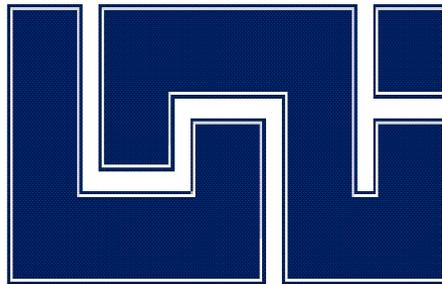


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRICA



*Líder en Ciencia y Tecnología*

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICO

TEMA:

Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales.

Autor: Julio Cesar Barrientos Torres

Tutor: Ing. Ramiro Arcia Lacayo

Octubre del 2012

## AGRADECIMIENTOS

A nuestro Padre Celestial, por permitirme dar más allá de mis fuerzas, por protegerme siempre, que en cada momento me lleno de sabiduría e inteligencia, me regalo momentos de alegría y guardó en circunstancias difíciles, me concedió paciencia para poder entendernos y trabajar eficientemente.

A mi madre, por su apoyo incondicional, por caminar a mi lado con entusiasmo para que pudiese hacer realidad mis sueños, por su cariño y amor que me inspiraba a seguir adelante, ahora entiendo porque me obligaba a cumplir con la tarea.

A nuestra familia, y en especial a mi pequeño hijo y mi esposa porque ellos fueron testigos y motor de mi lucha, siendo parte ellos mismos de mi preparación que me llevo a alcanzar mis metas.

A mi hermano el **Ing. Jarwin Javier** que me ha dado su apoyo incondicional, el es una maravillosa persona y un gran profesional

Al:**Ing. Raúl BarrientosLópez** que me estuvo guiando en todo el proceso con su vasta experiencia y su apoyo incondicional.

A mi tutor:**Ing. Ramiro Arcia Lacayo**, que además de ser una excelente profesional, es también excelente persona y amigo, con su ayuda pude mantenerme siempre en la brecha, contribuyó de una manera más cercana a mi desarrollo como profesional, gane experiencia, pero sobre todo gane un amigo.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, por ser Él quien me da la vida en cada segundo, sin la ayuda imprescindible de nuestro Señor no hubiese sido posible este sueño de haber terminado lo que comencé, en momentos en donde no encontraba explicación Dios siempre la tenía, por ser Él quien me da este sentimiento de realización.

A mi madre por ayudarme a que yo sobreviviera en todo este trayecto, porque ella siempre quiso con todo su corazón de que yo fuese alguien en la vida, por su carácter indestructible inspirador y su amor incondicional, porque nunca dijo que no, a mi esposa que me acompaña y me da palabras de aliento, a mi pequeñuelo César Joseb que es el motor de impulso para seguir conquistando con valor y sin temores.

A mis hermanos porque ellos son parte de mi satisfacción, ellos son parte de mis sueños, y en especial a mi hermana amada **Ruth de los Ángeles Barrientos Torres**, ella es como mi segunda madre, además en momentos difíciles ha sido y será mi mejor amiga, ayudo en gran manera en mi desarrollo sin esperar nada a cambio.

**Br. Julio César Barrientos Torres**

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>3</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
<b>DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>10</b>
<b>TRANSFORMADORES .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>20</b>
<b>ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>33</b>
<b>PROTECCIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>38</b>
<b>ILUMINACION .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>67</b>
<b>MOTORES ELECTRICOS .....</b>	<b>67</b>
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>80</b>
<b>SISTEMAS DE AIRES ACONDICIONADOS .....</b>	<b>80</b>
<b>CAPÍTULO VII .....</b>	<b>100</b>
<b>FACTOR DE POTENCIA .....</b>	<b>100</b>
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>	<b>108</b>
<b>EFICIENCIA .....</b>	<b>108</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>112</b>

## **INTRODUCCIÓN**

Este documento es la representación del estudio sobre la optimización de sistemas eléctricos industriales. Aquí se exponen temas bases dirigidos a la optimización de sistemas eléctricos industrial y análisis económicos que proyectan el ahorro que se espera de un sistema optimizado. Estos temas se plantean en ocho capítulos:

Capítulo I: Transformadores; definición, clasificación como y porque seleccionarlo.

Capítulo II: Elementos del sistema de distribución; aquí se define la importancia de dichos elementos ya que su función es la de distribuir la energía eléctrica requerida para que los equipos eléctricos que operan bajo condiciones específicas funcionen en condiciones optimas.

Capítulo III: Protecciones; se define los tipos de protecciones y la importancia tanto para el optimo funcionamiento de los equipo como para la seguridad de las personas.

Capítulo IV: Iluminación; se estudia los niveles de iluminación requeridos para las diferentes áreas, criterios de selección y las alternativas para un mayor ahorro energético.

Capitulo V: Motores; La optimización de los sistemas eléctricos, es un concepto que se encuentra estrechamente relacionado con la rentabilidad y funcionamiento adecuado de los motores, esto incluye temas como: tipos y aplicaciones de estos, principios de funcionamiento, protecciones, comparación y selección de motores desde un enfoque técnico-económico.

Capítulo VI: Aires acondicionados; Debido al calentamiento global, surge así la necesidad del acondicionamiento del aire, para el logro de una mejor comodidad por eso se incluyo este capítulo en este documento, capitulo en el que se incluye, la definición de cargas de refrigeración, selección de equipos y análisis de ahorro energético.

Capítulo VII: Factor de potencia; No se puede hablar de optimización de sistemas eléctricos industriales si obviamos el papel imprescindible que juega el mejoramiento del factor de potencia en dichos sistemas.

Capítulo VIII: Eficiencia; la eficiencia de los equipos y de cualquier sistema es una de las principales razones para que un sistema eléctrico funcione de forma optima, aquí se define que es eficiencia, sus características y parámetros.

Este material se expondrá con el propósito de potenciar y fortalecer el conocimiento sobre optimización de sistemas eléctricos industriales.

## **ANTECEDENTES**

Como este tema (Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales) está fuertemente ligado a la eficiencia energética, tema que está tomando gran auge ya que actualmente se trata de aprovechar los recursos al máximo eliminando máquinas de baja eficiencia, se ha considerado la información que proporciona el PNUMA.

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) está introduciendo en nuestro país, Nicaragua, conceptos como Producción más Limpia (PML) que fortalecen de gran manera nuestra investigación.

Producción más Limpia (PML): se define como una estrategia ambiental preventiva, integrada aplicada a los procesos, productos y servicios, para incrementar la ecoeficiencia y reducir los riesgos de los humanos y el medio ambiente.

La información que con anterioridad ha sido editada de parte de este grupo y otras literatura también importante, con referencia a, sistemas eléctricos, han aportando valiosa información, información que hemos aprovechado siguiendo cada una de sus recomendaciones; detallándola de tal manera que pueda ser clara, fácil y aplicable.

El éxito de los sistemas eléctricos está en su optimización, las experiencias obtenidas a lo largo de los años son las que han dado como resultado una serie de información surgiendo así normas y códigos que estandarizan los sistemas eléctricos obteniendo muy buenos resultados.

## JUSTIFICACIÓN

Las proporciones de crecimiento poblacional al transcurso de los años han forzado demandas de energía eléctrica en grandes proporciones. Con estos indicadores y el compromiso de impulsores del desarrollo surgen estudios de cómo hacer posibles que el consumo energético sea más dirigido.

Debido a la situación económica e industrial en nuestro país, se hace necesaria la construcción de sistemas eléctricos de alta rentabilidad, a partir de la selección de equipos más eficientes.

Esta necesidad es la que nos movió a investigar y a comparar los diferentes equipos eléctricos para así de acuerdo a los cálculos realizados en base a los datos de cada fabricante, poder recomendar los equipo que brinden mayor rentabilidad; con este principio y el fundamento en sistemas eléctricos, logramos optimizar los sistema eléctricos industriales.

Para lograr este tipo de sistemas eléctricos es necesario plasmar los parámetros de un sistema eléctrico tradicional y parámetros para la selección de equipos eficientes, por lo que se precisa incluir en este documento la información que se adecue a esta necesidad empleando el apoyo de libros, documentos, normas, códigos eléctricos y profesionales especializados en el tema.

Con el crecimiento de la utilización de energía eléctrica que está surgiendo en nuestro país, los ingenieros y técnicos eléctricos tenemos la responsabilidad que todo sistema eléctrico debe brindar rentabilidad y sobre todo seguridad para las personas.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

- ❖ Optimizar sistemas eléctricos industriales desde 0 a 10MVA.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- 
- ❖ Establecer criterios para la selección optima de equipos del sistema.
- ❖ Proyectar el grado de ahorro obtenido en el sistema definido.
- ❖ Promover el ahorro energético mediante el uso de equipos eficientes.

## MARCO TEÓRICO

### SISTEMAS ELÉCTRICOS:

Es una serie de elementos o componentes eléctricos o electrónicos, tales como resistencias, inductancias, condensadores, fuentes, y/o dispositivos electrónicos semiconductores, conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales electrónicas o eléctricas.

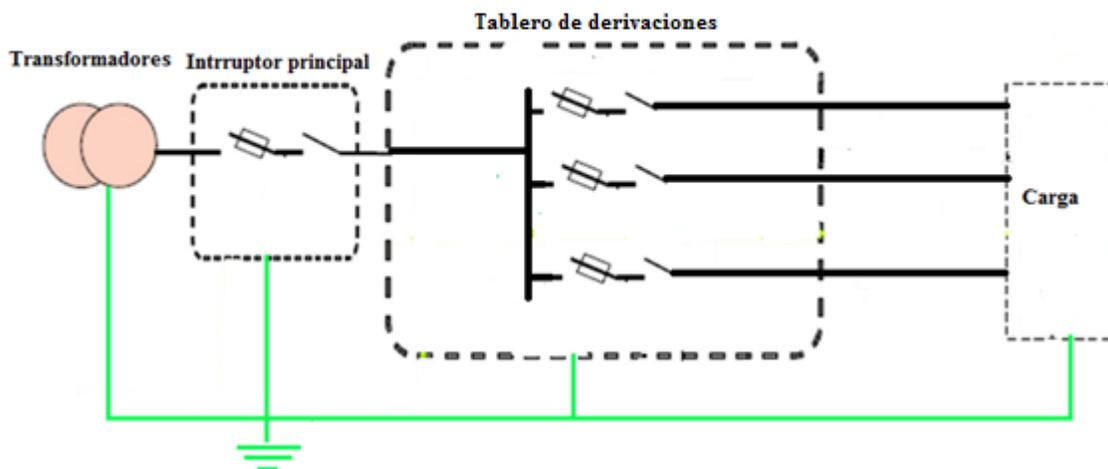
**Un sistema eléctrico tiene que tener estas partes, o ser parte de ellas.**

- Por el tipo de señal: corriente continua, corriente alterna, y mixtos.
- Por el tipo de régimen: Periódico, Transitorio y Permanente.
- Por el tipo de componentes: Eléctricos: Resistivos, inductivos, capacitivos y mixtos. Electrónicos: digitales, analógicos y mixtos.
- Por su configuración: En Serie y Paralelo.

### Características de los Sistemas Eléctricos

- ✓ Todo sistema eléctrico está formado por una fuente de energía (tomacorriente), conductores (cables), y un receptor que transforma la electricidad en luz (lámparas), en movimiento (motores), en calor (estufas).
- ✓ Para que se produzca la transformación, es necesario que circule corriente por el circuito.
- ✓ Este debe estar compuesto por elementos conductores, conectados a una fuente de tensión o voltaje y cerrado.
- ✓ Los dispositivos que permiten abrir o cerrar circuitos se llaman interruptores o llaves.

### Sistema Eléctrico Básico



## **Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales**

### **OPTIMIZACIÓN:**

Ciertos aspectos del comportamiento de los sistemas eléctricos, tales como las pérdidas óhmicas de los materiales de conexión, las cargas reactivas consumidas por algunos equipos conectados a dicho sistema y los criterios de seguridad de su operación, involucran una constante innovación o reformas que mejoren estos sistemas.

Básicamente optimizar sistemas eléctricos, es hacer que en este se aproveche al máximo la energía contenida en él y evita desperdicios de masa y energía del sistema. Obteniendo con esto la siguiente relación:

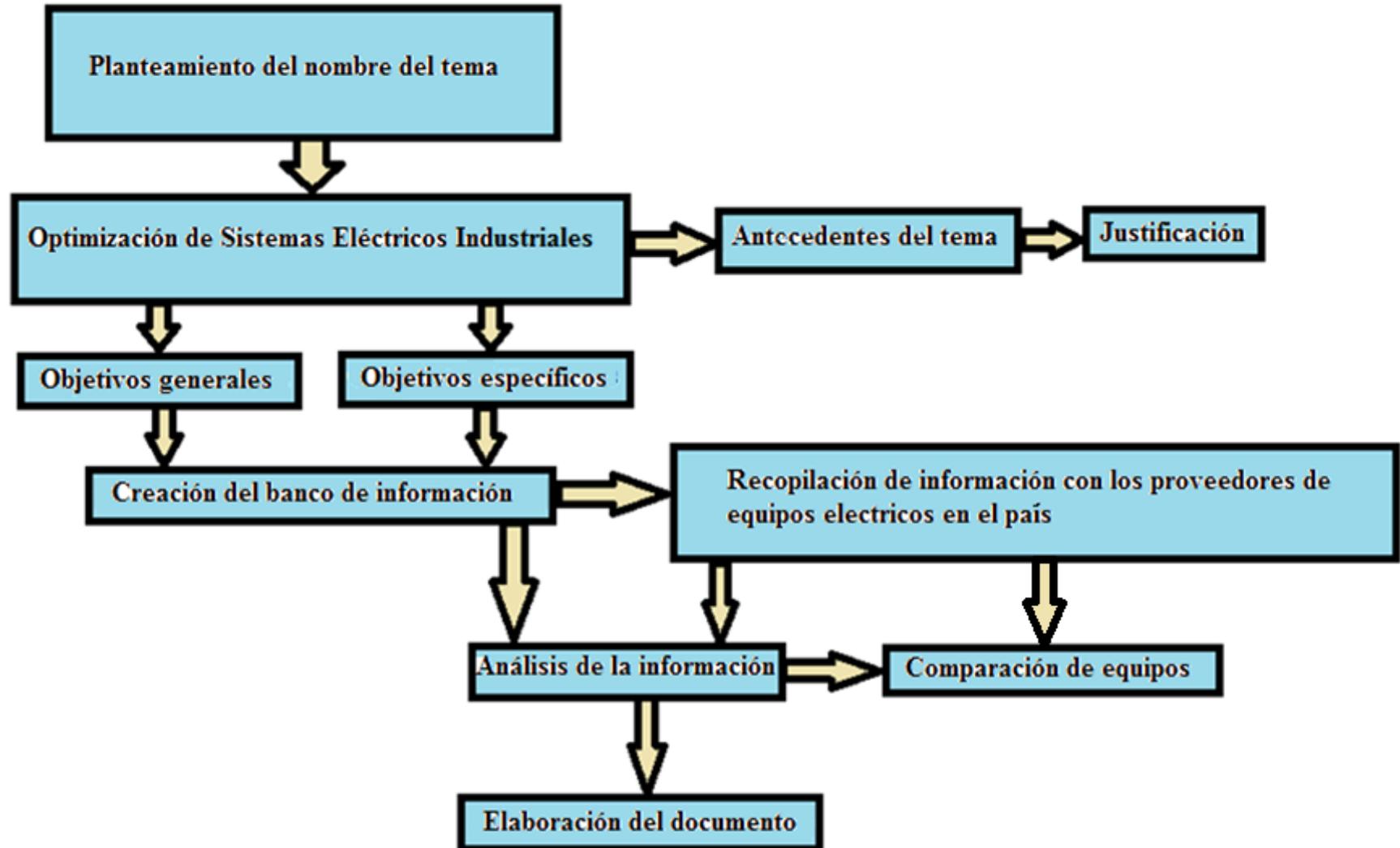
$$\checkmark \quad \text{Inversión} < \text{producción.}$$

El cálculo de los flujos óptimos de cargas posibilitando el aumento del nivel de explotación en los sistemas eléctricos, y adicionalmente permitiendo la obtención de ahorro de energía.

### **Aspectos generales**

- En el campo industrial el ahorro de energía se traduce en menores costos operativos y por lo tanto mayor eficiencia, lo que ayuda a una mayor competitividad, sobre todo en estos tiempos de globalización de los mercados.
- Cualquier reducción de los costos de energía que se quiera lograr debe partir con tener primero la manera de medir y registrar el consumo, debemos tener la capacidad de evaluar numéricamente el consumo.
- Cada división del sistema debe ser evaluado de acuerdo a su propio costo en costos de energía, y debe hacerse cumplir los objetivos rigurosamente para lograr el ahorro de energía.
- En este tipo de sistemas es necesario una automatización y protección de los equipos adecuada para que su trabajo sea efectivo

## DISEÑO METODOLÓGICO



## CAPÍTULO I

### TRANSFORMADORES

#### DEFINICIÓN:

Un transformador es un artefacto que cambia la energía eléctrica de CA de un nivel de voltaje en energía eléctrica de CA de otro nivel de voltaje, mediante la acción de un campo magnético.

#### Funcionamiento:

Consiste en dos o más bobinas de alambre envueltas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas no están (generalmente) conectadas directamente. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común presente dentro del núcleo.

Una de las bobinas del transformador está conectada a una fuente de fuerza eléctrica de CA y la segunda bobina suministra fuerza a las cargas.

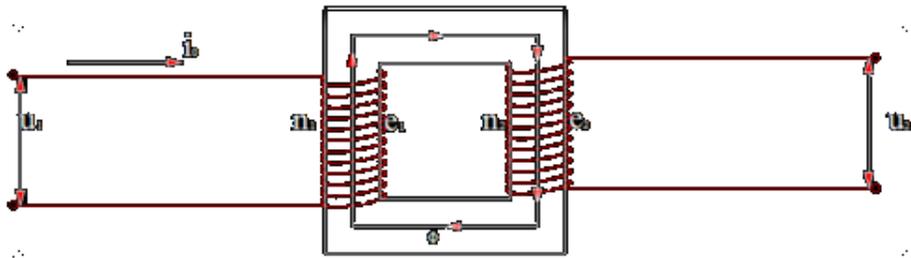
La bobina del transformador, conectada a la fuente de fuerza se llama bobina primaria o bobina de alimentación y la bobina conectada a las cargas se llama secundaria o bobina de salida de energía. Si hay una tercera bobina en el transformador, se le llama bobina terciaria.

Los transformadores son los enlaces entre los generadores del sistema de potencia y las líneas de transmisión; y entre las líneas de diferentes niveles de voltaje.

Los generadores se fabrican en el rango de 18 a 24KV. los transformadores así, elevan los voltajes a niveles de transmisión, también bajan los niveles de voltaje para la distribución; requerida para las industrias en los rangos de 480V y 240V trifásicos; y para uso residencial y comercial 120/240V monofásico.

#### Elementos básicos del transformador

Un transformador eléctrico consta básicamente de los siguientes elementos. (Ver la siguiente figura)



#### Designación de los terminales de transformadores trifásicos y monofásicos

De acuerdo con las normas industriales, el terminal de alta tensión  $H_1$ , es el de la derecha, visto el transformador desde el lado de alta tensión y los demás terminales H siguen un orden numérico de derecha

a izquierda. El terminal  $H_0$  de los transformadores trifásicos si existe está ubicado a la derecha del  $H_1$  visto el transformador desde el lado de alta tensión.

En los transformadores monofásicos, el terminal de baja tensión  $X_1$ , está situado a la derecha, visto el transformador visto desde el lado de baja tensión, si el transformador es de polaridad aditiva ( $X_1$  queda diagonal opuesto a  $H_1$ ), o a la izquierda si el transformador es de polaridad sustractiva ( $H_1$  y  $X_1$  son adyacentes).

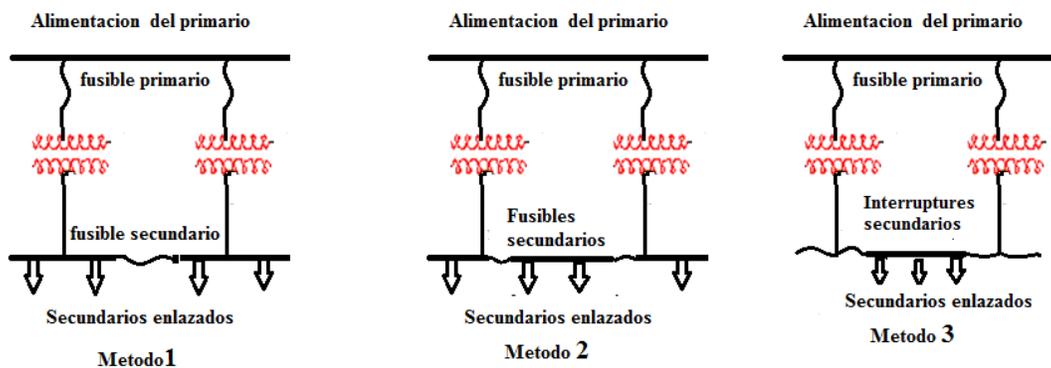
En los transformadores trifásicos, el terminal  $X_1$  queda a la izquierda, visto el transformador desde el lado de baja tensión.

## Enlace de secundarios

En el caso de empresas que tienen interconectado los sistemas de luz y fuerza se hacen necesario los enlaces de secundario por las siguientes razones:

1. Reducción del centello de las lámparas, producido por el arranque de motores.
2. Posibilidad de aumento de carga promedio sin aumentar la carga punta correspondiente.
3. Mejoramiento de la continuidad del servicio.

A continuación se muestran tres métodos distintos de enlace de secundario.



El método "1" es el más común y económico. Este es el más preferible por que permite utilizar fusibles de menor capacidad en el lado de alta de los transformadores y elimina la posibilidad de que los fusibles se fundan en cascada. Esto simplifica la coordinación en los fusibles seccionador del circuito del primario. Tanto el método "1" como el "2" precisan atención espacial del sistema secundario para detectar los fusibles quemados y exigen vigilancia contante de los cambios en las condiciones de carga. El método "2" tiene, además inconveniente de que resulta difícil volver a normalizar el servicio después de haberse quemado un cierto número de fusibles en transformadores adyacentes.

El método "3" es un sistema reciente que hace uso de interruptores que saltan para aislar solamente el circuito averiado, sin interrumpir la alimentación al transformador.

Se recomienda que los transformadores con secundario enlazados en líneas sean aproximadamente de la misma capacidad. Esto es con el fin de evitar que se produzcan sobre cargas excesivas en caso que se

queme el fusible del primario de un transformador adyacente de mayor capacidad. En otros tipos de enlace, la capacidad de uno de los transformadores puede ser hasta el doble del otro.

## CLASIFICACIÓN

En general los transformadores se clasifican con base en la forma constructiva y la aplicación o funcionalidad en el sistema eléctrico. Una clasificación típica y más particular de los transformadores es la siguiente:

Parámetros:	Función:
Potencia y voltaje	Distribución. $P < 500 \text{ kVA}$ y $V < 67 \text{ kV}$
	Potencia. $P > 500 \text{ kVA}$ y $V > 67 \text{ kV}$
Refrigerante y aislamiento	Baño de askarel (Inflamable pero tóxico)
	Baño de aceite (no tóxico pero inflamable)
	Seco (Industrias alimenticias)
Núcleo	Tipo núcleo
	Tipo acorazado
	Tipo toroidal
No. de fases	Monofásico
	Trifásico
	Autotransformador
Aplicación	Unidad
	Distribución
	Potencia
	Medida
	Control
	Acople de Z

## CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para la adecuada selección del tipo de transformador se deben tener en cuenta los siguientes factores:

1. Aplicación y condiciones del local.
2. Dimensionamiento de la carga (KVA).
3. Información nominal de la instalación (voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, etc.) y equipos.
4. Transformador de bajas pérdidas.
5. Análisis de la eficiencia, etc.

## SELECCIÓN DE LA POTENCIA NOMINAL

La potencia nominal de un transformador no es independiente del nivel de tensión. Como regla general, cuanto más grande es la potencia nominal, mayor debe ser el nivel de tensión. Por ejemplo los transformadores de alta tensión (AT) y media tensión (MT) son del orden de 10 a 100 MVA, los transformadores industriales MT/MT son del orden de 2 a 20 MVA, mientras que los transformadores de MT/BT son del orden de 5 a 3,000KVA.

Una vez definido el nivel de tensión queda por determinar el tamaño del transformador, es decir, su potencia nominal. Por tanto, **es fundamental conocer la carga que el transformador debe alimentar.**

Si se conocen todas las cargas que se deben alimentar el diseño del transformador es inmediato: **se suman todas las potencias activas y todas las potencias reactivas (teorema de boucherot) y finalmente se calcula la potencia aparente del transformador.**

$$S = \sqrt{\sum P_i^2 + \sum Q_i^2}$$

Observe que las potencias activas y reactivas de cada carga no son necesariamente las potencias nominales de la propia carga. Por ejemplo la potencia nominal de los motores de inducción se eligen mediante una tabla de potencia normalizadas y es muy común que los motores estén sobre dimensionados (entre el 15 y el 30%).

Es posible, **definir para cada carga o para cada grupo de cargas similares un factor de utilización,  $K_u$** , que tiene en cuenta que la potencia nominal de la carga no se corresponde en algunos casos con su potencia de uso nominal. La siguiente tabla muestra algunos factores de utilización típicos. En cualquier caso, lo más conveniente es basarse en el conocimiento del sistema que se debe alimentar para establecer coeficientes de utilización de uso más precisos.

Tipo de carga	$K_u$
Lámparas	1
Motores de 0,5 a 2 KW	0.7
Motores de 2 a 10 KW	0.75
Motores de más de 10 KW	0.8
Hornos eléctricos	1
Convertidores	1
Maquinas de soldadura	0.7 a 1
Calefacción eléctrica	1
Maquinas herramienta y cintas	0.6 a 0.8
Ascensores y montacargas	0.8 a 1
Bombas y ventiladores	1

En el caso de sistemas industriales, el factor de potencia  $y$ , por tanto, la potencia reactiva de las cargas, es un parámetro fundamental para la determinación de la potencia nominal del transformador. Generalmente, el mayor porcentaje de cargas reactivas es debido a las maquinas de inducción. En la siguiente tabla se muestran algunos rendimientos nominales y factores de potencias nominales  $\cos \theta_N$  estándares para motores de 400V y potencias normalizadas, en función del número de pares de polos, P.

$P_N(\text{KW})$	Rendimiento nominal $\eta_N$			Factor de potencia nominal $\cos \theta_N$		
	2p=2	2p=4	2p=6	2p=2	2p=4	2p=6
0.55	70	71	70	0.80	0.80	0.73
1.1	77	74	74	0.85	0.81	0.75
2.2	82	78	78	0.85	0.83	0.74
5.5	85	84	84	0.88	0.85	0.76
7.5	87	86	84	0.88	0.85	0.75
11	87	88	88	0.88	0.86	0.78
15	89	89	89	0.88	0.88	0.82
30	90	91	91	0.88	0.83	0.84
45	92	93	92	0.89	0.85	0.85
90	92	94	94	0.89	0.86	0.85

En sistemas industriales además de conocer todas las cargas en muchos casos también se conoce las interacciones funcionales entre los procesos. Este conocimiento permite determinar el factor de simultaneidad de las cargas,  $K_c$ , que es útil para llevar a cabo un diseño más ajustado del transformador.

Para ilustrar este concepto considérese el caso de un sistema industrial con tres tornos eléctricos. Los tornos están accionados por dos operarios. La potencia máxima instalada es igual a la suma de las potencias de los tres motores, pero solo dos pueden funcionar a la vez. Por tanto el transformador del sistema se diseña considerando la suma de la potencia de los dos motores más grandes. El factor de simultaneidad es un coeficiente que tiene en cuenta que no todas las maquinas y/o los aparatos eléctricos instalados funcionan siempre o simultáneamente.

## Factor de simultaneidad para sistemas industriales

Tipo de carga	Numero de cargas	$K_c$
Hornos	Hasta 02	1
	Hasta 10	0.6
Motores de 0.5 a 2 KW	Hasta 20	0.5
	Hasta 50	0.4
	Hasta 10	0.7
Motores de 2.5 a 10 KW	Hasta 50	0.45
	Hasta 05	0.8
Motores de 10 a 30 KW	Hasta 10	0.65
	Hasta 50	0.5
	Hasta 02	0.9
Motores de más de 30 KW	Hasta 05	0.7
	Hasta 10	0.6
Convertidores	Hasta 10	0.8
Maquinas de soldadura	Hasta 10	0.4
	Hasta 04	0.75
Ascensores y montacargas	Hasta 10	0.6
Alumbrado	-	0.8

En los sistemas industriales es generalmente posible determinar el factor de simultaneidad a través de una sencilla encuesta sobre los procesos y los turnos de trabajo. Sin embargo, si el centro de transformación es para uso público o si no se conoce el sistema que se debe alimentar, la definición exacta del factor de simultaneidad puede ser imposible.

La reglamentación define unos factores de simultaneidad estándares en función de datos estadísticos y de la práctica habitual. Por ejemplo en la tabla anterior (**Factor de simultaneidad para sistemas industriales**) y en la siguiente muestran algunos factores de simultaneidad para sistemas industriales y para urbanizaciones.

Número de viviendas	$K_c$
Menor o igual que 3	1
De 4 a 9	0.8
De 10 a 14	0.7
De 15 a 19	0.6
20 a más de 20	0.5

## Potencias normalizadas de transformadores para CT y parámetros típicos.

Potencia nominal	Corriente de vacío	Corriente de conexión	Tensión de cortocircuito	Perdidas en núcleo	Perdidas en devanados a carga nominal
$S_N$ (KVA)	$I_o$ (%)	$I_c$ ( $xI_N$ )	$V_{cc}\%$	$P_{Fe}$ (W)	$P_{Cu}$ (W)
50	8	15	3	370	1000
100	7	15	3	580	1890
160	6	13	4	800	2730
200	5.5	13	4	900	3190
315	4.5	12	4	1200	3980
400	4	12	4	1520	5320
500	4	12	4	1700	6230
630	3.5	12	5	1840	7150
800	3.5	12	5	2140	9990
1000	3.2	12	5	3000	103000
1250	3	12	5	3400	12180
1600	3	12	5	4000	15400
2000	3	12	6	4700	17200
2500	3	12	6	5900	21900
3000	3	12	6	6900	25800

Una vez conocidas las cargas, los factores de utilización y de simultaneidad y todas las potencias reactivas,

$$S = \sqrt{\sum P_i^2 + \sum Q_i^2}$$

Proporciona la potencia aparente deseada para el transformador. Los transformadores de MT/BT se construyen con potencias normalizadas y parámetros típicos (como, por ejemplo, la tensión de cortocircuito). La elección de transformadores se hace mediante una lista de transformadores normalizados (**Potencias normalizadas de transformadores para CT y parámetros típicos**). Generalmente, se elige un transformador con una potencia nominal entre un 20 y un 30% mayor que la potencia obtenida sumando las potencias de las cargas. Esto permite compensar eventuales errores en la elección de los factores de utilización o simultaneidad y proporciona un margen de seguridad frente a un aumento de la carga total del sistema.

### Selección de la potencia nominal de transformadores de un ct.

#### Ejemplo:

La potencia estimada de un sistema industrial es de 4000KVA. A continuación, se determina el tamaño del transformador del centro de transformación del sistema utilizando la tabla (**Potencias normalizadas de transformadores para CT y parámetros típicos**.)

Según la tabla de potencia nominal para centro de transformadores tenemos disponible transformador de 25000KVA, Por lo tanto aplicándole el 25% (Aplicando el concepto; **un transformador se elige con una**

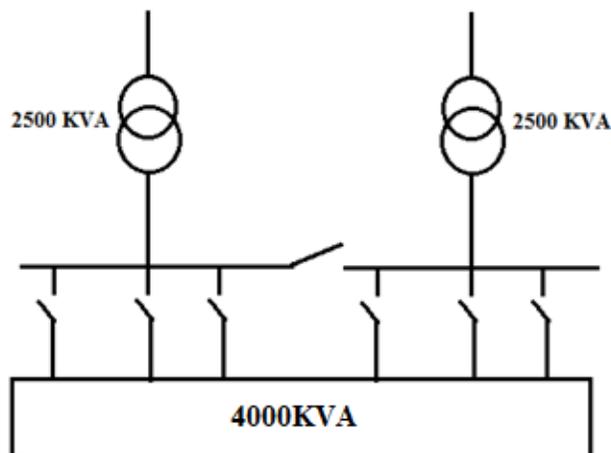
potencia nominal entre un 20 y un 30% mayor que la potencia obtenida sumando las potencias de las cargas), a la potencia estimada la potencia nominal sería de 5000KVA y esto nos da la opción a elegir 2 transformadores de 2500KVA.

La potencia de los transformadores de MT/BT está limitada por el poder de corte de los interruptores utilizados para su potencia. Por ejemplo, la corriente de cortocircuito en las bornes secundarias de un transformador de 3000KVA es la siguiente:

$$I_{cc} = \frac{S_N}{V_{cc\%}/100} \frac{1}{\sqrt{3}V_N} = \frac{3000 * 100^3}{0.06} \frac{1}{\sqrt{3} * 400} = 72.2KA$$

Donde  $V_{cc\%} = 6$  es la tensión de cortocircuito en porcentaje del transformador según la tabla anterior y  $V_N = 400V$  es la tensión nominal de línea del lado de baja tensión del transformador.

Obsérvese que, actualmente, las máximas corrientes de cortocircuito que se pueden cortar en baja tensión son del orden de 100 KA. Por tanto este valor constituye no solo el límite físico de las protecciones de BT, sino también el límite de la potencia de los transformadores. Por lo tanto según el resultado de un CT de 2 transformadores de 2500KVA en este caso no tendremos problemas con el corte de corriente de cortocircuito en el lado de baja; el circuito a conectarse se muestra en la siguiente figura (Método 1 de enlace secundario. El interruptor debe estar normalmente abierto para no poner los transformadores en paralelo, lo que aumentaría la corriente de cortocircuito en el lado de BT.



Esquema del CT para el ejemplo anterior

## Capacidad de amperaje de transformadores monofásicos según su capacidad en kva

$$I = \frac{KVA * 1000}{VOLTAJEDEL CIRCUITO}$$

KVA	120	240	480	2400	4160	4800	7200	7620	12000	14400
3	25	12.5	6.3	1.25	0.72	0.63	0.42	0.39	0.25	0.21
5	41.7	20.8	10.4	2.08	1.2	1.04	0.69	0.66	0.42	0.35
10	83.3	41.7	20.8	4.17	2.4	2.08	1.39	1.31	0.83	0.69
15	125	62.5	31.3	6.25	3.61	3.13	2.08	1.97	1.25	1.04
25	208	104	52.1	10.4	6.01	5.21	3.47	3.28	2.08	1.74
37.5	313	156	78.1	15.6	9.01	7.81	5.21	4.92	3.13	2.6
50	417	208	104	20.8	12	10.4	6.94	6.56	4.17	3.47
75	625	313	156	31.3	18	15.6	10.4	9.84	6.25	5.21
100	833	417	208	41.7	24	20.8	13.9	13.1	8.33	6.94
167	1392	696	348	69.9	40.1	34.8	23.2	21.9	13.9	11.6
250	2083	1042	521	104	60.1	52.1	34.7	32.8	20.8	17.4
333	2775	1388	694	139	80	69.4	46.3	43.7	27.7	23.1
500	4167	2083	1042	208	120	104.2	69.4	65.6	41.7	34.7

## Capacidad de amperaje de transformadores trifásicos según su capacidad en kva

$$I = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * VOLTAJEDEL CIRCUITO}$$

KVA	208	240	480	2400	4160	4800	7200	8320	12000	12470	13200	14400
9	25	21.7	10.8	2.17	1.25	1.08	0.72	0.63	0.43	0.43	0.39	0.36
15	41.6	36.1	18	3.61	2.08	1.80	1.2	1.04	0.72	0.69	0.66	0.6
30	83.3	72.2	36.1	7.22	4.17	3.61	2.41	2.08	1.44	1.39	1.31	1.2
45	125	108	54.1	10.8	6.25	5.41	3.61	3.13	2.17	2.08	1.97	1.8
75	208	180	90.2	18	10.4	9.02	6.01	5.21	3.61	3.48	3.28	3.01
112.5	312	271	135	27.1	15.6	13.5	9.02	7.81	5.41	5.21	4.92	4.51
150	416	361	180	36.1	20.8	18.0	12	10.04	7.22	6.95	6.56	6.01
225	625	541	271	54.1	31.3	27.1	18	15.6	10.8	10.4	9.84	9.02
300	833	722	361	72.2	41.7	36.1	24.1	20.8	14.4	13.9	13.1	12
500	1388	1203	601	120	69.4	60.1	40.1	34.8	24.1	23.2	21.9	20.1
750	2082	1804	902	180	104	90.2	60.1	52.1	36.1	34.7	32.8	30.1
1000	2776	2406	1203	241	139	120.3	80.2	69.4	48.1	46.3	43.7	40.1
1500	4164	3608	1804	361	208	180.4	120.3	104	72.2	69.4	65.5	60.1
2000	5552	4811	2406	481	278	240.6	160.4	138.8	96.2	92.6	87.4	80.2

## SELECCIÓN DE PROTECCIONES

Los transformadores por ser maquinas estáticas, tienen un numero de fallas relativamente bajo en comparación con otros elementos del sistema eléctrico; sin embargo, cuando ocurre una falla puede que sea aparatosa y grave, la cual puede causar un incendio. Es frecuente también, que la magnitud de la corriente de falla interna, sea baja en comparación con la corriente nominal o de plena carga, por lo que la protección requiere de una alta sensibilidad y rapidez de operación.

Para realizar la selección de la protección es necesario saber los datos del transformador:

- Nivel de tensión
- Potencia en KVA
- La impedancia
- Tipo de enfriamiento
- Conexión del primario
- Conexión del secundario

## ANÁLISIS ECONÓMICO

Parámetros	unidad	Transformadores	
		Estándar	Eficiente
Potencia aparente nominal S	KVA	1000	1000
Perdidas en vacio Po	KW	2.35	1.64
Perdidas en cortocircuito Pcc	KW	12.80	8.37
Factor de potencia		0.84	0.84
Eficiencia del transformador	%	98.2	98.8
Índice del factor de carga		0.8	0.8

Perdida en los T estándares	Perdida en los T eficientes
$1000 * 0.8 = 800 \text{KVA}$	$1000 * 0.8 = 800 \text{KVA}$
$800 * 98.2 / 100 = 785.6 \text{KVA}$	$800 * 98.8 / 100 = 790.4 \text{KVA}$
$800 - 785.6 = 14.4 \text{KVA}$	$800 - 790.4 = 9.6 \text{KVA}$
$14.4 \text{KVA} * 0.84 = 12.1 \text{KWh}$	$9.6 \text{KVA} * 0.84 = 8.064 \text{KWh}$
$12.1 * 8760 * 0.1 = 10,599.6$	$8.064 * 8760 * 0.1 = 7,064.064$

Perdidas del transformador	KWh	12.1	8.06
Costo de la energía	\$/KWh	0.10	0.1
Horas anuales de operación	H	8760	8760
Costos anuales de operación	\$/año	\$10,599.6	\$7,064.064

**El ahorro anual que se obtendrá si tenemos transformadores eficientes será de:**

$$\$10,599.6 - \$7,064.064 = \$3,535.536$$

**Ahorro anual = \$3,535.536**

### ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Entre los principales elementos que constituyen un sistema de distribución en la industria se encuentran los siguientes: el conjunto de conductores eléctricos, acometidas, equipo de medición, centros de carga, cuya función principal es la de distribuir la energía eléctrica requerida para que los equipos eléctricos que operan bajo condiciones específicas funcionen en condiciones óptimas.

#### CONDUCTOR ELÉCTRICO

##### Componentes de un conductor eléctrico.

Los elementos básicos que componen un conductor eléctrico son los siguientes:

**El conductor:** Elemento por el cual fluye la corriente eléctrica

**El aislamiento del conductor:** Parte del conductor que soporta la tensión o el voltaje aplicado (generalmente 600V).

**La cubierta:** Elemento que brinda protección contra agentes externos.

Otro elemento fundamental en la operación correcta de un cable de energía aislado lo constituyen las pantallas, que permite una distribución radial y simétrica de los esfuerzos eléctricos en el aislamiento.

##### Clasificación de los conductores

Dependiendo de la forma como está constituida el alma conductora, los conductores se clasifican en:

**Alambre:** conductores eléctricos conformados por un solo elemento o hilo conductor.

**Cable:** conductor eléctrico conformado por una serie de hilos conductores o alambres de baja sección, lo que brinda gran flexibilidad.

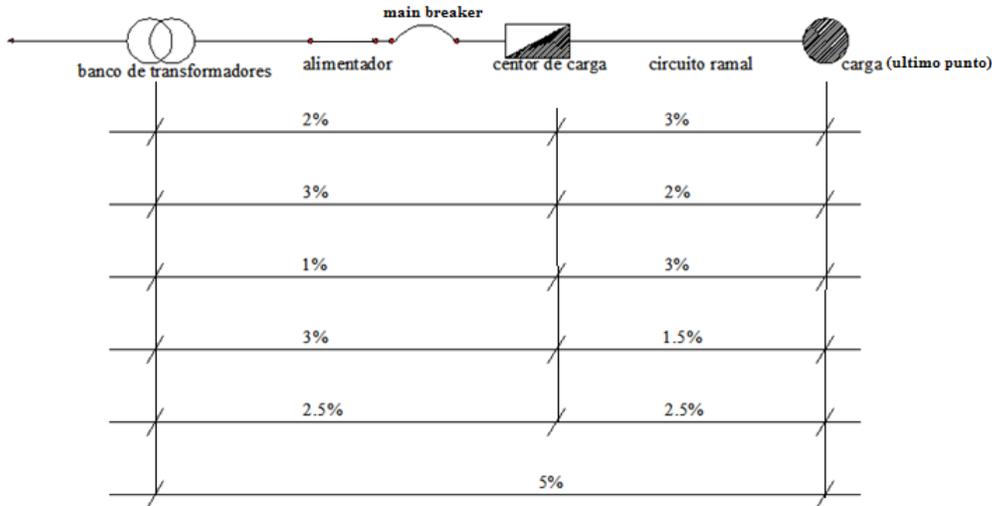
##### Selección del nivel de voltaje

Las pérdidas por disipación de calor en un conductor ( $I^2 R$ ) son directamente proporcionales al cuadrado de la corriente transportada. A su vez esta corriente es inversamente proporcional al voltaje ( $P = V \cdot I$ ).

Por tanto, mientras mayor sea el nivel de voltaje seleccionado, menores serán las corrientes circulantes y por ende menores las pérdidas de energía por disipación de calor.

## CAÍDA DE TENSIÓN

La caída de tensión de un circuito es considerada desde la última toma hasta el centro de carga en un 3% como máximo y del tablero hasta el transformador en un 2% también como máximo; y puede combinarse con la siguiente figura, siempre que la caída no exceda el 5% desde la última toma hasta el transformador.



### Ejemplo

En un circuito se tiene 6 salidas para alumbrado con unidades incandescentes de 150W cada uno. Las distancias entre ellas, empezando por la última unidad, son: 8m, 10m, 10m, 10m y 8m. La distancia desde la primera unidad al tablero es de 30m. El voltaje nominal es de 127V y la caída permitida según el Código Eléctrico Nacional (NEC), es del 3%.

Sus ecuaciones:

$$\Delta V = R * I = \frac{\rho L I}{S} \rightarrow \Delta V = \frac{\rho L I}{S} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$e = \frac{\Delta V}{V_n} * 100\%$$

$$\Delta V = \frac{e * V_n}{100\%} \quad (\text{Ec. 2})$$

Al combinar la ecuación (1) y (2) resultara:

$$\frac{\rho L I}{S} = \frac{e * V_n}{100\%} \Rightarrow e = \frac{\rho L I * 100\%}{S * V_n}$$

$$e = \frac{\rho L I * 100\%}{S * V_n}$$

Considerando que la mayoría de los alimentadores son de cobre en un 100% de conductividad y suponiendo una temperatura de operación de 60°C, se tiene que:

$$\rho = \left(\frac{1}{50}\right) * 100\% = 2;$$

Por lo que para obtener la caída de tensión se utiliza la siguiente expresión:

$$e = \frac{2 * C * L * I}{S * Vn} \text{ par ecucion monofasica y bifasica.}$$

Donde:

S: Área ó sección transversal (conductora) del alimentador en mm<sup>2</sup>.

$\rho$ : Resistividad especifica (volumétrica) del material conductor en OHMS\* mm<sup>2</sup>/m

I: Corriente de carga en amperios.

L: Longitud del alimentador en metros. (m)

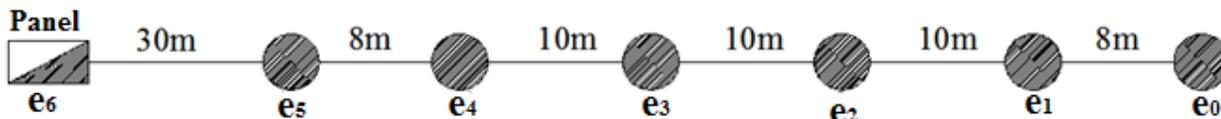
e: Caída de voltaje en porciento (100%)

Vn: Voltaje aplicado en voltios (normalmente en voltaje nominal).

C: Para circuitos monofásicos y bifásicos (C=2, debido a que existe un hilo de retorno)

$\sqrt{3} = C$ ; Para circuitos trifásicos, ya que el voltaje nominal corresponde al voltaje entre fases.

## Caída de tensión.



$$I_0 = \frac{W_0}{V} = 0$$

$$e_0 = 0$$

$$I_1 = \frac{W_1}{V} = \frac{150}{127} = 1.181A e_1 = \frac{2 * 2 * 8m * 1.181A}{3.31 * 127} = 0.0899\%$$

$$I_2 = \frac{W_2}{V} = \frac{300}{127} = 2.362A e_2 = \frac{2 * 2 * 10m * 2.362A}{3.31 * 127} = 0.2247\%$$

$$I_3 = \frac{W_3}{V} = \frac{450}{127} = 3.543A e_3 = \frac{2 * 2 * 10m * 3.543A}{3.31 * 127} = 0.3371\%$$

$$I_4 = \frac{W_4}{V} = \frac{600}{127} = 4.724A e_4 = \frac{2 * 2 * 10m * 4.724A}{3.31 * 127} = 0.4495\%$$

$$I_5 = \frac{W_5}{V} = \frac{750}{127} = 5.905A e_5 = \frac{2 * 2 * 8m * 5.905A}{3.31 * 127} = 0.4495\%$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

En este caso se escoge un calibre mayor, un #10AWG

$$I_6 = \frac{W_6}{V} = \frac{900}{127} = 7.087Ae_6 = \frac{2 * 2 * 30m * 7.087A}{5.26 * 127} = 1.2730\%$$

Porcentaje de caída total = 2.8237% < 3%

### Nota:

De **Tabla VI (Anexo A)**

Para el conductor #12AWG en: CM=6530 y S=3.31mm<sup>2</sup>

Para el conductor #10AWG en: CM=10380 y S=5.26 mm<sup>2</sup>

### CRITERIOS DE SELECCIÓN

- Tradicionalmente se utiliza el criterio de minimizar el costo en la compra de los conductores eléctricos.
- Esto se logra escogiendo el conductor de menor sección que le permita resistir las condiciones extremas esperadas.
- También se considera como exigencia un máximo de caída de tensión en el extremo de la carga.
- Esto determina la existencia de una sección mínima impuesta por dichas condiciones de carga, instalación, caída de tensión máxima y las características del conductor.

### CENTRO DE CARGA

Distribución de toda la carga en un sistema

Ejemplo de cálculo de un centro de carga para alumbrado, tomacorriente y equipos pasos a seguir:

- Planteamiento de las necesidades de la instalación eléctrica para una oficina. La fuente para la toma de energía es de 220V, con conexión en estrella.
  - 14 salidas para alumbrado de 125W C/U.
  - 9 salidas para tomacorrientes de tipo general (180W).
  - 24 unidades fluorescentes de 3\*38W "SLIM LINE" con 110W por unidad (incluyendo la eficiencia y el factor de potencia del balastro).
  - 6 tomacorrientes de 10A para instalar equipos de oficina (copiadora, cafetera, etc.), se le asocia un factor de demanda de 35%.
  - 1 unidad de aire acondicionado trifásico (3φ) de 18Amps.
  - 5 unidades incandescentes de 150W para iluminación exterior.
  - 1 reserva de 2400W para la conexión de futuros equipos.

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

### b) Resumen de las cargas monofásicas y trifásicas.

Cargas monofásicas (1 $\phi$ ).

Descripción	# de Unidades	Consumo/unidad	Consumo total
Alumbrado	14	125W	1750W
Iluminación SLIM LINE	24	110W	2640W
Iluminación exterior	5	150W	750W
Tomacorrientes para oficinas	6	444.5W	2667W
Tomacorrientes de tipo general	9	180W	1620W
<b>Total</b>			<b>9427W</b>

Cargas trifásicas (3 $\phi$ )

La carga trifásica de la unidad de aire acondicionado es:

$$\sqrt{3} * 18A * 220V = \frac{6858}{3} = 2286W$$

A	B	C
2286W	2286W	2286W
800Wreserva	800Wreserva	800Wreserva
3086W	3086W	3086W

### c) Armado de los circuitos

Descripción	# de circuitos	Consumo/circuito	Capacidad del interruptor
Aire acondicionado	3	2286W	3*30 <sup>a</sup>
Alumbrado general	1	875W	1*15 <sup>a</sup>
Alumbrado general	1	875W	1*15 <sup>a</sup>
Tomacorriente general	1	900W	1*15 <sup>a</sup>
Tomacorriente general	1	720W	1*15 <sup>a</sup>
Iluminación SLIM LINE	1	880W	1*15 <sup>a</sup>
Iluminación SLIM LINE	1	880W	1*15 <sup>a</sup>
Iluminación SLIM LINE	1	880W	1*15 <sup>a</sup>
Equipo de oficina	1	1333.5W	1*20 <sup>a</sup>
Equipo de oficina	1	1333.5W	1*20 <sup>a</sup>
Iluminación exterior	1	750W	1*15 <sup>a</sup>

13 espacios para circuitos ramales  
 3 espacios para el interruptor principal.  
 3 espacios de reserva.  
 19 espacios en total.

### d) Balance de las cargas.

Para la demostración del balanceo en el panel de distribución de carga se procede de la siguiente manera: La carga trifásica no requiere de balancear. Para la restante solo se deja indicadas las cargas. Solamente los 13 circuitos restantes se balancean sobre las fases A, B y C. A continuación se presenta una combinación:

	A	B	C
	1333.5	1333.5	875
	900	880	875
	880	880	720
	-	-	750
<b>TOTAL (1φ)</b>	<b>3113.5</b>	<b>3093.5</b>	<b>3220</b>
<b>TOTAL (3φ)</b>	<b>2286</b>	<b>2286</b>	<b>2286</b>
<b>TOTAL reserva(3φ)</b>	<b>800</b>	<b>800</b>	<b>800</b>
<b>6306</b>	<b>6199.5</b>	<b>6179.5</b>	
<b>TOTAL =</b>	<b>18685W</b>		

El desbalance según El "NATIONAL ELECTRICAL CODE" (NEC) debe ser entre las tres fases menor al 5% y se calcula con la siguiente relación:

$$S_M = 6,306$$

$$S_m = 6,179.5$$

$$S_p = \frac{6,179.5 + 6,199.5 + 6,306}{3} = 6,228.33$$

$$S_p = 6,228.33$$

$$\% \text{ dedesbalance} = \frac{S_M - S_m}{S_p} * 100 = \frac{6306 - 6179.5}{6228.33} * 100 = 2.03\%$$



## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

### e) Cálculo del interruptor principal.

Este cálculo se puede realizar de dos maneras:

$$1) I_p = \frac{\text{carga total en watts}}{\sqrt{3} * \text{voltage de linea}} = \frac{18685W}{\sqrt{3} * 220V} = 49.03A$$

$$I_p = 50\text{Amperios}$$

$$2) I_p = \frac{\text{carga de fase mas alta}}{\text{voltage de fase}} = \frac{6306W}{127V} = 49.65A ; V\phi = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{220V}{\sqrt{3}} = 127V$$

$$I_p = 50\text{Amperios}$$

Se selecciona el de 70Amperios por la presencia del motor del aire acondicionado (momento de arranque).

### Circuitos derivados

Al decidir la asignación de carga a los diferentes circuitos deben tener presente las necesidades lógicas y económicas.

El "NATIONAL ELECTRICAL CODE" (NEC) establece las características de las cargas de cada circuito. Donde se explica la conveniencia de utilizar circuitos separados de iluminación.

Normalmente para áreas de habitaciones se usan circuitos de 20A como máximo, en industria se puede utilizar circuitos con cargas múltiples de hasta 50A.

Las salidas para usos especiales deben tener su propia alimentación y protección. Es posible que aunque algunos circuitos quedan con muy poca carga convenga tenerlos alimentados por separado (por ejemplo, dos focos de alumbrado en una torre lejana).

De este modo se van decidiendo grupos de cargas que constituyen los circuitos del centro de carga o tablero.

Si se trata de un tablero monofásico se pueden asignar números al azar. Para el caso de tableros bifásicos, se divide la carga en dos, de tal manera que con la combinación de los circuitos se obtenga una diferencia mínima entre las cargas conectadas a cada fase.

Para el tablero trifásico es como dividir la carga total entre tres para conocer el valor exacto de equilibrio.

Después se hacen tres grupos cuyos circuitos puedan combinarse para que las sumatorias respectivas sean las mas al valor de equilibrio. El desbalance entre las tres fases debe ser menor al 5% y se calcula con la siguiente relación:

$$\% \text{ de desbalance} = \frac{S_M - S_m}{S_p} * 100 < 5\% \text{ donde:}$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

$S_M$  = Volt amperes de la fase más cargada.

$S_m$  = Volt amperes de la fase menos cargada.

$S_p$  = Volt amperes de la fase promedio (caga total entre numero de fases)

También puede utilizarse el cálculo anterior los amperios (si el voltaje se considera constante) y en otro caso de utiliza el watt.

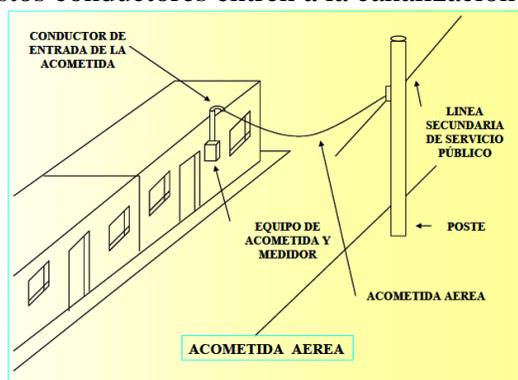
### ACOMETIDAS

Se define a los conductores que se extienden desde las redes de las empresas de servicios hasta el medio general de desconexión de la instalación interior.

El conductor de la acometida deberá tener suficiente capacidad portadora de corriente para manejar la carga y deberán ser aislados para la tensión de servicio.

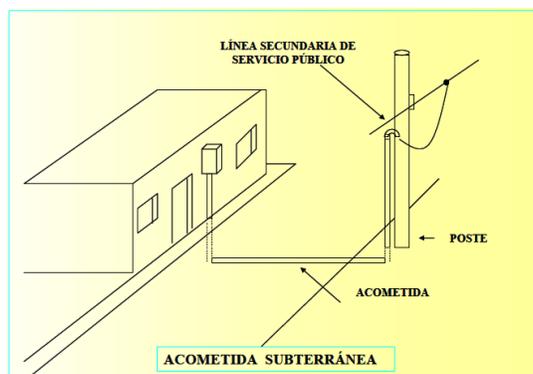
#### Acometida aérea

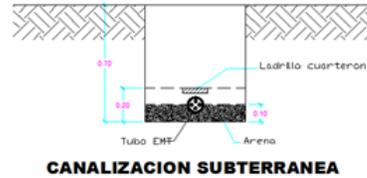
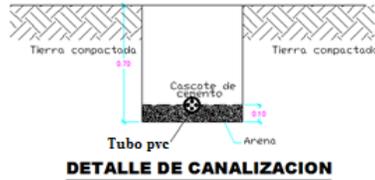
Se componen de los conductores que van desde el último poste u otro poste aéreo, incluyendo los empalmes si los hay, hasta el punto donde estos conductores entran a la canalización de la edificación.



#### Acometidas subterránea

La componen los conductores subterráneos entre la calle o transformador y el primer punto de conexión con los conductores de entrada de acometida en una caja equipo de medida u otro gabinete dentro o fuera del inmueble.





## EQUIPOS DE MEDICION

Un medidor es un dispositivo utilizado para medir esta energía eléctrica. La unidad de medición es el KW/Hora. Por esta razón, se conoce típicamente como un Watthorímetro.

Existen tres componentes principales en un sistema de medición. Son el Dispositivo de Medición, la Base de Medidor y las Mordazas de Medidor.

### ¿Qué es un Watt/Hora?

El watt/hora es una unidad estándar de medición de la utilización de la energía eléctrica. **Un watt/hora literalmente es el uso de un watt de electricidad por una hora.**

Debido al consumo de energía reactiva o la potencia activa máxima demandada por las instalaciones a lo largo de un intervalo de tiempo es que se emplean contadores de energía con la capacidad de realizar dichas lecturas, en este caso se hará una pequeña descripción de los tales:

### Contador de energía activa.

Los contadores de energía activa son los destinados a la medición de energía activa que consume una carga. Estos contadores miden la potencia en cada instante y calcula la energía como la integral en el tiempo de la potencia instantánea.

Constructivamente, el contador de energía activa está compuesto de un vatímetro que mide la potencia media y de uno o varios sistemas totalizadores necesarios para acumularla en el tiempo.

Los contadores más utilizados en la práctica son los de inducción. Estos contadores tienen un disco móvil convenientemente dispuesto entre el vatímetro y el sistema totalizador. El campo gira en función de los campos magnéticos creados en las bobinas del vatímetro, de forma que la velocidad de giro es proporcional a la potencia medida. El giro del disco activa un mecanismo en el que se actualiza el valor registrado en el sistema totalizador. La energía activa medida se expresa matemáticamente mediante:

$$W_a = nK$$

Donde  $W_a$  es la energía activa (Wh),  $n$  es el número de vueltas que lleva a cabo el disco en el periodo de medición y  $K$  es la denominada constante de verificación (Wh por una vuelta del disco), que depende de las características constructivas de contador de energía.

La medida de un vatímetro monofásico viene dado por:

$$P_{1\phi} = V_{FN} I_F \cos(V_{FN} - \angle I_F) = V_{FN} I_F \cos \varphi_F$$

Donde  $\varphi_F$  es el desfase entre  $V_{FN}$  e  $I_F$  ( $\varphi_F = V_{FN} - \angle I_F$ ) y  $\cos \varphi_F$  es el factor de potencia de la carga.

## Contador de energía reactiva.

Gran parte de las cargas conectadas al sistema eléctrico son de tipo inductivo, por lo que además de energía activa consumen reactiva (VARh). Para medir la energía reactiva que consume este tipo de cargas se utilizan los contadores de energía reactiva.

La conexión externa de los contadores de energía reactiva es idéntica a la empleada en los contadores de activa. Un contador de reactiva dispone de un varímetro para medir la potencia reactiva consumida y de un sistema totalizador para acumular en el tiempo la potencia medida. A diferencia de los vatímetros, en los varímetros se desfasan constructivamente  $90^\circ$  la corriente y la tensión en la bobina voltimétrica. La medición de un varímetro monofásico viene dado por:

$$Q_{1\phi} = V_{FN} I_F \cos(V_{FN} - 90^\circ - \angle I_F) = V_{FN} I_F \operatorname{sen}\varphi$$

Este contador se instala solo si el correspondiente contrato incluye un complemento de energía reactiva.

## FUNDAMENTOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO

Se indicarán los fundamentos técnicos para el diseño de una instalación eléctrica.

### Circuitos ramales

- Están constituidos por: Protección de sobrecorriente el conductor y el aparato de salida
- Se clasifican según la capacidad del dispositivo de sobrecorriente que le protege y los más reconocidos son de 15, 20, 30, 40 y 50 A.
- Los circuitos ramales multi-hilos se componen de 2 o más conductores vivos y deben alimentar cargas conectadas entre fase y neutro, excepto cuando la protección es multipolar (bipolar o tripolares).
- La cubierta aislante de los conductores debe ser de color:
  - Neutro (Blanco o gris)
  - Tierra (verde o verde con rayas amarillas)
  - Fase (azul, rojo y negro para 120/240V y amarillo, naranja y café para 277/480V)
- Los tomas instalados en circuitos de 15, 20A. Será del tipo con polo a tierra.

### Capacidad de los elementos constitutivos del circuito ramal

Los conductores:

- Su capacidad de corriente no podrá ser menor que la de la máxima carga a alimentar.
- Si alimenta varias tomas deberán tener una capacidad portadora de corriente no menor a la de su dispositivo de protección.
- Para equipos entre 3.5 y 8.75 KW la capacidad del circuito ramal no será menor al 80% de la capacidad nominal de placa de los equipos a alimentar y para mayores de 8.75 KW alimentados a 240V la capacidad mínima del circuito ramal será de 40A.
- El tamaño de los conductores no será nunca menor del 14 AWG.

## Circuitos ramales individuales:

Podrá dimensionarse para alimentar cualquier carga pero deberá cumplir lo siguiente:

- Si alimenta cargas continuas su capacidad (dispositivo de protección) no deberá ser menor de 125% de esta carga.
- La carga conectada no podrá exceder en ningún caso la capacidad del circuito ramal.

## Circuitos ramales que alimentan dos o más salidas

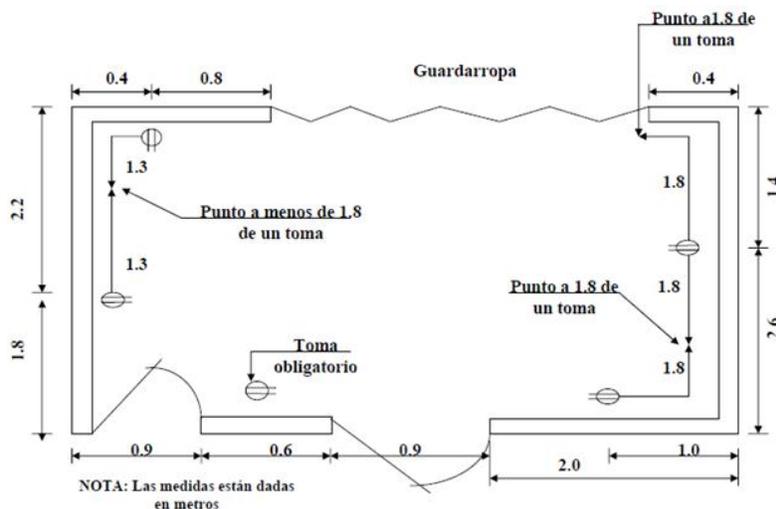
De 15 ó 20A para Alumbrado y/o tomas de equipos:

- Equipos portátiles no podrá exceder el 80% de la capacidad del circuito.
- Equipos fijos no podrá exceder el 50% de la capacidad del circuito.
- De 30A para alimentar iluminación fija con portalámparas de tipo pesado no menores de 660VA en edificios que no sean para vivienda y tomas sin superar el 80% de la capacidad del circuito ramal.
- De 40 y 50A para equipos fijos de cocina, iluminación fija de tipo pesado y tomas para cualquier tipo de utilización.
- De 50A solo para cargas diferentes de iluminación.

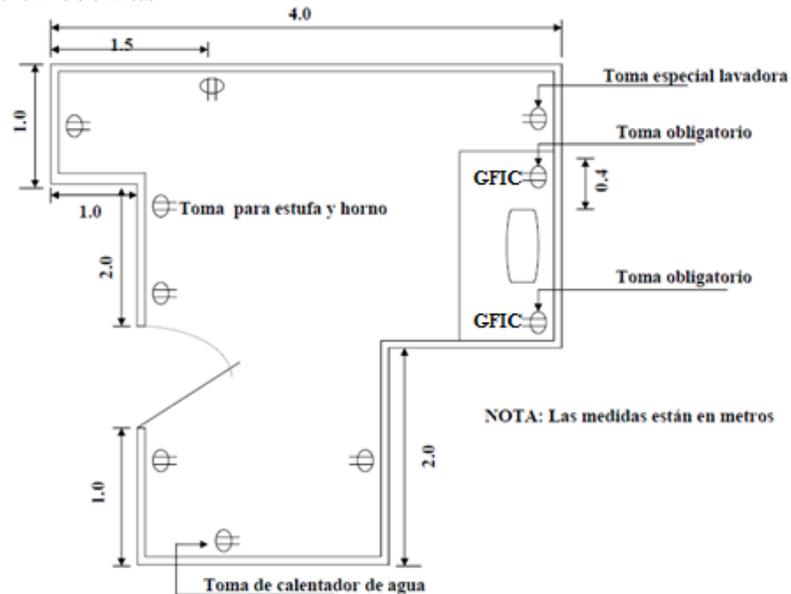
## Tomacorrientes requeridos por área:

- Se deberán colocar tomacorrientes de tal manera que ningún punto, a lo largo de la pared, esté a más de 1.8m de cualquier toma corriente en tal espacio de pared, entendiendo por espacio de pared a toda línea de pared continua, de 0.6m o más de largo.
- En zonas de circulación de más de 3m de largo deberá instalarse al menos 1 toma.
- En baños se coloca mínimo 1 toma adyacente al lavamanos.
- En zonas de ropa se instalará una toma para lavadora, localizado a no más de 1.8m del sitio donde se instalará la lavadora.
- En el garaje se instalará al menos una toma.
- El cálculo para tomacorrientes generales en las viviendas, estadísticamente se ha tomado como parámetro; un consumo de 180W (1.5amperios) y que no sobrepase las 8 unidades por circuito.

## Distribución de tomas en habitación



## Distribución de tomas en cocinas



## Alimentadores

•**Definición:** Se denominará Alimentador al conjunto de conductores que se encuentran entre el equipo de acometida y los dispositivos de sobrecorriente de los circuitos ramales.

•**Tamaño y capacidad mínima del conductor:**

a. En circuitos específicos

–Los conductores del alimentador deberán tener una capacidad no inferior a la requerida para alimentar las cargas.

–La capacidad portadora de corriente del conductor del alimentador no deberá ser menor de 30A.

b. Con relación a la acometida

–La capacidad del alimentador no deberá ser menor que la de la acometida cuando el alimentador conduzca la totalidad de la carga servida por acometidas de 55A o menos.

### PROTECCIONES

#### DEFINICIÓN.

Existen dos grandes grupos:

#### 1. Protección de las instalaciones

La finalidad de estos aparatos es la que establece el Reglamento Electrotécnico para Baja tensión. Las instalaciones eléctricas pueden presentar otros problemas, como los posibles incendios provocados por sobre intensidades.

Las instalaciones eléctricas están diseñadas para que sus componentes (receptores, conductores, elementos de protección, etc), puedan soportar en condiciones normales, unas intensidades máximas que no ocasionan problemas en el correcto funcionamiento de dichas instalaciones, a esto se le conoce como Intensidades nominales.

Circunstancialmente pueden presentarse en alguna parte de las instalaciones intensidades superiores a las nominales, que denominamos sobreintensidades, éstas originan aumentos de temperatura en los elementos de la instalación, reduciendo así su vida útil, y en especial los aislamientos de los conductores terminan por deteriorarse, provocando arcos eléctricos de elevada temperatura, que son la causa de muchos incendios.

#### 2. Protección de las personas

Como sistema habitual de protección de las personas se emplean interruptores diferenciales de intensidad.

Existen otros dispositivos, como los relés de tensión. Nos centramos en la descripción del **diferencial de intensidad**.

Se conectan las tres fases y el conductor neutro, en el interior del dispositivo, se realiza un balance de intensidades, de tal forma que las intensidades que circulan por las fases y el neutro, si no hay ninguna fuga debe dar como balance cero. Si se produjera una fuga de intensidad o derivación, bien a través de alguna carcasa de alguna máquina o por contacto de alguna persona con alguno de los conductores, se produciría un desequilibrio en la relación de intensidades que generaría un flujo magnético que acciona el relé, abriendo el circuito.

Para seleccionar el diferencial habrá que realizar:

1. Primero que la intensidad de cálculo del circuito sea inferior a la intensidad nominal del interruptor comercial a elegir (estas pueden variar desde 25, 40, 63, 80 y 100Amp).
2. Segundo la Intensidad máxima de defecto en función del tipo de carga.
3. Protección de personas, circuitos domésticos y alumbrado, 10 y 30 mA (mili amperios).

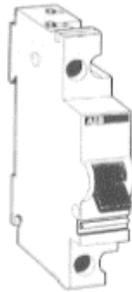
4. Protección de circuitos de fuerza, cuadros eléctricos de motores, 300 mA.
5. Protección de cuadros generales de Baja Tensión, es necesario usar interruptores automáticos con elevado poder de corte frente a Cortocircuitos, por lo que es necesario disponer de relés auxiliares que midan la intensidad de defecto.

### CRITERIOS DE SELECCIÓN

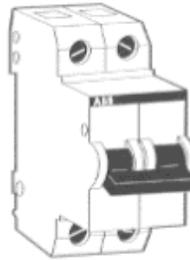
1. La protección debe ser adecuada, en función de las circunstancias de cada instalación. Es necesario usar las curvas características de funcionamiento, donde se relaciona la intensidad y el tiempo de desconexión.
2. El poder de corte de la protección sea adecuada a la intensidad de cortocircuito que pueda darse en el lugar donde se sitúa la protección.
3. Capacidad de coordinación (precisión).

### Interruptores magneto - térmicos.

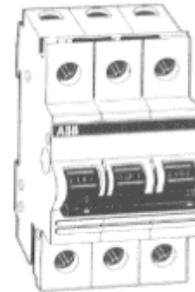
Generalmente, los interruptores automáticos combinan varios de los sistemas de protección descritos, en un solo aparato. Los más utilizados son los magnetotérmicos.



**Unipolar**



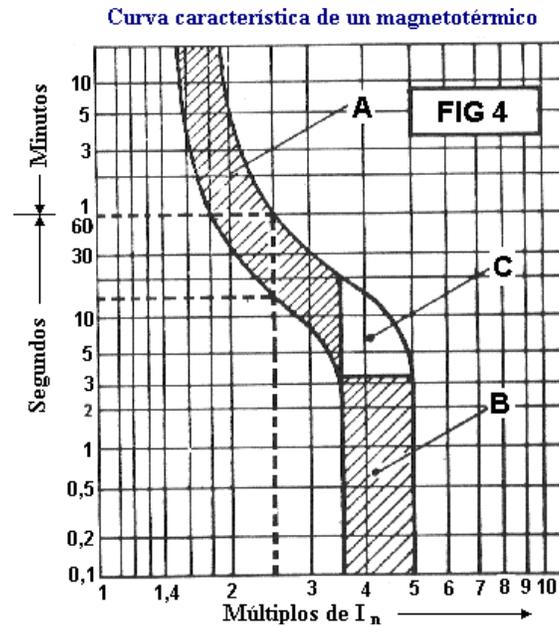
**Bipolar**



**Tripolar**

Poseen tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. Cada uno puede actuar independientemente de los otros, estando formada su curva de disparo por la superposición de ambas características, magnética y térmica.

En el gráfico de la figura.



Puede verse la curva de desconexión de un magnetotérmico, en la que se aprecia una zona A, claramente térmica, una zona B que corresponde a la reacción magnética, y la zona de solape C, en donde el disparo puede ser provocado por el elemento magnético o térmico indistintamente.

Normalmente, en los gráficos en que se ilustra la curva característica de los magneto-térmicos, se concede el eje vertical a la escala de tiempos, graduada logarítmicamente, y el eje horizontal a la escala de intensidades, graduada también a escala logarítmica, y en múltiplos de la intensidad nominal. Así, por ejemplo, un punto  $3 I_n$  corresponderá a 30A, si el aparato es de 10A, o bien a 75A, si el aparato es de 25A, etc.

Como en casos anteriores, la zona de tolerancia delimita las dos zonas características de "no desconexión" y de "segura desconexión". Así, para una intensidad  $2,5 I_n$  podría suceder la desconexión entre los 15 y los 60 sg, siendo correcto cualquier tiempo intermedio de disparo.

Según sean los límites que posea la curva característica de un magneto-térmico, así será su comportamiento, debiendo adaptar en cada caso el aparato correspondiente a las peculiaridades del circuito que se pretenda proteger.

Mecánicamente, podemos decir que estos interruptores disponen de desconexión libre, es decir, que cuando se produce una desconexión, ya sea por sobrecarga o cortocircuito, el aparato desconecta aunque se sujete la manecilla de conexión.

Para los magneto-térmicos bipolares o tripolares, podemos decir también que cuando una fase es afectada en la desconexión, ésta se efectúa simultáneamente en todos los polos mediante transmisión interna, independiente de la pieza de unión entre manecillas.

## SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

### Conexión a tierra

La conexión a tierra es un aspecto importante de cualquier equipo eléctrico y debe considerarse cuidadosamente.

El Código Eléctrico Nacional (NEC) define la conexión a tierra como una conexión de conducción, ya sea intencional o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y la tierra, o a algún cuerpo conductor que sirve de tierra.

Las funciones de la conexión a tierra intencional de los equipos eléctricos se mencionan a continuación:

1. Mantener los diferenciales de tensión entre las diferentes partes de un sistema a un mínimo, lo que reduce el peligro de choques.
2. Mantener la impedancia de la vía de conexión a tierra a un mínimo. Entre menor es la impedancia, mayor es la corriente en caso de una falla. Entre mayor es la corriente, más rápidamente se abrirá un dispositivo de protección contra sobrecorriente
3. Evitan energización accidental de carcasa o cubiertas metálicas de equipo eléctrico.
4. Medio de descarga:
5. Sobretensiones externas: descargas atmosféricas
6. Conmutación o perturbaciones de la red
7. Cargas electrostáticas del equipo o estructuras metálicas
8. Conduce corrientes de falla generadas por daños o eventos en los sistemas eléctricos

### Finalidad

1. Previene riesgo eléctrico al personal
2. Tensiones de paso y/o de contacto
3. Facilitar un camino de baja resistencia para las corrientes de falla.
4. Evitar ruidos eléctricos
5. Establecer una referencia con respecto a tierra para equipos y sistemas eléctricos

### Uso en motores eléctricos

1. Aterrizar motor en un solo punto
2. Conexión con 360 grados
3. Resistencia de contacto
4. Longitud de cables

### Protección contra falla a tierra (GFIC)

Deberán poseer interruptores de falla a tierra para protección de las personas los siguientes casos:

- ✓ Para todos los tomacorrientes monofásicos de 15, 20A a 120v instalados en:
  - Cuartos de baño
  - Garajes con excepción de los que no sean de fácil acceso

## ***Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales***

- Exteriores a los cuales hay acceso directo desde el piso ( $h < 1.98\text{m}$ )
  - Al menos 1 en el sótano de la vivienda y señalado o marcado
  - En zonas de ropa ubicados a menos de 1.83m del fregadero
  - Sobre el tope del mueble de la cocina
- ✓ En todos los equipos artefactos para alumbrados utilizados en zonas húmedas como piscinas, albercas, hidrantes, etc.

### ILUMINACION

#### CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES LUMINOSAS ELÉCTRICAS

La iluminación eléctrica en la industria, es el alumbrado mediante cualquiera de los numerosos dispositivos que convierten la energía eléctrica en luz. Los tipos de dispositivos de iluminación eléctrica utilizados con mayor frecuencia son las lámparas incandescentes, las lámparas fluorescentes y los distintos modelos de lámparas de arco y de vapor por alta descarga eléctrica.

#### **Lámpara Incandescente.**

Fuente o dispositivo de iluminación en la que la luz se produce por un filamento calentado a incandescencia al paso de una corriente eléctrica. Los materiales de filamento más típicos son el Wolframio y el Tungsteno, los cuales soportan elevadas temperaturas de fusión (3.410 °C) para que la proporción entre la energía luminosa y la energía térmica generada por el filamento aumente a medida que se incrementa la temperatura, obteniéndose la fuente luminosa más eficaz a la temperatura máxima del filamento.

#### **Lámpara Fluorescente.**

La lámpara fluorescente es otro tipo de dispositivo de descarga eléctrica empleado para aplicaciones generales de iluminación. Se trata de una lámpara de vapor de mercurio contenida en un tubo de vidrio, revestido en su interior con un material fluorescente conocido como fósforo. La radiación en el arco de la lámpara de vapor hace que el fósforo se torne fluorescente.

#### **Lámpara Tipo LED.**

El LED (Light Emissor Diode - Diodo Emisor de Luz) es un tipo especial de diodo, que trabaja como uno común, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica emite luz. Existen diodos LED de varios colores y dependen del material con el cual fueron construidos. Hay de color rojo, verde, amarillo, ámbar, infrarrojo (GaAs, GaAsP, y GaP). A diferencia de las lámparas incandescentes y fluorescentes, casi toda la energía utilizada por el LED es convertida en luz en lugar de calor, lo cual los hace muy eficientes.

Tiene enormes ventajas sobre las lámparas comunes, como su bajo consumo de energía, su mantenimiento casi nulo y con una vida aproximada que varía de 50.000 a 100,000 horas.

#### NIVEL DE ILUMINACIÓN

##### **Cálculo de lúmenes para interiores**

Se puede definir dos niveles en la iluminación de interiores; local y general. El primero se refiere a la necesidad de luz para tareas específicas que se desarrollan en diferentes puntos del espacio a iluminar.

El nivel general corresponde a la iluminación en todas las demás áreas. También llamarse alumbrado general por zona, cuando se decide los niveles de iluminación diferentes para cada zona, lo cual resulta más económico.

Además de definir el nivel de iluminación general se requiere cuidar la colocación de las luminarias de tal forma que se reduzca el deslumbramiento directo ó reflejado, ó las sombras indeseables.

También es necesario un completo análisis de los objetos implicados en la tarea visual relativa A: tamaño, reflectancia, velocidad de exposición y contraste con el fondo.

Una vez escogidos las luminarias que se van a utilizar y determinado el nivel de iluminación requerido (anexo A), podría calcularse el numero de luminarias requeridas para producir tal iluminación. No obstante para áreas amplias es preferible utilizar el método de los lúmenes porque proporcionan una iluminación media uniforme además su aplicación no es complicada.

### Método del cálculo de lúmenes

Este método se utiliza únicamente para el cálculo de alumbrado en interiores y está basado en la definición de ‘‘LUX’’, que es igual a un lumen por metro cuadrado con la información del fabricante sobre la emisión luminosa inicial de cada lámpara, la cantidad instalada y el área de la zona considerada (en m<sup>2</sup>) puede obtenerse el numero de lúmenes/ m<sup>2</sup> ó luxes; su ecuación:

$$E = \frac{\Phi_e}{S} = \frac{\text{lumenes emitidos}}{\text{area en m}^2} = \text{luxes}$$

Este valor difiere de los luxes medidos, debido a que algunos lúmenes son absorbidos por la misma luminaria o por la influencia de otros factores tales como la suciedad de la luminaria y la disminución gradual de la emisión de luz de las lámparas, entre otras.

A continuación aparece el procedimiento utilizado en método de lúmenes que se puede dividir en cinco puntos fundamentales.

### Determinación del nivel de iluminación requerida:

El anexo ‘‘A’’ presenta los niveles de iluminación para diversas tareas recomendados en el informe N°29 de la ‘‘International Commission On Illumination’’ (comisión internacional de iluminación) constituida por los comités nacionales de iluminación de 30 paises (manual de alumbrado de PHILLIPS, 1983). Estas recomendaciones presentan valores mínimos en el lugar mismo de la tarea visual de acuerdo con la práctica actual; una total comodidad visual puede requerir niveles superiores.

Es importante señalar que existen publicaciones (WESTING HOUSE, 1985 y sociedad mexicana de ingeniería de iluminación, 1965) que recomiendan valores distintos a los propuestos en el anexo ‘‘A’’

### Determinación del coeficiente de utilización (cu):

‘‘El coeficiente de utilización’’ es el cociente de los lúmenes que llegan al plano de trabajo (Plano horizontal 75cms. Del suelo) y los totales generados por la lámpara. Este factor toma en cuenta la eficiencia y la distribución de la luminaria, su altura de montaje, las dimensiones del local y la reflectancia de las paredes, techo y suelo.

A causa de las múltiples reflexiones que tienen lugar dentro de un local, una parte de luz pasa hacia abajo a través del plano imaginario de trabajo más de una vez, por lo que en algunas circunstancias el coeficiente de utilización puede sobre pasar la unidad.

En general cuanto más alto y estrecho sea el local, mayor será la proporción de luz absorbida por las paredes y menor el coeficiente de utilización. Este efecto se considera mediante la Relación de la Cavity del Local (RCL) que se define como sigue:

$$RCL = \frac{5H(largo + ancho)}{largo * ancho}$$

Donde:

H: altura de la cavidad.

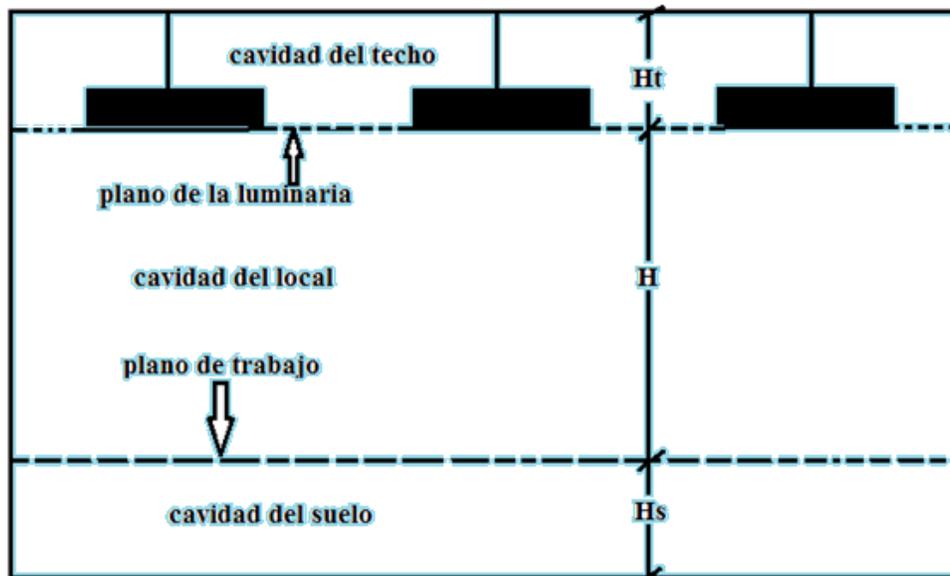
Los datos técnicos para distintas luminarias están reunidos en la Tabla V (Anexo A). Cuando se trabaja con luminarias no incluidas en dichas paginas "el coeficiente de utilización" deberá tomarse de la tabla de otra luminaria de eficacia y curva de distribución similares.

El coeficiente de utilización buscado puede determinarse entonces para la propia relación de la cavidad del local y las reflectancia apropiadas de la pared y de la cavidad del techo.

Para luminarias montadas o empotradas en el techo, la reflectancia de la cavidad del techo es la misma que la del techo real.

Para lámparas suspendidas, en cambio, es necesario obtener la reflectancia efectiva de la cavidad del techo como sigue:

a) Determinar la relación de la cavidad del techo con la misma expresión utilizada para determinar la cavidad del local considerando "H" como la distancia desde el plano de colocación de la luminaria al techo (de acuerdo a la figura). Entonces la relación de cavidad del techo es igual a la del local multiplicada por el cociente de la distancia del techo a las luminarias entre a la altura de la cavidad del local.



H: altura de la cavidad del local

Ht: altura de la cavidad del techo

Hs: altura de la cavidad del suelo

b) Determinar la reflectancia efectiva de la cavidad utilizando la Tabla III (Anexo A) con las reflectancia base del techo y de la pared (correspondiente a la parte que esta sobre el nivel de las luminarias).

El coeficiente de utilización determinado en la forma indicada será aplicado a zonas que tengan una reflectancia de la cavidad del suelo efectivo de 20% ( más del 25% o menos del 15%), depende de la precisión deseada, se recomienda hacer una corrección.

Los factores de corrección para la reflectancia del suelo cercanos al 10% y al 30% se dan en la Tabla III (Anexo A. La reflectancia efectiva de la cavidad del suelo se determina del mismo modo y usando la misma la Tabla III (Anexo A que se usa para la determinación de la reflectancia efectiva del techo.

### **Determinación del factor de pérdidas totales (ftp):**

Desde el primer día en que se pone a funcionar el alumbrado la iluminación va cambiando con forme las lámparas envejecen. Además la suciedad acumulada en la luminaria y otros factores contribuyen a la perdida de luz.

El efecto neto es siempre una disminución del nivel de iluminación, aunque ciertos factores pueden producir un incremento.

El factor de pérdidas totales es el resultado final por la presencia de todos los factores parciales. Se define como el cociente de la iluminación cuando alcanza su nivel más bajo en el plano de trabajo (antes de efectuar alguna acción correctiva) entre el nivel nominal de iluminación de las lámparas,(sin considerar factores parciales de perdidas).los fabricantes clasifican las lámparas de filamento de acuerdo con la luminosidad que emiten cuando están nuevas, mientras que las lámparas de descarga de vapor (fluorescentes, de mercurio y demás tipos comunes) las catalogan según la emisión luminosa que tienen después de 100horas de funcionamiento.

Los niveles de iluminación dados en el "anexo A" representan los valores mínimos requeridos en todo momento.

El factor de pérdidas totales debe incluir las perdidas atribuida a todo tipo de causa, algunas de las cuales se van acumulando hasta que se efectúa una acción correcta. Por esta razón el programa de mantenimiento debe incluir una evaluación de los factores de pérdidas de luz y las acciones periódicas que deben llevarse a cabo para corregir su efecto.

La precisión del efecto de cálculo puede perderse si no se pone en cuidado la estimación de los factores de perdida y se ignora el programa de mantenimiento.

Los factores parciales de perdida que deben considerarse se detallan a continuación. Alguno de ellos solo pueden estimarse de manera aproximada; otros pueden evaluarse atreves de pruebas o ensayos.

Estos ocho factores son:

1) Características del funcionamiento del balastro. La asociación del fabricante de balastro de "E.U.A" (certified manufacturers association) especifica que las lámparas fluorescentes requieren un balastro con una reactancia tal que la lámpara emita el 95% de la luminosidad que proporciona cuando funciona con reactancia patrón (o de laboratorio) utilizada para establecer el valor nominal.

En los balastros que no se especifica el cumplimiento de esta condición debe considerarse una pérdida mayor. No se dispone de especificaciones para los rectores de las lámparas de vapor de mercurio, por lo que se sugiere consultar al fabricante. En las lámparas de filamento (incandescentes) no hay pérdidas por este factor.

2) Tensión de alimentación de las luminarias. La tensión de servicio en la lámpara es difícil de predecir. Para lámparas de filamento, así como lámparas de mercurio (con reactancia de valor alto) una desviación del 1% de la tensión nominal causa aproximadamente una variación del 3% en los lúmenes emitidos.

En la reactancia de salida regulada (potencia constante) la emisión luminosa de la lámpara es independiente de la tensión primaria. Los lúmenes emitidos por una lámpara fluorescente varía aproximadamente un 1% por cada 2.5% de variación en la tensión.

3) Variación de la reflectancia de la luminaria. Este efecto es pequeño pero después de un periodo de tiempo largo puede ser significativo en las luminarias con acabados (plástico) de baja calidad.

4) Lámparas fundidas. La pérdida de iluminación es proporcional al porcentaje de lámpara fuera de servicio.

5) Temperatura ambiente. Las variaciones de temperatura no tienen una influencia determinante en las lámparas de filamento ni de mercurio. Las lámparas fluorescentes se calibran fotométricamente a 25°C por lo que desviaciones significativas de esta temperatura "hacia arriba ó hacia abajo" pueden significar pérdidas sustanciales de la emisión luminosa.

6) Luminarias con intercambio de calor. Existen luminarias cuyo diseño permiten que se utilicen como parte del sistema de ventilación o aire acondicionado.

Estas luminarias se calibran fotométricamente sin paso de aire. Por tanto, cuando son instaladas y se extrae o se inyecta aire a través de ella, su eficiencia aumenta, a veces hasta un 20%. Este incremento es función de la cantidad y de la temperatura del aire que pasa a través de la luminaria.

7) Degradación luminosa de la lámpara. La reducción gradual de la luminosidad producida por el paso del tiempo es diferente para cada tipo y calidad de lámpara. Para el 70% de vida estimada, la disminución aproximada de los lúmenes emitidos es de 8% para lámparas fluorescente, de 8.5% para las de filamento y de 6.5% para las de mercurio.

8) Disminución de emisión luminosa por suciedad. Este factor varía en el tipo de luminaria y el ambiente en que trabaja. En la Tabla III (Anexo A) se representa ciertos tipos de luminaria clasificadas en seis categorías y en la Tabla II (Anexo A) aparecen los gráficos de los factores de degradación por suciedad correspondientes a estas categorías.

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

El factor se suministra en función del tiempo transcurrido (meses) desde la última vez que se limpio la lámpara y el grado de suciedad del ambiente que la rodea.

### Calculo del número de luminarias

El número de luminarias (unidades de alumbrado) pueden calcularse de la siguiente manera:

$$N = \frac{E * S}{\Phi * L * Cu * FPT}$$

Donde:

N: Numero de lámparas o (unidades de alumbrado).

E: Iluminación requerida.

S: Superficie.

$\Phi$ : Flujo luminoso por lámparas.

L: Numero de luminarias ó tubos por lámpara.

### Determinación del acomodo de las luminarias

La colocación de las luminarias depende de la arquitectura general, de las dimensiones del edificio, del tipo de luminaria y de la ubicación de las tomas de energía existentes.

Para conseguir una distribución uniforme de iluminación sobre una zona, se recomienda respetar la separación resultante al usar los factores que aparecen en la nota: no superior a de la Tabla V y que están en función de la altura de montaje (al plano de trabajo).

En la mayoría de los casos, resulta necesario colocarlas más próximas a fin de obtener los niveles de iluminación requeridos.

Frecuentemente los equipos fluorescentes deben montarse en filas continuas. Si la relación entre la separación y la altura de montaje excede en el límite de la Tabla V se deben escoger mayor número de unidades de menor potencia para eliminar los conos de sombra.

Si por el contrario resulta demasiado bajo, se debe escoger unidades del mismo tipo, pero más potentes. Una vez determinado el número de luminarias conforme al plano real, se vuelve a calcular en el nivel luminoso con la relación:

$$E_e = \frac{N_e * \Phi * L * Cu * FPT}{S}$$

Donde:

$E_e$ : Iluminación resultante según nueva especificación.

$N_e$ : Numero de luminarias de la nueva especificación.

### Ejemplo del cálculo.

Se requiere calcular el alumbrado de una oficina donde se llevaran a cabo labores administrativas normales. Sus dimensiones son: 6m de ancho, 12m de largo, 2.75m de altura. Se considera una reflectancia de 80% para el techo, de 50% para las paredes y 20% para el piso. Se propone utilizar lámparas de lado opaco

(consultar tabla V suspendidas a 25cm del techo. La altura del plano de trabajo se considera a 75cm. Por lo tanto la altura de la cavidad del local es de 1.75m; la del techo es 0.25m y la del piso es de 0.75m.

Del ‘‘anexo A’’ se desprende que para los trabajos normales de oficina el nivel luminoso recomendado es de 500 lux. La relación de cavidad del local es:

$$RCL = \frac{5H(largo + ancho)}{largo * ancho} = \frac{5(1.75)(6 + 12)}{6 * 12} = 2.19$$

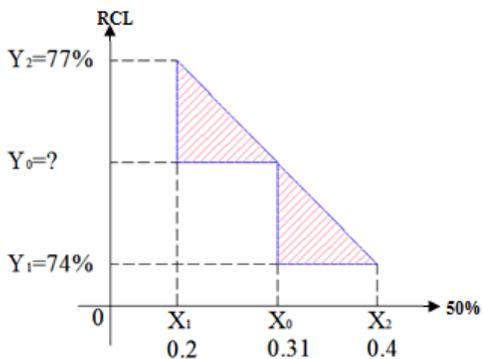
La relación de cavidad de techo es:

$$RCT = \frac{5(0.25)(6 + 12)}{6 * 12} = 0.312 \cong 0.31$$

La relación de cavidad del piso es:

$$RCS = \frac{5(0.75)(6 + 12)}{6 * 12} = 0.9375 \cong 0.94$$

La referencia efectiva del techo se obtiene haciendo una interpolación en la tabla 5



$$\frac{Y_2 - Y_0}{X_0 - X_1} = \frac{Y_0 - Y_1}{X_2 - X_0}$$

$$\frac{77 - Y_0}{0.31 - 0.2} = \frac{Y_0 - 74}{0.4 - 0.31} \Rightarrow \frac{77 - Y_0}{0.11} = \frac{Y_0 - 74}{0.09}$$

$$0.09(77 - Y_0) = 0.11(Y_0 - 74)$$

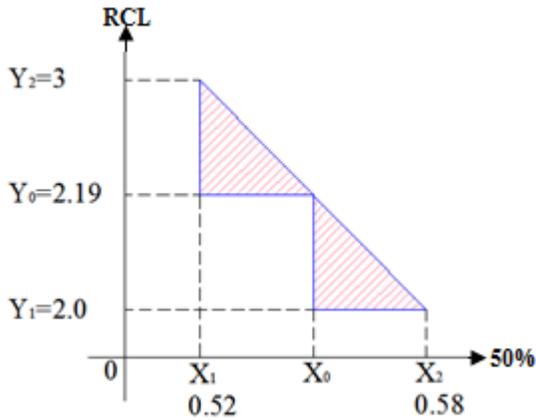
$$6.93 - 0.09Y_0 = 0.11Y_0 - 8.14$$

$$15.07 = 0.2Y_0 \Rightarrow Y_0 = 75.35\%$$

Con este valor de reflectancia del techo se busca en la Tabla V el coeficiente de utilización (Cu) de la luminaria propuesta. Que es una luminaria de categoría V de dos lámparas ó tubos; la emisión de cada lámpara es de 2900 lúmenes.

Vemos que en la Tabla V no aparece el porcentaje del 75.35%, solamente los porcentajes del 70% y 80%. Para mayor exactitud del "coeficiente de utilización" (Cu), debe de hacerse las siguientes interpolaciones:

Interpolación para el 70%:



$$\frac{3 - 2.19}{X_0 - 0.52} = \frac{2.19 - 2}{0.58 - X_0}$$

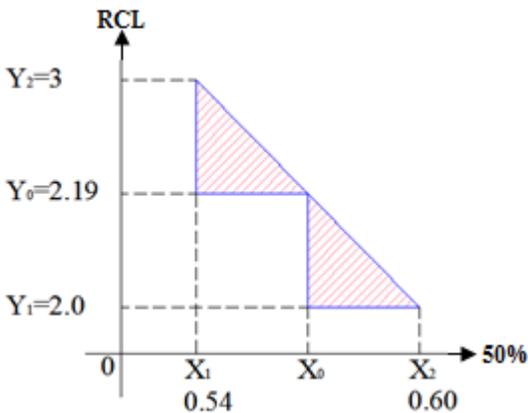
$$\frac{0.81}{X_0 - 0.52} = \frac{0.19}{0.58 - X_0}$$

$$0.19(X_0 - 0.52) = 0.81(0.58 - X_0)$$

$$0.19X_0 - 0.0988 = 0.4698 - 0.81X_0$$

$$0.5686 = X_0 \Rightarrow X_0 = 0.5686$$

Interpolación para el 80%



$$\frac{3 - 2.19}{X_0 - 0.54} = \frac{2.19 - 2}{0.6 - X_0} \Rightarrow \frac{0.81}{X_0 - 0.54} = \frac{0.19}{0.6 - X_0}$$

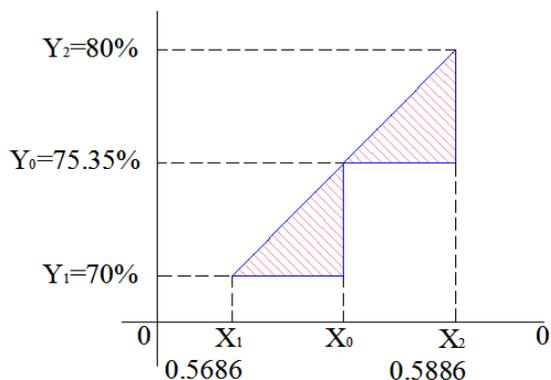
## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

$$0.19(X_0 - 0.54) = 0.81(0.6 - X_0)$$

$$0.19X_0 - 0.1026 = 0.486 - 0.81X_0$$

$$0.5886 = X_0 \Rightarrow X_0 = 0.5886$$

Interpolación de los dos porcentajes (70% y 80%)



$$\frac{80 - 75.35}{0.5886 - X_0} = \frac{75.35 - 70}{X_0 - 0.5686}$$

$$\frac{4.65}{0.5886 - X_0} = \frac{5.35}{X_0 - 0.5686}$$

$$4.65(X_0 - 0.5686) = 5.35(0.5886 - X_0)$$

$$4.65X_0 - 2.64399 = 3.14901 - 5.35X_0$$

$$5.793 = 10X_0 \Rightarrow X_0 = 0.5793$$

Para determinar el factor de pérdidas totales (FPT) de luz se considera que:

a.	Rendimiento del reactor	0.95
b.	Factor de tensión	1
c.	Factor de reflectancia	0.98
d.	Factor de lámpara inutilizada	1
e.	Factor de temperatura ambiente	1
f.	Factor de intercambio de calor	1
g.	Degradación luminosa	0.80
h.	Degradación por suciedad	0.86
	Factor de pérdidas totales	0.64

Nota: el (FPT) es el producto de todos ellos

Con todos los datos obtenidos anteriormente podemos calcular el número de lámparas.

$$N = \frac{500 * 72\text{m}^2}{2900 * 2 * 0.57 * 0.64} = \frac{36000}{2115.84} = 17.014519 \Rightarrow N = 17 \text{ de luminarias}$$

Si se decide instalar 18 luminarias (por conveniencia) de dos en tres filas (montadas longitudinalmente), el nivel luminoso resultante es:

$$E_e = \frac{N_e * \phi * L * Cu * FPT}{S}$$

$$E_e = \frac{18 * 2 * 2900 * 0.57 * 0.64}{72\text{m}^2} = 528.96 \text{ luxes}$$

$$E_e = 528.96 \text{ luxes}$$

### Características luminosas de las lámparas y luminarias

Los cálculos que acabamos de ver para el alumbrado de interiores, se han hecho de forma global, en lo que al nivel de iluminación se refiere. Se comprende que en el plano de trabajo no habrá una iluminación totalmente uniforme, aunque realmente tengamos un nivel medio igual al calculado.

Un cálculo exacto de la iluminación, debería contemplar el nivel de iluminación en todos los puntos del plano de trabajo, y en su defecto, por ser esto prácticamente imposible, debería considerar al menos una serie de puntos distribuidos estratégicamente por toda la superficie considerada.

Esta idea aporta un concepto nuevo a la hora de estudiar lámparas y luminarias, ya que según esto resulta muy útil saber cómo se distribuye la luz emitida por una determinada lámpara y el modo en que la modifica la utilización de luminarias.

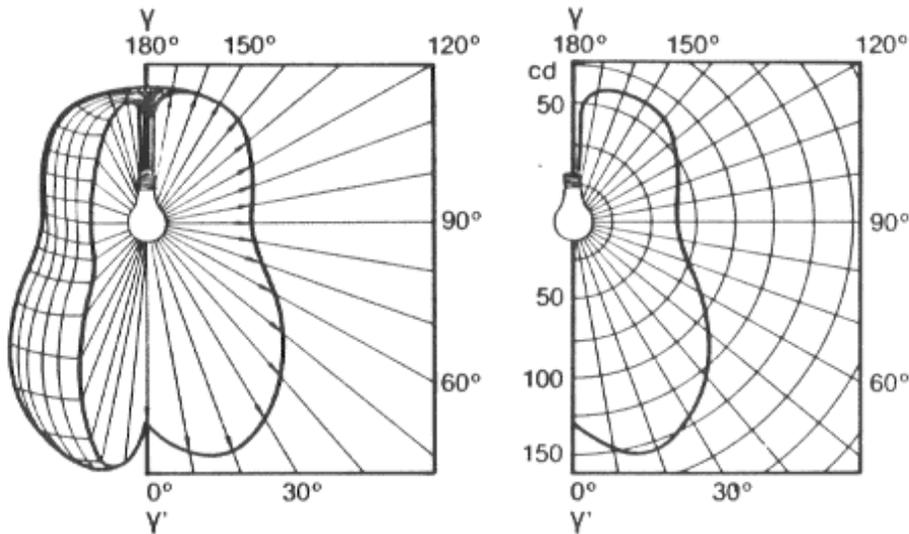
La manera más simple de representar gráficamente la distribución luminosa de una lámpara o de un conjunto lámpara-luminaria, es a través de las curvas denominadas de "distribución luminosa" o curvas "fotométricas de intensidades".

En realidad, las curvas de distribución luminosa son la representación gráfica de las medidas de las intensidades luminosas efectuadas en las infinitas direcciones que parten del centro de la lámpara o luminaria.

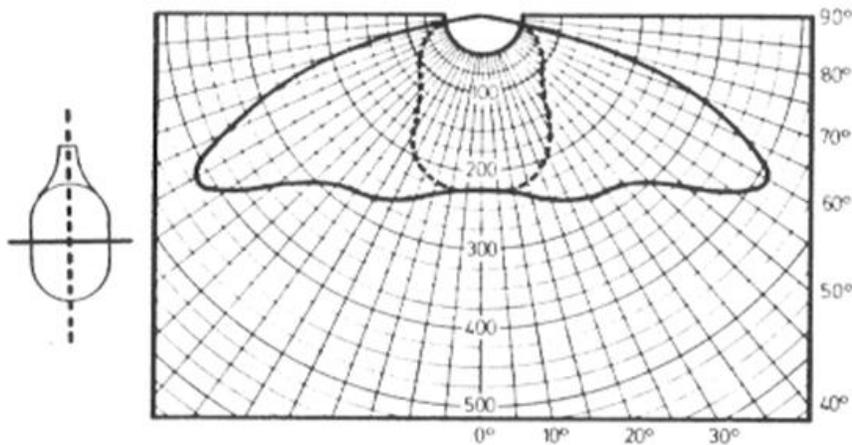
La determinación de cada uno de los puntos situados en un mismo plano se realiza mediante coordenadas polares, el valor de la intensidad luminosa se representa sobre círculos concéntricos y se expresa en candelas.

La distribución de las intensidades luminosas emitidas por una lámpara tipo estándar, la mostramos de una forma general, para un flujo luminoso de 1.000 lúmenes, en la siguiente figura (siempre que no se indique lo contrario estas curvas vienen referidas a 1.000 Lm).

El volumen determinado por los vectores que representan las intensidades luminosas en todas las direcciones, resulta ser simétrico con respecto al eje Y-Y'; es como una figura de revolución engendrada por la curva fotométrica que gira alrededor del eje Y-Y'.



En los casos de simetría del volumen fotométrico, es suficiente con representar un solo plano que contenga la curva correspondiente, pero no en todos los casos nos encontraremos con volúmenes simétricos, por lo que de manera simplificada los fabricantes suelen dar, sobre un mismo plano, dos únicas curvas del total del volumen.



Así, en la figura se muestran dos curvas fotométricas correspondientes a la luminaria de distribución asimétrica; una de ellas correspondientes con el eje X de la luminaria, y la otra con el eje Y.

Con un poco de imaginación podemos hacernos idea del volumen que determinan estas dos curvas.

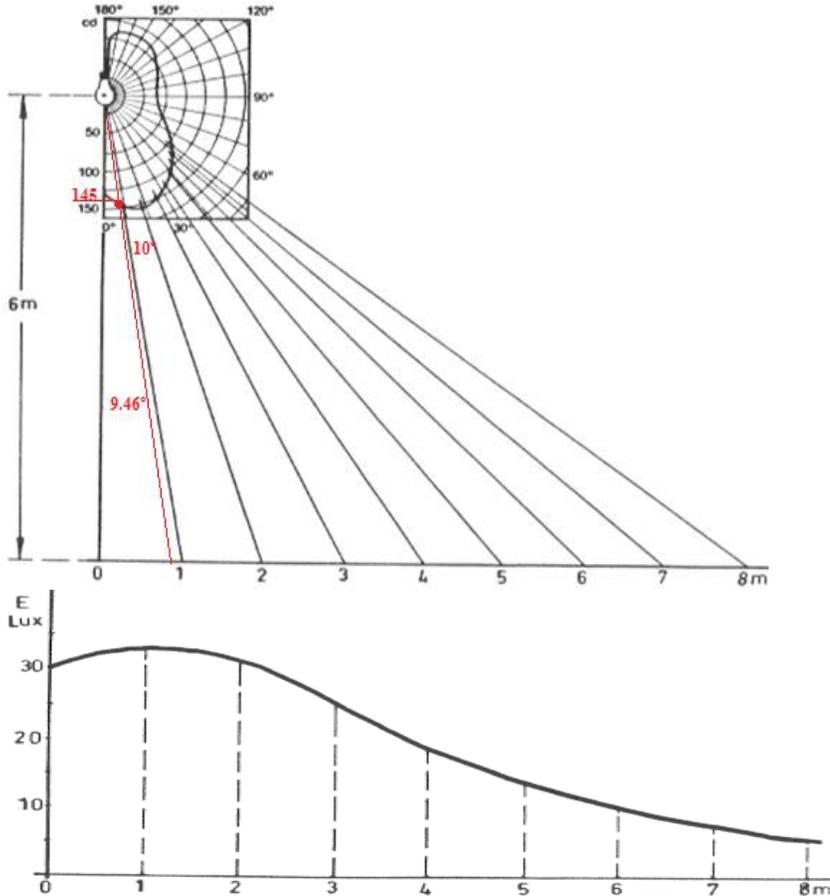
**Veamos seguidamente un ejemplo de aplicación de las curvas fotométricas, para valorar su importancia.**

Sea una lámpara de incandescencia estándar de 500W. A 220V., situada a 6 metros de altura.

Pretendemos determinar los distintos niveles de iluminación en puntos situados en un plano horizontal y a distintas distancias con respecto a la vertical que pasa por la lámpara.

Así, un punto situado a 1 metro de la vertical, forma un ángulo, con respecto al emisor de la luz, de

$$\tan \varphi = \frac{1}{6} \Rightarrow \varphi = 9.46^\circ$$



La intensidad luminosa para este ángulo resulta ser de 145 candelas, para los 1.000 lúmenes a que se refiere la curva, por lo tanto para los 8450 lúmenes de la lámpara de 500 W., le corresponderán:

$$\frac{\phi}{\phi_1} = \frac{I}{I_1} \Rightarrow I = \frac{\phi}{\phi_1} I_1 = \frac{8450}{1000} 145 = 1225cd$$

Por lo tanto, la intensidad luminosa en el punto considerado será de:

$$E = \frac{I \cos^3 \alpha}{H^2} = \frac{1225 * 0.96}{6^2} = 32.67lux$$

Repitiendo estos cálculos para distintos puntos, obtendremos los diferentes niveles de iluminación que proporciona la lámpara sobre el plano horizontal y en una dirección determinada.

Al ser simétrica la curva fotométrica con respecto a los dos ejes X-Y, en este caso, obtendremos valores idénticos sea cual sea la dirección elegida, por lo tanto los puntos de igual nivel de iluminación formarán circunferencias concéntricas alrededor de la vertical que pasa por la lámpara, (curvas Iso-lux).

Distancia metros	Ángulo	$\text{Cos}^3\alpha$	I (1000Lm) Candelas	I (8460Lm) Candelas	E Lux
0	0.0	1	130	1.098	30.0
1	9.4	0.960	145	1.225	32.6
2	18.4	0.853	155	1.309	31.0
3	26.5	0.715	150	1.269	25.1
4	33.6	0.576	135	1.140	18.2
5	39.8	0.453	130	1.098	13.8
6	45.0	0.353	120	1.014	9.9
7	49.3	0.275	110	929	7.1
8	53.1	0.16	105	887	5.3

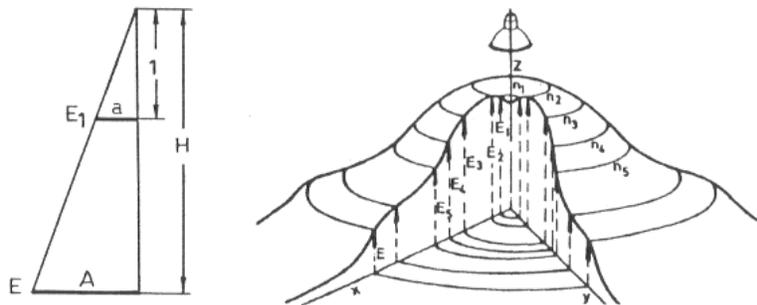
Para una gran parte de las aplicaciones es suficiente con la representación de una o dos curvas fotométricas de intensidades, las correspondientes a un solo plano o a dos planos perpendiculares. No obstante existen aplicaciones en las que hay que hacer uso de otro tipo de curvas que faciliten la solución gráfica de los problemas.

Así, del cuadro expuesto anteriormente podemos obtener dos tipos de curvas de gran utilidad práctica, las llamadas "Iso-lux" e "Iso-candelas".

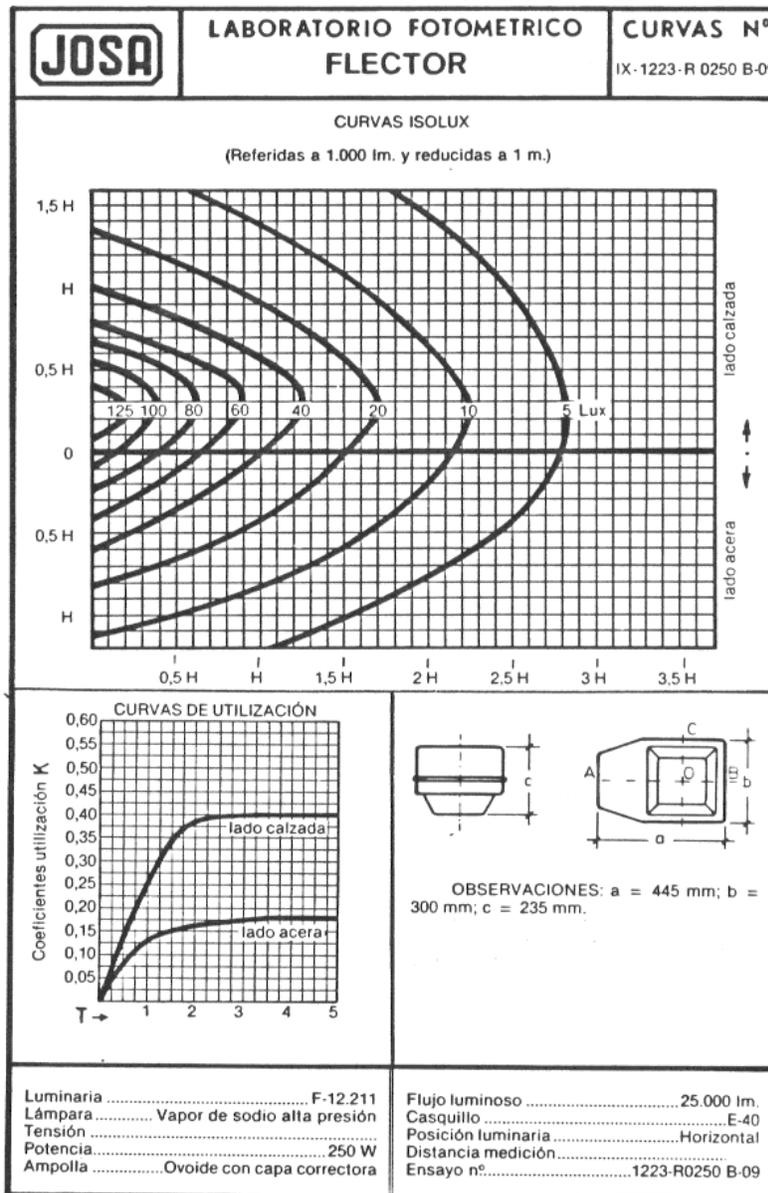
## Curvas isolux

Una forma de representación, de gran utilidad en la elaboración de proyectos de alumbrado, se encuentra en las llamadas curvas Isolux, definidas como el lugar geométrico de puntos de una superficie que tienen igual nivel de iluminación.

Son análogas a las curvas de nivel de los planos topográficos, con la salvedad de que ahora en lugar de indicar metros indicaremos lux.



En la siguiente figura hemos representado las curvas Isolux de una luminaria, para alumbrado viario, modelo F-12211 de BJC, junto con las inseparables curvas de utilización.



Sobre las curvas Isolux distinguiremos dos zonas, una que corresponde a la emisión anterior de la luminaria, es decir, del lado de la calzada, y otra, correspondiente al lado posterior de la luminaria o lado de la acera.

Estas dos zonas quedan delimitadas por el plano perpendicular al suelo y paralelo a la calzada, que pasa por el centro de la luminaria.

Mientras no se diga lo contrario, las curvas Isolux se suministran, para una determinada luminaria, reducidas a la distancia de 1 metro y referidas a 1.000 lúmenes.

Los ejes de estas curvas están referidos a múltiplos de H (altura de las luminarias), lo cual nos obliga a utilizar escalas que reduzcan las medidas originales a su equivalente en el plano de las curvas Isolux; por lo tanto, según el triángulo tendremos:

$$\frac{A}{H} = \frac{a}{1} ; \quad A = \frac{a}{H}$$

Esto equivale a decir que una medida A en la realidad equivaldrá a otra a/H en el plano del dibujo.

Así, por ejemplo, H en el plano del dibujo es de 32 mm., y si consideramos que la luminaria está a 10 metros, la escala resultante será de 32/10=3,2, es decir, que 1 metro en la realidad equivaldrá a 3,2 mm en el plano del dibujo.

Puesto que, según hemos dicho, las curvas Isolux vienen siempre referidas a 1 metro y a 1.000 lux, esto nos obliga también a buscar un factor de corrección que adapte los valores de las curvas a otra distancia y a otro flujo luminoso.

La adaptación a otra distancia H se deduce fácilmente si tenemos presente que:

$$\frac{E}{E_1} = \frac{H_1^2}{H^2} \Rightarrow E = E_1 \frac{H_1^2}{H^2} = E_1 \frac{1}{H^2}$$

Para otro flujo, teniendo en cuenta que para una misma superficie,

$$\frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{E}{E_1} \Rightarrow E = E_1 \frac{\Phi}{\Phi_1} = E_1 \frac{\Phi}{1000}$$

Finalmente, el valor del nivel de iluminación adaptado a las nuevas condiciones, resultará ser:

$$E = E_1 \frac{\Phi}{1000H^2} = E_1 K; \quad \text{siendo } K = \frac{\Phi}{1000H^2}$$

**Por ejemplo**, en las curvas Isolux de la luminaria F-12.211 y en el punto (0; 1,5H lado acera), le corresponde una iluminación de 20 lux. Calcular el nivel de iluminación correspondiente cuando la luminaria lleve una lámpara de 250 W., de vapor de mercurio (25.000 Lm), y se halle colocada a una altura de 9 metros. Aplicando la fórmula tendremos:

$$E = 20 \frac{25000}{1000(9)^2} = 6 \text{ LUX}$$

### Alumbrado de exteriores

El alumbrado de exteriores trata de proporcionar el nivel de iluminación adecuado en todos aquellos lugares al aire libre que por un motivo u otro lo necesitan. Estos motivos pueden ser muy variados, como por ejemplo: turísticos, deportivos, estéticos, de seguridad ciudadana, de seguridad vial, etc. Seguidamente ofrecemos una tabla de valores de niveles de iluminación que se suelen utilizar en alumbrados exteriores.

Para nuestro propósito, dividiremos el alumbrado exterior en tres apartados:

- Alumbrado público viario.
- Alumbrado industrial exterior.
- Alumbrado por proyectores.

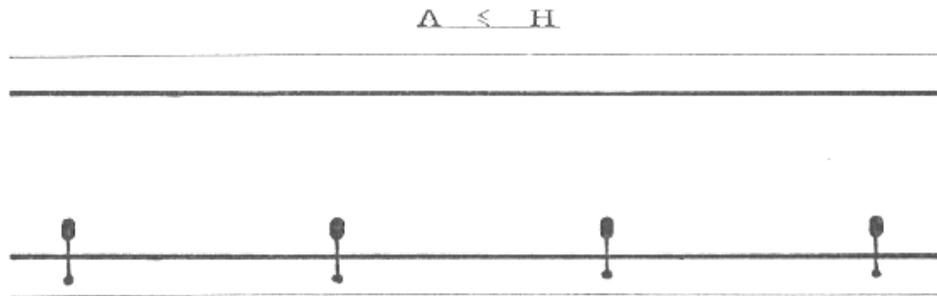
## Alumbrado público viario

El alumbrado público viario se localiza en aquellos lugares abiertos al tránsito, siendo su finalidad la de favorecer la circulación nocturna y evitar los peligros que origina la oscuridad.

El alumbrado viario se consigue mediante luminarias ubicadas sobre postes o mástiles especiales, existiendo, principalmente, cuatro formas diferentes de colocación:

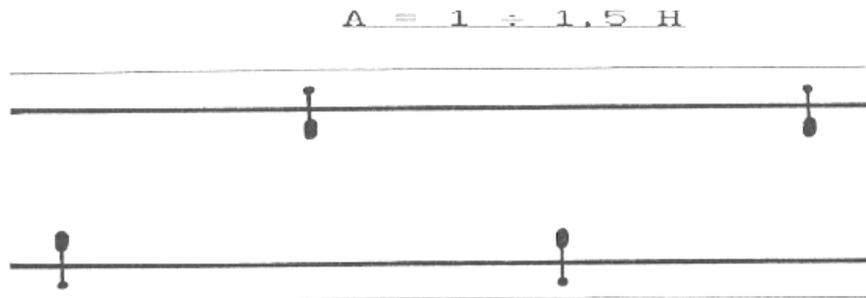
### 1) Unilateral

Esta disposición de las luminarias consiste en la colocación de todas ellas a un mismo lado de la calzada. Se utiliza solamente en aquellos casos en los que el ancho de la vía es igual o inferior a la altura de montaje de las luminarias



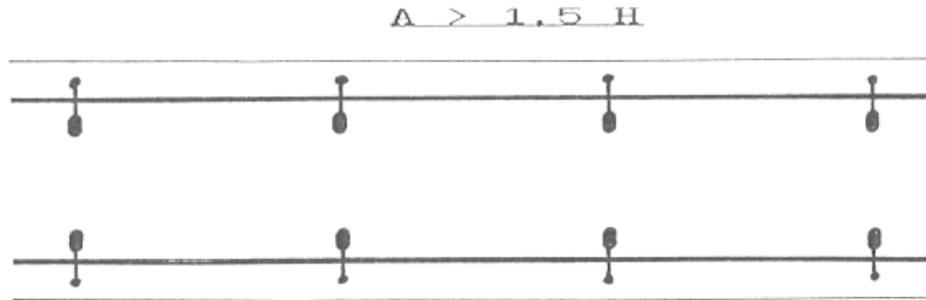
### 2) Tresbolillo

Consiste en la colocación de las luminarias en ambos lados de la vía, al tresbolillo o en zigzag. Se emplea principalmente en aquellos casos en los que el ancho de la vía es de 1 a 1,5 veces la altura de montaje.

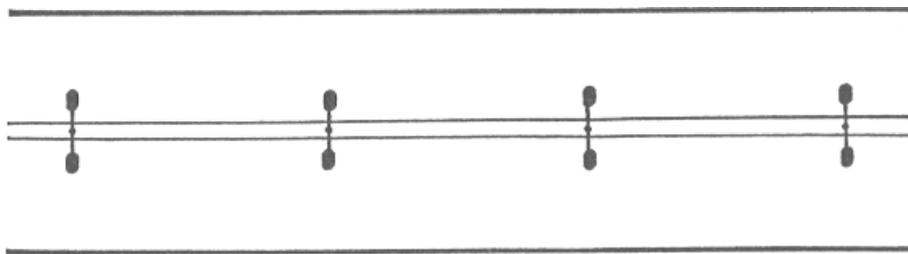


### 3) En oposición

Esta disposición sitúa las luminarias una enfrente de la otra, y suele utilizarse cuando el ancho de la vía es mayor de 1,5 veces la altura de montaje.



4) Central con doble brazo



Este caso se utiliza en autopistas y vías de dos calzadas. En realidad se trata de una colocación unilateral para cada una de las dos calzadas; en ocasiones también se coloca frente a ellas otras luminarias, dando lugar a disposiciones dobles en oposición, o al tresbolillo.

Estas son las cuatro maneras de colocación más comúnmente utilizadas, aunque pueden existir otras muchas.

La experiencia acumulada en el alumbrado público, recomienda una serie de requisitos que deberemos de tener presente a la hora de los cálculos, sin que ello suponga una imposición que pueda limitar la actuación del proyectista.

Seguidamente exponemos algunas de ellas. La altura a la que deberemos situar las luminarias, en cierto modo depende de la potencia luminosa instalada, por lo que deberemos de tener presente la siguiente tabla:

**Altura recomendada según el flujo luminoso de la luminaria**

Potencia luminosa (lúmenes)	Altura de la luminaria(metros)
3000 a 9000	6.5 a 7.5
9000 a 19000	7.5 a 9
>19000	>9

Según sea la iluminación media que queremos obtener, así deberá ser la relación entre la distancia de separación de luminarias y su altura:

## Relación entre separación y altura según el nivel de iluminación

Iluminación media (lux)	Relación separación/altura
$2E_m < 7$	4 a 5
$7E_m < 15$	3.5 a 4
$15E_m < 30$	2 a 3.5

Al igual que en alumbrados interiores, en el alumbrado público también deberemos tener en cuenta el coeficiente de mantenimiento por ensuciamiento y por depreciación del flujo luminoso. El coeficiente por ensuciamiento que deberemos aplicar en cada caso, lo mostramos en la tabla siguiente:

### Factor de mantenimiento por suciedades

Tipo de luminaria	Factor recomendado
Hermética	0.80 a 0.78
Ventilada	0.70 a 0.80
Abierta	0.65 a 0.75

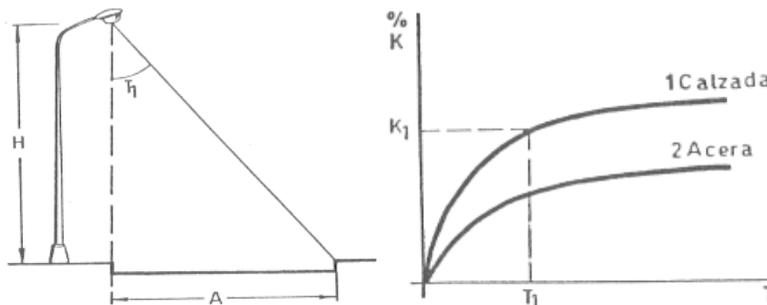
Los fabricantes de luminarias, además de suministrar las curvas Isolux, deben de suministrar también unas curvas llamadas "curvas de utilización", que en función de la tangente del ángulo formado entre la luminaria y la zona a iluminar, nos da el tanto por ciento del flujo utilizado correspondiente a la calzada y a la acera.

Vamos a dividir el estudio detallado de este coeficiente en cuatro casos, para una mayor comprensión, teniendo siempre presente que nos referimos a la iluminación de la calzada y no a la de las aceras:

### 1. Cuando la vertical que pasa por la luminaria coincide justamente con el final de la calzada y el principio de la acera.

En este caso, el flujo correspondiente a la zona de acera (curvas Isolux), se utiliza para iluminar la acera, y el flujo correspondiente a la zona de calzada se utiliza para iluminar la misma.

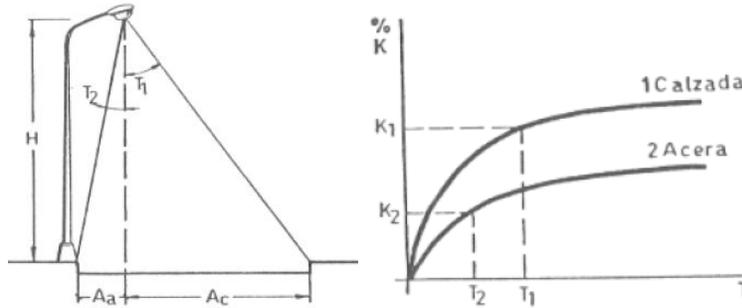
$$T_1 = \frac{A}{H} ; C_u = K_1$$



## 2. Cuando la vertical que pasa por la luminaria cae dentro de la calzada.

Ahora la zona correspondiente a calzada se utiliza para iluminar la calzada, y parte de la zona de acera se utiliza también para iluminar la calzada.

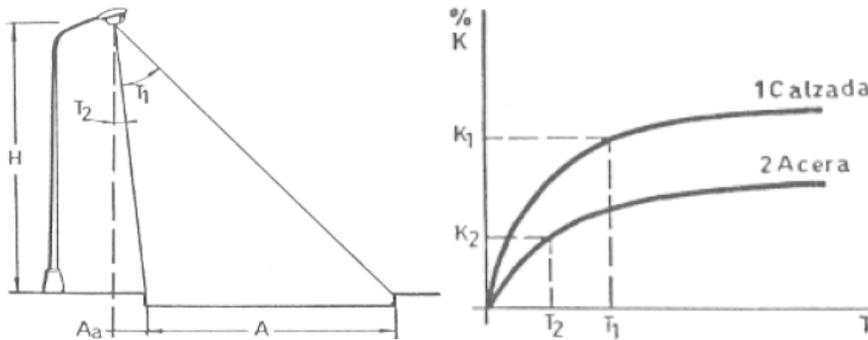
$$T_1 = \frac{A_c}{H}; \quad T_2 = \frac{A_a}{H}; \quad C_u = K_1 + K_2$$



## 3. Cuando la vertical que pasa por la luminaria cae dentro de la acera.

En este caso parte del flujo luminoso de la zona de calzada se utiliza para iluminar la acera.

$$T_1 = \frac{A_a}{H}; \quad T_2 = \frac{A}{H}; \quad C_u = K_1 + K_2$$

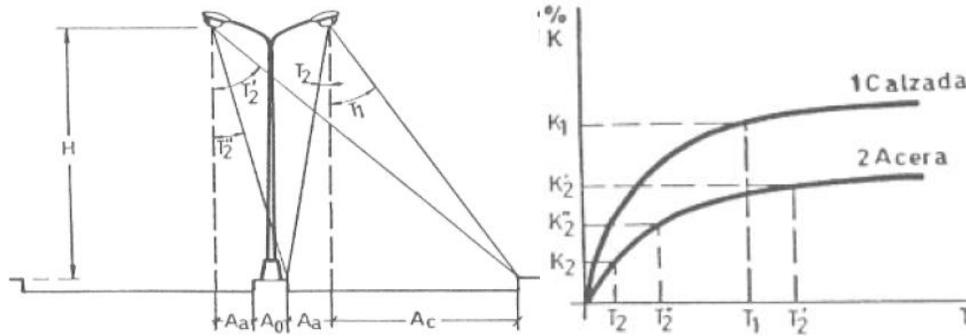


## 4. Cuando se utiliza iluminación central con doble brazo.

Este caso difiere notablemente de los anteriores, ya que ahora hay que contar con parte de la zona de acera, de una de las calzadas, que ilumina la otra calzada.

$$T_1 = \frac{A_c}{H}; \quad T_2 = \frac{A_a}{H}; \quad T_2' = \frac{A_a + A_0 + A_a + A_c}{H}; \quad T_2'' = \frac{A_a + A_0}{H}$$

$$C_u = K_1 + K_2 + K_2' - K_2''$$



Lo visto hasta ahora ya nos permite iniciar el proceso de cálculo de un alumbrado viario. Si tenemos presente lo expuesto para el alumbrado de interiores, fácilmente deduciremos que:

$$E = \frac{\Phi_t C_u}{AD}$$

Donde:

E = Nivel de iluminación en lux.

$\Phi_t$  = Flujo luminoso máximo de cada luminaria en Lúmenes.

A = Ancho de la calzada en metros.

D = Separación entre luminarias en metros.

$C_u$  = Coeficiente de utilización

**Por ejemplo,** consideremos la realización de un alumbrado viario con la luminaria de BJC (F-22.11W 25.000 Lm), siendo la anchura de la calle, A=10 m., y el nivel de iluminación deseado de 32 lux.

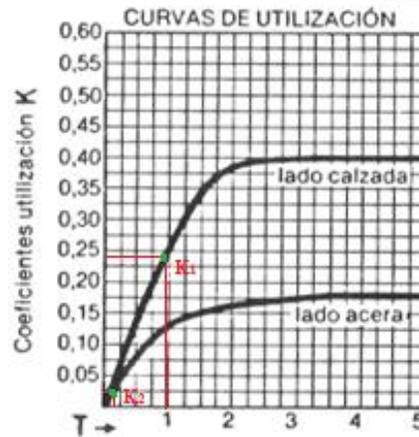
Se trata, pues, de determinar la separación a que deberemos colocar las luminarias para obtener el nivel de iluminación mencionado.

Según lo dicho anteriormente, para un flujo luminoso de 25.000 Lm, se recomienda colocar la luminaria a una altura igual o superior a los 9m. Tomamos H = 9m. Siendo A = 10 y H = 9, la distribución de las luminarias se recomienda sea al tresbolillo.

Suponiendo que la vertical de la luminaria se va a situar 1,5 metros dentro de la calzada, tendremos:

$$T_1 = \frac{A}{H} = \frac{10 - 1.5}{9} = 0.94; \quad K_1 = 0.24$$

$$T_2 = \frac{1.5}{9} = 0.166; \quad K_2 = 0.02$$



Por lo tanto, el coeficiente de utilización será:

$$C_u = K_1 + K_2 = 0.24 + 0.02 = 0.26$$

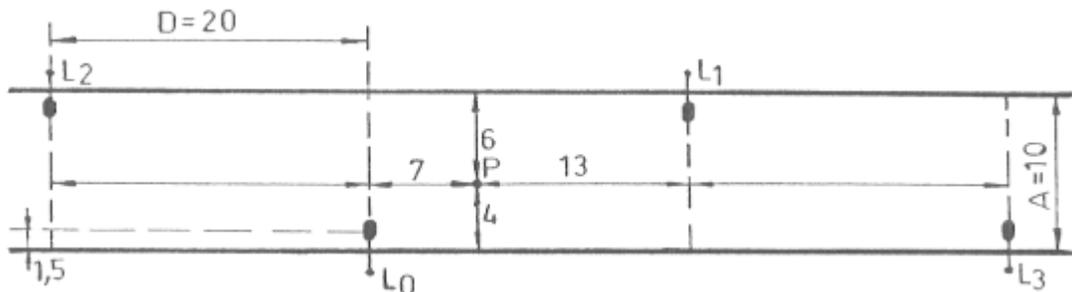
Con todos estos datos ya podemos calcular la separación entre luminarias.

$$D = \frac{\phi_t C_u}{AE} = \frac{25000 * 0.26}{10 * 32} = 20 \text{ metros}$$

Deliberadamente no hemos tenido en cuenta el factor de mantenimiento, ya que se supone que lo hemos incluido al dar el valor del nivel de iluminación, es decir, hemos supuesto inicialmente un nivel de iluminación un tanto por ciento mayor que el que se necesita, previendo una cierta depreciación.

Con esto ya tenemos resuelto el problema, pero al igual que en el caso de alumbrados interiores, para una mayor seguridad en los resultados, sería deseable conocer el nivel de iluminación en una serie de puntos de la calzada, con el fin de poder determinar lo que más adelante llamaremos factor de uniformidad y que en realidad no será otra cosa que la relación entre el valor mínimo y máximo de una serie de valores obtenidos sobre la calzada.

Veamos la manera de obtener el nivel de iluminación de un punto, mediante las curvas Isolux. Sea el punto P situado a 4 metros de la acera y a 7 metros de la luminaria L0; dicho punto tendrá una iluminación igual a la suma de las iluminaciones aportadas por L0, L1, L2, L3, etc..



Lo primero que deberemos hacer es determinar la escala con la que representaremos, sobre las curvas Isolux, las situaciones de los distintos puntos del problema. La escala, teniendo en cuenta que la distancia O-H en el plano de las curvas es de 48 mm y que la altura real para las luminarias es de H = 9 metros, tendremos que:

$$48\text{mm}/9\text{m}=5.3\text{mm cada metro}$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

Es decir, que 1 metro en la realidad equivale a 5,3 mm en el plano del dibujo.

Con esta escala, y partiendo del punto cero, como posición de la luminaria, situaremos el punto P, que se encuentra a 4 metros de la acera y a 7 de la luminaria L0.

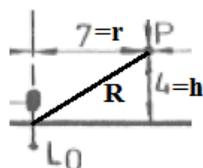
Seguidamente dibujamos la situación del punto P con respecto a la luminaria L1, que estará a  $10 - 4 = 6$  metros de la acera opuesta, y a  $20 - 7 = 13$  de la luminaria.

El siguiente punto en influencia, el L2, se encuentra a 6 metros de la acera opuesta, y a  $20 + 7 = 27$  metros de la luminaria.

Finalmente, la influencia de L3 puede despreciarse en este caso, ya que se encontrará en la misma línea que L0, pero a una distancia de  $20 + 13 = 33$  metros, con lo que le corresponde una iluminancia menor de un lux.

Es conveniente recordar que las curvas Isolux, para este tipo de luminarias, resultan ser simétricas, por lo tanto, lo que dibujemos en este semiplano es válido también para el otro.

Cada uno de estos puntos se halla situado sobre una curva de nivel,

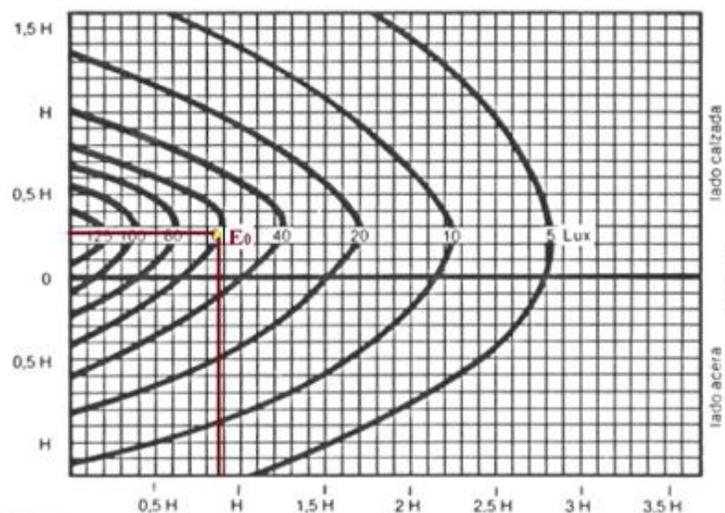


$$h = 4 \text{ y } r = 7 \quad R = \sqrt{4^2 + 7^2} = 8m$$

Por lo tanto:

$$\frac{10 \text{ cuadros que hay entre } (0 - H)}{48mm} = 0.208mm \text{ cada cuadro}$$

$$H = 8 * 5.3 * 0.208 = 8.8 \text{ cuadros}$$



## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

Para  $E_0 = 65 \text{ lux}$ . Con el mismo procedimiento se encuentran los valores de  $E_1$ ,  $E_2$

$$E_0 = 65 \text{ lux}$$

$$E_1 = 25 \text{ lux.}$$

$$E_2 = 3 \text{ lux.}$$

$$\text{Total: } E_t = 93 \text{ lux.}$$

Así, sobre las curvas Isolux tenemos una iluminación de 93 lux, referida a 1.000 Lm y a 1 m., pero como las condiciones reales son distintas,  $f = 25.000 \text{ Lm}$ ,  $H = 9 \text{ m.}$ , después de la transformación resultará ser de:

$$E = E_t \frac{\phi}{1000H^2} = 93 * \frac{25000}{1000 * 9^2} = 93 * 0.308 = 28.6LU$$

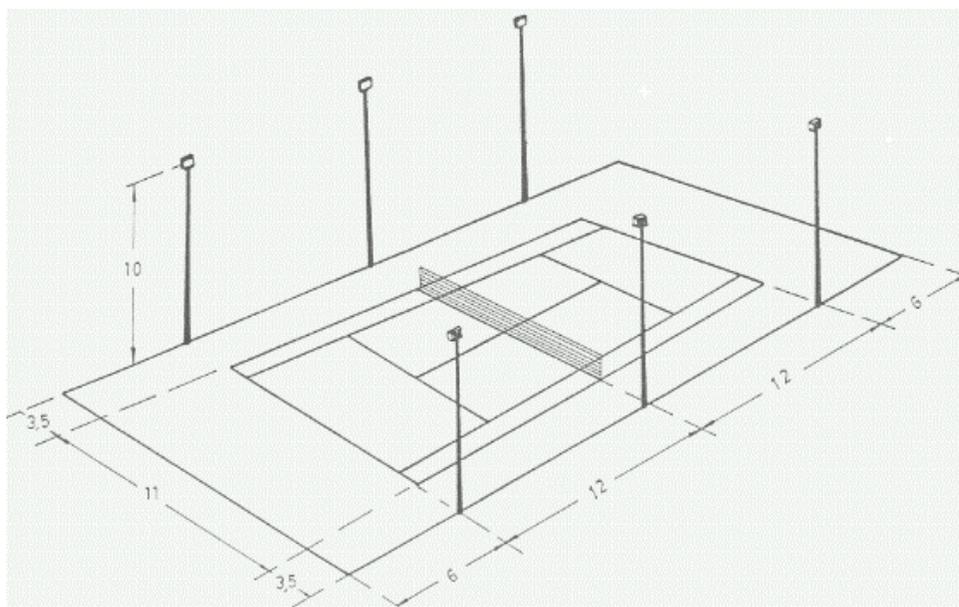
### Alumbrado deportivo

Dentro del alumbrado por proyectores, tenemos el alumbrado deportivo, que últimamente ha alcanzado un auge extraordinario. Según sea el deporte elegido y su aplicación específica, así será el nivel de iluminación a aplicar, por lo que seguidamente mostramos algunos valores de iluminación recomendados en cada caso. La resolución de estos problemas puede hacerse analíticamente, punto por punto o gráficamente, de idéntica forma a como hacíamos para el alumbrado viario.

### Alumbrado para cancha de tenis

#### Ejemplo:

Una pista de tenis, que queremos iluminar con el proyector 400-IZA-D. Una solución a primera vista viable, sería utilizar seis proyectores montados en otros tantos postes de 10 metros de altura y con una inclinación de  $40^\circ$ , tal y como mostramos en la figura. Sobre la pista, los 15 puntos que consideramos de mayor importancia los representamos sobre el dibujo, y observamos que es suficiente con determinar solamente 6, ya que el resto de los puntos son iguales por tratarse de un dibujo simétrico.

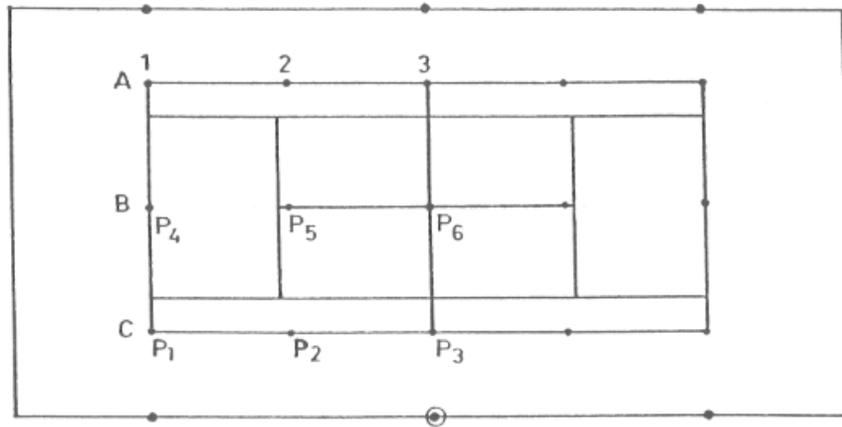


El método que emplearemos a continuación se utiliza también para los alumbrados variados, (método muy útil, práctico y exacto) iniciemos el proceso determinando la influencia que tiene cada uno de los seis proyectores, sobre cada uno de los seis puntos en cuestión.

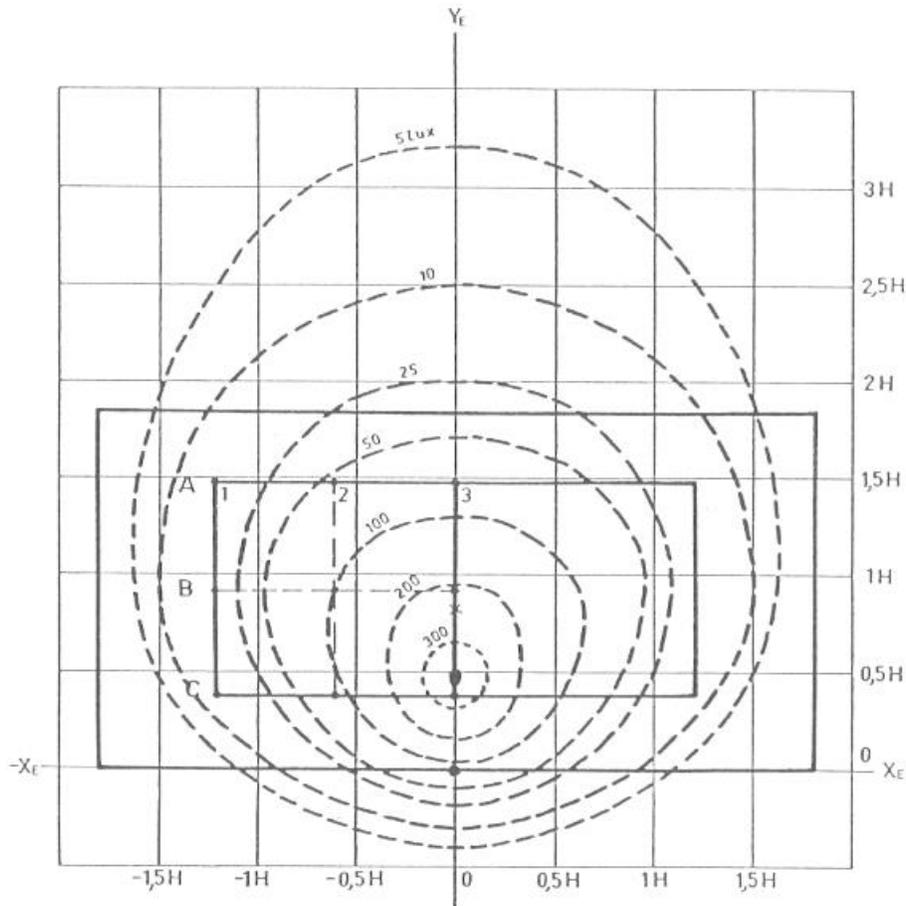
Seguidamente, llevemos sobre las curvas Isolux el dibujo de la pista de tenis, naturalmente a la misma escala de las curvas, 31/10 (tomando el punto medio y ubicándolo en 0), y determinemos el valor del nivel de iluminación que le corresponde a cada punto.

Puesto que se trata de curvas referidas a 1 metro de altura y a 1.000 Lm, y el caso que tratamos de resolver utiliza postes de 10 metros de altura y proyectores con lámparas de vapor de mercurio a alta presión de 400 W. (47.000 Lm), los valores obtenidos los multiplicaremos por una constante de corrección cuyo valor será:

$$K_{cte} = \frac{\phi}{1000H^2} = \frac{47000}{1000 * 10^2} = 0.47$$



			E	E*K
P1	C3 + A3 + C1 + A1	320 + 75 + 12 + 17	424	199
P2	2C2 + 2A2	2*85 + 2*60	290	136
P3	C3 + A3 + 2A1 + 2C1	320 + 75 + 2*17 + 2*14	457	214
P4	2B3 + 2B1	2*220 + 2*20	460	216
P5	4 B2	4*105	400	188
P6	2B3 + 4A1	2*220 + 4*17	484	227
			<b>TOTAL</b>	<b>1180</b>



El nivel de iluminación obtenido para estos seis puntos, nos da idea de la distribución de la iluminación sobre la pista, pudiendo obtener el valor medio de iluminación, así como el valor de uniformidad media y mínima, de manera análoga a como hacíamos para el alumbrado viario.

$$E_m = \frac{\sum E * K}{6} = \frac{1180}{6} = 196.67 \text{ lux}$$

A la vista del dibujo de la pista sobre las curvas Isolux, podemos apreciar como una gran parte del flujo producido por las lámparas se desperdicia, pudiendo afirmar que el coeficiente de utilización de los proyectores resulta ser muy bajo en estos casos, del orden de 0,4 a 0,7.

Así por ejemplo, aplicando la fórmula general del flujo total emitido con respecto a la superficie iluminada, tendremos que el coeficiente de utilización será:

$$E_m = \frac{\Phi_t C_u}{S}; C_u = \frac{E_m S}{\Phi_t} = \frac{196.67(18 * 36)}{6 * 47000} = 0.45$$

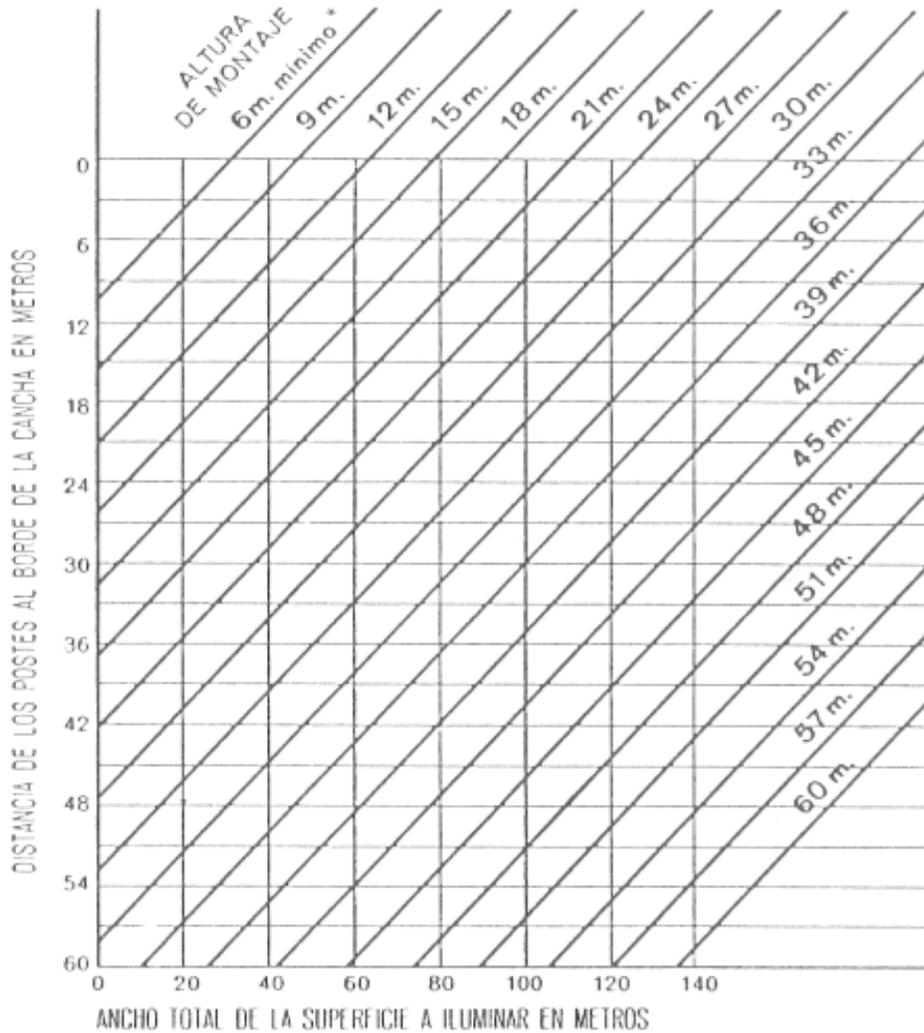
Es decir, que en el caso que nos ocupa, el  $100 - 45 = 55\%$  del flujo total emitido se desperdicia. Nada hemos dicho sobre el deslumbramiento, pero se comprende que en un alumbrado deportivo este concepto es de suma importancia.

Como es sabido, el índice de deslumbramiento es función de diversas causas entre las que se cuentan la luminancia de los puntos de luz y la posición de éstos dentro del campo visual de los jugadores.

La disminución de la luminancia, o intensidad luminosa por unidad de superficie, tiene difícil solución, ya que ello obligaría a aumentar considerablemente la superficie reflector de los proyectores, con el consiguiente aumento de volumen y peso de los mismos.

A base de elevar los puntos de luz sobre la superficie de juego, se consigue controlar el deslumbramiento, pudiendo admitir que la mínima altura aceptable corresponde a la determinada por la dirección que partiendo de los ojos de un jugador en el centro del campo, forme un ángulo de 20° con la horizontal.

Lógicamente, cuanto más altos se encuentren los proyectores menor será el deslumbramiento, por lo que seguidamente damos un gráfico mediante el cual puede conocerse de una forma aproximada la altura mínima de instalación en función de la anchura del terreno de juego y de la distancia existente entre la base de la vertical que pasa por los proyectores y el borde del área de juego.



## CRITERIOS DE SELECCIÓN

En iluminación se debe tener en cuenta un conjunto de factores técnicos y económicos, entre los que cabe destacar:

- Eficiencia (Lm/W)
- Vida útil (horas)
- Mantenimiento del flujo luminoso
- Distribución lumínica por luminaria
- Temperatura(calor CCT)
- Reproducción cromática
- Potencia por unidad
- Regulación del flujo
- Tiempo de reencendido
- Tiempo de arranque

## ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.

Mediante el siguiente estudio económico se demostrara el grado de ahorro que se obtiene con el uso de luminarias eficientes

### Ejemplo

Un almacén que dispone de 1000 lámparas de 36 W. funcionando a 120 V., durante 10horas diarias y 220 días al año. Las características eléctricas de una reactancia normal y otra de bajas pérdidas, son:

DATOS DE COMPARACION	REACTANCIA N.	REACTANCIA B.P.
Tensión de red	120V	120V
Potencia en lámpara	36W	36W
Potencia en la reactancia	12W	4.5W
Potencia total	48W	40.5W
Intensidad en lámpara	0.4 <sup>a</sup>	0.33A
Rendimiento de equipo	0.75%	0.88%

La potencia ahorrada sería de:

$$1000 * 10 * 220 (48- 40.5) = 16,500,000 Wh. = 16,500KWh$$

Y estimando el precio promedio del Kwh en US\$ 0.10 de acuerdo a la normativa tarifaria regulada por ENEL, el ahorro anual resultará ser de:

$$16,500*0.10 = 1,650 \$/año$$

Las lámparas normalmente se cotizan en el mercado a:

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

- lámparas de reactancia normal \$23(\$19 el balastro + \$4 el tubo)
- lámparas de baja reactancia a \$27(\$23 el balastro + \$4 el tubo).

El comprar lámpara nueva es una inversión grande pero en este caso como se remplazaran las lámparas lo que se considera es el excedente del dinero que tenemos para sustituir las mismas lámparas por lámparas más eficientes

$$23 * 1000 = \$23,000$$

$$27 * 1000 = \$27,000$$

$$\$27,000 - \$23,000 = \$4000$$

\$4,000 es el excedente que necesitamos y con un simple cálculo veremos en cuanto tiempo se recupera este excedente.

El ahorro anual es de 1,650\$/año por lo tanto tenemos:

$$\frac{4000}{1650} = 2.42$$

La recuperación del excedente será en 2.42 años y el resto de los años es ganancia.

Los fabricantes aseguran para las reactancias una vida media de 10 años,

$$10 \text{ año} - 2.42 \text{ año} = 7.58 \text{ año}$$

$$7.58 \text{ año} * \$1,650 = \$12,507$$

Por lo que el ahorro será de aproximadamente: 12,507\$ en los 7.58 años restantes.

Este tipo de lámparas tiene un buen ahorro energético, pero, falta someterlas a comparación con las lámparas de LED.

Utilizaremos los mismos datos del ejemplo anterior:

DATOS DE COMPARACION	REACTANCIA B.P.	LED
Tensión de red	120V	120V
Potencia en lámpara	36W	18W
Potencia en la reactancia	4.5W	2
Potencia total	40.5W	20W
Intensidad en lámpara	0.33A	0.16A
Rendimiento de equipo	0.88%	90%

La potencia ahorrada sería de:

$$1000 * 10 * 220 (40.5 - 20) = 45,100,000Wh. = 45,100KWh$$

$$45,100 * 0.10 = 4,510 \text{ $/año}$$

Las lámparas normalmente se cotizan en el mercado a:

- lámparas de baja reactancia a \$27(\$23 el balastro + \$4 el tubo).
- Lámparas de LED de 18 W que reemplaza a la de 36W a \$54.

El comprar lámpara nueva es una inversión grande pero en este caso como se reemplazaran las lámparas lo que se considera es el excedente del dinero que tenemos para sustituir las mismas lámparas por lámparas más eficientes

$$\begin{aligned}27 * 1000 &= \$27,000 \\54 * 1000 &= \$54,000 \\\$54,000 - \$27,000 &= \$27,000\end{aligned}$$

\$27,000 es el excedente que necesitamos y con un simple cálculo veremos en cuanto tiempo se recupera este excedente.

El ahorro anual es de 4,510\$/año por lo tanto tenemos:

$$\frac{27000}{4,510} = 5.98$$

La recuperación del excedente será en 5.98 años esto nos dice que la recuperación es lenta porque la inversión inicial fue muy alta; con otra serie de cálculos demostraremos cuando se tiene el beneficio.

Al observar los datos técnicos la vida útil de estas lámparas es de aproximadamente 50,000 a 100,000 horas, aquí se considera 40,000 horas por lo tanto según el tiempo de uso que se le da a dicha lámpara en el ejemplo obtendremos:

$$\frac{40,000}{10 \text{ horas al día} * 220 \text{ días al año}} = 18.18 \cong 18 \text{ años}$$

$$\begin{aligned}18 \text{ año} - 5.98 \text{ año} &= 12.02 \text{ año} \\12.02 \text{ año} * \$4,510 &= \$54,210.2\end{aligned}$$

Por lo que el ahorro será de aproximadamente: \$54,210.2 en los 12.02 años restantes.

A continuación compararemos según la vida útil de cada tipo de lámparas y el ahorro que se obtiene después de los años de recuperación del excedente.

El ahorro en los 7.58 años restantes de vida útil de las lámparas de baja reactancia será de aproximadamente: \$12,507.

El ahorro en los 12.02 años restantes de vida útil de las lámparas LED será de aproximadamente: \$54,210.2.

Por lo tanto

$$54,210.2 - 12,507 = \$41,703.2$$

\$41,703.2 es el beneficio que se obtiene en las amparas LED con respecto a las lámparas fluorescentes de mayor eficiencia

## CAPITULO V

### MOTORES ELECTRICOS

La explotación óptima de la capacidad de los motores se hace cada día más necesaria por su gran influencia en el concepto de rentabilidad de las instalaciones.

Para que un motor funcione sin problemas es necesario satisfacer los tres puntos siguientes:

1. Elección del motor según su utilización.
2. Montaje correcto, mantenimiento regular.
3. Una buena protección que detecte los peligros desconectando el circuito antes de la avería.

### CARACTERÍSTICAS

Un motor está definido por los siguientes parámetros:

- Tensión (V) Monofásica, trifásica, corriente continua, con diferentes valores (120V, 240V, 277V, 480V)
- Potencia (KW) En función a la potencia y tensión vendrá dada la intensidad (A)
- Frecuencia (Hz) En Europa, 50 Hz. En América, 60 Hz.
- Velocidad (n) Dependerá de la polaridad del motor y Frecuencia de la red.
- Nivel de protección del motor.
- Forma constructiva.
- Clase de aislamiento.
- Factor de potencia ( $\cos\theta$ ).
- Tipo de servicio.
- Ejecución de las conexiones en la caja de bornes.
- Características particulares del motor, además de las generales dadas por el fabricante.
- Dimensionado del motor y peso.

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

- Diagramas de par, velocidad, consumos.

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En motores asincrónicos (MA) tiene 2 devanados, uno se coloca en el estator y el otro en el rotor. Entre el estator y rotor se tiene un entrehierro, cuya longitud se trata de hacerlo lo más pequeño posible, (donde el deslizamiento es  $S = 0.1 - 0.3$  mm), con lo que se logra mejorar el acople magnético entre los devanados.

El devanado del estator puede ser monofásico o trifásico (en caso general polifásico).

En lo sucesivo se analiza el motor trifásico, cuyas bobinas se colocan en las ranuras interiores del estator. Las fases del devanado del estator se conectan en tipo estrella (Y) o triángulo ( $\Delta$ ), cuyos bornes son conectados a la red.

El devanado del rotor también es trifásico (o polifásico) y se coloca en la superficie del cilindro. En el caso simple se une en corto circuito.

Cuando el devanado del estator es alimentado por una corriente trifásica, se induce un campo magnético giratorio, cuya velocidad es:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

Si el rotor está en reposo o su velocidad  $n < n_{sinc}$ , entonces el campo magnético giratorio traspasa los conductores del devanado rotórico e inducen en ellos una f.e.m. La componente activa de la corriente  $I_{rot}$  se encuentra en fase con la f.e.m. inducida.

Sobre los conductores con corriente, empleados en el campo magnético, actúan fuerzas electromagnéticas cuya dirección se determina por la regla de la mano derecha; estas fuerzas crean un par electromagnético ( $M_{elmagn}$ ) que arrastra al rotor tras el campo magnético. Si este  $M_{elmagn}$  es lo suficientemente grande entonces el rotor va a girar y su velocidad  $n_1$  va a corresponder a la igualdad.

$$M_{elmagn-est} = M_{fren-rot}$$

Este es el funcionamiento de la máquina en régimen de motor y es evidente en este caso.

$$0 \leq n_2 < n_1$$

A la diferencia de velocidades entre el campo magnético y el rotor se le llama deslizamiento y se representa por el símbolo  $s$ .

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

De donde se deduce que en el régimen de motor

$$0 < s \leq 1$$

En generador:  $s > 0$

En frenado electromagnético  $s > 1$

La principal característica de las MA es la presencia del deslizamiento  $s$ , ósea la desigualdad de velocidades entre el campo del estator y la velocidad del rotor  $n_1 \neq n_2$ .

## Diagrama energético del los motores eléctricos

Cuando el motor está en funcionamiento, el estator se alimenta de la red y absorbe una potencia:

$$P_1 = m_1 * V_1 * I_1 * \cos \varphi_1$$

Parte de la  $P_1$  se consume (disipa) en la resistencia  $R$  del devanado del estator ocasionando una pérdida eléctrica  $\Delta P_{el1}$ , así como una pérdida magnética en el campo del estator  $\Delta P_{mag}$ , deduciendo dichas componentes, al rotor se le aplica una potencia electromagnética, que se expresa mediante la siguiente ecuación de balance energético:

$$P_{elmag} = P_1 - \Delta P_{el1} - \Delta P_{mag}$$

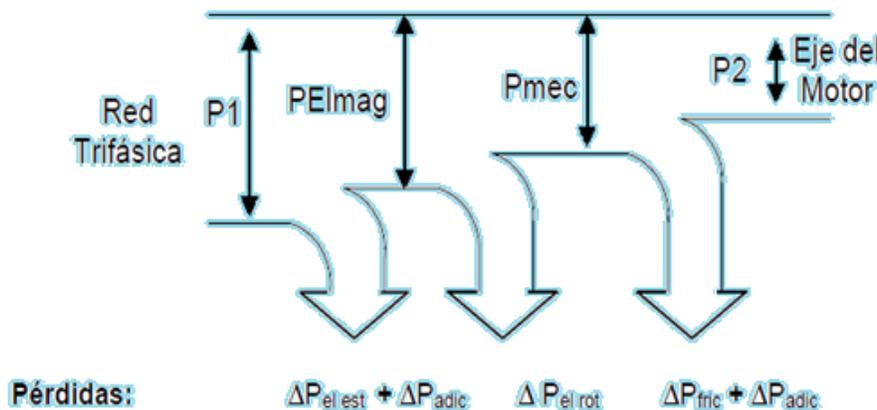
Parte de esta potencia se disipa en cubrir las pérdidas eléctricas del rotor  $\Delta P_{el2}$  en su devanado, la potencia resultante es aquella que va a ser convertida en potencia mecánica, expresado por:

$$P_{mec} = P_{elmag} - \Delta P_{el2}$$

En las máquinas de anillos rozantes, además se tienen pérdidas en las escobillas de contacto, las cuales se añades a la pérdida  $\Delta P_{el2}$ .

La potencia mecánica obtenida en el árbol del eje del rotor, se obtiene luego de vencer su inercia y otras pérdidas adicionales, obteniéndose una potencia  $P_2$ :

$$P_2 = P_{mec} - \Delta P_{fric} - \Delta P_{adic}$$



Distribución de perdidas promedio motor diseño NEMA B

Componentes de perdidas en el motor	% de pérdidas totales
Perdidas conductores estator	37
Perdidas conductores rotor	18
Perdidas núcleo magnético	20
Perdidas fricción y ventilación	9
Perdidas adicionales en carga	16
Sumatoria totales de pérdidas	100%

Se puede concluir que la eficiencia de un motor eléctrico es la medida de la capacidad que tiene el motor de convertir la energía eléctrica en energía mecánica. La potencia eléctrica correspondiente medida en watt (w) entra por los terminales del motor y la potencia mecánica medida en watt o HP que sale por el eje. De esta conclusión podemos expresar la eficiencia (EF) del motor de la siguiente manera:

$$\eta_{\%} = \frac{P_{\text{Mecánica de Salida}}}{P_{\text{Eléctrica de Entrada}}} * 100$$

Y como:

Potencia Mecánica de Salida = Potencia Eléctrica de Entrada-Perdidas

Matemáticamente se tiene:

$$\eta_{\%} = \left( 1 - \frac{\text{Pérdidas}}{P_{\text{Eléctrica de Entrada}}} \right) * 100$$

## SELECCIÓN DE MOTORES

La principal razón para la selección correcta de un motor dentro de una industria es el de que realice un trabajo de manera óptima sin que nos presente problemas en su funcionamiento en poco tiempo. Para lo cual vamos a considerarlos siguientes criterios para su selección.

### **Tipo de sistema con el que se cuenta.**

En casi toda el área industrial se poseen sistemas trifásicos, normalmente utilizados para la conexión de los motores eléctricos, también existen ciertas áreas en las cuales tenemos únicamente sistemas monofásicos.

### **Nivel de Voltaje.**

Debemos de tomar en cuenta el nivel del voltaje con el que se trabaja para poder solicitar uno de las características exactas.

### **Frecuencia.**

La frecuencia se considera especialmente para poder obtener un valor correcto en la velocidad del motor. La frecuencia en Nicaragua es de 60Hz. Cabe recalcar que los sistemas electrónicos ocasionan ciertos desbalances en la frecuencia por lo que se recomienda que los ramales de los motores sean independientes a los de las computadoras y otros equipos electrónicos de este tipo, causantes de este problema.

### **Condiciones del ambiente de trabajo del motor**

Debe saberse en qué tipo de ambiente el motor trabajara ya que de esto dependerá el tipo de carcasa que se debe seleccionar.

## Carga a mover por el motor

Se debe realizar un correcto dimensionamiento de la carga que el motor va a mover para poder solicitar uno con la potencia necesaria para dicho trabajo. En el caso de una sobrecarga en el motor se debe considerar la temperatura que va a llegar a soportar los conductores en especial si estos se encuentran dentro de canaletas con un agrupamiento determinado.

## Tipo de arranque del motor

Deberemos tomar en cuenta el tipo de arranque que seleccionaremos para el motor considerando que los diferentes arranques poseen una disminución en el torque de arranque y repercutirá en la potencia de arranque.

## Velocidad de trabajo del motor

La velocidad dependerá del trabajo que el motor realizará. En el caso de estar en una cadena de trabajo deberá ser considerado en igual proporción con los otros del mismo sistema.

## MECANISMOS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE SEGURIDAD.

### Selección de dispositivos de protección y control para motores eléctricos

En vista que tenemos diferentes factores que podrían ir deteriorando de manera paulatina la vida útil de nuestros motores eléctricos, procederemos a explicar diferentes dispositivos para su protección y control, así como también de qué factores dependerá su ajuste y selección.

Las estadísticas indican que las causas de las fallas en los motores eléctricos están clasificadas en:

Sobrecarga	30%
Pérdida de una fase	14%
Contaminantes	19%
Fallas en las balineras	13%
Envejecimiento	10%
Fallas en el rotor	5%
Otras causas	9%
Total	100%

De aquí podemos concluir que aproximadamente el 44% de las fallas se deben principalmente al sobrecalentamiento del motor eléctrico. Por lo que es recomendable que el motor posea las debidas protecciones para prevenir este tipo de fallas, pero desde el punto de vista económico puede resultar imposible el colocar una protección para cada tipo de falla por lo que es recomendable un estudio detallado del sistema y de las condiciones del ambiente para realizar una protección económicamente óptima.

## **Protección contra el bajo voltaje**

En esta condición, el motor recibe un voltaje menor al que necesita para trabajar de manera óptima lo que repercute en la potencia de salida del mismo, haciendo que el motor trabaje de manera forzada pudiendo llegar hasta detenerse por completo ocasionando un recalentamiento de las bobinas del motor. La protección adecuada contra esta condición es la ubicación de un relé de bajo voltaje, que es un dispositivo con la capacidad de desconectar el motor del suministro de energía, pero con la capacidad de restablecer el suministro cuando el voltaje entregado por la empresa eléctrica sea el adecuado con un tiempo de espera determinado para su reconexión.

## **Protección contra la reconexión automática del sistema de distribución**

Esta es una condición peligrosa principalmente cuando el motor que operan con carga continua como por ejemplo los compresores, esto es debido que al operar con grandes cargas la reenergización inmediata puede ocasionar un sobrecalentamiento de los elementos internos del motor principalmente en los componentes de sus bobinas, provocando una disminución en la vida útil del motor y pudiendo llegar a ocasionar que el motor se quemara.

## **Protección contra desbalances de voltaje**

El principal efecto de los desbalances de voltaje y corriente es el aumento considerable en ciertos casos de la temperatura del motor, causando un deterioramiento de los elementos internos en especial a las bobinas y sus componentes. Por lo que se recomienda la instalación de un relé de desbalance trifásico, o también llamado de secuencia negativa, dispositivo que se encarga de desconectar la alimentación del motor en caso de un desbalance considerable del sistema de alimentación. La mayoría de estos dispositivos vienen con diferentes niveles tanto de voltaje como de un margen para poder considerar como aceptable el desbalance que se presente en el sistema.

## **Protección contra la pérdida de una fase**

Considerada como la peor falla que puede soportar un motor eléctrico, debido a que si no esta falla no es despejada a tiempo el motor se quemará de manera instantánea. La principal fuente para la presencia de esta condición es cuando un fusible se quema dejando al motor funcionando con dos fases únicamente, por lo que los devanados se sobre calentarán induciendo un deterioro más rápido que condiciones anteriores. La protección para esta condición es un relé de pérdida de fase, dispositivo que dejará al motor sin alimentación hasta que las condiciones vuelvan a la normalidad.

## **Protección contra la inversión de fase**

Esta condición ocasiona que la rotación del motor sea en el otro sentido, lo cual puede causar lesiones al personal que opera la máquina así como también desperfectos al equipo. El dispositivo de protección para esta condición es el relé de protección de inversión de fase, el que desconectará al motor del sistema eléctrico en el instante que se ocasione una inversión de fase.

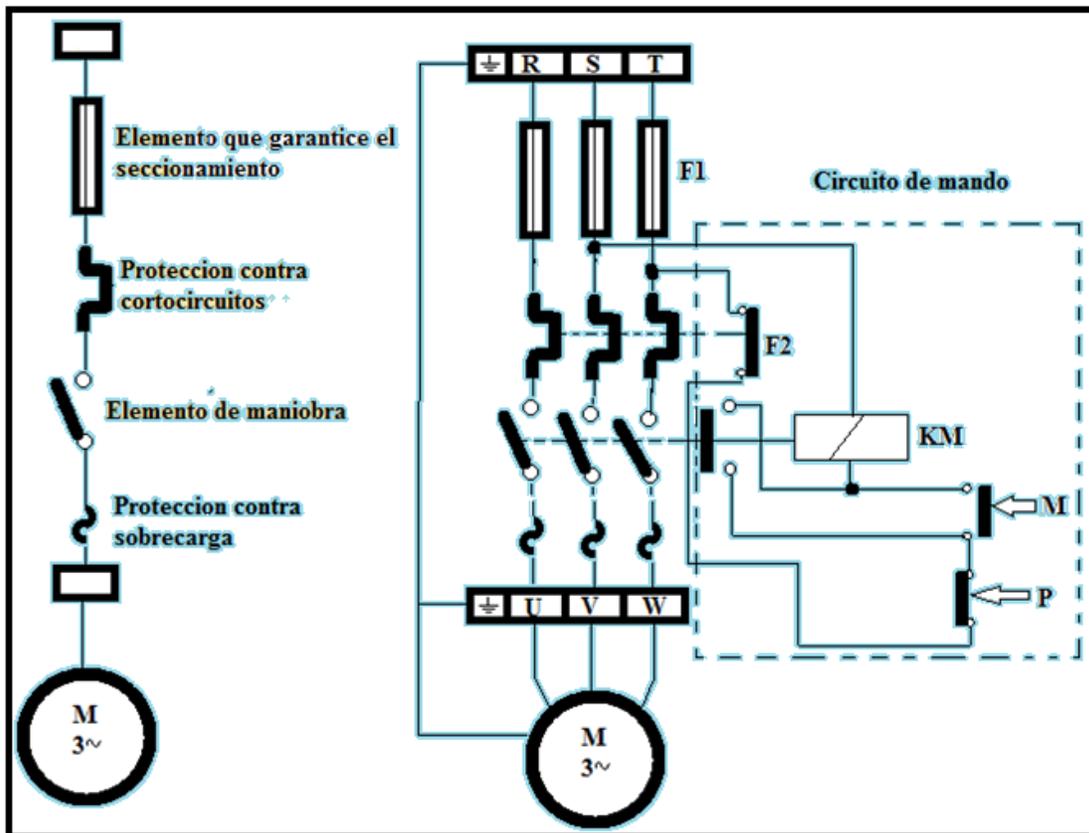
## Protección contra sobrecorriente

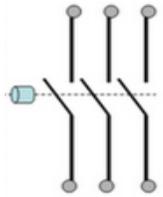
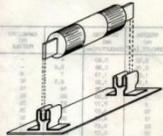
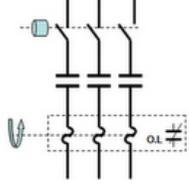
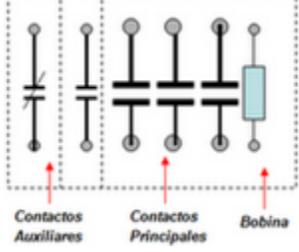
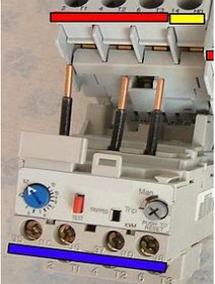
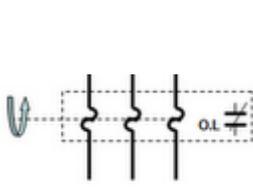
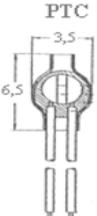
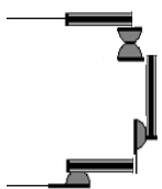
Esta condición se presenta principalmente cuando por diferentes causas se ocasiona un cortocircuito en el motor, el lugar donde normalmente se pueden presentar los cortocircuitos es en los devanados, debido a la acumulación de polvo u otros agentes que deterioran los materiales aislantes y de impregnación, también se pueden presentar en la caja de conexiones pero muy raras veces esto ocurre. Esto se puede prevenir mediante la adecuada planificación de mantenimientos preventivos. El dispositivo que protege al motor contra esta condición es el relé de sobrecorriente, se encarga de dar una alarma cuando existe presencia de sobrecorriente.

## Protección contra sobrecarga

Esta condición cuando el motor trabaja con una carga mayor a la de sus especificaciones; es decir, la curva de carga supera a la de torque del motor. Ocasionando un aumento en la temperatura y por consiguiente un deterioramiento en los elementos del motor. El dispositivo de protección para esta condición es un relé de sobrecarga, el mismo que se encargará de desconectar al motor del sistema eléctrico cuando esta condición se presente.

En todo circuito ramal de motores deben existir al menos los elementos que encontramos en el siguiente diagrama:



NOMBRE DEL EQUIPO	VISULIZACION DE EQUIPO FISICO	DIAGRA INTERNO	APLICACIÓN Y FUNCION
<b>Interruptor magnético</b>			<p>Funciona como seccionador es capaz de abrir el circuito con indicación visual de <b>ON – OFF</b>. El propósito es garantizar la apertura del circuito ramal con seguridad, para proteger a los usuarios y operadores.</p>
<b>Fisible</b>			<p>El fusible quizá es el dispositivo más simple de protección de motores contra sobre intensidades</p>
<b>Guarda motor integral</b>			<p>Es una de las mejores protecciones y más utilizados en los motores eléctricos, los protege contra cortocircuitos y sobre cargas.</p>
<b>Contactador</b>		 <p>Contatos Auxiliares      Contatos Principales      Bobina</p>	<p>Dispositivo utilizado habitualmente para maniobrar. Realmente no es una protección, aunque puede soportar las corrientes de arranque. Aunque es para controlar el arranque y parada del motor, de hecho es el dispositivo que abre y cierra el circuito ramal del motor tanto en operación normal como en sobrecarga.</p>
<b>Relé térmico</b>			<p>Este dispositivo está llamado a detectar las corrientes de sobrecarga comprendidas por encima de la corriente nominal; pero inferiores a las corrientes de cortocircuito. Pero como estamos refiriéndonos a un relé bimetalico es perfectamente capaz de realizar la acción de proteger contra cortocircuitos también.</p>
<b>Sondas térmicas</b>			<p>Estos son empleados en la protección de motores de gran potencia ya que pueden estar sometidos a arranques frecuentes, descargas frecuentes de poca duración, mala ventilación; en este caso el relé térmico es insuficiente y se debe recurrir a las sondas térmicas mejorando la protección contra sobrecalentamiento.</p>

## APLICACIONES DE MOTORES ASÍNCRONOS

Los motores asíncronos (MA) son máquinas eléctricas, las cuales han tenido mayor aplicación en la industria y artefactos electrodomésticos. Estas máquinas son los principales convertidores de energía eléctrica en mecánica (actualmente los MA consumen casi la mitad de la energía eléctrica generada). Su uso es, principalmente, en calidad de mando eléctrico en la mayoría de los mecanismos, ello se justifica por la sencillez de su fabricación, su alta confiabilidad y un alto valor de eficiencia.

Existen 2 tipos de MA:

1. Los de rotor de jaula de ardilla
2. Los de rotor de anillos rozantes.

## EFICIENCIA DE MOTORES ELÉCTRICOS.

Evolución de eficiencia de los motores eléctricos.

Evolución del rendimiento de los motores eléctricos en %					
Potencia en Hp	Años				
	1944	1955	1965	1981	1991
7.5	84.5	87.0	84.0	91.0	91.7
15	87.0	89.5	88.0	92.4	93.0
25	89.5	90.5	89.0	93.6	94.1
50	90.5	91.0	91.5	94.1	94.5
75	91.0	90.5	91.5	95.0	95.4
100	91.5	92.0	92.0	95.0	96.2

Eficiencia nominal de motores abiertos de 1800 rpm de diferentes fabricantes, se muestran en las siguientes tablas.

Eficiencia de motores estándares.

Eficiencia de motores estándares de 1800rpm											
Fabricantes	Potencia en HP										
	1	2	3	5	7.5	10	25	50	75	100	200
Baldor	77.0	78.5	81.5	80.0	84.0	89.5	93.0	93.0	93.0	91.7	--
GE	72.0	77.0	80.0	84.0	84.0	84.0	90.2	90.2	91.7	91.7	93.6
Lincoln	77.0	80.0	84.0	85.5	88.5	86.5	87.5	91.7	93.0	--	93.0
Marathon	77.0	81.6	81.5	85.5	84.0	86.5	88.5	90.2	91.7	93.0	94.5
MagneTek	78.5	80.0	81.5	84.0	84.0	85.5	88.5	89.5	92.4	93.0	93.6
Relaince	77.0	77.0	80.0	82.5	85.5	86.5	87.5	90.2	90.2	90.2	92.4
Toshiba	77.0	80.0	82.5	82.5	86.5	87.5	90.2	91.0	92.4	92.4	93.6
US	78.5	85.0	80.0	81.5	84.0	89.5	91.0	91.0	91.0	91.0	94.1
Promedio	76.3	78.5	80.6	83.2	85.3	86.3	88.9	90.9	91.9	91.9	93.5

Rendimiento de motores eficientes.

Rendimiento en % de motores eficientes de 1800rpm											
Fabricantes	Potencia en HP										
	1	2	3	5	7.5	10	25	50	75	100	200
<b>Baldor</b>	82.5	84.0	86.5	87.5	88.5	89.5	92.4	94.1	94.1	94.1	--
<b>GE</b>	84.0	84.0	89.5	89.5	91.7	94.1	94.5	95.4	95.4	96.2	96.2
<b>Lincoln</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	93.6	--
<b>Marathon</b>	82.5	84.0	86.5	86.5	88.5	89.5	92.4	93.0	94.1	94.1	95.0
<b>MagneTek</b>	82.5	84.0	89.5	89.5	91.7	91.0	93.6	94.5	95.4	95.5	96.2
<b>Relaince</b>	82.5	84.0	87.5	88.5	89.5	90.2	93.0	94.1	95.0	95.4	95.8
<b>Toshiba</b>	85.5	86.5	88.5	87.5	90.2	91.0	92.4	93.6	94.5	94.5	95.0
<b>US</b>	85.5	85.5	86.5	88.5	89.5	90.2	--	93.6	95.0	95.4	95.4
<b>Promedio</b>	<b>83.6</b>	<b>84.6</b>	<b>87.8</b>	<b>88.2</b>	<b>89.9</b>	<b>90.4</b>	<b>93.0</b>	<b>93.9</b>	<b>94.8</b>	<b>94.8</b>	<b>95.6</b>

Vida promedio de los motores eléctricos

Potencia en HP	Intervalo de vida en años	Vida promedio en años
1-5	10-15	12.9
5-20	13-19	17.1
20-50	16-20	19.4
50-125	24-33	28.5
125 a mas	25-38	29.3

## Ejemplos de ahorro energético mediante motores eficientes

### Ejemplo 1:

Una empresa procesadora de leche posee un motor (marca Ge), como descremadora, presenta las siguientes características: 50 HP, estándar, rebobinado, factor de carga del 80% y un tiempo de operación de 16 horas por día por 310 días al año. El jefe de mantenimiento eléctrico de la planta en reiteradas ocasiones recibe peticiones de sugerencias para mejorar el ahorrar energético, tiene la oportunidad de hacer su sugerencia. ¿Cómo lo demuestra?

\***nota:** la eficiencia de los motores rebobinados es igual a la eficiencia del motor estándar meno 2%.

### Solución:

$$E_a = HP * 0.746 * fc(100/E_c - 100/E_e)$$

Donde

$E_a$ : Energía ahorrada en KW.

0.746: Factor de conversión de hp a kw

$fc$ : Factor de carga

$E_c$ : Eficiencia del motor actual en %

$E_e$ : Eficiencia del motor propuesto en %

Como estamos refiriéndonos a un motor GE las tablas anteriores nos muestran la eficiencia de este motor en versión estándar.

La eficiencia del motor devanado será:

$$E_c - (E_c * 2\%) = 90.2 - (90.2 * 0.02) = 88.396$$

Y la eficiencia del motor eficiente es = 95.4

Con estos datos obtendremos que:

$$E_a = HP * 0.746 * fc(100/E_c - 100/E_e) = 50 * 0.746 * 0.8(100/88.396 - 100/95.4)$$

$$E_a = 29.84(1.13 - 1.048) = 29.84(0.083)$$

$$E_a = 2.4784/hora$$

En el año este motor trabaja 4960horas

$$E_a = 2.4784 * 4960 = 12,292.864Kwh/año$$

$$E_a = 12,292.864Kwh/año$$

Tomando como un costo promedio de 0.1\$/Kwh obtendremos:

$$E_a = 12,292.864 \frac{Kwh}{año} * 0.1 \frac{\$}{Kwh} ; E_a = 1229.28\$/año$$

El costo de este motor está estimado en aproximadamente \$2000 por lo que su recuperación será en aproximadamente:

$$costodelmotor/ahorroanual = 2000/1229.28 = 1.6$$

Por lo tanto la inversión se recuperara en 1.6 años; en base a este cálculo podemos decir que es una buena alternativa realizar el cambio.

Procederemos a calcular el ahorro que obtendrá en entre un motor estándar y un eficiente en toda su vida útil que es de 16 a 20 años con una vida promedio de 19.4 años. (Esta comparación la realizaremos con motores nuevos y los datos del ejemplo anterior)

$$E_a = HP * 0.746 * fc(100/E_c - 100/E_e)$$

$$E_a = 50 * 0.746 * 0.8(100/90.2 - 100/95.4)$$

$$E_a = 29.84(0.06)$$

$$E_a = 1.7904/hora$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

$$E_a = 1.7904/hora * 4960h/año$$

$$E_a = 8,880.384Kwh/año * 0.1 \$/Kwh$$

$$E_a = 888.0384\$/año$$

$$E_a = 888.0384\$/año * 19.4años$$

$$E_a = 17,227.94 \$ aproximadamente en su vida útil.$$

### Ejemplo 2:

En una pequeña empresa despulpadora de café se quemó un motor cuya potencia es de 10HP, la empresa resolvió instalar un motor de 15HP que se tenía, esta máquina estaba en buen estado y no tuvo problemas de funcionamiento.

Esta empresa procura ahorrar en costos de operación. Sabiendo que el tiempo de operación de dicho motor es de aproximadamente 2,200 horas por año. ¿Esta alternativa fue la más correcta?

Solución:

Para determinar si esta fue la mejor decisión procederemos a demostrarlo mediante sencillas ecuaciones

$$A_p = P_a - P_f$$

$$E_a = A_p * H$$

Donde

$A_p$ : Ahorro en potencia

$P_a$ : Potencia actual del motor.

$P_f$ : Potencia requerida del motor

$E_a$ : Energía ahorrada

$H$ : Horas de operación del motor

$$A_p = P_a - P_f$$

$$A_p = (15Hp * 0.746Kw/HP) - (10HP * 0.746Kw/HP)$$

$$A_p = 11.19Kw - 7.46Kw$$

$$A_p = 3.73Kw$$

$$E_a = A_p * H$$

$$E_a = 3.73Kw * 2200h/año = 8,206Kwh/año$$

$$E_a = 8,206Kwh/año$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

El costo promedio de energía y la demanda máxima de potencia se estima en 0.10\$/KWh y 12.55\$/Kwh respectivamente por lo tanto:

Ahorro por demanda=  $3.73\text{Kw} * 12.55\$/\text{Kwh} * 12 = 561.74\$/\text{año}$

**Ahorro por demanda= 561.74\$/año**

Ahorro por energía =  $8,206\text{Kwh}/\text{año} * 0.10\$/\text{año} = 820.6\$/\text{año}$

**Ahorro por energía = 820.6\$/año**

Ahorro total= Ahorro por demanda+ Ahorro por energía

Ahorro total=  $561.74\$/\text{año} + 820.6\$/\text{año} = 1,382.34\$/\text{año}$

**Ahorro total= 1,382.34\$/año**

El costo estimado de un motor de 10Hp es de \$800, por lo tanto el periodo de recuperación de la inversión será:

$$\frac{\text{costo del motor}}{\text{ahorro total}} = \frac{\$800}{1,382.34\$/\text{año}} = 0.58 \text{ años}$$

Meses=  $0.58 * 12 = 6.96 \cong 7$

Aproximadamente 7 meses.

### SISTEMAS DE AIRES ACONDICIONADOS

#### DEFINICIÓN DE CARGA DE REFRIGERACIÓN

Se le llama carga de refrigeración en aires acondicionados al espacio a refrigerar, la cantidad de calor que debe remover con el equipo de refrigeración esto se debe principalmente a las siguientes ganancias de calor:

1. Ganancia de calor debido a la transmisión a través de las barreras que pueda haber, tales como paredes, ventanas, puertas, techos, particiones y pisos, y que es ocasionado por la diferencia de temperatura entre los dos lados de la barrera.
2. Ganancia de calor debido al efecto solar:
  - a. El calor transmitido por radiación a través de cristales y absorbido en el interior del espacio.
  - b. El calor absorbido por las paredes o techos expuestos a los rayos solares y posteriormente transferidos al interior.
3. Ganancia de calor debido al aire de infiltración.
4. Ganancia de calor debido los ocupantes.
5. Ganancia de calor debido a maquinas, alumbrado o cualquier otro equipo que genera calor.
6. Ganancia de calor debido al aire de ventilación.

#### 1. Ganancia de calor debido a la transmisión a través de barreras.

La transmisión de calor a través de barreras se calcula de la siguiente forma:

$$Q_1 = UA(t_e - t_i)$$

Por lo general, la temperatura interior de diseño se considera entre 70°F y 80°F (en aires acondicionados), y la temperatura exterior de diseño se selecciona de tablas, según el lugar. La temperatura de bulbo seco exterior de diseño tiene, por lo general, su máximo a las 12 horas.

La diferencia de temperatura ( $t_e - t_i$ ) se afecta en ocasiones al efecto solar, pero esta consideración es un método para tomar en cuenta esta carga, que muchas veces no se utiliza.

$Q_1$ : Carga de calor en BTU/h

U: coeficiente de transmisión de calor en BTU/h-pie<sup>2</sup>-°F

A: área neta en pie<sup>2</sup>

$t_e$ : Temperatura de diseño exterior en °F

$t_i$ : Temperatura de diseño interior en °F

#### 2. Ganancia de calor debido al efecto solar.

##### ❖ Generalidades

El calor que recibe la tierra del sol varía desde un mínimo de cerca de 415 BTU/h-pie<sup>2</sup> a 445 BTU/h-pie<sup>2</sup>. La cantidad que llega a la superficie terrestre se reduce considerablemente por dispersión o reflexión al espacio o por absorción de la atmósfera. El calor que llega a la tierra a través de la atmósfera se conoce como radiación directa, y el calor que se dispersa se llama radiación del cielo o espacio.

a. Calor ganado a través de los cristales.

El calor que se gana en un espacio a través de los cristales depende de lo siguiente:

- ▶ Latitud del lugar
- ▶ Orientación de los cristales
- ▶ Claridad de la atmósfera
- ▶ Tipo de cristal utilizado
- ▶ Dispositivo para sombrear

Un cristal ordinario absorbe alrededor del 6% de la energía solar y refleja o transmite el resto. La relación de la energía transmitida con la energía reflejada depende del ángulo de inclinación.

Cuando los cristales no son ordinarios, estos absorberán más calor si son de mayor espesor y viceversa. Además, existen otros cristales tratados especialmente para absorber una mayor cantidad de calor.

**La forma básica de encontrar el calor transmitido al espacio a través de los cristales por el efecto solar, es el siguiente:**

- 1) En la tabla II-B (anexo B) se encuentran de acuerdo con la latitud y la orientación, la ganancia máxima de calor  $q_1$  en BTU/h-pie<sup>2</sup>.
- 2) En los valores tabulados en la tabla se considera toda el área de una ventana que tenga aproximadamente el 85% de cristal; en caso donde la ventana sea del tipo estructural de lámina de hierro y el cristal ocupa el 85% de la superficie se acostumbra multiplicar la ganancia de calor por el factor 1.17.
- 3) Cuando el cristal no es estándar, y la ventana no tiene algún dispositivo para sombrear, la ganancia se multiplica por el factor  $f_1$ , dado en la tabla III-B (anexo B) columna 1.
- 4) Cuando la ventana tiene algún dispositivo para tapar el sol como persianas interiores o exteriores la ganancia de calor se multiplica por el factor  $f_2$ , que se obtiene en la tabla III-B (anexo B), columnas 2 a 6.
- 5) La tabla II-B (anexo B) está basada en un ambiente exterior, cuya temperatura de rocío es de 66.8°F ( $t_{bs} = 95^\circ\text{F}$ ;  $t_{bh} = 75^\circ\text{F}$ ). añádase el 7% a la ganancia por cada 10°F por debajo de 66.8°F y disminúyase 7% por cada 10°F arriba de 66.8°F. esta corrección se hace solo cuando se requiere mucha precisión.
- 6) Por cada 1000 pies arriba del nivel del mar, debe incrementarse la ganancia de calor en un 7%.
- 7) En lugares donde la atmósfera está muy contaminada de humo, polvo o vapor puede reducirse el valor la ganancia de calor hasta en un 10 o 15%.
- 8) Debido a que la tabla II-B (anexo B) se estimó en el mes de julio y como la tierra está más seca del sol en enero que en julio, en las latitudes nortes cerca del ecuador, la ganancia suele incrementarse en un 7%. Lo mismo se hace en este mes, en la latitud sur.
- 9) Cuando por alguna circunstancia como el espesor de las paredes o bien construcciones adyacentes proporcionan sombras en los cristales, se suele hacer una disminución a la ganancia de calor.

De los factores que afectan la ganancia de calor tabulada en la tabla II-B (anexo B) y los de mayor importancia, son los descritos en los incisos 3 y 4 o sea:

$$q = q' * f_1 * A \text{ (Cuando no existe dispositivo sombreado)}$$

$$q = q' * f_2 * A \text{ (Cuando existe dispositivo sombreado)}$$

$$q = q' [(F * f_2) + (1 - F * f_1)]$$

Donde:

$q$ : Ganancia total en la ventana en BTU/h

$q'$ : Ganancia máxima de calor de una ventana debido al efecto solar tabla II-B (anexo B), BTU/h-pie<sup>2</sup>

$f_1$ : Factor de corrección cuando no existe dispositivo sombreado (tabla III-B (anexo B)).

$f_2$ : Factor de corrección cuando existe dispositivo sombreado (tabla III-B (anexo B)).

F: fracción de ventana que se considera sombreada cuando existe un dispositivo parcial de sombra.

A: área del cristal en pie<sup>2</sup>

## b. Calor ganado a través de muros y techos.

El cálculo de este dato es bastante complejo debido a las diferentes posiciones del sol, por este motivo se han preparado tablas que indican la temperatura equivalente que se deben utilizar en techos y paredes. Ver las tablas IV-B y V-B (anexo B).

Las tablas están basadas en 15°F (95-80) diferenciales de temperatura de diseño; en caso que la diferencia sea de 15°F debe corregirse disminuyendo o aumentando a la temperatura equivalente

La diferencia entre 15 y la diferencia del lugar.

Así mismo si la diferencia de temperatura exterior durante el día es distinta de 20°F, debe añadirse 1°F a la temperatura equivalente por cada 2°F bajo de 20 y disminuir 1°F por cada 2°F arriba de 20.

El calor ganado valdrá:

$$q_2 = Ut_e$$

Donde:

$q_2$ : Calor ganado por transmisión más calor ganados por los rayos solares en BTU/h-pie<sup>2</sup>

$U$ : Coeficiente de transmisión de calor en BTU/h-pie<sup>2</sup>.

$t_e$ : Temperatura equivalente obtenida de las tablas IV-B y V-B (anexo B)

## 3. Ganancia de calor debido a la infiltración de aire.

Para determinar el volumen del aire y la ganancia de calor latente y sensible, se siguen los mismos pasos de calefacción, se debe considerar se debe considerar las pérdidas por infiltración debido a:

### a. Las ranuras en puertas y ventanas que se pueden calcular por el método de las ranuras expuestas en el caso de la calefacción (tabla I-B anexo B).

Cuando los espacios por acondicionamiento no están en edificios de gran altura, se suele despreciar la ganancia de calor debido a las ranuras.

### b. Las aberturas más o menos constantes de puertas. Por esto se supone, según la tabla IX-B, que de acuerdo con el tipo de aplicación y la clase de puerta hay una cantidad de aire que penetra por cada persona que lo ocupa.

El calor por infiltración de aire, una vez conocido el total del aire infiltrado, se calcula de la manera siguiente:

Calor latente ganado

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

$$Q_L = M(W_e - W_i) * 1,050[BTU/h]$$

Donde:

$Q_L$ : Calor latente

$M$ : Gasto de aire interior en lbv/lba

$W_e$ : Humedad especifica exterior en lbv/lba.

$W_i$ : Humedad especifica interior en lbv/lba.

O bien:

$$Q_L = 0.68V(W_e - W_i)[BTU/h]$$

Donde:

$Q_L$ : Calor latente

$W_e$ : Humedad especifica exterior en granos/lba.

$W_i$ : Humedad especifica interior en granos/lba.

$V$ : Volumen en pie<sup>3</sup>/min.

Calor sensible ganado:

$$Q_s = 0.018V'(t_e - t_i)[BTU/h]$$

Donde:

$Q_s$ : Calor sensible ganado

$V'$ : Volumen en pie<sup>3</sup>/h

$t_e$ : Temperatura exterior de diseño en °F

$t_i$ : Temperatura interior de diseño en °F

O bien:

$$Q_s = 1.08V(t_e - t_i)[BTU/h]$$

$$Q_s = 0.24M(t_e - t_i)[BTU/h]$$

Donde:

$M$ : lb/h de aire.

#### 4. Ganancia de calor debido a personas.

La ganancia de calor producida por los ocupantes del espacio a ocupar esta tabulado y depende de la propia actividad que las personas desarrollen dentro del espacio y de la temperatura de ese ambiente (tabla VII-B).

La ganancia puede dividirse en dos partes:

- a. Ganancia de calor sensible.
- b. Ganancia de calor latente.

También existen curvas y tablas que proporcionan el calor por persona a partir de la temperatura de comodidad, o bien, a partir de los pie-lb/h que desarrolla un individuo. Así mismo hay curvas que según la temperatura y la actividad proporcionan la cantidad de evaporación de un individuo por hora.

En seguida se describen las siguientes curvas y tablas:

- a. Calor sensible perdido por el cuerpo humano a varias temperaturas en aire quieto y con diferentes actividades.
  - b. Calor perdido por evaporación y humedad del cuerpo humano a diferentes temperaturas, en aire quieto y con diferentes temperaturas.
  - c. Pérdida de calor total del cuerpo humano a varias temperaturas en aire quieto y con diferentes temperaturas.
- 5. Ganancia de calor debido a equipos misceláneos.**

Para obtener la ganancia de calor debido al equipo que se tenga instalado en el espacio por acondicionar, se recurre a tablas experimentales, ver la tabla VIII-B(anexo B)

Siempre se debe considerar esta parte de la ganancia total que, en ocasiones, puede ser muy importante; a veces, se acostumbra a incrementar esta ganancia en un 10% por alguna razón imprevista que pudiera ocurrir.

### **6. Ganancia de calor debido al aire para ventilación.**

El aire que se requiere para ventilación se debe suministrar en cantidad suficiente para cumplir con ciertos códigos, reglamentos o recomendaciones. Es evidente que para mantener un nivel bajo de olor se requiere nivel mínimo de aire.

Por lo general debe considerarse un mínimo de 7.5 pie<sup>3</sup>/min por persona, cuando no se considera humo de cigarro; si se considera, se deben tomar de 25 a 40 pie<sup>3</sup>/min por personas que fuman.

El aire para ventilación se debe independientemente de la propia carga de calor del espacio ya que este pasa antes por el acondicionamiento en contraste con el aire debido a la infiltración que entra directamente al espacio por refrigeración.

### **Cantidad de aire necesaria para manejar una determinada carga de refrigeración**

La cantidad de aire debe de ser adecuada para manejar la carga de refrigeración calentando el aire desde la temperatura de entrada a la temperatura del espacio mientras la temperatura de entrada sea menor, menos cantidad de aire se requerirá, pero es lógico que esta temperatura no sea menor de cierto límite.

La temperatura del aire de entrada varía en general, 5°F a 20°F por debajo de la temperatura deseada.

La temperatura de entrada debe de ser, por regla general, 2°F por debajo de la temperatura del cuarto por pie entre el piso y el techo.

Una vez obtenida la carga de refrigeración de un espacio, la cantidad de aire se calcula tomando en cuenta la carga de calor sensible.

$$Q_s = MC_p(t_i - t_e)$$

Donde:

$Q_s$ : Ganancia de calor sensible en BTU/h

$M$ : Aire suministrado en lb/h

$C_p$ : Calor específica del aire húmedo (aprox. 0.244 (BTU/Lb F))

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

$t_i$ : Temperatura del espacio en °F (BS)

$t_e$ : Temperatura de entrada al espacio en °F (BS)

$$Q_s = 1.08V(t_i - t_e)$$

Donde:

$Q_s$ : Ganancia de calor sensible en BTU/h

$V$ : Aire suministrado en pie<sup>2</sup>/min

$t_i$ : Temperatura del espacio en °F (BS)

$t_e$ : Temperatura de entrada al espacio en °F (BS)

El mismo aire ( $M$ ) que absorbe la carga de calor específico con una cierta humedad específica ( $W_i$ ), al incrementar dicha humedad  $W_2$ , absorbe también calor latente.

El calor latente, puede considerarse, entre 1,050 y 1,060BTU/lb, luego:

$$Q_L = M(W_i - W_d) * 1,050$$

$$Q_L = M(W_i' - W_d') * 1,050/7,000$$

Donde:

$Q_L$ : Ganancia de calor latente en BTU/h

$M$ : lb/h de aire seco

$W_i$ : lbv/lba humedad específica del aire requerida dentro del volumen por acondicionar.

$W_d$ : lbv/lba humedad específica del aire en los difusores.

$W_i'$ : Granos/lba humedad específica del aire requerido dentro del volumen por condicionar.

$W_d'$ : Granos/lba humedad específica del aire en los difusores.

El factor de calor sensible o relación de calor sensible será:

$$FCS = \frac{Q_s}{Q_s + Q_L}$$

Relación entalpia-humedad (REH)

Por definición:

$$REH = \frac{h_i - h_d}{W_2 - W_1}$$

$h_i$ : Entalpia del aire del espacio en BTU/lb

$h_d$ : Entalpia del aire que entra al espacio en BTU/lb

Ahora, para unas libras de aire se tiene:

$$h_i - h_d = Q_T = Q_s - Q_L$$

$$W_2 - W_1 = Q_L/h$$

$$\therefore REH = \frac{Q_T}{Q_L/1,050} = \frac{Q_s - Q_L}{Q_L/1,050}$$

## SELECCIÓN DE EQUIPO

Datos requeridos:

1. Determinación del lugar, altura sobre el nivel del mar.
2. Ganancias térmicas de calor sensible, de calor latente y pérdidas térmicas.
3. Capacidad en Btu/h en toneladas.
4. Datos eléctricos, tensión disponible.
5. Temperatura: temperatura exterior del diseño, bulbo seco Bs, bulbo húmedo Bh entrada al serpentín, volumen de aire  $P_{cm}$ , mas presión estática externa (ducto, hendijas, etc.)

### Selección de equipo mediante el análisis psicométrico.

Para realizar esta demostración desarrollaremos el siguiente ejemplo:

Calcule:

- a. La ganancia de calor por transmisión a través de barreras y por efecto solar.
- b. Calor ganado por equipo misceláneo y otras cargas.
- c. Ganancia de calor debido a los ocupantes.
- d. Encuentre:
  1. El aire requerido para ventilar.
  2. La ganancia de calor por infiltración del aire.
  3. El resumen de ganancia de calor.
- e. Calcule:
  1. La relación de calor sensible.
  2. La cantidad mínima de aire suministrado, si la temperatura del área de entrada es de 65°F.
  3. La humedad específica y temperatura de bulbo húmedo del aire suministrado para conseguir las condiciones de diseño.
  4. El aire suministrado por el ventilador en pies<sup>3</sup>/m.
  5. La capacidad del ventilador.

<b>Fachada sur</b>	
Ancho	30 pies
Alto	15 pies
<b>Cristales</b>	
Ancho	16 pies
Alto	10 pies

Tienen una puerta doble de 6\*7.5 pies, un marco de cristal de 10\*16 pies y el resto de la pared es de concreto de 12'' de espesor, con 1/2'' de yeso, con un coeficiente de transmisión  $U=0.53\text{BTU/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

<b>Fachada este</b>	
Ancho	60 pies
Alto	15 pies
<b>Cristales</b>	
Ancho	50 pies
Alto	10 pies

Tiene 3 ventanas de 3\*4 pies, un marco de cristal de 10\*50 pies y el resto de la pared es de concreto de 12'' de espesor y 1/2'' de yeso, con factor de transmisión es de  $U=0.53\text{BTU/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

<b>Pared oeste:</b>	
Largo	60 pies
Ancho	15 pies

Adyacente a la pared oeste hay un espacio no acondicionado cuya temperatura es de 90°F, la pared tiene también un factor de transmisión es de  $U=0.53\text{BTU/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

### **Piso:**

El piso es de 10'' de concreto, factor de transmisión es de  $U=0.46\text{BTU/h-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$ . Debajo del piso hay un estancamiento en donde se espera tener una temperatura de 90°F.

### **Techo:**

En el piso de arriba del banco existe una oficina que están acondicionando, por lo tanto no se considera transmisión de calor a través del techo.

### **Equipo:**

2 cafeteras de gas de 3 galones.

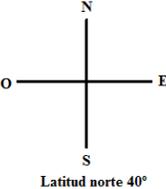
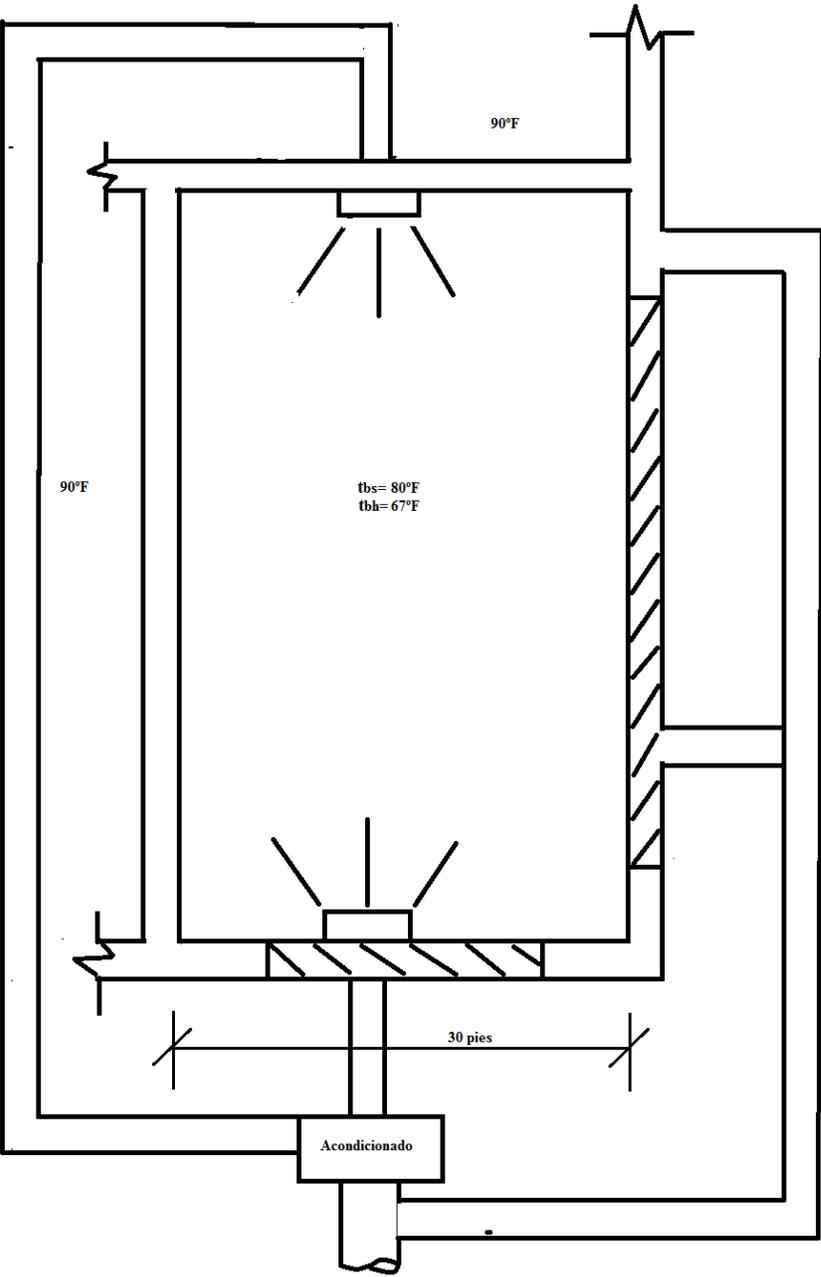
2 iluminaciones de 2W que se utilizan todo el tiempo.

Condiciones de diseño:

Temperatura exterior 100°F (BS) y 80°F (BH).

Temperatura interior 80°F (BS) y 67°F (BH).

El espacio por acondicionar se debe calcular para 30 clientes y 12 empleados. El dimensionamiento y otras especificaciones necesarias las encontraremos en la figura siguiente:



60 pies  
tbs=100°F  
tbr=80°F

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

a. Ganancia de calor debido a transmisión a través de barreras y al efecto solar.

Fachada sur:

$$\text{Área total } 30 \times 15 = 452 \text{ pies}^2$$

$$\text{Área cristales } 16 \times 10 = 160 \text{ pies}^2$$

$$\text{Área puertas } 6 \times 7.5 = 45 \text{ pies}^2$$

$$\text{Factor U del muro: } 0.53 \text{ BTU/h-pies}^2\text{°F}$$

Temperatura diferencial equivalente, tomada de la tabla V-B para concreto de 12 plg, latitud norte, pared sur, calor claro para mediodía y corregida para 20°F diferenciales:

Como se menciona con anterioridad,  $q_1$  representa el calor ganado por transmisión a través del muro, más el ganado por el efecto solar.

El calor ganado en los cristales es:

$$\text{Área} = 160 + 45 = 205 \text{ pies}^2$$

$$U = 1.13 \text{ BTU/h-pies}^2\text{°F}$$

Calor ganado por transmisión por diferencia de temperaturas:

$$q_2 = AU (t_e - t_i)$$

$$q_2 = 205 \times 1.13 (100 - 80) = 4,644 \text{ BTU/h}$$

Calor ganado en los cristales por efecto solar:

$$q_3 = q_3' \times f_2$$

$$q_3' = 166 \text{ BTU/h-pies}^2\text{°F} \text{ tomado de la tabla II-B}$$

Para latitud 40° norte, orientación sur, a medio día para noviembre 21 y enero 21.

$f_2 = 0.25$  tomado de la tabla III-B debido a que el cristal está protegido con toldo de color oscuro.

Luego:

$$q_3 = 166 \times 0.25 \times 205 = 8,508 \text{ BTU/h}$$

$$Q_s = q_1 + q_2 + q_3$$

$$Q_s = 909 + 4,644 + 8,508 = 14,061 \text{ BTU/h}$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

Fachada este

$$\begin{aligned} \text{Área total} &= 60 \cdot 15 = 900 \text{ pies}^2 \\ \text{Área cristales} &= 50 \cdot 10 = 500 \text{ pies}^2 \\ \text{Área puertas} &= 2(6 \cdot 7.5) = 90 \text{ pies}^2 \\ \text{Factor U del muro} &: 0.53 \text{ BTU/h-pies}^2\text{°F} \end{aligned}$$

Temperatura diferencial equivalente tomada de la tabla V-B, para concreto de 12 plg, latitud norte, pared este, color claro, para mediodía y corregida para 20°F diferenciales:

$$\begin{aligned} t_e &= 6 + 5 = 11^\circ\text{F} \\ q_1 &= 0.53 (900 - 500 - 90) \cdot 11 = 1,807 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

El calor ganado en los cristales es:

$$\text{Área} = 500 + 90 = 590 \text{ pies}^2$$

$$U = 1.13 \text{ BTU/h-pies}^2\text{°F}$$

Calor ganado por transmisión por diferencia de temperatura:

$$\begin{aligned} q_2 &= AU (t_e - t_i) \\ q_2 &= 590 \cdot 1.13 (100 - 80) = 13,334 \text{ BTU/h} \end{aligned}$$

Calor ganado en los cristales por efecto solar:

$$\begin{aligned} q_3 &= q_3' \cdot f_2 \\ q_3' &= 14 \text{ BTU/h-pies}^2\text{°F} \end{aligned}$$

Tomado de la tabla II-B para latitud 40° norte, orientación este, a mediodía para agosto 24 y abril 25.

$$f_2 = 0.25 \text{ (tabla III-B)}$$

Luego,

$$q_3 = 14 \cdot 0.25 \cdot 590 = 2,065 \text{ BTU/h}$$

Calor total ganado en la fachada este:

$$Q_e = 1,807 + 13,334 + 2,065 = 17,206 \text{ BTU/h}$$

Pared norte:

$$\begin{aligned} \text{Área total} &= 30 + 15 = 450 \text{ pies}^2 \\ \text{Factor U del muro} &: 0.53 \text{ BTU/h-pies}^2\text{°F} \end{aligned}$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

Calor ganado a través del muro por transmisión debido a la diferencia de temperatura:

$$Q_n = AU (t_e - t_i)$$

$$Q_n = 450 * 0.53 (90 - 80) = 2,385 \text{ BTU/h}$$

Pared oeste

$$\text{Área total} = 60 * 15 = 900 \text{ pies}^2$$

$$\text{Factor U de la pared} = 0.53 \text{ BTU/h-pies}^2\text{°F}$$

Calor ganado a través del muro por transmisión debido a la diferencia de temperatura:

$$Q_o = AU (t_e - t_i)$$

$$Q_o = 900 * 0.53 (90 - 80) = 4,770 \text{ BTU/h}$$

Piso

$$\text{Área total} = 60 * 30 = 1,800 \text{ pies}^2$$

$$\text{Factor U del piso} = 0.43 \text{ BTU/h-pies}^2\text{°F}$$

$$\text{Temperatura del estacionamiento} = 90\text{°F}$$

$$Q_p = AU (t_e - t_i)$$

$$Q_p = 1,800 * 0.43 (90 - 80) = 8,280 \text{ BTU/h}$$

Calor total ganado por transmisión debido a la diferencia de temperatura y al efecto solar:

$$Q_t = Q_s + Q_e + Q_n + Q_o + Q_p = 14,061 + 17,206 + 2,385 + 4,770 + 8,280 = 46,702 \text{ BTU/h}$$

b. Calor ganado por equipo misceláneo

c.

1. Cafetera (tabla VIII-B)

$$\text{Calor sensible} \text{-----} 2,500 \text{ BTU/h}$$

$$\text{Calor latente} \text{-----} 2,500 \text{ BTU/h}$$

2. Iluminación

$$\text{Calor sensible} \text{-----} 2 * 3,412 = 6,824 \text{ BTU/h}$$

Luego:

$$\text{Calor sensible total} \text{-----} 9,324 \text{ BTU/h}$$

$$\text{Calor latente total} \text{-----} 2,500 \text{ BTU/h}$$

d. Calor ganado por los ocupantes

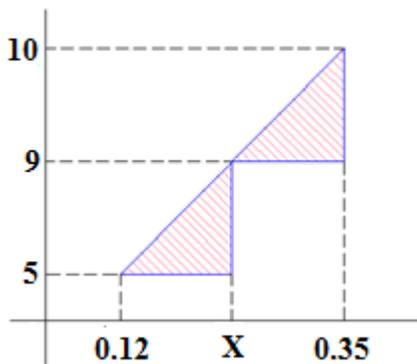
De la tabla VII-B o las figuras I-B y II-B, se tiene:

	Calor sensible	Calor latente
30*200	----	6,000
30*450	13,500	----
12*200	----	2,400
12*450	5,400	----
<b>total</b>	<b>18,900BTU/h</b>	<b>8,400BTU/h</b>

e. Encontrar:

1. Aire requerido para ventilación.

**Interpolando**



$$\frac{10 - 9}{0.35 - X} = \frac{9 - 5}{X - 0.12}$$

$$X - 0.12 = 1.4 - 4X$$

$$5X = 1.52$$

$$X = 0.304$$

$$X = 0.304 * 60 = 18.24 \cong 18.5$$

Si se considera que se requiere 18.5pies<sup>3</sup>/min-persona, se tiene:

$$V = (30 + 12)18.5 = 780 \text{ pies}^3/\text{min}$$

$$\text{Cambio de aire por hora} = \frac{780 * 60}{15 * 60 * 30} = 1.73 \text{ lo cual es razonable}$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

2. Ganancia de calor por infiltración de aire.

De la tabla I-B

$V=88\text{pies}^3/\text{h}/\text{pie}$  de ranura.

Para las ventanas de la fachada este:

$3[(3 + 4)2 + 4] = 54$  pies de ranura

$$54 * 88 = 4,752 \text{ pies}^3/\text{hora}$$

Para las puertas de la fachada sur:

$(3*7.5) + (2*6) = 34.5$  pies de ranura

De la tabla I-B, para la puerta de la fachada sur:

$V= 138\text{pies}^3/\text{h}/\text{pie}$  de ranura

$34.5*138=4,760 \text{ pies}^3/\text{hora}$

Infiltraciones totales =  $4,752 \text{ pies}^3/\text{hora} + 4,760 \text{ pies}^3/\text{hora} = 9,512 \text{ pies}^3/\text{hora}$

En las paredes norte y oeste no hay infiltraciones.

Aire exterior ( $100^\circ\text{FBS}$  y  $80^\circ\text{FBH}$ )

Luego:

$t_{vo}= 73^\circ\text{F}$

$W_e=124\text{granos}/\text{lb}$

$V_e=14.53 \text{ pies}^3/\text{lb}$

Aire interior ( $80^\circ\text{FBS}$  y  $67^\circ\text{FBH}$ )

$t_{vo}= 60.1^\circ\text{F}$

$W_i=78.2\text{granos}/\text{lb}$

$V_i=13.84 \text{ pies}^3/\text{lb}$

$Q_s= 655*0.24 (100-80) = 3,144\text{BTU}/\text{h}$

Humedad ganada =  $655 (124-78) = 30,130 \text{ granos}/\text{h}$

$Q_L= (30,130/7,000)*1,060 = 4,540 \text{ BTU}/\text{h}$

### 3. Resumen de ganancia de calor:

	Calor sensible	Calor latente
Transmisión y efecto solar	46,702	----
Equipo misceláneo	9,324	2,500
Ocupantes	18,900	8,400
Infiltración	3,144	4,540
<b>Total</b>	<b>78,070 BTU/h</b>	<b>15,440 BTU/h</b>

f. Calcule:

1. Relación de calor sensible,

$$RCS = \frac{78,070}{78,070 + 15,440} = 0.8345$$

2. La mínima cantidad de aire suministrada, si la temperatura del aire de entrada en los difusores es de 64°F.

$$M = \frac{Q_s}{0.24(t_i - t_d)}$$

$$M = \frac{78,070}{0.24(80 - 64)} = 20,331 \text{ lb/h}$$

3. La humedad específica y temperatura de bulbo húmedo del aire suministrado por conseguir las condiciones de diseño.

$$Q_L = M(W_i' - W_d') \frac{1,050}{7,000}$$

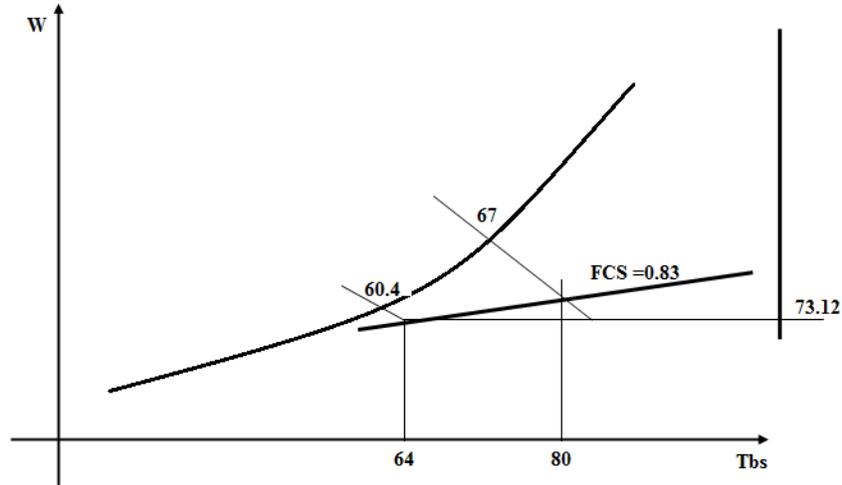
$$15,440 = 20,331(78.2 - W_d') \frac{1,050}{7,000}$$

$$W_d' = 73.12 \text{ granos/lb}$$

$$t_{bh} = 60.4^\circ\text{F}$$

$$h = 26.7 \text{ BTU/lb}$$

Ver la siguiente figura



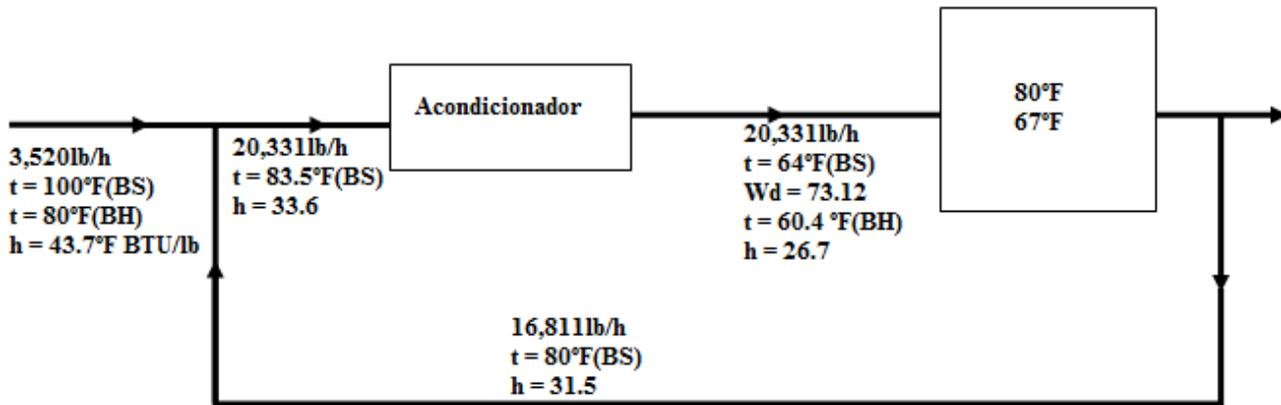
4. El aire suministrado por el ventilador en  $\text{pies}^3/\text{m}$

$$V = \frac{M_v}{60}$$

$$V = \frac{20,331 * 13.3}{60} = 4,500 \text{pies}^3/\text{min}$$

5. La capacidad del ventilador

Caso A cuando solo el aire de ventilación se toma del exterior (siguiente figura).



$$M_v = \frac{780 * 60}{13.3} = \frac{3,520 \text{lb}}{h}$$

$$M_R = 20,331 - 3,520 = 16,811 \text{lb}/h$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

Condiciones de la mezcla del aire fresco y el aire recirculado:

$$(3,520 \cdot 100) + (16,811 \cdot 80) = 20,331t$$

$$t = 83.5^{\circ}\text{F}$$

$$(3,520 \cdot 43.7) + (16,811 \cdot 31.5) = 20,331h$$

$$h = 33.6 \text{ BTU/lb}$$

Luego:

$$q_1 = 20,331(33.6 - 26.7)$$

$$q_1 = 140,284 \text{ BTU/h}$$

En el caso b cuando todo el aire es tomado del exterior.

$$q_1 = 20,331(43.7 - 26.7)$$

$$q_1 = 345,627 \text{ BTU/h}$$

**AHORRO EN LOS SISTEMAS DE AIRES ACONDICIONADOS.**

Mediante los siguientes ejemplos se demuestra la importancia y el ahorro que produce los equipos de rendimiento eficiente o la sustitución de un equipo de bajo rendimiento por uno eficiente.

### **Ejemplo # 1:**

La oficina presidencial de una empresa nicaragüense tiene instalado un aire acondicionado de ventana con 15 años de operación, con los siguientes Datos:

Datos:

- ❖ Unidad de aire acondicionado para ventana.
- ❖ 48,000 BTU de capacidad.
- ❖ Consumo 5.6 Kwh
- ❖ Opera 200h/mes.

Por lo que se vio necesario realizar un cambio, se recomendó sustituirlo por una unidad Split con los siguientes datos:

Datos del equipo propuesto:

- ❖ Unidad de aire acondicionado para ventana.
- ❖ 48,000 BTU de capacidad.
- ❖ Relación de eficiencia energética de 10.5 BTU/wh
- ❖ Opera 200h/mes.

**Nota:** El costo del Kwh se estima en 0.10\$.

Formula a utilizar:

Formula	Especificaciones:
Ahorro = CEA – CEP	CEA =Consumo de energía actual. CEP=Consumo de energía propuesto del nuevo equipo.
CEA = FO * Q * REEA * T	CEA =Consumo de energía actual.
	FO= Factor de operación del equipo (en dependencia de la ocupación del local) su rango promedio es entre 0.70 y 0.75.
	Q =Capacidad de enfriamiento del equipo actual en TR (toneladas de refrigeración).
	REEA=Rendimiento de eficiencia energética en Kwh/TR.
CEP = FO * Q * REEP * T	T=Tiempo de operación del equipo en horas.
	CEP=Consumo de energía propuesto del nuevo equipo.
	FO= Factor de operación del equipo (en dependencia de la ocupación del local) su rango promedio es entre 0.70 y 0.75.
	Q =Capacidad de enfriamiento del equipo actual en TR (toneladas de refrigeración).
REEA = EC/Q	REEP=Rendimiento de eficiencia energética propuesto del nuevo equipo en Kwh/TR.
	T=Tiempo de operación del equipo en horas.
	REEA=Rendimiento de eficiencia energética en Kwh/TR.
	EC=Energía consumida por el equipo en una hora (Kwh).
	Q =Capacidad de enfriamiento del equipo actual en TR (toneladas de refrigeración).

**Solución:**

$$REEA = EC/Q$$

$$Q = \frac{48,000BTU}{12,000BTU} = 4TR/h$$

$$REEA = \frac{5.6Kwh}{4TR/h} = 1.4Kw/TR; REEA = 1.4Kw/TR$$

$$CEA = FO * Q * REEA * T$$

$$T = 200 * 12meses = 2400h/año$$

$$CEA = FO * Q * REEA * T = 0.7 * 4TR * 1.4Kw/TR * 2400h/año$$

$$CEA = 9,408Kwh/año$$

$$CEP = FO * Q * REEP * T$$

$$relacion = (12,000BTU) / (10.5BTU/wh) = (1,142wh/TR)/1000 = 1.142Kwh/TR$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

El consumo en las 4 toneladas es de:

$$4TR * 1.142Kwh/TR = 4.568Kwh \cong 4.6Kwh$$

$$CEP = FO * Q * REEP * T = 0.7 * 4TR * 1.142Kw/TR * 2400h/año = 7,674Kw/año$$

$$\mathbf{CEP = 7,674Kw/año}$$

$$\text{Ahorro} = CEA - CEP = 9,408Kwh/año - 7,674Kw/año = 1,734Kw/año$$

$$\mathbf{Ahorro = 1,734Kw/año}$$

$$\text{Beneficio economico} = 1,734Kw/año * 0.10\$/Kwh$$

$$\mathbf{Beneficioeconomico = 173.4\$/año}$$

Con este beneficio por año, en los 15 años de operación esta empresa perdió.

$$1,734Kw/año * 15 = 26,010Kw$$

Equivalente a:

$$26,010Kw * 0.10\$ = 2,601\$ \text{ en los 15 años}$$

### Ejemplo #2:

Un auditorio que cuenta con un sistema de aire acondicionado, tiene un total de 10 ventanas, las cuales tienen infiltración por un rendija de 50 cm de largo por 2 cm de ancho, la temperatura dentro del auditorio es de 24°C y la temperatura exterior es de 30°C, se sabe que la velocidad del viento es de 3.83 m/seg y el auditorio labora 8 horas diarias por 264 días del año.

$$5\text{días} * 4\text{semanas} * 12 \text{ meses} = 240 \text{ días/año}$$

$$0.5 \text{ (sábado)} * 4 \text{ semanas} * 12 \text{ meses} = 24 \text{ días/año}$$

$$\text{Total de días al año} \quad 264\text{días/año}$$

Formulas a utilizar:

$$Q_s = 1.1 * CFM * (T_{EXT} - T_{INT})$$

$Q_s$  = calor que se infiltra en BTU

CFM = flujo de vapor en pie cúbicos por minutos.

$$CFM \text{ ventanas} = 0.6 * A * V$$

A = área de filtración en pie cuadrado

V = velocidad del aire exterior

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

$1Ft-----0.3048m$ $X-----0.50m$ $X = \frac{0.50 * 1Ft}{0.3048} = 1.64Ft$	$1Ft-----0.3048m$ $X-----0.20m$ $X = \frac{0.20 * 1Ft}{0.3048} = 0.0656Ft$
$A=1.64Ft * 0.0656Ft = 0.1076Ft^2 \cong 0.1089Ft^2$	

$$V = \frac{3.83m/seg}{0.3048} * 60 = 753.9Ft/s$$

Temperatura:

$$Tf = \frac{9}{5}Tc + 32 = \frac{9}{5}(24) + 32 = 75.2^{\circ}F$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 86^{\circ}F - 75.2^{\circ}F = 10.8^{\circ}F$$

$$\Delta T = 10.8^{\circ}F$$

Datos	
Parámetros	Valores
Áreas de las infiltraciones de las ventanas	0.1089Ft <sup>2</sup>
Numero de ventanas en el auditorio	10 ventanas
Velocidad del viento	753.9Ft/s
Temperatura interior	T <sub>1</sub> =24°C =75.2°F
Temperatura exterior	T <sub>2</sub> =30°C=86°F
Diferencia de temperatura	10.8°F
Tiempo de trabajo en los 264 días del año	8h/día

CFM ventanas= 0.6\*A\*V= flujo de aire en pie cúbicos por minutos

CFM ventanas= 0.6\*0.1089Ft<sup>2</sup>\*753.9m/s =49.26 flujo de aire en pie cúbicos por minutos

Q<sub>s</sub>= 1.1\*CFM\*(T<sub>EXT</sub> - T<sub>INT</sub>)=calor infiltrado

$$Q_s = 1.1 * 49.26 * 10.8^{\circ}F = 585.20 \text{ BTU/h}$$

Conversión de los BTU a KWh, si 1BTU= 0.0002928KWh

$$585.20 \text{ BTU/h} * 0.0002928 \text{ KWh} = 0.1713 \text{ KWh}$$

$$0.1713 \text{ KWh} * 8 \text{ h} = 1.3704 \text{ KWh/día}$$

Ahorro= KWh/día\*\$ KWh\*264días/año

$$\text{Ahorro} = 1.3704 \text{ KWh/día} * 0.10 \$ \text{ KWh} * 264 \text{ días/año} = 36.178 \$ / \text{año}$$

$$\text{Ahorro total} = \$ / \text{año} * 10 \text{ ventanas} = 36.178 \$ / \text{año} * 10 = 361.78 \$ / \text{año}.$$

### FACTOR DE POTENCIA

#### NATURALEZA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Las redes de corriente eléctrica suministran energía que se utiliza para dos funciones distintas:

1. Energía activa, que se transforma en trabajo útil y calor.
2. Energía reactiva, que se utiliza para crear campos magnéticos (inducción).



Los receptores empleados tanto en las industrias como en las viviendas son de carácter óhmico-inductivo y a veces fuertemente inductivo (lámparas de descarga, motores, transformadores, etc.); Estos son alimentados en corriente alterna, para dos formas de consumo: el que transforma en potencia activa, con las correspondientes pérdidas por efecto de joule (calentamiento), y el correspondiente a la creación de campos magnéticos, que denominamos reactiva.

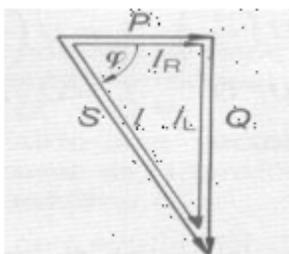
La energía activa corresponde a la potencia activa  $P$  dimensionada en  $W$ ; se transforma integralmente en energía mecánica (trabajo) y en calor (pérdidas térmicas).

La energía reactiva corresponde a la energía necesaria para crear los campos magnéticos propios de su función.

La red de suministro alimenta la energía aparente que corresponde a la potencia aparente, denominada  $S$  y dimensionada en  $(VA)$ .

La energía aparente es la suma de dos energías vectoriales, la activa y la reactiva.

## Triangulo de potencia



$$S^2 = P^2 + Q^2 ;$$

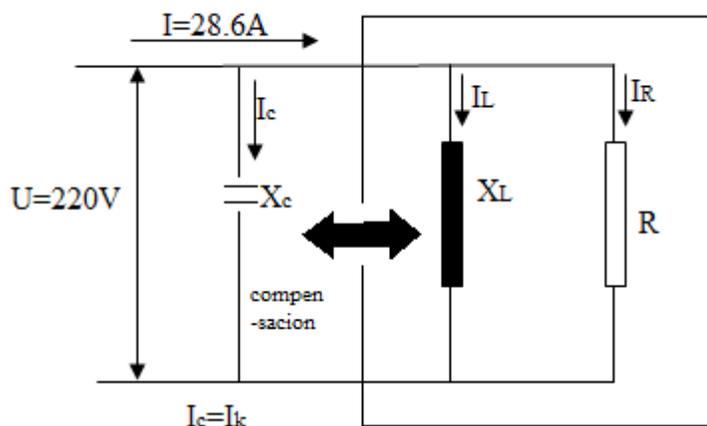
## Factor de potencia

El factor de potencia (Fp) es la proporción de potencia activa en la potencia aparente. Es tanto mejor cuando se acerca a la unidad de (0 a 1).

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \Rightarrow P = S \cos\varphi \therefore Fp = \frac{P_W}{S_{VA}} = \cos\varphi$$

## COMPENSACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

La corriente reactiva debe compensarse pues con otra corriente capacitiva de manera que el circuito total resulte equivalente a un resistor puro como se muestra en la siguiente figura.



Con el  $\cos\theta$  valdrá 1. La capacidad del condensador de compensación puede calcularse aplicando la siguiente formula (formula de la potencia reactiva).

$$Q_c = UI_c; \quad I_c = \frac{Q_c}{U}$$

$$Q_c = \frac{U^2}{X_c}; \quad X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

Capacidad:

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f U^2} = 552\mu f$$

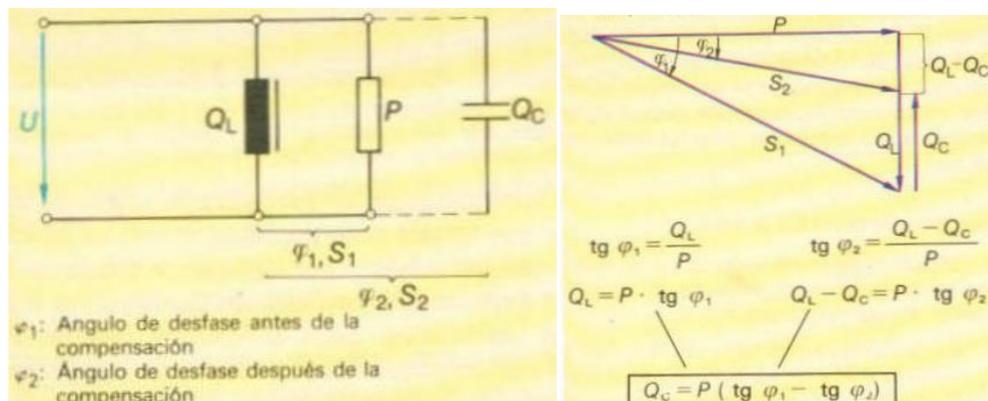
Para 8.4KVAR resulta una capacidad de  $552\mu f$  para compensar 1KVAR se precisa un valor proporcionalmente menor:

$$\frac{552\mu f}{8.4\text{KVAR}} = \frac{C}{1\text{KVAR}}; C = 66\mu f$$

Un condensador de  $66\mu f$  compensa una potencia reactiva-inductiva de 1KVAR a 220V y 50Hz.

En la mayoría de las instalaciones no se compensa hasta alcanzar un valor de  $\text{Cos}\theta=1$ , pues entonces podrían aparecer fenómenos de resonamiento suelen ser suficiente valores menores, de por ejemplo 0.9 a 0.95.

La siguiente figura nos muestra la relación para obtener la potencia reactiva.



Condensadores de compensación.

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

Si tenemos un factor de potencia medio de 0.6 y un el ángulo de desfase  $\theta_1 = 53.1^\circ$  si quiere compensarse la instalación a  $\cos\theta_2=0.95$ ,  $\theta_2 = 18.2^\circ$  la potencia reactiva consumida por el condensador se calcula de la siguiente manera:

$$Q_c = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$Q_c = 6.3\text{KVAR}(\tan 53.1^\circ - \tan 18.2^\circ)$$

$$Q_c = 6.32\text{KVAR}$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f U^2} = 415\mu\text{f}$$

Para esta potencia de precisa de un condensador de  $415\mu$

### Compensación en los bornes de un transformador.

Compensación e incremento de la potencia de un transformador.

La instalación de una batería de condensadores puede evitar el cambio de un transformador por una simple ampliación de carga.

La potencia activa disponible en el secundario de un transformador es mayor a medida que el factor de potencia se acerque al máximo  $\cos\theta$ .

Es interesante este fenómeno, puesto que puede darse el caso que para una pequeña aplicación no se necesario cambiar el transformador, solo mejorar el factor de potencia.

### Ejemplo:

Una instalación es alimentada por un transformador de

- Potencia de 630KVA
- La potencia activa necesaria por la carga es  $P_1 = 450\text{KW}$
- Factor de potencia medio de la carga es de  $\cos\theta = 0.8$
- Potencia aparente que necesita le carga será:

$$S_1 = \frac{450}{0.8} = 562\text{KVA}$$

- La potencia reactiva de esta carga será:

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = 337\text{KVAR}$$

Una ampliación de la industria necesita una:

- Potencia activa de  $P_2 = 100\text{KW}$
- Factor de potencia  $\cos\theta = 0.7$
- La potencia aparente de la ampliación será:

$$S_2 = \frac{100}{0.7} = 143\text{KVA}$$

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

- La potencia reactiva de La ampliación será:

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P_2^2} = 102KVAR$$

- La potencia aparente instalada y la potencia aparente de la ampliación son:

$$S_t = S_1 + S_2 = 664KVA$$

- Superior a la potencia del transformador
- La potencia activa necesaria será:

$$P_t = P_1 + P_2 = 550KW$$

¿Cuál será la potencia de la batería de condensadores necesaria para que la potencia aparente del transformador pueda suministrar la potencia activa de la instalación actual más la de la ampliación?

Para que con la potencia del transformador ( $S=630KVA$ ) se pueda suministrar, la potencia activa de la instalación existente más de la de la aplicación se ha de limitar la potencia reactiva a un máximo.

- El máximo posible será:

$$Q_{max} = \sqrt{S_t^2 - P_t^2} = \sqrt{630^2 - 550^2} = 307KVAR$$

La potencia reactiva que necesita la instalación mas la aplicación es:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = 337 + 102 = 439KVAR$$

Si la que necesita la instalación es de 439KVAR y la máxima que puede suministrar el transformador es de 307KVAR, el resto lo debemos suministrar con una batería de condensadores:

$$Q_c = Q_t - Q_{max} = 439 - 307 = 132KVAR$$

Los valores reflejados en la tabla son los recomendados para la compensación individual de la potencia reactiva de los transformadores de alimentación.

A la potencia nominal del transformador se le ha asignado en la tabla de potencia reactiva del condensador, que hay que conectar en el secundario del transformador.

Compensación individual de transformadores	
Potencia nominal del transformador KVA	Potencia reactiva del condensador KVAR
100	4
160	6
250	15
400	25
630	40
1000	60
1600	100

### Compensación del factor de potencia en una instalación

En los aparatos e instalaciones eléctricas se transforma energía eléctrica en otro tipo de energía. La parte aprovechable de la energía transformada puede obtenerse a través de a partir de energía activa.

Sin embargo, las bobinas dan lugar a una reactancia inductiva nociva, pues hacen que por los cables circulen corrientes más intensas.

A partir de una determinada intensidad deberá compensarse esta corriente esta corriente mediante conexiones especiales (habrá que tener en cuenta las normas vigentes en cada lugar).

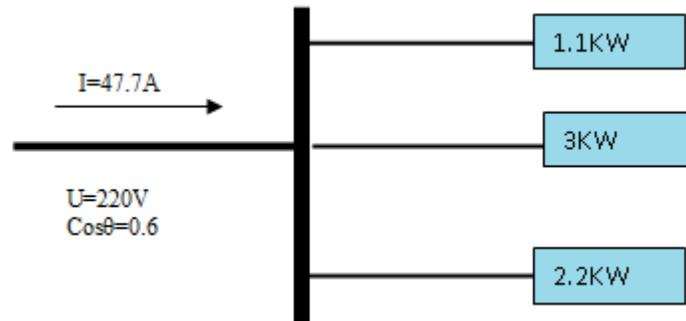
Si la compensación no es posible o no se realiza por cualquier otro motivo se conectan en las instalaciones grandes un condensador de potencia reactiva para poder calcular los gastos consiguientes.

**Ejemplo:** calcular la compensación

Una instalación eléctrica conectada a la red de 220v se compone de las siguientes unidades:

1. Tubos fluorescentes: 1,1KW
2. Motores 3KW
3. Bombillas 2.2KW

El factor de potencia medio es de 0.6, con este valor, el de la tensión y el de la potencia activa total calculamos los valores siguientes:

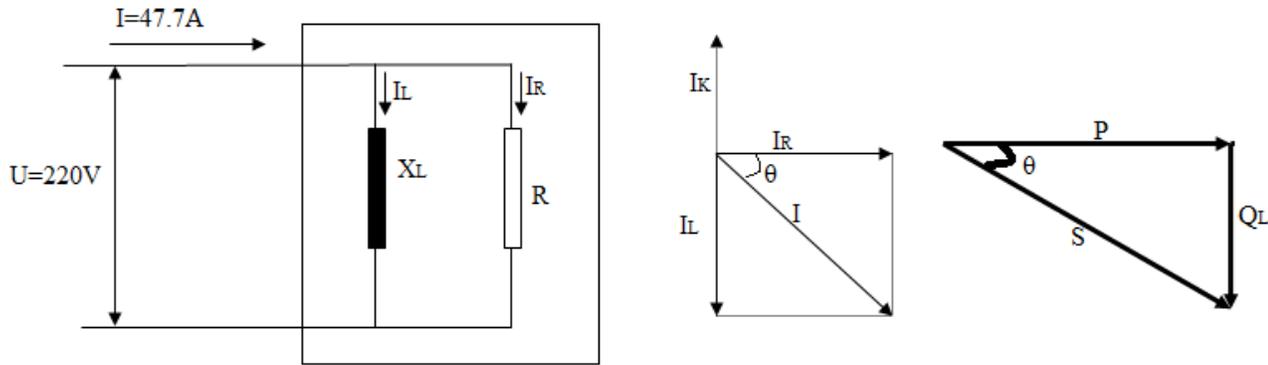


$$P = 6.3KW; \quad S = \frac{P}{\cos\theta} = 10.5KVA; \quad Q_L = S * \text{Sen}\theta = 8.4KVAR$$

La única parte útil es la potencia activa, que vale 6.3KW. Si en la instalación no hubiera más que resistores óhmicos, debería circular una corriente de  $I = \frac{P}{V} = 28.6A$  a causa de las reactancias, no obstante circula una corriente de 47.4A. Que también deberá tomarse de la red de distribución.

Por otro lado una corriente más intensa provocara también una perdida mayor en los cables de suministro.

Como la mayoría de las cargas que se presentan en las corrientes de potencia son resistores:



En cambio con bobinas, se podrá añadir condensadores, pues estos ofrecen un comportamiento opuesto al de las bobinas.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-ECONÓMICAS

La mejora del factor de potencia optimiza el dimensionado de la instalación, aparamenta, cables, etc. Reduce las pérdidas de la línea y las caídas de tensión.

Un buen factor de potencia permite optimizar las características técnico-económicas relativas a una instalación, evitando el sobredimensionado de los elementos y optimizado su utilización.

Aumento de la potencia de un transformador

La instalación de condensadores a un transformador de potencia, que alimenta una instalación donde  $\cos\theta$  es bajo, permite un aumento de la potencia activa disponible en los bornes de baja tensión y nos permite incrementar la carga de la instalación sin cambiar transformador.

## Distribución de las pérdidas de los cables

La intensidad de circulación en un conductor y su naturaleza son factores directos en las pérdidas de un conductor; a igualdad de naturaleza la intensidad a circular será la determinante de las pérdidas.

La intensidad de alimentación de una carga, es la intensidad total (aparente). A medida que reducimos el  $\cos\theta$  nos acercamos a la intensidad activa, menor que la intensidad total; por tanto, la intensidad que circula por el conductor será menor y sus pérdidas menores.

### Ejemplo 1:

**La intensidad aparente de una carga es:** de 125 A,  $\cos\theta = 0.6$ ,  $I_t = 125A$

**La intensidad activa será:**  $I_a = I_t * \cos\theta = 125 * 0.6 = 75A$

**La intensidad reactiva** que se necesita para compensar la corriente aparente hasta equilibrar a la activa es:  
 $I_r = I_a * \tan\theta = 75 * 1.33 = 99.75A$

- Si no compensamos la corriente será de 125A.
- Si compensamos totalmente, la intensidad será de 75A.

## Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales

### Ejemplo 1:

Si tenemos instalado un conductor de 16mm<sup>2</sup> y una longitud de 30 metros, la explotación de la línea es de 8 horas diarias, y se trabaja 22 días al mes, el costo del KWh es de US\$ 0.10 tendremos que:

La resistencia del conductor por metro de línea (dos conductores) en Ω/m es de:

$$R = (1.25\rho) \frac{2L}{S} = 1.25 * \frac{1}{56} * \frac{2 * 1m}{16mm^2} = 0.002790 \Omega/m$$

**Nota:** la resistividad del conductor debe corresponder a la temperatura del trabajo.

### Perdidas

Las pérdidas por metro de línea, en el conductor 16mm<sup>2</sup> con 125A. Serán:

$$P_{cu125} = R * I^2 = 0.002790 \Omega/m * 125^2 = 43.595W/m$$

Las pérdidas por metro de línea, en el conductor 16mm<sup>2</sup> con 75A. Serán:

$$P_{cu75} = R * I^2 = 0.002790 \Omega/m * 75^2 = 15.694W/m$$

La diferencia de las pérdidas por el paso de las dos intensidades será:

Las pérdidas por metro de línea, en el conductor 16mm<sup>2</sup> con 125A. Serán:

$$P_{cu} = P_{cu125} - P_{cu75} = 43.595W/m - 15.694W/m = 27.901W/m$$

El costo de estas pérdidas será:

$$costo = 0.027901KW/h * 30m * 8h/dia * 22días * 0.1US\$/KW/h = 14.73US\$ /mes$$

$$costo = 14.73US\$ /mes$$

Este valor de pérdidas, no está incluido en las recargas por energía reactiva, es energía transformada en calor y se contabiliza en el contador de energía activa.

En función de cómo compensamos el factor de potencia obtendremos diferentes resultados.

Corrección de la sección de un conductor en función del factor de potencia.

La sección de un conductor calculado para una carga con  $\cos\theta = 1$ , si cambiamos el  $\cos\theta$ , la sección deberá incrementar según la tabla adjunta:

$\cos\theta$	1	0.80	0.60	0.40
Factor multiplicador	1	1.25	1.67	2.50

### EFICIENCIA

#### DEFINICIÓN:

Eficiencia, en física como en el campo tecnológico, es expresada también como el rendimiento de un dispositivo, maquina, ciclo termodinámico, etc., y se expresa el coeficiente entre:

- La energía obtenida (energía útil) de su funcionamiento y la energía suministrada consumida por el equipo o el proceso.

$$\eta = \frac{E_{obtenida}}{E_{suministrada}}$$

Donde:

$\eta =$  Rendimiento y  $E =$  Energía

- El trabajo obtenido (trabajo útil) de su funcionamiento y el trabajo suministrado o consumido por el equipo o el proceso.

$$\eta = \frac{W_{obtenida}}{W_{suministrada}}$$

Donde:

$\eta =$  Rendimiento y  $W =$  Trabajo

#### PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS

- Demanda reactiva inductiva.
- Demanda aparente.
- Demanda, potencia instalada energía. ¿Cuáles son las diferencias?
- Equipos que consumen la demanda reactiva en el sistema eléctrico.
- Factor de potencia.
- ¿Cómo se comporta el voltaje en el sistema eléctrico?

La eficiencia de un equipo o proceso se demuestra al reducir los costos de producción, o con indicadores económicos que demuestren la viabilidad de recuperación de los fondos de la inversión

Cualquier alternativa para reducir los costos de operación y aumentar la eficiencia de un equipo del sistema eléctrico industrial, podría ser aplicada a un equipo del sistema eléctrico de otro sector.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

Hemos determinado los criterios para la selección óptima de los equipos de los Sistemas Eléctricos Industriales según su utilización en base a sus parámetros; logrando determinar la importancia de cada uno de ellos.

La proyección del grado de ahorro pudo determinarse mediante los análisis económicos que se realizaron para cada uno de los equipos del Sistema Eléctrico Industrial.

Al comparar equipos de baja eficiencia Vs equipos de alta eficiencia, mediante análisis económicos se logró demostrar que los equipos eficientes son los que más aprovechan la energía suministrada.

Cumpliendo con los objetivos establecidos logramos Optimizar Sistemas Eléctricos industriales desde 0 a 10MVA.

## RECOMENDACIONES

A continuación se harán algunas recomendaciones:

### Transformadores

- Se debe analizar la viabilidad económica de comprar transformadores de alta eficiencia energética.
- Seleccionar transformadores de aceite para altas cargas de trabajo.
- Seleccionar transformadores secos para bajas cargas de trabajo; ya que tienen las siguientes **ventajas**:
  - ✓ Menores pérdidas ante cargas de trabajo menores.
  - ✓ Menor generación de calor y envejecimiento en presencia de armónicos.
  - ✓ No necesitan contenedor de aceite.
  - ✓ Menor mantenimiento.
  - ✓ Menores problemas medioambientales.
- **Y sus desventajas son:**
  - ✓ Mayores pérdidas en vacío.
  - ✓ Más costosos que los de aceite.
- Seleccionar las conexiones que más ventajas proporcione para un sistema eléctrico.

### Iluminación

- Evitar toda forma de deslumbramiento.
- Obtener una iluminación conveniente y adecuada para cada clase de actividad a desarrollarse en el ambiente a iluminar.
- Obtener el mejor rendimiento y la máxima economía en toda instalación de iluminación.
- Aprovechar al máximo la luz ambiental

## **Optimización de Sistemas Eléctricos Industriales**

- Mejorar el nivel de eficiencia del sistema (mediante una buena regulación, uso de equipos eficientes, etc.).
- Recordar el efecto decorativo.

### **Motores**

- Evita el arranque y la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda.
- Evita la operación en vacío de los motores.
- Verifica periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada.
- Corregir la caída de tensión en los alimentadores.
- En caso que se estime rentable el remplazo de motores estándares por motores eficientes realizarlo.
- Compensación de reactiva en todos los casos.
- Mantener bien ajustado y en óptimas condiciones el interruptor de arranque de los motores monofásicos de fase partida.
- Utiliza arrancadores a tensión reducida en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques.
- Instala equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevarla eficiencia.

### **Aires acondicionados**

- Comprobar la selección de los equipos de acondicionamiento de aire en función de la carga necesaria.
- Usar equipos eficientes.
- Reducción de las ganancias térmicas.
- Eliminar el calor infiltrado a través de abertura de puertas y ventanas.

### **Factor de potencia**

- Los condensadores que no lleven alguna indicación de temperatura mínima admisible no se podrá usar en lugares donde la temperatura ambiente sea de 50°C o mayor.
- Los condensadores deberán estar adecuadamente protegidos.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

Instalaciones Eléctricas Conceptos Básicos y Diseños (conceptos básicos y diseños).

N. Bratu y E. Campero. 2a Edición  
Editorial: Alfaomega; ISBN 970-15-0127-6

Instalaciones Eléctricas

A.J. Conejo; J.M. Arroyo; F. Milano  
N.Alguacil; J.L Polo; R García Bertrand  
J.Contrera; A. Clamagirand; L. López  
Editorial: McGawnHill; ISBN 978-84-481-5639-8

Electrónica de Potencia Curso Superior

Wolfgang Müller, Edicion especial para la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Editorial: Reverte, S,A.ISBN -84-291-3455-7

Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales.

Fernando Martínez Domínguez, 4a.Edicion, Editorial Thomsom paraninfo ISBN 84-283-2857-9

Fundamentos de aires acondicionado y refrigeración

Ing. Eduardo Hernández Goribar, 1a. Edición  
Editorial: Limisa, ISBN 978-968-18-0604-0

Nacional ElectricalCode

Thomas L. Harman, Charles E. Allen, Edición 2011, Editorial: PRENTICE-HALL, INC. ISBN 0-13-370404-1

Curso de transformadores y motores trifásicos de inducción

Gilberto EnriquezHarper. 3a Edición  
Editorial: Noriega Limusa

### MANUALES

Manual de Instalaciones de Alumbrado

Jorge Chapa Carreón

Medidores

Serie Básica 101 (EATON/Cutler-Hammer)

Centro de Carga

Serie Básica 101 (EATON/Cutler-Hammer)

Instalaciones Eléctricas Residenciales

Jorge Hernán Mejía (año 2011)

Manual de Transformadores de Distribución

WestingHouse(año 2010)

Curso de Transformadores y Motores Trifásicos de Inducción

Gilberto Enríquez Harper(año 2000)

### SITIOS WEB

<http://www.conea.gob>

<http://www.aven.es>

## Anexo A

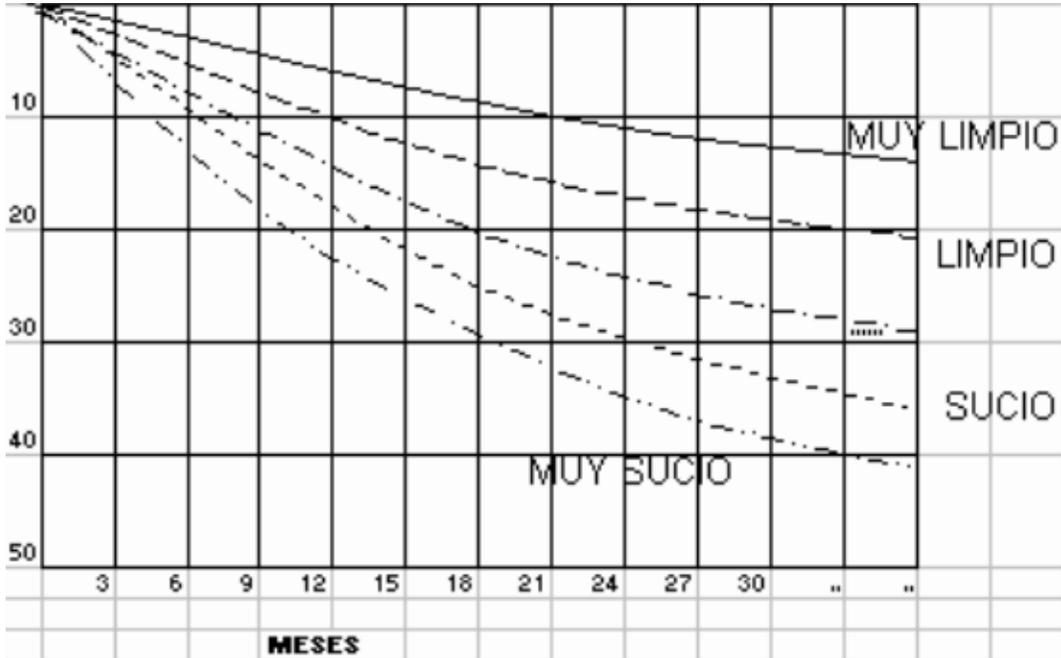
Tabla I

ALUMBRADO DE INTERIORES		
Clase de trabajo	Niveles de iluminación en lux	
	Bueno	Muy bueno
1. Oficinas		
Salas de dibujo	750	1500
Locales de oficina (mecanografía, escritura etc.)	400	800
Lugares trabajo discontinuo (archivo, pasillos, etc.)	75	150
2. Escuelas		
Aulas	250	500
Laboratorios	300	600
Salas de dibujo	400	800
Talleras	250	500
3. Industrias		
Gran precisión (reloj, grabado, etc.)	2500	5000
Precisión (ajuste, pulido, etc.)	1000	2000
Ordinaria (taladro, torneado, etc.)	400	800
Basto (forja, laminación, etc.)	150	380
Muy basto (almacenaje, embalaje, etc.)	80	150
4. Comercios		
Grandes espacios de venta	500	1000
Espacios normales de ventas	250	5000
Escaparates grandes	1000	2000
Escaparates pequeños	500	1000
5. Industria textil		
Desmenuzado, cardado, estirado	300	
Hilado, ovillado, devanado, peinado y teñido	500	
Hilado (fino), torcido y trenzado	750	
Cosido e inspección	1000	
6. Carpintería y fábrica de muebles		
Oficinas normales, mecanografía y salas de proceso de datos	500	
Oficinas generales extensas	750	
Salas de dibujo	750	
Salas de conferencias	500	
7. Edificios públicos		
Cines:		
Salas de proyección	50	
Vestíbulos	150	
Teatros y salas de concierto:		
Salón	100	
Vestíbulo	200	
Iglesias:		
Nave	100	
Coro	150	

ALUMBRADO DE EXTERIORES		
Espacio a alumbrar	Niveles de iluminación en lux	
	Bueno	Muy bueno
1. Alumbrado publico		
Autopista	20	40
Carreteras con tráfico denso	15	30
Carreteras con tráfico medio	10	20
Calles de barrio industrial	10	20
Calles comerciales con tráfico rodado	10	20
Calles comerciales sin tráfico rodado importante	7.5	15
Calles residenciales con tráfico rodado	7.5	15
Calles residenciales sin tráfico rodado importante	5	10
Grandes plazas	20	25
Plazas en general	8	12
Paseos	12	16
Túneles:		
▶ Durante el día	100	200
▶ Alumbrado de acceso	1000	2000
▶ Durante la noche	30	60
2. Alumbrado industrial exterior		
Zona de transporte	20	40
Lugar de almacén	20	40
Alumbrado de vigilancia	5	10
Entradas	50	100
3. Alumbrados por proyectores		
Campos de futbol	300	1000
Pista de tenis	100	300
Pista de patinaje	10	30

ALUMBRADO DEPORTIVO	
Espacio a alumbrar	Niveles de iluminación en lux
1) Balonvolea	
Competición	200
Entrenamiento	100
2) Boxeo	
Campeonatos	5000
Profesional	2000
Aficionados	1000
3) Frontón	
Club	200
Entrenamiento	100
4) Fútbol	
1ª División	1000
2ª División	500
3ª División	300
Torneo juvenil	200
Entrenamiento	100
5) Pistas de patinaje sobre hielo	
Pista de competencias	50
Estanque o lagos	10
6) Tenis. Una pista	
Campeonato	300
Club	200
Entrenamiento	100

Tabla II



MESES	*****																			
	DIRECTO				SEMI-DIRECTO				DIRECTO-INDIRECTO				SEMI-INDIRECTO				INDIRECTO			
% DE DEPRECIACION POR SUCIEDAD ESPERADA																				
RELACION DE CAVIDAD DEL CUARTO	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
1	0.98	0.96	0.94	0.92	0.97	0.92	0.89	0.84	0.94	0.87	0.8	0.73	0.94	0.87	0.8	0.73	0.9	0.8	0.7	0.6
2	0.98	0.96	0.94	0.92	0.96	0.92	0.88	0.83	0.94	0.87	0.8	0.72	0.94	0.87	0.79	0.72	0.9	0.8	0.69	0.59
3	0.98	0.95	0.93	0.9	0.96	0.91	0.87	0.82	0.94	0.86	0.79	0.71	0.94	0.86	0.78	0.71	0.9	0.79	0.68	0.58
4	0.97	0.95	0.92	0.9	0.95	0.9	0.85	0.8	0.94	0.86	0.79	0.7	0.94	0.86	0.78	0.7	0.89	0.78	0.67	0.56
5	0.97	0.94	0.91	0.89	0.94	0.9	0.84	0.79	0.93	0.86	0.78	0.69	0.93	0.86	0.77	0.69	0.89	0.78	0.66	0.55
6	0.97	0.94	0.91	0.88	0.94	0.89	0.83	0.78	0.93	0.85	0.78	0.68	0.93	0.85	0.76	0.68	0.89	0.77	0.66	0.54
7	0.97	0.94	0.9	0.87	0.93	0.88	0.82	0.77	0.93	0.84	0.77	0.68	0.93	0.84	0.76	0.68	0.89	0.76	0.65	0.53
8	0.96	0.93	0.89	0.86	0.93	0.87	0.81	0.75	0.93	0.84	0.76	0.68	0.93	0.84	0.76	0.68	0.88	0.76	0.64	0.52
9	0.96	0.92	0.88	0.85	0.93	0.87	0.8	0.74	0.93	0.84	0.76	0.67	0.93	0.84	0.75	0.67	0.88	0.75	0.63	0.51
10	0.96	0.92	0.87	0.83	0.93	0.86	0.79	0.72	0.93	0.84	0.75	0.67	0.92	0.83	0.75	0.67	0.88	0.75	0.62	0.5

Tabla III

Reflectancia bare (tochaupira) %		90								80								70								60								50									
Reflektansiya na pared X		90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0
0.2	0.2	89	88	88	86	85	84	82	79	78	78	77	76	74	72	70	69	68	67	66	65	64	60	59	59	58	56	55	53	50	50	49	48	47	46	44							
	0.4	88	87	86	84	81	79	76	74	72	70	68	66	64	62	60	59	58	57	56	55	54	52	50	49	48	47	45	44	42	41	40	38	36									
	0.6	87	86	84	80	77	74	73	72	70	68	65	63	61	59	57	54	53	52	51	50	48	46	45	44	43	41	40	38	36	34	32	30	28	26								
	0.8	87	85	82	77	73	69	67	78	75	73	69	65	61	57	68	66	64	60	56	53	50	59	57	56	54	48	46	43	50	48	47	44	40	38	36							
	1	86	83	80	75	69	64	62	77	74	72	67	62	57	55	68	65	62	58	53	50	47	59	57	55	51	45	43	41	50	48	46	43	38	36	34							
	1.5	85	80	76	68	61	55	51	75	72	68	61	54	49	46	67	62	59	54	46	42	40	59	55	52	46	42	37	34	50	47	45	40	34	31	26							
	2	83	77	72	62	53	47	43	74	69	64	56	48	41	38	66	60	56	49	40	36	33	58	54	50	43	35	31	29	50	46	43	37	30	26	24							
	2.5	82	75	68	57	47	40	36	73	67	61	51	42	35	32	60	54	45	36	31	29	58	53	47	39	30	25	23	50	46	41	35	27	22	21								
	3	80	72	64	52	42	34	30	72	65	58	47	37	30	27	64	58	52	42	32	27	24	57	52	46	37	28	23	20	50	45	40	32	24	19	17							
	3.5	79	70	61	48	37	31	26	71	63	55	43	33	26	24	63	57	50	38	29	23	21	57	50	44	35	25	20	17	50	44	39	30	22	17	15							
4	77	69	58	44	33	25	22	70	61	53	40	30	22	20	63	55	48	26	29	20	17	57	49	42	32	23	18	14	50	44	38	28	20	15	12								
5	75	59	53	38	28	20	16	68	58	48	35	25	18	14	61	52	44	31	22	16	12	56	48	40	28	20	14	11	50	42	35	25	17	12	9								
6	73	61	49	34	24	16	11	66	55	44	31	22	15	10	60	51	41	28	19	13	9	55	45	37	25	17	11	7	50	42	34	23	15	10	6								
8	68	55	42	27	18	12	6	62	50	38	25	17	11	5	57	46	35	23	25	10	5	53	42	33	22	14	8	4	49	40	30	19	12	7	3								
10.6	65	51	36	22	15	9	4	59	46	33	21	14	8	3	55	43	31	19	12	8	3	51	39	29	18	11	7	2	47	37	27	17	10	6	2								
Reflectancia bare de (tochaupira) %		40								30								20								10								0									
Reflektansiya na pared X		90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0
0.2	0.2	40	40	39	39	38	36	36	31	31	30	29	29	28	27	21	20	20	20	19	19	11	11	11	10	10	9	9	2	2	2	1	1	0	0								
	0.4	41	40	39	38	36	34	34	31	31	30	29	28	26	25	22	21	20	20	19	18	12	11	11	11	10	9	8	4	3	3	2	1	0	0								
	0.6	41	40	39	37	34	31	31	32	31	30	28	26	25	23	23	21	21	19	18	17	13	13	12	11	10	8	8	5	5	4	3	2	1	0								
	0.8	41	40	38	36	33	29	29	32	31	30	28	25	23	22	24	22	21	19	18	16	15	14	13	11	10	8	7	7	6	5	4	2	1	0								
	1	42	39	38	34	32	27	27	33	32	30	27	24	22	20	25	23	22	19	17	15	16	14	13	12	10	8	7	8	7	6	4	2	1	0								
	1.5	42	39	37	32	24	22	22	34	33	30	25	22	18	17	26	24	22	18	16	13	18	16	15	12	10	7	6	11	10	8	6	3	1	0								
	2	42	39	36	31	21	19	19	35	33	29	24	20	16	14	28	25	23	18	15	11	20	18	16	13	9	6	5	14	12	10	7	4	1	0								
	2.5	43	39	35	29	18	12	12	36	32	29	24	18	14	12	29	26	23	18	14	10	22	20	17	13	9	5	4	16	14	12	8	5	2	0								
	3	43	39	35	27	16	13	13	37	33	29	22	17	12	10	30	27	23	17	13	9	24	21	18	13	9	5	3	18	16	13	9	5	2	0								
	3.5	44	39	34	26	14	12	12	38	33	29	21	15	10	9	32	27	23	17	12	8	26	22	19	13	9	5	3	20	17	15	10	5	2	0								
4	44	38	33	25	12	10	10	38	33	28	21	14	9	7	33	28	23	17	11	7	27	23	20	14	9	4	2	22	18	15	10	5	2	0									
5	45	38	31	22	10	7	7	39	33	28	19	13	8	5	35	29	24	16	10	6	30	25	20	14	8	4	2	25	21	17	11	6	2	0									
6	44	37	30	20	8	5	5	39	33	27	18	11	6	4	36	30	24	16	10	5	31	26	21	14	8	3	1	27	23	18	12	6	2	0									
8	44	35	28	18	8	3	3	40	33	26	16	9	4	2	37	30	32	15	8	3	33	27	21	13	7	3	1	30	25	20	12	6	2	0									
10.6	43	34	25	15	5	2	2	40	32	24	14	8	3	1	37	29	22	13	7	3	34	28	21	12	7	2	1	31	25	20	12	6	2	0									

Tabla VI

TIPO DE LUMINARIA	REFLECTANCIAS EFECTIVAS												
	TECHO	80			70			50			30		
	PARED	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
	RCL	COEFICIENTES DE UTILIZACION											
REFLECTOR DE ALUMINIO DIFUSO CON PANTALLA	1	0,85	0,82	0,80	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,72	0,69	0,68	0,66
	2	0,76	0,72	0,68	0,74	0,70	0,66	0,68	0,65	0,62	0,63	0,61	0,58
	3	0,69	0,63	0,59	0,66	0,61	0,57	0,62	0,58	0,54	0,57	0,54	0,51
	4	0,62	0,56	0,51	0,60	0,56	0,50	0,56	0,51	0,47	0,52	0,48	0,45
	5	0,55	0,49	0,44	0,53	0,48	0,43	0,50	0,45	0,41	0,47	0,43	0,39
	6	0,50	0,43	0,39	0,48	0,42	0,38	0,45	0,40	0,36	0,42	0,38	0,35
	7	0,45	0,38	0,34	0,43	0,37	0,33	0,41	0,36	0,32	0,38	0,34	0,30
	8	0,40	0,34	0,29	0,39	0,33	0,29	0,37	0,31	0,28	0,34	0,30	0,26
	9	0,36	0,30	0,25	0,35	0,29	0,25	0,33	0,28	0,24	0,31	0,26	0,23
	10	0,33	0,26	0,22	0,32	0,26	0,22	0,30	0,25	0,21	0,28	0,23	0,20

Tabla VI  
Sección de conductores TW y TWH en mm<sup>2</sup>

Calibre AWG Ó MCM	Sección Del Cobre		Diámetro Del Conductor Mm	Suma de las secciones para Cada cantidad de conductores				
	MCM	mm <sup>2</sup>		1	2	3	4	5
14	1.107	2.08	3.43	9.2	18.5	27.7	37.0	46.2
12	6.530	3.31	3.91	12.0	24.0	36.0	48.0	60.0
10	10.38	5.26	4.52	16.1	32.1	48.1	64.2	80.2
8	16.51	8.37	6.10	29.2	58.5	87.7	116.9	146.1
6	26.50	13.30	7.82	48.0	96.1	144.1	192.1	240.1
4	41.74	21.15	9.04	64.2	128.4	192.6	256.7	321.9
2	66.37	33.63	10.57	87.8	175.5	263.3	351.0	438.7
1/0	105.5	53.48	13.44	142	284	425.6	567.5	709.3
2/0	133.1	67.43	14.61	168	335	502.9	670.6	838.2
3/0	167.8	85.05	15.90	199	397	595.7	794.2	992.8
4/0	211.6	107.2	17.37	237	474	710.9	947.9	1185
250	250	126.7	19.38	295	590	885	1180	1475
300	300	152.2	20.78	339	678	1017	1357	1696
350	350	177.6	22.07	383	765	1148	1530	1913
400	400	202.6	23.27	425	851	1276	1701	2127
500	500	253.1	25.43	508	1016	1524	2032	2540
600	600	303.7	28.22	626	1251	1876	2502	3127
750	750	379.3	30.89	749	1499	2248	2998	3747
1000	1000	506.7	34.80	952	1902	2853	3805	4756

**Tabla VII**  
**Tabla de las propiedades de los conductores**

Calibre AWG/ MCM	Área Cir. Milim.	Conductores				DC resistencia a 75°C(167°F)		
		Strading		Overall		Cobre		Aluminio
		Quantity	Diám. en In	Diám. en In	Área en In <sup>2</sup>	Uncoated ohm/MFT	Uncoated ohm/MFT	Ohm/ MFT
18	1620	1	-	0.040	0.001	7.77	8.08	12.8
18	1620	7	0.015	0.046	0.002	7.95	8.45	13.1
16	2580	1	-	0.051	0.002	4.89	5.08	8.05
16	2580	7	0.019	0.058	0.003	4.99	5.29	8.21
14	4110	1	-	0.064	0.003	3.07	3.19	5.06
14	4110	7	0.024	0.073	0.004	3.14	3.26	5.17
12	6530	1	-	0.081	0.005	1.93	2.01	3.18
12	6530	7	0.030	0.092	0.006	1.98	2.05	3.25
10	10380	1	-	0.102	0.008	1.21	1.26	2.00
10	10380	7	0.038	0.116	0.011	1.24	1.29	2.04
8	16510	1	-	0.128	0.013	0.764	0.786	1.26
8	16510	7	0.049	0.146	0.017	0.778	0.809	1.28
6	26240	7	0.061	0.184	0.027	0.491	0.510	0.808
4	41740	7	0.077	0.232	0.042	0.308	0.321	0.508
3	52620	7	0.087	0.260	0.053	0.245	0.254	0.403
2	66360	7	0.097	0.292	0.067	0.194	0.201	0.319
1	83690	19	0.066	0.332	0.087	0.154	0.160	0.253
1/0	105600	19	0.074	0.373	0.109	0.122	0.127	0.201
2/0	133100	19	0.084	0.419	0.138	0.0967	0.101	0.159
3/0	167800	19	0.094	0.470	0.173	0.0766	0.0797	0.126
4/0	211600	19	0.106	0.528	0.219	0.0608	0.0626	0.100
250	-	37	0.082	0.575	0.260	0.0515	0.0535	0.0847
300	-	37	0.090	0.630	0.312	0.0429	0.0446	0.0707
350	-	37	0.097	0.681	0.364	0.0367	0.382	0.0605
400	-	37	0.104	0.728	0.416	0.0321	0.0331	0.0529
500	-	37	0.116	0.831	0.519	0.0258	0.0265	0.0424
600	-	61	0.992	0.893	0.626	0.0214	0.0223	0.0353
700	-	61	0.107	0.964	0.730	0.0184	0.0189	0.0303
750	-	61	0.111	0.998	0.782	0.0171	0.0176	0.0282
800	-	61	0.114	1.030	0.834	0.0161	0.0166	0.0265
900	-	61	0.122	1.090	0.940	0.0143	0.0147	0.0235
1000	-	61	0.128	1.150	1.040	0.0129	0.0132	0.0212
1250	-	91	0.117	1.290	1.300	0.0103	0.0106	0.0169
1500	-	91	0.128	1.410	1.570	0.00858	0.00883	0.0141
1750	-	127	0.117	1.520	1.830	0.00735	0.00756	0.0121
2000	-	127	0.126	1.630	2.090	0.00643	0.00662	0.0106

Anexo B  
TABLA I-B Ganacia de calor solar a través de cristales

40º 40º

40º Latitud Norte		BTU por horas por pie cuadrdo												40º Latitud Norte		
Tiempo Solar→		6:00 AM	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6:00 PM	←Tiempo Solar	
Tiempo Local→															←Tiempo Local	
Epoca del Año	Facahada del Edificio														Facahada del Edificio	Epoca del Año
JUN.21	Norte	32	20	12	13	14	14	14	14	14	13	12	20	32	Sur	DIC.22
	Noreste	118	133	112	73	30	14	14	14	14	13	12	10	6	Sureste	
	Este	126	161	162	142	95	44	14	14	14	13	12	10	6	Este	
	Sureste	51	88	109	111	99	71	34	14	14	13	12	10	6	Noreste	
	sur	6	10	12	19	35	44	54	44	35	19	12	10	6	Norte	
	Suroeste	6	10	12	13	14	14	34	71	99	111	109	88	51	Noroeste	
	Oeste	6	10	12	13	14	14	14	44	95	142	162	161	126	Oeste	
	Noroeste	6	10	12	13	14	14	14	14	0	73	112	133	118	Suoeste	
JUL.23 MAY.21	Tragaluz	31	82	134	179	210	232	237	232	210	179	134	82	31	Tragaluz	NOV.21 ENE.21
	Norte	24	14	12	13	14	14	14	14	14	13	12	14	24	Sur	
	Noreste	106	127	105	66	26	14	14	14	14	13	12	10	5	Sureste	
	Este	118	161	164	144	98	43	14	14	14	13	12	10	5	Este	
	Sureste	54	96	119	125	110	82	42	15	14	13	12	10	5	Noreste	
	sur	5	10	13	26	44	63	69	63	44	26	13	10	5	Norte	
	Suroeste	5	10	12	13	14	15	42	82	110	125	119	96	54	Noroeste	
	Oeste	5	10	12	13	14	14	14	43	98	144	164	161	118	Oeste	
AGO.24 ABR.20	Noroeste	5	10	12	13	14	14	14	13	26	66	105	127	106	Suoeste	OCT.23 FEB.20
	Tragaluz	24	73	126	171	203	225	233	225	203	171	126	73	24	Tragaluz	
	Norte	7	8	11	13	14	14	14	14	14	13	11	8	7	Sur	
	Noreste	68	102	82	46	16	14	14	14	14	13	11	8	3	Sureste	
	Este	84	147	162	145	101	45	14	14	14	13	11	8	3	Este	
	Sureste	48	105	138	146	139	107	66	25	14	13	11	8	3	Noreste	
	sur	3	8	24	51	89	97	102	97	89	51	24	8	3	Norte	
	Suroeste	3	8	11	13	14	25	66	107	139	146	138	105	48	Noroeste	
SEP.22 MAR.22	Oeste	3	8	11	13	14	14	14	45	101	145	162	147	84	Oeste	SEP.22 MAR.22
	Noroeste	3	8	11	13	14	14	14	16	46	82	102	68	Suoeste		
	Tragaluz	9	47	100	150	185	205	214	205	185	150	100	47	9	Tragaluz	
	Norte	0	5	9	12	13	13	14	13	13	12	9	5	0	Sur	
	Noreste	0	51	58	26	13	13	14	13	13	12	9	5	0	Sureste	
	Este	0	116	149	139	99	45	14	13	13	12	9	5	0	Este	
	Sureste	0	95	144	162	17	133	90	41	14	12	9	5	0	Noreste	
	sur	0	12	44	81	110	122	140	122	110	81	44	12	0	Norte	
OCT.23 FEB.20	Suroeste	0	5	9	12	14	41	90	133	157	162	144	95	0	Noroeste	AGO.24 ABR.20
	Oeste	0	5	9	12	13	13	14	45	99	139	149	116	0	Oeste	
	Noroeste	0	5	9	12	13	13	14	13	13	26	58	51	0	Suoeste	
	Tragaluz	0	21	67	124	153	176	183	176	153	124	67	21	0	Tragaluz	
	Norte	0	2	6	10	11	12	12	12	11	10	6	2	0	Sur	
	Noreste	0	35	33	12	11	12	12	12	11	10	6	2	0	Sureste	
	Este	0	85	117	122	88	39	12	12	11	10	6	2	0	Este	
	Sureste	0	81	132	161	163	144	107	63	20	10	6	2	0	Noreste	
NOV.21 ENE.21	sur	0	21	59	104	137	154	162	154	137	104	59	21	0	Norte	JUL.23 MAY.21
	Suroeste	0	2	6	10	20	63	107	144	163	161	132	81	0	Noroeste	
	Oeste	0	2	6	10	11	12	12	39	88	122	117	85	0	Oeste	
	Noroeste	0	2	6	10	11	12	12	12	11	12	33	35	0	Suoeste	
	Tragaluz	0	8	29	64	101	123	129	123	101	64	29	8	0	Tragaluz	
	Norte	0	0	3	7	9	10	11	10	9	7	3	0	0	Sur	
	Noreste	0	0	12	7	9	10	11	10	9	7	3	0	0	Sureste	
	Este	0	0	91	100	74	33	11	10	9	7	3	0	0	Este	
DIC.22	Sureste	0	0	109	144	156	144	116	70	27	7	3	0	0	Noreste	JUN.21
	sur	0	0	59	104	139	158	166	158	139	104	59	0	0	Norte	
	Suroeste	0	0	3	7	27	70	116	144	156	144	109	0	0	Noroeste	
	Oeste	0	0	3	7	9	10	11	33	74	100	91	0	0	Oeste	
	Noroeste	0	0	3	7	9	10	11	10	9	7	12	0	0	Suoeste	
	Tragaluz	0	0	16	43	73	92	103	92	73	43	16	0	0	Tragaluz	
	Norte	0	0	2	6	9	10	10	10	9	6	2	0	0	Sur	
	Noreste	0	0	7	6	9	10	10	10	9	6	2	0	0	Sureste	
DIC.22	Este	0	0	72	86	68	31	10	10	9	6	2	0	0	Este	JUN.21
	Sureste	0	0	88	134	148	142	115	73	30	7	2	0	0	Noreste	
	sur	0	0	51	99	134	158	165	158	134	99	51	0	0	Norte	
	Suroeste	0	0	2	7	30	73	115	142	148	134	88	0	0	Noroeste	
	Oeste	0	0	2	6	9	10	10	31	68	86	72	0	0	Oeste	
	Noroeste	0	0	2	6	9	10	10	10	9	6	7	0	0	Suoeste	
	Tragaluz	0	0	8	32	55	76	85	76	55	32	8	0	0	Tragaluz	

**TABLA II-B Factores de corrección para diferentes tipos de dispositivos protectores contra la luz solar**

Clase de vidrio	Factor para cristales sin sombra f1	Persianas abiertas a 45°				
		Persiana abierta a 45° (interior)f2			Persianas abiertas a 45° (exterior)f2	
		Color claro	Color medio	Color oscuro	Color claro	Color afuera, adentro oscuro
Vidrio común	1,00	0,56	0,65	0,75	0,15	0,13
Placa regular de vidrio (1/4 de pulgada)	0,94	0,56	0,65	0,74	0,14	0,12
Vidrio que absorbe calor:						
40% a 48% de absorción	0,80	0,56	0,62	0,72	0,16	0,11
48% a 56% de absorción	0,73	0,53	0,59	0,63	0,11	0,10
56% a 70% de absorción	0,62	0,51	0,54	0,56	0,1	0,1
Vidrio doble:						
Vidrio común	0,90	0,51	0,61	0,67	0,14	0,12
Placa regular de vidrio	0,80	0,53	0,59	0,65	0,10	0,11
Vidrio común adentro, 48 a 56% absorción exterior	0,52	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10
Placa regular interior	0,50	0,39	0,39	0,43		0,10
Vidrio triple:						
Vidrio común	0,83	0,48	0,56	0,64	0,12	0,11
Placa regular	0,69	0,47	0,52	0,57	0,10	0,10
Vidrio pintado:						
Color claro	0,28					
Color medio	0,39					
Color oscuro	0,50					
Vidrio Polarizado:						
Color ámbar	0,70					
Rojo oscuro	0,56					
azul oscuro	0,60					
Verde oscuro	0,32					
Verde grisáceo	0,46					
Opalescente claro	0,43					
Opalescente oscuro	0,37					

**TABLA III-B Absorción, reflexibilidad y transmisibilidad de algunos tipos de cristales**

Tipo de cristales	Absorcencia	Reflexibilidad	Transmisibilidad
Vidrio ordinarios	0,06	0,06	0,86
Placa regular 1/4	0,15	0,08	0,77
Vidrio que absorbe calor		0,05	(1,-0,5)
Color claro	0,37	0,51	0,12
Persiana veneciana color medio	0,58	0,39	0,03
Persiana veneciana color oscuro	0,72	0,27	0,01

**TABLA IV-B Temperatura diferencial total equivalente, para calcular la ganancia de calor através de paredes**

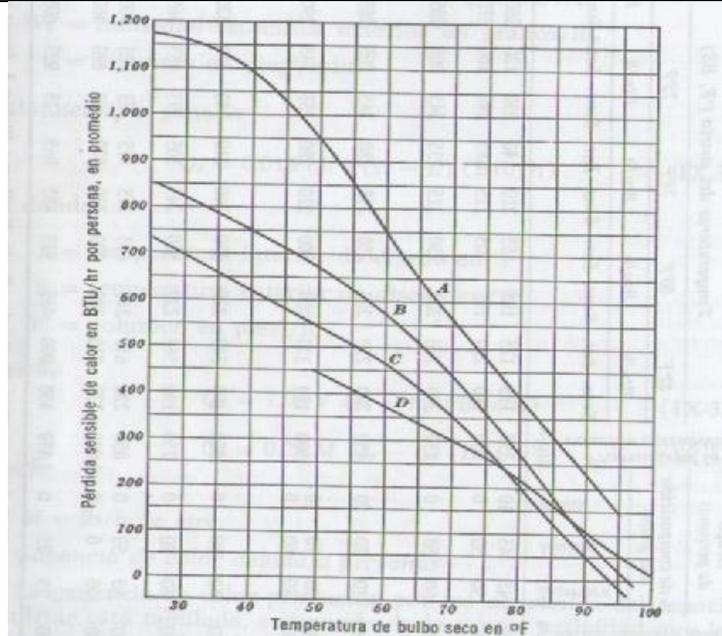
Latitud norte	TIEMPO SOLAR																Latitud norte		
	AM						PM												
	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6							
Pared hacia el:	Color exterior de la pared (O=oscuro, C=claro)																Pared hacia el:		
	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C			
Concreto ó piedra de 8 plg ó bien bloque de concreto 6 u 8 plg																			
NE	4	2	4	0	16	8	14	8	10	6	12	8	12	10	8	8	6	SE	
E	6	4	14	8	24	12	24	12	18	10	14	10	14	10	12	10	10	8	E
SE	6	2	6	4	16	10	18	12	18	12	14	12	12	10	12	10	10	3	NE
S	2	1	2	1	4	1	12	6	16	12	18	12	14	12	10	8	8	6	N
SO	6	2	4	2	6	2	8	4	14	10	22	16	24	16	22	16	10	8	NO
O	6	4	6	4	6	4	8	6	12	8	20	14	28	14	26	18	14	10	O
NO	4	2	4	0	4	2	4	4	6	6	12	10	20	18	22	16	8	6	SO
N(Sombra)	0	0	0	0	0	0	2	4	4	6	6	8	8	6	6	4	4	4	S(Sombra)
Concreto ó piedra de 12plg																			
NE	6	4	6	2	6	2	14	8	14	8	10	8	10	8	12	10	10	8	SE
E	10	6	8	6	10	6	18	10	18	12	16	10	12	10	14	10	14	10	E
SE	8	4	8	4	6	4	14	8	16	10	16	10	14	10	12	10	12	10	NE
S	6	4	4	2	4	2	4	2	10	6	14	10	16	12	14	10	10	8	N
SO	8	4	8	4	6	4	6	4	8	6	10	8	18	14	20	14	18	12	NO
O	10	6	8	6	8	6	10	6	10	6	12	8	16	10	24	14	22	14	O
NO	6	4	6	2	6	2	6	4	6	4	8	6	10	8	18	12	20	14	SO
N(Sombra)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	6	6	S(Sombra)

**TABLA VI-B** Temperatura diferencial total equivalente para calcular la ganancia de calor a través de techos

Descripción de los materiales del techo	Tiempo solar								
	A. M.			P. M.					
	8	10	12	2	4	6	8	10	12
<b>Techos expuestos al sol. Construcción ligera</b>									
Madera de 1 plg	12	38	54	62	50	26	10	4	0
Madera de 1 plg y aislamiento de 2 plg									
<b>Techos expuestos al sol. Construcción media</b>									
Concreto de 2 plg									
Concreto de 2 plg y aislamiento de 2 plg	6	30	48	58	50	32	14	6	2
Madera de 2 plg									
Concreto de 4 plg	0	20	38	50	52	40	22	12	6
Concreto de 4 plg y aislamiento de 2 plg									
<b>Techos expuestos al sol. Construcción pesada</b>									
Concreto de 6 plg	4	6	24	38	46	44	32	18	12
Concreto de 6 plg y aislamiento de 2 plg	6	6	20	34	42	44	34	20	14
<b>Techos en la sombra</b>									
Construcción ligera	-4	0	6	12	14	12	8	2	0
Construcción media	-4	-2	2	8	12	12	10	6	2
Construcción pesada	-2	-2	0	4	8	10	10	8	4

**TABLA V-B Ganancia de calor debido al equipo misceláneo**

Dispositivo	Calor disipado durante el funcionamiento (Btu/h)	
	Calor sensible	Calor latente
Luz eléctrica y aparatos eléctricos, por Kw instalados	3413	
Motores con la carga aplicada con el mismo cuarto, por HP*		
De 1/8 a 1/2 HP	4250	
De 1/2 a 3 HP	3700	
De 3 a 20 HP	2950	
Cafetera eléctrica (3 GAL)	2200	1500
Cafetera eléctrica (5 GAL)	3400	2300
Estufa de gas	3100	1700
Calentador de agua	3150	3850
Horno doméstico de gas	8100	4000
Cafetera de gas ( 3GAL)	2500	2500
Cafetera de gas ( 5GAL)	3900	3900
Equipo calentador por vapor por pie cuadrado superficies calentadas por vapor:		
Pulida	130	
Sin pulir	330	
Superficie aislada	80	
Secadores de pelo para sala de belleza:		
Tipo soplador	2300	400
Tipo casco	1870	330
Restaurante por comida servida	30(Btu)	



**Figura I-B** Pérdida de calor sensible de un ser humano a varias temperaturas de bulbo seco en aire quieto.

**TABLA VII-B** Calor producido por las personas

Grado de actividad	Aplicación típica	Relación metabólica de un hombre adulto Btu/h	Grupo de personas			Promedio de la relación metabólica Btu/h	Temperaturas del cuarto (°F, BS)									
			% de composición del grupo				82°F	80°F	78°F	75°F	70°F					
			Hombre	Mujer	Niño		Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h	Btu/h					
			Sens. Lat.					Sens. Lat.								
Sentado	Teatro	390	45	45	10	350	175	175	195	155	210	140	230	120	260	90
Sentado; trabajo ligero	Escuela	450	50	50	0	400	180	220	195	205	215	185	240	160	275	125
Trabajo de oficina, actividad moderada	Oficinas, hoteles, departamentos	475	50	50	0	450	200	270	200	250	215	235	245	205	285	165
Parados; caminando despacio	Tienda de ropa, almacenes	550	10	70	20	450	200	270	200	250	215	280	245	205	285	165
Caminando; sentado, de pie; caminando despacio	Cafeterías, Bancos	550	20	70	10	500	180	320	200	300	220	280	255	245	290	210
		550	40	60	0											
Trabajo sedentario	Restaurantes	500	50	50	0	550	190	360	220	330	240	310	280	270	320	230
Trabajo ligero	Fábrica, trabajo ligero	800	60	40	0	750	190	560	220	530	245	505	295	455	365	285
Baile moderado	Salas de baile	900	50	50	0	850	220	630	245	605	275	575	325	525	400	450
Caminando, 3 mph	Fábricas, trabajo algo pesado	1,000	100	0	0	1,000	270	730	300	700	330	670	380	620	460	540
Jugando	Boliche	1,500	75	25	0	1,450	450	1,000	465	985	485	965	525	925	605	845

De *Modern Air Conditioning, Heating, and Ventilating*, 3ª edición, por Willis H. Carrier, Realto E. Cherne, Walter A. Grant y William H. Roberts, con autorización de Pitman Publishing Corporation.

Tabla IX-B infiltración en verano, debido a la apertura de puertas para locales comerciales

Aplicaciones	Infiltraciones por personas en un cuarto (pies <sup>3</sup> /min)		Promedio de permanencia (min)
	Puerta giratoria (72'')	Puerta oscilatoria (36'')	
Banco	7.5	10	20
Peluquería	3.5	4.5	45
Oficina de cajero	5	6.5	30
Fuente de sodas	5	6.5	30
Tabaquería	15	20	10
Tienda de ropa	5	6.5	30
Tienda de vestidos	2	2.5	75
Farmacia	10	13	15
Peletería	2	2	30
Comedor	5	6.5	30
Tienda de ropa para hombre	3.5	4.5	45
Despacho	2.5	3	60
Restaurante	2	2.5	75
Zapatería	3.5	4.5	45

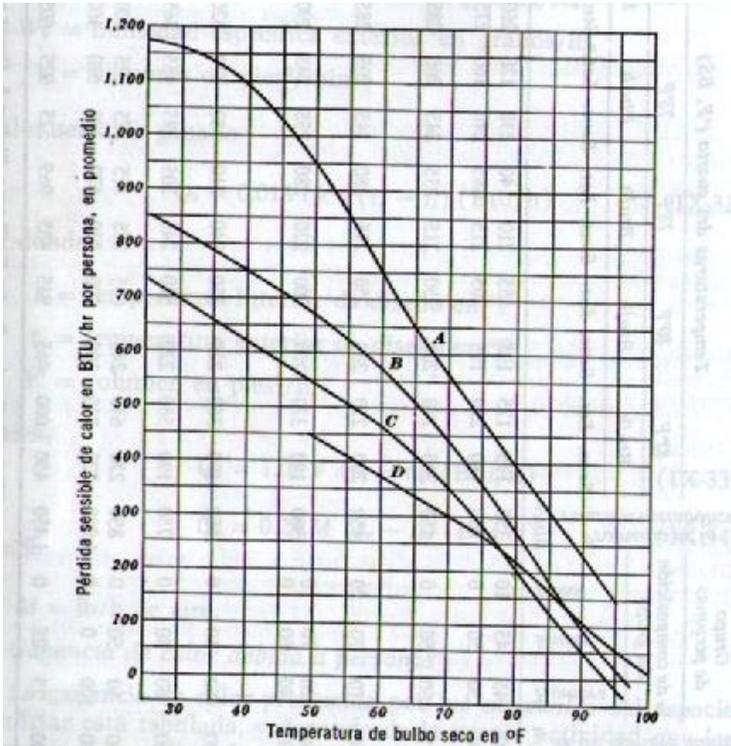


Figura I-B Pérdida de calor sensible de un ser humano a varias temperaturas de bulbo seco en aire quieto.

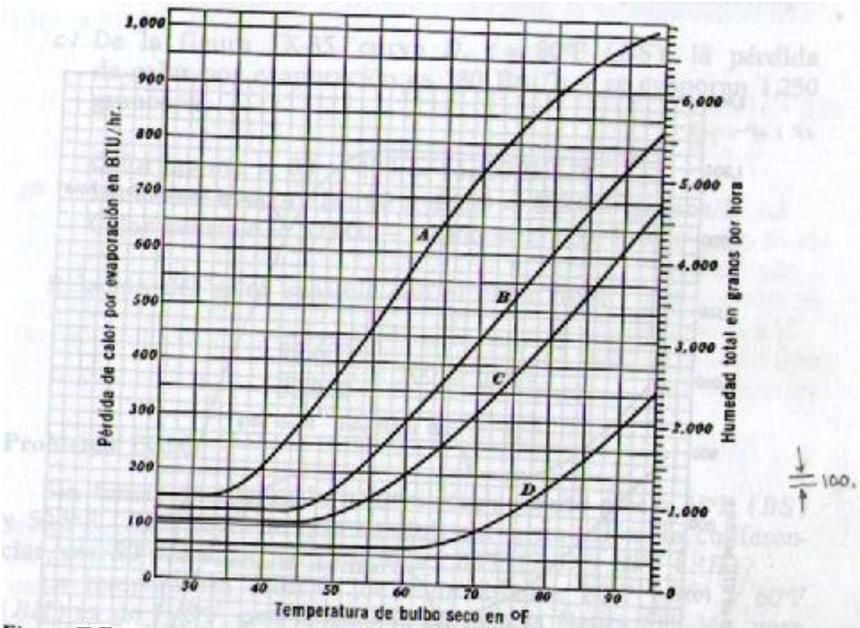
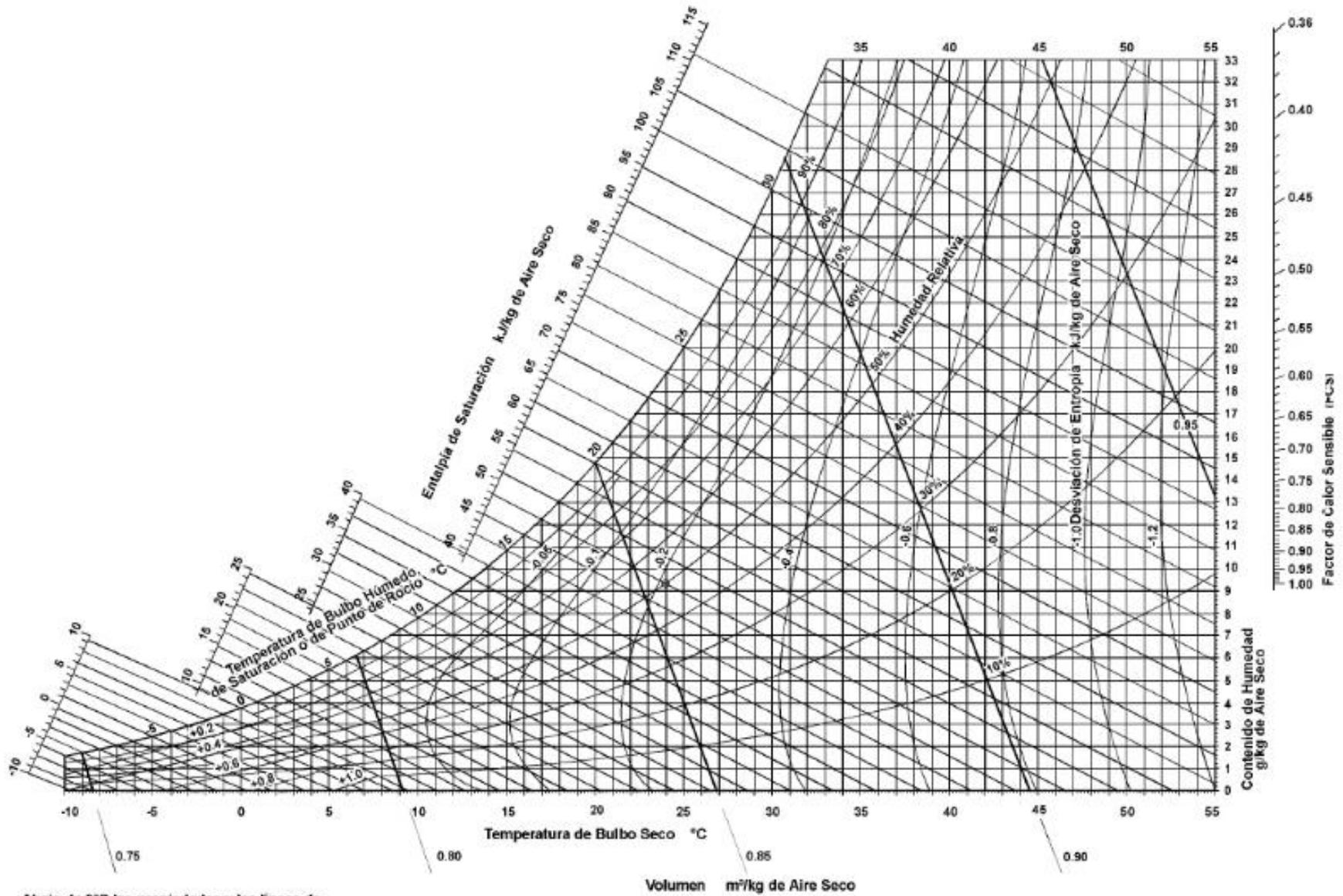


Figura II-B Pérdida de calor latente del ser humano por evaporación y humedad evaporada a varias temperaturas de bulbo seco en aire quieto.



Abajo de  $0^{\circ}\text{C}$  las propiedades y las líneas de desviación de la entalpia son para el hielo