia de algún óxido, etc.

También debe de examinarse la flecha o eje del motor y las tapas o escudos laterales tienen algún desgaste o daños.

#### Inspección final del cojinete

Cuando ya se ha aplicado alguna clase de mantenimiento al cojinete, engrase, cambio de cojinete o simple inspección, se debe de armar la Máquina y comprobar la libre rotación del rotor. Además se debe de examinar la el juego axial de rotor. Este juego axial se debe realizar con un indicador de carátula que se debe montar en la tapa ó escudo lateral del motor.

El juego axial es muy importante en los motores eléctricos porque conforme se expande el eje durante el funcionamiento, se debe tener suficiente espacio para que no ocurra forzamiento, esta causa reduce la vida útil de los cojinetes. Todo motor tiene algo de juego axial en un intervalo de 0.8 a 1.6 mm (1/32 a 1/16 pulg).



*Figura IV.3.1*  
PRUEBA DE JUEGO AXIAL CON INDICADOR DE CARATULA

### 3.1.2 Conocimientos básicos de cojinetes

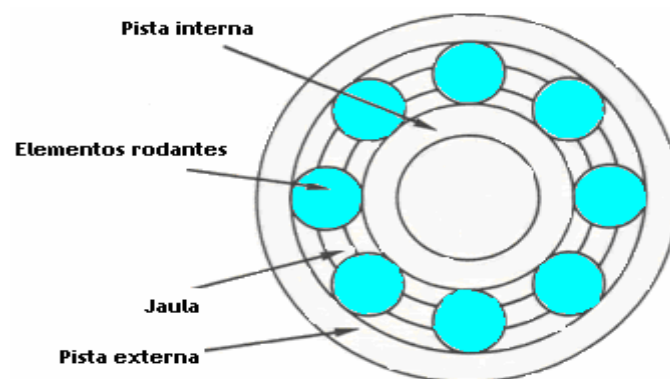
Los cojinetes ó llamados rodamientos se fabrican en dos formas básicas:

- BALEROS
- RODILLO

Cada tipo de estos rodamientos comprende una serie de diseños diversos que dependen de la velocidad requerida, temperatura de funcionamiento y la clase de carga a que serán sometidos.

#### Rodamientos de bolas

Los rodamientos de bola son los más comunes en motores electricos. Tienen la característica de tener muy baja fricción, pueden funcionar a alta velocidad y son eficaces en un amplio intervalo de temperaturas.



*Figura IV.3.2*  
Elementos básicos de un rodamiento

Los cojinetes de bolas modernos se diseñan para un trabajo específico, se fabrican con materiales de calidad cada vez mejores y de buena duración.

Características de rodamientos de bola.

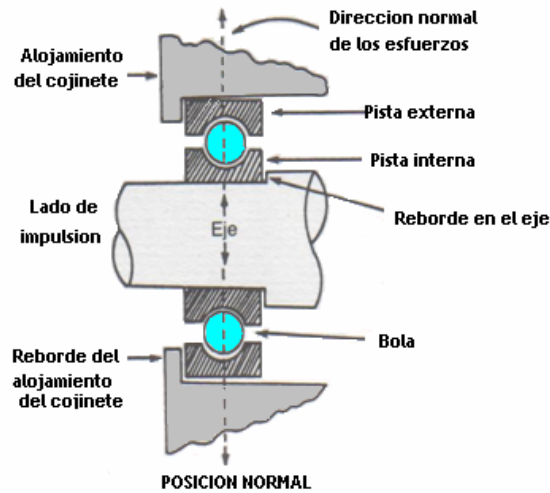


Figura IV.3.3

Corte transversal de un cojinete de bolas con espacio para juego axial

La figura anterior muestra un rodamiento que se encuentra en posición normal y tiene un espacio para juego axial entre su pista externa y el reborde del alojamiento. Los esfuerzos normales son perpendiculares al eje (o flecha) y producen un funcionamiento regular del cojinete.

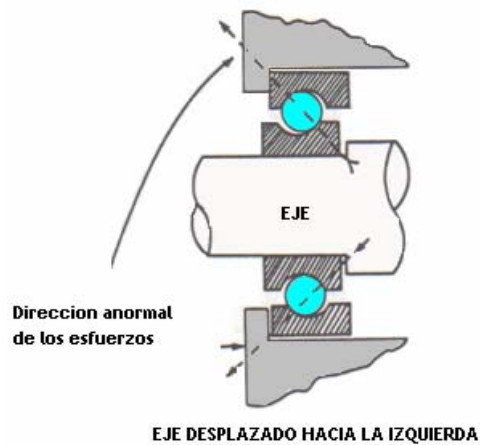


Figura IV.3.4

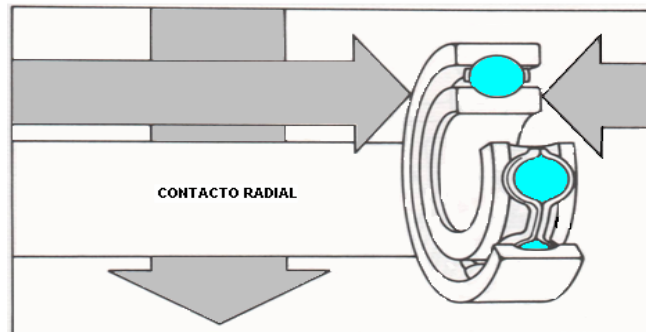
Corte transversal de un cojinete de bolas desplazado hacia la izquierda.

En la figura anterior se muestra un rodamiento desplazado hacia la izquierda, pero el rodamiento del cojinete y la carcasa del motor permanecen estacionarios, se puede observar que la pista interna se movió junto con el eje, y la pista externa se desplazó hasta hacer presión con el hombro del alojamiento del cojinete. Estas fuerzas anormales respecto al eje del motor producen un esfuerzo, fricción y calor excesivos, que ocasionan fallas prematuras al rodamiento y con secuencia de minorizar la eficiencia misma del motor eléctrico.

Existen diferentes tipos de rodamientos de bola entre estos se encuentran:

#### Cojinete de ranura profunda y una sola hilera

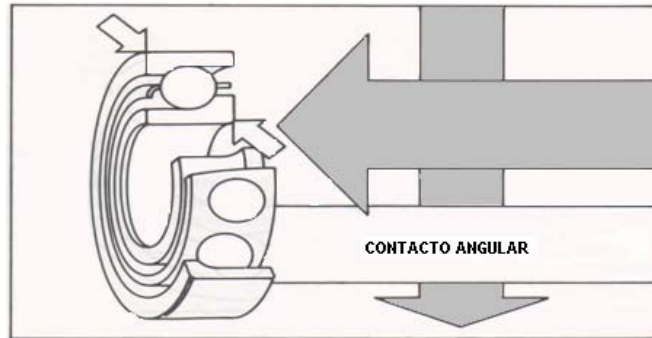
Estos son los más comunes, son utilizados para cargas radiales, pero también pueden ser utilizados para cargas axiales ó de empuje considerable en uno u otro sentido. Una carga axial es aquella que se aplica al rodamiento en dirección paralela al eje (o flecha); la carga radial es una carga perpendicular a dicho eje, casi todos los rodamientos son diseñados para poder soportar ambos tipos de carga.



*Figura IV.3.5*  
Cojinete de ranura profunda y una sola hilera

#### Rodamientos de bolas de contacto angular

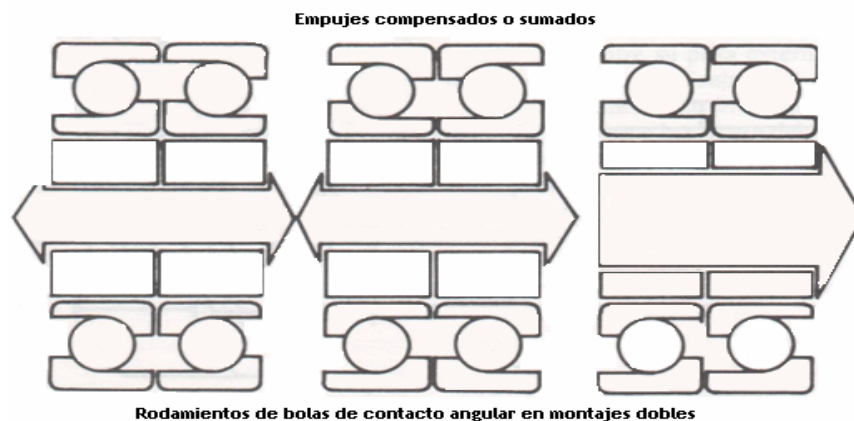
Este tipo de rodamiento soportan una fuerte carga axial (de empuje) en un sentido, combinada a veces con una carga radial moderada. El tipo estándar puede emplearse cuando se monta un solo cojinete.



*Figura IV.3.6*  
Rodamientos de bolas de contacto angular

#### Rodamientos de bolas de contacto angular en montajes dobles

Este tipo de rodamiento está siempre rectificadado al ras, lo cual permite instalarlos en cualquier posición necesaria para el trabajo. El tipo precargado se emplea para las mismas condiciones de trabajo que los modificados, pero se le aplica una precarga en la fábrica; los cojinetes precargados se designan con una letra seguida por un número de identificación que se indica en la precarga. Siempre se tiene que remplazar por otros que tengan la misma precarga. Las marcas de identificación pueden variar de un fabricante a otro.



*Figura IV.3.7*  
Rodamientos de bolas de contacto angular en montajes dobles

#### Rodamientos de bolas de doble hilera y ranura profunda

Este tipo de rodamiento soporta elevadas cargas radiales con las dos hileras de bolas, también puede soportar un empuje axial moderado en uno u otro sentido.

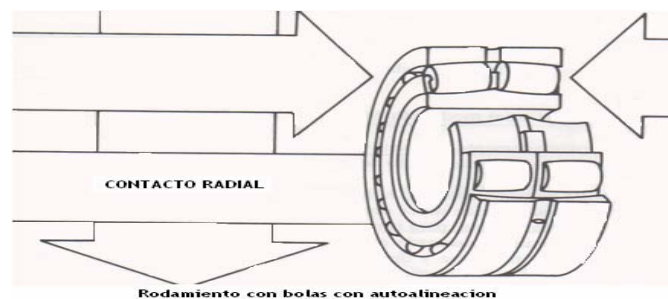
Su capacidad es aproximadamente una vez media mayor que la capacidad del rodamiento de una sola hilera.



**Rodamiento de bolas de doble hilera y ranura profunda**  
 Figura IV.3.8  
 Rodamientos de bolas de doble hilera y ranura profunda

#### Rodamientos de bolas con auto alineación

Tiene dos hileras de bolas que ruedan sobre una superficie esférica en la pista externa, para compensar su desalineación. Angular ocasionada por errores en el montaje, flexión del eje deformación de los cimientos del motor. Los rodamientos de autoalineantes se emplean para cargas radiales y cargas axiales en uno u otro sentido. Los rodamientos de bolas están disponibles en tipo abiertos y con ellos o cubiertas (blindajes); estos se emplean para impedir la entrada de suciedad y abrasivos y la fuga de lubricante. Cuando un cojinete tiene cubierta de protección sus dimensiones externas no cambian, y pueden instalarse en el mismo lugar ocupado antes por un rodamiento abierto (sin proteger).



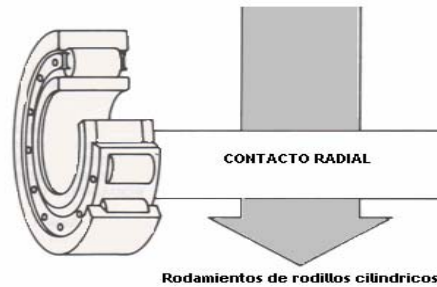
**Rodamiento con bolas con autoalineación**  
 Figura IV.3.9  
 Rodamientos de bolas con auto alineación

#### Rodamientos de rodillos:

Los rodamientos de rodillos se utilizan en algunos motores eléctricos grandes y en ciertas partes de las transmisiones mecánicas.

### Rodamientos de rodillos cilíndricos

Tienen una gran capacidad de carga radial en relación con su tamaño; es de muy baja fricción y excelente para altas velocidades.

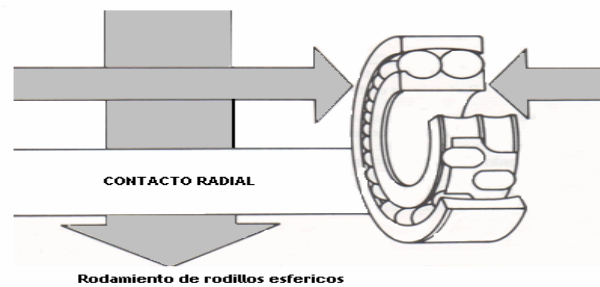


*Figura IV.3.10*

Rodamientos de rodillos cilíndricos

### Rodamientos de rodillos esféricos

Estos tienen dos hileras de rodillos en forma de barrilete, para poder compensar alguna ligera desalineación del eje. Aunque es un cojinete muy resistente para cargas radiales, también puede soportar cargas axiales considerables en uno u otro sentido.

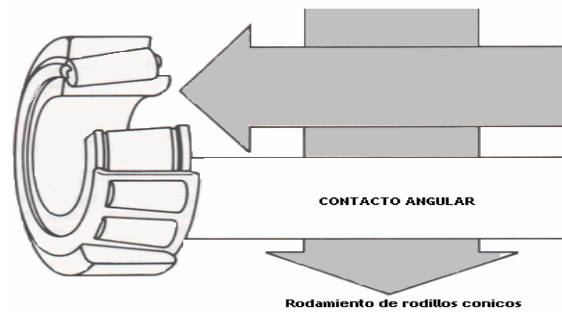


*Figura IV.3.11*

Rodamientos de rodillos esféricos

### Rodamientos de rodillos cónicos

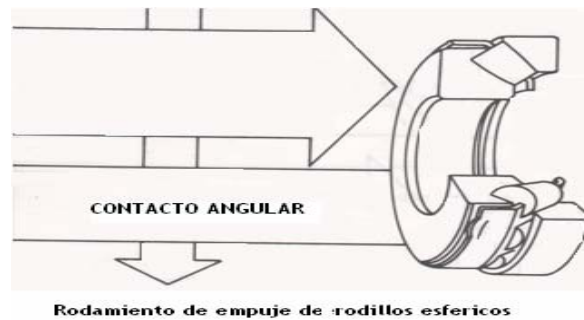
Soportan cargas radial y axial casi iguales. Consta de una pista ó aro interno llamado cono, los rodillos, el reten o jaula, y el aro externo llamado copa. Este cojinete no se puede tener montaje único en un eje porque la carga radial induce una carga de empuje; para contrarrestarla se necesita un segundo rodamiento del mismo tipo.



*Figura IV.3.12*  
Rodamientos de rodillos cónicos

### Rodamientos de empuje de rodillos esféricos.

Estos son diseñados para soportar cargas axiales sumamente fuertes en un solo sentido; son, por naturaleza, autoalineantes y de larga duración. Entre las aplicaciones se encuentran motores verticales con eje hueco utilizados en bombas para pozo profundo y para el agua de enfriamiento de centrales eléctricas. Este tipo de cojinetes debe de ser remplazado por otro igual, el cual tiene que ser verificado que sea el equivalente exacto. Para esta verificación debe de tomarse en cuenta factores como la carga, la velocidad, temperatura de funcionamiento, ambiental, y la duración esperada.



*Figura IV.3.13*  
Rodamientos de empuje de rodillos esféricos.

### **3.1.3 Identificación de cojinetes**

La AFBMA (Anti-Friction Bearing Manufacturer's Association), a través de esta identidad se establecen las reglas para la nomenclatura y las normas relativas a los rodamientos y a los cojinetes antifricción.

La AFBMA ha hecho lo propio con los cojinetes de rodamientos en cuanto a diámetros internos y externos, anchuras, tolerancias, capacidades de carga, métodos para evaluar la vida útil etc. Así como la nomenclatura universal para estos elementos mecánicos.

#### Sistema de identificación de la AFBMA

Los rodamientos se identifican por un sistema alfanumérico como por ejemplo:

#### **60 BN 03 J2**

- a) Los primeros dos números, 60, indican el diámetro del interior del rodamiento en milímetros
- b) Las dos letras siguientes, BN, en este caso en particular al tipo de rodamiento conforme a la siguiente nomenclatura:
  - BC:** de bolas de una sola hilera
  - RN:** de rodillos
  - BN:** de contacto angular
- c) Los números siguientes, 03, indican que el cojinete tiene el diámetro exterior de 130 milímetros, y de anchura de 31 milímetros.
- d) La letra que sigue, J, indica que la jaula ó portabolas es de acero, se fuera de bronce la letra que se utilizaría la letra M.
- e) El último número indica el claro ó holgura conforme a la siguiente escala:
  - C1:** Claro menor que C2
  - C2:** Claro menor que el normal C0
  - C0:** Claro normal
  - C3:** Claro mayor que el normal (C0)
  - C4:** Claro mayor que C3
  - C5:** Claro mayor que C4.

#### Lubricación de los rodamientos

Uno de los aspectos mas importantes que debe de considerarse en los rodamientos de bolas es la lubricación es decir la grasa que debe de utilizarse. Existen grasas de uso general que pueden satisfacer los requerimientos de la mayor parte de aplicaciones, pero existen casos especiales que pueden requerir una grasa con mayor de penetración o mayor resistencia a la temperatura. Existen siete grados de grasa,

clasificadas conforme a su penetración para uso en rodamientos. Los grados van del 0 al 6, y el más utilizado es el 2.

#### Capacidad de carga radial

La mayoría de los fabricantes ofrecen rodamientos con las mismas dimensiones exteriores pero para diferentes capacidades de carga radial, de modo que el diseñador de un motor tiene la capacidad de incrementar la vida útil de los rodamientos especificando uno de máxima capacidad radial que admite una carga entre 20 y 30 % mayor que el rodamiento estándar.

#### Duración o vida útil de los rodamientos

Existen diferentes factores que influyen en la duración ó vida útil de los rodamientos son como sigue:

- 1) La velocidad de rotación a la que operar un rodamiento es el primer factor que afectara a su duración. En los catálogos de los fabricantes de rodamientos se especifica la velocidad máxima a la que puede trabajar cada elemento. Este factor se hace más importante a medida que aumenta el diámetro interior del cojinete.
- 2) Las cargas axial y radial que soporta el rodamiento afectan de manera considerable su vida útil. La duración de un rodamiento es inversamente proporcional al cubo de la carga.
- 3) La vibración del conjunto motor – carga impulsada puede acortar en forma notable la duración de los rodamientos.
- 4) Los ajustes, tanto en el montaje del rodamiento sobre el eje (ó flecha) como en un alojamiento en la tapa lateral del motor, deben de hacerse con precaución, siguiendo las recomendaciones del fabricante, ya que podría reducirse el claro interno, si el ajuste sobre el eje es demasiado estrecho, ó bien puede introducirse una precarga radial si el ajuste en el alojamiento es de mayor que el indicado.
- 5) El contorno del motor puede ejercer una gran influencia en la duración de los rodamientos, en especial si el motor se instala en un medio particularmente adverso ó contaminante.

6) La temperatura de operación del motor es también muy importante y un factor crítico para la duración de un rodamiento. Si el motor trabaja en condiciones de sobrecarga ó expuesto a una temperatura ambiental excesiva, sus devanados no serán los únicos afectados, si no también la lubricación ó grasa del rodamiento, cuya duración efectiva se vera reducida.

### **3.2 FACTOR DE POTENCIA**

Factor de Potencia (FP): Es el nombre dado a la relación entre potencia activa usada en un circuito, expresada en Vatios ó Kilovatios (KW), con la Potencia Aparente que se obtiene de las líneas de alimentación , expresada en Voltio-Amperio ó kilovoltio-Amperios (KVA).

Un bajo factor de potencia también puede aumentar los costos de la energía eléctrica y dependerá de la compañía de distribución de energía eléctrica. Los capacitores para corregir el factor de potencia puede elevarlo y reducir ó eliminar la penalización por este concepto.

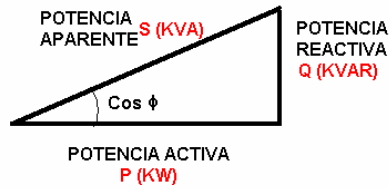
$$FP = \cos \Phi = \frac{\text{Potencia activa (kw)}}{\text{Potencia Aparente (KVA)}}$$

#### ¿Por que existe un bajo factor de potencia?

La potencia reactiva, no produce un trabajo físico directo en los equipos, pero es necesaria para poder producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: Motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros dispositivos similares. Cuando esta cantidad de equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución acentuada del factor de potencia.

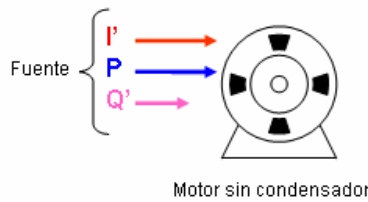
#### Instalación de capacitares en motores eléctricos.

Los motores eléctricos son máquinas que convierten la potencia activa en trabajo útil, sin embargo no toda la potencia eléctrica que demanda un motor se convierte en trabajo útil; y esto es debido a que el motor demanda también energía reactiva para producir el campo magnético giratorio en el estator, esto provoca que la fuente de energía que alimenta al motor se encargue de suministrar tanto potencia reactiva como potencia activa, teniendo como efecto suministrar una potencia aparente mayor a la potencia que requiere el motor.



*Figura IV.3.14*  
Triángulo de Potencia.

Si este efecto se repite en una fuente que se encarga de suministrar energía a una cantidad considerable de motores de diversas capacidades, los motores pueden saturar a la fuente y limitar su capacidad de entregar energía a más carga.



*Figura IV.3.15*  
Operación en condiciones normales

Tal efecto puede solventarse con la implementación de capacitores de potencia en baja tensión, los cuales se encargan de entregarle al motor la potencia reactiva necesaria para operar, descargando de esta forma a la fuente de energía, y aumentando así la capacidad de la fuente para proporcionar más potencia.

Esta compensación puede ser de dos formas:

- Compensación individual.
- Compensación centralizada.

### *3.2.1 Compensación individual.*

La compensación individual se refiere a instalar un capacitor por cada motor, donde el tamaño del capacitor dependerá de la potencia nominal del motor. El capacitor se conectará cuando arranque el motor y se desconectará cuando el motor se pare; es decir, que estará gobernado por el contacto de arranque y paro del motor. Esta compensación tiene una aplicación especial cuando el motor tiene un arranque estrella-delta; en esta aplicación la entrada del capacitor se realiza una vez se ha ejecutado el cambio de estrella a delta en los bobinados del motor.

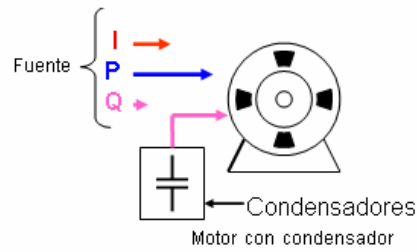


Figura IV.3.16  
Triangulo de Potencia.

### 3.2.2 Compensación centralizada.

Por otra parte, la compensación centralizada se refiere a instalar un grupo de capacitores lo más cercana a la fuente, comandados por un regulador automático el cual se encarga de conectar y desconectar los condensadores dependiendo la cantidad de energía reactiva que esté presente en el sistema producto de los motores eléctricos.

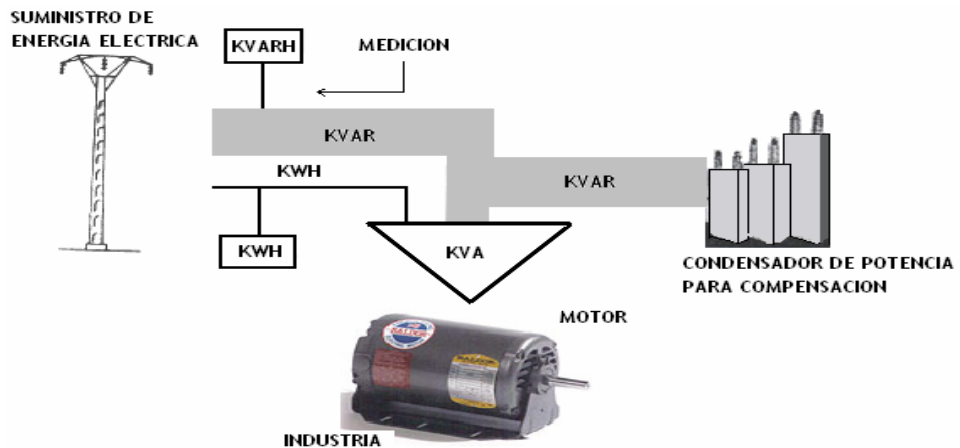


Figura IV.3.17  
Compensación de reactivos

Cada uno de los sistemas descritos, cumple con la misma función, es decir que aportan energía reactiva al sistema; sin embargo antes de la implementación de uno u otro sistema se debe tomar en cuenta sus ventajas y desventaja particulares, mismas que se detallan a continuación:

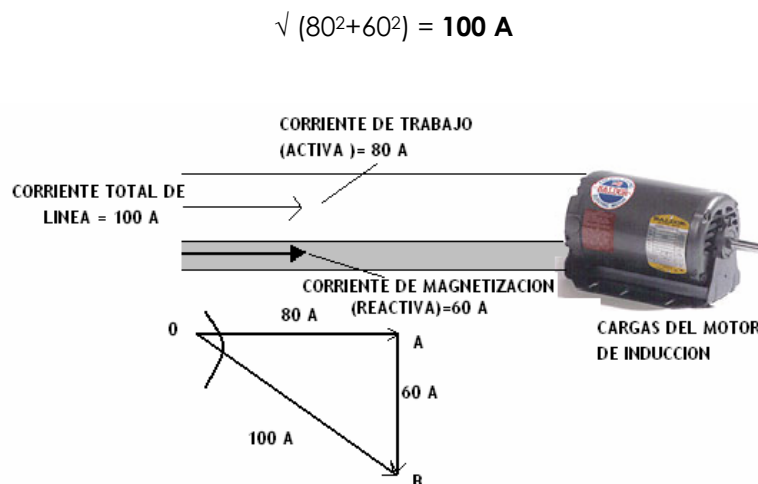
La compensación centralizada descarga de reactivos a la fuente pero no a todo el sistema eléctrico que se encuentra antes de él; esto significa que los conductores y todos los elementos del sistema perciben siempre un bajo factor de potencia.

La compensación individual descarga de reactivos a todo el sistema incluyendo los conductores que se encargan de energizar los diferentes equipos conectados a éste. La desventaja consiste en que al juntar todos los capacitores individuales dentro de un mismo sistema, la capacidad total de estos superaría a la capacidad de un banco de capacitores que haría la misma función pero de forma centralizada. Lo anterior hace que la instalación individualizada de capacitores se más costosa que una centralizada.

Ejemplo:

Un capacitor instalado en el mismo circuito que un motor de inducción, tiene como efecto un intercambio de corriente reactiva entre ellos. La corriente de adelanto almacenada por el capacitor alimenta la corriente de retraso requerida por el motor de inducción.

La siguiente figura muestra un motor de inducción sin corrección de factor de potencia. Este motor consume solo 80 A. para su carga de trabajo. Pero la corriente de magnetización que requiere el motor es de 60 Amp, por lo tanto el circuito de alimentación debe de conducir 100 Amp.



*Figura IV.3.18*  
Corriente de magnetización del motor, suministrada por el sistema de distribución.

Por la línea de alimentación fluye la corriente de trabajo junto con la corriente no útil ó corriente de magnetización. Después de instalar un capacitor en el motor para satisfacer las necesidades de magnetización del mismo. El circuito de alimentación solo tiene que conducir y suministrar 80 A. para que el motor efectúe el mismo trabajo. Ya que el capacitor se encarga de entregar los 60 A. magnetizantes el circuito de alimentación conduce ahora únicamente corriente de trabajo.

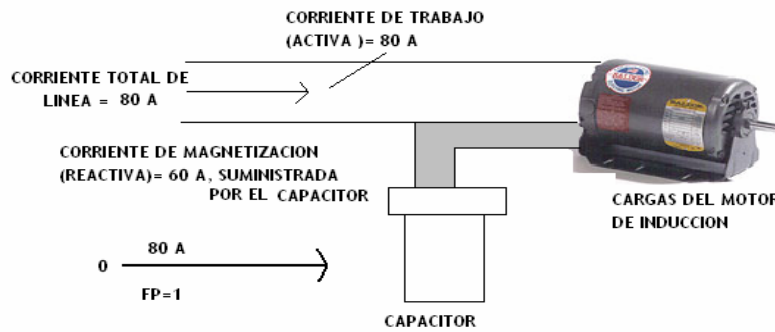


Figura IV.3.19

Corriente de magnetización del motor proporcionada por el capacitor de compensación.

### **3.3 LA EFICIENCIA DE UN MOTOR DESDE EL PUNTO DE VISTA DE AHORRO ENERGETICO**

El aumento del costo de la energía eléctrica ha provocado una demanda creciente de motores de alta eficiencia. Los motores de alta eficiencia tienen características de tener una mejor eficiencia a plena carga, los motores tienen un mejor (menor) factor de potencia y para la corrección de este se requieren capacitores de menor capacidad, tiene menores costos de operación y tienen grandes mejoras en la producción. El aprovechamiento eléctrico de un motor se basa en obtener una mejor eficiencia transformando menos energía eléctrica en la entrada y teniendo a la salida un resultado energía mecánica mayor.

El uso de estos motores eléctricos de alta eficiencia viene a contribuir grandemente al ahorro energético; no sólo porque el motor se vuelve más confiable lo que contribuye a disminuir a los costos de operación del mismo, sino que también mejorar la productividad de la actividad realizada.

Entre las razones por las cuales un motor de alta eficiencia ofrece mucho más que una forma de convertir energía eléctrica en energía mecánica de movimiento rotario están:

Más alta eficiencia: los motores de esta clase presentan el mayor rendimiento de cualquier línea de motores.

Menor costo de operación: el costo inicial de operación de un motor eléctrico depende de su potencia, velocidad, construcción cerrada ó abierta, voltaje nominal. Mientras que su costo de operación varía según las tarifas aplicables por las compañías de distribución eléctrica, el tiempo de operación, la carga y la eficiencia.

Capacitores de menor capacidad para la corrección del factor de potencia: Los motores de alta eficiencia tienen un mejor factor de potencia que los de diseño normal. Esto significa que requieren menos capacidad en KVA reactivos para lograr un factor de potencia aceptable.

Menores pérdidas en los ramales de alimentación: la corriente de plena carga de un motor de alta eficiencia es menor que la de uno común, lo cual se traduce en un ahorro energético extra por ser menores las pérdidas en la línea de alimentación.

Menores pérdidas al vacío: algunos motores se utilizan para cargas variables ó están sujetos a un ciclo de trabajo que incluye periodos de operación sin carga. Un motor de alta eficiencia permite ahorrar energía eléctrica en esas condiciones, ya que su más eficiente diseño se traduce en pérdidas en vacío que significativamente menores que las de un motor normal.

Reducción en la carga para el acondicionamiento de aire local: Al realizar la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, un motor disipa una fracción de energía que se convierte en calor. Un motor de alta eficiencia disipa menos energía en forma de calor que un motor normal.

Los ahorros se incrementan con el tiempo: El ahorro logrado con uso de motores de alta eficiencia es directamente proporcional al costo de la energía eléctrica. El costo de un motor de alta eficiencia se incrementará cada vez más cuando aumenten las tarifas eléctricas.

Eficiencia nominal: Se especifica que la eficiencia nominal a plena carga es la que debe estar marcada en la placa de datos del motor. La eficiencia a plena carga para un grupo de numerosos motores de un mismo diseño no es un valor único, sino más bien un intervalo un intervalo de valores de eficiencia. Algunos fabricantes especifican especifican en la placa de característica del motor el mínimo garantizado para la eficiencia.

Intercambilidad: Es la facilidad de intercambiar uno con otro, ya que tienen misma asignación de armazones para motores estándar, por este motivo tienen la misma altura de eje (o flecha) y las mismas dimensiones de montaje.

Operación con menor calentamiento y más silenciosa: Esta es una ventaja más de los motores de alta eficiencia, que generan menores pérdidas (calor), la operación de estos motores conllevan a menor calentamiento, menos disipación de calor. El motor de alta eficiencia está provisto de un ventilador más pequeño ó más eficiente, el motor produce menos ruido.

Mayor vida útil del aislamiento: Los motores de alta eficiencia operan con elevaciones de temperaturas inferiores a la permisibles para una clase B y mucho operan por debajo de la elevación correspondiente a la clase A. Como estos motores están fabricados con sistemas de aislamiento de clase B ó clase F, su temperatura de operación estará por lo menos de 20 °C por debajo de lo usual. La vida de los aislamientos se duplica por cada 10°C que se reduzca la temperatura, la duración de un del aislamiento de un motor de alta eficiencia será hasta de cuatro veces la de un motor normal.

Mayor vida útil en los rodamientos: Una causa común de falla de un rodamiento (ó balero) es la falta de lubricante. Cuanto mayor sea la duración de la grasa menor será el riesgo de que le falle un cojinete de rodamiento. El tiempo de vida de la grasa es afectado directamente por la temperatura de operación del motor, un motor de elata eficiencia ofrecerá una mayor confiabilidad en su sistema de rodamientos. La duración del lubricante puede estimarse en términos de temperatura del rodamiento. El aumento de dicha temperatura en un motor totalmente cerrado con ventilación exterior es de aproximadamente del 0.5 al 0.66 de la elevación correspondiente al devanado del estator, por lo cual un motor de alta eficiencia alarga un 200% la vida útil del lubricante.

Menor esfuerzo térmico durante el arranque: Estos motores están sujetos a menores esfuerzos en términos durante la puesta en marcha y presentan menores sobre elevaciones (ó picos) de temperatura cuando se les somete a condiciones anormales de operación durante lapsos breves. La rapidez de calentamiento de un motor de alta eficiencia es mucho menor que la propia de un motor común. Un motor de alta eficiencia alcanza una temperatura pico de 30°C menor que la que alcanza un motor común después de haber operado dos veces el protector de sobrecarga y de que el motor arranque en frío. Si el motor arranca en caliente, la diferencia en temperatura será del 51% después de una sola operación del protector de sobrecarga.

Mayor capacidad de disipación térmica en condiciones de bloqueo: La menor elevación de temperatura y la mas baja rapidez de calentamiento de los motores de alta eficiencia les dan mayor capacidad para disipar el calor generado en condiciones de rotor bloqueado, lo cual significa que están mejor protegidos contra fallas ocasionadas por operar en una sola fase.

Menor susceptibilidad a la obstrucción del sistema de ventilación: Un motor de alta eficiencia es menos susceptible de sufrir daños por falta de ventilación. Los motores de alta eficiencia operan a menores temperaturas, están menos propensos a dañarse por obstrucciones en el sistema de ventilación.

Una mejor opción de compra que los antiguos motores: Los motores antiguos tienen un aislamiento clase A y los motores de alta eficiencia tienen un aislamiento clase B, Si bien es cierto que los motores clase A tienen una menor elevación de temperatura, los motores que tienen una eficiencia normal.

Mayores factores de servicio: Con el objeto de mejorar la eficiencia, el diseñador recurre a menudo a un mayor uso de material activo electromagnético, lo cual lleva al motor a una mayor capacidad de sobrecarga. El valor normal en la industria para el factor de servicio es de 1.0 (cero sobrecarga) para otros motores es de 1.15 (15%) de sobrecarga.

Todos los motores de alta eficiencia tienen factores de servicio de 1.15 y algunos diseños tienen márgenes térmicos que permitirían una sobrecarga del 30 y 40 %. Aunque no es recomendable que un motor de alta eficiencia funcione en forma continua a valores

altos de factor de servicio, ya que la eficiencia se reduciría y podrían inducirse fallas en los rodamientos y hasta la rotura del eje (flecha).

Margen térmico para el control de la velocidad: El margen térmico adicional de los motores de alta eficiencia es también sumadamente útil cuando un motor se alimenta a partir de una fuente eléctrica con inversores (de CD a CA) donde la onda, por no ser senoidal, produce pérdidas y calor extra y el motor funciona a baja velocidad, con enfriamiento menor del normal.

### **3.4 TÉCNICAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN EL ARRANQUE DE MOTORES.**

Un motor eléctrico puede ser arrancado de una forma simple conectándolo a la línea de potencia eléctrica. Sin embargo en ocasiones hay razones muy importantes para no hacerlo de esta forma, puede darse el caso que un motor eléctrico necesite una corriente tal alta el momento de arranque que cause una caída de tensión en el sistema de potencia que no permitirá el arranque directo de la línea. Además si se la intención es el ahorro energético y minimizar las corrientes de arranque de un motor ó un conjunto de motores, se pueden aplicar circuitos eléctricos que ayuden a esta medida.

Para los motores de inducción de jaula de ardilla, la corriente de arranque puede variar ampliamente, dependerá, de la potencia nominal del motor y de la resistencia efectiva del rotor en condiciones de arranque.

#### ***3.4.1 Características básicas de protección de los motores***

Toda Máquina eléctrica debe de contar con un sistema de protección que actúe de forma efectiva en el momento que sea necesario, un arranque magnético tiene varias características de protección básicas que pueden ser.

- Protección contra cortocircuitos.
- Protección contra sobrecarga.
- Protección contra bajo voltaje.

Protección contra cortocircuito: Esta protección es provista por los fusibles (F1, F2, F3) estos van colocados en serie a cada fase del sistema de potencia. Si llega a existir un corto circuito de forma repentina dentro del motor de inducción y causa un flujo de corriente varias veces mayor que la corriente nominal, estos fusibles se funden, desconectando el motor de la fuente de energía y evitando que se quemara la Máquina completa. Estas protecciones tienen la característica de no quemarse ó fundirse en el momento de arranque normal del motor, así que están diseñados para soportar corrientes mayores que la corriente a plena carga, antes que habrán el circuito.

Protección de sobrecarga: Estos aparatos de protección de sobrecarga consta de dos partes, un elemento calefactor de sobrecarga y los contactos de sobrecarga. En condiciones normales de operación, los contactos de sobrecarga permanecen cerrados. Sin embargo cuando la temperatura de del elemento calefactor se eleva suficientemente, los contactos se abren desenergizando el relevador ó contactor que abre los contactos del que energiza al motor de inducción.

Cuando un motor de inducción se sobrecarga, al fin se dañara por el calor excesivo que le causan las corrientes altas. Sin embargo este daño toma tiempo y normalmente un motor de inducción no se daña si lo afectan corrientes altas por breves periodos (tales como las corrientes de arranque). Solamente el motor sufrirá un daño si estas corrientes altas se mantienen.

Protección contra bajo voltaje: Esta protección también viene incluida muchas veces en los controles de sobrecarga del motor de inducción. Si el voltaje de alimentación del motor cae demasiado, también lo hará el voltaje aplicado al relevador ó contactor de la Máquina, por lo tanto el contactor se desenergizara. Entonces los contactos del contactor se abrirán removiendo la potencia eléctrica del motor.

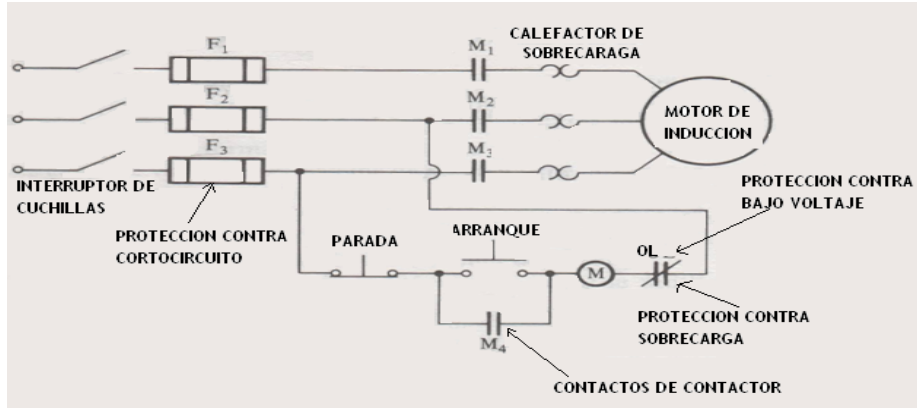


Figura IV.3.20

Arranque directo de un motor de inducción e identificación de algunos elementos de protección

La figura anterior muestra un circuito típico de arranque a plena tensión ó directo de un motor de inducción. En donde se pueden identificar los elementos de protección más sencillos que componen un arranque de esta forma.

### 3.4.2 Arrancadores de voltaje de CA reducido.

Una de las funciones de los dispositivos de arranque de voltaje reducido consiste en reducir la corriente de arranque de un motor de inducción. Estas altas corrientes generadas al momento de arranque son muy significativas cuando se trata de ahorro energético, ya que se puede ahorrar energía eléctrica al momento de realizar un arranque de un motor eléctrico.

Es muy importante comprender el comportamiento de un motor de inducción durante el periodo de arranque y aceleración, para seleccionar el método de arranque apropiado.

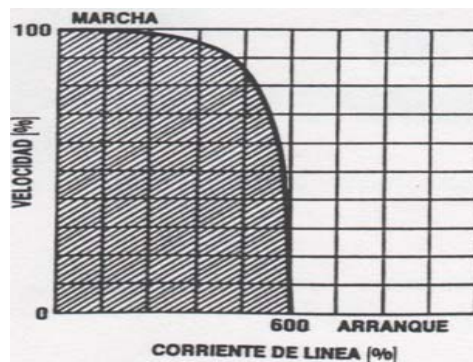


Figura IV.3.21

Corriente utilizada para un motor de inducción a diversas velocidades

En la figura anterior se muestra la corriente utilizada por un motor de inducción en diversas velocidades. Se puede observar que la corriente de arranque es elevada comparada con la corriente de funcionamiento. La corriente de arranque permanece igualmente constante en su valor elevado, hasta que su motor alcanza su velocidad efectiva total.

### Arrancador con voltaje reducido con resistor primario.

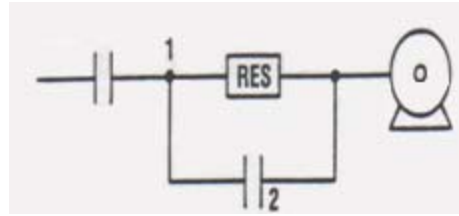
Los arrancadores tipo resistor primario son utilizados para arrancar motores con bajo voltaje reducido. Este método consiste en conectar una resistencia en serie entre la línea y el motor, con esto se estará reduciendo la velocidad del motor y considerablemente la corriente del motor. El resistor es desconectado cuando el motor alcanza cierta velocidad, de manera que el motor funcione con voltaje de línea pleno. Esto puede lograrse manual ó automáticamente.

Estos arrancadores son utilizados para arrancar motores de jaula de ardilla en donde se necesita un par limitado para evitar un daño a la Máquina. Los arrancadores de resistor limitan igualmente la irrupción de corriente para impedir perturbaciones de línea debidas a una potencia excesiva. El arranque de voltaje reducido se utiliza cuando un par elevado de arranque y el choque de aceleración súbita podrían dañar las Máquinas de accionamiento.

Este tipo de arranque por resistor se puede incluir en uno ó más pasos de aceleración, dependerá de la potencia del motor. Además este tipo de arrancador suministra una aceleración suave sin las interrupciones de corriente de línea usualmente experimentadas cuando se conmutan arrancadores de voltaje reducido de auto transformador.

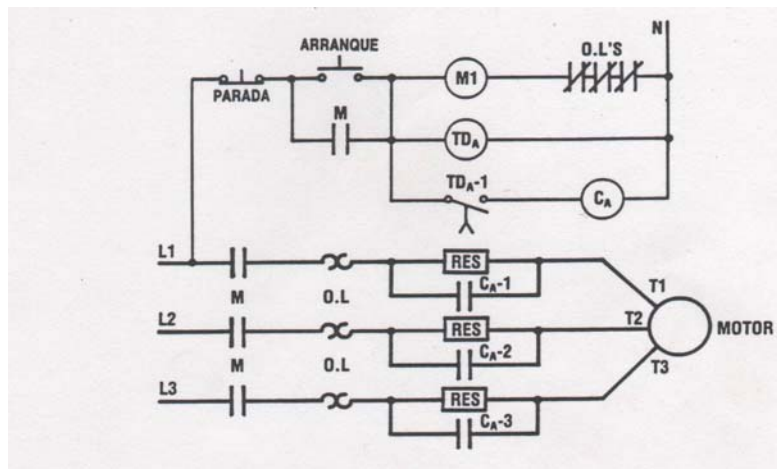
Las resistencias utilizadas en estos arranques, son resistencias que consisten en un alambre especial, enrollado en aisladores de porcelana y pegado a un núcleo de acero. Este alambre se compone de una aleación especial que tiene excelentes propiedades eléctricas y un coeficiente de temperatura de resistencia muy bajo.

Estos arranques son utilizados generalmente en aplicaciones de trabajo pesado, tales como controles de grúas y fresas.



*Figura IV.3.22*  
Esquema de arranque con resistencia

La figura anterior muestra la conexión básica de un arranque de resistencia primaria conectada en serie al estator para reducir la corriente de arranque.



*Figura IV.3.23*  
Arranque con resistencia

La figura anterior muestra un típico circuito de arrancador resistor. Cuando el botón pulsador de arranque es presionado, es energizada la bobina M1 activando el contacto de retención M y los contactos principales de potencia eléctrica M. dado que los resistores están conectados en serie con el motor, se origina una caída de voltaje en los resistores y el motor arranca con voltaje reducido. La bobina de retardo es igualmente energizada al momento de accionar el botón pulsador.

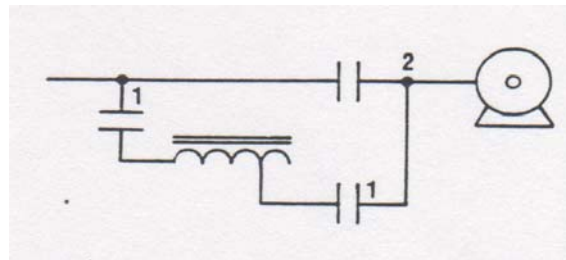
Tras un tiempo de preajuste, se cierra el contacto (TD<sub>A</sub>-1), energizando la bobina contactara (C<sub>A</sub>), esta cerrara todos los contactos (C<sub>A</sub>), que se encuentran en paralelo con los resistores, conectando el motor en el voltaje completo de línea.

**O.L'S:** contactos de protección contra sobrecarga

**O.L:** Calefactor de sobrecarga.

Arrancador con voltaje reducido con autotransformador.

Los auto transformadores son utilizados para arrancadores de voltaje reducido, son similares a los arrancadores de resistor primario. Ambos son utilizados primariamente con motores de jaula de ardilla para limitar la corriente que irrumpe y reducir la tensión en las Máquinas de accionamiento.



*Figura IV.3.24*

Esquema de arranque con auto transformador

La figura anterior muestra la conexión básica de un arranque con autotransformador ó llamado arranque compensador este se puede realizar manualmente ó automática.

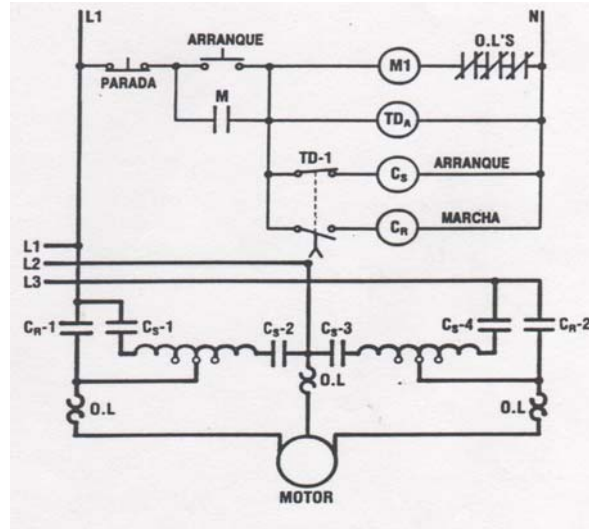


Figura IV.3.25

Arranque con autotransformador

En la figura anterior se obtiene el voltaje reducido para el arranque a partir de las tomas del autotransformador. Usualmente el autotransformador tiene diferentes tomas (taps) para que se puedan obtener diferentes voltajes.

Cuando se presiona el botón pulsador de arranque, se energiza la bobina (M1), accionando ó cerrando el contacto auxiliar M que mantendrá retenido el circuito. En este momento también se energiza el relé temporizador (TD<sub>A</sub>). Se energiza la bobina (C<sub>s</sub>) arranque a través del contacto N.C. (TD-1). Esto cierra todos los contactos N.A. en (C<sub>s</sub>) y el motor arranca con voltaje reducido.

Tras un tiempo de preajuste, se abre el contacto (TD-1), desenergizando la bobina de arranque y el contacto (TD-2), se cierra para energizar la bobina (C<sub>R</sub>) marcha. El contacto de arranque (C<sub>s</sub>) se abre y se cierra y el contacto de marcha (C<sub>R</sub>), coloca todo el voltaje en los terminales del motor de inducción.

#### Arrancador estrella – triángulo

El motor puede arrancar en estrella y quedar funcionando en delta, este tipo de arranques son utilizados para cargas centrifugas tales como ventiladores, sopladores y cuando se requiere de un par de arranque reducido. Principalmente es utilizado con el objetivo de reducir la corriente de arranque.

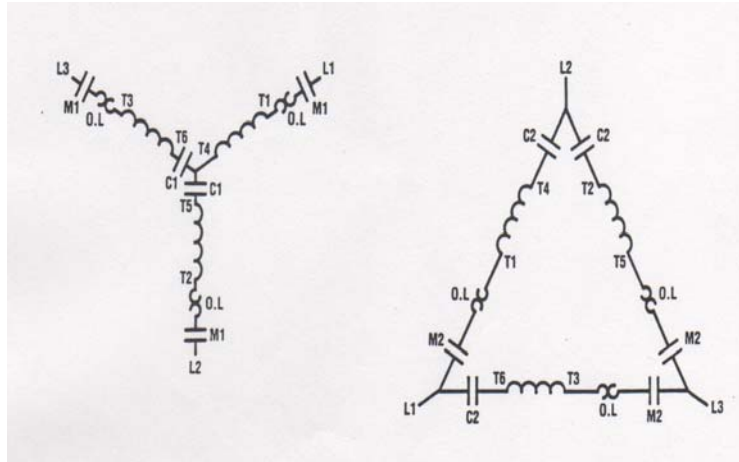


Figura IV.3.26

Esquema de arranque estrella delta

La figura anterior muestra los diagramas elementales de conexiones de potencia para realizar una conexión estrella – triángulo.

Arrancador estrella – triángulo transición abierta

En el arranque de transición abierta, el arrancador, desconecta momentáneamente el motor y luego lo conecta en triángulo.

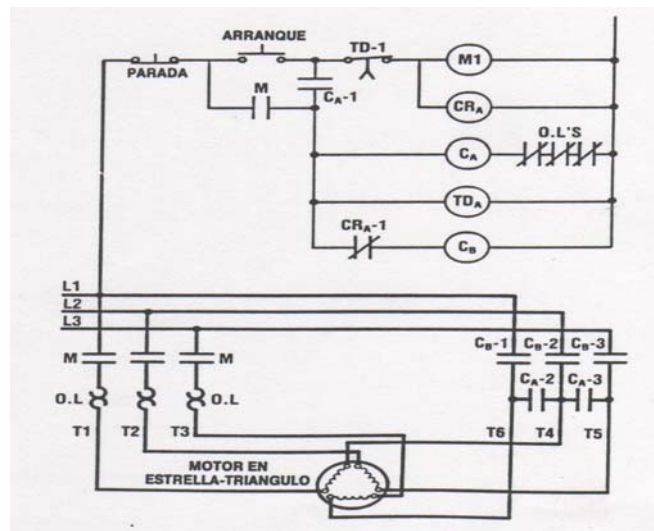


Figura IV.1.27

Arranque estrella delta transición abierta

Se puede observar en la figura anterior el arranque de transición abierta para un arrancador estrella triángulo.

Al el botón pulsador de arranque se energiza el contacto ( $C_A$ ) cuyos principales contactos conectan tres de los cables del motor ( $T_4, T_5, T_6$ ) para realizar la conexión estrella. El arrancador del motor ( $M_1$ ) es igualmente energizado, cerrando los contactos de línea del motor en ( $M$ ) y el contacto auxiliar de retención  $M$ . El motor es puesto en marcha en conexión estrella.

Tras un tiempo de preajuste, se abre el contacto ( $TD-1$ ) de temporización, desenergizando el contacto ( $C_A$ ) y todos los contactos ( $C_A$ ) se abren. Luego se energiza el contacto ( $C_B$ ) a través del contacto ( $CR-1$ ) N.C., cerrando los contactos de los cables del motor en ( $T_4, T_5, T_6$ ) para formar una conexión en triángulo. Luego el motor queda funcionando en la configuración triángulo.

Este método es llamado transición abierta, dado que hay un periodo en el cual el circuito del motor se abre entre la apertura de los contactos ( $C_A$ ) de potencia y el cierre de los contactos ( $C_B$ ).

El arranque de transición abierta no requiere de un equipo de reducción de voltaje como un accesorio.

### Arrancador estrella – triángulo transición cerrada

En el arranque de transición cerrada, la transferencia de estrella a triángulo se efectúa sin desconectar la potencia eléctrica del motor.

El arranque de transición cerrada se utiliza en algunas instalaciones para impedir las perturbaciones de la línea de potencia. Esto se efectúa añadiendo un contactor tripolar y tres resistores al circuito de arranque.

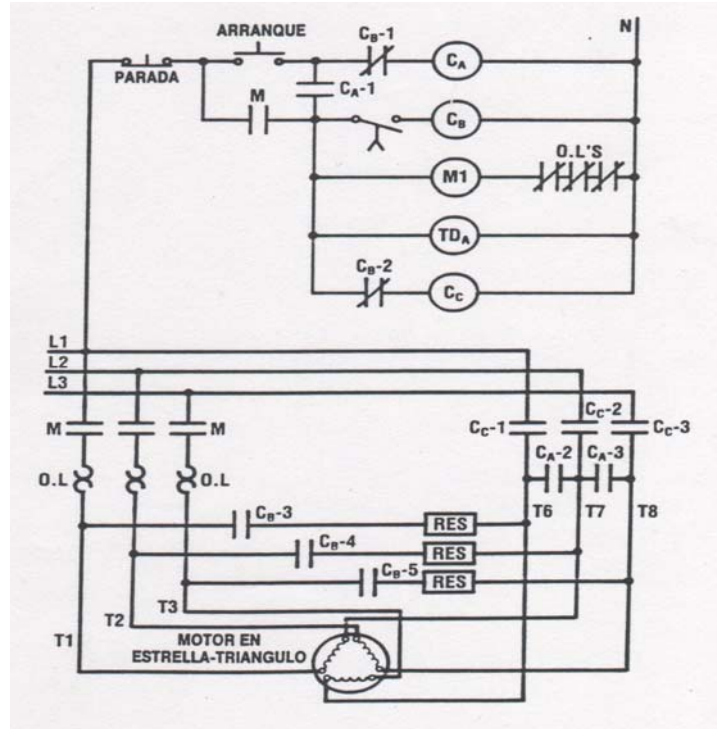


Figura IV.1.28

Arranque de transición cerrada estrella triángulo.

El contactor (C2) es energizado mediante la transición estrella triángulo. Esto mantiene el motor conectado a la línea a través de los resistores durante la transición. El resto de la secuencia de operaciones es similar a la del arranque de transición abierta.

La siguiente tabla muestra un resumen de arranque de voltaje y corriente reducido de c.a.

TIPO DE ARRANQUE	MARGENES DE POTENCIA GENERALMENTE DISPONIBLES	METODO DE REDUCCION DE LA IRRUPCION DE CORRIENTE.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
<b>Manual del autotransformador</b>	1-15 HP, 208/220 V, 3 Fase, a 200-250 HP,  440/550 V, 3 Fase, 60,50 Ciclos	Conectado con el autotransformador en el arranque, luego en la línea tras un plazo de retraso.	Da un par de arranque máximo por amperio tomado. Tiene por lo menos dos tomas para ajustar la corriente de arranque y el par.
<b>automático</b>	1-15 HP, 208/220 V, 3Fase, a 600 HP, 440/550 V, 3 Fase, 60, 50 ciclos		Transición de circuito abierto.
<b>Resistencia de paso</b>	3 HP, 110 V, 1 Fase a 15 HP, 220 V, 1fase, 60,50 ciclos.	Se coloca uno ó más pasos de resistencia en serie con la línea, en cada fase.	Muchos pasos disponibles, en estilo automático, los pasos individuales tienen resistores ajustables.
	5 HP, 208/220 V, 3Fase a 600 HP, 440/550 V, 3 Fase, 60, 50 Ciclos	En el arranque son derivados, uno a la vez. El motor es conectado entre los lados de la línea.	Transición de circuito cerrado.  Par de arranque bajo/amperio
<b>Manual de resistencia sin pasos</b>	15 HP, 208/220 V, 3 Fase a 200 HP, 440/550 V, 3 Fase 60, 50 Ciclos.	Discos de grafito comprimidos en el arranque para proporcionar un arranque extremadamente suave. sin pasos. los discos son derivados en la posición de funcionamiento (entre los lados de la línea)	Resistencia ajustable, transición de circuito cerrado, par de arranque bajo, pero aumenta continuamente.
<b>Automático</b>	10 HP, 208/220 V, 3 Fase a 600 HP, 440/550 V, 3 Fase, 60,50 Ciclos.		Tipo mas costoso
<b>Estrella – Triangulo</b>	10 HP, 208/220 V, 3 Fase a 1000 HP, 440/550 V, 3 Fase, 60, 50 Ciclos	Conectar los devanados del motor en estrella-Triangulo, primero en estrella para reducir las corrientes de arranque con respecto a la conexión triangulo.	Par de arranque elevado / amperio, aun cuando es relativamente bajo, poco ruido y vibración, no necesita un equipo de reducción de corriente.
			Transición de circuito cerrado.

Tabla IV.3.1

CAPÍTULO V

***REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO***

Este capítulo contiene los siguientes temas:

## **V.1 La Refrigeración**

### V.1.1 Los Refrigerantes

- V.1.1.1 Identificación de los refrigerantes
- V.1.1.2 Los refrigerantes y sus características
- V.1.1.3 El medio ambiente y los refrigerantes

### V.1.2 El circuito de Refrigeración

- V.1.2.1 Elementos del circuito básico de refrigeración
- V.1.2.2 Equipos de refrigeración de frío húmedo y frío seco
- V.1.2.3 Equipo frío
- V.1.2.4 Estrategias para el ahorro energético en equipos de refrigeración
- V.1.2.5 Prácticas recomendadas en equipos de refrigeración

## **V.2 El Aire acondicionado**

### V.2.1 El circuito básico de aire acondicionado

### V.2.3 Equipos de aire acondicionado

- V.2.2.1 Tipos de equipos de aire acondicionado
- V.2.2.2 Climatización de espacios

### V.2.3 Ganancia térmica

- V.2.3.1 Ganancia de calor por conducción
- V.2.3.2 Otros factores de ganancia de calor
- V.2.3.3 Dimensionamiento de unidades de aire acondicionado

### V.2.4 Mantenimiento de equipos de aire acondicionado

- V.2.4.1 Limpieza de evaporador y condensador
- V.2.4.2 Otros mantenimientos recomendados

## 1. La Refrigeración

La refrigeración es la transferencia de calor de un lugar a otro por medio de una sustancia que cambia de un estado termodinámico a otro. El intercambio de calor se lleva a cabo entre un espacio refrigerado confinado y el medio ambiente.

El principio en el que se fundamenta la refrigeración es que una sustancia a menor temperatura puede absorber naturalmente calor de otra sustancia a mayor temperatura, pero el proceso contrario sólo puede lograrse con la realización de un trabajo.

La refrigeración mecánica consiste en la extracción de calor de un espacio determinado hacia su entorno a través del trabajo. En este tipo de refrigeración, sistemas mecánicos se emplean para lograr que el calor se transfiera de un lugar de menor temperatura a uno de mayor temperatura. Como ya se mencionó, esto solamente puede lograrse a través de la realización de un trabajo, que en el caso de la refrigeración mecánica, es realizado por un compresor sobre un fluido refrigerante.

### 1.1 LOS REFRIGERANTES

Los refrigerantes son sustancias químicas que se utilizan para absorber calor por medio de su evaporación, y liberarlo por medio de su condensación. Cualquier sustancia que sufra un cambio de fase pasando de líquido a gas y viceversa, puede trabajar como refrigerante. Sin embargo, es necesario aclarar que sólo aquellas sustancias que logran cambios de fase a las temperaturas comunes de los espacios refrigerados, tienen un verdadero uso práctico.

Un refrigerante ideal para la refrigeración debe poseer las siguientes propiedades:

- Ser químicamente inerte hasta el grado de no ser inflamable, ni tóxico, ni explosivo, tanto en estado puro como cuando esté mezclado con el aire en determinada proporción.
- No reaccionar desfavorablemente con los aceites o materiales empleados en la construcción de los equipos frigoríficos.
- No reaccionar desfavorablemente con la humedad, que a pesar de las precauciones que se toman al respecto, suele aparecer en toda instalación.
- Poseer características físicas y térmicas que permitan la máxima capacidad de refrigeración con la mínima demanda de potencia.

- La temperatura de descarga de cualquier refrigerante siempre disminuye a medida que baja la relación de compresión. Por lo tanto, es deseable que la temperatura del refrigerante en la descarga del compresor sea la más baja posible para alargar la vida del mismo.
- Poseer un coeficiente de conductancia lo más elevado posible para reducir el tamaño y costo del equipo de transferencia de calor.
- La relación presión-temperatura debe ser tal que la presión en el evaporador para la temperatura de trabajo sea superior a la atmosférica, para evitar la entrada de aire y de humedad en el sistema en caso de fuga.
- Temperatura y presión crítica, lógicamente el punto de congelación deberá ser inferior a la temperatura mínima de trabajo.
- Finalmente ha de ser de bajo precio y fácil disponibilidad.

### ***1.1.1 Identificación de los Refrigerantes***

Aunque en el mercado nacional pueden encontrarse diferentes marcas con diferentes nombres de un mismo refrigerante, existe un nombre genérico para cada refrigerante en específico.

Genéricamente los refrigerantes son nombrados con un código que consta de una letra R, seguida de tres cifras. El significado de cada una de las cifras antes mencionadas se describe a continuación:

- La primera cifra indica el número de átomos de Carbono que contiene la molécula. Para conocer la cantidad de átomos de Carbono contenidos se le debe sumar uno a esta cifra.
- La segunda cifra indica el número de átomos de Hidrógeno que contiene la molécula. Para conocer la cantidad de átomos de Hidrógeno contenidos se le debe restar uno a esta cifra.
- La tercera se indica al número de átomos de Fluor.

Para ejemplificar lo anterior se analizará el refrigerante R-245, el cual contiene:

Carbono:  $2+1=3$  átomos

Hidrógeno:  $4-1=3$  átomos

Fluor: 5 átomos

En los casos en que sólo aparecen dos cifras se entiende que la primera es cero. Así por ejemplo, el refrigerante R-11 contiene:

Carbono:  $0+1= 1$  átomo Cl

Hidrógeno:  $1-1= 0$  átomo Cl C F

Flúor: 1 átomo Cl

Existen en la actualidad tres tipos de refrigerantes de la familia de los hidrocarburos halogenados:

**CFC** (Flúor, Carbono, Cloro): Clorofluorocarbono totalmente halogenado, no contiene hidrógeno en su molécula química y por lo tanto es muy estable; sin embargo esta estabilidad hace que permanezca durante largo tiempo en la atmósfera afectando seriamente la capa de ozono y es una de las causas del efecto invernadero. Los refrigerantes R-11, R-12, R-115 son ejemplos de ello. Actualmente su venta es prohibida en algunos países, y su fabricación es prohibida desde 1995, aunque son muy comunes encontrarlos en equipos refrigerantes de uso doméstico fabricados varios años atrás.

**HCFC** (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro): Este refrigerantes es similar al anterior pero con la diferencia que en su molécula existen átomos de hidrógeno. La presencia de Hidrógeno le confiere menos estabilidad, lo que en consecuencia supone que se descompondrá en la parte inferior de la atmósfera antes de llegar a ésta. Posee un potencial reducido de destrucción de la capa de ozono. Su desaparición definitiva está prevista para el año 2015. El nombre genérico de este refrigerante es R-22, y es común encontrarlo en equipos de aire acondicionado fabricados varios años atrás.

**HFC** (Hidrógeno, Flúor, Carbono): Es un Fluorocarbono sin cloro con átomos de hidrógeno sin potencial destructivo de la capa ozono dado que no contiene cloro. Los nombres genéricos de estos son R-134a, 141b. Estos refrigerantes son los sustitutos a los gases que causan daño al medio ambiente.

<b>APLICACIÓN</b>	<b>CFC / HCFC</b>	<b>SUSTITUTOS EN HFC</b>
LIMPIEZA TUBERÍAS DE EQUIPOS	R – 11	R -141 - b
EQUIPOS REFRIGERANTES DE TEMPERATURA MEDIA	R – 12	R - 134 a / R – 409
EQUIPOS REFRIGERANTES DE BAJA TEMPERATURA	R – 502	R 404 / R – 408
AIRE ACONDICIONADO	R – 22	R - 407 c

*Tabla V.1.1*

En la tabla se muestran los refrigerantes más comunes, su aplicación, y su reemplazo respectivo con refrigerantes amigables con el medio ambiente.

Estos refrigerantes no son tóxicos en su estado normal, pero poseen la característica de desplazar oxígeno cuando se encuentra en su estado gaseoso por lo que, en grandes cantidades, puede producir asfixia. Otra característica de estos refrigerantes es que cuando están en contacto con llamas o cuerpos incandescentes, el gas se descompone en productos altamente tóxicos y capaces de provocar efectos nocivos en pequeñas concentraciones y corta exposición.

### ***1.1.2 Los Refrigerantes y sus Características***

Los tipos de refrigerantes que existen en el mercado se diferencian no sólo por su nombre sino también por su aplicación y características. A continuación se presentan los tipos más comunes de refrigerantes y sus características más destacables.

Antes de iniciar con la descripción de cada uno de los refrigerantes más comúnmente utilizados, es necesario definir algunos conceptos para apreciar mejor las características de estos refrigerantes.

**COEFICIENTE DE RENDIMIENTO:** se define como el efecto refrigerante (energía absorbida en el evaporador), dividida por el trabajo (energía requerida por el compresor) apareciendo ambas cifras en las mismas unidades. Este coeficiente determina la eficiencia de la sustancia como refrigerante; entre mayor es este coeficiente en un refrigerante, cuanto mayor es su eficiencia y menor la energía requerida en el sistema para su funcionamiento.

**CLASE DE RIESGO UL:** Esta clasificación indica cuán peligrosa es cierta sustancia para la salud humana. Las sustancias que se clasifican como sustancias tipo 1 son altamente peligrosas, mientras que las sustancias tipificadas como 6 son sustancias que son relativamente seguras para la salud de las personas. Otras cifras de esta clasificación son 2, 3, 4, 5, 5a, 5b.

#### **REFRIGERANTE R-12:**

Por sus características de estabilidad y buen comportamiento era uno de los gases que más se empleaba hasta su la prohibición de su venta.

Posee un olor débil y no es inflamable. Es el más usado de los refrigerantes especialmente en aplicaciones domésticas, comerciales y en ocasiones es utilizado en aires acondicionado de automóviles. En el mercado puede ser encontrado en diferentes tamaños de cilindros de presión y en latas pequeñas desechables usadas

para cargas en pequeños sistemas. Este refrigerante es el más miscible con el aceite mineral, y posee una temperatura de descarga relativamente baja.

El R-12 absorbe poca humedad y por lo tanto forma poco ácido en comparación con los nuevos refrigerantes. Las fugas en los sistemas que ocupan este refrigerantes se pueden detectar con lámpara busca fugas.

FÓRMULA :	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
NOMBRE QUÍMICO:	Diclorodifluorometano.
PUNTO DE EBULLICIÓN :	-30 °C (-21.6 °F)
TEMPERATURA DE SUCCIÓN :	-15 °C (5 °F)..
TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN :	30 °C (86 °F)..
PRESIÓN DE CONDENSACIÓN :	93.3 lb / Pulg <sup>2</sup> .
COEFICIENTE DE RENDIMIENTO :	4.7
CLASE DE RIESGO UL:	6
CÓDIGO DE COLOR:	Blanco

*Tabla V.1.2*

En la tabla se listan las principales características del refrigerante R-12.

#### **REFRIGERANTE R-22:**

Este refrigerante es del grupo de los HCFC, inicialmente estaba diseñado para aire acondicionado pero hasta hace poco es empleado para otras aplicaciones.

Tiene un olor débil y no es inflamable. Este refrigerante es el más usado en acondicionamiento de aire con compresores recíprocos. También es utilizado en algunos equipos de refrigeración a temperaturas medias y bajas, con lo cual se obtiene un mejor rendimiento que con el R-12. Es miscible con el aceite mineral y sintético, pero en bajas temperaturas es recomendable utilizar separador de aceite.

Acepta poco recalentamiento ya que de lo contrario aumentaría demasiado la temperatura de descarga. Absorbe 8 veces más humedad que el R-12, por lo que es más propenso a formar ácidos cuando está húmedo. Las fugas en los sistemas que lo utilizan, también se pueden detectarse con lámpara busca fugas.

FÓRMULA :	:CHClF <sub>2</sub>
NOMBRE QUÍMICO:	Diclorodifluorometano.
PUNTO DE EBULLICIÓN :	-40.8 °C (-41.4 °F)
TEMPERATURA DE SUCCIÓN :	-15 °C (5 °F)..
TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN :	30 °C (86 °F)..
PRESIÓN DE CONDENSACIÓN :	158.2.3 lb / Pulg <sup>2</sup> .
COEFICIENTE DE RENDIMIENTO :	4.66
CLASE DE RIESGO UL :	5a
CÓDIGO DE COLOR :	Verde

**Tabla V.1.3**

En la tabla se listan las principales características del refrigerante R-22.

**REFRIGERANTE R-11:**

Posee un olor débil, y es no inflamable. Este refrigerante de baja presión es utilizado principalmente en compresores centrífugos grandes y de baja velocidad. Es excelente como disolvente, es generalmente utilizado para limpiar sistemas contaminados por quemaduras de motor. Se suministra en tambores de baja presión ó en cilindros a presión con nitrógeno como propulsor.

FÓRMULA :	:CCl <sub>3</sub> F
NOMBRE QUÍMICO:	Triclorofluoro metano
PUNTO DE EBULLICIÓN :	-23.8 °C (-74.9°F)
TEMPERATURA DE SUCCIÓN :	-15°C (5 °F)..
TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN :	30 °C (86 °F)..
PRESIÓN DE CONDENSACIÓN :	3.5 lb / Pulg <sup>2</sup> .
COEFICIENTE DE RENDIMIENTO :	5.03
CLASE DE RIESGO UL :	5 <sup>a</sup>
CÓDIGO DE COLOR :	Naranja

**Tabla V.1.4**

En la tabla se listan las principales características del refrigerante R-11.

**CARACTERÍSTICAS DEL R-134a:**

Este gas pertenece al grupo de los HFC, y al no tener cloro en su molécula, no es miscible con los aceites minerales, por lo que los compresores que trabajan con este refrigerante se lubrican con un aceite base ESTR.

Este refrigerante se evapora a  $-26^{\circ}\text{C}$  y presión atmosférica; generalmente los refrigerantes que pertenecen al grupo de los HFC son muy higroscópicos y absorben gran cantidad de humedad. A diferencia de los otros gases refrigerantes, una fuga en un sistema que utiliza R-134a no puede ser detectada con una lámpara busca fugas, debiendo utilizarse detectores electrónicos de gas.

### 1.1.3 El medio ambiente y los refrigerantes

Debido a la creciente preocupación por el deterioro del medio ambiente, y con evidencia de que la liberación de los gases refrigerantes tradicionalmente utilizados en aire acondicionado y refrigeración daña la capa de ozono, se han desarrollado gases refrigerantes amigables con el medio ambiente, los cuales contienen cloro.

La primera preocupación sobre la probable destrucción de la capa de ozono por los CFCs (Clorofluorocarbonados) fue levantada con la publicación de la teoría que indica que los átomos de cloro liberados por los CFCs podrían migrar hasta la estratosfera, destruyendo las moléculas de ozono.

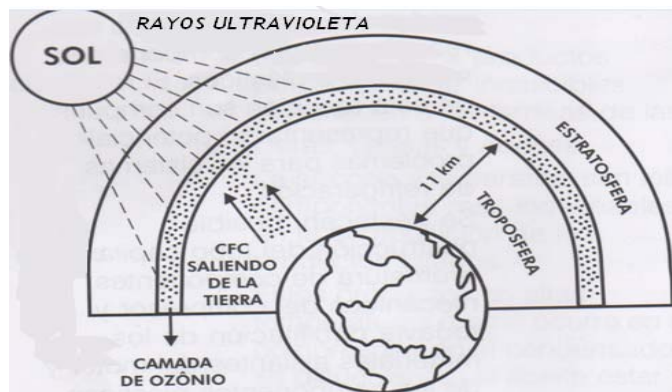


Figura V.1.2

En la figura se observan las diferentes capas que componen la atmósfera. Aproximadamente el 90% del ozono de la tierra está localizado en una capa natural, por encima de la superficie terrestre, conocida como estratosfera.

Alguno de los CFCs tiene un tiempo de vida en la atmósfera superior a 120 años, esto significa que ellos no se desasocian en la baja atmósfera (troposfera). Como resultado, los CFCs migran lentamente para la estratosfera donde son alcanzados por mayores niveles de radiación liberando cloro, el cual una vez libre, se unen repetidamente con las moléculas de ozono, provocando la separación de los átomos de oxígeno de la molécula en cuestión. La destrucción de estas moléculas debilita la capa de ozono, la cual actúa como una pantalla protectora de los rayos solares y su radiación ultravioleta. Lo anterior propicia la penetración de los peligrosos rayos ultravioleta, los que son generalmente asociados al cáncer de la piel.

Además de eso, debido al largo tiempo de vida de los CFCs en la atmósfera y al hecho de que un átomo de cloro puede destruir repetidamente a millares de moléculas de ozono, serán necesarias muchas décadas para que la capa de ozono retorne a los niveles de concentración anteriores, aun después de la eliminación completa de los CFCs.

Entre los mayores daños y consecuencia de la destrucción de la capa de ozono podemos mencionar los siguientes:

- Aumento de los casos de cáncer de piel
- Aumento de los casos de catarata en la vista
- Daños a la vida terrestre y marina.
- Aumento de la temperatura ambiente.

En la Actualidad, los sustitutos definitivos de los refrigerantes R-12 y R-22 son el R-134a y el R-407c respectivamente, pero a pesar que estos últimos son categorizados como refrigerantes amigables con el medio ambiente, algunos creen que los refrigerantes que pertenecen al grupo de los HFC agravan más el efecto invernadero y al recalentamiento del planeta que las emisiones de  $\text{CO}_2$ , de manera que nos plantea una gran duda, ¿Qué gases emplearemos en el futuro?

La destrucción de la capa de ozono ocurre cuando las moléculas del oxígeno ( $\text{O}_2$ ) absorben parte de la radiación ultravioleta proveniente de sol, ocasionando la separación de las moléculas en dos átomos de oxígeno. Estos átomos a su vez, se juntan con otras moléculas de oxígeno, formando el ozono ( $\text{O}_3$ ), que contiene tres zonas átomos de oxígeno. Esta capa protectora natural formada por el ozono, actúa como el escudo protector contra la radiación ultravioleta.

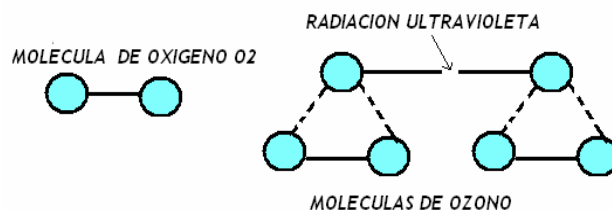
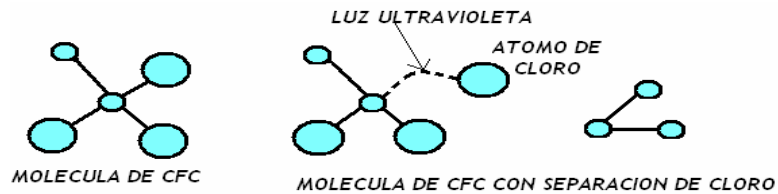


Figura V.1.1

En la figura se muestra una molécula de oxígeno y unas moléculas de ozono en su estado natural.

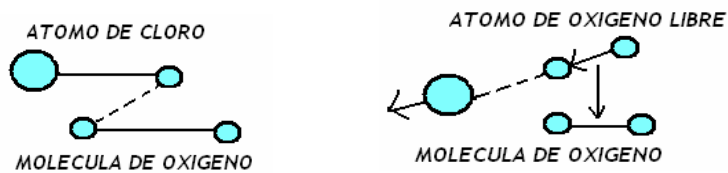
La luz ultravioleta rompe la conexión de un átomo de cloro de la molécula de CFC. Seguidamente el átomo de cloro ataca la molécula del Ozono ( $O_3$ ), quebrando la conexión entre los átomos. Como resultado, se forma una molécula de oxígeno común ( $O_2$ ) y una de monóxido de cloro. Se presenta una reacción en cadena generándose una ruptura de la conexión y formación de las nuevas moléculas.



*Figura V.1.3*

En la figura de la izquierda se muestra una molécula de un CFC, a la izquierda el proceso de liberación de un átomo de cloro de la molécula.

El monóxido de cloro es muy inestable y tiene una conexión quebrada, como resultado se forma nuevamente cloro libre, el cual ataca y destruye a otra molécula de ozono repitiéndose el proceso antes descrito.



*Figura V.1.4*

En la figura se muestra el choque del átomo de cloro con la molécula de ozono, dando como resultado la ruptura de esta quedando libre un átomo de oxígeno en el proceso.

## 1.2 EL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

Para comprender mejor el funcionamiento de los equipos de refrigeración es necesario comenzar por conocer y entender el circuito de refrigeración y los distintos elementos que lo conforman. Sólo conociendo y entendiendo el correcto funcionamiento de los equipos de refrigeración, se podrán comprender las técnicas y estrategias que nos ayudarán a lograr un ahorro energético con estos equipos.

### 1.2.1 Elementos del Básico Circuito de Refrigeración

El básico circuito de refrigeración se compone diversos elementos, que actuando juntos, permiten la completa funcionalidad del ciclo de refrigeración mecánica. Estos elementos son indispensables en cualquier equipo de refrigeración, y su correcto funcionamiento permitirá una operación más eficiente de los equipos de refrigeración.

Los siguientes componentes básicos son los que completan un circuito ó ciclo de refrigeración mecánico:

- a) Compresor y aceites para su lubricación
- b) Refrigerante
- c) Condensador
- d) Filtro secador
- e) Tubo capilar y válvula termostática de expansión.
- f) Evaporador.

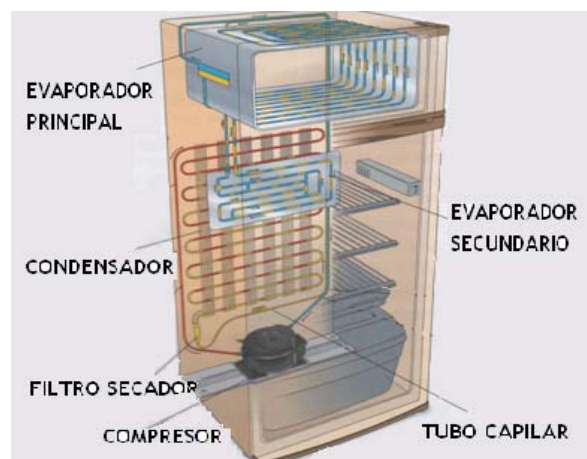
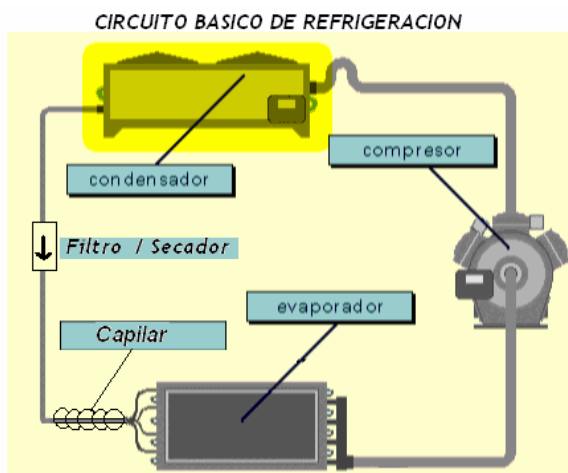


Figura V.1.5

En la figura de la izquierda se muestra el circuito básico de refrigeración, a la izquierda se muestra el circuito básico de refrigeración y la ubicación de sus distintas partes dentro de un refrigerador común.

**a) EL COMPRESOR**

Este elemento es el alma de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, existen diferentes tipos de compresores entre los cuales están:

- Compresores de desplazamiento positivo:
  - Alternativos
    - Abiertos
    - Cerrados
  - Rotativos
  - Helicoidales de tornillo de gusano.
  
- Compresores cinéticos
  - Centrifugos

En este manual solamente se mencionarán los compresores de desplazamiento positivo, que son los usados en los equipos más comunes para aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado. Los compresores cinéticos comienzan en los límites de 80 ton y van hasta 8000 ton o más; por lo cual, estas capacidades se salen del orden del objeto de estudio, por lo cual no se incluyen en este manual.

***Compresores de desplazamiento positivo***

Estos compresores reciben su nombre debido a la capacidad máxima en función de la velocidad y del volumen de desplazamiento del cilindro. La velocidad de estos oscila entre 1,750 rpm ó 3,500 rpm para compresores normales herméticos; el volumen o peso del gas refrigerante que se bombea es una relación mecánica existente del número de carreras por minuto multiplicado por el volumen de los cilindros.

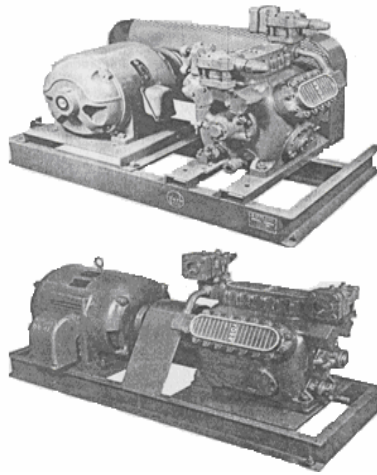
**COMPRESORES ALTERNATIVOS**

Existen dos tipos de compresores alternativos, el compresor tipo hermético y el compresor de tipo abierto. Su diferencia está que el compresor tipo abierto es impulsado por un motor externo, ya sea acoplado directamente o por bandas transmisión. En el compresor hermético, el motor impulsor está en la misma carcasa del compresor, y ambos se encuentran completamente resguardos dentro de la misma.

*Compresor alternativo abierto:* Estos son usados principalmente en la industria y el comercio; generalmente en el área de la refrigeración comercial (cuartos fríos) o en procesos industriales de enfriamiento donde las temperaturas y las condiciones del refrigerante son distintas y más variables.

Entre sus principales características podemos mencionar:

- Mayor flexibilidad, se puede variar su velocidad y un solo compresor puede ser utilizado en dos o tres unidades de distintas capacidades, tan sólo cambiando el tamaño de la polea del motor y las holguras de las válvulas.
- Se puede usar para temperaturas altas, medias y bajas.
- Pueden ser operados con motores de corriente directa.
- Fácil mantenimiento.
- Si se daña el motor solamente se cambia, quedando en buenas condiciones el compresor.
- Es enfriado por aire y su enfriamiento depende del aire que rodea su armazón.



*Figura V.1.6*

En la parte superior un compresor alternativo abierto visto frontalmente, en la parte inferior una vista posterior del mismo, pudiéndose observar en ambas fotografías las ubicaciones separadas de motor y compresor.

*Compresor alternativo cerrado:* Antiguamente estos compresores podían ser reparados y se les llamaba herméticos atornillados y podían desarmarse casi por completo. Hoy en día se fabrican compresores herméticamente sellados o soldados y no se pueden repararse y son prácticamente desechables.

Entre sus principales características podemos mencionar:

- Se debe cambiar la unidad por completo si existe algún daño interno ya sea del motor, compresor, o de cualquiera de los otros elementos internos de éste.
- El compresor es enfriado y lubricado continuamente por aceite, por lo que tiene una mejor disipación del calor.
- Su tamaño es compacto y tiene menos vibraciones.



*Figura V.1.7*

En la figura se muestra una fotografía de un compresor alternativo cerrado.

### COMPRESOR ROTATIVO

Es usado principalmente en los equipos más pequeños de caballaje fraccionario en refrigeradores, pero hoy en día tiene una mayor aplicación en el área de aire acondicionado.

Tiene la misma apariencia que un compresor hermético alternativo pero la diferencia estriba en que el rotativo es más pequeño y menos ruidoso y que la presión de alta se descarga dentro de la carcasa por lo tanto siempre esta muy caliente. Poseen un mejor rendimiento que los alternativos al carecer de tantas partes móviles. La botella de aspiración ubicada en un costado de éste es su principal característica de identificación.



*Figura V.1.8*

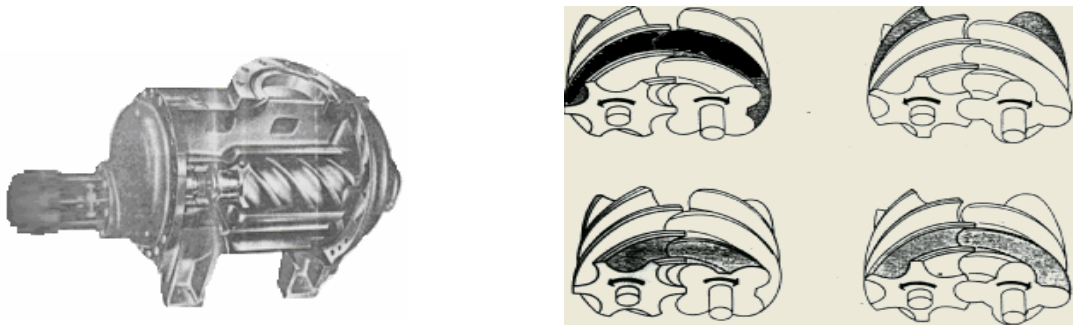
En la figura de la izquierda se muestra una fotografía de un compresor rotativo, a la izquierda una figura esquemática de su interior.

### COMPRESORES DE TORNILLO

Esta formado por dos tornillos que van aspirando y comprimiendo gas. La compresión del gas se logra cuando el espacio entre los tornillo se reduce por el avance de éstos.

Entre sus principales características podemos mencionar:

- Este tipo de compresores se utiliza a partir de los 300 m<sup>3</sup> de aspiración, suelen ser abiertos accionados por motores a partir de los 1000 -500 CV.
- Las instalaciones de este tipo de compresores suelen ser muy costosas ya que requieren bastantes aparatos auxiliares.
- Son bastantes ruidosos y aceptan retornos de liquido
- Están diseñados para poder trabajar durante 24 hrs. y el mantenimiento más común es el cambio de rodamiento.
- También es del tipo de desplazamiento positivo y trabaja en forma satisfactoria en un amplio margen de temperaturas de condensación.



*Figura V.1.9*

En la figura de la izquierda se muestra una fotografía de un compresor rotativo con un corte transversal pudiéndose ver el tronillo helicoidal, a la izquierda una figura del tornillo helicoidal y su sentido de rotación.

### *Compresores cinéticos*

También llamados turbocompresores, son miembros de la familia de turbomaquinarias que comprende ventiladores, hélices turbinas, en los cuales la fuerza de bombeo depende de la velocidad del impulsor rotativo y el fluido.

### ACEITES PARA LA LUBRICACIÓN DE COMPRESORES

Los aceites para refrigeración son exclusivamente para lubricar las partes mecánicas del compresor, sin embargo como están en contacto con el refrigerante, estos aceites se clasifican también por el tipo de refrigerante y son exclusivos para refrigeración. Además deben de estar deshidratados, soportar temperaturas frías y no debe descomponerse.

Entre las características más importantes de los aceite lubricantes para compresores están:

- Viscosidad
- Carbonización
- Punto de fluocolación
- Índice de neutralización
- Rigidez dieléctrica

Viscosidad: es la resistencia a fluir por un sitio, si es viscoso es que es muy denso y si tiene poca viscosidad es muy fluido. Para refrigeración se usan aceites con poca viscosidad.

Carbonización: es el punto de inflamación y combustión del aceite. Al soportar el aceite temperaturas muy elevadas el aceite se ennegrece y se carboniza, la temperatura de carbonización es entre 120 - 130 °C.

Este dato es importante aunque los sistemas no representan un peligro de incendio en los diversos sistemas, es importante conocer este dato de inflamación del aceite, dicho de otra forma será la temperatura a la cual el vapor de aceite, en presencia de flama, se enciende.

Punto de fluocolación: Es la temperatura a la cual el aceite, mezclado con refrigerante aparecen granos de cera, esta temperatura es más baja que la de congelación. Al subir la temperatura el aceite ya no se puede reutilizar.

Índice de neutralización: cuando los aceites se mezclan con agua u oxígeno suelen crear ácidos, este índice nos indica la cantidad de ácido que es capaz de crear, es mucho mejor cuando menor sea este índice.

Rigidez dieléctrica: es la resistencia eléctrica del aceite, que suele ser de 25 Kv.

### **b) EL REFRIGERANTE**

Todo lo respectivo a los refrigerantes utilizados en aplicaciones de refrigeración puede ser consultado en este capítulo en las secciones anteriores.

### c) EL CONDENSADOR

La función principal del condensador es condensar el refrigerante que entra a éste en forma de gas y con alta temperatura, extrayéndole calor y transfiriendo este calor hacia el medio ambiente.

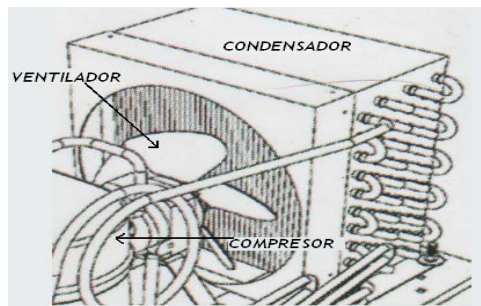
Existen varios tipos de condensadores, entre los que se encuentran:

- Enfriados por aire
- Enfriados por agua
- Evaporativos

En este manual nos enfocaremos en la descripción del condensador enfriado por aire, debido a que es el más común en refrigeración y aire acondicionado.

#### CONDENSADOR ENFRIADO POR AIRE

Se puede aumentar la capacidad del condensador forzando el paso de aire por superficie exterior de éste. La forma más utilizada para hacer pasar aire forzado a través del condensador es utilizando ventiladores, los cuales generalmente son tipo hélice.



*Figura V.1.10*

En la figura se muestra un condensador enfriado por aire forzado, pudiendo se observar que el ventilador hace pasar un flujo de aire forzado a través de las aletas del condensador.

### d) EL FILTRO SECADOR

La humedad dentro de un sistema de refrigeración o aire acondicionado es una condición indeseable, ya que tiende a crear ácidos en combinación con los refrigerantes. Dentro de estos sistemas no debe existir nada de humedad, sin embargo si entra humedad dentro de los sistemas ésta debe ser eliminada, y el elemento que se encarga de absorber la humedad dentro del sistema es el filtro secador.

Este elemento posee en su interior un cascarón a través del que pasa el refrigerante. Dentro del cascarón se encuentra un material llamado desecante o desecador. Al pasar refrigerante cargado de humedad por el filtro secador, este elimina parte de la humedad absorbiéndola gracias al desecante.

En cada paso del refrigerante por el desecador se elimina más humedad hasta que el refrigerante queda suficientemente seco, o hasta que el secador haya alcanzado su capacidad de saturación de humedad. Cuando esto sucede, debe ser reemplazado.



*Figura V.1.11*

En la figura se muestra un filtro secador típicamente utilizado en equipos de refrigeración y el sentido el flujo del gas en su interior pasando a través del material desecante.

#### e) TUBO CAPILAR Y VALVULA TERMOSTÁTICA DE EXPANSIÓN

Es un tubo delgado de cobre que funciona como elemento restrictor, el cual actúa como frontera entre el tubo de alta y el de baja presión. Es usado en máquinas frigoríficas de pequeños tamaños y con ecualizaciones de presiones que permiten arrancar al compresor.

Existen diversos diámetros y longitudes de capilares y esto se determina por la capacidad frigorífica de la máquina. Uno de los cuidados que se deben tener es el evitar doblarlo demasiado, pues puede fisurarse y ocasionar pérdidas de refrigerante.

Las válvulas termostáticas de expansión son también un elemento restrictor al igual que el tubo capilar. Su uso más extendido se encuentra en equipos de aire acondicionado o en equipos de refrigeración de grandes dimensiones.

#### f) EL EVAPORADOR

Es aquella parte del sistema de refrigeración en la que el refrigerante pasa de su estado líquido a su estado gaseoso. Este proceso de evaporación se lleva a cabo cuando el calor al interior de espacio refrigerado es absorbido por el refrigerante durante la evaporación del mismo. Los evaporadores son construidos generalmente de aluminio por tanto debe evitarse someterlo a altas presiones y a presencia de ácidos generados por la humedad dentro del circuito de refrigeración.

### ***1.2.2 Equipos de refrigeración de frío húmedo y frío seco***

Los refrigeradores comunes para usos residenciales, y en algunos casos para uso comercial, pueden ser encontrados en el mercado nacional en dos tipos principalmente; frío húmedo y frío seco. La principal diferencia entre ambos equipos estriba en que el primero de ellos produce escarcha, y el segundo no.

Las características principales de cada uno de los sistemas se describen con mayor detalle a continuación:

#### **FRIO HUMEDO**

Este sistema es el más básico y los elementos que posee en su circuito de refrigeración son prácticamente los descritos con anterioridad. Este tipo de equipos son de operación económica y de bajo costo inicial, sin embargo tienen la desventaja que producen escarcha en su evaporador y en las paredes de la cámara congeladora. La escarcha puede formar una capa de hielo sobre el evaporador, la cual actúa como una capa térmicamente aislante que impide que el evaporador absorba calor. Además en ocasiones, la escarcha obstruye un conducto de aire que une la cámara congeladora y la cámara refrigeradora, evitando que el aire frío fluya desde la cámara congeladora hacia la cámara refrigerante, lo cual provoca un aumento de temperatura en esta última.

Para mantener un equipo de frío húmedo trabajando con toda normalidad y en su máxima eficiencia, es necesario realizar una limpieza periódica de la escarcha, la cual no debe superar el cuarto de pulgada de espesor. Sin embargo, esta limpieza debe efectuarse con el cuidado de no dañar las paredes de la cámara congeladora, ni el evaporador. Para evitar daños al equipo es recomendable no utilizar objetos cortapunzantes durante la limpieza, y permitir el descongelamiento del hielo en las paredes de la cámara y en el evaporador, desconectando con antelación el equipo.

Una parte importante de los equipos de frío húmedo es el termostato, el cual generalmente se encuentra dentro de la cámara refrigerante, y cuya función primordial es permitir el ajuste manual de la temperatura del equipo, y mantener la temperatura del mismo arriba de la temperatura ajustada por el usuario. Este dispositivo posee un juego de contactos eléctricos que se cierra cuando la temperatura aumenta más allá de la ajustada por el usuario. El cierre de los contactos permite el arranque del compresor del equipo el cual hace circular el refrigerante por el sistema para hacer disminuir la temperatura. Cuando la temperatura se encuentra por debajo de la ajustada, los contactos se abren y el compresor se apaga.

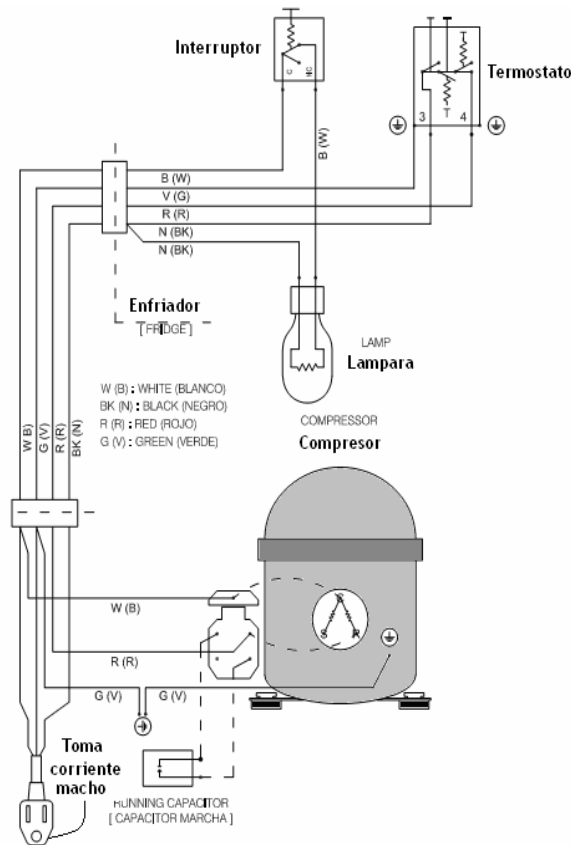


Figura V.1.12

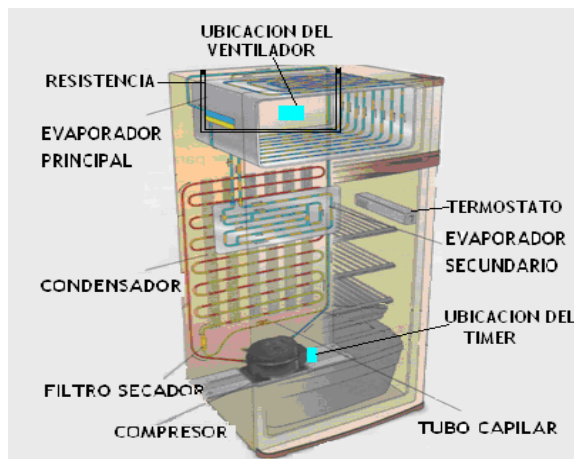
En la figura se muestra el diagrama de conexión de un equipo de refrigeración de frío húmedo.

En el diagrama se puede apreciar el termostato y su diagrama de conexión eléctrica en un refrigerador típico. Los termostatos llegan al final de su vida útil cuando los contactos quedan fijos en su posición de abiertos o cerrados permanentemente. Si los contactos quedan abiertos, el refrigerador no enfriaría pues el compresor estaría siempre apagado; si quedan cerrados, el compresor estaría siempre encendido. En cualquiera de los casos antes expuestos, el problema se resuelve desconectando eléctricamente el termostato y reemplazándolo por uno nuevo.

Adicionalmente existe en el mercado un sistema que híbrido, el cual posee todos los elementos de un sistema de frío húmedo, pero que posee una de las características del frío seco, la cual es la eliminación de la escarcha. Sin embargo, la eliminación de la escarcha en este sistema híbrido se realiza de forma manual presionando un botón en el termostato, el cual activa unas resistencias eléctricas que elevan la temperatura del evaporador, derritiendo la escarcha producida.

## FRÍO SECO

Este sistema es similar al de frío húmedo híbrido en su mayoría de elementos, excepto en que la conexión y desconexión de las resistencias eléctricas se realiza de forma automática a intervalos predefinidos por los fabricantes. Este sistema posee un temporizador que a intervalos regulares de tiempo conecta y desconecta las resistencias eléctricas; el agua de la descongelación de la escarcha se drena por una tubería fuera del congelador hacia una bandeja de desagüe ubicada en la parte posterior del equipo. El agua que se deposita en la bandeja de desagüe se evapora de forma natural.



*Figura V.1.13*

En la figura se muestra un equipo de refrigeración de frío seco donde se puede observar las resistencias, el temporizador y el ventilador dentro del equipo.

Entre los elementos más destacables de este tipo de sistema de refrigeración se encuentran:

- Temporizador
- Resistencia eléctrica
- Termofusible
- Ventilador

Temporizador: temporizador mecánico compuesto de pequeños engranajes y juego de contactos, el cual tiene la función de conectar las resistencias eléctricas que descongelan el hielo acumulado, esto lo realizan a intervalos de tiempo predefinidos por el fabricante.

Resistencia eléctrica: Puede estar compuesta por una o dos resistencias metálicas que son accionadas por el temporizador, las cuales al calentarse derriten la escarcha. Estas resistencias generalmente se encuentran ubicadas detrás del evaporador.

**Termofusible:** Es un termostato secundario conectado en serie con las resistencias eléctricas, y ubicado cercano a ellas. Su función principal es servir como dispositivo de seguridad para el equipo en caso que el temporizador no desconecte las resistencias eléctricas. Cuando la temperatura de la cámara congeladora está arriba de una temperatura preajustada por el fabricante, el termofusible interrumpe el paso de la corriente a las resistencias eléctricas, desconectándolas.

**Ventilador:** Este ventilador tiene la función de hacer pasar aire forzado a través del evaporador, esparciendo el aire frío por todo el equipo. Generalmente se ubica detrás del evaporador.

Como puede verse, las diferencias entre los sistemas de frío húmedo y seco se encuentran principalmente en las resistencias eléctricas que se accionan automáticamente. Sin embargo, esta diferencia en el confort entre ambos equipos implica un consumo de energía superior para el equipo de frío seco debido principalmente a la operación de las resistencias eléctricas.

Como se mencionó con anterioridad, las resistencias eléctricas operan a intervalos regulares de tiempo dependiendo del temporizador. Este temporizador que puede ser de dos, tres y hasta cuatro operaciones de conexión y desconexión dependiendo del diseño del equipo.

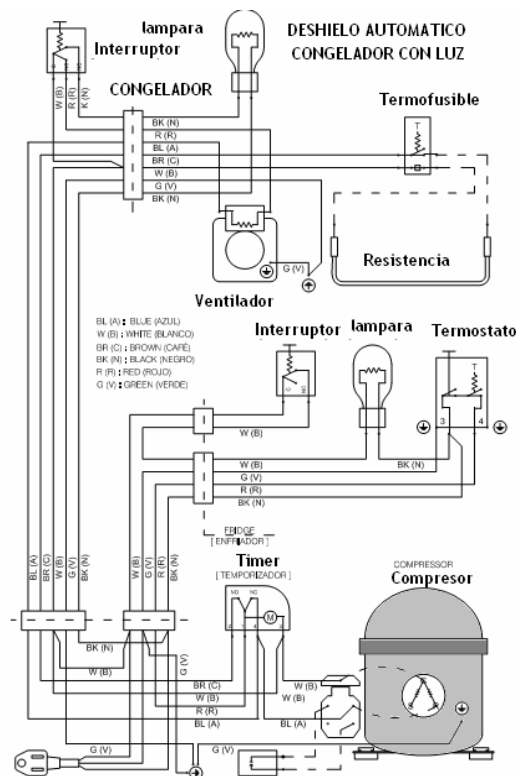


Figura V.1.14


En la figura se muestra un diagrama de conexión eléctrica típico para un equipo de refrigeración frío seco.

### 1.2.3 Equipo frío

Se denomina equipo frío al conjunto de cámaras refrigerantes y cámaras congeladoras que se utilizan en el comercio para exhibir o almacenar productos.

Aunque existe una gran variedad de modelos de equipos fríos, en la actualidad los modelos con puertas de vidrio han ganado mayor popularidad pues tienen la ventaja de permitir a los clientes observar el producto que se almacena dentro de éstos. Sin embargo, la puerta de vidrio presenta una desventaja importante, y es que para evitar que la puerta se empañe, se instalan dos láminas de vidrio separadas una de la otra por un espacio al vacío. El vacío entre ambas láminas, no sólo evita que el vidrio se empañe, si que además éste actúa como un aislante térmico pues evita la transferencia de calor por convección entre la lámina exterior del equipo y la lámina interior. Si la puerta se golpea, los empaques que mantienen el vacío entre las dos láminas de vidrio se pierde, junto con sus propiedades termo-aislantes, a la vez que la puerta se empaña evitando que los clientes aprecien con claridad el producto.

A continuación se presentan algunos de los modelos más comúnmente utilizados en el comercio. Las características particulares de cada una de los modelos difieren principalmente en su capacidad de almacenamiento y en el rango de temperaturas de trabajo. Es fácil de intuir que entre mayor es la capacidad de los equipos, mayor es tamaño del compresor, y por lo tanto mayor el tamaño del compresor y mayor el consumo de energía eléctrica.

JUNIOR 1				
	DIMENSIONES			
	ALTURA	FRENTE	FONDO	
	136.50 cm	53.30 cm	52.24 cm	
	CAPACIDAD			
	7 ft <sup>3</sup>	198 lts.	216 LATAS DE 12 onz.	
	INFORMACIÓN TÉCNICAS			
	COMPRESOR	1/5 hp	AMPERIOS	3.7 A
	VOLTAJE	120 V	RANGO DE TEMPERATURA	0°C / 4°C
	GAS REFRIGERANTE		134 a	
	CONSUMO DE ENERGÍA		<b>136.8 KWH / Mensual</b>	

*Tabla V.1.2*

En la tabla se muestra una fotografía de la cámara refrigerante modelo JUNIOR 1 y sus características principales, esta cámara es generalmente es utilizada para pequeñas demandas de productos refrigerados.

MODELO V 513				
	DIMENSIONES			
	ALTURA	FRENTE	FONDO	
	198 cm	66 cm	71.12cm	
	CAPACIDAD			
	17 ft <sup>3</sup>	481 lts.	513 LATAS DE 12 onz.	
	INFORMACIÓN TÉCNICA			
	COMPRESOR	1/4 hp	AMPERIOS	3.7 A
	VOLTAJE	120 V	RANGO DE TEMPERATURA	0°C / 4°C
	GAS REFRIGERANTE		134 a	
	CONSUMO DE ENERGÍA		<b>199 KWH / Mensual</b>	

*Tabla V.1.2*

En la tabla se muestra una fotografía de la cámara refrigerante modelo V 513 y sus características principales, esta cámara es generalmente es utilizada para medianas demandas de productos refrigerados.

MODELO BC 50				
	DIMENSIONES			
	ALTURA	FRENTE	FONDO	
	85.41 cm.	128.90 cm.	67.90 2cm	
	CAPACIDAD			
	15 ft <sup>3</sup>	425 lts.	450 LATAS DE 12 onz.	
	INFORMACIÓN TÉCNICA			
	COMPRESOR	1/4 hp	AMPERIOS	3.3 A
	VOLTAJE	120 V	RANGO DE TEMPERATURA	0°C / 4°C
	GAS REFRIGERANTE		134 a	
	CONSUMO DE ENERGÍA		<b>190 KWH / Mensual</b>	

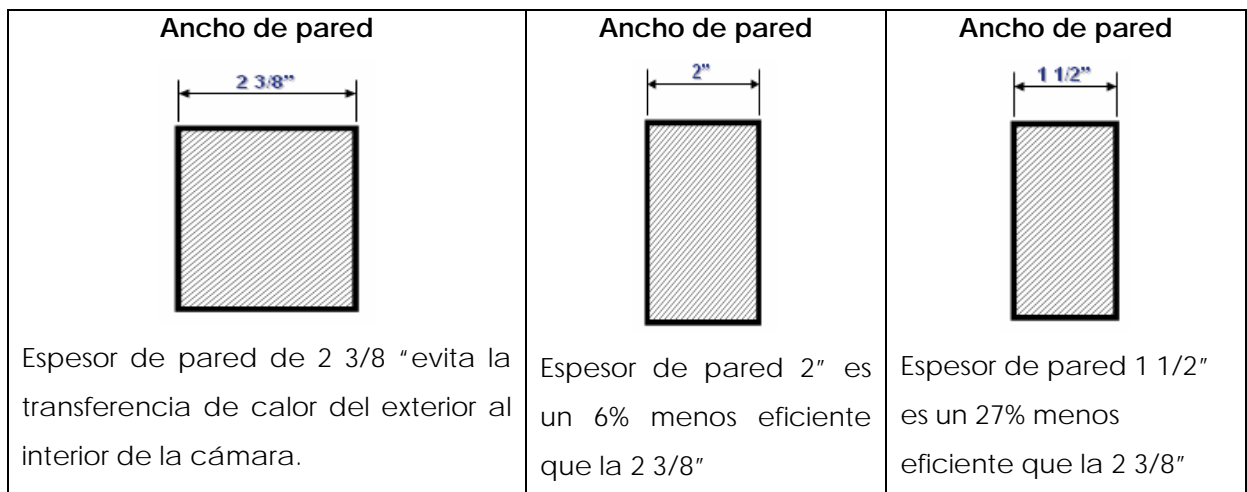
*Tabla V.1.2*

En la tabla se muestra una fotografía de la cámara refrigerante modelo BC 50 y sus características principales, esta cámara es generalmente es utilizada cuando no es necesario que los productos estén a la vista.

Según los cuadros anteriormente mostrados, puede verse que conforme aumentan las dimensiones del equipo, aumenta su consumo de energía. El costo mensual por la operación mensual del equipo se puede encontrar simplemente multiplicando el valor del consumo mensual de energía, por el costo del KWH.

Según los fabricantes, todos los equipos fríos son diseñados para que su compresor trabaje un aproximado del 60% del tiempo en que el equipo se encuentra operando; el otro 40% el compresor descansa. Aunque esto suene alentador en cuanto a consumo energía, lo cierto es que esta relación puede variar dependiendo de muchos factores. Así por ejemplo, si el equipo frío se encuentra lleno de producto, la puerta de éste se abre repetidas veces durante el día, y el clima es caluroso y húmedo; es lógico pensar que el compresor trabajará más del 60%. A pesar de que algunos de los factores mencionados no son controlables, existen algunas prácticas que ayudan a reducir el tiempo en que el compresor trabaja, y por lo tanto ahorrar energía. Dichas prácticas para la reducción del consumo de energía serán descritas más adelante.

Un factor de diseño importante en los equipos fríos que ayuda a la reducción del consumo de energía eléctrica, es el material de las paredes de éstos. Generalmente las paredes de los equipos fríos son de espuma de poliuretano, esto debido a las excelentes características termo-aislantes de este material. El espesor de las paredes de poliuretano está directamente relacionado con su eficiencia termo-aislante; así, cuanto mayor sea el espesor de las paredes, mayor será el aislamiento térmico entre el interior del equipo frío y el medio ambiente. En las siguientes gráficas se presentan una comparación entre los espesores de las paredes y sus eficiencias termo-aislantes.



*Figura V.1.15*

En la figura se muestran los distintos tipos de espesores de pared de equipos refrigerantes y como disminuye la eficiencia con la reducción del espesor de la pared.

### 1.2.4 Estrategias para el ahorro energético en equipos de refrigeración

A continuación se presentarán una serie de argumentos que contribuirán al ahorro de energía eléctrica en equipos de refrigeración, muchos de estos argumentos han sido recopilados de información técnica de citas bibliográficas, Internet y consulta de empresas dedicadas a la refrigeración.

#### Rendimiento del Compresor

El rendimiento de una máquina es una relación que indica cuánto de la energía consumida por una máquina en su operación, es transformada en trabajo útil. Los factores que afectan el rendimiento de un compresor son variados, y van desde las características propias del diseño, hasta las condiciones en las que opera el equipo refrigerante. En cuanto al diseño, las características del refrigerante, el motor del compresor, entre otros, son los factores que afectan su rendimiento. En cuanto a las condiciones en que se opera el equipo, como la limpieza del condensador, la calidad del voltaje de alimentación, la separación del condensador de una pared, entre otros, son los factores que afectan su rendimiento.

Un equipo con un buen rendimiento debería poseer las siguientes características:

- 1) Una vida más larga, libre de problemas.
- 2) El mayor efecto de refrigeración con el consumo mínimo de energía.
- 3) El costo mínimo de operación.
- 4) Un nivel de vibración y sonidos reducidos.

Dos medidas útiles del rendimiento de un compresor son la capacidad del sistema, y el factor de rendimiento.

**CAPACIDAD DEL SISTEMA:** Es la capacidad que tiene el equipo de refrigeración para extraer calor de su interior, y expulsarlo al medio ambiente. Las unidades de la capacidad del sistema se miden en BTU/hr. Entre mayor es la capacidad del sistema, éste puede almacenar mayor cantidad de productos sin que la temperatura a la que ha sido ajustado aumente.

**FACTOR DE RENDIMIENTO (EER):** Este factor indica en qué medida es eficiente el equipo, pues relaciona la capacidad del sistema, con la energía que consume el compresor del mismo.

$$\text{EER} = \frac{\text{Capacidad del sistema (BTU / hr)}}{\text{Potencia consumida (Watts)}}$$

El factor de rendimiento es una característica particular de cada modelo, y éste debería ser una de las características más deseables a la hora de seleccionar un equipo de refrigeración. Cuanto mayor sea el EER, mayor será la eficiencia del equipo, lo que significa que consumirá menos energía eléctrica en su operación. Cuanto menor sea, mayor será la cantidad de energía que consuma el equipo para operar. Este factor también es aplicable para equipos de aire acondicionado, en los cuales su valor se encuentra entre 9 y 14.

#### CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para calcular el consumo de energía eléctrica de un equipo de refrigeración, basta con multiplicar el nivel de tensión eléctrica con el que opera, la demanda de corriente del mismo, y el factor de potencia con el que opera. Aunque todas estas magnitudes pueden ser medidas con las técnicas expuestas en el capítulo de variables eléctricas, la mayoría de equipos poseen una viñeta en la que se presenta ésta y otra información relevante. El factor de potencia utilizado en esta fórmula, lo determina el fabricante y generalmente se toma un valor de 0.8 para realizar este cálculo.

$$\text{POTENCIA CONSUMIDA (Kw)} = \frac{(\text{Tensión eléctrica}) \times (\text{Intensidad de corriente}) \times (\text{Factor de potencia})}{1,000}$$

#### COSTO DE OPERACIÓN

Una vez que se ha encontrado el consumo de energía eléctrica del equipo, puede encontrarse el costo de operación del mismo.

$$\text{COSTO} = (\text{Precio Kw/hr}) \times (\text{Potencia consumida}) \times (\text{Horas de operación})$$

Este cálculo arroja un valor aproximado del costo económico del equipo, pues el consumo de energía eléctrica puede variar por los factores que anteriormente se mencionaron. A pesar de lo anterior, este valor es de importancia para realizar estimaciones del consumo promedio de un equipo de refrigeración, así como para realizar comparaciones entre dos equipos diferentes.

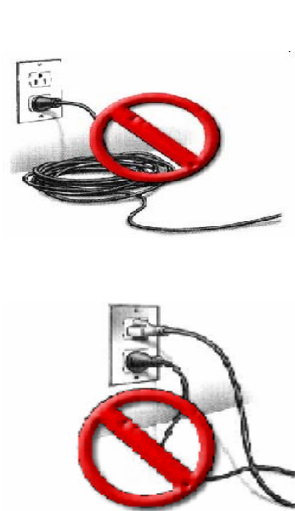
### 1.2.5 Prácticas recomendadas en equipos de refrigeración

Como se mencionó con anterioridad, mantener un refrigerador trabajando en óptimas condiciones, el compresor de éste trabaja un 60% y descansa el otro 40%. Además, un equipo refrigerante trabajando en condiciones óptimas, opera con un mejor rendimiento y alarga su vida útil. A continuación se presenta una serie de prácticas recomendadas para mejorar las condiciones de operación de los equipos de refrigeración, las cuales ayudarán a la disminución del consumo de energía eléctrica.



#### INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Una buena instalación eléctrica del equipo refrigerante es importante para evitar daños al sistema eléctrico del mismo. La instalación de un tomacorriente polarizado con capacidad adecuada al consumo de energía del equipo, un conductor eléctrico adecuado, una canalización bien dimensionada, una protección termo-magnética apropiada, y una caja térmica para el equipo, son algunos de los aspectos a tomar en una instalación eléctrica adecuada para un equipo refrigerante .

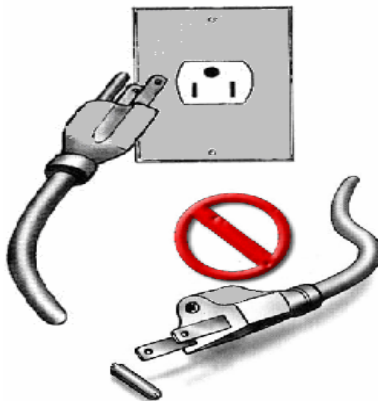


#### EXTENSIONES ELÉCTRICAS Y SOBRE CARGA DE TOMACORRIENTES:

Se debe evitar conectar el equipo refrigerante a través de una extensión eléctrica, ya que al hacerlo, podría quemarse el compresor si por la extensión eléctrica existe una caída de voltaje eléctrica superior al 10%. Los compresores de los equipos refrigerantes sólo soportan una variación de  $\pm 10\%$  del voltaje de alimentación nominal.

Se debe evitar conectar más aparatos eléctricos en el mismo tomacorriente. Con esto se evitará sobrecargar el sistema de conexión eléctrica del equipo y se evitarán caídas de voltaje perjudiciales para el equipo.

POLARIZACION A TIERRA

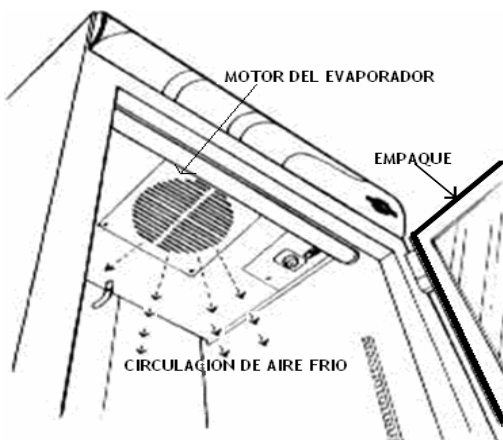


Se debe conectar el equipo a un tomacorriente debidamente polarizado. Esto no sólo evita daños al equipo, sino que protege a las personas de sufrir un choque eléctrico. Si el tomacorriente no es polarizado, no se debe de eliminar por ningún motivo el terminal de polarización a tierra del conector de éste, sino que se debe cambiarse el tomacorriente por uno debidamente polarizado.



BUEN CONTACTO A TIERRA

Se debe evitar colocar el equipo sobre tarimas de madera ya que esto evitará que la carcasa de éste tenga un buen contacto a tierra.



EMPAQUE

El empaque es una tira de hule imantada que tiene la función de sellar herméticamente la puerta del equipo, evitando que se escape el aire frío.

Para mantener un empaque en buenas condiciones, se debe aplicar una delgada capa de vaselina para que el empaque no se vuelva quebradizo, y pierda su función.

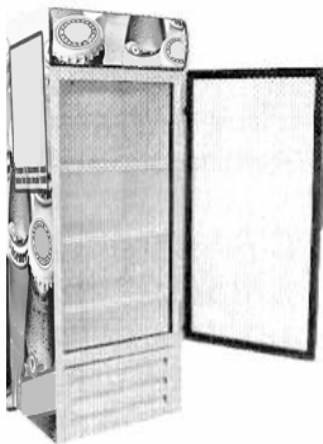
Un empaque defectuoso es una de las principales causas de gasto innecesario de energía en un equipo de refrigeración. Una prueba sencilla y muy práctica para saber si el empaque se encuentra aun en buenas condiciones, es colocar una hoja de papel entre el empaque y el interior de la cámara refrigerada, dejando un extremo de la hoja fuera de ésta. Si al tira de la hoja de papel, ésta sale con facilidad, el empaque ya no cierra herméticamente y es necesario reemplazarlo. Por el contrario, si al tirar de la hoja, ésta sale con dificultad, el empaque se encuentra en buen estado.

A la hora de reemplazar un empaque defectuoso por uno nuevo, es necesario que el empaque de reemplazo sea del mismo modelo que el defectuoso; de otra manera el empaque de reemplazo no ajustará adecuadamente y el sello no será completamente hermético, dejando escapar aire frío.



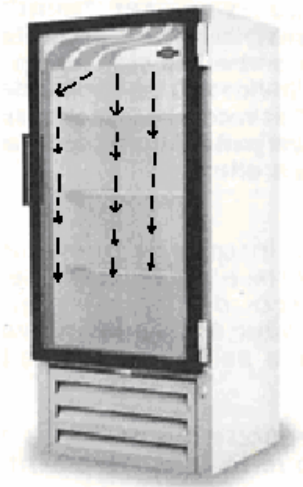
### EXPOSICIÓN A FUENTES CALIENTES

Las paredes de los equipos refrigerantes no son adiabáticamente perfectas, por lo que la transmisión de calor a través de ellas se lleva a cabo de diferentes formas. Es por ello que debe evitarse ubicar los equipos de refrigeración cercanos a fuentes de calor como hornos, estufas, ventanas o puertas por donde penetre directamente el sol, entre otros.



### EVITAR DEJAR LA PUERTA ABIERTA

Se debe evitar dejar la puerta abierta por largos periodos de tiempo, con esto se evitará que el equipo trabaje innecesariamente. Dejando la puerta abierta del equipo, el frío se escapa en grandes cantidades, por lo que el compresor trabajará más para compensar el aumento de temperatura dentro de la cámara refrigerante.



#### DEJAR PEQUEÑOS ESPACIOS ENTRE LAS PARRILLAS

Las parrillas de todo refrigerador están diseñadas de tal forma que permiten la circulación del aire por todo el interior del equipo. Es por ello que colocarse productos dentro del equipo, debe procurarse dejar pequeños espacios vacíos que permitan la circulación de aire frío que circula gracias al ventilador del evaporador.

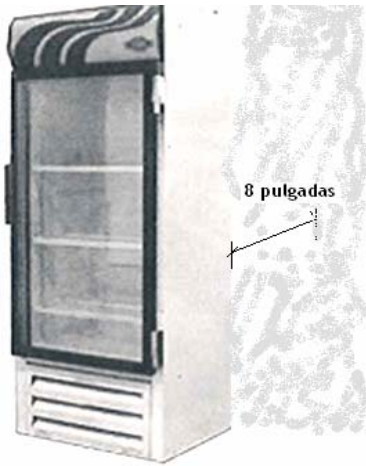


Obstruir el paso del aire con láminas de vidrio, cartón, plástico, o bien con una excesiva cantidad de productos, provocará que la temperatura en la parte superior de la cámara sea muy baja, mientras que en la parte inferior sea muy alta. Estas diferencias de temperatura, además de ser perjudiciales para algunos alimentos, hacen ineficiente al sistema, por lo que éste consume más energía que en condiciones normales.



#### NO INTRODUCIR ALIMENTOS CALIENTES

Como es bien sabido, introducir alimentos calientes dentro de un equipo de refrigeración provoca que éste trabaje más de lo debido. Lo mismo ocurre si se introducen líquidos y alimentos descubiertos. Cuando se introducen líquidos o alimentos sin cubrir, estos liberan humedad dentro de la cámara refrigerada, la cual provoca que el compresor trabaje más.



#### ALEJAMIENTO DE LA PARED COMO MINIMO

Se debe recordar que el calor dentro de la cámara refrigerada es absorbido por el gas refrigerante en el evaporador, y luego expulsado al exterior por el condensador. Es por ello que debe de existir como mínimo 8 pulgadas de separación entre de la parte posterior del equipo y una pared; esto asegura que la ventilación del condensador del equipo sea la adecuada.

Además, se debe evitar colocar objetos en la parte posterior del equipo, que puedan obstruir la ventilación del condensador.

#### **MANTENIMIENTO DEL SISTEMA**

El mantenimiento periódico de los diferentes elementos de un equipo refrigerante es primordial para mantener la operación del mismo en condiciones óptimas de trabajo. Un buen manteniendo puede reducir el consumo de energía eléctrica hasta en un 20%. A continuación se detallan algunos de los mantenimientos más básicos para equipos de refrigeración.

#### LIMPIEZA DEL CONDENSADOR



*Figura V.1.16*

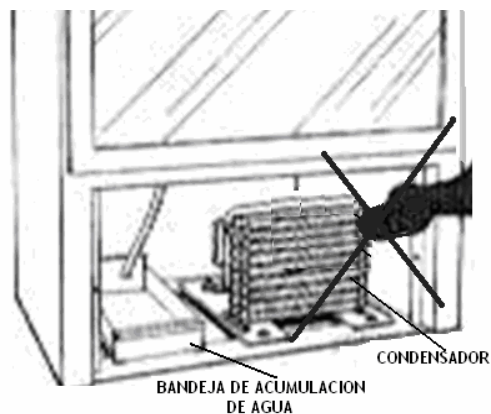
En la figura se muestra la forma correcta de limpiar el condensador, se observa que el movimiento de l brocha es en dirección longitudinal de las aletas del condensador.

La limpieza del condensador es el factor más importante a tomar en cuenta para mantener el equipo operando en óptimas condiciones. Los pasos para su correcto mantenimiento se describen con detalle a continuación:

PASOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR Y CONDENSADOR

1. Desconecte el conector eléctrico del equipo, y espere a que el compresor y el condensador reduzca su temperatura hasta la temperatura ambiente.
2. Limpie las aletas del condensador con una brocha seca, procurando retirar el polvo acumulado sin dañar las aletas del mismo. Si el condensador se encuentra excesivamente sucio, o si posee incrustaciones de humedad que no pueden ser retiradas con la brocha, lavar con un chorro de agua, cuidando de no mojar el ventilador del condensador, ni el compresor. Si es necesario utilice químicos como el X - 12 para lavar el condensador, cuidando de seguir las instrucciones de uso del producto.
3. Limpie la superficie exterior del compresor con un paño húmedo, retirando el polvo y la suciedad del mismo.

Es de recalcar que el mantenimiento debe llevarse acabo, sólo si el equipo se encuentra completamente desenergizado. Además no se recomienda tocar las aletas del condensador con las manos desnudas, pues las láminas delgadas y filosas de las aletas del mismo pueden causar una herida en las manos.



*Figura V.1.17*

En la figura se muestra la limpieza de un condensador con las manos desnudas, práctica que debe evitarse con el objeto de sufrir una herida al hacerlo.

***El compresor de Velocidad Variable.***

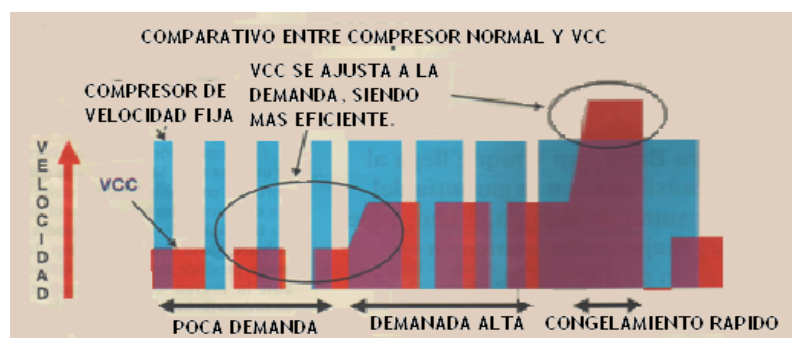
TECUMSEN, uno de los mayores fabricantes de compresores, ha desarrollado el compresor inteligente o *compresor de capacidad variable (VCC)*. Este compresor posee un sistema electrónico que le permite variar su velocidad de operación adecuándose, a las diferentes condiciones de carga del equipo. De esta forma, si el equipo está lleno de productos, el compresor aumentará su velocidad para mantener la temperatura adecuada dentro de éste. Si por el contrario, el equipo se encuentra vacío, el compresor reducirá su velocidad.



**Figura V.1.18**

En la fotografía se muestra un compresor de capacidad variable y su módulo electrónico de control de velocidad.

Una de las características más importantes de este compresor su bajo nivel ruido. Por otro lado, el fabricante afirma que un equipo de refrigeración operando con este compresor de velocidad variable, podría ahorrar hasta un 22% de energía eléctrica en comparación con los compresores tradicionales.



**Figura V.1.19**

En la figura se representa en azul el comportamiento de un compresor tradicional, y en rojo el comportamiento de un compresor de capacidad variable.

## 2. El aire acondicionado

Un equipo de aire acondicionado se caracteriza por modificar las condiciones del aire de una habitación aislada del medio ambiente, manteniendo temperatura y humedad constantes dentro de ésta. Lo anterior se logra removiendo el calor de dicha habitación y expulsándolo hacia el medio ambiente. Este proceso es posible mediante un agente que absorbe el calor de la habitación, y luego expulsa al exterior de ésta; tal agente es conocido como refrigerante.

En la actualidad se ha vuelto muy común el uso de estas unidades, a pesar de que su uso representa aumentos importantes en el consumo de energía y por ende un gasto importante en la facturación final. A este respecto, existen ciertas técnicas y recomendaciones que permitirán a los usuarios de este tipo de unidades operarlas de manera más eficiente.

### 2.1 CIRCUITO BÁSICO DE AIRE ACONDICIONADO

Antes de comenzar con el estudio de los equipos de aire acondicionado es importante conocer su circuito básico. Este circuito difiere con el circuito básico de refrigeración en que las presiones y temperaturas del refrigerante dentro del equipo son mayores, y por lo tanto todos los componentes del circuito están diseñados para trabajar a esas presiones. La razón principal del aumento de la temperatura y presión del refrigerante, es debido a que las temperaturas deseadas en el espacio acondicionado son mayores, entre los 18 y 20C.

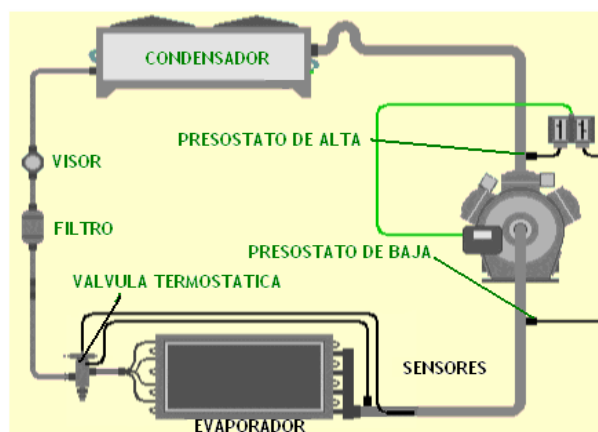


Figura V.2.1

En la figura se muestra el circuito básico de aire acondicionado y los diferentes componentes que lo conforman, puede apreciarse su gran similitud con el circuito básico de refrigeración.

Algunos de los elementos del circuito básico de aire acondicionado que se observan en la figura anterior, son dispositivos de control, monitoreo, y seguridad; por lo demás, puede verse que evaporador, condensador, y compresor son comunes tanto en refrigeración como aire acondicionado. Entre los dispositivos antes mencionados se encuentran:

- A) Visor
- B) Válvula termostática de expansión
- C) Presostato de baja
- D) Presostato de alta

Visor: También conocido como mirilla, su función es permitir la verificación de las características de flujo de refrigerante en cuanto a cantidad y humedad. Su construcción es sencilla y consiste principalmente en una pieza de cobre con una laminilla de vidrio en su parte superior; en su interior y en contacto permanente con el refrigerante se encuentra una tira que reacciona con el agua.

Cuando el sistema se encuentra cargado con la cantidad apropiada de refrigerante, se podrá observar por el visor un flujo continuo de refrigerante en estado líquido; de lo contrario, se podrán observar un flujo de líquido turbulento con burbujas de gas. Por otro lado, cuando el gas refrigerante contiene humedad, la tira dentro del visor cambia de color.



*Figura V.2.2*

En la figura se muestra un visor típico, sus extremos roscados permiten la fácil instalación del mismo. En la parte superior del visor se observa la laminilla de vidrio y en el centro la tira que reacciona con la humedad.

Válvula termostática de expansión: Esta válvula se encarga de ajustar la presión al refrigerante, en su estado líquido, para obtener la temperatura requerida en el evaporador; además es una válvula de control de flujo que ajusta la cantidad de refrigerante que entra al evaporador. Esta válvula contiene un sensor de temperatura y de presión a la salida del evaporador, con los cuales monitorea las condiciones del refrigerante, ajustándose según sea el requerimiento.

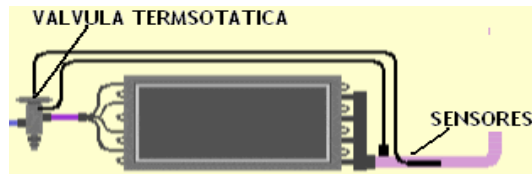


Figura V.2.3

En la figura se muestra la ubicación de la válvula termostática de expansión y sus conexiones con otros elementos.

Presostato de baja: Es un interruptor accionado por presión, el cual mide la presión en el tubo de baja presión o de succión. Su función es monitorear la presión e interrumpir la operación del compresor si ésta desciende más allá de un valor límite. Generalmente, este interruptor se activa cuando por el tubo de baja circula poco refrigerante, lo cual podría indicar que existe una fuga de refrigerante en el equipo.

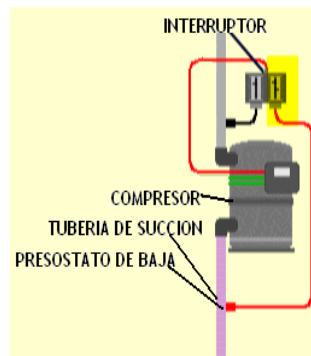


Figura V.2.4

En la figura se muestra la conexión y ubicación del presostato de baja señalándolo con color rojo.

Presostato de alta: Es un interruptor accionado por presión que monitorea el tubo de alta presión a la salida del compresor; éste se activará cuando la presión sea demasiado elevada, entonces el compresor se detendrá. Las presiones elevadas ponen en riesgo las partes mecánicas del compresor, es por ello que es importante la instalación de presostatos de alta como protección para equipo.

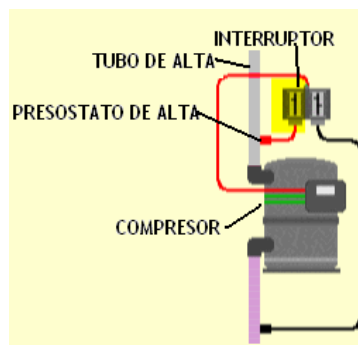


Figura V.2.5

En la figura se muestra la conexión y ubicación del presostato de alta señalándolo con color rojo.

## 2.2 EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Como se mencionó anteriormente, los equipos de aire acondicionado son utilizados para modificar las características del aire en cuanto a su temperatura y humedad. Un equipo de aire acondicionado recircula el aire de una habitación, reduciéndole la temperatura y la humedad de éste.

Las capacidades de enfriamiento de los distintos equipos de aire acondicionado se miden en BTU/hr o en Toneladas (TON) de refrigeración; correspondiendo 12,000 BTU/hr a 1 Tonelada. Por otro lado, su capacidad para recircular el aire se mide en CFM (P<sup>3</sup>/min, Pies cúbicos por minuto). Tanto la capacidad de enfriamiento, como la capacidad de recirculamiento del aire, son importantes para la climatización.

### *2.2.1 Tipos de equipos de aire acondicionado*

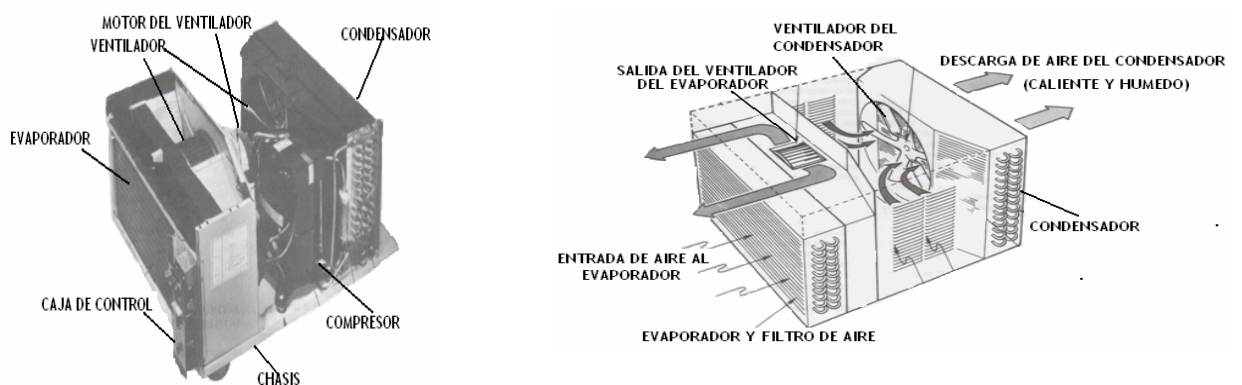
Aunque existen diferentes tipos de aires acondicionados, los más comunes en nuestro país son los siguientes:

#### TIPOS DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO

- a) Unidades tipo ventana
- b) Unidades tipo minisplit
- c) Unidades tipo split o central

#### **a) Unidades tipo ventana**

Es una unidad auto contenida, dentro de ella están estratégicamente montadas todas las partes que constituyen un sistema de aire acondicionado. Su tamaño es compacto, y costo es reducido; no poseen ningún componente externo como otras unidades que son sistemas divididos.



*Figura V.2.6*

En la figura de la izquierda se muestran las distintas partes de una unidad tipo ventana, a la derecha se observa el ciclo del de aire acondicionado.

Este tipo de unidades presenta la ventaja de ser muy fácil de instalar, pero es más ruidosa que los sistemas divididos, principalmente porque el evaporador y condensador están muy cercanos entre sí. Sus capacidades van desde 9,000 BTU/hr hasta las 24,000BTU/hr.

#### b) Unidad tipo Mini split

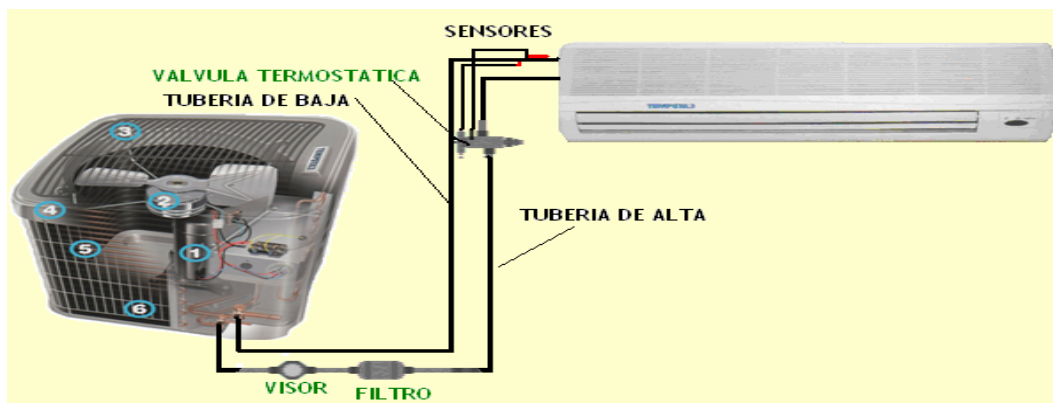
Este es un sistema dividido en donde el evaporador se encuentra dentro del área a acondicionar y la unidad condensadora se encuentra fuera; generalmente el condensador se instala en zonas aisladas, donde no causa interferencia por el ruido generado, y donde el calor expulsado al medio ambiente no cause ninguna molestia.



*Figura V.2.7*

En la figura de la izquierda se muestra la unidad condensadora de una unidad de aire acondicionado tipo minisplit, a la derecha la unidad evaporadora de la misma.

Este tipo de unidades posee características estéticas superiores, y son muy versátiles en cuanto a su instalación. Posee mayores capacidades de acondicionamiento del aire, aunque también existen modelos con pequeñas capacidades similares a las unidades de ventana. Sus capacidades van desde 9,000 BTU/hr hasta las 60,000 BTU/hr.



*Figura V.2.8*

En la figura se muestra la conexión mecánica de los diferentes componentes de un equipo de aire acondicionado minisplit.

### c) Unidades tipo split o central

Este tipo de unidades también poseen evaporador y condensador separado; la diferencia con la unidad minisplit es que el evaporador distribuye el aire acondicionado a través de un sistema de ductos que conecta la descarga del evaporador con las diferentes áreas a acondicionar. Adicionalmente el aire retorna hacia el evaporador a través de otro sistema de ductos para repetir el ciclo del acondicionamiento de aire. Los ductos de descarga de aire, son conectados a rejillas difusoras que distribuyen convenientemente el aire acondicionado en un área determinada, y los ductos de retorno de aire son conectados a rejillas de retorno.



*Figura V.2.9*

En la figura se muestra la imagen de un condensador de un equipo aire acondicionado de 120,000 BTU/Hr.

Generalmente los ductos de descarga de aire se instalan entre el techo y el cielo falso de las áreas a acondicionar, es por ello que a los ductos se les reviste de un aislamiento térmico para evitar aumentos de temperatura indeseables del aire acondicionado en la trayectoria de éste a través de los ductos. Este revestimiento consta de una capa de fibra de vidrio de 2" de espesor, recubierta de un papel protector contra la humedad. El material con que se fabrican los ductos es lámina galvanizada, aunque también existen ductos de un material aislante flexible que son prefabricados y que generalmente se utilizan para conectar los difusores con los ductos de lámina.

Los equipos de aire acondicionado tipo split o central poseen mayores capacidades que los equipos anteriormente mencionados; sus capacidades van desde 3 TON hasta 10 TON. Aunque existen equipos de mayores capacidades de enfriamiento de aire, son poco comunes en el mercado, y sus precios son muy elevados. Los equipos tipo split con capacidades de 60,000 BTU/Hr son los más comunes en el mercado, y se pueden encontrar con alimentaciones eléctrica monofásicas y trifásicas.

### 2.2.2 Climatización de espacios

Ante el sensible incremento en la temperatura ambiente, el uso del aire acondicionado para mantener ciertas condiciones de confort en los diferentes sectores del país se hace cada vez más necesario. Dado el aumento del consumo de energía eléctrica debido al uso de estos equipos, se hace necesario conocer los conceptos básicos relacionados con el diseño, uso y funcionamiento de dichos equipos que permitan poner en práctica algunas medidas de uso racional de energía eléctrica.

#### Condiciones de confort y condiciones de diseño

En realidad no existe una condición única de confort, esta es una sensación individual y es afectada por las siguientes variables personales: estado de salud, edad, tipo de actividad, vestuario, sexo, etc. Además esta condición depende de la velocidad de pérdida de calor corporal la cual es afectada por los siguientes factores:

- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Movimiento del aire
- Temperatura de las superficies circundantes
- Tipo de prendas de vestir.

#### Temperatura de operación

Indica el rango de temperaturas que debe de mantenerse el termostato en un sistema de aire acondicionado y lograr el efecto de confort deseado.

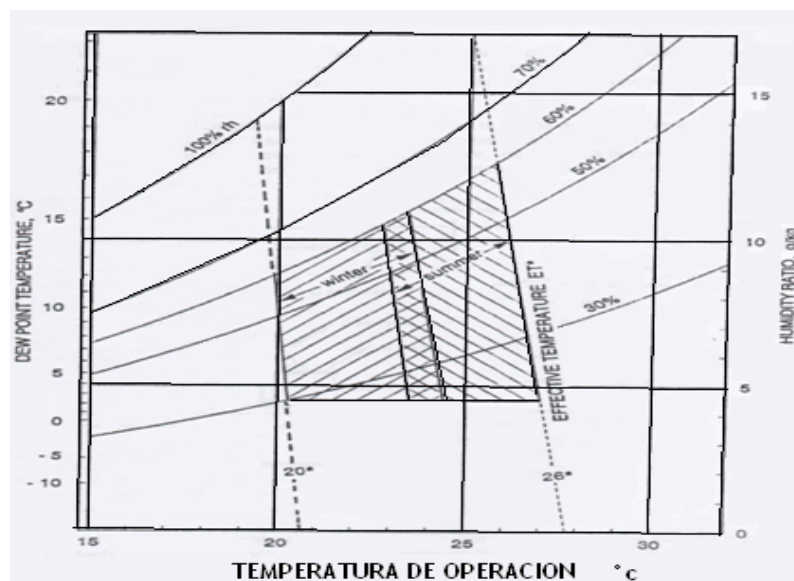


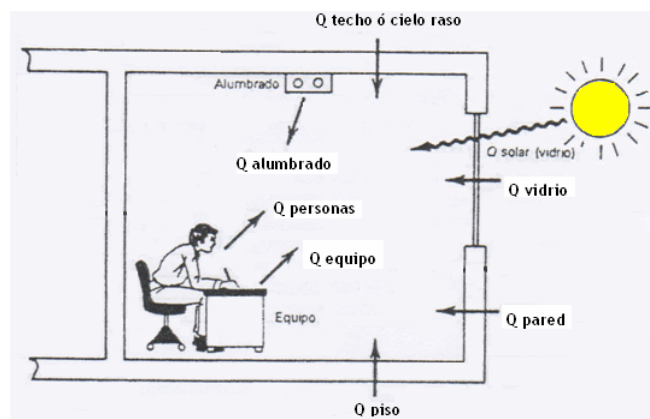
Figura V.2.9

En la figura se muestran los rangos en que es recomendable mantener la temperatura y humedad del aire para lograr la sensación de confort dentro de un recinto.

Generalmente los equipos de aire acondicionado que han sido bien dimensionados para el área que van a acondicionar, operan dentro de este rango de temperaturas y humedades del aire descrito en la gráfica.

### 2.3 GANANCIA TÉRMICA

El término ganancia térmica se refiere a la ganancia de energía en forma de calor, que recibe el aire de un recinto acondicionado de diferentes objetos y del medio ambiente. Los componentes que contribuyen a la ganancia térmica son: conducción a través de paredes, techos y vidrios al exterior, conducción a través de divisiones internas y pisos, radiación solar a través de vidrios, iluminación, actividad de las personas dentro del recinto, funcionamiento de equipos diversos que generan calor, y la infiltración del aire exterior a través de puertas o hendiduras entre las ventanas. El efecto directo de la ganancia de calor del aire de un recinto es el aumento de la temperatura de éste.



*Figura V.2.10*

En la figura se muestran las distintas fuentes que producen ganancia de calor dentro de un recinto.

La ganancia de calor se convierte prácticamente en la carga de enfriamiento que el equipo de aire acondicionado deberá ser capaz de remover para mantener las condiciones de confort establecidas. Entre mayor sea la ganancia de calor, mayor será la carga de enfriamiento y por lo tanto mayor será el consumo de energía eléctrica del equipo de aire acondicionado.

### 2.3.1 Ganancia de Calor por Conducción

La transferencia de calor por conducción es la que sucede a través de paredes, techos y vidrios en virtud de la diferencia de temperatura entre el interior de local acondicionado y el exterior. El cálculo de la transferencia de calor por conducción  $Q$  se hace mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{(R) \times (A) \times (DTCE)}$$

Donde:

R: Resistencia térmica del material (h pie<sup>2</sup> ° F / BTU)

A: Área de la pared ó techo (pie<sup>2</sup>)

DTCE: Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (° F)

La resistencia térmica ó capacidad de aislamiento se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{x}{k}$$

Donde:

x= Espesor del material (pulg.)

K = coeficiente de conductividad térmica (BTU pulg. / h pie<sup>2</sup> ° F)

La mayor parte de la carga térmica en una unidad de aire acondicionado, se debe a la transferencia calor por conducción. Por lo tanto, una primera medida a tomar en cuenta, será reducir las ganancias de calor por conducción; para esto, una medida muy eficaz será incrementar la resistencia térmica de los techos y paredes instalando materiales con baja conductividad térmica.

CONDUCTIVIDAD Y RESISTENCIA TÉRMICA DE LOS MATERIALES			
Material	K BTU pulg / h pie <sup>2</sup> °F	R h pie <sup>2</sup> °F / BTU	Equivalente para una pulgada poliuretano
Ladrillo de barro	3.72	0.27	3.99"
Concreto	1.64	0.61	15"
Madera	0.61	1.65	5.51"
Corcho	0.27	3.70	2.50"
Poliestireno	0.24	4.16	2.18"
Fibra de vidrio	0.22	4.54	2"
Poliuretano	0.11	9.09	1"

Tabla V.2.1

En la tabla se muestran diferentes materiales utilizados en la construcción y sus propiedades térmicas en función de su espesor.

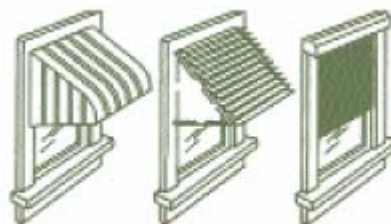
Como puede verse en la tabla, los materiales con mejores características de aislamiento térmico son la fibra de vidrio y el poliuretano. Estos materiales son de uso común en instalaciones de aire acondicionado.

La principal causa de las ganancias térmicas por conducción en un recinto se debe a la radiación solar. Para evitar las distintas ganancias térmicas por la radiación solar se recomienda implementar las siguientes medidas:

**a) Bloquear la entrada de luz solar directa al recinto.**

La radiación solar directa al incidir en un material produce calentamiento, esto es debido al llamado efecto fototérmico. Bloquear la entrada de la radiación solar directa, reducirá enormemente las ganancias térmicas. Lo anterior se puede lograr instalando cortinas de tela o persianas plásticas, sin embargo, se obtienen mejores resultados cuando las cortinas o persianas son de colores claros, debido a que reflejan mejor los rayos solares, lo que ayuda a reducir el efecto fototérmico.

Aunque la instalación de cortinas o persianas sea una solución muy económica al problema, quizás es la menos efectiva, debido a que aun en las cortinas y persianas se produce el efecto fototérmico. La instalación de techos o toldos sobre las ventanas, es otra medida que puede ser de gran utilidad para evitar la entrada de luz solar a un recinto; sin embargo es una alternativa más costosa, y generalmente es necesario que sea complementada con la instalación de cortinas o persianas para evitar la entrada de luz solar debido a la inclinación del sol por la mañana y la tarde.



*Figura V.2.11*

En la figura se muestran distintos tipos de toldos para evitar la entrada de luz solar directa.

Otra alternativa para evitar la entrada de luz solar por las ventanas es polarizándolas. A este respecto, existen diversos tipos de películas para polarizar ventanas que pueden adquirirse en el mercado, dando mejores resultados aquellas con acabados metalizados pues reflejan mejor la luz solar hacia el exterior.

Adicionalmente existen en ventanas de alta tecnología que permiten la entrada de luz pero no la entrada de calor. Estas ventanas reducen considerablemente las ganancias térmicas, sin afectar sensiblemente los niveles de iluminación natural; sin embargo, son muy costosas y no están muy disponibles actualmente en el mercado.

Si se cuenta con el espacio suficiente y la edificación es de un único piso, se puede evitar la entrada de luz solar directa sembrando árboles de crecimiento rápido, y follaje frondoso no estacional. Esta medida produce mejores resultados que las anteriores pues los árboles no sólo impiden la entrada de la luz solar, sino que aportan humedad al ambiente, lo que ayuda a controlar la temperatura de un lugar.



*Figura V.2.12*

En la figura se muestran un árbol plantado frente a una ventana, el cual se interpone a la entrada de los rayos solares al interior del recinto.

Pese a lo anterior, es recomendable informarse sobre las características particulares del árbol a sembrar, pues algunos árboles pueden desarrollar raíces muy grandes que pueden dañar las edificaciones. Si no es factible sembrar árboles frente a las ventanas; sembrar grama, plantas pequeñas, o arbustos, puede también dar buenos resultados pues estos reducen la entrada de luz reflejada a los recintos y también aportan humedad al ambiente.

#### **b) Pintar paredes con colores claros.**

Cuando la luz solar incide sobre una pared también se produce el efecto fototérmico, lo cual aumenta la temperatura de la parte exterior de ésta, produciéndose una diferencia de temperatura entre los dos lados de la pared. Esta diferencia de temperatura es una de las causas de las ganancias térmicas al interior de los recintos. Lo anterior puede atenuarse pintando las paredes exteriores con colores claros, los cuales poseen altos factores de reflexión de la luz, lo que reduce el efecto fototérmico. Al igual que en el caso de las ventanas, también pueden sembrarse árboles para proyectar sombra sobre en las paredes y para controlar mejor la temperatura en los alrededores.

### **c) Pintar de techos e instalar de cielos falsos.**

La mayor ganancia térmica por radiación solar en un recinto se lleva a cabo en los techos, los cuales son superficies que están expuestas a la radiación directa del sol a lo largo de todo el día. Una de las alternativas para reducir las ganancias térmicas en los techos, es pintándolos de colores claros, lo que al igual que en el caso de las paredes aumenta la reflexión de la luz reduciendo el efecto fototérmico. Existen en el mercado algunas pinturas especialmente diseñadas para este propósito; la diferencia con las pinturas comunes es que están fabricadas para soportar mejor las condiciones climáticas más severas y por lo tanto tienen una mayor durabilidad.

La instalación de cielos falsos en el interior de los recintos acondicionados, no sólo permite aislar térmicamente el recinto del aire calentado por el efecto fototérmico en el techo, sino que tiene fines estéticos ocultando las instalaciones de los ductos de aire acondicionado de los equipos tipo split, así como las instalaciones eléctricas, hidráulicas y de otro tipo. Existen diferentes tipos de materiales utilizados en los cielos falsos, entre los cuales podemos mencionar al fibrocemento, yeso, durapax, madera, entre otros. La selección de un material de cielo falso generalmente está más relacionada a razones arquitectónicas que de aislamiento térmico; sin embargo pese a lo anterior, es importante mantener en buen estado el cielo falso de un recinto acondicionado, evitando que el aire caliente del entretecho se mezcle con el aire del interior del recinto.

### **d) Mantener cerradas puertas y ventanas**

El aire dentro de una habitación acondicionada se encuentra constantemente recirculando. Las ganancias térmicas de un recinto son compensadas por el equipo de aire acondicionado, pero si el aire de la habitación es constantemente renovado por aire del exterior, el equipo de aire acondicionado tendrá que enfriar ese aire del exterior que se encuentra a temperatura ambiente. Esta entrada del aire del exterior también es considerada como ganancia térmica pues introduce calor a la habitación, el cual debe ser evacuado por el equipo de aire acondicionado.

Las puertas y ventanas son una de las causas más comunes de la entrada de aire del exterior; mantenerlas cerradas la mayor cantidad de tiempo posible mientras trabaja el equipo de aire acondicionado, es indispensable para reducir el consumo de energía eléctrica. Sin embargo, como es imposible evitar o restringir la cantidad de veces que una puerta de acceso se abre en una habitación acondicionada, se debe evitar que ésta permanezca abierta más del tiempo necesario.

Una medida muy sencilla para lograr esto, es instalando bombas de aceite en las puertas. Estas bombas cierran automáticamente las puertas y son relativamente baratas y sencillas de instalar. Otra medida, es colocar un rótulo visible que indique a las personas que la puerta debe cerrarse inmediatamente luego de ser abierta.

### **2.3.2 Otros factores de Ganancia de Calor**

Otros factores que generan ganancia de calor en un espacio refrigerado son las personas, los equipos eléctricos, las luminarias, entre otros; por lo tanto, estos factores deberán ser tomados en cuenta a la hora del dimensionamiento de la capacidad de una unidad de aire acondicionado.

Un aumento en el número de personas, equipos eléctricos, o luminarias, aumentará la ganancia térmica de un espacio, haciendo que los equipos de aire acondicionados trabajen más para mantener la temperatura adecuada dentro de éste. Una reducción en la cantidad de personas, equipos eléctricos, o luminarias, permitirá al equipo trabajar menos para lograr su objetivo, lo cual es deseable por el desgaste natural de las piezas en el compresor.

### **2.3.3 Dimensionamiento de unidades de aire acondicionado**

Los equipos de aire acondicionado pueden ser fácilmente dimensionados utilizando el criterio de las ganancias térmicas. Este método se basa en la identificación y cuantificación exacta de la carga térmica del recinto a acondicionar. Dimensionar adecuadamente un equipo de aire acondicionado permitirá no sólo mantener la temperatura del aire deseada dentro de la habitación, sino que alargará la vida de los equipos de aire acondicionado.

<b>CARGA TÉRMICA</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>FACTOR</b>
Ventanas expuestas al sol	Pies cuadrados (ft <sup>2</sup> )	77
Ventanas poco expuestas al sol	Pies cuadrados (ft <sup>2</sup> )	20
Pared expuestas al sol	Pies lineales (ft)	60
Pared poco expuestas al sol	Pies lineales (ft)	25
Paredes interiores (Sin A/C)	Pies lineales (ft)	20
Techo	Pies cuadrados (ft <sup>2</sup> )	10
Personas	Unitario	1000
Luminarias	Watts	3.41
Aparatos eléctricos	Watts	3.41

**Tabla V.2.2**

En la tabla se muestran los diferentes factores aplicados a las distintas cargas térmicas en un local.

Los factores presentados en la tabla anterior, deben ser multiplicados por las cantidades de cada tipo de carga térmica; la suma de todas las operaciones dará como resultado los BTU/hr que corresponden a la carga térmica total del recinto. El equipo a ser instalado en el recinto debe ser de una capacidad igual o un poco superior al valor de la suma total de la carga térmica.

### **2.4 MANTENIMIENTOS DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO**

Los mantenimientos en los equipos de aire acondicionado no sólo tiene la finalidad de alargar su vida útil, sino mantener a los equipos operando eficientemente y por lo tanto consumiendo el mínimo de energía eléctrica necesaria.

#### ***2.4.1 Limpieza de evaporador y condensador***

El evaporador y condensador de un equipo de aire acondicionado son vitales para el funcionamiento de éste. El sólo hecho de mantenerlos limpios es una buena técnica para mantener al equipo operando eficientemente, y reducir el consumo innecesario de energía eléctrica. El mantenimiento regular de estas partes de los equipos de aire acondicionado es vital si se desea su máxima eficiencia.

La principal razón por la que condensador y evaporador se ensucian es por el polvo. El primero debido a que se encuentra expuesto a las condiciones climáticas, y el segundo debido al polvo, y otras partículas suspendidas en el aire dentro de los recintos acondicionados.

#### **a) Limpieza del condensador**

Mantener limpio el condensador es sumamente importante, pues si éste se encuentra sucio, su capacidad para liberar al medio ambiente el calor absorbido por el refrigerante, se reduce notablemente. El hecho que su capacidad para liberar el calor al medio ambiente se vea reducida afecta directamente la capacidad de enfriamiento del equipo, pues el refrigerante no puede liberar todo el calor que absorbe del espacio acondicionado. Como resultado, el equipo deberá trabajar más para tratar de mantener la temperatura del aire dentro del recinto acondicionado, lo que significa que se encenderá una mayor cantidad de veces durante el día, teniendo un significativo impacto en el consumo de energía eléctrica.

Los condensadores pueden ser limpiados con un chorro de agua, si no hay incrustaciones o una capa muy adherida de polvo, y si el mantenimiento se efectúa regularmente; de lo contrario, deberán utilizarse productos químicos como el X-12 para limpiarlos. El procedimiento de limpieza del condensador con este producto es el mismo que el descrito para los equipos de refrigeración.

#### b) Limpieza del evaporador

Al igual que el condensador, un evaporador sucio ve reducida su capacidad para absorber calor del aire que circula a través de él, lo que reduce la capacidad del equipo para acondicionar el aire. Como resultado, el equipo deberá esforzarse más para mantener la temperatura del aire dentro del recinto acondicionado.

El evaporador debe ser limpiado regularmente para evitar que el polvo y la suciedad formen una capa que impida la transferencia de calor del aire hacia el refrigerante que circula en el evaporador. Es igual de importante limpiar los filtros de aire que el evaporador posee a la entrada del aire a éste. Generalmente una limpieza de los filtros con agua es suficiente para mantener al equipo funcionando eficientemente; sin embargo, la limpieza regular de los filtros de aire nunca debe sustituir a la limpieza completa del evaporador.

TIPO DE MANTENIMIENTO		FRECUENCIA DEL MANTENIMIENTO		
Componente	Efecto	Mensual	Trimestral	Semestral
Condensador y evaporador	Mantiene las características de enfriamiento del equipo	X		
Ventiladores	Mantiene las características de enfriamiento del equipo		X	
Compresor	Asegura una demanda de energía normal del equipo		X	
Tuberías	Evita las pérdidas de refrigerante y pérdidas de potencia frigorífica			X
Termostatos, capacitores, filtros de humedad	Asegura un régimen de trabajo normal			X

*Tabla V.2.3*

En la tabla se muestran los diferentes tipos de mantenimientos recomendados para equipos de aire acondicionado y la frecuencia con que deben ser realizados .

#### ***2.4.2 Otros mantenimientos recomendados***

Como se mencionó con anterioridad, los equipos de aire acondicionado tipo split poseen ductos de descarga para distribuir el aire acondicionado en las diferentes áreas que se desea acondicionar. Estos ductos poseen un revestimiento de fibra de vidrio y papel que protege contra la humedad. Cuando este revestimiento se daña, queda al descubierto la lámina de los ductos, lo cual permite que haya una transferencia de calor del entorno hacia el aire que circula a través de los ductos, lo cual generalmente se evidencia por la condensación de agua en la parte descubierta del ducto, y por el aumento de la temperatura que expulsan los difusores.

El revestimiento de los ductos de aire puede dañarse por varias razones, entre las más comunes se encuentran los roedores, quienes suelen comerse el papel y la fibra de vidrio del recubrimiento. Si se detecta un goteo en el cielo falso, acompañado de un aumento en la temperatura del aire que sale de los difusores, es posible que la causa sea un daño en el recubrimiento de los ductos. Este problema se soluciona fácilmente recubriendo la parte expuesta del ducto con un recubrimiento nuevo y asegurándolo con una cinta adhesiva para ductos. Si el daño en el recubrimiento es mínimo, el problema puede ser resuelto simplemente cubriendo la parte expuesta del ducto con la cinta adhesiva para ductos.

Finalmente, los equipos de refrigeración poseen tuberías de cobre por las que circula el refrigerante del condensador al evaporador, y viceversa. La tubería de cobre que va desde el compresor hacia el evaporador se denomina tubería de alta presión, y la tubería que va desde el evaporador hacia el compresor se llama tubería de baja presión. El tramo de tubería de alta presión que va desde el condensador hasta el evaporador, transporta al refrigerante en forma líquida, y para evitar que por ganancias térmicas el refrigerante se evapore en este tramo de tubería, ésta se aísla con un forro cilíndrico de poliuretano. Generalmente por el paso del tiempo, este forro se envejece y se vuelve quebradizo, dejando al descubierto partes de la tubería de alta presión; es por ello que al detectarse una parte de forro dañado, debe reemplazarse con un tramo de forro nuevo.

El buen estado del forro termo-aislante de la tubería de cobre es importante porque asegura que el refrigerante llegue al evaporador en estado líquido, que es donde al absorber calor del aire, se transforma en gas.

CAPÍTULO VI

*ESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN.*

## 1.0 Generalidades sobre los Transformadores

### 1.1 Principio de funcionamiento.

- 1.1.1 Teoría del funcionamiento de un transformador.
- 1.1.2 Funcionamiento del transformador cuando se carga.
- 1.1.3 Condición de servicio y capacidad de tensión.
- 1.1.4 Núcleo y devanados.
- 1.1.5 Refrigeración.
- 1.1.6 Parte Activa.
- 1.1.7 Aceite.
- 1.1.8 Tanque principal.
- 1.1.9 Conmutador de derivaciones.
- 1.1.10 Impedancia de los transformadores.

### 1.2 Transformador Monofásicos (1 $\phi$ ) y Trifásicos (3 $\phi$ ).

- 1.2.1 Transformador Monofásico (1 $\phi$ )
- 1.2.2 Transformador Trifásico (3 $\phi$ )

### 1.3 Conexión de los Transformadores.

- 1.3.1 Servicio monofásico 120 V.
- 1.3.2 Servicio monofásico 240 V.
- 1.3.3 Servicio monofásico 120/240 V.
- 1.3.4 Conexión de transformadores monofásicos en arreglos trifásicos.
- 1.3.5 Conexión Delta-Delta a 240V, desplazamiento angular 0°.
- 1.3.6 Conexión Estrella-Estrella a 120/208 V, desplazamiento angular 0°.

### 1.4 Pérdidas en Transformadores.

- 1.4.1 Pérdidas con carga y sin carga en un transformador.
- 1.4.2 Corriente sin carga.
- 1.4.3 Rendimiento.
- 1.4.4 Sobrecarga.

### 1.5 Ahorro energético en estaciones de transformación.

- 1.5.1 Ahorro económico por cambio de tarifa eléctrica.

## 1. Generalidades sobre los transformadores.

Un transformador de potencia es un dispositivo que transforma potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje, a potencia eléctrica alterna a otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas no están conectadas en forma directa, la única conexión entre las bobinas es a través del flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo.

En un transformador, uno de los devanados se conecta a una fuente de energía alterna y el segundo suministra energía eléctrica a las cargas. El devanado del transformador que se conecta a la fuente de potencia se llama devanado primario, y el devanado que se conecta a la carga se llama devanado secundario. Pueden existir más de dos devanados en un transformador, y estos son usados para ajustar el voltaje deseado a nivel secundario.

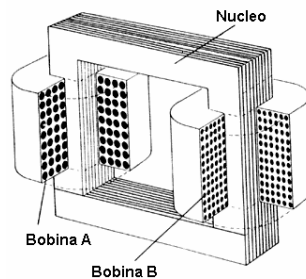
Un transformador cambia idealmente un nivel de voltaje alterno a otro nivel de voltaje, mantenido la frecuencia y sin afectar la potencia que está suministrando. De esta forma, si un transformador eleva el nivel de voltaje, éste debe de reducir la corriente para mantener constante tanto la potencia que entra como la que sale de él.

Existen transformadores que son directamente en transmisión y distribución de la energía eléctrica desde los remotos sitios de generación de potencia eléctrica donde los voltajes de generación van desde 12 a 25 KV. Los transformadores se encargan de elevar el voltaje hasta niveles comprendidos entre los 110 y cercanos a 1000 KV, para transmitir la energía a grandes distancias con pocas pérdidas de potencia; una vez transportada la energía, los transformadores disminuyen el voltaje a valores entre 12 y 35 KV para la distribución local. Otro tipo de transformadores se encargan de reducir el voltaje a niveles de baja tensión ( $V < 600V$ ) utilizados en la industria, comercio y residencias.

### 1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

La base del funcionamiento de un transformador es la inducción electromagnética, fundamentalmente este fenómeno lleva a cabo a través de un núcleo de hierro y dos bobinados (primarios y secundarios). El núcleo proporciona un camino para el campo magnético y se construye generalmente de un gran número de chapas delgadas de un acero especial. La razón por la que los núcleos son construidos por un conjunto de chapas delgadas tiene que ver con la reducción de pérdidas, hecho que se tratará con mayor detalle más adelante.

El primario es el encargado de recibir la energía de la fuente de alimentación, y el secundario es el que entrega la energía a la carga.



*Figura 1.1*  
Transformador fundamental

#### **1.1.1 Teoría del funcionamiento de un transformador:**

Cuando se conecta el primario a una fuente "fem alterna", por el bobinado comienza a pasar una corriente alterna. En cuanto fluye una corriente por un conductor se crea un campo magnético alrededor de él. Si la corriente cambia continuamente en magnitud y la polaridad, el campo magnético que se origina en el núcleo de hierro hará lo mismo.

El campo magnético alterno está, por tanto, continuamente expandiéndose y contrayéndose. Como el circuito magnético es cerrado, la variación del campo magnético es la misma en cualquier parte del núcleo; las líneas magnéticas al expandirse y contraerse cortarán a los conductores situados en cualquier parte del núcleo, en éstos aparecerá una fem inducida.

Como a cada conductor sobre el núcleo le corta el mismo flujo, la fem inducida por vuelta será la misma. Por tanto la relación entre la fuerza electromotriz *inductora* ( $E_p$ ), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz *inducida* ( $E_s$ ), y la obtenida en

el secundario, es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario ( $N_p$ ) y secundario ( $N_s$ ).

$$\frac{EP}{ES} = \frac{NP}{NS}$$

Un transformador puede operar como “elevador” o “reductor” de voltaje, esto dependerá del número de espiras de cada bobinado.

### ***1.1.2 Funcionamiento del transformador cuando se carga.***

Si se conecta el secundario a una carga, pasará una corriente a través de la carga y también por el bobinado del secundario. La energía que consume la carga tiene que proceder de la fuente de alimentación; de aquí que la carga en el primario tenga que variar como en el secundario. En la figura 1.1 se muestra que no existe conexión eléctrica entre los bobinados del primario y el secundario.

La energía consumida por la carga se transfiere del secundario al primario por medio del flujo magnético. El rendimiento del transformador es muy alto, y a menudo es superior al 95 por 100; de aquí que los vatios en el secundario sean casi los mismos que en el primario. En estas condiciones las intensidades varían inversamente con los voltajes. Suponiendo que el transformador es ideal, la potencia que se le entrega es igual a la que se obtiene de él; es decir, se desprecian las pérdidas por calor y otras pérdidas, entonces:

**Potencia de entrada = Potencia de salida**

$$P_i = P_s$$

Conocidos los datos de corriente y voltaje de un dispositivo, se puede conocer su potencia usando la siguiente fórmula:

**Potencia = (Voltaje) x (corriente)**

$$P = V \times I$$

Así, para conocer la corriente en el secundario cuando tengo la corriente  $I_p$  (corriente en el primario),  $N_p$  (espiras en el primario) y  $N_s$  (espiras en el secundario) se utiliza siguiente fórmula:

$$I_s = N_p \times I_p / N_s$$

Esta ecuación muestra que al elevar el voltaje en un transformador se disminuye la intensidad de la corriente. Esta característica es aprovechada en los sistemas de transmisión de la energía eléctrica, para reducir los calibres de los conductores utilizados, pero también para reducir las pérdidas en la transmisión de la energía.

**1.1.3 Condiciones de Servicio y capacidad de tensión.**

Los transformadores para distribución son aptos tanto par la instalación en interiores como a la intemperie, poseen refrigeración natural por aceite (ONAN) y se diseñan para operar en forma continua.

Transformadores convencionales monofásicos se pueden encontrar con potencias de 5 a 167 KVA y en tenciones de AT/BT de 15/1.0 KV, y trifásicos de 15 a 10,000 KVA, con tensiones de serie de 1.0 15 y 30 KV. Las relaciones de capacidad / tensiones se relacionan en la siguiente tabla.

	Potencia (MVA)	2.00		2.50		3.00		3.50		4.00		5.00		6.00		7.50		10.00			
		Conexión		D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y
Voltajes límites para serie 15Kv	14.4	si																			
	13.8	si																			
	13.2	si																			
	11.4	si																			
	10.0	si																			
	6.6	si																			
	4.16	si													no	no	no	no	no	no	no
2.4	si				no																
Voltajes límites para serie 30 Kv	35.0	si																			
	34.5	si																			
	33.0	si																			
	24.9	si																			
Voltajes límites para serie 1 Kv	462.0	si												no	no	no	no	no	no	no	

Tabla 1.1 Niveles de tensión y capacidad de transformadores.

En transformadores autoprotegidos las capacidades disponibles comprenden valores de 5 a 167 KVA en transformadores monofásicos y de 15 a 150 KVA en transformadores trifásicos.

### 1.1.4 Núcleo y devanados

El núcleo de los transformadores está formado por chapas de hierro magnético al silicio de grano orientado, tipo Z9 o M4. El núcleo se somete a un prensado tal que permite reducir al mínimo las vibraciones y el nivel de ruido, evitando un consecuente calentamiento por dichos fenómenos. Una vez instalados en el tanque se conectan a tierra para evitar las tensiones capacitivas.

Los devanados de los transformadores se elaboran a base de conductores redondos, rectangulares, barras o flejes de cobre electrolítico. Usándose este material por presentar la mejor conductividad después de la plata.

### 1.1.5 Refrigeración.

Todos los transformadores son diseñados con un sistema de enfriamiento que disipe el calentamiento originado por las pérdidas del núcleo y de los devanados. En equipos sumergidos, el calor pasa del núcleo y devanados al líquido refrigerante; éste lo trasmite al tanque y tubos radiadores, siendo el aire natural del medio ambiente y/o aire forzado, el medio para lograr el enfriamiento. Existe una variedad de clases de enfriamiento para los diferentes tipos de transformadores. La clase de enfriamiento que poseen la mayoría de los transformadores de distribución es el enfriamiento OA. Un transformador con enfriamiento OA, se caracteriza porque la parte activa está contenida en aceite y es enfriada por aire del medio ambiente; el tanque puede ser liso o con aletas radiadoras. Las aletas radiadoras aumentan la superficie del tanque, y por lo tanto incrementan la transferencia de calor del transformador hacia el medio ambiente; esto, gracias al aire circula entre las aletas debido al efecto de chimenea.

### 1.1.6 Parte activa.

Los devanados y el núcleo están unidos en una estructura llamada "parte activa". Este conjunto se encuentra inmovilizado dentro del tanque del transformador, evitando que las vibraciones producidas durante el transporte afecten al transformador, y que los esfuerzos mecánicos que aparecen en caso de cortocircuito puedan causar desajuste o deformaciones de las bobinas.

Una vez instalada la parte activa y antes de ser instalada en el tanque se somete a un proceso de secado a fin de extraerle completamente la humedad, la cual afectaría notablemente las propiedades dieléctricas del aceite.

**1.1.7 Aceite.**

El aceite usado en los transformadores es de tipo mineral, y su principal función es servir como medio aislante y como refrigerante. Las características que deben tener los aceites para transformadores son las siguientes:

- Baja viscosidad para obtener una buena transferencia de calor.
- Alta rigidez dieléctrica.
- Libre de ácidos inorgánicos, álcalis y azufre corrosivo para prevenir un deterioro en los aislamientos y los conductores.
- Resistencia a la oxidación y la formación de lodos.
- Pose bajo punto de congelación.
- Resistencia a emulsiones con agua.

El aceite nuevo, previsto para transformadores convencionales de distribución y potencia y en transformadores autoprotegidos, debe cumplir con las exigencias siguientes:

Característica	Unidades	exigencia
Grado de pureza	-	claro, libre de sólidos dispersos
color ASTM	-	máximo 1.0
Densidad a 20 °C	-	máximo 0.895
Punto de inflamación	°C	mínimo 140
Azufre corrosivo	-	exento
Rigidez dieléctrica	KV/cm (ASTM)	aprox. 200
Lodos	peso %	máximo 0.06
Cenizas	-	inapreciables

*Tabla 1.2*  
Características requeridas por el aceite.

El aceite debe ser químicamente estable par evitar efectos corona en transformadores de alto voltaje o aparatos similares.

Antes de ser introducido al tanque, el aceite se somete a un proceso de filtrado y secado para asegurar su correcta operación. Pruebas diarias de rigidez dieléctrica garantizan el valor para operación de un transformador nuevo (200 Kv/cm). El llenado se realiza en vacío para evitar la contaminación y posibles burbujas en el interior que serian perjudiciales al buen funcionamiento del transformador.

Antes de energizar el transformador se aconseja observar el nivel de aceite y comprobar la rigidez dieléctrica; este procedimiento es especialmente importante cuando el transformador ha estado fuera de servicio por largo tiempo.

Para extraer muestras de aceite con el fin de efectuar pruebas se deben obtener de 2 a 10 litros dependiendo del tamaño del transformador, cuidando que la vasija este completamente seca, limpia y provista de cierre hermético. La muestra debe de obtenerse de la parte inferior del transformador donde se halla localizada la válvula de purga. En caso que el transformador no posea la citada válvula (monofásicos y trifásicos hasta 150KVA serie 15 KV), la muestra se debe tomar por la tapa de accesos. El valor resultante de la prueba no debe ser inferior a 120 KV/cm.

Se recomienda una revisión del aceite cada dos años y si es necesario hacer posteriores llenados de aceite, utilizando la misma clase del original.

### **1.1.8 Tanque principal.**

En tanque principal está conformado por chapas lisas de lámina soldadas entre sí, obteniéndose con esta construcción una robustez y elasticidad que presenta gran resistencia a los esfuerzos mecánicos y permite el despacho de los transformadores llenos de aceite listos para entrar en servicio. En los transformadores monofásicos el tanque es redondo, en los trifásicos es rectangular para capacidades inferiores a los 300 KVA, mayores que 300 KVA es ovalado.

### **1.1.9 Conmutador de derivaciones.**

Para el buen funcionamiento de la carga eléctrica conectada en el secundario de los transformadores, ya sea monofásico o trifásico, es indispensable que existan niveles de tensión óptimas cercanos a los especificados por el fabricante, tanto en nivel primario como secundario. En ocasiones los transformadores se utilizan en las líneas de potencia cuyo voltaje varía ampliamente con la carga. Tales variaciones de voltaje podrían deberse a que existe una alta impedancia entre los generadores del sistema y la carga en particular, es decir que los generadores se encuentran muy distantes de las cargas. Las cargas requieren que el voltaje de alimentación se encuentre siempre cercano al voltaje nominal.

Los transformadores de distribución tiene una serie de tomas (taps) en los devanados para permitir pequeños cambios en la relación de vueltas del transformador después de haber salido de fábrica. Una instalación típica podría tener cuatro tomas además del valor nominal, con intervalos entre éstas de 2.5% del voltaje a plena carga. Tal distribución permite ajustes de hasta el 5% por encima o por debajo del voltaje nominal del transformador. Las tomas de un transformador permiten que éste se pueda ajustar para acomodarse a las variación de los voltajes; sin embargo, estas tomas no pueden realizarse cuando el transformador se encuentra energizado, y deben de realizarse con la unidad sin carga, ya sea interiormente a través de la tapa de acceso o exteriormente por medio de una perilla. Cuando la operación es exterior, el conmutador puede bloquearse por medio de un tornillo para evitar que este se realice con carga.

Por fase, el conmutador posee seis contactos obteniéndose así la posibilidad de seleccionar cinco relaciones de tensión en forma rápida y segura. En el caso de derivaciones normales, la variación de tensión en los transformadores es de  $\pm 2 \times 2.5\%$  de la tensión nominal.

Posición del conmutador y sus tensiones correspondientes.				
I / 95%	II / 97.5%	III / 100%	IV / 102.5%	V / 105%
2.280	2.340	2.400	2.460	2.520
3.952	4.056	4.160	4.264	4.368
6.270	6.435	6.600	6.765	6.930
6.840	7.020	7.200	7.380	7.560
7.239	7.430	7.620	7.811	8.001
10.830	11.115	11.400	11.685	11.970
12.540	12.870	13.200	13.530	13.860
31.350	32.175	33.000	33.825	34.650
32.775	33.638	34.500	35.363	36.225

*Tabla 1.3*  
Regulación de voltaje a partir de conmutadores.

### 1.1.10 Impedancia de los Transformadores

La impedancia de un dispositivo se define como, la relación de voltaje a traves de el y la cantidad de corriente que fluye por el; en el caso de los transformadores este valor en particular no es constante debido a que la proporción entre voltaje y corriente esta cambiando, por lo que llamaremos a esta impedancia como "aparente". Sin embargo nos interesa conocer las impedancias de los transformadores cuando estos perciben el voltaje nominal y la corriente nominal para la cual fueron diseñados, siendo esta la impedancia del trasformador, representada en porcentaje.

Las impedancias en porcentaje de cada transformador de acuerdo a su capacidad en KVA se presentan a continuación.

Potencia del Transformador	%Z
75	3
100	3
167	3
300	5
500	5
1000	6

*Tabla 1.4*  
Regulación de voltaje a partir de conmutadores.

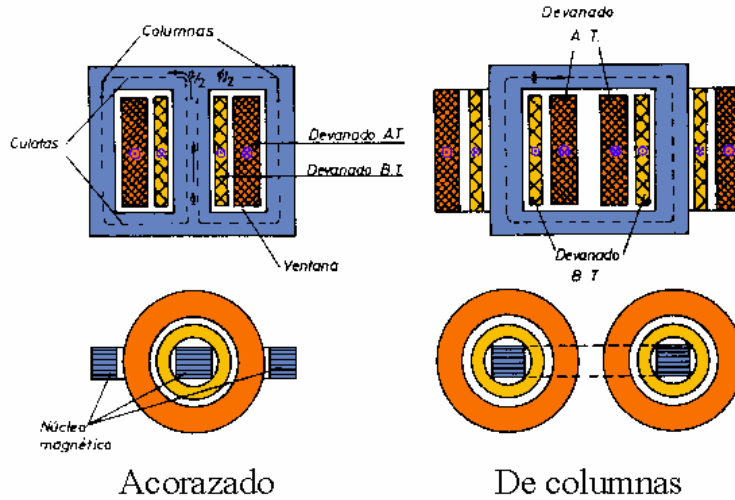
### **1.2 TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS (1Φ) Y TRIFÁSICOS (3Φ).**

Casi todos los principales sistemas de generación y distribución son sistemas trifásicos de corriente alterna. Estos pueden construirse de dos maneras; la primera consiste en tomar tres transformadores monofásicos y conectarlos en un banco trifásico, la segunda en construir un transformador trifásico que consta de tres conjuntos de devanados enrollados sobre un núcleo común. Esta última opción es la más conveniente debido a que permite construir un transformador trifásico más liviano, más pequeño y económico e incluso un poco más eficiente.

A pesar que en un banco trifásico de transformadores monofásicos se tiene la ventaja de reemplazar una unidad si es que falla, la eficiencia de este banco no supera las ventajas del transformador trifásico.

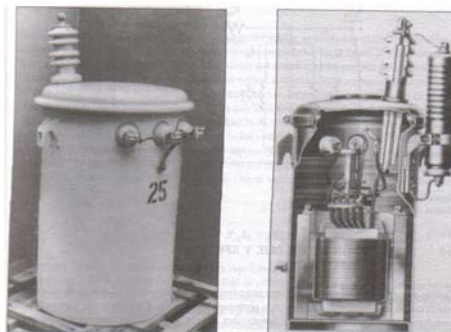
**1.2.1 Transformador Monofásico (1Φ).**

Estos transformadores están diseñados para suplir energía a sistemas residenciales y algunos comercios.



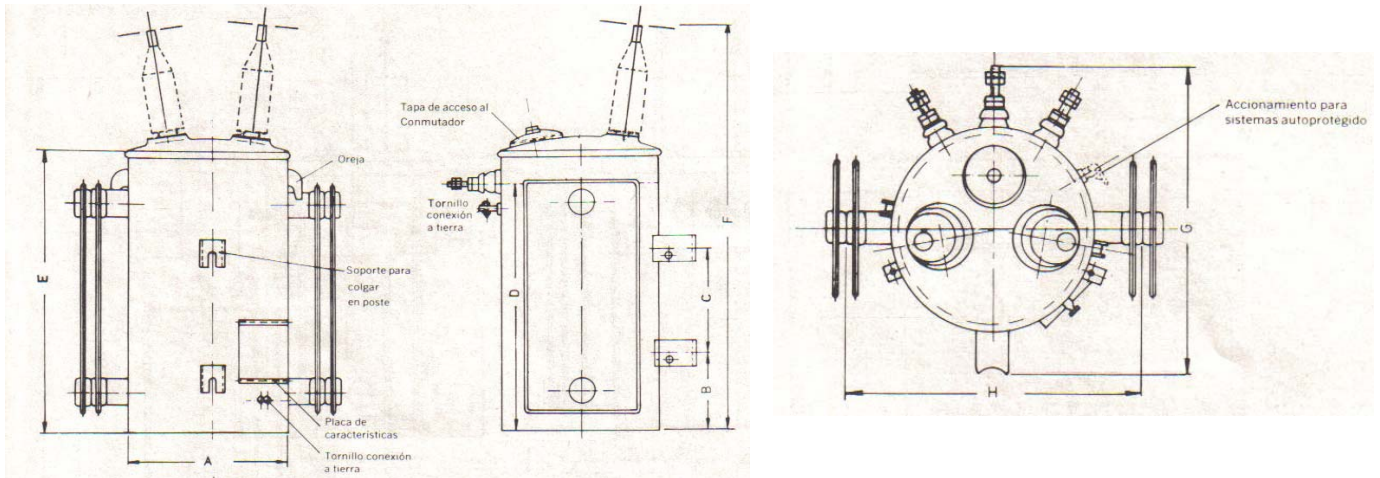
*Figura 1.2*  
Tipo de Núcleo Transformadores monofásicos.

En la construcción de los transformadores monofásicos son utilizados núcleos acorazados o de dos columnas con conmutadores de  $\pm 2x 2.5\%$  del voltaje nominal para accionamiento interior en aquellos transformadores con corriente en la alta tensión no superior a 30 A, tornillo de conector tipo ojo (M12) para conexión del tanque a tierra, placa de características en acero inoxidable. Además se incluyen para el levantamiento del transformador, soportes en pletina de acero soldado en la parte lateral del tanque, y soportes para colgar en poste fabricado en pletina de acero. Finalmente se incluye un indicador interior de nivel de aceite visible desde el orificio de acceso al conmutador.



*Figura 1.3.*  
Transformador típico de distribución (13.5KV 120/240V)

Las dimensiones generales transformadores monofásicos son las que se muestran y detallan a continuación:



**Figura 1.4**  
Dimensiones generales de transformadores (13.5KV 120/240V)

Dimensiones aproximadas  
medidas en mm

KVA	A	B	C	D	E
5 (*)	315	110	286	415	540
10 (*)	315	110	286	415	540
15 (*)	365	110	286	415	540
25 (*)	395	110	286	445	570
37,5 (*)	420	150	286	560	700
50	440	150	286	600	725
75	440	150	350	640	780
100	517	120	590	695	900
167	517	120	590	700	900

(\*) Sin radiadores

**Tabla 1.5**  
Dimensiones aproximadas medidas en mm (13.5KV 120/240V)

**1.2.2 Transformador trifásico (3Φ).**

En los transformadores trifásicos, el núcleo corresponde al modelo llamado de columnas, las chapas de lámina una vez cortadas se agrupan en paquetes de sección rectangular hasta 150 KVA y de sección cruciforme para tamaños mayores. La construcción de un transformador trifásico permite la circulación de un flujo  $F$ , que en todo instante es la suma de los tres flujos sinusoidales, iguales y desfasados  $120^\circ$ .

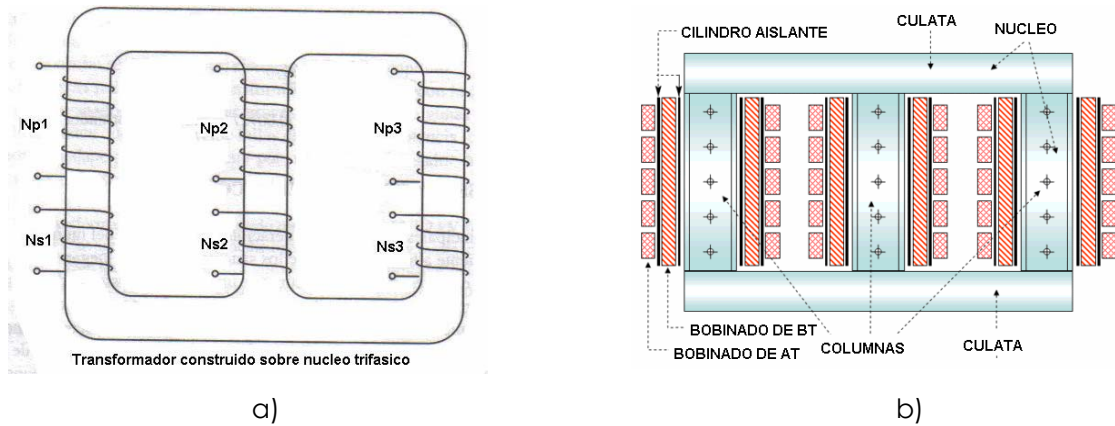


Figura 1.5.

Transformador trifásico construido sobre un núcleo de tres columnas.

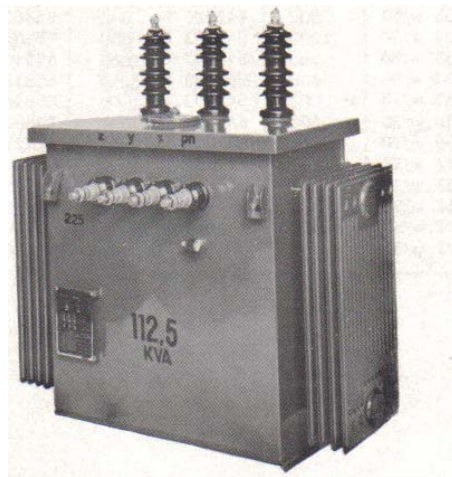
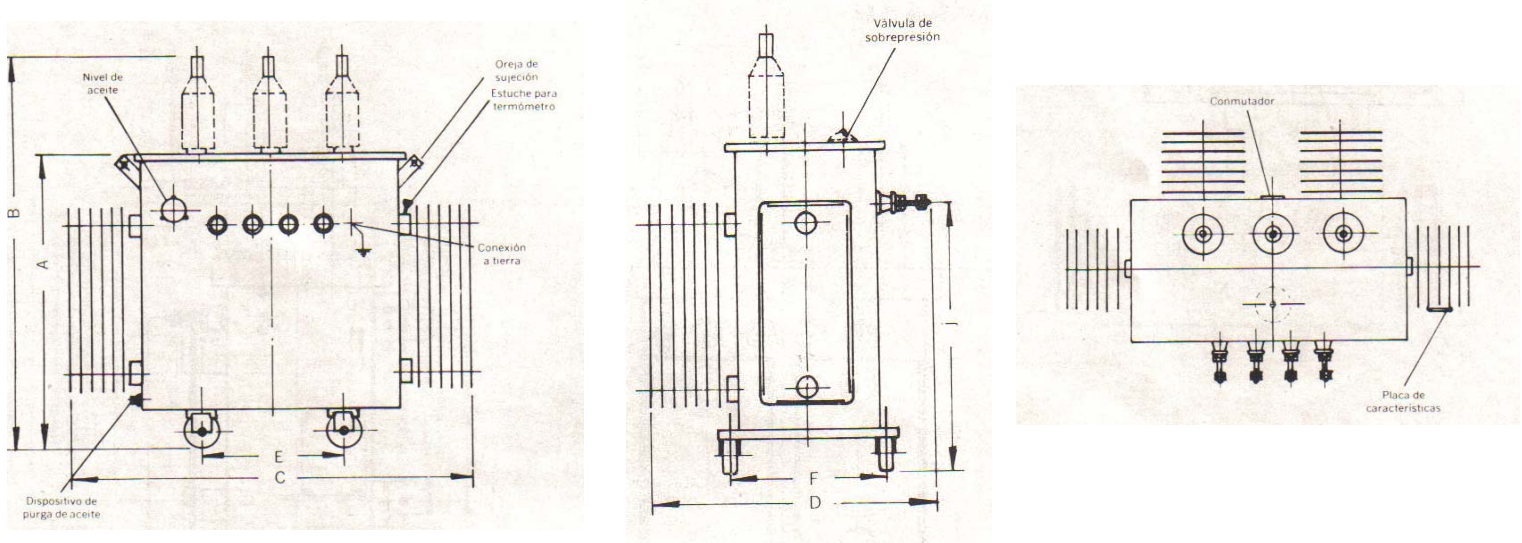


Figura 1.6.

Transformador trifásico típico.

Las dimensiones generales transformadores trifásicos son las que se muestran y detallan a continuación:



**Figura 1.7.**  
Dimensiones Aproximadas Transformador Trifásico

Dimensiones  
aproximadas  
medidas en mm

KVA	A	B	C	D	E	F	j
225	1060	1420	1475	835	550	470	850
300	1174	1534	1564	1068	650	550	900
400	1254	1641	1665	1078	650	550	1010
500	1325	1684	1861	1216	650	570	1045
630	1364	1724	2101	1276	650	570	1070
800	1604	1964	1821	1281	650	655	1260

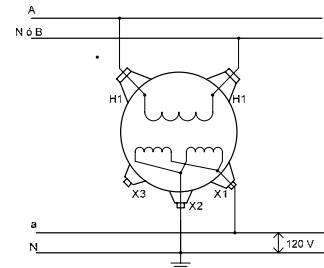
**Tabla 1.6**  
Dimensiones aproximadas medidas en mm (13.5KV 120/240V)

**1.3 CONEXIONES DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.**

Las estaciones de transformación son seleccionadas de acuerdo a las características propias de la carga instalada, es decir carga trifásica o monofásica, voltaje de operación 120V, 240V Monofásico, ó 240V, 480V trifásico. En base a estas necesidades se selecciona el tipo de servicio (monofásico o trifásico) y el tipo de conexión a implementar.

**1.3.1 Servicio monofásico a 120 Voltios.**

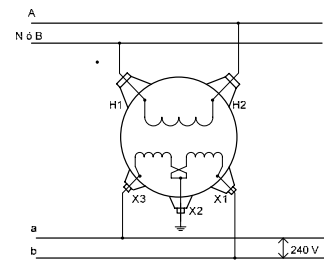
Transformadores de primario bifilar con dos aisladores; su aplicación es para el suministro de energía monofásica a 120 voltios solamente. Generalmente esta conexión no se considera adecuada en hogares modernos, donde se requieren otros voltajes de suministro.



**Figura 1.8.**  
Conexión monofásica 120 V

**1.3.2 Servicio monofásico a 240 Voltios.**

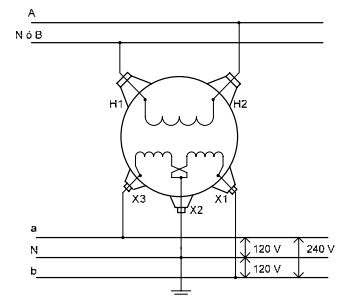
Transformador de primario bifilar con dos aisladores; su aplicación es en el suministro de energía monofásica a 240 V solamente. Cuando es necesario conectar el secundario a tierra, esta conexión puede efectuarse en el aislador X2 como muestra la figura.



**Figura 1.9.**  
Conexión monofásica 240V.

**1.3.3 Servicio monofásico a 120/240 Voltios.**

Transformador de primario bifilar con dos aisladores; su aplicación es para el suministro de energía monofásica 120/240 voltios. Esta es la conexión recomendada para los hogares modernos.



**Figura 1.10.**  
Conexión monofásica 120/240 V

### **1.3.4 Conexiones de Transformadores Monofásicos en Grupos Trifásicos.**

Cuando existe carga que demanda energía trifásica y no se dispone de un transformador trifásico como tal, entonces es cuando los arreglos de transformadores monofásicos en banco trifásicos son las más adecuados y factibles. La cantidad de potencia a suministrar (lado secundario) por dicho arreglo depende directamente de las capacidades de los transformadores en forma individual. Existe una diversidad de conexiones disponibles con dichos arreglos, presentando diferentes ventajas y desventajas para un grupo de carga en especial.

Las conexiones más comunes en nuestro medio son bancos monofásicos en conexión estrella primario, estrella secundario y estrella primario delta aterrizada secundario. El sistema estrella-estrella es utilizado cuando la carga a energizar tiene un alto porcentaje de carga trifásica con la posibilidad de poder adoptar pequeños porcentajes de potencia monofásica conectada al sistema, la poca capacidad de alimentar sistemas mixtos con carga monofásica y trifásica se debe a que la conexión Estrella-Estrella no tolera desbalances altos en el sistema, que por lo general son ocasionados por cargas monofásicas.

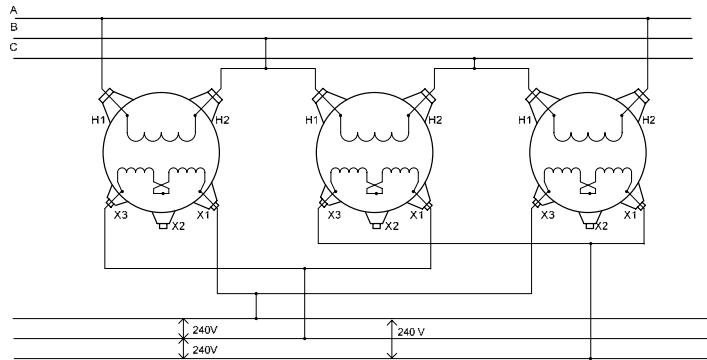
Por otro lado los sistemas Estrella-Delta son convenientes cuando la carga a energizar es mixta, es decir una carga predominantemente trifásica, pero con alta presencia de carga monofásica.

### **1.3.5 Conexión Delta-Delta, a 240V. Desplazamiento angular 0°.**

Su aplicación más común es para el suministro de energía trifásica con un buen factor de utilización de los transformadores (plena capacidad nominal disponible). Presenta la ventaja que no existen problemas de sobre tensiones producidas por armónicas o de interferencias telefónicas. En caso de avería de una unidad, el banco puede quedar conectado en delta abierto para servicio de emergencia, en cuyo caso, la capacidad del banco quedará reducida al 57.7% de su capacidad original. Si se precisa la conexión a tierra, esta puede hacerse en el aislador X1, ó bien, en el X2 como se observa en el esquema.

Para poder efectuar dicha conexión es necesario que se coloquen transformadores con la misma relación de transformación, y que éstos estén conectados a las misma tomas de regulación, de lo contrario se producirán elevadas corrientes de circulación.

Es necesario que se utilicen transformadores de la misma impedancia ya que en el caso contrario. La capacidad del banco se verá reducida.



**Figura 1. 11.**  
Conexión Trifásica Delta - Delta 240V

### 1.3.6 Conexión Delta-Delta, a 120/240V. Desplazamiento angular 0°.

Esta conexión se utiliza para suministro de energía trifásica a 240 voltios y pequeños porcentajes de energía monofásica a 120/240V. De igual forma si se avería una unidad, el banco puede quedar conectado en delta abierta para servicio de emergencia. La capacidad del banco se distribuye de la siguiente manera: el transformador de la toma intermedia conduce 2/3 de la carga monofásica a 120/240V y 1/3 de la carga trifásica a 240V. Las dos unidades restantes conducen 1/3 de la carga a 120/240V y 1/3 de carga a 240V.

Se producirán elevadas corrientes de circulación a menos que todas las unidades estén conectadas en la misma toma de regulación y tengan iguales relación de transformación. Se reducirá la capacidad del banco a menos que se utilicen transformadores de la misma impedancia. El aislador de paso del neutro del secundario puede conectarse a tierra en un sólo transformador.

#### *Ventajas de la conexión Delta-Delta.*

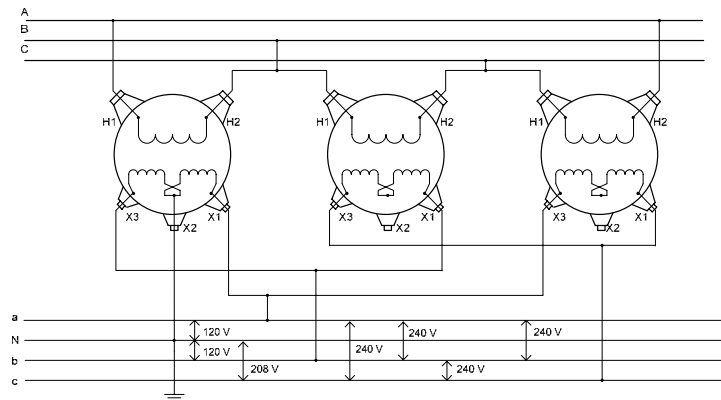
- Esta conexión se aplica preferentemente para bajas tensiones y elevadas corrientes de carga, y dado que la corriente de fase es menor a la corriente de línea, permite disminuir la sección de los conductores de los arrollamientos, para una misma densidad de corriente en la proporción  $1/\sqrt{3}$ .
- La conexión Delta-Delta permite la circulación local de los terceros armónicos de intensidad, repartidos en los arrollamientos primarios y secundarios (armónicos

en fase, sobre arrollamientos en serie), sin provocar perturbaciones inductivas a lo largo de la línea.

- En lo que se refiere al funcionamiento con cargas desequilibradas la corriente en un sólo puente de la línea secundaria, provoca otra corriente primaria distribuidas de igual forma que las corrientes secundarias y por lo tanto, no parecen flujos magnéticos adicionales.

*Desventajas de la conexión Delta-Delta.*

- Como no se dispone de neutro ni en el primario ni en le secundario, no es posible la protección a tierra ni la alimentación de redes de cuatro conductores.
- Por estar los arrollamientos primarios sometidos a la tensión de línea, precisan de mayor aislamiento que uno que esté conectado en estrella.



*Figura 1.12.*  
Conexión Trifásica Delta -Delta 120/240V

**1.3.7 Conexión Estrella-Estrella, a 120/208Y Voltios. Desplazamiento angular cero.**

Transformadores de primarios tetrafilares de uno o dos aislamientos con neutro a tierra. La aplicación que se le da a este banco es para suministro de energía monofásica y trifásica en sistemas tetrafilares con puestas a tierra múltiples. Cuando un sistema ha cambiado de delta a estrella de 4 conductores con el fin de aumentar la capacidad del sistema, se pueden usar los transformadores en existencia.

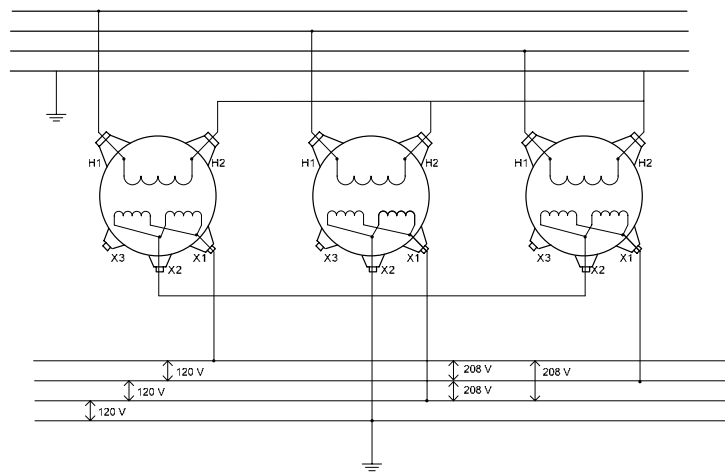
Para esta conexión debe de tenerse el cuidado que el neutro del primario debe quedar bien conectado al neutro del sistema, pues, de lo contrario, se producirán voltajes excesivos en el circuito del secundario.

*Ventajas de la conexión Estrella-Estrella.*

Esta conexión permite sacar un neutro directamente, el cual se emplea en las redes de baja tensión, y en el lado de alta tensión del transformador, para su propia protección mediante la puesta a tierra.

*Desventajas de la conexión Estrella-Estrella.*

Cuando el transformador no tiene conexión a tierra en el secundario, origina en el lado primario un desbalance de corriente, que a su vez producen flujos de dispersión que se cierran por el tanque y aceite, provocando el calentamiento de éstos.



**Figura 1. 13.**  
Conexión Trifásica Estrella- Estrella 120/208V

**1.4 PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES.**

Para interpretar las pérdidas en los transformadores es necesario conocer los siguientes aspectos:

Tensión Nominal de un devanado

Es la tensión especificada para aplicarse o desarrollarse en funcionamiento sin carga entre los terminales línea de un transformador polifásico o entre los terminales de un devanado de un transformador monofásico.

Potencia Nominal

Es el valor convencional de la potencia aparente expresado en KVA o MVA, que sirve de base al diseño del transformador, la garantía del fabricante y los ensayos que determina un valor bien definido de la corriente nominal admisible cuando la tensión nominal es aplicada.

La potencia activa es la potencia de trabajo neta medida en KW (kilovatios), y corresponde al producto de la potencia nominal por el factor de potencia de la carga.

### Corriente Nominal

Es aquella corriente que fluye a través del terminal de línea de un devanado, y es obtenida al dividir la potencia nominal por el producto de su tensión nominal y el factor de fase (1 para transformadores monofásicos y  $\sqrt{3}$  para transformadores trifásicos).

### Porcentaje de carga

Expresa en que proporción está siendo utilizado la unidad de transformación tomando como base la potencia nominal de la unidad.

#### **1.4.1 Pérdidas con cargas y sin cargas en un transformador.**

Los transformadores poseen dos tipos de pérdidas; pérdidas con carga, las cuales son proporcionales a los porcentajes de carga con los que opera el transformador y pérdidas sin carga o al vacío, las cuales son constantes y dependen directamente de la capacidad del transformador y constantes de diseño que éstos poseen.

##### *a) Pérdidas sin carga ( $P_o$ )*

Es la potencia activa absorbida cuando la tensión nominal, a la frecuencia nominal, se aplica a los terminales de uno de los devanados estando los otros devanados en circuito abierto. También se conocen como pérdidas en el hierro.

Las pérdidas sin carga corresponden a la suma de las pérdidas por histéresis ( $P_h$ ) más las pérdidas por corrientes de Foucault ( $P_f$ ). Las primeras son las pérdidas de energía por el cambio de los dipolos en el hierro y la segunda por las corrientes inducidas en el hierro del núcleo. Las pérdidas en el hierro son prácticamente constantes con cualquier carga.

##### **b) Pérdidas de carga ( $P_c$ ).**

Es la potencia activa absorbida a la frecuencia nominal cuando la corriente nominal fluye a través de los terminales de línea de uno de los devanados, estando los terminales del otro en cortocircuito. Este valor debe ser referido a 75°C para la clase de aislamiento usado en transformadores de distribución (también conocida como pérdidas en el cobre).

Una variación en el valor de la intensidad de la corriente trae consigo un cambio en las pérdidas de carga proporcional al cuadrado de la variación que haya tenido la intensidad de la corriente.

A continuación se presenta la gráfica que relaciona las pérdidas al vacío y pérdidas a plena carga con la potencia nominal de los transformadores.

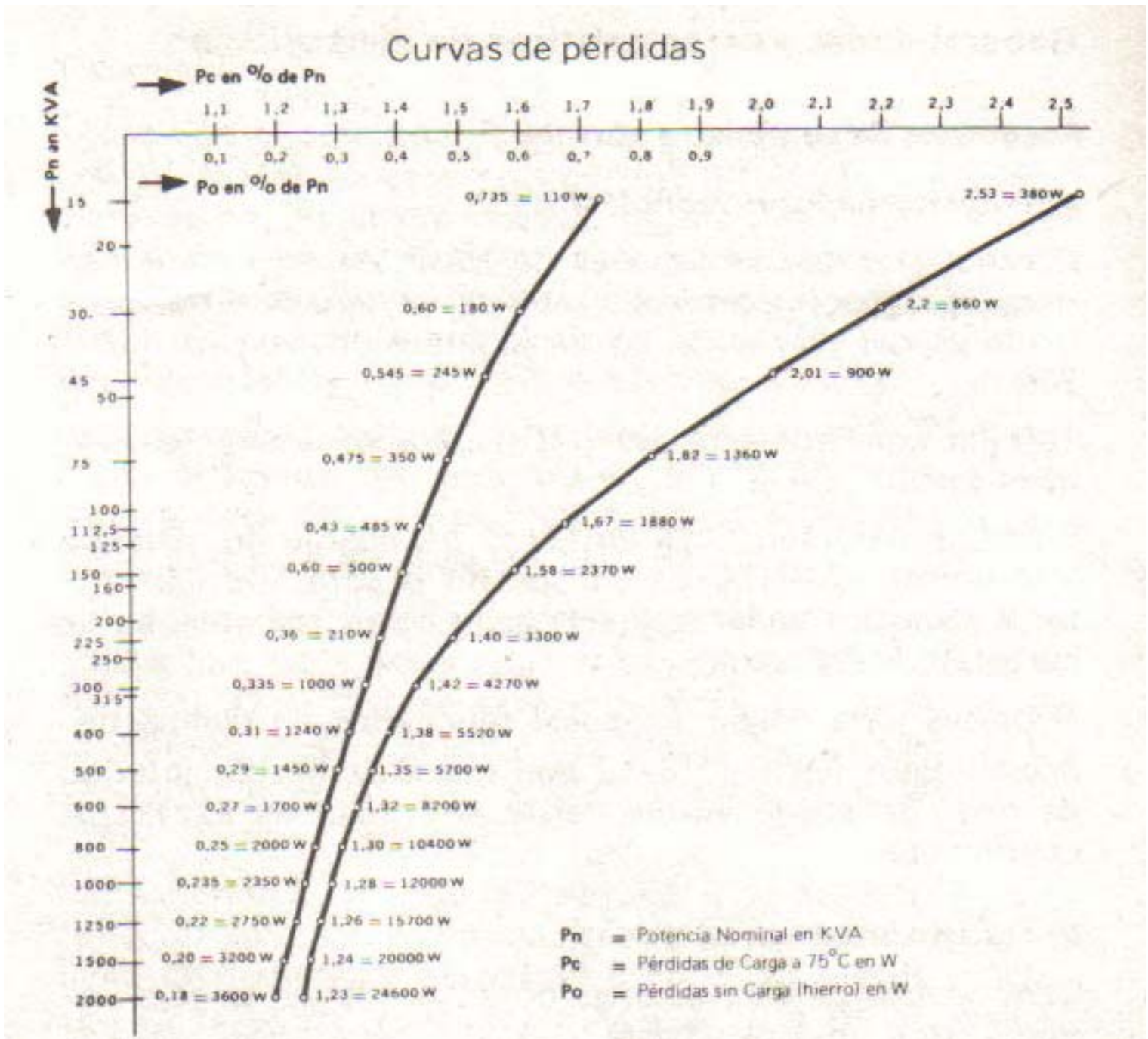


Figura 6.14.  
Porcentajes de Pérdida

### 1.4.2 Corriente sin carga (I<sub>o</sub>).

Es aquella corriente que fluye a través de un terminal de línea de un devanado, al aplicarse la tensión nominal, a la frecuencia nominal, estando los demás devanados en circuito abierto. También se conoce como corriente al vacío o corriente de excitación. La corriente sin carga se expresa usualmente como un porcentaje de la corriente nominal.

Para los transformadores polifásicos las corrientes sin carga a través de los diferentes terminales de línea pueden no ser iguales. En este caso, cuando los valores de las diferentes corrientes no son dados separadamente, se supondrá que la corriente sin carga es igual a la media aritmética de las corrientes.

### 1.4.3 Rendimiento.

Es la razón existente entre la potencia activa suministrada por el transformador y la potencia de entrada al mismo. Considerando que la diferencia entre las potencias de salida y de entrada corresponde a las pérdidas totales tenemos que:

$$\eta = \frac{P_a}{P_a + P_t} \times 100 (\%).$$

P<sub>a</sub> = Potencia activa suministrada por el transformador.

P<sub>t</sub> = suma de las pérdidas sin carga y de carga a 75°C.

Desconocido la potencia activa suministrada por el transformador se puede calcular el rendimiento aplicando la siguiente fórmula:

$$\eta = 100 - \frac{(P_o + a^2) \times P_c}{A \times P \times \cos \phi + ((P_o + a^2) \times P_c)} \times 100 (\%).$$

P = Potencia nominal en KVA.

P<sub>o</sub> = Pérdidas sin carga en KW.

P<sub>c</sub> = Pérdidas de carga a 75°C en KW.

Cos φ = factor de potencia.

a = factor de carga (relación entre potencia de trabajo potencia nominal).

El máximo rendimiento de un transformador se obtiene con P<sub>o</sub> = a<sup>2</sup> x P<sub>c</sub> o sea cuando a = √P<sub>o</sub>/P<sub>c</sub>.

Ejemplo:

Se desea calcular el rendimiento para un transformador de 500 KVA, con una relación de transformación 13,200 ± 2x2.25 % / 462-267 C sin carga, una frecuencia de operación de 60 Hz, un factor de potencia 0.8, y con un 75% de la carga nominal.

$$P = 500 \text{ KVA.}$$

$$P_o = 1.45 \text{ KW.} \quad (\text{Gráfico 6.1}).$$

$$P_c = 6.7 \text{ KW a } 75^\circ\text{C.} \quad (\text{Gráfico 6.1}).$$

$$\text{Cos } \phi = 0.8$$

$$a = 0.75$$

$$\eta = 100 - \frac{(1.45 + 0.75^2) \times 6.7}{0.75 \times 500 \times 0.8 + ((1.45 + 0.75^2) \times 6.7)} \times 100 (\%).$$

$$\eta = 98.29\%.$$

Igualmente, se pondrá obtener el rendimiento de un transformador con diferentes porcentajes de carga, a partir de las pérdidas sin carga y con carga.

A continuación se presenta un nomograma para el conocimiento rápido del rendimiento de los transformadores a partir de las pérdidas al vacío y pérdidas con cargas encontradas a partir del gráfico 6.1 ( $P_o$  y  $P_c$  en % de  $P$ ).

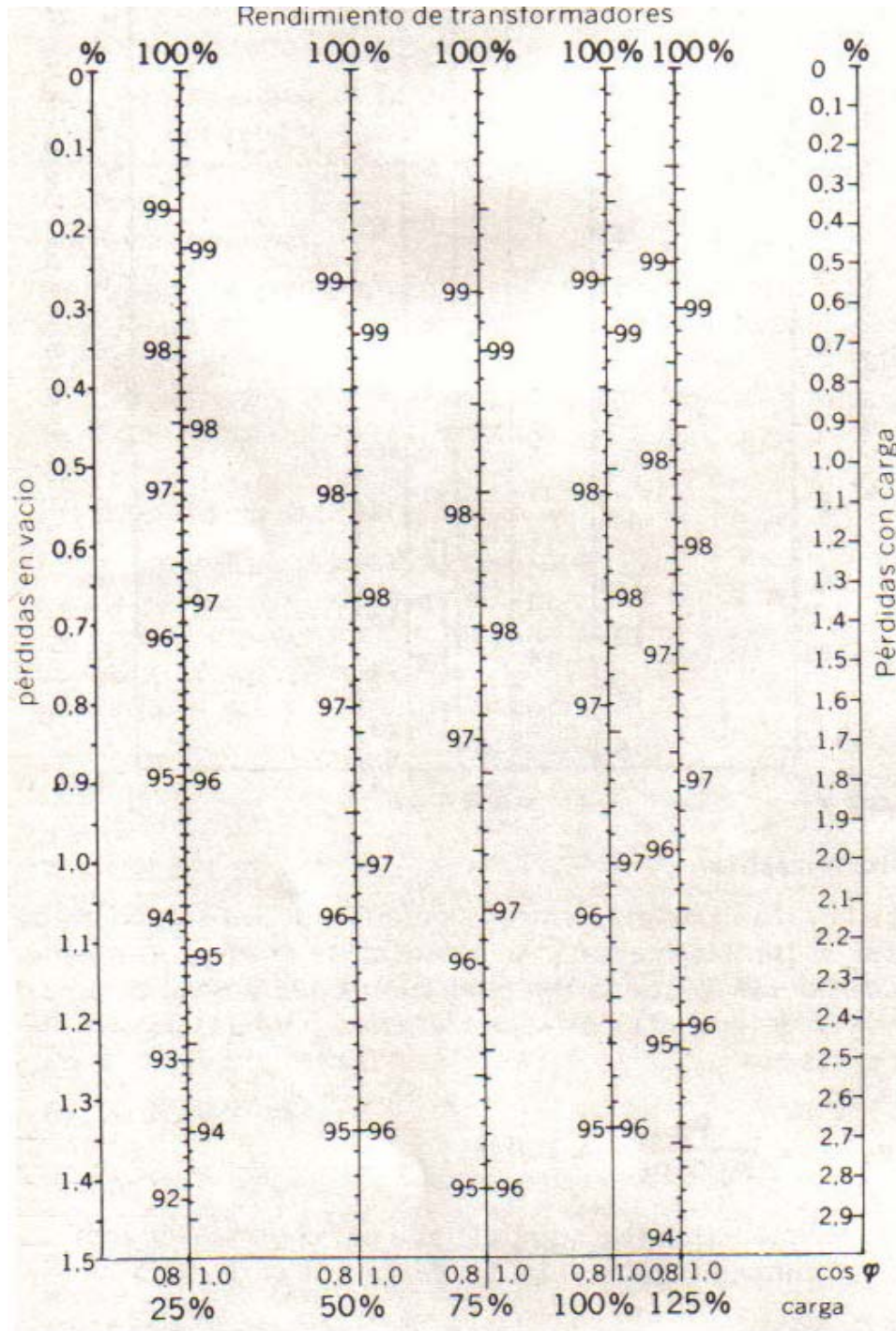


Tabla 1.7.  
Nomograma de rendimiento

**1.4.4 Sobrecarga**

Como en la mayoría de los casos los transformadores no trabajan a plena carga, sino que trabajan bajo un régimen de carga variable, la potencia nominal podrá sobrepasarse por un tiempo limitado.

Los diferentes efectos que tiene la sobrecarga en un transformador sobre la reducción de su vida útil, depende de la norma que se tome como referencia; de esta forma, el porcentaje de pérdida de vida útil para un transformado sobrecargado en un 110%, será diferente de una a otra.

El cuadro que se muestra a continuación pertenece a la norma ANSI C-57.91; en ella se indican para los valores de la sobrecarga (A) correspondientes a la máxima temperatura del punto más caliente del devanado (B) y la máxima temperatura del nivel superior del aceite (C), teniendo como parámetros a la temperatura ambiente promedio, y la duración de la sobre carga.

Si un transformador opera en condiciones nominales, el porcentajes de pérdida de vida de su vida útil se incrementan en un 0.0137% por cada día de funcionamiento. De esta forma, la vida útil de un transformador resulta ser de un aproximado de 20 años.

Temperatur en °C		0			10			20			30			40			50		
Duracion de la sobre carga en horas	Perdida de vida en %	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
		1	0.05	243	155	72	230	154	78	216	153	85	199	150	90	178	146	96	131
0.10	253		163	75	240	162	81	225	161	87	211	159	93	192	156	99	166	148	103
0.50	278		185	82	265	184	88	253	183	95	239	181	101	225	180	107	209	178	113
1.00	289		195	85	278	194	92	265	193	98	252	192	104	239	191	111	224	190	117
2	0.05	212	147	81	200	147	86	187	145	91	172	142	95	153	138	98	117	122	97
	0.10	220	155	85	208	154	90	196	153	94	182	151	99	166	148	103	146	142	106
	0.50	241	176	94	230	175	99	218	174	104	207	173	109	194	171	114	179	169	118
	1.00	250	186	99	240	185	104	229	184	109	218	183	114	206	182	119	192	180	123
4	0.05	185	139	86	174	138	90	163	137	93	151	135	97	134	130	98	107	118	96
	0.10	192	147	90	182	146	94	170	144	97	159	143	101	145	140	104	127	134	105
	0.50	210	167	101	200	166	105	190	164	109	180	164	113	163	162	116	156	160	119
	1.00	218	177	107	209	176	111	199	175	115	189	174	118	179	173	122	167	171	125
8	0.05	165	129	84	156	128	87	145	126	90	134	125	93	120	121	95	98	112	93
	0.10	172	136	88	162	135	92	152	134	95	141	132	98	129	130	100	113	125	101
	0.50	188	155	100	178	154	103	169	153	106	159	152	110	149	151	113	138	149	126
	1.00	194	163	105	186	163	109	177	162	112	168	161	115	153	160	110	147	158	121
24	0.05	143	112	74	138	111	78	128	110	81	117	110	84	106	110	88	93	109	91
	0.10	153	118	78	144	118	82	124	117	85	123	116	88	113	116	92	101	115	95
	0.50	168	135	89	158	134	92	150	134	96	140	134	99	130	133	102	120	133	106
	1.00	174	142	94	166	142	97	157	142	101	148	142	104	138	141	107	128	140	111

Tabla 1.8.

Pérdida de la vida útil en función de la carga de la sobre carga y la temperatura ambiente.

### **1.5 AHORRO ENERGÉTICO EN UNIDADES DE TRANSFORMACIÓN.**

Los transformadores que forman una subestación eléctrica se encuentran energizados durante periodos ininterrumpidos de tiempo, y siempre que el suministro eléctrico no sea interrumpido, estas unidades permanecen energizadas exista o no demanda por parte de la carga instalada. Siempre que el transformador está energizado, existen pérdidas de energía, tanto pérdidas constantes que dependen directamente de capacidad de la unidad de transformación, como pérdidas variables que dependen del porcentaje de carga que está manejando la subestación. Las pérdidas constantes dependen únicamente de la potencia nominal y de los materiales de construcción de la unidad (pérdidas al vacío y por carga), las pérdidas variables dependen de los porcentajes de carga de la subestación. Existen pérdidas que dependen de otros factores externos tales como el factor de potencia del sistema.

Conociendo todos estos porcentajes de pérdida, se asocia la capacidad de los transformadores a las pérdidas totales de transformación, es decir, entre mayor sea la unidad de transformación necesaria, mayores son sus pérdidas de energía. Por tanto la oportunidad de ahorro en estas máquinas eléctricas se encuentra en el correcto dimensionamiento de la capacidad de las subestaciones eléctrica. El dimensionamiento depende dos factores principalmente: la carga total que será conectada a la subestación, y el factor de utilización (cuanto tiempo permanece conectada la carga).

Otro parámetro a tomar en cuenta para el buen dimensionamiento de una subestación es el factor de crecimiento. Este factor indica las proyecciones de crecimiento de la carga de la subestación a futuro. Conocer las proyecciones de crecimiento de carga lo más apegados a la realidad es muy importante, ya que sobredimensionar la capacidad de una subestación implicaría mayores pérdidas en ésta, y subdimensionar la capacidad podría provocar calentamientos excesivos en los transformadores y acortar su vida útil.

Es deseable que la subestación opere siempre con un porcentaje de carga cercano al 100% pero sin excederlo. Un transformador operando con un porcentaje de carga menor al 50%, ve reducida su eficiencia considerablemente.

### **1.5.1 Ahorro económico por cambio de tarifa eléctrica.**

Al revisar los pliegos tarifarios de las diferentes compañías de distribución eléctrica, se ha detectado una oportunidad de ahorro monetario (no energético) para los diferentes casos:

- Para los usuarios que se encuentren dentro de tarifas residenciales ( $0 < \text{KW} \leq 10$ ) pero debido a un crecimiento de carga han llegado a demandar más de 10 KW.
- Para los usuarios que se encuentren en tarifas de medianas demandas ( $10 < \text{KW} \leq 50$ ), con medición horaria en baja tensión, es decir con tarifa MBH.

El potencial de ahorro monetario consiste en la posibilidad de poder emigrar a una tarifa, la cual presente una sensible reducción del costo del \$/KWh en comparación a los valores actuales. Tal es el caso de un usuario con tarifa residencial que debido a sus demandas  $> 10$  KW, este puede optar a una tarifa de mediana demanda con medición horaria en baja tensión (MBH); se estima que con la implementación de esta nueva tarifa, el dejara de pagar una cantidad que se podrá expresar como ahorro monetario.

Si el usuario se encuentra ya en una tarifa de mediana demanda con medición horaria en baja tensión pueda optar a una medición en mediana tensión, donde los costos por uso de la red (KW) son sensiblemente menor; para esta opción en particular deberá considerar la inversión inicial por la adquisición e instalación del transformador de voltaje.

### **Cálculo para dimensionar transformadores.**

Para que un transformador este bien dimensionado, es necesario dar a conocer al menos los siguientes datos:

- Máxima demanda en KW.
- Factor de potencia.
- Numero de fases ( $1\phi$  o  $3\phi$ ).
- Porcentaje de carga monofásico y trifásico.
- Tensión secundaria y conexión.
- Proyección de crecimiento.

Para el dimensionamiento de transformadores monofásicos conectados en arreglos monofásicos y trifásicos se debe de realizar lo siguiente; sea:

P = Máxima demanda en KW (Proveniente de la factura de la distribuidora).

PF = Factor de potencia del sistema.

S = Máxima demanda en KVA (equivale a tener KW/PF)

M = Porcentaje de carga monofasica.

T = Porcentaje de carga trifásica.

$KVA\ 1\phi = S * M.$

$KVA\ 3\phi = S * T.$

A = Transformador que entrega energía monofasica y trifásica (Trf. LyFza).

B = Transformador que entrega energía trifásica (Trf. Fza).

El tipo de conexión secundaria dependerá de la característica de las cargas que se conectarán a dicha subestación.

**a) Caso en el que predomina un alto porcentaje de cargas monofásicas.**

Si se tiene un alto porcentaje de cargas monofasicas y pequeños porcentajes de carga monofasica se recomienda instalar una subestación estrella – estrella (Y-Y), donde la capacidad de sus transformadores debe de ser:

$$A = 1/3\ KVA\ 1\phi + 1/3\ KVA\ 3\phi.$$

La subestación a instalar será de 3 x "A" KVA en conexión Y-Y

**b) Alto porcentaje de carga trifásica, pequeños porcentajes de carga monofasica.**

Para este caso se recomienda la instalación de un banco de transformadores en conexión estrella - delta, y la capacidad de sus transformadores deberá de calcularse de la siguiente manera:

$$A = 1/3\ KVA\ 1\phi + 1/3\ KVA\ 3\phi.$$

$$B = 2/3\ KVA\ 1\phi + 1/3\ KVA\ 3\phi.$$

La subestación a instalar deberá ser:

$$2\ x\ "A"\ KVA + 1\ x\ "B"\ KVA.$$

**c) Cargas monofásicas y pequeñas cantidades de carga trifásica.**

En este caso se recomienda la instalación de una subestación estrella delta abierta secundaria, y la potencia de sus transformadores se pueden calcular de la siguiente manera.

$$A = \text{KVA } 1\phi + 0.577 \text{ KVA } 3\phi.$$

$$B = 0.577 \text{ KVA } 3\phi.$$

EJEMPLO PRÁCTICO:

Se desea dimensionar una subestación 3 $\phi$  para un sistema que está operando a un factor de potencia de 0.85, con una máxima demanda de 45 KVA, el cual cuenta con un porcentaje de carga monofásica de 30% y un porcentaje de carga trifásica equivalente al 70%, será necesario que la subestación quede cargada a un 70% para aceptar futuros crecimientos.

SOLUCIÓN.

*El sistema se encuentra operando con altos porcentajes de carga trifásica y pequeños porcentajes de carga monofásica.*

$$P = 45 \text{ KW.}$$

$$\text{PF} = 0.85.$$

$$S = 45 / 0.85$$

$$S = 53 \text{ KVA}$$

Para que la subestación que alimente esta carga trabaje al 70%.

$$\text{Subestación al } 70\% = (53 / 0.7).$$

$$\text{Subestación al } 70\% = 75 \text{ KVA.}$$

$$M = 30\%$$

$$T = 70\%$$

$$\text{KVA } 1\phi = 22.5 [75*0.3]$$

$$\text{KVA } 3\phi = 52.5 [75*0.7]$$

$$A = (1/3) (22.5) + (1/3) (52.5)$$

$$A = 25 \text{ KVA;}$$

El valor comercial más cercano para A es de 25 KVA.

$$B = (2/3) (22.5) + (1/3) (52.5)$$

$$B = 32.5$$

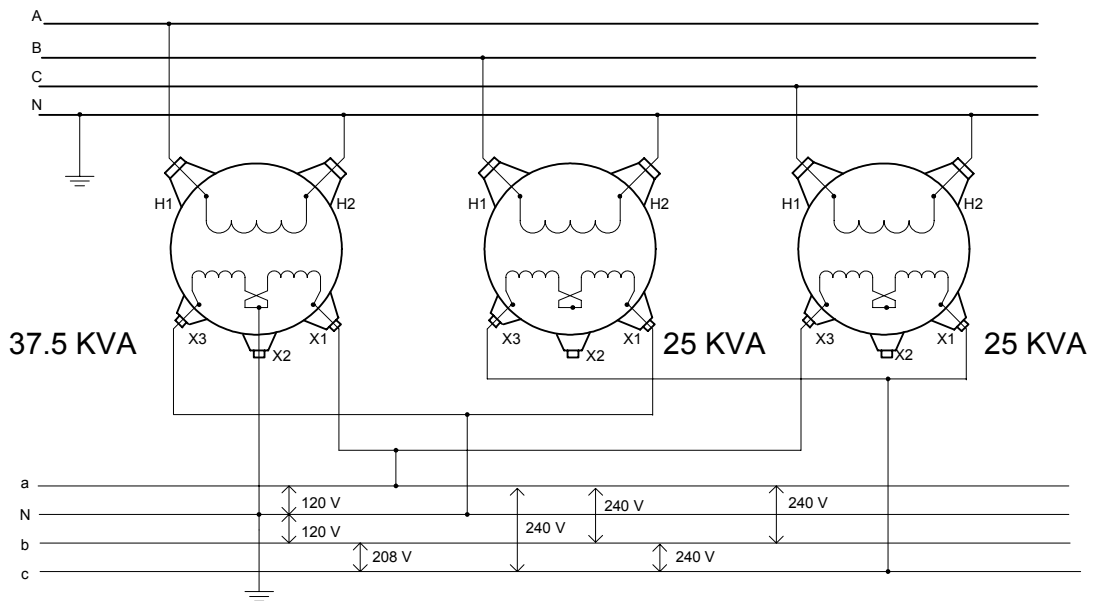
El valor comercial más cercano para B es de 37.5 KVA.

La subestación a instalar deberá ser:

$$2 \times \text{"A"} \text{ KVA} + 1 \times \text{"B"} \text{ KVA.}$$

$$\mathbf{2 \times 25 \text{ KVA} + 1 \times 37.5 \text{ KVA.}}$$

Capacidad instalada: 2x25 KVA + 1x 37.5 KVA; conexión Y-Δ 120 /240 V.



## CONCLUSIONES

### a) Sobre el documento.

La utilización de este manual puede abrir un panorama claro de los problemas de ahorro energético que ocurren regularmente en las pequeñas y medianas empresas. En este se presentan soluciones claras y sencillas en base a conceptos teóricos prácticos.

El manual abarca áreas específicas en donde las PYMES se desarrollan y quedará a opción del o los usuarios la explotación al máximo de esta herramienta.

En el desarrollo de este trabajo se puede observar que las PYMES tienen un bajo grado de conocimientos sobre técnicas y estrategias para el ahorro energía eléctrica, lo cual este trabajo presenta un alto grado de satisfacción y aceptación como una herramienta que contribuye al ahorro energético.

El presente trabajo obtiene grandes oportunidades de desarrollo en torno al ahorro energético en el área de subestaciones eléctricas ya que es en donde mayores debilidades presentan las PYMES.

### b) Sobre el programa

El programa esta diseñado para realizar análisis económicos en ahorro energético basados en las técnicas y estrategias sencillas desarrolladas en conceptos teóricos prácticos. Se presenta datos económicos que fueron extraídos o traducidos de variables eléctricas.

El programa presenta gran versatilidad en torno a diseño y comparación de alternativas, que son de valiosa ayuda en su momento.

El programa logra un gran impacto económico mayores en las áreas de pliego variables eléctricas, tarifario, iluminación y estaciones de transformación, en donde este ultimo toma mayor trascendencia por la rápida recuperación de la inversión.

El uso en conjunto del programa y manual (documento escrito), lograra mayores beneficios que la utilización individual de cada de uno.

## RECOMENDACIONES

### a) Sobre el documento

Este documento se orienta a personas con conocimientos sólidos de energía eléctrica, las cuales deben de ser capaz de conocer los conceptos básicos de ingeniería eléctrica.

Se debe de tener un conocimiento previo del entorno de las áreas desarrolladas en este documento, por lo que se debe de leer detenidamente cada capítulo de interés, para obtener una valoración mas efectiva de cada tema en los resultados finales del ahorro energético.

El usuario del presente debe tomar en cuenta que puede usar parte y total de este documento.

En cada capítulo del documento se exponen algunas técnicas de las más importantes que pueden beneficiar en gran medida al ahorro energético; así como teoría básica e importante de los diferentes tópicos en análisis.

En el presente se analizan diferentes equipos y maquinas eléctricas que si bien es cierto se describen por algunas marcas, pero eso no quiere decir que el análisis de otras marcas varíen en gran medida en el resultado. Por ejemplo en los equipos de refrigeración se puede analizar cualquier equipo de refrigeración en base a las características técnicas que el programa exige para el análisis.

El uso de las hojas de cotejo en este documento ayudara en gran medida a recopilación de datos que serán utilizados en conjunto al programa para la obtención de los resultados.

En el caso de motores eléctricos se describen diferentes técnicas de ahorro energético en el arranque de motores, las cuales tomaran mas importancia cuando los motores sean de mayor de potencia que los utilizados regularmente en las pequeñas y medianas empresas y cuando los motores sean de menor potencia, pero utilizados en gran cantidad.

Para que el manual alcance una mayor utilidad y significado se recomienda su difusión a través de alguna organización que apoye a las medianas y pequeñas empresas como por ejemplo FUNDAPYME. Además se recomienda este manual para cursos de capacitación en las áreas descritas por este.

## **b) Sobre el programa**

Al utilizar el programa el usuario debe de tener un conocimiento básico de Excel que le permitirá profundizar más en el uso de este. El programa esta diseñado para dejarse guiar por medio del índice general o índice del capítulo en base al análisis que mas le conviene analizar.

El usuario del programa se debe de apoyar en las hojas de cotejo y en los ejemplos descritos en el documento con el objetivo de realizar más fácilmente la introducción de los valores en las casillas amarillas.

Si el usuario tiene algún problema de interpretación técnico del programa debe de referirse inmediatamente al documento escrito donde puede aclarar sus dudas técnicas.

Existen diferentes notas escritas a lo largo del programa que permiten ser una guía fácil para utilizar el programa.

Es importante señalar que se deben introducir en el programa los valores a analizar solamente en las casillas amarillas, teniendo cuidado de no tratar de introducir valores en las casillas blancas aunque la inmensa mayoría se encuentra protegidas.

Si se tiene alguna duda o fallo del programa se debe de volver a cargar de la versión original como cualquier documento de Excel.

Las valoraciones económicas se han realizado en base del análisis simple económico, el tiempo de recuperación en algunos casos se debe de tomar en cuenta la vida útil de algunos equipos.

Al realizar un análisis se debe de tomar en cuenta cual es la distribuidora en la que se esta ubicado el usuario y adecuar las tarifas de acuerdo al pliego tarifario.

**HOJA DE COTEJO**  
Dimensionamiento de Conductores Eléctricos

Para dimensionar el calibre adecuado del conductor eléctrico para alimentar una carga eléctrica a baja tensión, deben seguirse los siguientes pasos:

1. DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA ELÉCTRICA

Las características de la carga eléctrica pueden ser leídas directamente de la placa de datos de ésta; de lo contrario dichas características pueden ser obtenidas realizando mediciones similares a las mostradas en la página I - 24.

Potencia consumida: \_\_\_\_\_ (W)

Voltaje nominal: \_\_\_\_\_ (V)

Factor de potencia: \_\_\_\_\_

Horas diarias de operación: \_\_\_\_\_ (H)

Costo de energía KWH: \_\_\_\_\_ (\$)

2. SELECCIONAR LAS CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTOR ELÉCTRICO

Las características del conductor a utilizar deben seleccionarse con base a las características físicas y eléctricas de la carga eléctrica a alimentar.

MATERIAL DEL CONDUCTOR

Cobre \_\_\_\_\_

Aluminio \_\_\_\_\_

Longitud del conductor: \_\_\_\_\_ (mts)

Porcentaje máximo de caída de voltaje: \_\_\_\_\_ (%)

3. SELECCIONAR EL CALIBRE DEL CONDUCTOR ELÉCTRICO A UTILIZAR

La selección del calibre del conductor eléctrico debe realizarse con base al valor recomendado, pero también con base en la ampacidad mínima de conductor a utilizar. Los criterios básicos para la correcta selección del conductor pueden ser consultados en las páginas I – 29, I – 30, y I – 35.

#### 4. COMPARAR Y VALORAR ECONÓMICAMENTE

La valoración económica del conductor eléctrico elegido se puede realizar conociendo el valor de la energía y el valor de la inversión inicial de la instalación del conductor; el primer valor puede ser tomado de la factura de la energía eléctrica, mientras que el segundo debe ser cotizado.

Inversión inicial por instalación del conductor: \_\_\_\_\_ (\$)

Para comparar el conductor elegido con un conductor existente o actual, basta con introducir el valor de la sección transversal de dicho conductor y seleccionar la opción "COMPARAR".

#### 5. INTRODUCIR LA INFORMACIÓN RECOPIADA EN EL PROGRAMA PAE

Una vez llenados todos los datos requeridos en esta hoja, introdúzcalos en el programa de ahorro de energía eléctrica (PAE) en la sección de "VARIABLE ELÉCTRICAS", seleccionando la opción "Dimensionamiento de Conductores Eléctricos".

**HOJA DE COTEJO**  
Dimensionamiento de un Banco de Capacitores

Para determinar las dimensiones del banco de capacitores necesario para corregir el bajo factor de una instalación eléctrica deben seguirse los siguientes pasos:

1. DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Las distintas características de la instalación eléctrica requeridas pueden ser leídas directamente de la factura de energía eléctrica.

Potencia mensual demandada: \_\_\_\_\_ (KW)

Energía mensual consumida: \_\_\_\_\_ (KWH)

Factor de potencia actual: \_\_\_\_\_

Factor de potencia deseado: \_\_\_\_\_

Costo de la energía KWH: \_\_\_\_\_ (\$)

2. SELECCIONAR LAS DIMENSIONES DEL BANCO DE CAPACITORES

Luego de haberse calculado el valor exacto del banco de capacitores necesarios para alcanzar el valor del factor de potencia deseado, se debe seleccionar el valor banco de capacitores con base a los valores comerciales más comunes en el mercado, procurando alcanzar un valor aproximado al valor exacto recomendado. Los valores comerciales más comunes en el mercado pueden ser consultados en la página II – 28.

Capacidad el banco de capacitores seleccionado: \_\_\_\_\_ (KVARs)

Inversión inicial del banco de capacitores: \_\_\_\_\_ (\$)

3. INTRODUCIR LA INFORMACIÓN RECOPIADA EN EL PROGRAMA PAE

Una vez llenados todos los datos requeridos en esta hoja, introdúzcalos en el programa de ahorro de energía eléctrica (PAE) en la sección de "PLIEGO TARIFARIO", seleccionando la opción "Dimensionamiento de un banco de capacitores".

## EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE BANCO DE CAPACITORES

### Dimensionamiento de de capacitores

Una pequeña panadería que cuenta con área de producción y su propia sala de ventas, recibe una carta por parte de la distribuidora de energía eléctrica, en donde se notifica que dentro del periodo 18/07/06 al 18/08/06, se ha detectado factor de potencia igual a 0.75; por lo que tiene un plazo de 90 días para corregir el bajo factor de potencia, de lo contrario será penalizado desde el momento en que se detecto el bajo factor.

La solución a este problema consta en instalar capacitores al sistema para que estos compensen de energía reactiva, y de esta manera aumentar el factor de potencia mayor que 0.9. Determine el banco de capacitares necesario par corregir este problema.

**PASO 1:** Identificar la información necesaria para conocer el tamaño de los capacitores a instalar así como el monto de la penalización.

Existen muchas formas de conocer esta información, la mas fácil y recomendada es obtener esta información directamente de la factura emitida por la distribuidora, la otra opción es instalar un medidor de variables eléctricas durante un periodo considerable (mayor a 48 horas) y obtener de el todas las variables; este caso resulta ser menos recomendable porque se incurrirán en gastos para contratar una persona/empresa que lo haga.

Los puntos a identificar dentro de una factura son:

- 1- Demanda facturada (KW): "Este valor se encarga de catalogar el tipo de tarifa que posee el consumidor. Este parámetro, en conjunto con el factor de potencia determinara la máxima demanda en KVA, que en algún momento demandara la carga conectada al sistema.
- 2- Factor de potencia: (mínimo); Este valor, en conjunto con los KW máximos dará a conocer el triangulo de potencia más desfavorable con el que puede operar el sistema, y en base a este se recomendara la dimensión de los capacitares.
- 3- Consumo máximo de energía. "Este valor permitirá conocer cuanto es el moto aproximado en dólares, por el pago mensual de energía.
- 4- Costo por \$/KWh.
- 5- Costo por uso de la red (\$/KW).

Esta se toma directamente de una factura tal como se muestra a continuación.

<b>TITULAR DE PAGO</b> EMPRESA FLEXOPRINT SA DE CV AUTOPISTA A COMALAPA CARR 19 ANTONIO GUADALUPE SAN MARCO COLONIA SAN ANTONIO		1110-27-4-2125 <b>2710</b> DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DEL SUR, S.A. DE C.V. Transformación, Distribución y Suministro de Energía Eléctrica Final 7a. Avenida Norte y Calle al Volcán, contiguo a Aldeas Infantiles S.O.S.		<b>DELSUR</b> COMP. DE CREDITO FISCAL <b>Serie B No.8090155</b> REGISTRO No. 19895-3 NIT.0614-161195-101-3 GIRO: LUZ Y FUERZA ELECTRICA AUTORIZACION IMPRENTA No. 0026 D.G.I.I.																																									
112193-6      06141004991049		OFICINA COMERCIAL      TITULAR DEL CONTRATO SA DE CV		DIRECCION DEL SERVICIO AUTOPISTA A COMALAPA CARR 19 A COLONIA SAN ANTONIO GUADA																																									
TARIFA MBP      NIS <b>5030633</b> NIR 0.5030633.01-2006/08/18-25      CAP. DE SUMINISTRO CONTRATADO 45.00 Kw.      DEMANDA FACTURADA 64.00 Kw.		Med. Dem. Baja Tension con pot.      NPE 026200005487680622652322																																											
<b>LECTURAS Y CONSUMOS</b>																																													
<b>CALCULO DE CONSUMO</b>		<b>LECTURAS</b>																																											
		<b>ANTERIOR</b>	<b>ACTUAL</b>	<b>CONSUMO</b>																																									
Activa		184639	301422	116783																																									
Potencia maxime		58327	37029	37																																									
Factor de Poten		81	75	75																																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="8" style="text-align: center;">PRECIO TARIFA APLICADA \$</th> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">CARGOS FIJOS</th> <th colspan="4" style="text-align: center;">CARGOS VARIABLES</th> </tr> <tr> <th>INICIO</th> <th>FINAL</th> <th>AT. CLTE.</th> <th>USO RED</th> <th>PUNTA/ACTIVA</th> <th>RESTO</th> <th>VALLE</th> <th>U. RED</th> </tr> <tr> <td>01/07/2006</td> <td>01/08/2006</td> <td>0.705638</td> <td>0.000000</td> <td>.105920</td> <td>.000000</td> <td>0.000000</td> <td>16.680705</td> </tr> <tr> <td>01/08/2006</td> <td></td> <td>0.705638</td> <td>0.000000</td> <td>.105920</td> <td>.000000</td> <td>0.000000</td> <td>16.680705</td> </tr> </table>						PRECIO TARIFA APLICADA \$								CARGOS FIJOS				CARGOS VARIABLES				INICIO	FINAL	AT. CLTE.	USO RED	PUNTA/ACTIVA	RESTO	VALLE	U. RED	01/07/2006	01/08/2006	0.705638	0.000000	.105920	.000000	0.000000	16.680705	01/08/2006		0.705638	0.000000	.105920	.000000	0.000000	16.680705
PRECIO TARIFA APLICADA \$																																													
CARGOS FIJOS				CARGOS VARIABLES																																									
INICIO	FINAL	AT. CLTE.	USO RED	PUNTA/ACTIVA	RESTO	VALLE	U. RED																																						
01/07/2006	01/08/2006	0.705638	0.000000	.105920	.000000	0.000000	16.680705																																						
01/08/2006		0.705638	0.000000	.105920	.000000	0.000000	16.680705																																						
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">DATOS DEL SUMINISTRO</th> </tr> <tr> <th>TIPO DE CONSUMO</th> <th>MEDIDOR</th> <th>MULT.</th> <th>TIPO.</th> <th>COEFICIENTE DE PERD.</th> </tr> <tr> <td>Activa</td> <td>149885</td> <td>0.100</td> <td>KWh</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Potencia maxime</td> <td>149885</td> <td>0.501</td> <td>KW</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Factor de Poten</td> <td>149885</td> <td>1.000</td> <td></td> <td>0.00</td> </tr> </table>						DATOS DEL SUMINISTRO					TIPO DE CONSUMO	MEDIDOR	MULT.	TIPO.	COEFICIENTE DE PERD.	Activa	149885	0.100	KWh	0.00	Potencia maxime	149885	0.501	KW	0.00	Factor de Poten	149885	1.000		0.00															
DATOS DEL SUMINISTRO																																													
TIPO DE CONSUMO	MEDIDOR	MULT.	TIPO.	COEFICIENTE DE PERD.																																									
Activa	149885	0.100	KWh	0.00																																									
Potencia maxime	149885	0.501	KW	0.00																																									
Factor de Poten	149885	1.000		0.00																																									
DIAS FACTURADOS 31 MES FACTURADO 08/2006 FECHA EMISION 21/08/2006		PERIODO DESDE 18/07/2006 HASTA 18/08/2006		SALDO PENDIENTE 2 682.22																																									
<b>FECHA DE VENCIMIENTO 05/09/2006</b>																																													
<b>OTROS SERVICIOS CONTRATADOS CON DEL SUR</b>																																													
<b>PROVISIONADO</b>																																													
Fecha <u>31/08/06</u> Cuenta <u>1160201</u> TOTAL 0.00																																													
Firma <u>[Firma]</u> DEL SUR + otros servicios				TOTAL DELSUR 5 487.68																																									
No.05D:000003051139 TIRAJE DEL 00000001 AL 03400000 29 SEP 2005 No. DE AUTORIZACION DE NUMERACION CORRELATIVA: 10115-RES-CR-05730-2005 <b>COMPROBANTE DEL CLIENTE</b>																																													

**DETALLE DE FACTURACION/ENERGIA**

VENTAS GRAYADAS	
Cargo por uso red (Potencia)	1 067.57
Costo por Tasa Municipal por Poste/uso de red	0.18
Cargo Fijo Atencion Cliente	0.71
Descuento especial DELSUR	-8.23
Cargo por energia	1 236.94
Cargo por Penalizacion (FP)	185.54
Total Afecto x Energia	2 482.71
SUBTOTAL VENTAS GRAYADAS	2 482.71
I.V.A	322.75
TOTAL DEL MES	2 805.46

\$ 2,813.86

Consumo	9441	8650	9322	7057	11406	11678
Fecha Lect	20 MAR	19 ABR	18 MAY	17 JUN	18 JUL	18 AGO

El consumo promedio de los últimos 8 meses es 9 592.33 Kwh

**PASO 2:** Dimensionamiento de los capacitares y el monto de la penalización.

Una vez conocidas el valor de todas las variables, estas deberán ser ingresadas en el programa de ahorro energético "PAE", de igual forma se deberá de ingresar el factor de potencia deseado (este se recomienda que sea de 0.95) tal como se muestra a continuación.

CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN	
Potencia mensual demandada (KW)	64.00
Energía mensual consumida (KWH)	11,678.00
Factor de potencia actual	0.75
Factor de potencia deseado	0.95
Costo de la energía KWH (\$)	\$0.1059

Al ingresar estos datos en el "PAE" este se encargara de: Dimensionar el capacitor adecuado para mejorar el factor de potencia de 0.75 a 0.95; este proceso esta descrito en la página II-17, dando como resultado la siguiente tabla,

BANCO DE CAPACITORES RECOMENDADO	
Capacidad de banco de capacitores Recomendado (KVARs)	<b>35.41</b>
Capacidad de banco de capacitores Seleccionado (KVARs)	35.00
Factor de potencia obtenido	0.95
Inversión inicial (\$)	\$1,900.00

La tabla anterior en donde los datos que debe de ingresarse son las casillas de color "capacidad de banco de capacitores seleccionado (KVA)" e "Inversión inicial" la cual debe de ser seleccionada de la tabla mostrada en la pagina II-25, donde se eligió un valor de 35 KVAR, el cual proviene de un arreglo de 25 + 10 KVAR siendo este un valor inmediato superior al recomendado por el programa y tiene un costo aproximado de \$1,900.00 donde ya se incluyen elementos de protección y desconexión.

**PASO 3.** Evaluación económica de la inversión.

El programa también es capaz de calcular el monto de la penalización que se esta o estaría percibiendo en el caso de operar con un bajo factor de potencia (< 0.9) y el costo mensual por energía.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA COMPENSADA		INSTALACIÓN ELÉCTRICA NO COMPENSADA	
Costo mensual de la energía KWH (\$)	\$1,236.70	\$1,236.70	Costo mensual de la energía KWH (\$)
Ahorro mensual por no penalización (\$)	\$185.51	\$185.51	Costo mensual por penalización (\$)

De esta manera es posible conocer el tiempo de recuperación de la inversión utilizando el interés simple, es decir la inversión / Ahorro por no penalización, de esta manera es posible evaluar económicamente la adquisición de reactivos.

VALORACIÓN ECONÓMICA INSTALACIÓN COMPENSADA	
Tiempo de recuperación de la inversión (meses)	10.24

El periodo de recuperación de la inversión es de 10.24 meses, con este dato queda a criterio del propietario en realizar la inversión.

**HOJA DE COTEJO**  
Dimensionamiento de Iluminación Interior

Para determinar el número de luminarias a instalarse en un local deberán seguirse los siguientes pasos:

1. DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEL RECINTO

Se deben medir las dimensiones del recinto en cuanto a su largo, ancho y alto.

Largo: \_\_\_\_\_ (mts)      Ancho: \_\_\_\_\_ (mts)      Alto: \_\_\_\_\_ (mts)

2. DETERMINAR LAS ALTURAS DE LAS CAVIDADES ZONALES

Una vez conocidas las dimensiones del recinto, se debe determinar las alturas de las diferentes cavidades zonales de éste; éstas alturas pueden ser consultadas en la página III - 14.

Altura de cavidad de techo: \_\_\_\_\_ (mts)

Altura de cavidad de local: \_\_\_\_\_ (mts)

Altura de cavidad de piso: \_\_\_\_\_ (mts)

3. SELECCIONAR EL VALOR DE LOS FACTORES DE UTILIZACIÓN Y MANTENIMIENTO

El valor de los factores de debe ser elegido con base a los criterios mencionados en este capítulo. Los criterios para la asignación de valores a cada factor se describen en las páginas III -15 y III-16.

Factor de Utilización: \_\_\_\_\_      Factor de mantenimiento: \_\_\_\_\_

4. ELEGIR EL NIVEL DE ILUMINACIÓN REQUERIDO

Los niveles de iluminación requeridos para los distintos tipos de actividades pueden ser consultados en la página III-9.

Nivel de iluminación requerido: \_\_\_\_\_ (Luxes)

5. SELECCIONAR EL TIPO DE LUMINARIA A INSTALARSE

En la selección del tipo luminaria se deberá tener en cuenta las características de la lámpara en cuanto a la cantidad de lúmenes entregados, la tonalidad de la luz, y la reproducción de color de la luz que produce.

Lámparas por luminaria: \_\_\_\_\_

Lúmenes producidos por lámpara: \_\_\_\_\_ (Lúmenes)

Potencia consumida por luminaria: \_\_\_\_\_ (W)

Horas diarias de operación: \_\_\_\_\_ (H)

Inversión inicial por luminaria: \_\_\_\_\_ (\$)

#### 6. COMPARAR Y VALORAR ECONÓMICAMENTE

La valoración económica del sistema de iluminación elegido se puede realizar conociendo el valor de la energía y el valor de la inversión inicial por luminaria; el primer valor puede ser tomado de la factura de energía eléctrica, mientras que el segundo debe cotizarse.

Inversión inicial por luminaria: \_\_\_\_\_ (\$)

Para comparar el sistema de iluminación elegido con un sistema de iluminación actual o existente, se debe repetir el paso 5 con dicho sistema de iluminación.

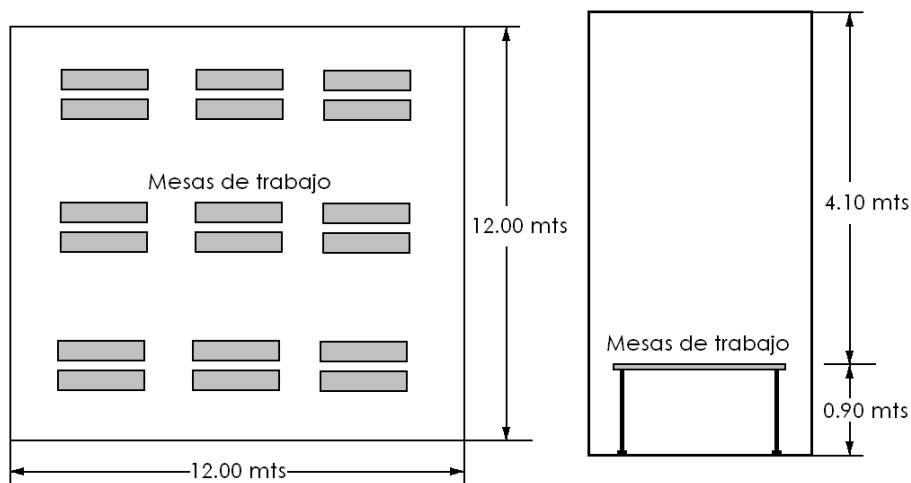
#### 6. INTRODUCIR LA INFORMACIÓN RECOPIADA EN EL PROGRAMA PAE

Una vez llenados todos los datos requeridos en esta hoja, introdúzcalos en el Programa de Ahorro de Energía Eléctrica (PAE) en la sección de "ILUMINACIÓN", seleccionando la opción "Dimensionamiento de iluminación interior".

## EJEMPLO DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN INTERIOR

### Diseño de iluminación para una industria textil

Una empresa dedicada a la manufactura textil desea ampliar su producción, instalando 18 mesas de trabajo adicionales en donde se realizarán trabajos de inspección de costuras y limpieza de la ropa; dichas mesas de trabajos serán instaladas en una galera existente. Las dimensiones de cada mesa de trabajo serán de 2.5 x 1.0 x 0.90m, mientras que las dimensiones de la galera son 12.0x12.0x 5.0m. Diseñar la iluminación para dicha galera, según la distribución en planta de las mesas de trabajo mostradas en planos.



#### **PASO 1:** Seleccionar el sistema y el nivel de iluminación idóneo.

La selección del sistema de iluminación debe realizarse con base a los niveles de iluminación requeridos para la actividad a realizar, y las dimensiones del local. Para este caso, el nivel de iluminación requerido para realizar los trabajos de inspección de costuras y limpieza de ropa, requiere un nivel de iluminación alto; sin embargo el local posee dimensiones considerablemente grandes, por lo cual se recomienda utilizar un sistema de iluminación general y localiza de apoyo. La elección de un sistema de iluminación general uniforme no es económicamente factible pues requiere la instalación de una gran cantidad de luminarias para lograr los niveles de iluminación requeridos en el plano de trabajo; por otro lado, un sistema de iluminación localizado, aunque provee niveles de iluminación altos sobre el plano de trabajo, no proveería iluminación general para el transito de personas por el local durante la noche.

SISTEMA DE ILUMINACIÓN: **Iluminación general y localizada de apoyo.**

Por otro lado, la actividad a realizarse sobre las mesas de trabajo se clasifica dentro de las actividades con requerimientos visuales especiales, siendo necesario un nivel de iluminación de por lo menos 1,000 Luxes; mientras que los niveles de iluminación general para la galera pueden recaer dentro de los 250 luxes, debido a que la iluminación será únicamente para permitir el tránsito de personas.

NIVEL DE ILUMINACIÓN GENERAL PARA MESAS DE TRABAJO: **250 Luxes**

NIVEL DE ILUMINACIÓN LOCALIZADO PARA MESAS DE TRABAJO: **2,000 Luxes**

Tanto los distintos sistemas de iluminación, como los niveles de iluminación por actividad a realizar, pueden ser consultados en las páginas III – 8 a III – 13.

**PASO 2:** Medición de las dimensiones requeridas

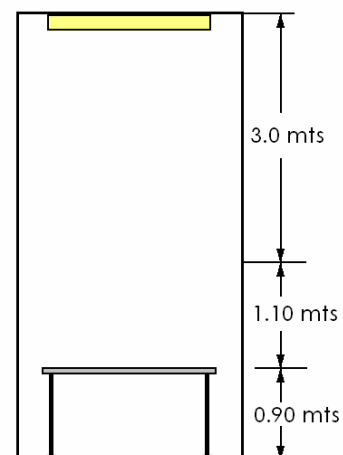
Como se ha seleccionado un sistema de iluminación general y localizada de apoyo, se deberá realizar por separado el cálculo de la iluminación general, del cálculo de la iluminación de apoyo. Las dimensiones a considerar para cada cálculo de iluminación son medidas según se muestra en la página III – 14.

ILUMINACIÓN GENERAL

Para este caso, las dimensiones a considerar son las dimensiones totales del local, es decir las dimensiones de la galera. Las alturas consideradas para el cálculo de iluminación son las que se muestran en la figura:

DIMENSIONES DE LA GALERA	
Largo	12.0 mts
Ancho	12.0 mts
Alto	5.0 mts

ALTURAS DE CAVIDADES	
Altura de cavidad de techo	0.0 mts
Altura de cavidad de local	4.10 mts
Altura de cavidad de piso	0.90 mts

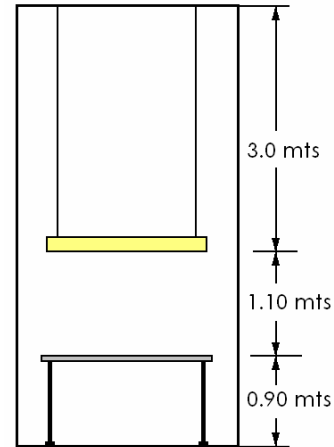


ILUMINACIÓN LOCALIZADA DE APOYO

Para este caso, las dimensiones a considerar son las dimensiones de cada puesto de trabajo. Las alturas consideradas para el cálculo de iluminación son las que se muestran en la figura:

DIMENSIONES DE MESAS DE TRABAJO	
Largo	2.5 mts
Ancho	1.0 mts
Alto	0.75 mts

ALTURAS DE CAVIDADES	
Altura de cavidad de techo	3.0 mts
Altura de cavidad de local	1.10 mts
Altura de cavidad de piso	0.90 mts



Una vez identificados los valores de las distintas dimensiones requeridas, se introducen los datos al programa de ahorro de energía eléctrica (PAE), del cual se obtiene los siguientes valores de las relaciones de cavidad:

ILUMINACIÓN GENERAL		ILUMINACIÓN LOCALIZADA DE APOYO	
Relación de techo	0.00	Relación de techo	21.0
Relación de local	3.42	Relación de local	7.70
Relación de piso	0.75	Relación de piso	6.30

Aplicando los criterios expuesto en las páginas III - 15 a III - 17, se pueden elegir los factores de mantenimiento y utilización más adecuados para cada caso. Los factores elegidos son los siguientes:

ILUMINACIÓN GENERAL		ILUMINACIÓN LOCALIZADA DE APOYO	
Factor de utilización	1.0	Factor de utilización	1.0
Factor de mantenimiento	0.80	Factor de mantenimiento	1.0

La elección de los factor de mantenimiento obedece principalmente a la suposición que el mantenimiento de las luminarias sobre las mesas de trabajo será muy bueno, mientras que el mantenimiento de las luminarias de la galera será regular. Por otro lado el factor de utilización es en ambos casos 1, debido principalmente a que se espera que la luz producida por ambos sistemas de iluminación, sea aprovechada al máximo debido a la geometría particular del local y de la ubicación de las luminarias en éste.

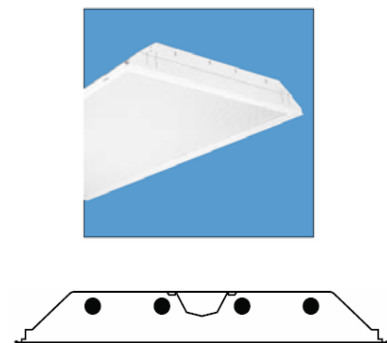
**PASO 3:** Seleccionar el tipo de luminarias.

La elección del tipo de luminarias, tanto para la galera como para las mesas de trabajo, debe estar basada principalmente en las características lumínicas como sus características físicas. Para el caso de la iluminación de la galera se ha seleccionado una luminaria fluorescente tubular con difusor acrílico prismático de alta eficiencia; y en el caso de las mesas de trabajo se ha seleccionado una luminaria fluorescente tubular con un luminario tipo campana sin difusor. Las características de cada tipo de luminaria se muestran a continuación:

ILUMINACIÓN GENERAL

Luminaria fluorescente tubular, 4X32W, difusor acrílico prismático de alta eficiencia.

CARACTERÍSTICAS DE LUMINARIA ELEGIDA	
Lámparas por luminaria	4
Lúmenes por luminaria	2,600
Potencia demandada por luminaria (W)	112
Horas diarias de operación	8.0
Inversión inicial por luminaria	\$50.00



ILUMINACIÓN LOCALIZADA DE APOYO

Luminaria fluorescente tubular, 2X75W, reflector tipo campana.

CARACTERÍSTICAS DE LUMINARIA ELEGIDA	
Lámparas por luminaria	2
Lúmenes por luminaria	6,000
Potencia demandada por luminaria (W)	110
Horas diarias de operación	8.0
Inversión inicial por luminaria	\$ 70.00



En las tablas anteriores, puede verse que la potencia demandada por la luminaria no es la suma de las potencias de las lámparas, sino que este dato fue tomado de la demanda de potencia del balastro del luminario según datos del fabricante. Las horas de operación se refiere a las horas se utilizará la iluminación, mientras que la inversión inicial por luminaria considera el costo de la luminaria como su instalación.

**PASO 4:** Introducir los valores al Programa de Ahorro de Energía Eléctrica (PAE).

Una vez se han recopilado toda la información requerida en la hoja de cotejo, se introducen todo los valores en el programa de ahorro de energía eléctrica (PAE), seleccionando la opción "DISEÑAR". Los resultados obtenidos del análisis realizado son los siguientes:

ILUMINACIÓN GENERAL

ILUMINACIÓN RECOMENDADA	
Número de luminarias	4
Nivel de iluminación producido	250 Luxes
Potencia total demanda de las luminarias	448 W
Costo por operación mensual	\$10.75

ILUMINACIÓN GENERAL

ILUMINACIÓN RECOMENDADA	
Número de luminarias	1
Nivel de iluminación producido	2,000 Luxes
Potencia total demanda de las luminarias	448 W
Costo por operación mensual	\$10.75

**HOJA DE COTEJO**Dimensionamiento de Pérdidas en Motores eléctricos

El dimensionamiento de las pérdidas de un motor eléctrico y su evaluación económica, deben seguirse los siguientes pasos:

**1. LECTURA DE DATOS DE PLACA DEL MOTOR**

Las características de un motor eléctrico pueden ser tomadas directamente de su placa de características, o bien, leídas en los manuales del fabricante o folletería que generalmente poseen los proveedores de éstos.

Caballaje del motor: \_\_\_\_\_ (HP)

Eficiencia: \_\_\_\_\_ (%)

Factor de potencia: \_\_\_\_\_

**2. DETERMINAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MOTOR**

Las horas diarias de operación de un motor eléctrico se refiere a las horas efectivas en que éste se encuentra encendido durante el día.

Horas diarias de operación: \_\_\_\_\_ (H)

**3. COMPARAR Y EVALUAR ECONÓMICAMENTE**

La valoración económica de un motor eléctrico elegido se puede realizar conociendo el costo de la energía y el valor de la inversión inicial por la compra de éste; el primer valor puede ser tomado de la factura de energía eléctrica, mientras que el segundo debe cotizarse.

Costo de la energía: \_\_\_\_\_ (\$)

Inversión inicial: \_\_\_\_\_ (\$)

Para comparar dos motores, debe realizarse del paso 1 al paso 3 con cada motor; si se desea comparar un único motor con eficiencias y factores de potencias distintos, se debe introducir los valores de la condición A y la condición B por separado.

**4. INTRODUCIR LA INFORMACIÓN RECOPIADA EN EL PROGRAMA PAE**

Una vez llenados todos los datos requeridos en esta hoja, introdúzcalos en el Programa de Ahorro de Energía Eléctrica (PAE) en la sección de "MOTORES ELÉCTRICOS", seleccionando la opción "Dimensionamiento de pérdidas en motores eléctricos".

## EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE MOTORES ELÉCTRICOS

### Dimensionamiento de las pérdidas de un motor eléctrico

Una empresa dedicada a rectificación de piezas posee un motor eléctrico al cual se le aplica una carga variable durante el día. El porcentaje de carga aplicado al motor durante el día es del

75% de carga, potencia de motor 5 HP, 220 V .

**PASO 1:** Generalmente los fabricantes de motores eléctricos especifican en folletos la eficiencia del motor a distintos niveles de potencia de carga.

Para este motor del folleto de Motores trifásicos se determina que.

Potencia en HP: **5 hp**

Eficiencia (75% de carga): **84.8%**

**PASO 2:** Además se debe de introducir el valor ó costo del motor (Inversión Inicial) para obtener un valor de tiempo de recuperación.

Inversión inicial (\$): **\$ 322**

**PASO 3:** Por ultimo se debe de introducir el costo de la energía eléctrica KWH (\$), dato que servirá como parámetro económico para poder determinar costos, así también se introducirá el número de horas diarias trabajadas por el motor eléctrico.

Costo de energía (\$): **\$ 0.105920**

Horas diarias de operación (H): **16**

**PASO 4:** Para obtener todos los datos a calcular se debe de presionar el botón analizar y se obtendrán en las casillas de color blanco los resultados.

**PASO 1:** En la columna de la izquierda se deben de introducir el valor de potencia en HP y la eficiencia al mismo nivel de carga que el motor Estándar.

Para este motor del folleto de Motores trifásicos se determina que.

Potencia en HP: **5 hp**                      Eficiencia (75% de carga): **86%**

**PASO 2:** Además se debe de introducir el valor ó costo del motor (Inversión Inicial) para obtener un valor de tiempo de recuperación.

Inversión inicial (\$): **\$ 410**

**PASO 3:** Por ultimo se debe de introducir el costo de la energía eléctrica KWH (\$) que debe de ser igual al motor Standard, dato que servirá como parámetro económico para poder determinar costos, así también se introducirá el número de horas diarias trabajadas por el motor eléctrico.

Costo de energía (\$): **\$ 0.105932**                      Horas diarias de operación (H): **16**

**PASO 4:** Para obtener todos los datos a calcular se debe de presionar el botón analizar y se obtendrán en las casillas de color blanco los resultados.

Motor de Alta Eficiencia		Motor de Eficiencia Estándar	
Caballaje (HP)	5	5	Caballaje (HP)
Eficiencia (%)	86	84.8	Eficiencia (%)
Factor de potencia	0.82	0.83	Factor de potencia
Horas de diarias de operación (H)	16.00	16.00	Horas de diarias de operación (H)
Inversión inicial (\$)	\$410.00	\$322.00	Inversión inicial (\$)
Costo de energía KWH (\$)	\$0.11	\$0.11	Costo de energía KWH (\$)
Energía anual consumida (Kwh)	25,329.30	25,687.74	Energía anual consumida (Kwh)
Costos anuales de energía consumida (\$)	\$2,786.22	\$2,825.65	Costos anuales de energía consumida (Kwh)
Pérdidas anuales de energía (Kwh)	3,049.65	3,311.05	Pérdidas anuales de energía (Kwh)
Porcentaje de pérdidas anuales de energía (%)	14	15.2	Porcentaje de pérdidas anuales de energía (%)
Costos anules por pérdida de energía (\$)	\$335.46	\$364.22	Costos anules por pérdida de energía (\$)

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL MOTOR DE ALTA EFICIENCIA	
Ahorro anual por energía consumida (KWH)	358.43
Ahorro anual de energía consumida (\$)	\$39.43
Tiempo de recuperación de la inversión (Años)	<b>8.17</b>

Estos datos pueden interpretarse de distinta forma, el ahorro económico anual pueden representar una gran diferencia cuando se trata de analizar una gran cantidad de motores eléctricos.

## HOJA DE COTEJO

Dimensionamiento de Unidades de Aire Acondicionado

Para el dimensionamiento de la capacidad de una unidad de aire acondicionado, independientemente el tipo de unidad a ser instalada, deben cuantificarse las diferentes cargas térmicas dentro del local a acondicionar. Para lograr esto deberá llenarse la siguiente tabla, teniendo el cuidado hacer las mediciones en las unidades indicadas en ésta.

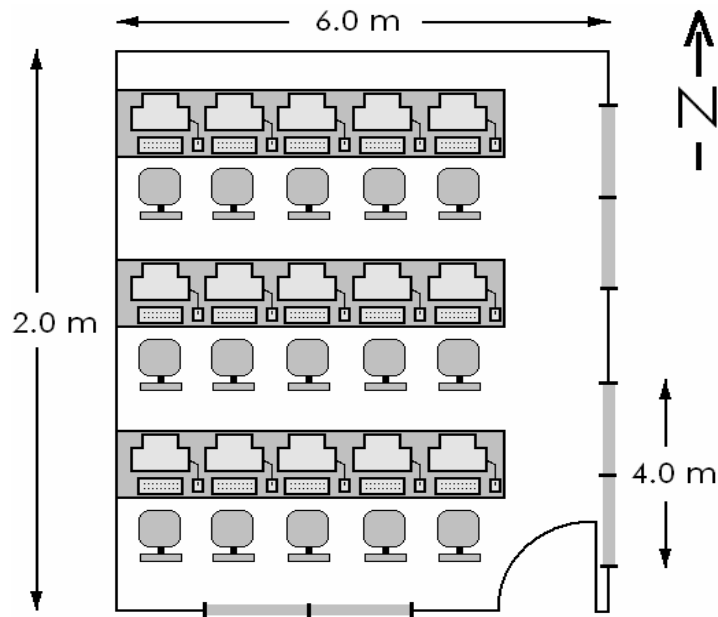
<b>CARGA TÉRMICA</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MEDICIÓN</b>
Ventanas expuestas al sol	m <sup>2</sup>	
Ventanas poco expuestas al sol	m <sup>2</sup>	
Pared expuestas al sol	m	
Pared poco expuestas al sol	m	
Paredes interiores (Sin A/C)	m	
Techo	m <sup>2</sup>	
Personas	Unitario	
Luminarias	Watts	
Aparatos eléctricos	Watts	

Una vez llenada esta tabla, introduzca los valores de la medición en el programa de ahorro de energía eléctrica (PAE) en la sección de "REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO", seleccionando la opción "Dimensionamiento de Unidades de Aire Acondicionado".

## EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE UNIDAD DE AIRE ACONDICIONADO

Dimensionamiento de aire acondicionado para un CALL CENTER

Una empresa dedicada en el área de telecomunicaciones desea abrir una nueva sucursal, en la cual se desea instalar una unidad de aire acondicionado. Dicha sucursal albergará a 15 personas quienes realizarán servicios de asesoría en línea sobre mantenimiento de computadoras. Las dimensiones del local se detallan en los planos abajo mostrados. Dimensione la capacidad de la unidad de aire acondicionado a instalar en la nueva sucursal.

**Paso 1:** Medir de las dimensiones del local.

La medición de las dimensiones del local debe comenzar con la identificación de la orientación del local respecto al norte. Esta orientación es importante debido a que todas las parte del local orientadas al Norte o Sur, se considerarán como poco expuesta al sol, mientras que las partes orientadas al Este u Oeste, se considerarán como expuestas al sol. En el caso en que una pared del local colinde con otra edificación, se considerará como una pared interior sin aire acondicionado.

En este caso, las ventanas en la pared Oeste del local se considerarán como muy expuestas al sol, mientras que la ventana ubicada en la pared Sur, se considerarán como poco expuestas al sol. Para ambas ventanas, la altura de éstas es de 2.5 mts.

Por otro lado, como el local a acondicionar colinda con otra edificación al Este, la pared colindante se considerará como pared interior sin acondicionamiento de aire; mientras que la pared Norte, al dar a la calle, se considerará como pared poco expuesta al sol.

Finalmente, a superficie de techo se calcula al multiplicar el largo por el ancho del local, quedando las mediciones antes descritas, de la siguiente forma:

FACTOR DE GANANCIA TÉRMICA	UNIDADES	MEDICIÓN
Ventanas expuestas al sol	m <sup>2</sup>	20.00
Ventanas poco expuestas al sol	m <sup>2</sup>	10.00
Pared expuesta al sol	m	6.00
Pared poco expuesta al sol	m	6.00
Paredes interiores (Sin A/C)	m	12.00
Techo	m <sup>2</sup>	72.00

**Paso 2:** Cuantificar otras fuentes de carga térmica.

Una vez se han cuantificado las fuentes de carga térmica debido al sol, se deben cuantificar las demás fuentes de carga térmica. Tanto las luminarias como los aparatos eléctricos se cuantifican según la potencia eléctrica que consumen. Para el caso de las luminarias, se asume que en el local se instalarán 6 luminarias fluorescentes de 4X32 watts, teniendo demanda de potencia aproximada de 160W cada una. En el caso de las computadoras, se asigna un consumo de 200W por computadora. Finalmente, las personas se cuantifican según el número de éstas que ocupará el local.

FACTOR DE GANANCIA TÉRMICA	UNIDADES	MEDICIÓN
Personas	Unitario	15.00
Luminarias	Watts	960.00
Aparatos eléctricos	Watts	3,000.00

**PASO 3:** Introducir los valores al Programa de Ahorro de Energía Eléctrica (PAE).

Una vez se han recopilado toda la información requerida en la hoja de cotejo, se introducen todo los valores en el programa de ahorro de energía eléctrica (PAE), seleccionando la opción "Dimensionamiento de unidades de aire acondicionado".

Los resultados obtenidos del análisis realizado son los siguientes:

FACTOR DE GANANCIA TÉRMICA	UNIDADES	MEDICIÓN	GANANCIA TÉRMICA	
Ventanas expuestas al sol	m <sup>2</sup>	20.00	16,576.42	
Ventanas poco expuestas al sol	m <sup>2</sup>	10.00	2,152.78	
Pared expuesta al sol	m	6.00	1,181.10	
Pared poco expuesta al sol	m	6.00	492.13	
Paredes interiores (Sin A/C)	m	12.00	787.40	
Techo	m <sup>2</sup>	72.00	7,750.02	
Personas	Unitario	15.00	15,000.00	
Luminarias	Watts	960.00	3,273.60	
Aparatos eléctricos	Watts	3,000.00	10,230.00	
			57,443.45	BTU/hr
			4.79	TONELADAS

Como puede verse, el resultado del análisis arroja que la carga térmica del local será de 4.79 toneladas, por lo cual se debe elegir la unidad con la capacidad inmediata superior, es decir, 5 TON. Seleccionar una unidad de 4 TON no se recomienda, pues esta no sería capaz de mantener la temperatura de acondicionamiento deseada, pues su capacidad sería inferior a la carga térmica total del local; lo cual se traduciría en un sobre esfuerzo de la unidad de aire acondicionado, y un gasto mayor de energía por los repetidos arranques del compresor del equipo.

Con el objeto de reducir la carga térmica del local, se recomienda instalar, cortinas o persianas en las ventanas, principalmente en la pared ubicada en el costado Oeste del local. Por otro lado, pintar las paredes exteriores de colores claros, plantar árboles en el costado Oeste, instalar cielo falso dentro del local, y mantener cerradas las puertas y ventanas, son algunas de las recomendaciones para reducir la carga térmica del local, y por lo tanto ahorra energía.

## EJEMPLO DE SELECCIÓN DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN

Selección de un equipo de refrigeración

Un Mini súper desea evaluar su equipo de refrigeración, y buscar más alternativas que le ayuden reducir su consumo de energía obteniendo más utilidad en espacio de la unidad.

Los pasos a seguir para la evaluación del equipo y de la comparación de una alternativa mas es la siguiente.

**Paso 1:** Elegir una de las unidades según características de dimensión en este caso se elegirá la unidad V513, en este momento se cargaran las especificaciones del equipo en el cuadro de la izquierda y cuadro central.

<b>Alternativa A</b>	
Modelo	V513
Energía consumida (KWH/MES)	199
Costo de energía KWH (\$)	\$0.10
Costo mensual de la energía (\$)	\$19.90
Ahorro mensual de energía (KWH)	NO EXISTE AHORRO
Ahorro mensual relativo A-B (\$)	NO EXISTE AHORRO
Inversión inicial (\$)	800
Tiempo de recuperación A-B	---

Se debe introducir el costo de energía eléctrica y la inversión inicial del equipo para determinar el análisis de costos.

Costo de la Energía en KWH (\$): **0.1**

Inversión inicial (\$): **800**

**PASO 2:** Introducir los valores al Programa de Ahorro de Energía Eléctrica (PAE).

Una vez se han recopilado toda la información requerida en la hoja de cotejo, se introducen todo los valores en el programa de ahorro de energía eléctrica (PAE), seleccionando la opción "Valoración económica de equipos de refrigeración".

**HOJA DE COTEJO**Dimensionamiento de subestaciones y uso adecuado del pliego tarifario.

Dentro del pliego tarifario, se han detectado ciertas oportunidades de ahorro monetario (no energético), las cuales permiten percibir una sensible reducción en el costo de la energía.

Los usuarios que pueden optar a esta opción están descritos en la pagina IV - 29

- Los usuarios que se encuentre dentro de una tarifa residencial ( $0 < \text{KW} < 10$ ), pero que su demanda este superando los 10 KW de forma periódica.
- Los usuarios que se encuentran dentro de medianas demandas ( $10 < \text{KW} < 50$ ), con tarifas de medición horaria en baja tensión.

1. CONOCER EL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES ELECTRICAS QUE POSEE EL SISTEMA.

Se recomienda identificar estas variables dentro de la factura emitida por la distribuidora; esto permitirá conocer cual ha sido la tendencia y el comportamiento del consumo y la demanda de energía durante los últimos 8 meses; deberá contarse con al menos las últimas tres facturas.

Luego se procede a obtener los valores más críticos es decir los factores de potencia más bajos y las demandas más altas.

2. INGRESO DE PARAMETROS ELECTRICOS.

Ingresar la demanda en KW facturada. Este es uno de los principales elementos que permiten evaluar si es factible o no un cambio de tarifa de mediana demanda baja tensión medición horaria "MHB" a mediana demanda media tensión medición horaria "MMH".

Demanda facturada: \_\_\_\_\_ (KW).

Factor de potencia: \_\_\_\_\_

Consumo total de energía en KWH. \_\_\_\_\_ (KWH)

3. CENSO DE CARGA ELECTRICA.

Es necesario elaborar un listado de todas las cargas que están conectadas al sistema con su respectiva potencia nominal (KVA); además de clasificarlas en cargas monofásicas y trifásicas.

Sumatoria cargas monofásicas (KVA 1φ): \_\_\_\_\_

Sumatoria cargas trifásicas (KVA 3φ): \_\_\_\_\_

Total de cargas en KVA (1φ + 3φ): \_\_\_\_\_

% de carga monofásico (KVA 1φ / KVA Total): \_\_\_\_\_

% de carga trifásico (KVA 3φ / KVA Total): \_\_\_\_\_

4. FACTOR DE CRESIMIENTO.

Factor de crecimiento: Es una proyección estimada del crecimiento de la carga, basándose en la tendencia de los últimos años, siendo esta la proyección de crecimiento a futuro.

Factor de crecimiento (%): \_\_\_\_\_.

5. IDENTIFICAR EL VOLTAJE NOMINAL DE SERVICIO (120 /208, 120/240, 277/480).

Este parámetro se deberá conocer únicamente para poder elaborar una solicitud de cotización, en conjunto con la capacidad de la subestación y el tipo de conexión.

**EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE SUBESTACIONES.**Diseño de subestación para empresa de impresión.

Una empresa dedicada a la impresión de "banners" publicitario desea evaluar la posibilidad de instalar una subestación eléctrica propia, con el objetivo de cambiarse de una tarifa tipo MHB a una tarifa MHM; esto con el objeto de reducir el costo de facturación. Determine la factibilidad de cambiar la tarifa actual (MHB) por una tarifa de (MHM). De ser factible, dimensioné la subestación que proporcionara energía a todo el sistema.

**PASO 1**

Recopilación de las últimas tres facturas (como mínimo) emitidas por la distribuidora. Esto permitirá conocer cual ha sido la tendencia y el comportamiento del consumo y la demanda de energía durante los últimos 8 meses.

**PASO 2**

Obtener los valores más importantes recopilados en las facturas:

- 1- KW (máximos); "Este valor se encarga de catalogar el tipo de tarifa que posee. y en conjunto con el factor de potencia determinara la máxima demanda en KVA demandara la nueva subestación sub. estación"
- 2- Factor de potencia (mínimo) " Este valor, en conjunto con los KW dará a conocer el triángulo de potencia con el que opera el sistema"
- 3- Consumo máximo de energía. "Este valor permitirá conocer cuanto es el monto aproximado en dólares, por el pago mensual de energía.
- 4- Costo por \$/KWh.
- 5- Costo por uso de la red (\$/KW).

A continuación se presenta la ubicación de todos los parámetros antes mencionados dentro de la factura comercial emitida por la distribuidora.

CAESS, S.A. DE C.V. 2231147 NIT: 0614105661030 GIPO: Gen. y Dist. de Energía Eléctrica

MOORE DE CENTROAMERICA, S.A. DE C.V. NIT: 0614-02092-0015. RES. No. 51-5. GIPO: OTROS IMPRESOS. Km. 7 1/2, BLVD. DEL EJERCITO NAC. SOYAPANGO. AUTORIZACION DE IMPRESION No. 0026 D.S.11. 29/AGU/1992

OFICINA COMERCIAL CLIENTE 1 NIC 0-2231147-05-03/09/2006 ID. DE COBRO 2231147069-10

REFERENCIA DE DIRECCION Cap. de Suministro Contratada 40.31 KW Demanda facturada 11.00 KW TARIFA MDS - BT Horaria CAES SEC.RUTA 2112-19-1-37

DATOS DEL SUMINISTRO				DETALLE DE FACTURACION	
CALCULO DE CONSUMO	MEDIDOR	MULT.	TIPO.	MEDI%	PER TRANSF
Energía Punta B	750711	1.0	KWH	0.00	
Energía Valle B	750711	1.0	KWH	0.00	
Energía Resto B	750711	1.0	KWH	0.00	
Dem. máx. BT	750711	1.0	KW	0.00	

PRECIO TARIFA APLICADA

INICIO	FINAL	ENERGIA PUNTA	RESTO VALLE	DEMANDA CUR CURV CAC
03/09/2006	01/09/2006	0.108167	0.101663	0.101614
01/09/2006	03/09/2006	0.108167	0.101663	0.101614

CONCEPTOS GRAVADOS IMPORTE \$

Costo por tasa municipal por dos	0.15
Uso de Red Potencia	496.49
Carga por Energía Punta	107.23
Carga por Energía Valle	34.35
Carga por Energía Resto	696.41
Carga por Atención al Cliente	0.71

SUB TOTAL 1,285.34

LECTURAS Y CONSUMOS		
TIPOS	LECTURAS	CONSUMO
	ACTUAL	ANTERIOR
Hora Punta (18:00-22:59h)	40532.32	39540.90
Hora Valle (2	13585.18	13046.80
Hora Resto (0	59307.59	52949.20
DEMANDA (KW)	40.14	38.89
Factor de Po	0.95	

PROMEDIO ULTIMOS 6 MESES EN KWH

CONSUMO	FECHA LEC.
1	
2	
3	
4	
5	
6	

HISTORIAL DE CONSUMO DE LOS ÚLTIMOS 6 MESES

27 SET. 2006

RESOLUCION No. 0157-2005 11/FEBRERO/2005 No. 05961795  
Tiraje del 00000001 al 00080500

DIAS FACTURADOS 031 PERIODO DE FACTURACION DESDE 03/08/2006 HASTA 03/09/2006

MES FACTURADO 09/2006

FECHA EMISION 07/09/2006

OTROS SERVICIOS IMPORTE 0.00

TOTAL OTROS SERVICIOS (B) 0.00

TOTAL CAESS + OTROS SERVICIOS (A) + (B) 1,452.43

RESOLUCION No. 0157-2005 11/FEBRERO/2005 Tiraje del 00000001 al 06080500

CAESS, S.A. DE C.V. CREDITO FISCAL Serie B No. 00000000387508 ID. DE COBRO: 20223114706910 NIT 2231147 NIS 2231147 MES FACTURADO 09/2006 FECHA EMISION 07/09/2006 NPE: 1898 0014 6243 2231 1470 6907 TITULAR DE PAGO SOLUCIONES S.A. DE C.V. FECHA DE VENCIMIENTO 19/09/2006 EMISOR

202231147069180000145243 TOTAL CAESS A+B 1,452.43

TOTAL A PAGAR COLONES 12,708.78 CAESS DOLARES 1,452.43 No. 05961795

Los datos obtenidos directamente de la factura son los siguientes.

- 1- KW (máximos): 40.31 KW
- 2- Factor de potencia (mínimo): 0.95
- 3- Consumo de energía (KWH): 7,688.00
- 4- Costo por \$/KWH: 12.315098
- 5- Costo por uso de la red (\$/KW): 0.101663

Por otro lado, se requiere de otra información que no esta disponible en la factura, estos son:

- El tipo de conexión de los transformadores (monofásico o trifásico) que requerirá la carga en el caso que se realice la instalación de/los transformadores.
- El porcentaje de carga monofásica y trifásica. Este valor surge de un levantamiento de carga previo donde se identifica la potencia nominal de cada dispositivo conectado al sistema, este se cataloga de acuerdo a su construcción como monofásico y trifásico.
- El factor de crecimiento. Este factor es estipulado por el inversionista en base a los incrementos que ha registrado la carga en los últimos años y en base a ello proyectar un crecimiento a futuro cercano a la realidad.

Una vez identificados todos los parámetros necesarios, se procede a ingresar estos al sistema operativo de la siguiente manera:

Se introduce el total de energía consumida durante el periodo de medición, así como también las máximas.

CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	
Energía mensual consumida (KWH)	7,688.00
<b>TIPO DE SISTEMA</b>	
<input type="radio"/> MONOFÁSICO	<input checked="" type="radio"/> TRIFÁSICO
Potencia monofásica demandada (KW)	12.09
Potencia trifásica demandada (KW)	28.21
Potencia total demandada (KW)	40.30

FACTORES	
Factor de potencia	0.95
Factor de crecimiento	1.30

Conociendo las características de la carga, (en que porcentaje existirá carga trifásica y monofásico) y a los diferentes criterios mostrados en la pagina VI-29, se elije el tipo de arreglo de los transformadores, en este caso aplica una conexión Estrella- Delta secundario ó Estrella – Delta Abierto secundario. (se eligió esta ultima opción).

El sistema operativo ya calculo la capacidad total de la subestación en KVA, ahora habrá que seleccionar un valor comercial inmediato superior (casillas naranjas).

CARACTERÍSTICAS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA			
Capacidad recomendada (KVA)	55.15		
<b>TIPO DE ARREGLO</b>			
<input type="radio"/>	ESTRELLA - ESTRELLA		
<input type="radio"/>	ESTRELLA - DELTA		
<input checked="" type="radio"/>	ESTRELLA ABIERTA - DELTA ABIERTA		
<b>RECOMENDADO</b>			
Transformador 1 (KVA)	32.82	37.50	Transformador 1 (KVA)
Transformador 2 (KVA)	16.28	25.00	Transformador 2 (KVA)
Transformador 3 (KVA)	--	--	Transformador 3 (KVA)
Capacidad seleccionada (KVA)	53.75		
Inversión inicial	\$5,000.00		

Una vez teniendo la dimensión de los transformadores, el tipo de conexión y la inversión inicial (producto de una posterior cotización). Es posible evaluar la factibilidad de la posible inversión, esto se logra comparando el costo por el consumo de energía con las tarifas actuales y el costo por el mismo consumo de energía pero con tarifa objeto de estudio (MMH).

El sistema operativo estará esperando únicamente que seleccione la distribuidora que se encarga de dar el servicio para signarle las tarifas implementadas para suministro en baja tensión y compararlos con tarifas de media tensión.

SUMINISTRO ELÉCTRICO A MEDIA TENSIÓN		SUMINISTRO ELÉCTRICO A BAJA TENSIÓN	
Potencia demandada (Kw)	40.30	40.30	Potencia demandada (Kw)
Energía mensual consumida (KwH)	7,688.00	7,688.00	Energía mensual consumida (KwH)
Clasificación del consumidor	MEDIANO	MEDIANO	Clasificación del consumidor
DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA		DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
<input checked="" type="radio"/> CAESS		<input type="radio"/> DELSUR	
<input type="radio"/> AES CLESA		<input type="radio"/> EEO	
<input type="radio"/> DEUSEM			
CONSUMO HORARIO		CONSUMO HORARIO	
Consumo en horario Punta (KwH)	2,562.67	2,562.67	Consumo en horario Punta (KwH)
Consumo en horario Valle (KwH)	2,562.67	2,562.67	Consumo en horario Valle (KwH)
Consumo en horario Resto (KwH)	2,562.67	2,562.67	Consumo en horario Resto (KwH)
TARIFA HORARIA		TARIFA HORARIA	
Tarifa en horario Punta (\$)	\$0.099505	\$0.108157	Tarifa en horario Punta (\$)
Tarifa en horario Valle (\$)	\$0.093530	\$0.101663	Tarifa en horario Valle (\$)
Tarifa en horario Resto (\$)	\$0.093393	\$0.101514	Tarifa en horario Resto (\$)
Tarifa por uso de red (\$/Kw)	\$4.843061	\$12.355833	Tarifa por uso de red (\$/Kw)
CARGOS POR CONSUMO		CARGOS POR CONSUMO	
Cargo en horario Punta (\$)	\$254.99	\$277.28	Cargo en horario Punta (\$)
Cargo en horario Valle (\$)	\$239.61	\$260.62	Cargo en horario Valle (\$)
Cargo en horario Resto (\$)	\$239.35	\$260.11	Cargo en horario Resto (\$)
Cargo por uso de red (\$/Kw)	\$195.18	\$497.94	Cargo por uso de red (\$/Kw)
Costo por consumo mensual de energía (\$)	<b>\$929.12</b>	<b>\$1,295.95</b>	Costo por consumo mensual de energía (\$)

En las ultimas dos casillas se muestra que existe un ahorro monetario de \$366.83 dólares al mes, por lo que se puede evaluar el tiempo de recuperación de la inversión con herramientas de interés simple.

VALORACIÓN ECONÓMICA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	
Ahorro mensual (\$)	<b>\$366.83</b>
Tiempo de recuperación de la inversión (Meses)	<b>13.63</b>

Por lo que se considera factible realizarlo.