



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

## GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN CENTROS COMERCIALES

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO  
(MÓDULO DE ENERGÍA ELÉCTRICA)

PRESENTA:

JOSÉ ANTONIO URVICIO RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. CARLOS MARTÍNEZ CALDERÓN



MÉXICO, D.F.

2005

## *Agradecimientos*

*Esta es la parte de la tesis en donde la dicción, la ortografía no importan ya que en estas hojas quiero expresar lo que realmente siento al haber conseguido uno de los logros más importantes de mi vida, y el cual es el poder llegar a ser un ingeniero, un sueño que empezó hace muchos años y el cual por fin se consigue. Tengo que agradecer en primera instancia a Dios y a la misma vida por darme salud, fuerza y una familia maravillosa, que fueron las bases para lograr el objetivo “ser ingeniero”.*

*A las primeras personas que tengo que agradecer el haberme formado como una persona íntegra, es a mis padres Antonio Urvicio Córdova y Lucina Ramírez Ramírez ya que sin todo el apoyo y cariño con el que me han sabido educar nunca hubiera logrado el poder realizarme como estudiante, ni el poder haber llegado a ser un ingeniero, y es que ellos han sido siempre mi punto de soporte y de ayuda en los momentos más duros dentro de mi vida por lo cual les viviré eternamente agradecido. Junto con mis padres se encuentran mis hermanos Rosa Teresa “tere”, José Guadalupe “el güero”, y José Alberto “el beto” con los cuales he pasado momentos muy divertidos y momentos difíciles los cuales nos han unido como hermanos y que ellos me han sabido aceptar con todos mis defectos algo que no cualquier persona hace. Me gustaría mencionar de una manera especial a mi hermana ya que ella contribuyo de una manera muy importante en la realización de esta tesis asesorándome y ayudándome con las imágenes, dicción por lo cual le estoy muy agradecido.*

*Mi familia ha sido pieza clave en mi formación pero también me gustaría agradecer y mencionar a las familias Nogales Ramírez, Ramírez Nogales, Ramírez Salinas, García Ramírez, Ramírez Mancilla, Urvicio Torres y Urvicio Máximo, ya sus integrantes son personas a las cuales quiero mucho, tanto tíos como primos y que se que en cualquier momento puedo contar con ellos sin ninguna condición, algo muy valioso. En especial me gustaría mencionar a mi tía Elia la cual ha sido mi otra mamá y que se que siempre estará a mi lado, en los momentos más complicados.*

*Existen dos personas que aunque ya no se encuentran entre nosotros fueron y continúan siendo parte muy importante de mi vida, mis abuelos Rosa Ramírez García y Gregorio Urvicio González, que aunque no están presentes se que se encuentran satisfechos y contentos por lo que he logrado.*

*A la par de mis padres, mi familia y hermanos, me gustaría agradecer a todos mis amigos los buenos momentos que hemos pasados juntos tanto dentro de la Universidad como fuera de ella y que nos han hecho consolidar nuestra amistad más haya de una simple relación de compañeros de estudios. Sí empiezo a mencionar los nombres de cada uno de ellos tal vez se me olvide alguno y lo que yo quiero es que todos compartan este logro del cual también fueron parte, tanto con sus consejos, ayudas, y que estoy seguro saben a quienes me refiero.*

*Quiero agradecer a los equipos de fútbol “ Machos Neza”, “Patriotas”, y “Guns” por haberme permitido jugar con ellos y poder conocer a compañeros que no solo fueron compañeros de juego sino que se convirtieron en verdaderos amigos.*

*Me gustaría agradecer de una manera especial a todos los profesores que me forjaron tanto con sus conocimientos como con su experiencia a realizarme como profesionista, también un gran gratitud al ingeniero Carlos Martínez Calderón por haberme asesorado y ayudado a que esta tesis fuera por buen camino y sobre todo transmitirme su experiencia.*

*Por último tengo que agradecer tanto a la “Facultad de Ingeniería” como a la “Universidad Nacional Autónoma de México” el haberme permitido ser parte de estas dos grandes instituciones, además de darme una de las cosas más valiosas que se le pueden heredar a un ser humano, el conocimiento para enfrentarse a la vida es por ello que les viviré eternamente agradecido.*

*Quisiera terminar escribiendo una frase que refleja lo que fue esta tesis.*

*“Donde termina la ciencia empieza la creatividad”*

*José Antonio Urvicio Ramírez*

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
-------------------	---

### CAPITULO 1. ESTUDIOS Y ANÁLISIS PRELIMINARES

1.1 Estudios Preliminares.....	10
1.1.1 Revisión de los Planos Arquitectónicos.....	11
1.1.2 Tiendas Ancla.....	12
1.1.2.1 Distribución de las Tiendas Ancla.....	12
1.1.3 Elementos de Diseño Eléctrico.....	13
1.1.3.1 Capacidad y Ubicación de la Subestación.....	13
1.1.3.2 Consideraciones Eléctricas de Diseño.....	14
1.1.3.3 Consideraciones Ambientales.....	15
1.2 Dispositivos de la Instalación Eléctrica en Centros Comerciales.....	15
1.2.1 Acometida.....	15
1.2.2 Equipo de Medición.....	16
1.2.2.1 Medidores.....	16
1.2.2.2 Ubicación de los Medidores.....	17
1.2.3 Interruptores.....	18
1.2.3.1 Interruptor General.....	18
1.2.3.2 Interruptor Derivado.....	18
1.2.3.3 Interruptor Termomagnético.....	18
1.2.4 Tableros.....	18
1.2.4.1 Tablero General.....	18
1.2.4.2 Tablero del Centro de Control de Motores.....	19
1.2.4.3 Tableros de Distribución.....	19
1.2.5 Sistema de Emergencia.....	19
1.2.6 Equipo de Transferencia.....	19
1.2.7 Sistema de Tierras y de Protección.....	20
1.2.7.1 Sistema de Protección.....	20
1.2.8 Salidas para Alumbrado y Contactos.....	20
1.2.9 Transformador.....	21
1.3 Análisis de las Cargas.....	21
1.3.1 Alumbrado Interior.....	21
1.3.1.1 Sistemas de Iluminación.....	21
1.3.1.2 Métodos de Alumbrado.....	23
1.3.2 Alumbrado Exterior.....	24
1.3.3 Escaleras Eléctricas.....	24
1.3.4 Elevadores.....	24
1.3.4.1 Métodos de Operación.....	24
1.3.5 Acondicionamiento de Aire.....	25
1.3.5.1 Sistemas de Acondicionamiento de Aire.....	25
1.3.5.2 Componentes de los Sistemas de Aire Acondicionado.....	26
1.3.5.3 Sistema de Enfriamiento.....	26
1.3.5.4 Sistema de Calefacción.....	27
1.3.6 Equipo de Bombeo.....	27

1.3.6.1 Bombas Centrífugas.....	27
1.3.6.2 Motores para Bombas.....	28
1.3.7 Contactos.....	28
1.3.7.1 Tipos de Contactos.....	28
1.3.8 Equipo de Procesamiento de Datos.....	29
1.3.9 Cargas Especiales.....	30
1.3.9.1 Sistema de Alarma contra Incendio.....	30
1.3.9.2 Bombas contra Incendio.....	31
1.3.9.3 Sistema de Seguridad.....	32
1.3.9.4 Sistema de Comunicaciones (Teléfonos).....	32
1.3.9.5 Sistema de Audio.....	32
1.3.9.6 Sistema de Vídeo.....	33
1.4 Estimación de la Carga.....	33
1.4.1 Tabulación de la Carga.....	33
1.4.2 Consideraciones de la Carga.....	34
1.4.3 Metodología para Estimar la Carga.....	35
1.4.4 Ejemplo de Estimación de la Carga.....	36

## **CAPITULO 2. CÁLCULO DE LAS CARGAS**

2.1 Alumbrado Interior.....	39
2.1.1 Factores de Desempeño.....	39
2.1.2 Factores de Calidad.....	40
2.1.3 Factores de Verificación.....	41
2.1.4 Accesorios para Alumbrado.....	42
2.1.4.1 Fuentes Luminosas.....	42
2.1.4.2 Luminarias.....	43
2.1.5 Metodología de Diseño.....	45
2.1.6 Métodos para Alumbrado Interior.....	45
2.1.6.1 Método del Flujo Total.....	45
2.1.6.2 Método del Cálculo de Lúmenes.....	47
2.1.7 Ejemplo del Cálculo.....	51
2.2 Alumbrado Exterior.....	55
2.2.1 Conceptos Generales.....	55
2.2.2 Metodologías para Alumbrado Exterior.....	55
2.2.2.1 Método del Flujo Total.....	56
2.2.2.2 Método de Punto por Punto.....	57
2.2.2.3 Subdivisión de la Superficie en Áreas Fundamentales.....	59
2.2.3 Ejemplo del Cálculo.....	60
2.3 Acondicionamiento de Espacios.....	63
2.3.1 Equipo Auxiliar.....	63
2.3.1.1 Ventiladores.....	63
2.3.1.2 Bomba Centrífuga.....	63
2.3.2 Ejemplo del Cálculo.....	65
2.4 Contactos.....	66
2.5 Equipo de Transporte.....	67
2.5.1 Ascensores.....	67

2.5.1.1 Elementos de la Instalación.....	67
2.5.1.2 Necesidades de Servicio y Tráfico.....	68
2.5.2 Escaleras Eléctricas.....	71
2.5.3 Ejemplo del Cálculo para la Especificación del Equipo de Transporte.....	73
2.6 Equipo de Bombeo.....	75
2.6.1 Especificaciones del Sistema de Bombeo.....	75
2.6.1.1 Capacidad del Sistema.....	78
2.6.1.2 Líquido Manejado.....	79
2.6.1.3 Características de los Motores.....	79
2.6.3 Métodos de Selección del Equipo de Bombeo.....	80
2.6.3.1 Cálculos en la Elección de la Bomba.....	80
2.6.3.2 Selección del Fabricante.....	80
2.6.4 Ejemplo de Especificación del Equipo de Bombeo.....	81
2.7 Cargas Diversas.....	82
2.7.1 Sistema de Alarma.....	82
2.7.2 Bombas contra Incendios.....	82
2.7.2.1 Bombas Horizontales.....	82
2.7.2.2 Bombas Verticales.....	83
2.7.2.3 Bombas Reguladoras (Jockey).....	83
2.7.2.4 Potencia de las Bombas contra Incendios.....	83
2.7.2.5 Fuerza Motriz para Bombas contra Incendios.....	84
2.7.3 Sistema de Seguridad.....	85
2.7.4 Sistema de Audio y Vídeo.....	85
2.7.5 Sistema de Comunicaciones (Teléfonos).....	85
2.8 Equipo de Procesamiento de Datos.....	86

### **CAPITULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN**

3.1 Selección de los Voltajes de Alimentación y Utilización.....	87
3.1.1 Sistemas de Alimentación.....	87
3.1.2 Sistemas de Voltaje.....	87
3.1.2.1 Nomenclatura en los Sistemas de Voltaje.....	88
3.1.2.2 Rangos de Voltaje.....	88
3.1.3 Selección del Voltaje de Utilización.....	91
3.1.3.1 Rangos de Voltaje para la Utilización del Equipo.....	92
3.1.4 Variaciones del Voltaje.....	92
3.1.4.1 Cálculo de las Variaciones de Voltaje.....	93
3.1.5 Mejoras a las Condiciones de Voltaje.....	94
3.1.6 Caídas Momentáneas de Voltaje .....	94
3.2. Subestación.....	96
3.2.1 Clasificación de las Subestaciones.....	96
3.2.2 Componentes de una Subestación.....	97
3.2.3 Características Generales de Diseño.....	98
3.3 Transformador.....	100
3.3.1 Factores de Selección.....	100
3.3.1.1 Capacidad del Transformador.....	100
3.3.1.2 Valores de Voltaje, Relación de Transformación y Conexiones....	101

3.3.1.3 Derivaciones (Tap's).....	103
3.3.1.4 Impedancia.....	103
3.3.1.5 Accesorios.....	103
3.3.1.6 Otros Factores.....	104
3.3.2 Carga del Transformador.....	104
3.3.3 Ejemplo de Especificación de las Tensiones y del Transformador.....	105
3.4 Distribución de la Energía Eléctrica.....	106
3.4.1 Clases de Sistemas de Distribución.....	106
3.4.1.1 Sistema Radial.....	107
3.4.1.2 Sistema en Anillo.....	107
3.5 Centros de Carga.....	107
3.5.1 Tipos de Centros de Carga.....	108
3.5.1.1 Centro de Carga con Derivaciones Individuales en Caja.....	108
3.5.1.2 Centro de Carga a Prueba de Explosivos.....	109
3.5.1.3 Tableros Eléctricos.....	109
3.5.1.4 Tableros Generales.....	111
3.5.1.5 Centro de Control de Motores (CCM).....	111
3.5.2 Ubicación de los Centros de Carga.....	112
3.5.3 Desbalanceo de Fases.....	113
3.5.3.1 Efectos de un Desbalanceo de Fases.....	113
3.5.3.2 Cálculo del Desbalanceo.....	114
3.5.4 Ejemplo de Especificación de los Centros de Carga.....	114
3.6 Sistema de Emergencia.....	116
3.6.1 Fuentes de Generación.....	117
3.6.1.1 Baterías.....	117
3.6.1.2 Generación Local.....	119
3.6.2 Componentes y Selección de un Sistema de Emergencia.....	119
3.6.2.1 Generadores en Sistemas de Emergencia.....	120
3.6.2.2 Tipos de Energía de Emergencia Requeridos.....	121
3.6.3 UPS (Uninterruptible Power System).....	123
3.6.4 Ejemplo de Selección de un Sistema de Emergencia.....	123
3.7 Regulación de Voltaje y Factor de Potencia.....	124
3.7.1 Factor de Potencia.....	124
3.7.1.1 Inconvenientes de un Bajo Factor de Potencia.....	125
3.7.1.2 Cálculo del Factor de Potencia.....	126
3.7.1.3 Métodos de Corrección.....	126
3.7.1.4 Potencia Reactiva de los Capacitores.....	127
3.7.1.5 Ubicación de los Capacitores.....	127

## **CAPITULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN**

4.1 Distribución de la Carga.....	130
4.1.1 Distribución por Tableros.....	130
4.1.2 Distribución por Circuitos.....	130
4.2 Circuitos.....	131
4.2.1 Circuitos para Alumbrado.....	131
4.2.2 Circuitos de Propósitos Generales.....	131

4.2.3 Circuitos para Equipo de Aire Acondicionado.....	132
4.2.4 Circuitos para Motores.....	132
4.2.5 Ejemplo del Cálculo del Número de Circuitos.....	133
4.3 Circuitos Alimentadores.....	134
4.3.1 Carga en Alimentadores.....	134
4.4 Diseño del Centro de Control de Motores (CCM).....	135
4.4.1 Especificaciones de Diseño.....	135
4.4.2 Diseño del Circuito Alimentador en un CCM.....	136
4.4.2.1 Carga del Alimentador en un CCM.....	136
4.4.2.2 Protección del Alimentador del CCM.....	137
4.4.2.3 Código en Motores Eléctricos.....	137
4.4.3 Ejemplo de Diseño de un CCM.....	137
4.5 Especificación de Conductores y Canalizaciones.....	139
4.5.1 Especificación de Conductores.....	139
4.5.1.1 Tipos de Aislamiento.....	140
4.5.1.2 Criterios de Selección.....	140
4.5.2 Cálculo de Conductores con Cargas Distribuidas.....	145
4.5.2.1 Densidad de Corriente.....	145
4.5.2.2 Alimentador de Sección Constante.....	146
4.5.3 Aplicaciones Específicas.....	147
4.5.3.1 Conductores en Circuitos Derivados.....	147
4.5.3.2 Conductores para el Sistema de Aire Acondicionado.....	147
4.5.3.3 Conductores en Circuitos para Motores.....	148
4.5.4 Canalizaciones Eléctricas.....	148
4.5.4.1 Tubos Conduit.....	148
4.5.4.2 Ductos.....	149
4.5.4.3 Charolas.....	149
4.5.5 Cálculo y Especificación de Tuberías.....	150
4.5.6 Ejemplo del Cálculo para la Selección de Conductores y Canalizaciones.....	150

## **CAPITULO 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN**

5.1 Conceptos Generales.....	152
5.1.1 Voltajes Indeseables.....	152
5.1.1.1 Sobrevoltaje de Origen Atmosférico.....	152
5.1.1.2 Voltajes por Falla de Aislamiento.....	152
5.1.1.3 Voltaje de Paso.....	152
5.1.2 Orígenes del Cortocircuito.....	153
5.1.3 Inversión de Secuencias de Fase.....	153
5.1.4 Características de un Sistema de Protección.....	153
5.1.5 Clasificación de los Sistemas de Protección.....	154
5.2 Análisis de la Corriente de Cortocircuito.....	155
5.2.1 Fuentes de Cortocircuito e Impedancias Características.....	156
5.2.2 Reactancias en Máquinas Rotatorias.....	156
5.2.3 Elementos de Impedancia o Reactancia Constante.....	158
5.2.4 Reactancia en Conductores.....	158
5.2.5 Sistema en por Unidad.....	159



5.2.6 Corrientes Simétricas y Asimétricas.....	160
5.2.7 Tipos de Fallas.....	163
5.2.8 Métodos para el Cálculo de la Corriente de Cortocircuito.....	164
5.2.8.1 Clases de Métodos.....	165
5.3 Metodología para el Cálculo de la Corriente de Cortocircuito.....	166
5.3.1 Procedimiento Paso a Paso.....	166
5.4 Equipo de Protección.....	168
5.4.1 Fusibles.....	168
5.4.2 Interruptores.....	170
5.4.3 Relevadores.....	172
5.4.4 Apartarrayos.....	176
5.4.5 Sistema de Pararrayos.....	176
5.4.5.1 Tensión Nominal en un Sistema de Pararrayos.....	177
5.4.5.2 Características del Sistema de Pararrayos.....	178
5.5 Coordinación de las Protecciones.....	179
5.5.1 Procedimiento de Coordinación.....	179
5.5.2 Coordinación Selectiva.....	180
5.6 Selección del Equipo.....	181
5.6.1 Valores Recomendables.....	181
5.7 Ejemplo del Cálculo de la Corriente de Cortocircuito.....	182
5.8 Protección de Transformadores.....	190
5.8.1 Ejemplo de Cálculo para la Protección en Transformadores.....	191
5.9 Sistema de Tierras.....	192
5.9.1 Clasificación de los Sistemas de Tierras.....	193
5.9.2 Redes de Tierra.....	193
5.9.3 Componentes de una Red de Tierras.....	195
5.9.4 Rangos de Corriente y Voltaje Tolerables por el Cuerpo Humano.....	195
5.9.5 Sistema de Malla.....	199
5.9.5.1 Resistividad del Terreno.....	199
5.9.5.2 Medición de la Resistividad.....	200
5.9.5.3 Resistencia de la Red de Tierra.....	201
5.9.5.4 Corrientes Máximas de Cortocircuito y Factores de Corrección.....	203
5.9.6 Métodos de Diseño.....	204
5.9.6.1 Método de una Capa.....	204
5.9.6.2 Método de las dos Capas.....	205
5.9.7 Ejemplo del Diseño de un Sistema de Tierras.....	207
5.9.7.1 Cálculo de la Resistencia del Terreno ( $R_T$ ).....	211

## **CAPITULO 6. NORMAS Y REGLAMENTACIÓN**

6.1 Normas Técnicas en Instalaciones Eléctricas.....	213
6.1.1 Códigos Internacionales.....	214
6.2 Normas de Seguridad.....	215
6.2.1 Accidentes Eléctricos.....	215
6.2.1.1 Contactos Eléctricos.....	216
6.2.2 Protecciones dentro de las Instalaciones Eléctricas.....	219

<b>CONCLUSIONES</b> .....	221
<b>APÉNDICES</b>	
A.1 Conceptos Básicos en Iluminación.....	223
A.2 Tablas Capitulo II.....	225
A.3 Tablas Capitulo III.....	229
A.4 Tablas Capitulo IV.....	232
A.5 Tablas Capitulo V.....	239
A.6 Teoría de las Componentes Simétricas.....	241
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	245
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	246
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	248

## INTRODUCCIÓN

Actualmente las instalaciones eléctricas, ya sean del tipo industrial, residencial o comercial abarcan una gran área dentro de la ingeniería; es por ello que se les debe diseñar y realizar de una manera detallada y cuidadosa. Un objetivo que se debe cumplir es el de facilitar la tarea del proyectista, y propiciar el entendimiento de los elementos que deben ser considerados al diseñar una instalación eléctrica; logrando que ésta sea funcional, económica, pero sobre todo, segura tanto para trabajadores, como para el público en general. En este caso los procedimientos mencionados en esta tesis son referidos a establecimientos del tipo comercial como son: las plazas comerciales o lo que se conoce como Centros Comerciales. Dentro de esta obra, se cubren conceptos que no aparecen en los manuales de instalaciones eléctricas ya escritos, y al mismo tiempo se ofrece la información suficiente para que los proyectistas no requieran más que las características de los equipos y las normas para el diseño de instalaciones.

Un primer punto ha realizar, es el de definir lo que es una instalación eléctrica, para con ello poder entender las características necesarias al realizar un proyecto de esta índole. Una instalación eléctrica se entiende como el conjunto de elementos que permiten transportar y distribuir la energía eléctrica desde el punto de suministro hasta los equipos que la utilizan. Entre estos elementos se incluyen: tableros, interruptores, transformadores, bancos de capacitores, conexiones, etc.. Es importante mencionar que las instalaciones eléctricas pueden ser de tres tipos: abierta (conductores visibles), aparentes (en ductos o tubos), ocultas (dentro de paneles o plafones falsos), o ahogadas (dentro de muros, techos o pisos). Una instalación eléctrica debe cumplir con varios aspectos, dentro de los más importantes tenemos: seguridad, eficiencia, economía, flexibilidad, accesibilidad entre otros. La seguridad de una instalación eléctrica se da cuando no presenta riesgos para los usuarios ni para los equipos que alimenta o que están cerca; es por esta razón que se tiene que poner mucha atención al momento de diseñar los elementos de protección, como son: el sistema de tierra, los pararrayos, así como la colocación de elementos para impedir el paso a zonas peligrosas, además en cuanto a los equipos, debe hacerse un análisis técnico-económico para determinar la inversión en protecciones de cada equipo; por ejemplo, para un equipo que represente una parte importante dentro de la instalación y que sea muy costoso no deberá limitarse la inversión en protecciones.

La seguridad viene precedida de la eficiencia al diseñar la instalación, un buen diseño evita consumos innecesarios, ya sea por pérdidas en los elementos que la constituyen o por la imposibilidad para desconectar equipos o secciones de alumbrado mientras éstos no se estén utilizando. El tener un diseño ahorrador implica una reducción en los gastos de operación lo cual es uno de los puntos principales a considerar dentro de cualquier proyecto de ingeniería. Esto es que el ingeniero, frente a cualquier proyecto, debe pensar en su realización con la menor inversión posible. Hipotéticamente, la mejor solución a un problema de instalaciones eléctricas debería ser única: la ideal. En la realidad el ingeniero proyectista requiere de habilidad y tiempo para acercarse a esa solución ideal, pero las horas-hombre dedicadas al proyecto son parte importante del costo, por lo que tampoco es recomendable dedicar demasiado tiempo a resolver problemas sencillos. Otro aspecto de suma importancia en el diseño de una instalación eléctrica en Centros Comerciales, es en el que dicha instalación debe contar con flexibilidad y accesibilidad. Un instalación es flexible cuando puede adaptarse a pequeños cambios, por ejemplo, una instalación aparente en tubos metálicos es más flexible que una instalación ahogada en el piso.

La accesibilidad por otra parte se presenta cuando una instalación tiene las previsiones necesarias para permitir el acceso a todas aquellas partes que pueden requerir mantenimiento. Dichos espacios se refieren a las áreas para montar y desmontar equipos grandes y pasillos en la parte posterior de los tableros, entre otros. La accesibilidad también se da cuando se cuenta con todos los elementos que permitan entender el diseño de la instalación, es decir, la especificación completa junto con todos los planos y diagramas necesarios. Estos aspectos tienen siempre que estar basados en la normas que rijan en el momento de la construcción de este tipo de proyectos, de ahí que se tiene que delimitar el marco legal en el cual estará basado tanto el diseño como la implementación de la instalación.

Un buen proyecto de ingeniería debe respetar los requerimientos de las normas y códigos aplicables. Existen normas tanto obligatorias, como no obligatorias; dichas normas no obligatorias sirven de apoyo a los proyectistas en aspectos específicos. Siempre será recomendable aplicar ambas para con ello tener la seguridad de contar con una instalación eléctrica sin ningún tipo de violación. A la par de las normas se presentan las especificaciones. Las especificaciones se entenderán como el conjunto de dimensiones y características técnicas que definen completamente una instalación y a todos los elementos que la componen. Las especificaciones deben cumplir con las normas respectivas y no deben dar lugar a confusiones o a interpretaciones múltiples. En una instalación eléctrica, las especificaciones deben contemplar los objetivos para los que fue propuesta. Debido a que las normas son de carácter general, las especificaciones pueden ser más exigentes, ya que se trata de un objetivo determinado. Para finalizar, la perspectiva de los requerimientos, que toda instalación eléctrica debe cumplir, se tiene que mencionar su vida. La vida útil de una instalación eléctrica es el tiempo que transcurre desde su construcción hasta que se vuelve inservible; este punto se logra mejorar mientras mejores sean los diseños; esta información resulta muy útil por que permite saber cuánto durará la inversión.

Por ultimo se tiene que hacer mención de la estructura de la tesis. En el capítulo I, se llevan a cabo los estudios preliminares para realizar el proyecto; dentro del capítulo II se realiza el cálculo de las diferentes cargas que componen a nuestra instalación; en el capítulo III se lleva a cabo el estudio para el diseño de nuestro sistema de alimentación; por lo que respecta al capítulo IV, este trata sobre los diferentes criterios para hacer la selección tanto de los conductores, así como las canalizaciones; en el número V se encuentra la metodología para elaborar el cálculo de la corriente de cortocircuito, así como el estudio de los diferentes sistemas de tierra y su forma de diseño; por último el capítulo VI aborda las diferentes normas y reglamentos tanto nacionales como internacionales sobre los cuales se deben basar nuestros procedimientos.

Se debe mencionar que aquellas tablas que no se encuentren dentro de los propios capítulos, se encuentran en el apartado de apéndices al final de la tesis.

## CAPITULO 1. ESTUDIOS Y ANÁLISIS PRELIMINARES

En este capítulo se hablará de los estudios previos que se deben de realizar antes de comenzar el proyecto de la instalación eléctrica dentro de todo Centro Comercial (CC); además se analizarán los componentes que toda instalación eléctrica debe tener en esta clase de establecimientos; junto con esto se estudiarán en forma teórica los distintos tipos de cargas que la componen y se propondrá una metodología para poder tener una estimación del valor total de la carga por cubrir para con ello empezar el diseño de los diferentes sistemas que conforman la instalación.

### 1.1- Estudios Preliminares del Centro Comercial (CC)

Al llevar a cabo la etapa del anteproyecto arquitectónico se deberá planea la mejor utilización, del terreno disponible tomando en cuenta las vialidades existentes y la ubicación de la acometida de la Compañía Suministradora de energía eléctrica, es decir se toma en cuenta para la planificación, los siguientes puntos:

- a) Cercanía con otras tiendas, y otros centros recreativos.
- b) Una buena red de transporte público.

Dentro de todo CC existe una gran cantidad de establecimientos los cuales deben ser analizados con cierto detalle, es por ello que las siguientes definiciones son una guía para ubicar las clases de establecimientos dentro de este tipo de construcciones.

***Supermercado.*** Usualmente adyacente al CC y en el mismo nivel del estacionamiento. Requiere de una gran área pero únicamente un frente moderado.

***Departamento de Alimentos.*** Se agrupan alrededor del supermercado pero únicamente en los primeros locales.

***Moda y Prendas de Vestir.*** Agrupados juntos y preferentemente en forma lógica. Este tipo de locales agrupa lo que son: zapaterías, joyerías, accesorios de moda, perfumes y cosméticos.

***Tiendas de Servicio.*** Deben de contar con una doble entrada esto es para cuando el CC se encuentre cerrado el acceso a esta tienda sea por el estacionamiento. Generalmente estas tiendas son colocadas en los lugares menos atractivos para con ello pagar una menor renta.

***Tiendas de Especialidades.*** Estas tiendas incluyen la venta de obsequios, cámaras fotográficas, flores, juguetes. Algunas veces son colocadas en lugares “sorpresa” como la sección de muebles para el hogar.

***Tiendas Departamentales.*** Ocupan el mayor espacio y llegan a crear su propia importancia sin depender del mismo Centro Comercial, generalmente ocupan entre dos y cinco niveles.

***Restaurantes.*** Únicamente se pueden colocar a lo largo del pasillo principal del CC, generalmente ocupan el 5% del área total construida.

**Muebles y Bienes para el Hogar.** Este tipo de tienda abarca productos electrodomésticos como: radio, TV, muebles. Estas tiendas pueden ser agrupadas en una o dos áreas dentro del (CC).

**Locales Públicos.** Incluye básicamente los bares, los cuales se deben situar cerca del estacionamiento por lo que generalmente se encuentran el primer nivel del establecimiento.

**Otros Sitios.** Estos incluye kioscos, cafés, máquinas de expedición de productos, paneles de advertencia iluminados, lockers para guardar maletas, teléfonos, así como letreros electrónicos.

Es importante mencionar que además del estudio del anteproyecto arquitectónico, se debe analizar lo que se denomina anteproyecto eléctrico y el cual inicia dimensionando y ubicando la subestación requerida en base a una carga estimada. Con esta premisa se pasará a determinar el área que abarcará nuestra subestación y la ubicación dentro del terreno la cual depende en donde se encuentre la acometida por parte de la compañía suministradora, tal estudio se realiza en el apartado de consideraciones eléctricas de diseño

### **1.1.1 -Revisión de los Planos Arquitectónicos**

El estudio de los planos se debe realizar de una manera detallada con el fin de encontrar algún error o poder decidir de manera adecuada la forma en que se diseñará la instalación, además de los dispositivos y materiales a emplear. El plano es el generador o punto de inicio de cualquier tipo de construcción, el plano muestra las estructuras que formarán al o a los edificios. La elaboración del plano está basada en las normas que rijan el tipo de construcción a realizar; dentro de los aspectos que el plano debe resolver de manera segura, rápida y funcional se encuentran las siguientes funciones:

- Circulación.
- Adyacencias.
- Ubicación de los Espacios.
- Flexibilidad.

**Circulación.** Se refiere al sistema de arterias dentro del CC, es decir al interior de grandes áreas como la de las tiendas departamentales, del supermercado, y las cuales deben estar bien planeadas para contar con un sistema de movimiento de personas etc.

**Adyacencias.** La “Teoría de las Adyacencias” mide la interrelación de las ventas en los diferentes departamentos que componen al edificio de acuerdo al plano de construcción.

**Ubicación de los Espacios.** Así como las adyacencias de los diferentes departamentos son establecidas, también sus lugares de ubicación deben ser delineados, este ejercicio es normalmente realizado en un plano aparte denominado “Plano de Ubicación de Espacios” en el cual tanto la ubicación como las adyacencias sean mostradas.

**Flexibilidad.** Este apartado se refiere a la importancia de que todo CC debe tener la capacidad de poder ser reajustado o modificado para futuras mejoras o colocación de nuevos elementos.

Al ser dados los planos arquitectónicas preliminares, se permitirá llegar a tener una primera perspectiva del trabajo a realizar, de las necesidades del proyecto y determinar una manera preliminar de donde se deben ubicar los equipos, así como el decidir los métodos y tipos de alumbrado a utilizar dentro de la instalación y en general se tomará la decisión del tipo de distribución eléctrica a emplear.

### 1.1.2- Tiendas Ancla (TA)

Una parte muy importante a analizar son las denominadas Tiendas Ancla TA. Las cuales se definen como los establecimientos en donde la actividad que se lleva a cabo es la de vender bienes y servicios a los últimos consumidores. Básicamente existen dos tipos de TA, aquellas, conocidas como tiendas de necesidades primarias y en donde se compran productos como alimentos, medicamentos, etc., y aquellas donde se obtienen bienes por comparación como son: ropa, zapatos, muebles joyería, libros, etc.

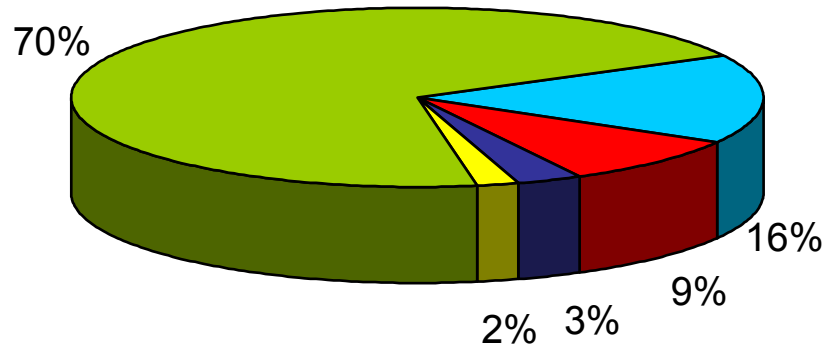
#### 1.1.2.1- Distribución de las Tiendas Ancla

El margen de dimensión que se le proporcionará a cada establecimiento dentro de las TA no está sujeto a ningún tipo de regla, sin embargo se recomienda la distribución mostrada en la **tabla 1.1** y representada por medio de la **gráfica 1** ya que con ésta se logra seguridad, funcionalidad y confort, además de que se conocerán las áreas en donde se tendrá que poner mayor cuidado para llevar a cabo nuestro proyecto.

Tipo de Establecimiento	Área Construida %
Tienda Departamental	70
Tienda Departamental Júnior	
Tiendas de Muebles	
Tiendas de Especialidades	16
Establecimientos de Bienes	9
Comidas y Bebidas	3
Tiendas de Servicios	2

Tabla 1.1 Distribución de las Tiendas Ancla

## Distribución de una Tienda Ancla



Gráfica 1

### 1.1.3- Elementos de Diseño Eléctrico

Dentro de una construcción del tipo comercial los principales elementos de diseño eléctrico que se deben considerar en la elaboración de los sistemas de alimentación, alumbrado, protección, distribución y en sistemas auxiliares incluyen:

- 1) Magnitudes, calidad, demanda y factores de carga, coincidencia y de diversidad.
- 2) Distribución voltajes de utilización y regulación de voltaje.
- 3) Flexibilidad y prevenciones de expansión.
- 4) Seguridad de personal.
- 5) Operación y mantenimiento.
- 6) Corriente de falla y coordinación del sistema de protección.
- 7) Fuentes de potencia.
- 8) Sistemas de distribución.
- 9) Requerimientos legales.

A la par de estos requerimientos se debe realizar el estudio de la subestación dentro de nuestro establecimiento, tanto para conocer su capacidad, así como su ubicación.

#### 1.1.3.1- Capacidad y Ubicación de la Subestación

El punto de partida para la localización de una subestación se deriva de un estudio de planeación, a partir del cual se localiza, con la mayor aproximación, el centro de carga del área que se necesita alimentar. Un método que se puede utilizar para localizar una subestación es el siguiente: en un plano grande del CC, se traza a escala, una cuadrícula que puede ser de  $0.5 * 0.5$  [Km.], posteriormente se determinan los momentos de carga con las siguientes expresiones:



$$M_x = \Sigma (\text{MVA} * \text{distancia en el eje x-x})$$

$$M_y = \Sigma (\text{MVA} * \text{distancia en el eje y-y})$$

Con estos valores se procede a obtener las coordenadas del centro de carga por medio de las ecuaciones:

$$X_{CC} = \frac{M_x}{\Sigma_{MVA}} \quad ; \quad Y_{CC} = \frac{M_y}{\Sigma_{MVA}}$$

$\Sigma_{MVA}$  = Aumentos en MVA de las diferentes zonas en determinado tiempo dentro del (CC).

Obtenida la localización del centro de carga, conociendo la carga por alimentar y previendo las ampliaciones futuras, se determina la superficie requerida para la instalación de esta. A continuación, se procede a la localización del área del terreno más próximo al centro de carga calculado. Se debe realizar un estudio para prevenir que no exista dificultad en la llegada de los circuitos de alimentación a la subestación.

La capacidad de una subestación se fija considerando la demanda actual de la carga en la zona determinada para el (CC) en [KVA], más el incremento en el crecimiento obtenido por extrapolación, durante los siguientes años, previendo el espacio necesario para futuras ampliaciones. Un estudio más profundo de lo que es la subestación se da en el capítulo III.

### 1.1.3.2- Consideraciones Eléctricas de Diseño

El equipo eléctrico ocupa un relativo pequeño porcentaje del espacio total de la construcción por lo que en el diseño es más fácil reubicar las áreas de servicio eléctrico que las áreas mecánicas o elementos estructurales. La apariencia es un parámetro importante para determinar la mercadotecnia del (CC), es por ello que las consideraciones estéticas juegan un rol importante en la selección del equipo, especialmente equipo de iluminación, además de seguir los códigos y verificar que dichas normas no sean violadas.

**Flexibilidad.** La flexibilidad de un sistema eléctrico significa la adaptabilidad para desarrollos y expansiones así como para cambios que se requieran durante la vida del edificio. A causa de que es difícil y costoso incrementar la capacidad de alimentadores y demás dispositivos, es importante que las prevenciones para una capacidad suficiente sea proporcionada inicialmente. Un espacio extra para conductores debe ser incluida en el diseño, si cargas adicionales serán incorporadas. El costo y dificultades en obtener espacio para nuevos alimentadores y grandes interruptores, los cuales serán requeridos dentro de una modernización o expansión al edificio deben ser considerados en el diseño inicial. Un margen creciente de carga del 50% aplicado a la capacidad instalada del alimentador de mayor capacidad es usualmente justificado en las instalaciones donde una expansión es considerada.

**Especificaciones.** Estas contienen secciones legales y de ingeniería. Las secciones legales contiene los términos generales de los acuerdos entre contratista y propietario, tales como, forma de pago, condiciones de trabajo y necesidades de tiempo. La sección de ingeniería consiste de las especificaciones técnicas, dando las descripciones del trabajo y los materiales a ser utilizados.

**Metodología para la Utilización del Documento.** Es de suma importancia el saber como está conformada nuestra guía para que con ello sepamos la forma adecuada de utilización. Como primer punto se debe realizar una estimación de las diferentes cargas que conforman nuestra instalación; posteriormente se realizan los cálculos necesarios para conocer el calibre de los diferentes alimentadores que suministrarán la energía eléctrica a las diferentes cargas; un tercer punto y el cual es consecuencia del anterior es la selección de las canalizaciones, ya sean charolas, tubos conduit, etc.; a partir de estos pasos se procede al diseño de los sistemas tales como el de protección, el de tierras, para por ultimo verificar nuestro proyecto por medio de las normas y reglamentos existentes.

### **1.1.3.3- Consideraciones Ambientales**

Actualmente se debe poner un énfasis especial en lo concerniente a los efectos sociales y ambientales que provoca un proyecto de este tipo. En las instalaciones de hoy se deben considerar el impacto ambiental que tienen el alumbrado, el ruido, el agua residual; para tener un control de estas situaciones se pueden verificar las siguientes normas: IEEE Std. 980-1987, IEEE Guía para contaminantes y control de desechos de petróleo en subestaciones (ANSI), y IEEE Std. 640-1985, IEEE “guía para el control de ruido en estaciones de potencia”. Los estudios ambientales, en los cuales se incluyan los efectos de ruido, vibración, emisión de gases, alumbrado, que deben ser considerados en sus relaciones con el medio ambiente y con la gente.

## **1.2- Dispositivos de la Instalación Eléctrica en CC**

Es importante realizar un estudio previo, para con ello evitar hacer alguna omisión o no darle la debida importancia que merece cada uno de estos dispositivos. Estos elementos son descritos a continuación con una breve explicación y pertenecen a los sistemas de alimentación, iluminación y sistemas auxiliares. La descripción incluye las características más importantes de los elementos de las instalaciones eléctricas ya que su estudio en forma más detallada se realizará en los capítulos subsecuentes.

### **1.2.1- Acometida**

Por acometida se entiende el punto donde se hace la conexión entre la red, propiedad de la compañía suministradora y el alimentador que abastece al usuario. La acometida también puede entenderse como la línea (aérea o subterránea) que por un lado entronca con la red eléctrica de alimentación y por el otro tiene conectado el sistema de medición. En las terminales de entrada de la acometida normalmente se colocan apartarrayos para proteger la instalación y el equipo contra ondas de alto voltaje, ya sea de origen atmosférico o por maniobras de conexión o desconexión en la red de suministro. **(ver figura 1.1).**

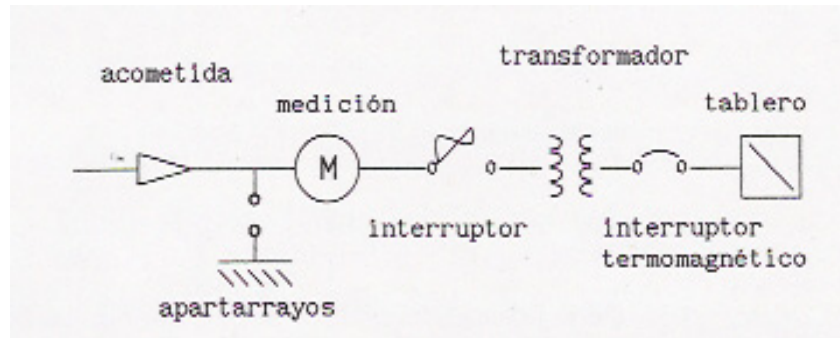


Figura 1.1 Acometida

## 1.2.2- Equipo de Medición

Por equipo de medición se entiende aquellos dispositivos, propiedad de la compañía suministradora, que se colocan en la acometida de cualquier usuario con el propósito de cuantificar el consumo energía eléctrica de acuerdo con las condiciones del contrato compra-venta. El equipo de medición puede conectarse a través de un juego de cuchillas que permitan que la compañía suministradora verifique su funcionamiento y, en caso necesario, haga la calibración correspondiente sin interrumpir el servicio al usuario. El diseño, uso, y características de la carga para una aplicación dada debe ser analizada con sumo cuidado antes de seleccionar el voltaje de servicio y las características de los medidores. El equipo de medición mostrará las lecturas correspondientes a mediciones industriales, que son las que se realizan en centros de control en donde se genera, se distribuye o consume en grandes volúmenes la electricidad como lo son: industrias, grandes edificios institucionales o comerciales. La precisión de las mediciones generalmente es del orden de 1% a 2.5%; dentro de las instalaciones eléctricas para (CC) una precisión del 1.5% es suficiente.

### 1.2.2.1- Medidores

Varios tipos de medidores incluyendo la aplicación de éstos son los más importantes y útiles dentro de las instalaciones del tipo comercial. Los medidores son:

- 1.- Medidor de wathhora o wathhorimetro- Mide únicamente el consumo de energía por parte de la instalación.
- 2.- Medidores de demanda- Los kilowatts demandados son medidos por algún tipo de estos dispositivos.
  - a) Medidores de demanda integrales- Mide el consumo de energía para un tiempo específico (usualmente 15, 30 ó 60 minutos).
  - b) Medidores de demanda térmicos- Usados para medir cargas que varían a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

3.- Medición de potencia aparente- ampermetro y voltaje nominal- Un ampermetro calibrado para leer [KVA] para el voltaje de alimentación nominal es en ocasiones usado para obtener esta lectura, otra forma de obtenerla es por medio de un voltampérmetro.

4.- Medidor de potencia reactiva- Un medidor de kilowatts con el elemento de voltaje defasado 90° eléctricos pueden medir la componente reactiva, aunque se puede obtener por medio de un varmetro.

A estos medidores se les tienen que anexar otros que son de suma importancia y los cuales son: voltaje en volts [v], intensidad de corriente en amperes [A], potencia real en watts [w], el factor de potencia en [%], la frecuencia en hertz [Hz]. Los instrumentos de medida adquieren su nombre según la unidad que miden. La **tabla 1.2** muestra el tipo de instrumento, la lectura que toma y en que unidades las proporcionan.

ABREVIATURA	UNIDAD	INSTRUMENTO	VARIABLE
A	Ampere	Ampermetro	Corriente eléctrica
V	Volt	Vóltmetro	Voltaje
Hz	Hertz	Frecuencímetro	Frecuencia
Cosθ	%	Medidor	Factor de Potencia
W	Watt	Wattmetro	Potencia Real
VA	Voltamper	Voltampérmetro	Potencia Aparente
VAR	Voltamper-reactivo	Vármetro	Potencia Reactiva
Wh	Watt-hora	Medidor	Consumo de Energía

Tabla 1.2 Instrumentos de Medición

### 1.2.2.2- Ubicación de los Medidores

Los medidores deben estar instalados internamente en un punto del sistema de distribución secundario del cliente, es decir dentro de un cuarto especial donde se localice el llamado cuarto de medidores o en una construcción separada que también contenga controles sobre los relevadores e interruptores. En general las necesidades que debe cubrir la ubicación del equipo de medición son el de obtener lecturas de una manera fácil además de que estos pueden recibir un mantenimiento adecuado de forma segura y accesible.

### **1.2.3- Interruptores**

Un interruptor es un dispositivo que está diseñado para abrir o cerrar un circuito eléctrico por el cual está circulando una corriente. Puede utilizarse como medio de desconexión o conexión y, si está provisto de los dispositivos necesarios, también puede cubrir la función de protección contra sobrecargas o cortocircuito. Existen dentro de las instalaciones en (CC) tres tipos de interruptores los cuales son mencionados a continuación. Su forma de selección y análisis se realizará en el capítulo V.

#### **1.2.3.1- Interruptor General**

Se le denomina interruptor general o principal al que va colocado entre la acometida (después del equipo de medición) y el resto de la instalación, y que se utiliza como medio de desconexión y protección del sistema o red suministradora. Dependiendo del tipo de instalación, el interruptor general o principal puede ser alguno de los siguientes dispositivos: caja con cuchillas y fusibles, interruptor termomagnético, cortacircuitos o interruptor de potencia (en aire, al vacío, en algún gas o en aceite).

#### **1.2.3.2- Interruptor Derivado**

Son aquellos que están colocados para proteger o desconectar alimentadores de circuitos que distribuyen la energía eléctrica a otras secciones de la instalación o que energizan a otros tableros.

#### **1.2.3.3- Interruptor Termomagnético**

Este interruptor es uno de los más utilizados y que sirve para desconectar y proteger contra sobrecargas y cortocircuitos. Su diseño le permite soportar un gran número de operaciones de conexión y desconexión, lo que lo hace muy útil en el control manual de una instalación.

### **1.2.4-Tableros**

Se entiende por tablero un gabinete metálico donde se colocan instrumentos de medición, barras, interruptores, arrancadores, y/o dispositivos de control. El tablero es un elemento el cual tiene por objeto alimentar, distribuir y controlar la energía eléctrica dentro del área, donde se genere o utilice. Dentro de una instalación eléctrica existen tres tipos de tableros:

#### **1.2.4.1- Tablero General**

El tablero general es aquél que se coloca inmediatamente después del transformador y que contiene un interruptor general. El transformador se conecta a la entrada del interruptor y a la salida de éste se conectan barras que distribuyen la energía eléctrica a diferentes circuitos a través de interruptores derivados.

#### **1.2.4.2- Tablero del Centro de Control de Motores (CCM)**

En instalaciones en donde se utilicen varios motores, los arrancadores se agrupan en tableros compactos conocidos como centro de control de motores. Dependiendo del número de arrancadores o circuitos derivados y de la distancia entre ellos y el tablero general, puede ser necesario incluir un interruptor general.

#### **1.2.4.3- Tableros de Distribución**

Cada área de una instalación está normalmente alimentada por uno o varios tableros derivados. Estos tableros pueden tener un interruptor general, dependiendo de la distancia al tablero de donde se alimenta y del número de circuitos que alimente. Contienen una barra de cobre para el neutro y 1, 2 ó 3 barras conectadas a las fases respectivas (directamente o a través del interruptor general).

#### **1.2.5- Sistema de Emergencia**

Existe una gran cantidad de instalaciones eléctricas que cuentan con una o más plantas de emergencia para protegerse contra posibles fallas en el suministro de la energía eléctrica. Normalmente se requiere de una o varias fuentes de energía eléctrica que funcionen mientras la red suministradora tenga caídas de voltaje importantes, falla en alguna fase o interrupciones del servicio. Las plantas de emergencia constan de un motor de combustión interna acoplado a un generador de corriente alterna, aunque la alimentación de emergencia se puede dar por medio de baterías. El cálculo de la capacidad de una planta eléctrica se hace en función de las cargas que deben operar permanentemente. Estas cargas deberán quedar en un circuito alimentador y canalizaciones independientes.

#### **1.2.6- Equipo de Transferencia**

El equipo de transferencia ó transfer entra en operación cuando la alimentación normal a nuestra instalación falla y por consecuencia se tiene que hacer uso del sistema de emergencia, en este caso el switch de transferencia permite al relevador de bajo voltaje sea desenergizado y posteriormente predeterminedir el tiempo de retardo, cerrando o uniendo los contactos de arranque de los motores. Cuando el tiempo de retardo es introducido el generador no será puesto en marcha innecesariamente durante los voltajes transitorios. Cuando la fuente alternativa de emergencia es un generador, un tiempo suficiente de retardo debe ser proporcionado para permitir al generador alcanzar una aceptable velocidad antes de aplicar la carga. Existen dos métodos utilizados en el equipo de transferencia; uno donde el generador local de emergencia es usado para alimentar la carga entrante con alimentación normal de potencia, todas las cargas son normalmente alimentadas a través de un dispositivo (A), mientras otro dispositivo (B) se encuentra abierto y por lo tanto el generador no es activado. Existe un segundo arreglo en el cual únicamente las cargas críticas son transferidas a la fuente de emergencia, en este caso, un generador. Para tener una máxima protección, el transfer se debe ubicar lo más cercano a las cargas críticas. Cuando se utiliza este equipo se debe llevar a cabo un estudio cuidadoso de cada sistema para determinar de una manera exacta las necesidades de potencia y aquellas cargas críticas, para con ello seleccionar el arreglo que reúna los requerimientos de nuestra instalación, tanto económicos y de seguridad.

### **1.2.7- Sistema de Tierras y de Protección**

En una instalación eléctrica la conexión a tierra tiene una importancia primordial para la protección del personal y de los equipos. Una instalación eléctrica no puede considerarse adecuada sino tiene un sistema de tierras que cumpla con todos los requisitos para proporcionar esta protección. El objeto de conectar a tierra un circuito eléctrico es limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, fenómenos transitorios en el propio circuito o a contactos accidentales con líneas de mayor tensión; así como limitar la tensión a tierra del circuito durante su operación normal. Una conexión sólida a tierra facilita la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente, en caso de fallas a tierra, contribuyendo así al uso eficiente de la energía eléctrica. Es de gran importancia entender el concepto de **resistencia a tierra**, este termino se utiliza para referirse a la resistencia eléctrica que tiene el suelo (tierra) de cierto lugar.

El valor de la resistencia a tierra debe estar dentro de ciertos límites dependiendo del tipo de instalación. Entendiendo este concepto se puede definir lo que es un **sistema de tierras**. Se le llama sistema de tierras a la red de conductores eléctricos unidos a una o más tomas de tierra y provistos de una o varias terminales a las que pueden conectarse puntos de la instalación. Se entiende como **toma de tierra** cuando un electrodo enterrado en el suelo con una terminal que permita unirlo a un conductor, este electrodo puede ser una barra o tubo de cobre, una varilla o tubo de fierro y en general cualquier estructura que esté en contacto con la tierra y que tenga una resistencia a tierra dentro de ciertos límites.

#### **1.2.7.1- Sistema de Protección**

Se entiende que una instalación está razonablemente protegida si cuenta con un sistema coordinado de elementos que desempeñe las siguientes funciones: evitar situaciones peligrosas para las personas, minimizar los daños provocados por condiciones anormales y aislar la zona donde aparece la falla de tal forma que el resto de la instalación continúe operando en las mejores condiciones posibles. Es recomendable que en toda instalación eléctrica se disponga de equipos de interrupción contra fallas a tierra, para desconectar la instalación ó a los equipos cuando esta falla se presente.

### **1.2.8- Salidas para Alumbrado y Contactos**

Las unidades de alumbrado, al igual que los motores, están al final de la instalación y son consumidores que transforman la energía eléctrica en energía luminosa y generalmente también en calor. Los contactos sirven para alimentar diferentes tipos de dispositivos portátiles y van alojados en una caja donde termina la instalación fija. En ambos casos se debe asegurar que la instalación eléctrica tenga la especificación necesaria para que la caída de voltaje esté por debajo de la permitida, que el alimentador quede protegido contra fallas y sobrecargas y que el usuario esté protegido contra cortocircuito.

## 1.2.9- Transformador

El transformador eléctrico es un equipo que se utiliza generalmente para cambiar los niveles de voltaje. En instalaciones de grandes dimensiones o complejas pueden necesitarse varios niveles de voltaje lo cual se logra instalando varios transformadores (normalmente agrupados en una subestación). En instalaciones del tipo comercial son normalmente usados para cambiar el nivel de voltaje proveniente del suministro a un nivel que se utilice dentro del edificio o para niveles de voltaje para equipo específico.

## 1.3- Análisis de las Cargas

En esta parte del capítulo se realizará un análisis de los diferentes tipos de cargas que componen la instalación eléctrica dentro de todo (CC); dicho análisis se realizará sólo de una manera teórica; es decir se mencionarán las características más sobresalientes de cada tipo de carga, junto a otras consideraciones como su clasificación, su impacto dentro de la instalación, los diferentes sistemas y dispositivos que las componen. Como segundo punto se expondrá una metodología para poder estimar las cargas de una manera analítica y con ello poder tener una primera aproximación del valor total de la carga conectada dentro de la instalación.

### 1.3.1- Alumbrado Interior

Como alumbrado interior se entiende toda aquel alumbrado de espacios cubiertos, entre los destacan: salas de espectáculos, naves industriales, centros comerciales, restaurantes, casas-habitación, etc. En el alumbrado interior se requiere de una buena visibilidad, es decir una buena iluminación, donde se realiza el trabajo para poder proporcionar confort. Para desarrollar trabajos en espacios o áreas interiores, la influencia de la iluminación es muy importante. El alumbrado interior involucra tanto a los sistemas de iluminación interior como a los métodos de alumbrado. Los sistemas de iluminación interior se pueden clasificar y explicar de la siguiente forma.

#### 1.3.1.1- Sistemas de Iluminación

Un sistema de iluminación debe dar el nivel adecuado a los locales o áreas por iluminar para las actividades que se desarrollen en ellas. Además debe haber ausencia de deslumbramiento y brindar una satisfactoria tonalidad de colores. El sistema de iluminación debe ser el óptimo para obtener la luz necesaria con un menor consumo de energía.

Los sistemas de iluminación se clasifican según la distribución del flujo luminoso, teniendo en cuenta la cantidad de flujo luminoso proyectada directamente a la superficie iluminada y la que llega a la superficie después de reflejarse por techo y paredes. Si la mayor parte del flujo luminoso se envía hacia abajo, se produce una *iluminación directa*; por el contrario, si la mayor parte del flujo luminoso se envía al techo para que llegue a la superficie iluminada después de proyectarse en el mismo tenemos *iluminación indirecta*. Los demás sistemas de iluminación se consideran sistemas intermedios en donde la luz emitida radía tanto hacia arriba como hacia abajo. En la **tabla 1.3** se ofrece un resumen de los sistemas de iluminación, indicando la distribución del flujo luminoso.



Sistema de iluminación	Distribución del flujo luminoso en tanto por ciento	
	<i>Hacia arriba</i>	<i>Hacia abajo</i>
Iluminación directa	0 a 10	100 a 90
Iluminación semidirecta	10 a 40	90 a 60
Iluminación difusa	40 a 60	60 a 40
Iluminación semiindirecta	60 a 90	40 a 10
Iluminación indirecta	90 a 100	10 a 0

Tabla 1.3 Sistemas de Iluminación

***Iluminación Directa.*** Casi todo el flujo luminoso se dirige directamente a la superficie que ha de iluminar. La iluminación directa produce sombras duras y profundas y existe el peligro de deslumbramiento al situarse dentro del campo visual manantiales luminosos de gran intensidad y poca superficie emisora, es decir, de gran luminancia.

***Iluminación Semidirecta.*** Las sombras no son tan duras como en la iluminación directa y además, se produce un considerable peligro de deslumbramiento.

***Iluminación Difusa.*** Se le llama también iluminación mixta. Con este sistema se consigue por completo la eliminación de sombras y al hacer más extensa la superficie luminosa se reduce aún más el peligro de deslumbramiento. Este sistema de iluminación no resulta apropiado en algunos casos, ya que existe el inconveniente de que al no producirse sombras en los objetos, éstos parecen planos y no dan sensación de relieve.

***Iluminación Semiindirecta.*** El rendimiento luminoso es bajo porque en las sucesivas reflexiones que sufre la luz antes de llegar a la superficie que se trata de iluminar, parte del flujo luminoso es absorbido por el techo y paredes.

***Iluminación Indirecta.*** Todo o casi todo el flujo luminoso se dirige hacia el techo; el manantial luminoso queda completamente oculto a los ojos del observador y éste no percibe ninguna zona luminosa; solamente aprecia zonas iluminadas. Este sistema de iluminación, es, económicamente hablando, el más caro de todos, pero también el efecto luminoso conseguido es el mejor, pues la iluminación de los objetos es muy suave y sin contrastes de brillo, carece absolutamente de deslumbramiento y está exento de sombras laterales. Constituye la forma más noble de iluminación artificial y es, al mismo tiempo, la más semejante a la luz natural.

Para que cualquier sistema de iluminación funcione correctamente se debe analizar: la división de los locales, se sugiere que las divisiones de las áreas, con las mismas necesidades de iluminación, sean lo más grande posible ya que así se logra un uso más eficiente del flujo luminoso; observar la disposición y color del mobiliario aquí se recomienda que el color del mobiliario sea claro y sin brillantez y su disposición sea la adecuada para obtener un mejor rendimiento del sistema de iluminación y de la luz natural; la luz natural debe ser aprovechada al máximo para la iluminación de interiores.

### **1.3.1.2- Métodos de Alumbrado**

Los métodos de alumbrado se refieren a la concentración de la luz necesaria para efectuar una tarea determinada. No se debe confundir los métodos de alumbrado con los sistemas de iluminación, en cada uno de los métodos de alumbrado puede utilizarse cualquiera de los sistemas de iluminación.

Los métodos de alumbrado pueden ser:

- Alumbrado general.
- Alumbrado general localizado.
- Alumbrado individual.
- Alumbrado combinado.
- Alumbrado suplementario.

***Alumbrado General.*** Es un método de distribución uniforme de la luz, que produce en todos los lugares de un interior, idénticas condiciones de visión. Es usado cuando se desea alumbrar un área sin tomar en cuenta requisitos especiales.

***Alumbrado General Localizado.*** Se recomienda este tipo de alumbrado para áreas o zonas de actividad específica.

***Alumbrado Individual.*** Se utiliza cuando se aprecia un alto nivel de iluminación en la zona de trabajo individual, debido a la precisión de la tarea.

***Alumbrado Combinado.*** En los casos de alumbrado combinado, debe procurarse que la relación de luminancias entre la zona de trabajo y el ambiente general, no exceda más de diez a uno.

***Alumbrado Suplementario.*** Algunas veces, sobre todo en locales comerciales, aparadores etc., se pretende destacar un objeto o un artículo determinado. En este caso, se debe suplementar el alumbrado general por medio de aparatos de alumbrado especiales que concentran la luz como los rieles o las denominada lámparas dirigibles, colocados en las cercanías del objeto que se pretende destacar.

### 1.3.2- Alumbrado Exterior

Los sistemas de alumbrado requeridos para vialidades, estacionamientos públicos exteriores o abiertos y todo tipo de áreas exteriores se conocen genéricamente como: “alumbrado de exteriores”. El alumbrado de exteriores tiene como finalidad principal resaltar en su entorno durante la noche, la textura y/o la forma del área, estructura o monumento, para favorecer las condiciones de seguridad, estéticas y comerciales de un sitio. Los sistemas de alumbrado público y exteriores se pueden clasificar de la siguiente manera: vialidades, autopistas, carreteras, vías rápidas, vías principales, vías secundarias, estacionamientos, públicos, fachadas de edificios, monumentos, fuentes, esculturas, parques y jardines, aceras, plazas y zócalos.

### 1.3.3- Escaleras Eléctricas

Las escaleras son operadas en un ángulo de inclinación de 30° y son construidas en valores de 24, 32, y 40 pulgadas de ancho y velocidades de 90 a 120 pies por minuto. Los más comunes tipos de escaleras utilizados son los de 32 y 40 pulgadas de ancho. Una alternativa de una escalera convencional es la escalera del tipo modular, en la cual la unidad controladora está contenida en una armadura opuesta a la máquina controladora. Una unidad de control es requerida aproximadamente cada 20 pies de incremento en movimiento vertical, esto da como consecuencia una reducción en el valor de los [HP] del motor a utilizar.

### 1.3.4- Elevadores

Todos los elevadores eléctricos modernos son del tipo tracción, en el cual los cables de suspensión pasan de la caja del elevador a un contrapeso por medio de una ranura montada sobre una polea. El movimiento del elevador y del contrapeso en cualquier dirección depende de la presión creada entre los cables de suspensión y la ranura en la polea proporcionada para suspender el peso. Los elevadores del tipo tracción son usados en construcciones donde se considera una adición futura de niveles.

#### 1.3.4.1- Métodos de Operación

La operación de un elevador es el método por el cual se lleva a cabo el control del dispositivo. Existen diferentes métodos de operación, los cuales son explicados a continuación.

***Operación Automática.*** El elevador moderno actualmente es automático. El termino “operación automática” significa un sistema en el cual el elevador arranca en respuesta a la acción momentánea de dispositivos en los descansos o en respuesta a un mecanismo de arranque automático, en el cual el elevador se detiene en los descansos para los cuales fue programado. Dentro de la operación automática existen diferentes clases las cuales son mencionadas a continuación

***Operación por medio de un solo botón:*** Este método de operación incorpora un botón en el vagón del elevador para cada piso en servicio y un botón en cada descanso. Presionando un botón automáticamente se inicia y se completa el viaje del vagón al correspondiente piso sin la interferencia de otros botones que talvez hayan sido oprimidos subsecuentemente durante el recorrido.

Operación de recopilación selectiva: Este método de operación extiende el uso del elevador automático para permitir al vagón responder a diferentes llamados durante el mismo trayecto. Las llamadas en los descansos son registradas por medio de una presión momentánea en estos botones y son registrados en una memoria hasta ser atendidos por el arribo del elevador.

Operación duplex: Este método es la operación automática de dos elevadores de recopilación selectiva a partir de botones en común en los descansos. Los botones en los vagones operan cada elevador individualmente.

Operación automática en grupo: Los vagones arrancan automáticamente después de que se cierran las puertas de los elevadores y se detiene en forma automática en respuesta a las llamadas registradas por medio de los botones colocados en cada vagón o por medio de los botones colocados en los descansos ya sean de ascenso o descenso los cuales son comunes al grupo.

### **1.3.5- Acondicionamiento de Aire**

El acondicionamiento de aire es el proceso de tratamiento del mismo en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener los estándares requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento.

#### **1.3.5.1- Sistemas de Acondicionamiento de Aire**

Existen distintas formas en las que se pueden clasificar los sistemas de acondicionamiento de aire. Una es por el fluido de distribución de enfriamiento o calefacción ya sea éste aire o agua, a partir de esta premisa son posibles los siguientes grupos:

- 1.- Sistemas de sólo aire
- 2.- Sistemas de sólo agua (hidrónicos)
- 3.- Sistemas combinados de aire agua

**Sistemas de sólo Aire.** Estos sistemas emplean aire para calentar o enfriar recintos. Pueden tener capacidad para controlar la humedad y proporcionar ventilación hacia el exterior, cosa que los sistemas hidrónicos no pueden hacer.

**Sistemas de sólo Agua.** Distribuyen agua caliente o helada desde la planta central hasta cada recinto. Los sistemas de sólo agua para uso comercial pueden ser más económicos y necesitar mucho menos espacio que los sistemas de sólo aire. Un sistema de sólo agua de enfriamiento es útil cuando el espacio está en extremo limitado, dentro de las desventajas que tiene este tipo de sistemas está que la multiplicidad de unidades de ventilador y serpentín significa gran cantidad de trabajo y costos de mantenimiento. El control de humedad es limitado.

**Sistemas Combinados.** Estos sistemas distribuyen agua helada y/o caliente y aire acondicionado desde un sistema central hasta los recintos individuales; las terminales en cada recinto enfrían o calientan el recinto. En los sistemas de agua-aire la mayor parte de la energía la transporta el agua, y en general, las cantidades de aire que se distribuyen solamente son suficientes para ventilación.

### 1.3.5.2- Componentes de los Sistemas de Acondicionamiento de Aire

Un sistema de acondicionamiento de aire puede proporcionar calefacción, enfriamiento o ambos. Su tamaño y complejidad pueden variar desde un simple calentador o una unidad de ventana ambos para un recinto pequeño, hasta un gigantesco sistema para grandes complejos de edificios. La mayor parte de los sistemas de calefacción y enfriamiento tienen como mínimo los siguientes componentes:

- 1.- Una fuente de calefacción que agrega calor a un fluido, el cual generalmente es aire, agua o vapor.
- 2.- Una fuente de enfriamiento que elimina el calor de un fluido.
- 3.- Un sistema de distribución, que es una red de ductos o tubería para transportar el aire, agua o vapor hacia los recintos que se van a calentar o a enfriar.
- 4.- Dispositivos, como radiadores, para transmitir el calor entre el fluido y el recinto.

Estos componentes aunque son comunes tanto para la calefacción como para el enfriamiento de espacios cada uno tiene sus propias características y sus propios dispositivos.

### 1.3.5.3- Sistema de Enfriamiento

Un sistema de enfriamiento necesita de un medio para eliminar el calor de los recintos acondicionados. Existen tres tipos de sistemas de enfriamiento los cuales son: por compresión de vapor, por absorción y la bomba de calor.

***Sistema de Refrigeración por Compresión de Vapor.*** Los componentes principales del equipo son: compresor, evaporador, condensador y el dispositivo de control de flujo. Las partes que componen un sistema de refrigeración por compresión de vapor son:

Compresor: Es el elemento principal de la instalación tiene como actividad la compresión del fluido frigorígeno gaseoso a baja presión que procede del evaporador, disminuyendo su volumen y aumentando su temperatura, hasta una presión superior para que pueda ser condensado. Los compresores pueden ser de pistón, rotativos o centrífugos. En el aire acondicionado los compresores de mayor uso son los de pistón y rotativos. Tanto los compresores de pistón como los rotativos están accionados por motores eléctricos.

Evaporador: Tiene la función de sustraer el calor sensible y latente del aire aspirado, y consiste en un intercambiador de calor entre el fluido frigorífico y el aire.

Condensador: El condensador es un cambiador de calor dispuesto para pasar al estado líquido un refrigerante gaseoso comprimido por cesión de calor a un medio distinto del fluido circulado; es decir en lugar de absorber calor del aire ambiente, lo dispersa en la atmósfera que lo rodea. Existen tres tipos de condensadores: el condensador enfriado por agua, el condensador enfriado por aire y el condensado evaporativo.

Dispositivos para control de flujo: El dispositivo de restricción de flujo que provoca la caída de presión del refrigerante regula también el flujo del mismo de acuerdo con la carga. Algunos de los dispositivos con los que cuenta son: el tubo capilar, la válvula termostática de expansión y la válvula de flotador en el lado de baja.

Controles de seguridad: Todos los sistemas de refrigeración incorporan varios dispositivos de control de seguridad, para proteger el equipo, estos se deben determinar para cada sistema y para cada caso de acuerdo con las necesidades.

**Sistemas de Refrigeración por Absorción.** Se usan con frecuencia en grandes sistemas de acondicionamiento de aire. La ausencia de un compresor tiene por lo general las siguientes ventajas de una menor vibración, ruido y peso, con respecto a las máquinas de vapor. Los componentes de estas maquinas son el evaporador, absorbedor, concentrador, condensador y las bombas de solución.

**La Bomba de Calor.** Cuando se aprovecha el calor que sale del condensador para satisfacer una carga de calefacción la máquina se transforma en una bomba de calor, el efecto de refrigeración se sigue teniendo, puede o no usarse, dependiendo de las necesidades.

#### **1.3.5.4- Sistema de Calefacción**

Este sistema se utiliza cuando la temperatura baja, esta disminución se da por dos motivos: la transferencia de calor desde el aire caliente del interior hasta el aire frío del exterior a través de paredes, ventanas y demás partes de la construcción y las fugas de aire frío a través de las aberturas del edificio es decir, la infiltración. Es por ello que se deben analizar los diferentes sistemas de calefacción para con ello poder diseñar de la mejor manera nuestro sistema de acondicionamiento de aire. Hoy en día existen dos tipos de sistemas de calefacción: los sistemas de vapor y los sistemas de agua caliente.

#### **1.3.6- Equipo de Bombeo**

Un equipo de bombeo es un transformador de energía, recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad. Existen tres clases de bombas actualmente de uso común la centrífuga, rotatoria y reciprocante, estos términos se aplican solamente a la mecánica del movimiento de líquidos y no al servicio para el que se ha diseñado. Se hablará en forma más detallada sobre las bombas centrífuga debido a que son las que se usan casi invariablemente en el suministro de agua para construcciones comerciales.

##### **1.3.6.1- Bombas Centrífugas**

Dentro de las bombas centrífugas usadas en edificios del tipo comercial las más utilizadas son las que cuentan con aditamentos normales y de uso general, estas pueden ser horizontales o verticales. Este tipo de bomba está construida generalmente para manejar líquidos frescos y limpios a temperaturas ambiente o moderadas.

### 1.3.6.2- Motores para Bombas

Actualmente las bombas son accionadas por motores eléctricos pero también se usan turbinas de vapor, de gas e hidráulicas y motores de gasolina, diesel y gas. Los medios para la transmisión de potencia del motor a la bomba incluyen coples flexibles, engranes, bandas planas, cadenas, así como acoplamientos hidráulicos y magnéticos. Para aplicaciones estacionarias, el medio más común para mover las bombas son los motores de corriente alterna (c.a) cuando existe alguna razón para no usar este tipo de motores, se usan de corriente continua (c.c).

**Motores de Corriente Alterna.** Este tipo de motor ofrece cuatro ventajas: (1) control de velocidad con variaciones de hasta del 50% de la plena carga a 40% del caballaje normal, (2) alto par de arranque, (3) alta disipación de calor en el reóstato de un arranque lo que permite grandes pérdidas por deslizamiento durante el arranque sin que el motor peligre, (4) cargas del tipo amortiguada por la operación de alto deslizamiento. Los motores síncronos son unidades de doble propósito: son un medio eficiente para mover las bombas y al mismo tiempo suministran un modo práctico para mejorar el factor de potencia.

**Motores de Corriente Continua.** Presentan la ventaja de fácil ajuste en su velocidad y control efectivo y simple de par, así como la de su aceleración y si desaceleración. Muchas bombas centrífugas operan a 1800 o 3600 [rpm]; ambas velocidades representan valores de equipo síncrono de (c.a). Con motores de (c.a) puede obtenerse cualquier valor intermedio, mayor o menor de velocidad si se usan controles adecuados.

### 1.3.7- Contactos

Existe un gran número de aparatos tanto en el hogar, en la industria así como en el comercio que son del tipo portátil, como por ejemplo de lámparas de mesa, tostadores, radios, computadoras, impresoras, etc., estos aparatos son conectados a la red por medio de “contactos” o “tomas de corriente”. El contacto es una componente diseñada para acomodar una clavija para entregar potencia a algún dispositivo eléctrico.

#### 1.3.7.1- Tipos de Contactos

Los diferentes modelos de contactos se distinguen por el número de órganos de contactos aislados entre sí. Por lo tanto tenemos contactos sencillos, dobles o triples. Aunque el contacto de dos terminales ha sido durante mucho tiempo el tipo más usado, poco a poco se ha ido sustituyendo por el de tres terminales, que permite la conexión a tierra. Aunque ésta es una clasificación muy común, existen diferentes tipos de contactos los cuales se aplican dependiendo de las necesidades a cubrir; estos tipos de contactos son:

**Contacto a Prueba de Explosión.** La clavija y contacto están diseñados de tal modo que se pueda retirar sólo una parte de clavija, lo que rompe el circuito; si se forma un arco, hará explotar la pequeña cantidad de vapor en el interior. Esto toma lugar durante el breve periodo de tiempo que se necesita para darle la vuelta a la clavija antes de retirarla.

**Contactos de Alambre Dividido.** Formado por dos tornillos terminales para alambrado de tierra, comunes a ambas mitades, pero dos tornillos separados para los alambres vivos no comunes a ambas mitades. Este contacto es usado en forma común para pequeños aparatos de 20 [A].

**Contacto Trabado.** Estos contactos se pueden trabar al darles la media vuelta en el sentido de las manecillas del reloj después de insertarlos, y no se pueden remover sin primero darles la vuelta en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

**Contacto Aterrizado.** Este contacto tiene dos ranuras paralelas para dos lengüetas de una clavija, más una tercera abertura redonda o en forma de U para una tercera lengüeta sobre la clavija correspondiente. El uso, de la tercera lengüeta es el de conectar a un alambre de aterrizaje separado en el cordón, conectado a un marco de un motor o de un aparato.

**Contacto Soporte para Reloj.** Para un reloj de pared se usan este tipo de contactos, la toma soporta al reloj. Se corta el cordón del reloj unas pulgadas; el cordón y la clavija estarán completamente ocultas detrás del reloj. Esta toma de colgador puede instalarse ya sea sobre un circuito de iluminación o sobre el circuito de 20 [A] para pequeños aparatos.

**Contactos para Alambre de Aluminio.** El problema al usar alambre de aluminio reside en las conexiones del alambre a las terminales o conectores, cuando el aluminio se calienta se expande mucho más rápido que el cobre; por eso si un alambre de aluminio está abrazado en el conector o tornillo de la terminal de cobre, el calor de la corriente causa que el aluminio se expanda, lo que provoca que al enfriarse se salga del conector de ahí el uso de este tipo especial de contactos para con ello evitar estos problemas.

**Contactos de Parrilla.** Este contacto tiene una abertura en forma de (L) para el neutral, tiene una capacidad de 30[A] 125/250 [v] y se usa principalmente para las secadoras de ropa. Los contactos y clavijas están diseñados de tal modo que una clavija que quepa en una caja en particular no encajará en un contacto de capacidad más alta o más baja, con una excepción: una clavija que encaje en un contacto de 125 [v] y 15[A] cabrá también en uno de 125 [v] y 20 [A], pero una clavija hecha especialmente para un contacto de 125 [v] y 20 [A], no cabrá sobre el contacto de 125 [v] 15[A].

**Contactos para Intemperie.** Dichos contactos pueden ser de cualquier tipo los cuales se encontrarán a más de 5 1/2 pies sobre el nivel del piso, o se encuentran dentro de un gabinete o forman parte de un aparato de un accesorio de iluminación.

### **1.3.8- Equipo de Procesamiento de Datos**

Las instalaciones para el procesamiento de datos también pueden ser consideradas como necesidades continuas de un suministro de potencia de alta calidad con la flexibilidad para modificar fácilmente las cargas o ubicación del equipo o ambas. La continuidad es de primordial importancia para con ello evitar la pérdida de información almacenada en las unidades de memoria, en estos dispositivos se usan los denominados UPS (Uninterruptible Power System) los cuales serán explicados en el capítulo III. Un sistema para el procesamiento de datos consiste de un equipo terminal, un cable de distribución local, equipo de transmisión, y un equipo central de datos.



Un sistema de datos también se puede considerar como la unión de computadoras seleccionadas para accionar los dispositivos existentes sin ningún equipo central. Las redes de datos usan terminales, las terminales pueden ser estaciones de trabajo, computadoras personales, unidades expositoras de video, impresoras, etc. Los componentes dentro de todo sistema utilizado en el procesamiento de datos son:

**Terminales de Datos.** Las terminales, las computadoras personales y las estaciones de trabajo varían dentro de un rango de valores, así que sus necesidades de alimentación van de 40 [w] a unos cientos de estos, el rango más frecuente se presenta entre 100-300 [w]. Un número especial de terminales incluyendo proyectores de video, sistemas de monitoreo, monitores en red, etc., así como las impresoras pueden ser partes de un sistema de datos. La carga que proporcionan estos dispositivos es analizada en el capítulo II.

**Sistema de Cables y Estructuras de Soporte.** Las terminales de datos son conectados vía un cable de comunicación, este cable puede ser un cable de par trenzado, un par de cable trenzado con aislante, cable coaxial, o un cable de fibra óptica. Los sistemas de cables para una red local de redes pueden tener una tipología distinta a la de los sistemas de teléfono. Las clases de tipología de los sistemas de cable incluyen bus, estrella, anillo. Estas tipologías se asemejan a sus nombres. Una tipología bus conecta puntos a lo largo de una línea. Una estrella conecta puntos a una estación central, una tipología de anillo conecta puntos sobre una línea cerrada.

**Centros de Datos.** Los centros de datos, mejor conocidos como centros de cómputo, son el eje del almacenamiento de datos y sistemas de procesamiento. Existen tres clases de conexiones exteriores. La primera es para las terminales de datos ubicadas dentro del mismo edificio o en la misma zona que el centro de datos, la segunda es para terminales separadas vía la red de telecomunicaciones pública, la última conexión es para otros usos vía radio punto-punto (microondas o satélite).

### **1.3.9- Cargas Especiales**

Existen muchas cargas que pudieran aparecer en alguna nueva construcción del tipo comercial. Estas cargas adicionales generalmente son pequeñas (pero pueden llegar a ser grandes dependiendo de la magnitud de la construcción). Estas cargas pueden ser mejor clasificadas como “misceláneas” o “cargas especiales”.

#### **1.3.9.1- Sistema de Alarma contra Incendio**

Idealmente, los sistemas de alarma contra incendio para construcciones del tipo comercial como son los (CC), deben proporcionar una detección rápida, ubicar el lugar exacto de inicio del fuego, contar con un sistema automático de control de aire acondicionado, elevadores, además de otros sistemas que son necesarios para hacerla segura para sus ocupantes. Los dispositivos con los que cuenta este tipo de sistemas son: detectores de humo y calor, estaciones manuales de tiro, interruptores para el fluido de agua, y otros sistemas de supresión de fuego. Estos dispositivos son usualmente colocados por zona y monitoreados por un panel de control. El panel de control opera numerosos dispositivos incluyendo alarmas, puertas de seguridad, elevadores de emergencia y sistemas de control de humo.

### 1.3.9.2- Bombas contra Incendio

Las bombas contra incendios se emplean para complementar la aportación de los sistemas de conducción públicos, depósitos de gravedad, embalses.

Las primeras bombas modernas de incendios eran al mismo tiempo aspirantes e impelentes, de rueda y manivela, movidas por una correa de transmisión conectada a algún tipo de maquinaria. Al introducirse el uso de rociadores automáticos, se necesitó al mismo tiempo mejorar el sistema de suministro de agua y el tipo de bomba antes descrita fue sustituida por las bombas rotativas de desplazamiento movidas por una transmisión por fricción de ruedas hidráulicas horizontales que suministran energía a la planta. Hoy en día la bomba contra incendios más usada es la centrífuga. Una característica destacable de las bombas centrífugas, verticales u horizontales, es la relación entre el caudal y la presión (altura de impulsión) a la velocidad constante, en el sentido de que al aumentar la presión se reduce el caudal.

Las bombas centrífugas contra incendios se construyen en seis tamaños normales –31.6, 47.3, 63.1, 94.7, 126.2, y 157.8 [lps]-. Cuando una bomba contra incendios se mueve con motor de velocidad constante, habrá que elegir una unidad con una curva HQ (curva de capacidad de columna, la cual muestra la relación entre la capacidad de columna total, que puede ser creciente, decreciente, con gran inclinación o casi horizontal, dependiendo del tipo de impulsor usado) pronunciada. Por otro lado se debe elegir una bomba con una curva plana HQ cuando la unidad tiene un motor de velocidad variable o se desea presión constante a cualquier gasto. La bomba contra incendios promedio tiene generalmente una curva HQ intermedia entre la pronunciada y la plana. A 65 por ciento de su presión normal, la bomba deberá entregar no menos de 150 por ciento de la capacidad normal. La eficiencia de la bomba a la presión normal de descarga debe ser de 55 a 75 por ciento dependiendo de la capacidad normal y de la presión de descarga neta. Si es posible, el agua debe suministrarse a la succión de la bomba bajo una columna positiva; cuando es necesaria una elevación de succión, esta no debe exceder de 4.5 [m.].

**Principio de Operación.** Los dos componentes principales de las bomba centrífugas son el disco llamado impulsor o rodete y la envuelta o caja dentro de la que gira. El principio del funcionamiento es la conversión de la energía cinética en energía de velocidad y de presión. La energía del motor (eléctrico, de combustión interna o turbina de vapor) se transmite directamente al eje, haciendo girar al rodete a gran velocidad. Los pasos de la conversión de energía varían según el tipo de bomba. Los tres tipos principales son: radial, de flujo mixto y de flujo axial.

La bomba centrífuga con difusor de caracol, de doble aspiración, de una sola etapa y eje horizontal es el tipo más empleado para el servicio de protección contra incendios. En estas bombas, el flujo de agua tras entrar por el orificio de aspiración y pasar al interior de la caja se divide y entra por ambos lados del rodete a través de una abertura llamada oído de la bomba. La rotación del rodete conduce el agua por fuerza centrífuga desde el oído hacia el borde y a través del caracol hasta el orificio de descarga. La energía cinética adquirida por el agua en su paso a través del rodete se convierte en energía de presión por la reducción gradual de la velocidad en el interior del caracol. La explicación sobre sus capacidades, potencia será tratado en el siguiente capítulo.

### 1.3.9.2 Sistema de Seguridad

Son dispositivos eléctricos y electrónicos que proveen monitoreo y seguridad, son usados principalmente para detectar instrumentos pasivos. La introducción de estos dispositivos se da para monitorear la seguridad de los diferentes productos dentro del establecimiento en áreas donde existe un alto riesgo de robo, tales como las tiendas de discos, en las de aparatos electrónicos etc., así como el proteger a los empleados en salidas que no necesiten ser monitoreadas.

Estos sistemas utilizan un gran variedad de dispositivos para proteger a personal y público en general, estos dispositivos son: cámaras de video, detectores de movimiento, interruptores magnéticos, detectores de metal, sensores infrarrojos, transductores de presión, etc., son generalmente conectados a un sistema central de control, el sistema enciende alarmas locales y transmite señales para ser escuchadas en las zonas de monitoreo. Los componentes de los accesos de control, tales como, cerraduras eléctricas, puertas automáticas, lectores de tarjetas, entradas de estacionamientos, etc., son frecuentemente interconectados a una unidad central.

### 1.3.9.3-Sistema de Comunicaciones (Teléfonos)

Un sistema completo para servicios telefónicos en una construcción incluye el cubrir las necesidades para la entrada de cables, el cuarto de la terminal central, el sistema de distribución de cables para cada piso, las terminales de distribución para los cables, y la estación de cableado. Una consideración especial debe ser dada a construcciones que requieren líneas privadas, o grandes instalaciones de teléfonos públicos.

***Entradas de Cables.*** Ésta es la parte por la cual los cables de la compañía telefónica llegan a la propiedad.

***Cuarto de la Terminal Central.*** Es el corazón del sistema de comunicaciones en cualquier construcción que cuente con este servicio, es el principal punto de interconexión entre la oficina central de la compañía telefónica y el sistema de cables elevados. La entrada del cable usualmente se dirige directamente al cuarto de la terminal central para después ser distribuido en la construcción.

***Sistemas Elevados.*** El sistema elevado es la columna vertical para la red telefónica en un edificio comercial, proporciona la facilidad para llevar los cables del cuarto de la terminal central a los diferentes pisos de la construcción.

### 1.3.9.4-Sistema de Audio

Estos sistemas son caracterizados por la presencia de señales eléctricas analógicas, que frecuentemente imitan la voz humana, actualmente son usados tres niveles de energía. Señales de bajo nivel para micrófonos y fonógrafos de cristal son señales en las cuales las variaciones en la amplitud de la señal son expresadas en volts, la extensión de los conductores de bajo nivel debe ser corta y los conductores con aislamiento son los generalmente utilizados. Las señales de nivel medio han sido preamplificadas. Estas señales encuentran entre varios equipos de procesamiento de audio.

Las señales de alto nivel para el manejo de hablantes, estas líneas tiene una potencia de algunos cientos de watts. Los sistemas de audio están compuestos por dispositivos de salida, entrada y de procesamiento de señales, la entrada puede ser un micrófono. El procesamiento de señales incluye amplificación, filtrado, control de ganancia, análisis espectral y almacenamiento, la salida es generalmente a hablantes.

### **1.3.9.5- Sistema de Vídeo**

Estos sistemas son caracterizados por imágenes ya sea en dos o tres dimensiones. El sistema más común es el que esta basado en video y señales de banda ancha para televisión, estas señales generalmente son llevadas por medio de un cable coaxial con una impedancia especial característica. Los sistemas de video incluyen televisión de circuito cerrado, análisis de la seguridad y despliegue de información. Los sistemas de seguridad y de información son generalmente sistemas de blanco-negro. Los sistemas de televisión de circuito cerrado pueden ser blanco-negro o de color. Los sistemas de video emplean interruptores, amplificadores, y varios equipos de grabación. Un sistema de seguridad de video requiere potencia, cableado para las señales, cámaras.

## **1.4- Estimación de las Carga**

En este apartado se sugerirá un método para determinar tanto las cargas individuales como las cargas totales conectadas a la instalación eléctrica. Es prácticamente imposible conocer con exactitud la carga de una instalación compleja. En la etapa de anteproyecto se empieza con una estimación que permita realizar una evaluación presupuestal aproximada. Sin embargo, se puede hacer un cálculo detallado con la información completa de todos los equipos que serán conectados y obtener un valor más preciso de la carga.

La estimación de la carga es una labor que requiere de técnica, pero también de criterio para definir los preparativos que deben dejarse para el futuro, así como la influencia de los posibles ciclos de operación. Una reserva excesiva representará una inversión que tal vez nunca se utilice; por el contrario, reservas escasas pueden provocar un problema a mediano plazo. Por esta razón es recomendable estudiar varias opciones. Para determinar la carga dentro de la instalación se debe llevar acabo una *tabulación de la carga*.

### **1.4.1- Tabulación de la Carga**

La tabulación de las carga proporciona la oportunidad para identificar la carga en nuestra instalación a causa de la utilización del equipo y los niveles de voltaje en los cuales estos pueden ser accionados. La tabulación de la carga permite definir la continuidad de operación que sea necesaria para la instalación (por ejemplo para seguridad y comodidad del publico tales como pasillos, salidas de emergencia, bombas contra incendios, funcionamiento correcto de elevadores, etc).

En suma, la tabulación identifica aquellas cargas que pueden ser consideradas como cargas poco relevantes durante la operación de emergencia o para minimizar el consumo de energía o picos de energía demandada.

La tabulación además proporciona la identificación de equipo con funciones específicas (por ejemplo, computadoras, o circuitos de iluminación específicos, etc., los cuales necesitan requerimientos especiales, tales como alta rentabilidad o continuidad de alimentación, bajos niveles de ruido, entre otros). Estas características de la carga necesitan ser identificadas lo más pronto posible dentro del proyecto ya que estos tal vez utilicen instrumentos de distribución de potencial especiales.

Para realizar una tabulación correcta de las diferentes cargas la **tabla 1.4** debe ocuparse, ya que es de gran ayuda. Por ultimo la tabulación de las cargas se debe realizar cuando se consideren expansiones futuras a nuestra instalación y con ello conocer cuales cargas pueden ser removidas y cuales pueden ser anexadas.

Descripción de la Carga	Requerimientos Eléctricos					Tiempo de Operación
	Voltaje [v]	KW	HP	Fases	Frecuencia	

Tabla 1.4 Requerimientos para las Cargas Conectadas

### 1.4.2- Consideraciones de la Carga

Si todas las cargas conectadas en la construcción son sumadas aritméticamente (esto es, todas expresadas en [HP], [KW], [KVA], dentro de un voltaje especificado) para identificar la carga total de la construcción, la cantidad resultante mostrará la capacidad que deberá tener el sistema de potencia para poder servir adecuadamente a todas las cargas. La carga promedio en el sistema de potencia es menor que la carga total conectada, este termino es conocido como “demanda”. Esta tal vez varíe dependiendo del intervalo de tiempo sobre el cual la carga fue promediada. Las cargas permanentes a veces llegan a ser operadas en niveles de potencia reducidos, bajando con ello las necesidades del sistema (carga total), este efecto es denominado “diversidad” mejor conocido como factor de diversidad. El valor de la demanda o diversidad es altamente dependiente de la ubicación de las cargas. Una gran diversidad influye al sumar o totalizar las cargas. Las siguientes definiciones son comúnmente usadas para poder totalizar las cargas y facilitar la planeación del sistema, tales definiciones fueron obtenidas de IEEE Std 100-1988, IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms, cuarta edición (ANSI).

***Demanda.*** Es la carga conectada en las terminales receptoras de la instalación promediada sobre un intervalo de tiempo específico. La demanda es expresada en kilowatts [KW], amperes [A], kilovoltamperes [KVA]. El intervalo de tiempo es generalmente 15, 30 o 60 minutos.

***Demanda Coincidente.*** Alguna demanda que ocurre simultáneamente con alguna otra.

***Demanda Máxima (Pmax).*** Es la carga o potencia máxima que podría ocurrir en una instalación promediada sobre un intervalo de tiempo. La demanda es expresada en kilowatts [KWA], kilovoltamperes [KVA], kilovars [KVAR], amperes [A] u otras unidades sustituibles. Para fines de facturación, la demanda máxima es la carga máxima que subsiste durante 15 minutos en el lapso de un mes.

***Factor de Demanda.*** Es la relación de la demanda promedio entre la máxima potencia horaria (demanda pico) registrada en el periodo de tiempo analizado.

***Carga Instalada (Pinst).*** Es la sumatoria de los consumos nominales en watts [w], kilowatts [KW] o HP de cada elemento consumidor según sus datos de placa.

***Factor de Carga (fc).*** Es el cociente de la potencia o demanda máxima entre la potencia (carga instalada). Resulta muy difícil definir con precisión el factor de carga por que se desconoce la capacidad exacta que los equipos demandarán de los motores eléctricos que los mueven, ya que por lo general la capacidad de los motores es mayor que la necesaria para operar los equipos.

***Perfil de Carga.*** Es la representación gráfica de la demanda, usualmente sobre una base horaria, para un día en particular. La demanda de carga para grupos típicos como alumbrado, calefacción, etc., son acumulados para determinar la demanda del sistema; el más alto punto del perfil de carga será la máxima demanda del sistema.

### **1.4.3- Metodología para Estimar la Carga**

Se sugiere el siguiente procedimiento para poder tener una aproximación de la demanda o carga total dentro de un (CC), dicho procedimiento es resumido en los siguientes pasos:

- 1.- Determinar el número de unidades de carga y la potencia requerida para cada una.
- 2.- Determinar el factor de demanda (fd) de la carga o grupo de cargas.
- 3.- Determinar la demanda para condiciones de operación actuales y futuras, esto es el producto de la carga conectada y el factor de demanda. Estimar el factor de potencia (cantidad decimal) de cada una de las cargas.
  - a) Estimar el factor de potencia para cada carga de manera individual tomando en cuenta su operación a valor nominal. Las distintas cargas divididas entre su respectivo factor de potencia determinaran la capacidad que debe tener la fuente de alimentación en KVA.

4.- Contabilizar la demanda bruta del edificio, la cual es igual a la suma de todas las demandas de cargas individuales o de grupo.

5.- Determinar el factor de diversidad del sistema ya sea por estimación o referencia de proyectos similares o por medio de la norma.

6.- Estimar la capacidad de reserva para ser proporcionada a algún crecimiento de la carga así como identificar futuras cargas, tales como procesamiento de datos, servicio de alimentos, aire acondicionado etc.

7.- Determinar la capacidad requerida para los pasos (4), (5) y (6). Cuando es usado el perfil de carga, el paso (5) puede ser eliminado.

8.- Seleccionar un sistema con capacidad, el cual satisfaga las necesidades la capacidad requerida determinada en el paso (7).

#### 1.4.4- Ejemplo de Estimación de la Carga

En el montaje de cualquier instalación eléctrica se debe estimar la carga conectada y los periodos probables durante los cuales todos o una parte de los aparatos estarán consumiendo energía.

Considerando un Centro Comercial cuyo volumen de construcción es de 223,356 [m<sup>3</sup>] y la superficie total de los pisos es de 52,273 [m<sup>2</sup>]. Las cargas conectadas para esta instalación son las siguientes:

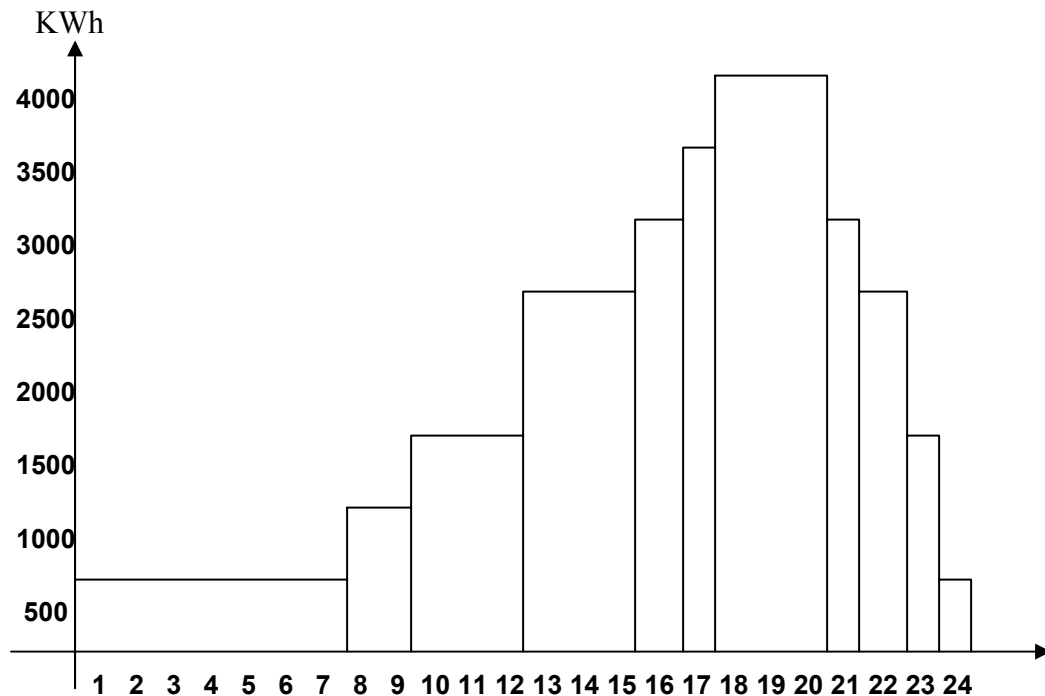
Carga por concepto de motores y alumbrado	
Ascensores	780 KW
Aire Acondicionado.	1730 KW
Bombas	90 KW
Calefacción	30 KW
Carga Total por Motores Sí la eficiencia es de 0.8	2630 KW
Carga por Motores	1676 KW
Carga por Alumbrado	1676 KW
Carga Total Motores + Alumbrado	3938 KW

Fuente: MERRICK GAY Charles, Instalaciones en los edificios, 6a Edic.

1.- Como primer paso se realizará un conteo del número de unidades instaladas, así como el conocer sus necesidades de voltaje, corriente, frecuencia, número de fases etc.

Carga	[V]	[A]	[KW]	HP	[Hz]	Fases
Aire Acondicionado	220	5341	1730	2319	60	3
Ascensores y Escaleras	220	2408	780	1046	60	3
Bombas	220	278	90	121	60	3
Calefacción	220	93	30	40	60	3
Alumbrado	127	8964	1676	-	60	1

2.- En este punto se determinará el factor de demanda (fd), tomando en cuenta que en nuestra instalación tiene el siguiente perfil de carga.



Fuente: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

A partir de nuestro perfil de carga se puede determinar la energía resultante de la instalación la cual se obtiene sumando las demandas a lo largo del periodo de tiempo considerado, en este caso 24 horas.

$$E_{\text{RESULTANTE}} = 43,000 \text{ [KWh]}.$$



Con este valor se calcula la potencia promedio consumida por la instalación, la cual es igual a:

$$P_{\text{promedio}} = \frac{E_{\text{RESULTANTE}}}{\text{Horas}} = \frac{43,000}{24} = 1792 \text{ [KW]}$$

Por lo tanto el factor de demanda (fd) es:

$$\text{fd} = \frac{P_{\text{promedio}}}{\text{Demanda pico}} * 100 = \frac{1792}{3938} * 100 = 45.5 \%$$

La demanda pico, es la demanda máxima registrada en una hora.

3.- En este punto se determinará la demanda para condiciones de operaciones actuales y futuras, dicho cálculo se realiza de la siguiente manera: demanda para condiciones actuales y futuras = Carga total conectada \* fd = 3938 [KW] \* 0.45 = 1706 [KW].

El paso (4) se realizó intrínsecamente durante el desarrollo de los otros puntos, ya que la contabilización de todas las carga se llevó a cabo al presentarse los datos del problema. Como se utilizo el perfil de carga el paso (5) no se realiza y por lo que respecta al paso (6) no se consideran crecimientos futuros dentro de nuestra instalación por lo tanto no es necesario determinar la capacidad de reserva.

## CAPITULO 2. CÁLCULO DE LAS CARGAS

En el montaje de cualquier instalación eléctrica es preciso estimar la carga conectada y los períodos probables durante los cuales todos o una parte de los aparatos estarán consumiendo energía. **La carga conectada** es toda la carga efectiva conectada y lista para funcionar. Es la suma de los números de kilowatts [KW] de toda la instalación, suponiendo que todas las lámparas y aparatos funcionan con las potencias asignadas. **La carga operante** es la parte de la carga que está funcionando en un momento cualquiera del día. La máxima demanda es el valor máximo de la carga operante, correspondiente a todos los aparatos que funcionan simultáneamente, cuando la suma de las cargas es máxima.

### 2.1- Alumbrado Interior

Las lámparas con todos sus accesorios, se colocan en los interiores con dos finalidades principales: en primer lugar, para hacer visibles los objetos y en segundo lugar para obtener efectos agradables y decorativos. Para llevar a cabo un buen diseño del alumbrado se deben tomar en cuenta dos tipos de factores para el diseño y otro tipo de factores denominados de verificación para corroborar que el diseño se realizó de manera adecuada los primeros son explicados a continuación.

#### 2.1.1- Factores de Desempeño

Como por lo general las lámparas se instalan dentro de las luminarias, el flujo luminoso final que se presenta es menor que el irradiado por la lámpara debido a la absorción, reflexión y transmisión de la luz por los materiales de que están contruidos, es por ello que es importante definir los siguientes conceptos para tener una visión más detallada de la instalación de alumbrado.

**Eficiencia de la Luminaria (N).** Es la relación del flujo luminoso emitido por una luminaria, medido bajo condiciones prácticas especificadas. Este valor lo indican normalmente los fabricantes de las luminarias.

**Eficiencia del Local (NR).** Está dado por tablas contenidas en el catalogo de fabricantes, en donde se relacionan los valores del coeficiente de reflexión del techo, paredes y piso, con una curva de distribución luminosa de la luminaria usada y un índice local.

**Índice Local (K).** El índice del local es una relación entre las dimensiones del local, las cuales son mostradas en la **figura 2.1** y cuyo valor se obtienen con las siguientes expresiones:

$$K = \frac{a * b}{H (a + b)} \quad ; \text{ Para iluminación directa.}$$

$$K = \frac{3 * a * b}{2H' (a + b)} \quad ; \text{ Para iluminación indirecta.}$$

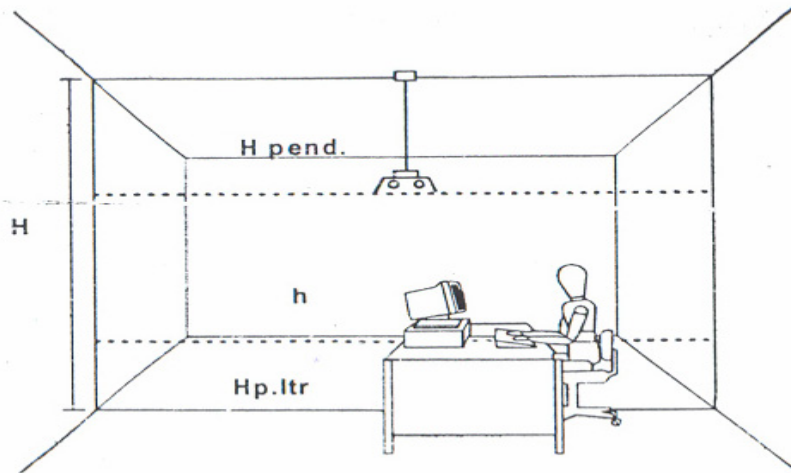


Figura 2.1 Índice Local

Donde:

a = Ancho del local.

b = Largo del local.

H = Plano base útil o altura de las luminarias sobre el plano de trabajo.

H' = Distancia del techo al plano de trabajo.

**Factor de Utilización (FU).** El flujo luminoso final que incide sobre el plano de trabajo, está avalado por el factor de utilización, éste indica, por lo tanto, la eficiencia luminosa del conjunto lámpara, luminaria y local. El producto de la eficiencia del local ( $\eta_R$ ) por la eficiencia de la luminaria ( $\eta_L$ ) da el valor del factor de utilización (FU). Este proceso se evita si se tiene una tabla de factor de utilización que también es proporcionada por el catálogo del fabricante. Esta tabla es el valor de la eficiencia del local ya multiplicado por la eficiencia de la luminaria, que se encuentra por la intersección del índice de local (K) y de las reflectancias de techo, paredes y piso, en este orden.

$$FU = \eta_L * \eta_R$$

**Eficiencia del Local.** Una vez que se calcula el índice del local (K), se selecciona la indicación de la curva de distribución luminosa que más se asemeja a la luminaria a ser utilizada, en la intersección de la columna de reflectancias y la fila de índice del local, se encuentra el valor de eficiencia del local ( $\eta_R$ ).

### 2.1.2- Factores de Calidad

Los siguientes términos comprenden los denominados factores de calidad, los cuales son de mucha importancia en el diseño de todo alumbrado de interiores.

**Nivel de Iluminación Adecuado.** Este valor se determina por medio de la **tabla 2.1**. Se debe considerar también que con el tiempo y el uso se reduce el flujo luminoso de la lámpara tanto por el desgaste como por la acumulación de suciedad en la luminaria.

Por lo anterior, cuando se calcula el número de luminarias, se establece un factor de depreciación (Fd), el cual elevando un número previsto de luminarias, evita que con el desgaste el valor de iluminación adquiera valores abajo del mínimo recomendado.

**Proporción Armoniosa entre Luminarios.** Las diferencias acentuadas entre las luminancias de distintos planos, producen fatiga visual, debido al trabajo excesivo para acomodar la vista al pasar por variaciones bruscas; para evitar esta falta de confort se recomienda que las luminancias del piso, paredes y techo se armonicen en una proporción de 1:2:3 y que en el caso de una misma mesa de trabajo, la luminancia en ésta no sea inferior a 1/3 del objeto observado, tales como libros, etc.

**Reproducción de Colores.** El color de un objeto está determinado por la reflexión de parte del espectro de luz que incide sobre el mismo, esto significa que una buena reproducción de colores está directamente ligada a la calidad de la luz incidente, o sea, a la distribución equilibrada de las ondas constituyentes de su espectro.

**Tonalidad del Color de la Luz y Temperatura de Color.** La tonalidad del color es uno de los requisitos para el confort visual y la utilización de la iluminación. La temperatura de color se mide en grados Kelvin [°K]. La temperatura de color de una fuente luminosa es una indicación del color de la luz que produce y no tiene nada que ver con la verdadera temperatura de la fuente productora, teniendo en cuenta además que en muchos casos la luz es producida por fluorescencia y no por incandescencia. Por lo tanto la temperatura de color es la temperatura a la cual el cuerpo negro debe calentarse para que emita una luz cuyo color se aproxime a la de la fuente luminosa.

### 2.1.3- Factores de Verificación

Para proporcionar un buen nivel de iluminación se requiere de un cierto número de lámparas y luminarias, pero también es necesario determinar la potencia instalada para así poder determinar los costos de la energía y de esta manera hacer un estudio de rentabilidad para los distintos proyectos que se presenten. El valor de potencia por cada metro cuadrado [m<sup>2</sup>] es un índice ampliamente conocido y cuando se calcula correctamente es un indicador de proyectos de alumbrado, por lo tanto, se debe calcular inicialmente la potencia total instalada.

**Potencia Instalada Total.** Es la sumatoria de potencia de todos los aparatos instalados para iluminación, se trata de la potencia de una lámpara multiplicada por la cantidad de unidades utilizadas ( $\kappa$ ) y sumada a la potencia consumida de todos los balastos, transformadores y/o ignitores; por lo que se deben tener datos orientados referentes a las pérdidas de los equipos auxiliares en [w]. La potencia instalada se calcula de la siguiente forma:

$$P_t = \frac{\kappa * W}{1000}$$

W = Es la potencia consumida por el grupo (lámparas + accesorios)

**Densidad de Potencia (D).** Es la potencia instalada en watts [w] por cada metro cuadrado de superficie. Esta cantidad resulta muy útil para cálculos futuros del dimensionamiento del sistema de aire acondicionado, o bien para los proyectos eléctricos de una instalación.

$$D = \frac{P_t * 1000}{\text{Area}}$$

**Evaluación de Costos.** Un proyecto de alumbrado se considera completo cuando se toma en consideración el cálculo de costos, que son:

Costos de inversión: Es la suma de los costos de adquisición de todos los equipos que componen el sistema de alumbrado, tales como lámparas, luminarias, balastos, transformadores, incluyendo la mano de obra de los técnicos y trabajadores.

Costos de operación: Es la suma de todos los costos que se presentan después de la instalación completa del sistema de iluminación, concentrados en los costos de mantenimiento de las condiciones de alumbrado. Un factor decisivo en el costo de operación es el costo de la energía eléctrica que corresponde a la potencia total instalada [ $P_t$ ] multiplicada por el número de horas de uso mensual y por el precio del kilowattthora [Kwh].

#### **2.1.4- Accesorios de Alumbrado**

Los accesorios para alumbrado son los dispositivos que nos ayudarán a propagar la luz de una manera eficiente y agradable dentro de la instalación eléctrica en todo (CC).

##### **2.1.4.1- Fuentes Luminosas**

Las fuentes luminosas tienen una serie de características en términos de eficacia [lm/w], color, dispositivos de arranque y paro, así como económicos. Las fuentes luminosas más utilizadas dentro de una instalación eléctrica en un CC son de los siguientes:

**Lámparas Incandescentes.** Se estima que una lámpara incandescente operando a su voltaje nominal tiene una vida media de alrededor de 1000 horas, su característica principal es su facilidad de utilización y bajo costo, ya que no requiere de ningún aparato auxiliar. El campo de empleo de las lámparas incandescentes, se encuentra principalmente en el alumbrado general y localizado en interiores (casas, oficinas, negocios, etc.)

**Lámparas de Descarga de Gas.** Este grupo de fuentes luminosas es muy amplio. Comprende las lámparas fluorescentes tubulares, las lámparas de vapor de mercurio o de sodio, así como los tubos usados para anuncios luminosos. Las lámparas de descarga requieren dispositivos externos para su encendido y estabilización de la descarga, el bajo factor de potencia y la necesidad de eliminar el efecto estroboscópico (parpadeo).

**Lámparas de Alta Intensidad de Descarga (HID).** Dentro de esta clase de lámparas se tiene a las lámparas de vapor de aditivos metálicos (metal halide), lámparas de sodio en alta y baja presión, lámparas de mercurio de alta presión. Una lámpara de descarga de alta intensidad de descarga es aquella que produce luz de un tubo de arco, contiene vapores metálicos y gaseosos, así como electrodos dentro del tubo, dentro de este se produce un arco entre los electrodos.

**Lámparas Fluorescentes Compactas (CFLs).** Las CFLs son sistemas de iluminación que constan de una lámpara (que incluye casi siempre un arrancador en la base), un portalámpara y un balastro. En muchos casos se incluye un adaptador que facilita la instalación. Actualmente existen tres sistemas diferentes:

- ▶ **Sistemas integrales:** Son conjuntos autobalastados de una sola pieza que contienen un adaptador, una lámpara y un balastro.
- ▶ **Sistemas modulares:** Son conjuntos autobalastados que contiene un adaptador del tipo incandescente, un balastro, un portalámparas y una lámpara reemplazable.
- ▶ **Sistemas dedicados:** Se componen de un balastro, un socket para lámpara fluorescente alambrados como parte de una luminaria para CFLs.

La CFLs en la mayoría de los casos pueden ser utilizadas en las áreas que fueron originalmente diseñados con lámparas incandescentes. Este tipo de lámparas producen de tres a cuatro veces más luz que las incandescentes de la misma potencia. Es importante mencionar que las CFLs, su mejor aplicación se da en la iluminación comercial. Las luminarias pueden incorporarse fácilmente a los diseños anteriores proporcionando ventajas estéticas y energéticas.

#### **2.1.4.2- Luminarias**

Las fuentes luminosas, están casi siempre asociadas a los aparatos de iluminación que son de distintas formas y materiales. Salvo en casos particulares de lámparas concebidas en forma especial, las fuentes luminosas se ponen en operación dentro de los aparatos de iluminación. Estos aparatos de iluminación o luminarias, sirven para dirigir, filtrar o transformar (en general controlar), la luz emitidas por las lámparas, comprenden todos los elementos necesarios para fijar y proteger mecánicamente las lámparas y para recibir el circuito de alimentación.

**Difusores.** Sirven para atenuar los efectos deslumbrantes de las fuentes luminosas. El difusor sustituye a la fuente luminosa primaria, constituida por la lámpara que tiene poca superficie radiante, y por lo tanto, elevada luminancia, por una fuente secundaria, constituida por el mismo difusor, de gran superficie radiante, y por consiguiente, de mucha menor luminancia que la lámpara. Para que un difusor sea eficaz, es necesario, que la luminancia de su superficie sea lo más uniforme posible. Los difusores empleados generalmente en alumbrado de interiores son esféricos.

**Reflectores.** Son aparatos que sirven para modificar la dirección de la luz. Lo que los caracteriza, es la situación del máximo de radiación luminosa, es decir el ángulo bajo el que se encuentra el valor máximo del flujo luminoso en la curva fotométrica del reflector.

Existen muchas clases de reflectores, hasta el punto de que resulta muy difícil hablar de todos ellos, pero los más usados son: reflectores de superficie difusa y reflectores que reflejan la luz de manera regular

**Refractores.** Un refractor está constituido por un aparato de cristal o vidrio compuesto de prismas anulares y destinado a orientar los rayos luminosos de acuerdo con las direcciones requeridas pero sin modificar el plano en el que dichos rayos se propagan. A este aparato de cristal, se añade algunas veces un aparato concéntrico y exterior al primero pero cuyas acanaladuras son verticales.

**Rejillas Difusoras.** Son dispositivos constituidos por un conjunto de tabique dispuestos en forma de rejillas; estos tabiques pueden ser opacos o difusores. El empleo de las rejillas difusoras con los aparatos reflectores hace disminuir el rendimiento de estos aparatos. El rendimiento de las luminarias provistas de rejilla difusora depende del número de lámparas utilizado en el equipo.

**Transformador.** Es en algunos casos, un equipo auxiliar cuya función es convertir la tensión de la red de alimentación u otro, un solo transformador puede alimentar más de una lámpara y se alimentan tantas lámparas como sea posible, siempre que la sumatoria de todas estas conectadas al transformador no rebasen la potencia máxima del mismo.

**Balastro.** Un balastro es un dispositivo que por medio de inductancias o resistencias solas o en combinación, limita la corriente de las lámparas al valor requerido para su operación correcta y también cuando es necesario suministra la tensión y corriente de arranque; en el caso de balastos para lámparas fluorescentes de encendido rápido, también se encarga de suministrar la tensión para calentamiento de cátodos.

El balastro en general tiene como funciones:

- 1) Proporcionar la tensión ó tensiones de encendido y operación de la lámpara.
- 2) Limitar la corriente de operación de la lámpara.
- 3) Corregir el factor de potencia (en los tipos de factor corregido y alto factor).
- 4) Amortiguar las variaciones de la tensión en la línea.
- 5) En los circuitos de encendido rápido (ER) proveer un calentamiento continuo a los filamentos de la lámpara.
- 6) Proporcionar la energía necesaria con una mínima distorsión de la corriente.

**Regulador o Dimmer.** Tiene como función variar la intensidad de la luz de acuerdo con las necesidades de la instalación. Los dimmers crean el ambiente correcto en cualquier habitación, además proveen el nivel adecuado de luz para cualquier tarea; es decir los dimmers sirven para crear un nivel de luz adecuado en una zona determinada.

### **2.1.5- Metodología de Diseño**

Una vez que se definen las cantidades usadas en los proyectos, se puede partir para la planeación de un sistema de iluminación. Un proyecto de iluminación se puede resumir:

- Selección de la lámpara y de la luminaria.
- Cálculo de la cantidad de luminarias.
- Arreglo de las luminarias en el local.
- Cálculo de la viabilidad económica.

El desarrollo de un proyecto exige una metodología para así establecer una secuencia lógica de cálculos. La metodología propuesta tiene los siguientes pasos y los cuales deben ser cumplidos independientemente del método seleccionado.

- 1.- Determinación de los objetivos de la iluminación.
- 2.- Efectuar un levantamiento de las dimensiones físicas del local, materiales usados, y características de la instalación eléctrica.
- 3.- Análisis de los factores que afectan la calidad de la iluminación.
- 4.- Cálculo de la iluminación general.
- 5.- Adecuación de los resultados del proyecto.
- 6.- Cálculo de verificación.
- 7.- Definición de los puntos de iluminación.
- 8.- Cálculo de la iluminación dirigida.
- 9.- Evaluación del consumo energético.
- 10.- Evaluación de costos.
- 11.- Cálculo de rentabilidad.

Esta metodología, como, se mencionó anteriormente es valida no importando el método utilizado en el diseño del sistema de alumbrado interior, es decir se aplica a cualquiera de los métodos aquí propuestos.

### **2.1.6- Métodos para Alumbrado Interior**

Los siguientes métodos son los usados para llevar acabo el diseño del alumbrado interior, ambos son eficientes y seguros al momento de ejecutarlos debido a que son los más eficientes a cuanto proporcionar los niveles de iluminación adecuados.

#### **2.1.6.1- Método del Flujo Total**

Para la aplicación de este método, se deben conocer o en su caso, determinar los siguientes elementos:

$E$  = Nivel de iluminación que se pretende obtener [luxes].

$\Phi$  = Flujo luminoso total emitido por la lámpara para obtener el nivel de iluminación deseado [lúmenes].



S = Superficie total del local por iluminar en [m<sup>2</sup>].

μ = Factor de utilización, depende del sistema de iluminación, de las características de la luminaria, del índice del local (K), del factor de reflexión del techo y de las paredes del local (dado en tablas o catálogos de fabricantes).

K = Índice de local, el cual toma en cuenta el largo, ancho y altura del local, las formulas para determinar este factor dependiendo del sistema de iluminación fueron ya mencionadas con anterioridad.

M = Factor de mantenimiento, tiene en consideración la reducción de las características fotométricas de las luminarias y el envejecimiento de las lámparas.

Por el método del flujo total, la formula base para el cálculo del flujo luminoso total para iluminar el local, tomando en cuenta los factores antes indicados es:

$$\Phi_T = \frac{E_S}{\mu * M}$$

Si se designa por [ $\Phi_L$ ] el flujo luminoso que produce cada lámpara, se puede obtener el número de lámparas como el cociente entre el flujo total y el flujo por lámpara.

$$\text{Núm. Lámparas} = \frac{\Phi_T}{\Phi_L}$$

Este procedimiento de cálculo por el método de flujo total se resume de la siguiente manera.

- 1.- Obtener las características del local por iluminar: la actividad que se desarrollará, disposición y altura de los objetos por ilumina, etc.
- 2.- Obtener de tablas de recomendaciones, el nivel de iluminación en luxes.
- 3.- Determinar la superficie del local (S) en [m<sup>2</sup>].
- 4.- Calcular el índice de local.
- 5.- Obtener de tablas el coeficiente del reflexión del techo y las paredes.
- 6.- Definir el tipo de lámpara (potencia) y tonalidad de color.
- 7.- Seleccionar el tipo de luminaria.
- 8.- Obtener el factor de utilización (μ).

- 9.- Indicar el tipo de mantenimiento.
- 10.- Calcular el flujo total [ $\Phi_T$ ].
- 11.- Calcular el número de lámparas requerido.
- 12.- Calcular la potencia total requerida para la instalación.

### 2.1.6.2- Método del Cálculo de Lúmenes

Este método solo se utiliza para alumbrados 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 [ $m^2$ ] puede obtenerse el número de lúmenes por metro cuadrado o luxes.

$$E = \frac{\Phi_e}{S} = \frac{\text{Lúmenes emitidos}}{\text{Área en } [m^2]}$$

A continuación aparece el procedimiento utilizado en el método de lúmenes el cual se divide en cinco pasos fundamentales.

- 1.- Determinación del nivel de iluminación requerido. Se calculan los niveles de iluminación medios suponiendo que cada área consiste de tres cavidades separadas: la de techo, de cuarto y de piso. ( ver figura 2.2).

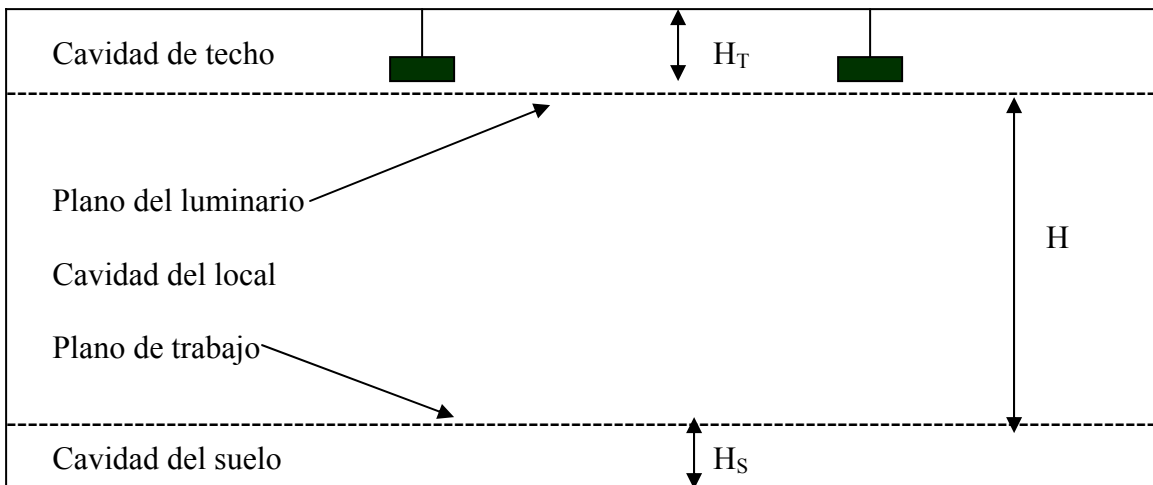


Figura 2.2 Dimensiones de Cavidad de un Local

**La de techo** se considera desde el plano de las luminarias hasta el techo.

**La de piso** se considera del plano de trabajo hacia el piso.

**La de cuarto** es el espacio entre las luminarias y el plano de trabajo.

2.- Determinación del coeficiente de utilización (CU). Este factor toma en cuenta la eficacia y la distribución de la luminaria, su altura de montaje, las dimensiones del local y las reflectancias de las paredes, techo y piso. A causa de las múltiples reflexiones que tienen lugar dentro de un local, una parte de la 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 sobrepasar la unidad. En general cuanto más alto y estrecho sea el local, mayor será la proporción de luz absorbida por paredes y menor el coeficiente de utilización. Este efecto se considera mediante la relación de cavidad del local (RCL) que se define como:

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

Donde: H es la altura de la cavidad en consideración, es decir techo, piso o paredes. Para cuartos compuestos por más de un rectángulo, por ejemplo en forma de “L”, la relación de cavidad se obtiene de la siguiente forma:

$$\text{Relación de la Cavidad} = \frac{2.5 * \text{Área de la pared}}{\text{Área del piso}}$$

El área de la pared se calcula multiplicando la sumatoria de los lados de las paredes por la cavidad del techo. Cuando se trabaja con luminarias no incluidas en tablas, el coeficiente de utilización deberá tomarse de otra luminaria de eficacia y curva de distribución similares. El coeficiente de utilización buscado puede determinarse para la propia relación de la cavidad del local y las reflectancias apropiadas de la pared y de la cavidad de techo. Para luminarias montadas o empotradas en el techo, la reflectancia de la cavidad del techo es la misma que la del techo real.

3.- Determinación del Factor de Pérdidas Totales (FPT). Desde el primer día en que se pone a funcionar el alumbrado, la iluminación va cambiando conforme las lámparas envejecen. Esto tiene como efecto una disminución en el nivel de iluminación, aunque ciertos factores pueden producir un incremento.

El FPT 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 correctora) entre el nivel nominal de iluminación de las lámparas. El FPT debe incluir las pérdidas atribuibles a todo tipo de causas, algunas de las cuales se van acumulando hasta que se efectúe una acción correctora. La precisión del proceso de cálculo puede perderse sino se pone cuidado en la estimación de los factores de pérdidas. Los factores parciales de pérdidas que se deben considerar son ocho y se explican a continuación.

- a) Características del funcionamiento del balastro: Las lámparas fluorescentes requieren un balastro con una reactancia tal que la lámpara emita 95% de la luminosidad que proporciona cuando funciona con una reactancia patrón (o de laboratorio) utilizada para establecer el valor nominal. En lámparas incandescentes no hay pérdidas por este factor.

- b) Tensión de alimentación: Para lámparas de filamento, así como para las de vapor de mercurio una desviación del 1% de la tensión nominal causa una variación del 3% en los lúmenes emitidos.
- c) Variaciones de la reflectancia de la luminaria: Este efecto es normalmente pequeño, pero después de un periodo de tiempo largo puede ser significativo en las luminarias con acabados de plástico.
- d) Temperatura ambiente: Las variaciones de temperatura no tiene una influencia determinante en las lámparas incandescentes ni de mercurio. Las lámparas fluorescentes se calibran fotométricamente a 25 [°C] por lo que desviaciones significativas de esta temperatura pueden significar pérdidas sustanciales de la emisión luminosa.
- e) 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 del 8% para lámparas fluorescentes, de 8.5% para las incandescentes y de 6.5 para las de vapor de mercurio.
- f) Disminución de emisión luminosa por suciedad: Esto se mide por lo que se conoce como factor de mantenimiento, el cual tomo en consideración la reducción en la luz emitida por las lámparas, debido al envejecimiento y acumulación de suciedad. El factor de mantenimiento apropiado para cualquier condición dada y tipo de luminaria se puede determinar como sigue:

Las luminarias se pueden clasificar o dividir en categorías, para cada categoría existe una curva en donde se encuentra en uno de los ejes el número de meses entre limpieza y limpieza de las luminarias. En la **tabla 2.2** se presentan ciertos tipos de luminarias clasificadas en seis categorías al igual que las reflectancias efectivas de cavidad y en la **figura 2.3** aparecen las gráficas de los factores de degradación por suciedad correspondientes a estas categorías.

Grados de suciedad:

- Muy limpio: Laboratorios y hospitales.
- - - Limpio: Escuelas, oficinas y viviendas.
- - - Medio: Oficinas dentro de fábricas.
- - - Sucio: Industrias.
- - - Muy sucio: Procesos altamente contaminantes.

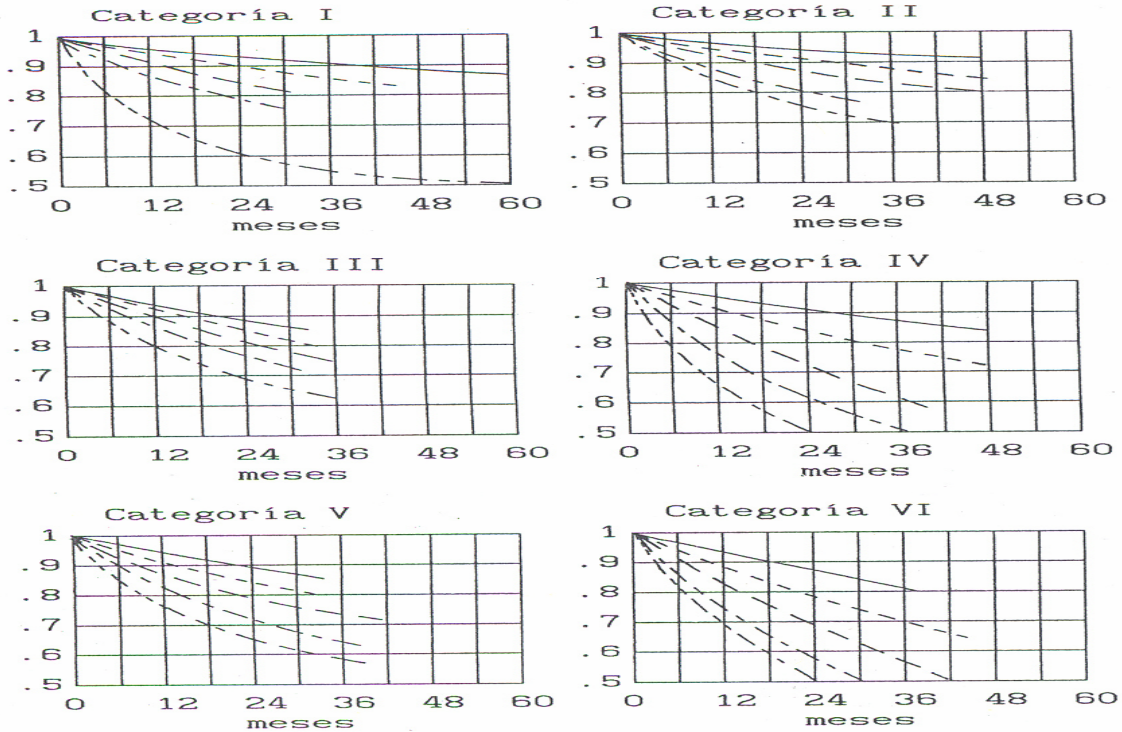


Figura 2.3 Gráficas del Factor de Degradación Clasificadas de acuerdo con las Seis Categorías de la Tabla 2.2

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

4.- Cálculo del número de luminarios. el número de luminarias se calcula de la siguiente forma:

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

Donde:

- N = Número de luminarias.
- E = Nivel de iluminación requerido.
- S = Superficie.
- $\Phi$  = Flujo luminoso por lámpara.
- L = Número de lámparas por luminaria.

5.- Arreglo y disposición de luminarias. Cuando se trata de luminarias montados en forma individual, con el objeto de tener un nivel de iluminación adecuado en los puntos cercanos a las paredes, la separación entre pared y luminaria, se recomienda que se determine con la siguiente expresión:

$$\text{Separación de pared a pared} = \frac{\text{Separación de luminario a luminario}}{3}$$

Cuando se trata de hileras continuas de luminarias fluorescentes, la separación entre la pared y el centro de la primera hilera, se determinan con la formula anterior, la separación entre los extremos de las hileras y la pared, debe estar entre 15 y 60 [cm], dependiendo de la altura de montaje de los luminarias.

6.- Revisión del nivel de iluminación. Después de efectuar los cálculos correspondientes a la determinación del número de luminarias y el nivel de iluminación tomando en consideración los factores que intervienen, como el coeficiente de utilización, el de mantenimiento, con el número de luminarias calculados, se procede a determinar el nivel de iluminación real obtenido, que debe ser igual al de partida o con una pequeña variación.

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

Donde:

$E_e$  = Nivel de iluminación resultante según nueva especificación.

$N_e$  = Número de luminarias de la nueva especificación.

$N$  = Número de luminarias.

$S$  = Superficie.

$L$  = Número de lámparas por luminaria.

### 2.1.7- Ejemplo del Cálculo

En nuestro caso se empleará el método por el cálculo de lúmenes. Dentro del Centro Comercial mencionado en el capítulo I, se cuenta con un área determinada para ubicar el local de ventas tanto de perfumería como de cosméticos. Las dimensiones del local son: 15 metros de largo, 8 metros de ancho, y 2.75 metros de alto; debido a la pintura se tienen las siguiente reflectancias: 80% en techo, 50% en paredes y 20% en piso. Se propone lámparas de lados opacos suspendidas a 25 cm. del techo. La altura del plano de trabajo es de 75 cm., es decir la altura a donde se realizarán las actividades.

Tomando como referencia la **figura 2.2** del método del cálculo de lúmenes se obtiene que la altura de la cavidad del local es de 1.75[m], la de techo 0.25 [m], la de piso 0.75 [m]. Para tener un control de los datos se recomendará utilizar los siguientes formatos a lo largo de los cálculos.

Datos de los Locales			
Dimensiones		% de Reflexión	
Longitud	15 m.	Techo	80
Ancho	8 m.	Muro	50
Área	120 m	Piso	20
Altura	2.75 m.		

		Datos de las Cavidades			
Cavidad del Local (RCL)		Cavidad de Techo (RCT)		Cavidad de Piso (RCS)	
Altura	1.75m.	Altura	0.25 m.	Altura	0.75 m.
Relación	1.6 m.	Relación	0.23 m.	Relación	0.71 m.
		%Reflexión Efectiva	76.5	%Reflexión Efectiva	19

$$RCL = \frac{5H(\text{largo} + \text{ancho})}{\text{largo} * \text{ancho}} = \frac{5 * 1.75m. (15m. + 8m.)}{15m. * 8m.} = 1.6$$

$$H = 1.75 \text{ [m]}$$

$$RCT = \frac{5H_T(\text{largo} + \text{ancho})}{\text{largo} * \text{ancho}} = \frac{5 * 0.25m. (15m. + 8m.)}{15m. * 8m.} = 0.23$$

$$H_T = 0.25 \text{ [m]}$$

$$RCS = \frac{5H_S(\text{largo} + \text{ancho})}{\text{largo} * \text{ancho}} = \frac{5 * 0.75m. (15m. + 8m.)}{15m. * 8m.} = 0.71$$

$$H_S = 0.75 \text{ [m]}$$

Para obtener la reflectancia efectiva se ocupa la **tabla 2.2** se ve que para una reflectancia del 80% de base en el techo una del 50% en el muro, se observa, que para el valor de  $RCT = 0.20$  se tendría un valor de 77% y con un valor  $RCT = 0.4$  se tendría 74%, por lo tanto se debe realizar una interpolación para determinar el valor exacto con un  $RCT = 0.23$  el cual fue nuestro valor obtenido. Realizando la interpolación se obtiene un valor de reflectancia efectiva de 76.5% con este valor y utilizando la **tabla 2.2** en donde se encuentra la lámpara propuesta y con el valor de  $RCL = 1.6$  localiza el “CU” coeficiente de utilización el cual tiene un valor de  $CU = 0.65 = 65\%$ .

Para la cavidad de piso la reflectancia efectiva se obtiene utilizando la misma tabla sólo que ahora en el apartado en el cual la reflectancia de piso tenga un valor de 20% y utilizando el renglón que corresponde al valor de la reflectancia en el muro el cual en este caso es de 50%. Se observa que no existe el valor de 0.71 por lo que se realiza de nueva cuenta una interpolación entre los valores de 0.6 y 0.8 obteniendo una reflectancia efectiva del 19%.

Cuando las reflectancias efectivas de piso son = del 20% el CU debe corregirse de acuerdo a las **tablas 2.3** en nuestro caso no es necesario el realizar este cálculo debido a que se tiene una diferencia menor del 1%.

Notas de la **tabla 2.3**.

a) Para una reflectancia efectiva de la cavidad del suelo de 30% (o mayor del 25%) se debe multiplicar el CU (coeficiente de utilización) del luminario correspondiente, que aparece en la **tabla 2.2** por el factor indicado en la **tabla 2.3** para las correspondientes reflectancias efectivas de la cavidad del techo y relación de la cavidad del local.

b) Para una reflectancia efectiva de la cavidad del piso del 10% (o menos del 15%) se debe dividir el CU del luminario correspondiente, de la **tabla 2.2** por el factor indicado en la **tabla 2.3** para las correspondientes reflectancias efectivas de la cavidad de techo y relación de la cavidad del local.

Para determinar el FPT se consideraran los siguientes valores de aquellos términos involucrados en la determinación del factor.

Factores	Valor
% $\eta$ del Balastro	95
Factor de Tensión	1
Factor de Reflectancia	0.98
Factor de Lámparas no Utilizadas	1
Factor de Temperatura	1



Factor de Intercambio de Calor	1
Degradación Luminosa	0.8
Degradación por Suciedad	0.86

El factor de lámparas no utilizadas es uno debido a que no se admiten lámparas fundidas dentro de la instalación, el factor por intercambio de calor es uno debido a que el luminario no forma parte del sistema de aire acondicionado, el factor por degradación debido a la suciedad se determina a partir de la **figura 2.3**, tomando la gráfica para un luminario de categoría IV y considerando la curva “limpio” para una periodicidad de limpieza anual. El resultado de multiplicar todos estos factores se conoce como FPT ( factor de perdidas totales).

FPT = 0.64

Tipo	Lámparas x Luminario	Lúmenes x Lámpara	CU	FPT
T12R17d	2	7800	0.65	0.64

A partir de la **tabla 2.1.a** se determina que el nivel de iluminación para este tipo de establecimientos es de 1000 [luxes] y el cual será comparado con el que se calculará obteniendo primero el número luminarios requeridos obtenido con la fórmula:

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

Sustituyendo valores se obtiene que:

$$N = \frac{1000 * 120}{7800 * 2 * 0.64 * 0.65} = 18.4$$

Por lo tanto el valor de N se aproxima a 19 luminarios con dos lámparas por luminario. Con el valor de N obtenido se procede a revisar el nivel de iluminación con la siguiente formula:

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

Sustituyendo valores se obtiene que:

$$E_e = \frac{19 * 2 * 7800 * 0.64 * 0.65}{120} = 1027.5 \text{ [luxes]}$$

El nivel obtenido respecto al requerido es una buena aproximación por lo tanto se considera idóneo para satisfacer las necesidades de iluminación; es decir se utilizarán 19 luminarios con dos lámparas de 7800 lúmenes cada una.

## 2.2- Alumbrado Exterior

Los sistemas de iluminación requeridos para vialidades, estacionamientos públicos exteriores o abiertos y todo tipo de áreas exteriores se conocen como: *iluminación de exteriores*.

### 2.2.1- Conceptos Generales

Los métodos de cálculo de iluminación externa son esencialmente iguales a los usados para iluminación interior a excepción del llamado método de la cavidad zonal. Algunos conceptos generales que se emplean en los distintos métodos de cálculo de alumbrado exterior son aplicable a cualquier de los mismos. Dentro de estos conceptos se tienen:

**Distancia entre Luminarias.** Esta distancia debe ser tal que la correspondencia de la proyección vertical del centro óptico de cada luminaria sobre la calle uniendo de alguna forma el centro luminoso del luminaria contiguo. Esta distancia entre luminarias depende de la altura de montaje de los centros luminosos [H], de la uniformidad deseada en la iluminación y del grado de deslumbramiento tolerado.

**Coefficiente de Utilización.** Se define como la relación entre el flujo luminoso que incide sobre la calle.

$$N_U = \frac{\Phi_T}{\Phi_L}$$

Donde:

$\Phi_T$  = Flujo incidente [lúmenes].

$\Phi_L$  = Flujo total [lúmenes].

Este coeficiente de utilización depende de los siguientes factores: tipo de luminaria, disposición de los centros luminosos, factor de reflexión, el coeficiente de utilización varía entre 0.20 y 0.50 para un ancho de calle del mismo orden que la altura de la luminaria. El coeficiente de utilización por lo general lo proporcionan los fabricantes de lámparas y luminarias para alumbrado exterior, en forma de curvas, donde se indica la iluminación proporcionada por un centro luminoso.

### 2.2.2- Metodologías para Alumbrado Exterior

Los siguientes métodos son los más utilizados para realizar el diseño de alumbrado en exteriores.

### 2.2.2.1- Método del Flujo Total

Cualquiera de los métodos empleados para el cálculo de la iluminación exterior tratan de definir las características geométricas y de iluminación de la instalación, como son:

#### *Geométricas*

- La altura de la luminaria y centro luminoso [H].
- Distancia entre luminarias o centros luminosos [D].
- La longitud del brazo [L].
- La distancia con respecto al borde de la calle en el área de circulación de autos.

#### *De iluminación*

- El nivel de iluminación medio [ $E_M$ ]
- El coeficiente de utilización [ $U_N$ ] con relación a la luminaria seccionada.
- El flujo luminoso que cada luminaria debe emitir [ $\Phi_L$ ], que es un dato del fabricante.
- El grado de uniformidad en la luminaria [ $U_g$ ].

Por el método del flujo total algunos de estos valores están condicionados a ciertos aspectos tales como:

**Altura de la Instalación.** Tomando en cuenta que el ancho [L] define en cierto modo la altura de la instalación, esta altura está también condicionada a la potencia de la lámpara, tipo de luminaria, disposición de los centros luminosos. La **tabla 2.4** muestra la altura de luminarias.

**Distancia entre Luminarios.** Cuando está definida la altura de la luminaria, se puede calcular la distancia entre postes o centros luminosos (D). Valores indicativos de la relación distancia entre luminarios contra altura se dan en la **tabla 2.5**. Es conveniente tener presente que mientras menor sea la relación D/H, más elevado es el grado de uniformidad en la iluminación, pero se tiene un mayor costo en la instalación; es decir que, la relación D/H está relacionada a la calidad de la instalación que se desea proyectar.

Tipo de Luminario	Lámpara de Bulbo Fluorescente	Lámpara Clara (Emisión Concentrada)
Cubierta	2.8 a 3.2	3 a 3.5
Semicubierta	3 a 3.5	3.2 a 3.5
Abierta	Diferente de 3.5	Diferente de 3.5

Tabla 2.5 Relación Distancia de Luminarios vs. Altura

**Superficie por Iluminar.** Según sea la técnica usada para la disposición de las luminarias en las calles se determina según sea el caso:

- a) Para disposición axial, unilateral y bilateral con centros alternos, se obtiene con la expresión:

$$S = D * L$$

- b) Para disposición bilateral con centros opuestos:

$$S = \frac{D * L}{2}$$

Donde:

D = Distancia entre luminarias o centros luminosos en metros.

L = Ancho de la calle en metros.

S = Superficie por iluminar en [m<sup>2</sup>].

**Flujo Luminoso.** Una vez que se establece el nivel medio de iluminación (E<sub>M</sub>), se determina el flujo luminoso (Φ<sub>T</sub>) que emite cada luminaria o centro luminoso, de acuerdo a la expresión:

$$\Phi_T = \frac{E_M * S}{N_U * K_D * K_M}$$

N<sub>U</sub> = Coeficiente de utilización que se obtiene de la curva que proporcionan los fabricantes de luminarias.

K<sub>D</sub> = Coeficiente de degradación de la luminarias (se puede tomar como 0.85 para lámparas con bulbo fluorescente y de sodio a baja presión y 0.90 para lámparas de sodio a alta presión).

K<sub>M</sub> = Coeficiente de mantenimiento, en atmósfera limpia se toma de 0.85-0.70 con luminarias abiertas y 0.95-0.85 para luminarias cerradas. En ambiente con presencia de polvo, humos, etc., se toma 0.70 para luminarias abiertas y 0.75 para cerradas.

### 2.2.2.2- Método de Punto por Punto

Para la aplicación de este método se requiere de la curva fotométrica, que caracteriza a las fuentes de luz. Esta curva proporciona en forma de curva o tabla, la información relativa a la distribución de la luz producida por la unidad de alumbrado o luminaria. En luminarias que tienen una distribución simétrica con respecto al eje vertical que pasa por ellas resulta suficiente la información de un plano vertical que pase por ese eje, donde se indique la cantidad de luz (en candelas) para haces con diferentes ángulos de apertura (con respecto al eje). ( ver figura 2.4).

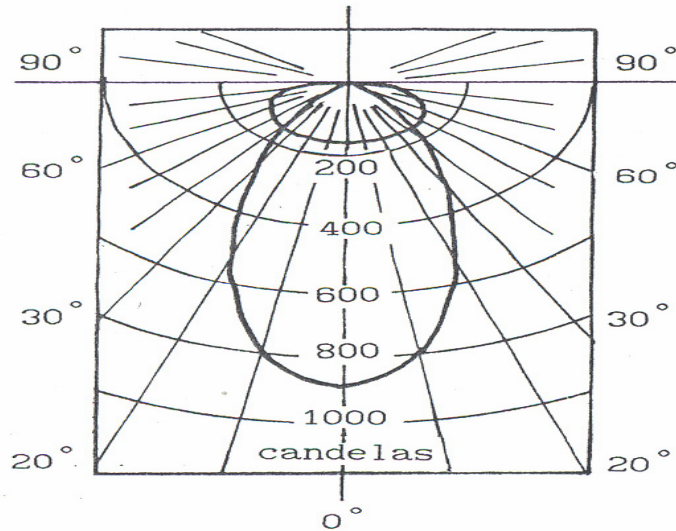


Figura 2.4 Curva Isocandela en Plano Vertical de un Luminario con Distribución Luminosa Simétrica con Respecto al Eje Vertical

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

Existen muchas luminarias para exteriores que tienen una distribución asimétrica. Para esos casos la curva fotométrica debe proporcionar la distribución del flujo luminoso en el plano horizontal que se va a iluminar, en donde las coordenadas sean los grados de los ángulos entre la vertical y la línea que describe una curva isocandela. Considérese cierta luminaria suspendida a una altura  $H$  metros, situada a la distancia  $D$  de cierto punto  $p$ . Esta luminaria produce una intensidad luminosa de  $[I]$  candelas (con magnitud y dirección) en el ángulo  $\theta$  mostrado en la **figura 2.5**.

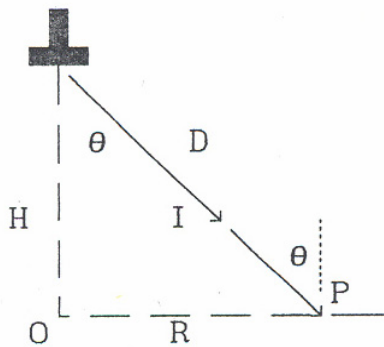


Figura 2.5 Proyecciones de la Iluminación de un Luminario

La iluminación en luxes sobre una superficie horizontal será:

$$E_H = \frac{I \cdot \cos\theta}{D^2} = \frac{I \cdot \cos^3\theta}{H^2}$$

La iluminación sobre el plano vertical está dada por:

$$E_v = \frac{I * \text{sen}\theta}{D^2}$$

Estas relaciones suponen que la unidad de alumbrado es un punto, lo cual es razonable si D es por lo menos cinco veces la dimensión de la luminaria.

**Curvas Isolux.** Debido a que el diseño de las luminarias puede producir que la iluminación tenga una distribución complicada, es común que en vez de las curvas fotométricas –intensidad luminosa en candelas para diferentes ángulos del haz de luz- se utilicen las llamadas curvas isolux, que proporcionan la iluminación en luxes correspondiente a los contornos descritos por las curvas isocandela para cada ángulo dada una altura de montaje. Con las curvas isolux se puede calcular gráficamente el alumbrado de exteriores. Para lograrlo se utiliza un plano en el que se sobrepone la curva isolux en cada poste y se suma la iluminación aportada por cada una de las luminarias.

### 2.2.2.3- Subdivisión de la Superficie en Áreas Elementales

Para el cálculo de la iluminación exterior se pueden utilizar otros procedimientos derivados del método de Punto por Punto que proporcionan resultados más exactos que el método descrito con las curvas isolux, pero que son menos largos y laboriosos que la aplicación rigurosa del método punto por punto. Se propone un procedimiento que resulta ser un método de revisión ya que, a partir de ensayos, se calcula la iluminación para varios puntos de un plano.

1.- Se subdivide la superficie objeto del proyecto en rectángulos iguales de áreas suficientemente pequeñas, de tal forma que puede considerarse que la iluminación es uniforme en el interior de estas superficies.

2.- Se calcula el nivel de iluminación medio ( $E_m$ ) en el interior de cada una de estas áreas utilizando el método punto por punto.

Si los luminarios están colocados simétricamente respecto al área seleccionada, es suficiente estudiar la cuarta parte de la superficie (o alguna fracción equivalente). Esta fracción típica se subdivide a su vez en varias áreas elementales. Suponiendo que cierta área “S” se subdivide en “m” rectángulos de superficies iguales “s” que recibe luz de “n” luminarios; el flujo luminoso que recibe el rectángulo elemental “i” del luminario “j” es:

$$\Phi_{ij} = E_m * S_i$$

Por lo tanto el flujo útil recibido por toda la superficie “S” es:

$$\Phi_m = m * s \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_m$$

El flujo luminoso útil es igual a la suma de todos los flujos recibidos por todos los elementos que componen la superficie “S”, pero cada elemento tiene iluminación aportada por todos los luminarios. Si dividimos este flujo luminoso producido por todas las “n” luminarios consideradas, se puede encontrar la eficiencia de nuestro proyecto de iluminación.

$$\eta = \frac{\Phi_m}{\Phi} * 100$$

Donde:

$\Phi$  = flujo emitido por el luminario.

El flujo luminoso total dividido entre el área total proporciona la iluminación media [Em]. Comparando la iluminación recibida por los distintos elementos de superficie podemos evaluar si cumplimos con la iluminación mínima para toda la superficie y con el factor de uniformidad definido como el cociente de la iluminación mínima entre la iluminación máxima.

### 2.2.3- Ejemplo del Cálculo

Dentro de un Centro Comercial dos de los estacionamientos se encuentran separados por una calle, la cual tiene 12 m. de ancho, de doble sentido y cuenta con un camellón. Se requiere de una iluminación de 12 luxes, con un factor de uniformidad de 0.3, además se desea colocar postes con una separación de 18 m.

1.- Como primer punto se propone una distribución simétrica con lámparas de vapor de mercurio de 500 watts, 6592 lúmenes instalada a 12 [m] de altura. Cuya curva fotométrica se muestra en la **figura 2.6**. Como la distribución es simétrica se calcula  $\frac{1}{4}$  del área considerada, por lo tanto el  $\frac{1}{4}$  de área se divide en 12 elementos iguales como se observa en la **figura 2.7**.

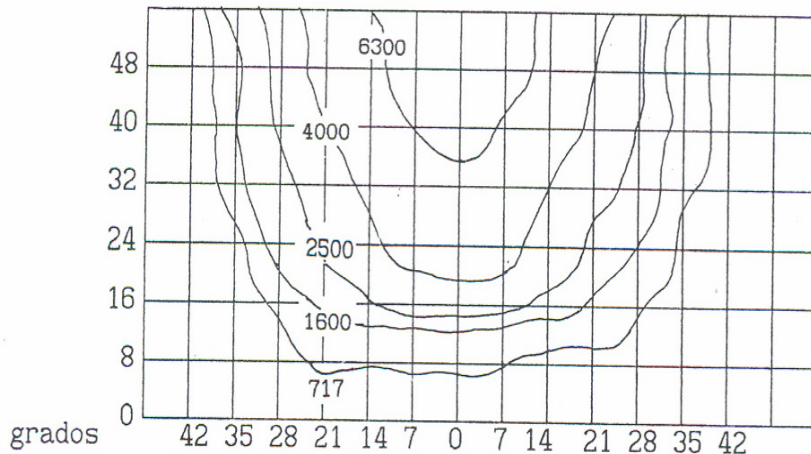


Figura 2.6 Curva Fotométrica de la Lámpara Propuesta

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

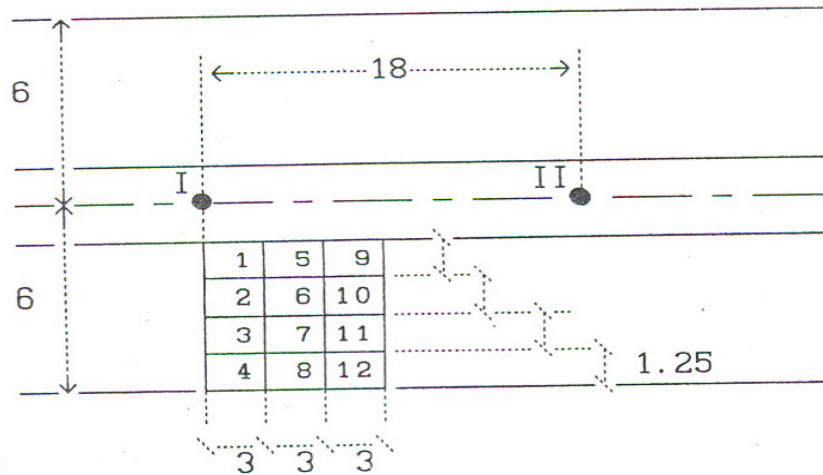


Figura 2.7 División del Área

2.- Se procede a calcular la iluminación media en el punto central de cada elemento con la relación proporcionada por el método de punto por punto para una superficie horizontal.

3.- Se prepara un formato con la siguiente información: en la primera columna se colocan los elementos, en la 2da y 3ra el ángulo que forman el eje vertical de cada luminario con la recta que una el luminario con el centro del elemento de área. (ver figura 2.5). El ángulo se determina de la siguiente manera:

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{R}{H} \right]$$

R = Distancia sobre el piso entre el luminario y el centro de cada elemento.  
H = Altura de montaje.

En la 4ta y 5ta columna se coloca la intensidad luminosa obtenida en forma aproximada para el ángulo correspondiente a cada luminario. En la columnas 6, 7 se llenan con la iluminación que llega a cada elemento del área en cada luminario (I y II) obtenida con la expresión:

$$E_H = \frac{I * \cos\theta}{D^2} = \frac{I * \cos^3\theta}{H^2}$$

En la última columna se suman la iluminación aportada por los dos luminarios al centro de cada uno de los elementos. Entonces la iluminación media será igual a la suma de todas las aportaciones en la octava columna entre el número de elementos considerados. Como ejemplo para el cálculo de la distancia R en el área uno, se llevan a cabo los siguientes cálculos a partir de los datos obtenidos de la figura 2.7.

$$1 + 1.25/2 = 1.62 \text{ [m]}$$

$$R = (1.62^2 + 1.5^2)^{1/2} = 2.21 \text{ [m]}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} (2.21/12) = 10.4^\circ$$



De esta manera se obtienen los demás valores para todas las áreas y con ello se llena la siguiente tabla.

Elemento de Área	Ángulo [°]		Intensidad Luminosa (Candelas)		Iluminación sobre cada Área		Iluminación de I y II
	I	II	I	II	I	II	
1	10.4	54.1	6500	300	42.7	0.4	43.1
2	15.1	54.4	5800	290	36.2	0.4	36.6
3	20.1	54.8	4200	280	25.7	0.4	26.1
4	24.9	55.3	3400	250	19.3	0.3	19.6
5	21.7	48.6	5300	720	31.8	1.4	33.2
6	24	49	4500	700	23.8	1.4	25.2
7	27	49.6	3500	680	17.2	1.3	18.5
8	30	50.4	2500	670	11.3	1.2	12.5
9	32.6	41.5	4100	2500	17	7.3	24.3
10	33.8	42.2	3500	2100	14	5.9	19.9
11	35.5	43.2	3000	1600	11	4.3	15.5
12	37.5	44.5	2100	1170	9.2	2.9	12.1

Iluminación de I y II sobre las 12 áreas Total 286.6

La iluminación máxima corresponde al punto uno con 43.1 luxes y el punto más pobremente iluminado es el doce con 12.1 lux. Por lo tanto el factor de uniformidad es:

$$\text{Factor de Uniformidad} = \frac{E_{\min.}}{E_{\max.}} = \frac{12.1}{43.1} = 0.28$$

lo cual es muy cercano al 0.3 planteado. El flujo luminoso útil será:

$$\Phi_m = m * s \sum_{1}^m \sum_{1}^n E_m = 4 * 45 * 23.88 = 4300 \text{ [lúmenes]}$$

Donde:  $E_m = \sum E_{ij} / N_o$ , elementos =  $286.6/12 = 23.88$  , y la eficiencia de acuerdo con la expresión es:

$$\eta = \frac{\Phi_m}{\Phi} * 100 = \frac{4300}{6592} * 100 = 65\%$$

Se cumple con el factor de uniformidad y con la iluminación mínima, aunque algunos puntos parecen tener menor iluminación, la eficiencia es buena para un alumbrado exterior.

## 2.3.- Acondicionamiento de Espacios

En una instalación de acondicionamiento de aire el grupo de aparatos acondicionadores para realizar la función de establecer la condiciones óptimas de ambiente que proporcionen comodidad tanto a trabajadores como para el público en general.

### 2.3.1- Equipo Auxiliar

El equipo auxiliar ocupado dentro de las instalaciones de aire acondicionado son dos, los ventiladores y las bombas en este caso del tipo centrífugo, las cuales son las más utilizados dentro de este tipo de sistemas, ambos son explicados con mayor detalle en los siguientes apartados.

#### 2.3.1.1- Ventiladores

Los ventiladores que se emplean en las instalaciones de acondicionamiento de espacios son de dos tipos: centrífugos y helicoidales. Los del tipo centrífugo son los más adecuados para la circulación de aire a presión relativamente alta y son de uso común en las instalaciones con conductos. Para la elección del ventilador dentro de una instalación de aire acondicionado es necesario conocer los siguientes datos: a) caudal de aire ( $m^3/min.$ ) que se ha de mover; b) presión estática total; c) densidad del aire; d) clase de servicio; e) nivel sonoro y uso de los locales a acondicionar; f) naturaleza de la carga; g) clase de fuerza motriz disponible. Para determinar el valor de la potencia demandada por concepto del ventilador o ventiladores utilizados en la instalación se puede utilizar la siguiente expresión:

$$P = \frac{Q * P_R * 10^{-2}}{\eta}$$

Donde:

P = Potencia en [KW].

$P_R$  = Presión total en mm. [milímetros de agua].

Q = Gasto en [ $m^3/seg.$ ].

$\eta$  = Eficiencia del ventilador (de 0.2 a 0.3 para ventilador de hélice y de 0.5 a 0.75 para ventiladores centrífugos).

#### 2.3.1.2- Bomba Centrífuga

Las ventajas que tienen las bombas centrífugas y por las cuales son las más utilizadas en las instalaciones de acondicionamiento de espacios son las siguientes: sencillez de construcción, ausencia de válvulas, pocas piezas móviles, ausencia de tolerancias muy estrictas, mínimas pérdidas de potencia por transmisión, caudal constante, funcionamiento en vacío sin excesivo aumento de presión, de fácil mantenimiento, ausencia de contacto entre el lubricante y el líquido bombeado.

**Potencia y Rendimiento.** Para tener un correcto funcionamiento y aplicación de la bomba se deben calcular dos factores: la potencia de bombeo del líquido o potencia útil y la potencia que debe ser aplicada al eje de la bomba o también llamada potencia motor. La potencia neta necesaria para el bombeo del líquido es el producto del peso del líquido bombeado [litros/minuto], por la altura o presión de la bomba [m]. La potencia del motor es la potencia real suministrada al rodete o la potencia útil dividida por el rendimiento de la bomba.

Esto último es la relación entre la potencia útil (teórica) y la de entrada o potencia mecánica real (que es una cantidad mayor debido a las pérdidas que se originan en las máquinas). El rendimiento se expresa en forma decimal.

$$P = \frac{Q * H}{75 * \eta}$$

Donde:

P = Potencia de la bomba en [HP].

H = Altura de elevación del agua en [m]

$\eta$  = Rendimiento de la instalación. La cual se encuentra entre (0.6 a 0.7).

Q = Gasto en [lps].

**Selección de la Bomba.** Las bombas se eligen basándose en las curvas características de las mismas dadas por el fabricantes. La mayoría de las bombas están proyectadas para que funcionen a pleno rendimiento en el punto medio de su característica presión-caudal. La selección en el punto de máximo rendimiento o algo desplazado a la izquierda, contribuye a simplificar los problemas de ruido y vibración. El rendimiento de la bomba no es el único criterio de selección; también hay que tener en cuenta los costos de funcionamiento y de adquisición y que funcione silenciosamente.

**Selección del Motor.** La potencia del motor seleccionado para propulsar una bomba debe ser igual o mayor que la de la potencia necesaria en el eje de la misma para el punto de funcionamiento de la característica presión-caudal de la bomba. Para calcular la potencia del motor se utiliza la siguiente expresión es:

Monofásico

$$HP = \frac{V * I * \eta * \cos\theta}{746}$$

Trifásico

$$HP = \frac{\sqrt{3} * V * I * \eta * \cos\theta}{746}$$

Donde:

V = Voltaje entre fases o de línea.

I = Corriente de línea.

$\eta$  = Eficiencia del motor.

$\cos\theta$  = Factor de potencia.

**Rendimiento del Motor.** El rendimiento del motor es una medida de su aptitud para convertir la energía eléctrica en energía mecánica, y se expresa en tanto por ciento de la potencia de entrada.

$$\text{Rendimiento en \%} = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia absorbida}} * 100$$

### 2.3.2- Ejemplo del Cálculo

El siguiente ejemplo tiene como finalidad el mostrar el uso correcto de la formula para la obtención de la potencia que llega a consumir un ventilador dentro de la instalación de aire acondicionado. Un ventilador “Aerofil” de 0.965 [m]. de diámetro, proporciona un flujo de 3.3 m<sup>3</sup>/s a la velocidad de 470 [rpm] a la presión de 6 mm. de agua, con una eficiencia del 70%. Con estos datos determinar la potencia que consume nuestro ventilador. Utilizando la formula:

$$P = \frac{Q * P_R * 10^{-2}}{\eta} = \frac{3.3 * 6 * 10^{-2}}{0.7} = 0.28 \text{ [KW]}$$

Este valor puede ser transformado a HP para conocer el valor del motor que será utilizado. Conociendo que 1 [HP] = 0.746 [KW] se obtiene que la potencia del motor en HP requeridos es de 0.37 [HP], como no es un valor comercial se toma el inmediato superior.

Para ejemplificar el método para obtener la potencia de las bombas utilizadas en el sistema de aire acondicionado se hace uso del siguiente ejemplo:

Se tiene una bomba la cual eleva agua a una altura máxima de 30 m. dentro de un Centro Comercial, con un gasto de 3.7 [lps]. Teniendo una eficiencia de 70%. Determinar la potencia de esta bomba. A partir de la fórmula:

$$P = \frac{Q * H}{75 * \eta} = \frac{3.7 * 30}{75 * 0.7} = 2.1 \text{ [HP]}$$

Al no contarse con valor comercial de bomba para este se procede a seleccionar el inmediato superior.

## 2.4- Contactos

Un contacto o toma de corriente, es un conjunto destinado a unir eléctricamente y a voluntad un cable flexible a una canalización fija. Se compone de dos partes: **la base de toma de corriente** la cual es destinada a ser instalada en la canalización fija o incorporada a un material o equipo, **la clavija** la cual es la parte unida la cable flexible conectado al material o equipo o a una toma móvil, destinada a ser unida a dicho cable.

Los contactos o tomas de corriente deberán tener una capacidad no menor que la carga por servir y se recomienda que cuando estén conectados en circuitos derivados con dos o más salidas, tengan las siguientes capacidades:

Capacidad del Circuito en [A]	Capacidad de los Contactos
15 amperes	No mayor: 15 amperes
20	20
30	20 ó 30
50	50

**Dimensiones.** En los contactos no debe ser posible introducir las clavijas o las tomas móviles en las bases de las tomas de corriente que tengan características nominales diferentes o con diferentes combinaciones de contactos, además, la construcción debe ser tal, que no permita conexiones inadecuadas entre.

El contacto de tierra y/o el contacto piloto de la clavija y un contacto activo de la base, o un contacto activo de una clavija y el contacto de tierra y/o el contacto piloto de una base, los contactos de fase de una clavija y el contacto de neutro de la base si existe. No debe ser posible conexiones unipolares entre las clavijas y las bases de toma de corriente o tomas móviles, o entre bases de conector y tomas móviles o bases de tomas de corriente.

**Protección contra Choques Eléctricos.** Los aparatos con contactos de tierra se deben diseñar de manera que cuando se inserte la clavija o la toma móvil, la conexión de tierra se establezca antes que se hagan las conexiones de fase y del neutro si existe. Cuando se retira la clavija, la apertura de las conexiones de fases y del neutro, si existe tendrán un lugar antes que la apertura de la conexión de tierra.

**Disposición para la Puesta a Tierra.** Los aparatos con contacto de tierra deben estar provistos de un borne de tierra. Los aparatos fijos con envolvente metálico con un borne de tierra interno pueden, además, estar dotados con un borne de tierra exterior. A excepción de los aparatos empotrados, este borne debe ser visible desde el exterior. Los contactos de tierra deben estar unidos de forma directa y segura a los bornes de tierra, salvo el borne de tierra de las bases de las tomas de corriente que forme parte del circuito secundario de un transformador de separación de circuitos, que no deberá ser conectado.

**Construcción de los Contactos.** Los contactos deben asegurar una presión de contacto apropiada. La presión ejercida entre los contactos de la base y de la clavija no deberá ser tan elevada que dificulte la introducción y la retirada de la clavija. No debe ser posible que la clavija se separe rápidamente de la base en uso normal. Las bases de las tomas de corriente deben construirse de manera que permitan la introducción y el apriete fáciles de los conductores en los bornes, la colocación correcta de los conductores sin que su aislamiento se ponga en contacto con las partes activas de polaridad diferente a la del conductor, la entrada de los cables debe permitir la introducción del tubo protector o del revestimiento del cable de forma que se asegure la completa protección mecánica, las bases de toma de corriente que tengan una tensión nominal superior a 50 volts deben estar dotados de contactos de tierra.

## **2.5- Equipo de Transporte**

Los ascensores y las escaleras mecánicas son los medios más comunes para el transporte vertical de personas y mercancías. En general, la determinación de las características de los ascensores se basa en que deben poder transportar todo el personal que se traslada hacia arriba y hacia abajo en edificios en los que pueden presentarse cada día unos periodos de máxima afluencia. Las escaleras mecánicas son utilizadas por un gran número de personas las cuales son repartidas en un espacio que abarca un cierto número de pisos, desplazándose casi constantemente de un lugar a otro y permaneciendo en cada lugar durante poco tiempo; la escalera mecánica es muy apropiada para grandes almacenes de ventas, para los sótanos y los primeros pisos de supermercados y otras tiendas del mismo tipo.

### **2.5.1- Ascensores**

Los ascensores se utilizan para el transporte vertical de personas y carga. Debe tenerse en cuenta que los ascensores son instalaciones de larga duración (vida de 25 a 40 años) y por lo tanto deben proyectarse de manera que sigan cubriendo las necesidades crecientes al cabo de 10 o 20 años. En ascensores proyectados de forma incorrecta o excesivamente económica, las modificaciones son generalmente demasiado caras o imposibles de hacer, debido al estrecho ajuste de la instalación.

#### **2.5.1.1- Elementos de la Instalación**

Los elementos que componen a un elevador y los cuales deben ser analizados de forma completa para llevar a cabo una buena elección del motor son los siguientes

**La Cabina.** Es esencialmente una caja de metal ligero sostenida por una estructura resistente en cuyo extremo superior se amarran los cables

**Cables.** Los cables izan y arrían la cabina en su viaje por la caja. Por lo general se colocan de tres a ocho cables paralelos entre los cuales se distribuye el peso de la cabina de una manera uniforme. Estos cables se amarran a la parte superior de la cabina por medio de zapatas para cable, que aseguran un enganche perfecto.

**Mecanismo Elevador:** Consiste de una estructura metálica robusta sobre la cual se hallan montados el tambor, el motor, los frenos y los engranes; es el dispositivo que hace subir y bajar la cabina. En las más modernas instalaciones el motor recibe la energía de un grupo motor-generador independiente.

**Equipo de Maniobra.** Es la combinación de los pulsadores, contactos, reles, levas y dispositivos de control manual o automático para las maniobras de las puertas y para el arranque, aceleración, ajuste de nivel y paro de la cabina.

**Contrapeso.** Está formado por bloques rectangulares de fundición, apilados en una armazón suspendida del extremo opuesto del cable con relación al extremo que está amarrado a la cabina. El contrapeso está, en relación con el peso de la cabina y su carga en la proporción que convenga para reducir al máximo el consumo de energía dentro de la instalación.

**Caja del Ascensor.** Es el paso vertical por el cual circulan la cabina y el contrapeso. Sobre sus paredes están montadas las guías, los bastidores de las puertas y algunos de los elementos mecánicos y eléctricos de los aparatos de mando.

**Guías.** Son las vías verticales que conducen la cabina, son de acero duro mecanizado.

**Cuarto de Máquinas.** Es el local colocado inmediatamente encima del hueco del ascensor para servir de albergue al mecanismo elevador. Este local contiene el grupo motor-generador que suministra energía al ascensor, el cuadro de distribución y otros aparatos de maniobra.

### 2.5.1.2- Necesidades de Tráfico y Servicio

Al fijar la capacidad y el número de ascensores y el tipo que conviene para determinado edificio, deben conocerse o estimarse las características de éste y las necesidades de la gente.

**Cálculo del Tráfico para Ascensores de Personas.** Primero se debe averiguar el número necesario de ascensores, su carga y su velocidad, para una determinada capacidad de transporte. Para hacer un cálculo exacto del tráfico hay que tener en cuenta todas las variables que determinan la capacidad de transporte del ascensor.

**Bases del Cálculo.** Conocer los *datos del edificio* tales como: número de paradas y altura de transporte, además, superficie de las plantas para determinar aproximadamente la cantidad de personas que las ocupan (1 persona por cada 10m<sup>2</sup> de superficie).

**Capacidad de Transporte Necesaria.** La cual a partir de las averiguaciones hechas, proporciona el tráfico de personas en el edificio, además de ser el punto de partida para los cálculos subsecuentes como lo es el número de personas a transportar durante el periodo de máxima intensidad. Esta punta suele durar unos 20 minutos (tiempo de llenado o de vaciado). El tiempo medio de espera (no superior a 60 s.) constituye, junto con el tiempo de llenado o de vaciado, la base para equiparar adecuadamente el edificio con ascensores.

a) Determinación de la capacidad de transporte necesaria [F] en personas en minuto:

$$F = \frac{\text{Personas durante la punta de tráfico}}{\text{Tiempo de vaciado en minutos}}$$

b) Elección del tamaño de los ascensores y de su velocidad de funcionamiento. En la **tabla 2.6** se muestran valores orientativos sobre la capacidad de transporte en [personas/minuto], para plantas de 3.5 [m] de altura, máxima y aproximadamente igual número de personas en todas ellas.

Número de Plantas	P = Capacidad de carga en personas/ascensor											
	4 Personas			6 Personas			10 Personas			15 Personas		
	v = Velocidad de funcionamiento en [m/s]											
	0.5	0.8	1	0.8	1	1.5	1	1.5	2.5	1.5	2.5	3.5
F = Capacidad de transporte en personas/minuto												
4	3.5	3.8	4	5.1	5.3	5.7						
5	3	3.3	3.5	4.4	4.7	5	7					
6	2.6	2.9	3.2	4	4.2	4.6	6.3	7.3				
7		2.7	2.9	3.6	3.9	4.3	5.7	6.8	7.5			
8			2.7	3.3	3.6	4	5.3	6.3	7	8.2		
9				3.1	3.3	3.8	4.9	5.9	6.6	7.7	8.4	
10					3.1	3.6	4.6	5.5	6.3	7.2	8	
11					3	3.4	4.3	5.2	6	6.9	7.7	8.1
12						3.2	4.1	5	5.7	6.6	7.3	7.8
13							3.9	4.8	5.5	6.3	7	7.5
14							3.7	4.6	5.3	6	6.8	7.3
15								4.2	5.1	5.8	6.6	7.1

Tabla 2.6 Capacidad de Transporte

Referencia: SAGE Konrad, Instalaciones técnicas en edificios, 3a Edic., Gustavo Gili.

c) Determinación del número de ascensores necesario [n]:

$$n = \frac{\text{Capacidad de transporte necesaria en pers./min.}}{\text{Capacidad de transporte de un ascensor en pers./min.}}$$

d) Determinación del tiempo medio de espera [t<sub>w</sub>]:

$$t_w = \frac{P [\text{Capacidad de carga de un ascensor en pers.}]}{F_{\text{TOT}} [\text{Capacidad de transporte total en pers./min.}]} * 60$$



**Potencia del Motor.** Los ascensores modernos son accionados siempre por medio de motores eléctricos de corriente continua o de corriente alterna. La potencia del motor es máxima cuando el ascensor va hacia arriba a plena velocidad, llevando la carga máxima. Si la carga nominal del ascensor es de 1500 [Kg.] la cabina pueden transportar un máximo de  $1500/65= 23$  personas, considerando el peso medio por personas suele tomarse de 65 [Kg.]. Es común poner contrapesos que equilibren todo el peso muerto de cabina y cables y el 40% de la carga útil. El peso a elevar es entonces el 60% de la carga útil, así se obtiene un equilibrio económico entre los factores que influyen en el costo del funcionamiento, o sea, la carga media, la velocidad media el número de paradas, la energía para la aceleración y frenado, el consumo y el costo inicial de la instalación.

La potencia del grupo motor-generador debe ser tal que el generador debe ser tal que el generador de corriente continua suministre el número de kilowatts requerido por el motor elevador; y el motor de corriente alterna tomará de la línea que suministra la corriente eléctrica al ascensor el número de kilowatts necesario para poner en movimiento el generador. Cuando se conozca el rendimiento de todo el conjunto motor-generador, el número de kilowatts necesarios se calculará fácilmente.

$$HP_{(MOTOR\ ELEVADOR)} = \frac{\text{Peso [Kg.] * Veloc. Vertical en [m/s]}}{75 * \text{Eficiencia mecánica}}$$

Peso Kg. =  $(1-0.40) * \text{carga nominal}$

Se debe tomar en cuenta que  $75 \text{ [kgm/s]} = 1 \text{ [HP]}$  = potencia necesaria para elevar 75 [Kg.] a 1metro en un segundo, y el rendimiento se considera su parte mecánica (cabina, cables, contrapeso, guías).

Y por lo tanto, la potencia que deberá tener el grupo motor generador es de:

$$HP_{(MOTOR-GENERADOR)} = \frac{\text{Potencia motor elevador [HP]}}{\text{Rendimiento}_{(MOTOR-GENERADOR)} * \text{Rendimiento}_{(MOTOR\ ELEVADOR)}}$$

Esta potencia se suministra por medio de una línea eléctrica que llega hasta el cuadro de interruptores del grupo motor-generador. Esta línea generalmente es una línea de corriente trifásica a 220 volts y 60 [Hz].

**Eficiencia.** Es el valor promedio del trabajo realizado al mover la carga con respecto a la entrada de energía desde la fuente de alimentación y varía dentro de considerables límites, los cuales dependen de la carga en la cabina del elevador y si esta se encuentra en ascenso o descenso; se debe mencionar que la eficiencia de la parte mecánica de un ascensor con mecanismo de acoplamiento directo varía entre el 78 y el 88%, en los ascensores con mecanismo de tornillo sin fin varía alrededor del 40% para los ascensores de pequeña velocidad y del 70% para los ascensores con velocidades de hasta 1.75 [m/s]. Las velocidades en los ascensores modernos varían aproximadamente entre 0.5 y 6 [m/s].

**Calidad de Servicio.** Para conseguir que el servicio de los ascensores sea lo más satisfactorio posible y con el menor gasto de conservación y funcionamiento es esencial que se conozcan todos los detalles que afectan a estos objetivos, entre ellos tenemos el registrador de las distancias recorridas por las cabinas, el registrador de arranques y detenciones, el contador de los kilowatts/hora consumidos, tiempo total de cada viaje, los recorridos parciales y el número de arranques y detenciones por cada viaje completo.

**Diversidad de Operación.** Cuando dos o más ascensores operan desde el mismo punto de salida es común que lleguen a tener de manera simultánea picos de corriente, por ello es importante conocer el factor de diversidad, el cual para un grupo de cabinas similares, cada una con una corriente rms de valor (I), la corriente de línea rms caerá o se ubicará en un lugar entre  $nI$ ; cuando los picos coincidan y  $\sqrt{n}I$  cuando los picos están en el rango normal.

El factor de diversidad es el promedio de la corriente más probable para  $\sqrt{n}I$  y es una función no únicamente del número de cabinas en el mismo sitio sino también del tipo e intensidad del servicio de los ascensores. El factor de diversidad se encuentran entre 0.97 para un grupo de dos elevadores y de 0.890 para un grupo de cuatro ascensores bajo condiciones de operación especificadas.

### 2.5.2- Escaleras Eléctricas

Llamadas también escaleras móviles o escaleras mecánicas, estos dispositivos no sólo transportan pasajeros con comodidad, rapidez y seguridad, sino que continuamente reciben y dejan su carga útil a una velocidad constante, sin prácticamente tiempos de espera.

**Medidas y Tipos.** Están determinados por la altura de transporte, la anchura de los escalones, la velocidad y la capacidad de transporte, la inclinación o pendiente, el tipo de servicio.

**Velocidad de Transporte.** En general se prevé de 0.5 [m/s]. Si la escalera sólo es utilizada por determinadas personas que se desplazan muy a menudo, se puede aumentar la velocidad de transporte hasta 0.6, 0.75 o 1[m/s].

**Capacidad de Transporte (L).** Se calcula de la siguiente manera, a partir de la anchura de los peldaños y de la velocidad de transporte.

$$L = \frac{P * v}{0.4} * 3600 \text{ personas / hora}$$

Donde:

P = Número de personas por escalón

v = Velocidad de transporte en [m/s]

0.4= Profundidad del escalón en [m]

Con la velocidad normal de 0.5 [m/s] y diferentes anchuras de escalón, resultan las siguientes capacidades de transporte:

Anchura del escalón en cm	(40)/60	80	90	100
Número teórico de pers./escalón	1	1.5	1.75	2
Capacidad de transp. pers./hora	4500	7000	8000	9000

Tabla 2.7 Capacidades de Transporte en Escaleras Eléctricas

**Potencia Requerida.** La carga útil o nominal para una escalera mecánica se puede obtener de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Carga útil en Kg.} = 270 * W * A$$

Donde: W representa la anchura nominal de la escalera en metros, y A la proyección horizontal, también en metros, de la longitud del conjunto de peldaños que pueden estar cargados simultáneamente. Si la inclinación de la escalera es de 30°,  $A = \sqrt{3} * H$ , donde: H es el desnivel salvado por la escalera. Todas las escaleras mecánicas se proyectan para una inclinación de 30°. La anchura nominal W se mide entre las barandas, a una altura de 60 [cm] sobre el canto de los peldaños. Las anchuras nominales comunes son de 0.80 y 1.20 [cm].

La potencia necesaria para el funcionamiento de una escalera mecánica está dada por:

$$\text{HP} = \frac{270 * W * \sqrt{3} * H * \text{Sen}30^\circ + P_E}{75 * E} = \frac{3.12 * W * H * S + P_E}{E}$$

Donde: S es la velocidad en metros por segundo;  $P_E$  la potencia necesaria para mover la escalera sin carga; y E, la eficiencia del conjunto. Las eficiencias en las instalaciones de escaleras mecánicas varían entre el 69 y el 85%. La potencia necesaria para mover las escaleras sin carga puede estimarse, para las alturas de 3 a 7 [m], de 1 a 2 [HP] para las escaleras de 80 [cm] de ancho y de 1.25 a 2.25 [HP] para las de 1.20 [m]. El consumo en kilowatts a plena carga del motor será:

$$\text{Consumo a plena carga del motor [KW]} = \frac{\text{HP} * 0.746}{\text{Eficiencia del motor}}$$

### 2.5.3- Ejemplo del Cálculo para la Especificación del Equipo de Transporte

Primero se abordarán los procedimientos para el cálculo de las necesidades de tráfico y servicio para los ascensores, dichos cálculos se pueden ejemplificar de la siguiente manera:

Un Centro Comercial cuenta con 5 niveles y tiene una altura total de 16 metros, dentro de tal construcción trabajan cien personas y el tiempo de vaciado es de 10 minutos. Se determina la capacidad de transporte necesaria (F) en personas en minuto:

$$F = \frac{\text{Personas durante la punta de tráfico}}{\text{Tiempo de vaciado en minutos}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ [personas/minuto]}$$

Posteriormente se calcula el número de ascensores necesarios para nuestra construcción con la siguiente expresión:

$$n = \frac{\text{Capacidad de transporte necesaria en pers./min.}}{\text{Capacidad de transporte de un ascensor en pers./min.}} = \frac{10}{5} = 2 \text{ [ascensores]}$$

Por lo tanto se deben instalar dos ascensores con una capacidad de 5 personas por elevador. En nuestro caso a partir de la **tabla 2.6** se tomó que la capacidad de carga en personas por minuto [P] sea de 10 [personas/minuto] por lo tanto la capacidad de transporte de cada ascensor será de 5 personas y la velocidad de transporte será de  $v = 1.5$  [m/s]. Con estos datos se puede determinar el tiempo medio de espera obtenido con la expresión:

$$t_w = \frac{P \text{ [Capacidad de carga de un ascensor en pers.]}}{F_{TOT} \text{ [Capacidad de transporte total en pers./min.]}} * 60 = \frac{10}{10} * 60 = 60 \text{ [segundos].}$$

Para obtener la potencia del motor del elevador a partir de los datos obtenidos anteriormente y considerando que el ascensor tiene una eficiencia del 90% en su parte mecánica (cabina, cables, contrapeso) y una del 80% en el grupo motor-generator y de 875 para el motor elevador. Con estos datos se procede de la siguiente manera:

Carga efectiva =  $(1-0.4) * \text{carga nominal} = 0.6 * 325 = 195$  Kg. El 0.4 como se mencionó anteriormente es un factor para equilibrar el 40% de la carga útil.

$$HP_{(MOTOR ELEVADOR)} = \frac{\text{Peso Kg.} * \text{Veloc. Vertical en [m/s].}}{75 * \text{Eficiencia mecánica}} = \frac{195 * 1.5}{75 * 0.9} = 4.33 \text{ [HP]}$$

El grupo motor-generator por lo tanto consumirá a partir de la ecuación siguiente:

$$HP_{(MOTOR-GENERADOR)} = \frac{\text{Potencia motor elevador [HP]}}{\text{Rendimiento}_{(MOTOR-GENERADOR)} * \text{Rendimiento}_{(MOTOR ELEVADOR)}}$$

$$HP_{(MOTOR-GENERADOR)} = \frac{4.33}{0.87 * 0.8} = 6.22 \text{ HP} = 4.64 \text{ [KW]}.$$

Para conocer la corriente que consume nuestro equipo y lo cual es un dato importante para la selección de los conductores se aplica la siguiente expresión:

$$I = \frac{\text{Potencia (motor-generador)}}{\sqrt{3} * V_{f-f} * \cos\theta} = \frac{4640}{\sqrt{3} * 220 * 0.86} = 14.15 \text{ [A]}$$

El factor de potencia con valor de 0.86 se toma debido a que es con el que cuentan este tipo de motores y el voltaje de 220 es generalmente el voltaje de alimentación sugerido cuando la potencia del motor en [HP] es pequeña de acuerdo a la **tabla 2.8**.

Potencia del Motor [HP]	Voltaje de Alimentación [volts]
0 - 75	220 v
75 - 250	440 v
250 - 1000	2300 v
1000 - 4000	4160 v
Más de 5000	13200 v

Tabla 2.8 Voltajes de Alimentación para Motores Trifásicos

Referencia: ENRIQUEZ HARPER, Gilberto, El ABC de las instalaciones eléctricas industriales.

Por lo que respecta a las escaleras eléctricas el siguiente ejemplo llega a ser de gran utilidad. Se cuenta con una escalera eléctrica de 80 cm. que salva un desnivel de 6 metros, con una inclinación de 30° y velocidad de 0.45 [m/s]. Su rendimiento es del 80%, el del motor del 85% a plena carga. ¿Cuál será su consumo en [KW] a plena carga, si la potencia necesaria para moverla sin carga es de 1.5 [HP].

Primero se calcularán los HP necesarios para el funcionamiento de la escalera a partir de la siguiente expresión:

$$HP = \frac{3.12 * W * H * S + P_E}{E} = \frac{3.12 * 0.8 * 6 * 0.45 + 1.5}{0.8} = 10.3 \text{ [HP]}$$

trabajando a plena carga el consumo del motor será:

$$\text{Consumo a plena carga} = \frac{HP * 0.746}{\text{Eficiencia del motor}} = \frac{10.3 * 0.746}{0.85} = 9.03 \text{ [KW]}$$

## 2.6- Equipo de Bombeo

En general, se encontrará que los detalles de las bombas se encuentran sujetos en gran parte a los requisitos de aplicación, así, el arreglo particular de una bomba centrífuga puede depender tanto de la tubería, espacio y condiciones de trabajo como de otros factores existentes. El motor elegido para la bomba puede estar determinado por la velocidad de la bomba, balance de calor de la planta, disponibilidad de energía o costo de un combustible particular en el área. Cuando dos o más unidades pueden satisfacer las necesidades hidráulicas, el estudio puede avanzar un paso más para determinar cuál es la mejor bomba para la instalación. La planta puede requerir un bajo costo inicial para la unidad, larga vida, o bien, máxima economía de operación.

En el diseño de un sistema de bombeo hay muchos elementos que deben considerarse, no importa la clase o tipo de bomba que finalmente se escoja para la instalación. Estos elementos incluyen: columna, naturaleza del líquido, tuberías, motores. De manera que, en general, una discusión completa de cualesquiera de estos factores se aplica igualmente a una bomba centrífuga que a una rotatoria o que a una reciprocante, luego, la columna de una bomba no se altera por la clase de unidad elegida.

### 2.6.1- Especificaciones del Sistema de Bombeo

Las siguientes especificaciones se deben de seguir para asegurar con ello el buen funcionamiento y selección del equipo de bombeo. Primero se realizarán algunas definiciones para comprender lo que involucra un sistema de bombeo.

**Definiciones-** Se darán algunas definiciones para poder entender de una manera más precisa las partes que conforman al sistema de bombeo.

**Presión:** En los problemas de bombas, generalmente se consideran tres tipos de presión: **absoluta, barométrica, y de columna.** Se usa un cuarto término, *vacío*, cuando las instalaciones operan debajo de la presión atmosférica. La presión absoluta es la presión arriba del cero absoluto. Puede encontrarse arriba o debajo de la presión atmosférica existente en el punto de consideración. La presión barométrica es la presión atmosférica de la localidad estudiada, y varía con las condiciones de altitud y clima. La presión de la columna es la presión arriba de la atmosférica en la localidad en que se mide.

**Columna:** Una columna de agua u otro líquido en un tubo vertical desarrolla una cierta presión (fuerza por unidad de área) sobre la superficie horizontal en el fondo del tubo. Esta presión puede expresarse en kilogramos por centímetro cuadrado [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ], o como el número de metros de líquido que ejerce una presión igual sobre la misma superficie. La altura de la columna del líquido que produce la presión en cuestión se conoce como columna sobre la superficie.

$$\text{Columna líquida en metros} = \frac{10 (\text{presión } \text{kg}/\text{cm}^2)}{\text{Densidad}}$$

*Columna Estática:* En las aplicaciones de bombas, generalmente se le llama a la altura de la columna del líquido que actúa sobre la succión o descarga de la bomba ***columna estática*** en la entrada o salida, y se expresa como un cierto número de metros de líquido. La columna estática es la diferencia de elevación y puede calcularse para una variedad de condiciones que se encuentren en una instalación de bombeo.

*Presión de Vapor:* Todo líquido, a cualquier temperatura arriba de su punto de congelación, ejerce una presión debida a la formación de vapor en su superficie libre. Esta presión, conocida como ***presión de vapor*** del líquido, es función de la temperatura del líquido: mientras más alta sea la temperatura, mayor será la presión de vapor. La presión del vapor es un factor importante en las condiciones de succión de las bombas que manejan líquidos de todos los tipos. En cualquier sistema de bombeo, la presión en cualquier punto nunca debe reducirse más allá de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido.

*Elevación Estática de Succión:* Es la distancia vertical, en metros, del nivel del suministro de líquido al eje central de la bomba, encontrándose la bomba arriba del nivel de suministro.

*Columna Estática de Succión:* Cuando la bomba se encuentra más abajo del nivel de suministro de líquido, existe una columna de succión estática. Numéricamente, es la distancia vertical en metros, entre el nivel de suministro de líquido y el eje central de la bomba.

*Columna de Fricción:* Se mide en metros de líquido, y es la columna equivalente necesaria para vencer la resistencia de las tuberías, válvulas y aditamentos del sistema de bombeo. La columna de fricción existe tanto en el extremo de succión como en el de descarga de una bomba, y varía con la velocidad del líquido, tamaño del tubo, condición interior del tubo, tipo de tubo y naturaleza del líquido que se maneja.

*Columna de Velocidad:* La columna de velocidad es la distancia de caída necesaria para que un líquido adquiera una velocidad dada, y viene dada en la fórmula  $h_v = v^2/2g$ , en donde  $h_v$  = a columna de velocidad, en metros de líquido,  $v$  = velocidad del líquido, metros entre segundo,  $g$  = aceleración debida a la gravedad, metros entre segundos cuadrados.

***Pérdidas de Admisión y Salida.*** Las pérdidas que ocurren en la entrada del tubo se conocen como pérdidas de admisión mientras que las de salida se conocen como pérdidas de salida; en ambos casos, las pérdidas reducen la columna de velocidad en el punto que se considera. Las pérdidas de admisión y salida de un tubo, pueden expresarse como el producto de un coeficiente (cuyo valor depende del accesorio y su disposición) y la columna de velocidad del accesorio.

***Especificación de la Columna de una Bomba.*** Aun cuando la columna total de una bomba puede calcularse con gran exactitud, es necesario ejecutar la especificaciones conforme a las condiciones exactas que existen en la instalación para evitar errores costosos en la selección de la bomba, con esto nos referimos a los factores de seguridad, los cuales en exceso o demasiados liberales, pueden producir una bomba de capacidad mayor que la realmente necesaria, lo cual conduce a un exceso en el consumo de potencia y posiblemente mayor costo de mantenimiento.

**Factores de Seguridad.** Los cálculos de columna, cuando se hacen exactamente, dan la columna total que debe desarrollar la bomba de una instalación dada. Es práctica común el efectuar el cálculo o estimación de la capacidad al mismo tiempo que se determina la columna. El valor exacto de un grupo de condiciones a otro. La práctica común los coloca en cualquier punto de 10 a 50 por ciento de la columna líquida y de la capacidad de la bomba. Estos factores no deben de usarse si un estudio completo de las necesidades hidráulicas de un sistema dado.

**Eficiencia:** Cualquier punto entre 130 y 150 por ciento de la capacidad nominal de la bomba se encuentra en una buena región de eficiencia.

**Costo y ruido:** El ruido, que es un factor de importancia creciente en los sistemas de bombeo de todos los tipos, muchas veces se debe a una bomba de tamaño excesivo. Una bomba más grande de lo necesario descarga más líquido en el sistema de tubería, puesto que no puede cambiarse el tubo, el líquido debe circular por el a una velocidad mayor; esto conduce a ruido excesivo por donde pasa la tubería.

**Otros Factores.** Además de la aplicación de factores de seguridad arbitrarios, hay otras consideraciones que pueden aplicarse al especificar la columna de una bomba. Estas incluyen los cálculos de las pérdidas por fricción, demandas nuevas o futuras en la bomba, variación del nivel de succión o de descarga, operación en paralelo y líquido que maneja.

**Cálculos por pérdidas por fricción:** A través de los años se han publicado gran cantidad de tablas y graficas para determinar este tipo de pérdidas, se recomienda usar los datos más recientes, para evitar errores serios al realizar los cálculos de la columna.

**Demandas nuevas o futuras:** Si las condiciones nuevas o futuras varían mucho con respecto a las existentes, la columna deberá basarse sobre las condiciones de operación finales o bien habrá de obtenerse otra bomba que sea adecuada para ellas.

**Operación en paralelo:** Dos o más bombas que operan en paralelo sobre un sistema común introducen consideraciones adicionales de columna debido a que la columna de fricción varía con la capacidad.

**Nivel del líquido:** Cuando el nivel ya sea de succión o de descarga del líquido varía durante la operación de la bomba, viene acompañado de un cambio en la columna estática de la bomba. Puede existir una variación en la cantidad de líquido entregado, el cambio de capacidad conduce a un cambio en las pérdidas de fricción y como resultado, la región de la columna total en la bomba puede ser menor que la de la columna estática. Para determinar el efecto de tal variación en una bomba particular, la columna total deberá calcularse para cada grupo de condiciones de operación.

**Especificación de la Columna.** Por lo que respecta a la columna, la especificación de la bomba debe incluir los siguientes aspectos para diseñar en forma correcta la columna.

- 1.- Elevación de succión.
- 2.- Columna de succión.
- 3.- Longitud y diámetro del tubo de succión.



- 4.- Número y tipo de accesorios en la línea de succión.
- 5.- Columna estática.
- 6.- Columna de fricción.
- 7.- Presión de descarga máxima.
- 8.- Longitud y diámetro de la línea de descarga.
- 9.- Número y tipo de accesorios y usados en la línea descarga.

### 2.6.1.1- Capacidad del Sistema

En función de la importancia de una aplicación de un equipo de bombeo, la columna y la capacidad tienen la misma importancia. Aun cuando hay otros factores como el líquido que se maneja, disposición de la tubería y tipo de motor, el requisito principal de una bomba es el de entregar la cantidad correcta de líquido contra la columna existente en el sistema.

**Unidades.** Para la mayoría de las bombas centrífugas de tamaño pequeño o mediano, la capacidad viene generalmente en lps [litros por segundo], mientras que para unidades mayores, se usan metros cúbicos por día

**Temperatura.** Puesto que la densidad del líquido cambia con la temperatura, es importante señalar la temperatura del líquido a las condiciones de bombeo cuando se señala la capacidad requerida. El agua fría entre 0 y 27 [°C] se supone con una densidad constante, por lo que respecta a cálculos de bombeo. Por lo tanto, la temperatura del líquido debe hacerse usar parte integrante en todas las especificaciones de capacidad.

**Estimación de las Necesidades de Agua.** La capacidad de bombeo no puede elegirse a menos que se conozcan los requisitos de agua, por lo tanto es necesaria una investigación de consumo del líquido como primer paso para la selección de la bomba. La **tabla 2.9** muestra una forma en que pueden concretarse las necesidades de agua.

Tipo de Edificios	Consumo de Agua en [lpm] por cada Accesorio
Hotel	3.02
Apartamentos	1.13
Hospitales	1.51
Oficinas	2.64
Mercantiles	2.26

Tabla 2.9 Requisitos de Agua en Edificios

Referencia: TYLER G. Hicks, Bombas su selección y aplicación, 3a Edic., Continental.

Para menos de 50 accesorios reducir la capacidad de la bomba 50%, para más de 150 accesorios aumentese la capacidad de la bomba de 15 a 25%.

**Variaciones de Demanda.** Hay que tener extremo cuidado al especificar la capacidad de una bomba cuando la carga de la planta, el ritmo de producción o cualquier otro factor habrá de causar un cambio en la demanda del líquido. Las variaciones en la cantidad del líquido entregado influyen en la eficiencia de la bomba. Es práctica usual el elegir una bomba de manera que cuando opere a su capacidad normal se eficiencia se encuentre en el máximo o muy cerca de él.

### 2.6.1.2- Líquido Manejado

El líquido manejado por una bomba influye y afecta la columna y capacidad a las cuales opera la unidad; la potencia demandada por la bomba y los materiales de construcción que deben usarse para asegurar una vida satisfactoria de la bomba.

**Viscosidad.** Esta es una de las propiedades que requieren consideración cuando se bombean los líquidos viscosos, la otra es la densidad del líquido. Para los problemas de bombeo, la viscosidad puede considerarse como una medida de la fricción interna de un líquido, se produce una resistencia al flujo a través de un tubo, válvula, bomba, etc.

**Sistemas de Tuberías.** Pueden clasificarse en tres categorías: succión, descarga y líneas auxiliares. Ya que en muchas instalaciones la columna que ha de desarrollarse es principalmente una función de la resistencia de la tubería, es necesario tener cuidado para elegir las dimensiones y disposición de los tubos.

Tubería de Succión: La tubería de succión merece más atención que la descarga debido a que puede presentar grandes problemas en caso de no estar bien diseñada como: una capacidad reducida, golpe de ariete, sobrecalentamiento de la bomba y reducción de la vida de las diferentes partes.

Tubería de Descarga: Los factores más importantes en el diseño de una tubería de descarga son el tamaño del tubo, velocidad del líquido, longitud de la tubería, número y tipo de accesorios y naturaleza general del diseño de la tubería-si es consistentemente recto o contiene un gran número de cambios de dirección, vueltas y conexiones laterales.

### 2.6.1.3- Características de los Motores

Existen dos características importantes de la bomba, por lo respecta a al elección del motor: el par de arranque requerido en operación normal y los requisitos de velocidad. La mayor parte de las bombas centrífugas se mueven a velocidad constante, excepto bombas de gran tamaño en la que se puede variar la velocidad.

**Requisitos del Par.** Para obtener los requisitos de par de arranque y de operación de una bomba en particular, hay que consultar al fabricante. El par de arranque varía en forma considerable de un tipo de bomba a otro, con bombas centrífugas típicas el par de arranque es de 15 a 20 por ciento del par de operación normal.

### 2.6.3- Métodos de Selección del Equipo de Bombeo

Las bombas se eligen generalmente por uno de tres métodos: (1) el cliente suministra detalles completos a uno o más fabricantes, de las condiciones de bombeo y pide una recomendación y oferta de las unidades que parezcan más apropiadas para la aplicación; (2) el comprador efectúa un cálculo completo del sistema de bombeo procediendo luego a elegir la unidad más adecuada de catálogos, o (3) se usa una combinación de estos dos métodos para llegar a la selección final.

#### 2.6.3.1- Cálculos en la Elección de una Bomba

Básicamente hay cinco pasos en la elección de cualquier bomba-sea grande o pequeña, centrífuga, recíproca o rotatoria. Estos pasos son: un diagrama de la disposición de bomba y tuberías, determinar la capacidad de la bomba, calcular la columna total, estudiar las condiciones del fluido, elegir la clase y el tipo.

***Demanda de Potencia.*** La potencia requerida para mover cualquier clase o tipo de bomba puede calcularse como:

$$P = \frac{F * H * S}{7620 * E}$$

Donde: P = demanda de potencia en HP [caballos de potencia]; F = gasto, en lps [litros por segundo]; H = columna total de la bomba, en metros de líquido; S = densidad del líquido en Kg/m<sup>3</sup> [kilogramo entre metro cúbico]; E = eficiencia de la bomba, expresada en decimales. Esta ecuación es adecuada para todos los líquidos con una viscosidad igual a la del agua.

***Velocidad Específica.*** Es una práctica común recomendable comprobar la velocidad específica de una bomba para asegurarse que se encuentra dentro de los límites normales para el tipo de bomba elegida.

$$\text{Velocidad Específica [Ns]} = \frac{\text{Rpm} * \sqrt{\text{Gpm}}}{H^{3/4}}$$

Donde: Rpm son las revoluciones por minuto de la bomba, Gpm es el gasto de la bomba en lpm [litros por minuto], H es la altura de la columna total en metros.

#### 2.6.3.2- Selección del Fabricante

Este método se usa para bombas grandes en aplicaciones con condiciones poco usuales, las recomendaciones y oferta deben evaluarse y compararse, y para hacer esto, se requiere un conocimiento completo del problema de bombeo.

**Propuesta.** La propuesta usual contiene la siguiente información: número de modelo de la bomba, clase, tipo, construcción, detalles y materiales, tipo de motor para el que se ha diseñado la bomba, curva de operación con tabulaciones, peso unitario, precio, tiempo de entrega de la bomba después de recibida la orden, instalación de la unidad, condiciones de pago, impuestos, seguro, transportes. Incluido con la propuesta típica viene una ilustración de la bomba y un catálogo.

#### 2.6.4- Ejemplo de Especificación del Equipo de Bombeo

El siguiente ejemplo ilustra adecuadamente el uso de las expresiones, así como de las tablas pertinentes en la selección del equipo de bombeo. ¿Cuál es la capacidad y la columna requeridas en una bomba para alimentar un CC con un total de 150 salidas, si la altura de la salida más alta es de 30 [m]. La presión necesaria en la salida superior es de 1.05 [Kg/cm<sup>2</sup>], las pérdidas por fricción en el tubo de descarga son de 6.1 m. y la columna de presión en la succión de la bomba es de 0.7 [Kg/cm<sup>2</sup>] por último la eficiencia de la bomba es de 70%, y tiene una velocidad de 90 [rpm].

Utilizando la **tabla 2.9** la capacidad en un edificio de actividades mercantiles es de 2.26 litros por minuto; transformando a litros por segundo este valor obtenemos que [150 salidas \* 2.26 lpm/60 = 5.65 lps]. La columna total de la bomba es igual a la altura de la salida más alta + la presión requerida en la salida más alta la cual generalmente es de 1.05 Kg/cm<sup>2</sup> [o 10.5 metros] + la fricción en el tubo de descarga – presión en la succión de la bomba [en metros] = 30 + 10.5 + 6.1 – 7 = 39.6 metros de agua = 3.9 [Kg/cm<sup>2</sup>].

Con estos datos se procede a contestar las siguientes preguntas:

- 1.- Número de unidades requeridas. En este caso sólo se utiliza una bomba.
- 2.- Naturaleza del líquido que habrá de bombearse. Este será agua fresca, fría, con una densidad de 1000 [Kg/m<sup>3</sup>], y la cual no presenta una viscosidad que afecte tanto a la tubería como a la bomba.
- 3.- Capacidad. La capacidad requerida por nuestro equipo de bombea se determina con la siguiente expresión:

$$P = \frac{F * H * S}{7620 * E} = \frac{5.65 * 39.6 * 1000}{7620 * 0.70} = 41.9 \text{ [HP]}$$

- 4.- Determinar la velocidad específica. Con los datos obtenidos, donde Gpm = 5.65 [lps], Rpm = 90 y H = 39.6 y ocupando la expresión siguiente se obtiene:

$$\text{Velocidad Específica (Ns)} = \frac{\text{Rpm} * \sqrt{\text{Gpm}}}{H^{3/4}} = \frac{90 * (5.65)^{1/2}}{(39.6)^{3/4}} = 28.6$$

## 2.7- Cargas Diversas

En esta sección se estudiarán los sistemas que se caracterizan por su baja tensión y su poco consumo. Los cortocircuitos en los mismos no son en general para la seguridad del edificio y las personas, pero la mayoría de ellos llevan sus protecciones para evitar así que una corriente intensa los destruya. Clasificaremos a las instalaciones de baja tensión de la siguiente manera:

- Instalaciones de alarma, protección y seguridad.
- Instalaciones de comunicaciones (teléfonos).
- Instalaciones de audio y video.

### 2.7.1- Sistema de Alarma

Las instalaciones de alarma contra incendio son circuitos cerrados, en los cuales la interrupción de la corriente ocasiona la puesta en marcha de las alarmas. Los detectores de fuego se colocan estratégicamente en los locales a proteger, de tal forma que cada uno cubra unos 50 metros cuadrados de superficie. Las instalaciones de este tipo pueden ser de varios propósitos. Existen avisadores que actúan por simple concentración de gases de combustión, sean estos visibles o no, actúan por ionización.

Los hay también que actúan por apreciación óptica del humo, por modificación de la transparencia del aire. Existen detectores de incendio que accionan por temperatura, sea por fusión de un elemento especial de muy bajo punto de fusión, sea por acción diferencial que se produce cuando el incremento de temperatura por unidad de tiempo, toma un valor establecido. Puede apreciarse que la red de alterna deriva un rectificador que provee corriente continua a la instalación, esto no se puede modificar ya que en caso de falta de tensión de la red, debe haber una batería de acumuladores capaz de actuar con independencia.

### 2.7.2- Bombas contra Incendios

En los sistemas contra incendios se pueden utilizar las siguientes clases de bombas: verticales, horizontales y las reguladores o bombas jockey.

#### 2.7.2.1- Bombas Horizontales

Deben instalarse de manera que funcionen con presión de aspiración positiva, especialmente con arranque automático o manual a distancia. Se recomienda que esta clase de bombas tomen el agua de depósitos cubiertos no subterráneos de agua potable. Esta clase de bomba no proporciona agua hasta que se haya extraído todo el aire, y los rodetes, cajas y tuberías de aspiración estén llenos. Las capacidades de estas bombas varían de 31.6 a 158 lps, y las columnas de 2.8 a 10.5 [Kg/cm<sup>2</sup>].

**Accesorios.** Los elementos auxiliares son indispensables para el funcionamiento completo de las bombas que suministran agua para la protección contra incendios. A continuación se exponen algunos detalles que merecen atención especial.

Válvulas de seguridad: Son necesarias en la descarga de la bomba por si se produjeran presiones excesivas durante su funcionamiento. Las bombas con motor de velocidad regulable necesitan válvulas de seguridad, así como aquellas cuya presión de aspiración más la presión de cierre exceda de la presión nominal del equipo de protección al que estén conectados.

Válvulas de manguera: Evita que la bomba, el motor y los mandos se vean afectados por el agua. El número de válvulas necesarias depende de la capacidad de la bomba.

Válvulas automáticas de escape de aire: Son necesarias en la parte superior de la caja de las bombas con mando automático.

Válvulas de seguridad de circulación: Su función consiste en abrirse a presiones ligeramente superiores a las nominales cuando el caudal es nulo o pequeño, de modo que se descargue suficiente agua para impedir el recalentamiento de la bomba.

### **2.7.2.2- Bombas Verticales**

Este tipo de bombas se construyen en capacidades de 31.6 a 158 [lps.], las columnas de 73 a 87 metros o mayores. Las bombas verticales de incendios típicas consisten esencialmente en un cabezal de motor o un engranaje de accionamiento en ángulo recto, un tubo vertical y un acoplamiento de descarga, un eje motor a la vista o encerrado, el conjunto de la caja de la bomba y un filtro de aspiración.

### **2.7.2.3- Bombas Reguladoras (Jockey)**

Se usan para mantener una cierta presión en un sistema de aspersión en todo tiempo. Están diseñadas para arrancar y parar automáticamente. Generalmente tienen aditamentos de bronce cuando manejan agua con capacidades de 15.8, 31.6, 47.3, o 63.1 [lps].

### **2.7.2.4- Potencia de las Bombas contra Incendios**

Antes de acoplar a la bomba un motor o medio impulsor, es necesario conocer la demanda máxima de potencia efectiva de la bomba a su velocidad nominal. Esto puede determinarse a partir de la curva de potencia suministrada por el fabricante de la bomba. Las bombas de incendios típicas, alcanzan su máxima potencia efectiva entre el 140 y el 170 % de su capacidad nominal. La potencia puede calcularse, de no haber curvas disponibles, por medio de la siguiente expresión:

$$HP = \frac{Q * P}{1.7010 * E}$$

Donde:

HP = Potencia efectiva.

Q = Caudal en galones por minuto.

P = Presión neta total en [libras/pulg<sup>2</sup>].

E = Eficiencia. La eficiencia a la máxima potencia efectiva, es usualmente del 60 al 75 %.

### 2.7.2.5- Fuerza Motriz para Bombas contra Incendios

Las clases de bombas expuestas anteriormente pueden ser movidas, ya sea por motores eléctricos, maquinas diesel o gasolina o por medio de turbinas de vapor, este tipo de dispositivos son explicados a continuación.

**Motores Eléctricos.** Se exige que estén fabricados de acuerdo a las especificaciones de NEMA o CEMA. Los motores de (c.c) para bombas pueden ser del tipo estabilizado con resistencia en derivación o del tipo devanado mixto. La velocidad del motor sin carga a la temperatura de trabajo no debe exceder más de un 10% de la velocidad a plena carga y a temperatura de trabajo.

Los motores de corriente alterna (c.a) más empleados son del tipo de inducción jaula de ardilla. Están provistos con equipo de arranque directamente de la línea, es decir, sin resistencia de arranque, a no ser que sus características de puestas en marcha no sean aceptables. Cuando se emplean motores jaula de ardilla, la caída de tensión no debe ser grande lo que impida el arranque del motor, es decir, no más del 10 % por debajo de la tensión normal en el momento de la puesta en marcha. Cuando el motor esté funcionando a los valores nominales de capacidad, presión y velocidad de la bomba, la tensión de la red no debe caer más del 5 % por debajo de la indicada en la placa del motor.

**Motores Diesel.** La capacidad de una máquina diesel viene afectada por la temperatura y la presión barométrica del aire de entrada y por lo tanto por la altura a la que opera la máquina. Este tipo de dispositivos son regulados por DEMA (Asociación de Fabricantes de Máquinas Diesel). Para estimar el consumo de combustible para una planta de bombeo, el mejor procedimiento es el de calcular el número de caballos-horas de operación que se espera a varias cargas y multiplicarlos ya sea por la garantía real dada por el fabricante del motor o con datos típicos de consumo de combustible. Los motores diesel pequeños usan alrededor de 22.7 litros de combustible por 100 caballos-horas, las máquinas grandes usan alrededor de 18.9 litros por 100 caballos horas.

**Motores de Gasolina.** Puesto que el precio del combustible para una máquina de gasolina es mayor que para una diesel, el motor de gasolina no encuentra mucha aplicación en capacidades de más de 150 [HP], para mover bombas. Actualmente, los motores de gasolina son populares para aplicaciones portátiles en las que el costo del combustible es secundario, ocasionando cierta independencia a los problemas por suministro de combustible en áreas donde se obtiene más fácil la gasolina que el diesel. El consumo de combustible para máquinas de gasolina varía entre 0.204 y 0.318 [Kg/HPh] dependiendo del tamaño del motor, método de enfriamiento, condiciones mecánicas etc. El peso de los motores varía de 4.5 a 23 [Kg.] por cada [HP], comparados con 4 a 68 [Kg.] para las diesels.

**Turbinas de Vapor.** Es aceptable accionar las bombas de incendios con turbinas cuando exista un suministro seguro y adecuado de vapor de agua. La velocidad nominal no debe exceder de 3600 [rpm] por que esta es la velocidad máxima de las bombas de incendio certificadas. Los requisitos aplicables al suministro de vapor, reguladores de velocidad y mandos, se detallan en la “Norma para las bombas de incendios” de la NFPA.

La potencia útil de un motor para una bomba contra incendios debe reducirse por cada 1000 pies de altitud, en un 5 % para motores de gasolina y un 3 % para motores diesel; y un 1 % por cada 10 [°F] por encima de los 60 [°F] (1.6 % y 1 % por cada 1000 [m] de altitud y 18 % por cada 10 °C en exceso de 15.5 °C)

### **2.7.2- Sistema de Seguridad**

Existe una central de alarma, por lo regular de adecuados circuitos electrónicos, que recibe la información de un circuito en serie, como el de las alarmas de incendios. Todos son interruptores normalmente cerrados. La central de alarmas se puede resolver de diversas formas. Puede producir una alarma local y también puede por línea telefónica o por acción radioeléctrica, avisar a un puesto policial o de vigilancia, los dispositivos de alarma pueden conectarse también a la central de bomberos, los circuitos de este tipo de sistemas deben ser independientes para de esta manera saber de qué circuito proviene el aviso. Las instalaciones de control de vigilancia se utilizan para verificar las rondas de los vigilantes. Los vigilantes están obligados a accionar con una llave diversas zonas durante sus rondas, con lo cual queda registrada la hora en una central.

### **2.7.3-Sistema de Audio y Vídeo**

El sistema de audio se utiliza para la retransmisión de música ya sea de procedencia original o de la radio, permite también hacer conferencias. Otro campo de utilización lo constituyen servicios en los cuales es preciso superar el ruido de fondo existente mediante la utilización de altavoces. Los conductores de unión deben ser de ejecución especial y tenderse con cuidado, para evitar perturbaciones procedentes de las líneas de alta tensión. La potencia de los amplificadores de halla multiplicando la suma de las potencias de los altavoces por un factor, que se denomina de simultaneidad.

$$P_{(\text{AMPLIFICADORES})} = K * \sum_{1}^n P$$

Donde:

K = Factor de simultaneidad.

P<sub>1</sub> = Potencias de los altavoces.

Las instalaciones de vídeo están formadas por un aparato captador de imágenes, en las instalaciones grandes se dispone de un receptor de control en la central, con el cual se puede comprobar la calidad de la imagen. Se recomiendan instalaciones de vídeo en locales de gran tamaño y mucho movimiento tiendas, talleres, estacionamientos. Las cámaras pueden ser gobernadas a distancia mediante cables incorporados a la TV. La aplicación de este sistema tiene el inconveniente de no ser automático, o sea de requerir actuación personal. Sin embargo, tiene efecto psicológico; la simple presencia de una cámara visible hace desistir a los ladrones.

### **2.7.4- Sistema de Comunicaciones (Teléfonos)**

Las comunicaciones alámbricas constituyen una importante especialidad dentro de las corrientes débiles. Los elementos básicos de la telefonía son: el transmisor, el llamado micrófono y el receptor, también llamado teléfono.



Las pequeñas centrales que se utilizan hoy en día en oficinas, industrias o comercios, utilizan sistemas electrónicos (circuitos de comunicación-microcomputadoras), las cuales son totalmente automáticas pudiéndose desde cualquier extensión hacer llamados internos y externos sin dependencia alguna. En la actualidad estos circuitos están siendo sustituidos por circuitos electrónicos equivalentes. La función es la misma, pero los componentes están dejando de ser electromagnéticos para ser de estado sólido. Sin embargo, recorriendo los circuitos, se detecta fácilmente que la forma de operar es al misma, salvo que los integrantes electrónicos, tiene ventajas en cuanto al velocidad de operación, facilidad para hacer combinaciones que antes eran engorrosas. En grandes edificios, las líneas telefónicas se instalan conforme las prescripciones de la empresa que presta el servicio y bajo el reglamento para inmuebles, por lo que el número de líneas con la Compañía Telefónica depende del servicio exterior y de su importancia. Estimar su número de manera que, de ser posible, exista alguna línea libre hasta en las horas de mayor servicio. Las instalaciones deben ser completamente independientes de todo otro circuito eléctrico y de exclusivo uso telefónico. Las líneas pueden colocarse en caños del tipo “liviano”. El tamaño de los caños y las cajas debe estar de acuerdo con los “pares” que contienen.

## **2.8- Equipo de Procesamiento de Datos**

Primero se deben mencionar las impresoras. Las terminales para las impresoras deben estar conectadas para proporcionar servicio a lo largo de la red. Las unidades de impresión son de varias formas y varios tipos. Esta unidad debe colocarse en un sitio aislado pero cercano a las personas que requieran sus servicios de manera constante además de proporcionarle un nivel de iluminación de 750 [luxes], y colocarla a 76 [cm] del piso. Generalmente sus necesidades de suministro de energía son de 127 [v], 60 [Hz], trabajando en 2 [A], y para el arranque se necesitará de 8.2 [A] aproximadamente. Se recomienda tener circuitos independientes para evitar daños al suministro de energía de cada impresora ocasionados por accidentas en los contactos diferentes al del suministro de cada una de ellas. La ubicación del equipo de cómputo dependerá de las condiciones de espacio y de las condiciones económicas además del sistema utilizado.

Este tipo de equipo requiere de aire acondicionado o de enfriamiento, potencia (considerada para funcionamiento en forma continua), y un nivel de iluminación entre 300-750 [luxes]. Las necesidades típicas para el equipo de procesamiento de datos son 150 [w] por cada una de las computadoras, además de 22 [w/m<sup>2</sup>] para alumbrado, la alimentación es por medio de un sistema monofásico, en 127 [v], 60 [Hz]. Cuando el equipo es utilizado en modo ahorrador (stand-by) las necesidades de voltaje son de un aumento del 10%, o de -8% con una variación en la frecuencia de 0.5%. Generalmente un transitorio de duración de más de 30 milisegundos, o una variación de voltaje de más de 15 [milisegundos], puede llegar a causar errores, pérdidas de información o daño al equipo. El equipo seleccionado será dependiente de el tipo de operación, economía y operar bajo condiciones de voltaje irregulares, es por ello que actualmente se utilizan los llamados sistemas UPS (Uninterruptible Power System) el cual será analizado en el siguiente capítulo. Por último el sistema de tierras para el equipo de procesamiento de datos debe ser independiente del sistema general del edificio.

## **CAPITULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN**

El sistema de alimentación de energía eléctrica está caracterizado por las siguientes partes: red de alimentación de la compañía suministradora, la cual puede ser aérea o subterránea; subestación para transformar los niveles de voltaje; sistema de distribución en baja tensión; tableros de control de las cargas; tableros de control de circuitos derivados.

### **3.1.- Selección de los Voltajes de Alimentación y de Utilización**

Un punto muy importante al diseñar el sistema de alimentación es el de seleccionar adecuadamente el voltaje que será suministrado a la instalación, así, como, el que se utilizará en los distintos equipos y sistemas que conforman a la instalación.

#### **3.1.1 Sistemas de Alimentación**

Existen básicamente tres tipos de sistemas de alimentación mediante los cuales se puede suministrar la energía eléctrica a la instalación, dichos sistemas son:

***Sistema Monofásico de dos Conductores.*** Este sistema se usa por lo general para alimentar cargas de alumbrado cuyo valor no exceda a 3750 watts por circuito, se usa también en la alimentación de circuitos derivados.

***Sistemas Trifásico de tres Conductores.*** Este sistema puede ser la salida de una conexión delta de un transformador o bien de una conexión estrella sin conductor al neutro. Desde luego que la conexión se usa para alimentar cargas trifásicas, como es el caso de motores que operan con voltajes de 220 volts ó 440 volts.

***Sistema Trifásico de cuatro Conductores.*** Este es uno de los sistemas de alimentación más usados ya que resulta flexible para la alimentación de cargas trifásicas (con los tres conductores de fase) y monofásicos (con una fase y neutro), por ejemplo, se pueden alimentar motores trifásicos a 220 volts y alumbrado a 127 volts. Debido a esta flexibilidad para la alimentación de distintos tipos de cargas tanto monofásicas como trifásicas, el sistema a cuatro hilos es uno de los más usados en México y por lo tanto el que se recomienda para una instalación dentro de un Centro Comercial.

Un sistema trifásico a cuatro hilos son sistemas en los cuales los conductores son llevados desde la fuente de alimentación para la conexión de cargas. La fuente puede ser derivada de algún tipo de conexión en un transformador trifásico ya sea aterrizado o no aterrizado. En los sistemas trifásicos a cuatro hilos el conductor neutral es también llevado desde la fuente para la conexión de las cargas.

#### **3.1.2- Sistemas de Voltaje**

Actualmente existen valores de voltaje diferentes a los publicados por ANSI C84.1-1989 y aunque tales diferencias son solamente por algunos puntos porcentuales es importante conocerlos para con ello decidir cual será usado como alimentación a la instalación.

### 3.1.2.1- Nomenclatura de los Sistemas de Voltaje

Los sistemas de voltaje son designados de la misma manera como se le da la designación en los datos de placa de un transformador; para poder entender mejor este concepto se dan los siguientes ejemplos:

1.- Sistemas monofásicos 127 [v] – Indica una fase un sistema con dos hilos en el cual el voltaje nominal entre los dos hilos es de 127 volts.

a) 127/240 – Indica una fase, un sistema con tres hilos en el cual el voltaje nominal entre las dos fases es de 240 volts, y el voltaje entre fase y neutro es de 127 volts.

2.- Sistemas trifásicos 220/127 volts – Indica tres fases, un sistema de cuatro hilos donde la alimentación proviene de un transformador conectado en delta. El Tap central de uno de los devanados es conectado al neutro. Los tres conductores de fase proporcionan un voltaje nominal de 220 volts entre fases y un sistema de tres hilos, y cuando se toma el neutro y dos conductores de fase adyacentes estos proporcionan un voltaje nominal de 127/220 volts monofásico y un sistema de tres hilos.

a) Un solo número - Indica un sistema trifásico, de tres hilos en el cual el número designa el voltaje entre las fases.

b) Dos números separados por Y/ - Indica un sistema trifásico, de cuatro hilos con una conexión estrellas en el transformador en el cual el primer número indica el voltaje nominal entre fases y el segundo el voltaje nominal entre fase y neutro.

### 3.1.2.2- Rangos de Voltaje

En la misma forma que existe un criterio general para determinar la capacidad del transformador de una subestación, existen, ciertas reglas generales relacionadas con los voltajes más convenientes a utilizar. Para los voltajes de suministro de acometida, dependiendo del lugar geográfico en donde se encuentre nuestro proyecto, las compañías suministradoras de energía tienen definidos niveles de voltaje establecidos en la red de distribución local, los más comunes actualmente para venta al público en nuestro país son:

- 34,000 volts
- 23,000 volts
- 13,200 volts

A estos voltajes se tendrán que adecuar nuestros equipos para recibir los voltajes correspondientes; el voltaje de acometida es uno de los puntos más importantes para la selección de nuestros equipos, los voltajes de suministro son investigados desde la planeación del proyecto para realizar los pedidos correspondientes de equipo. Un punto que se deja en algunas ocasiones fuera del proyecto pero que no deja ser parte integral del mismo, es la contratación de la acometida eléctrica. La contratación del servicio de energía eléctrica puede ser en las siguientes tensiones de suministro:

**Baja Tensión.** Es el servicio que se suministra en niveles de tensión menores o iguales a 1000 volts. Estos voltajes son usados para alimentar los equipos dentro de la instalación, como lámparas, motores, dispositivos de protección, etc. Se debe mencionar que en México las tensiones normalizadas en baja tensión y en los cuales trabajarán los equipos son las siguientes: 440, 220, y 127 volts.

**Media Tensión.** Es el servicio que se suministra en niveles de tensión mayores a 1000 volts, pero menores a 35,000 volts. Esta clase de voltajes son usados como voltajes de distribución primaria para alimentar a los transformadores de distribución los cuales bajan el voltaje medio a un nivel de voltaje bajo para poder alimentar a los diferentes equipos. Los voltajes medios de 13800 volts y menores son también usados para alimentar algunos equipos, tales como grandes motores. (ver tabla 3.1).

Sistema Nominal de Voltaje	Voltaje de Placa
Motores Monofásicos	
120	115
240	230
Motores Trifásicos	
208	200
240	230
480	460
600	575
2400	2300
4160	4000
4800	4600
6900	6600
13800	13200

Tabla 3.1 Rangos de Voltaje para Motores Estándares

Referencia: IEEE recommended practice for electric power systems in commercial buildings.

**Alta tensión a Nivel de Transmisión.** Es el servicio que se suministra a niveles de tensión iguales o mayores a 220,000 volts. Estos niveles son usados para transmitir grandes cantidades de potencia eléctrica sobre las líneas de transmisión que interconectan a las subestaciones de transmisión. En este rango las tensiones normalizadas en nuestro país son: 400, 230, [KV].

En este apartado se mostrarán los criterios que se utilizan para definir los voltajes con los que trabajarán los equipos del sistema. Como primer paso se deben seguir las siguientes recomendaciones para no tener problemas al momento de seleccionar la tensión de alimentación.

1.- El sistema de distribución primario alimenta a los transformadores de distribución, los cuales disminuyen el voltaje de distribución primario a voltajes utilizables, generalmente en el rango de 120-600 volts para alimentar el sistema de distribución secundario al cual el equipo que será utilizado está conectado.

2.- Algunos de los voltajes mostrados a continuación por medio de la **tabla 3.2** representa los rangos de las tensiones usadas en México, y los cuales no son suministrados directamente por la compañía, en este caso se deben utilizar algunos dispositivos para poder con ello obtener el nivel requerido como por ejemplo con transformadores.

Transmisión	Subtransmisión	Distribución	Utilización
400 KV	115 KV	34.5 KV	6000 v, 3Φ
		23.0 KV	4160 v, 3Φ
230 KV	69 KV	13.2 KV	2100 v, 3Φ
			440 v, 3Φ
			220 v, 3Φ
			127 v, 3Φ

Tabla 3.2 Tensiones en México

Los voltajes de alimentación varían dependiendo de las necesidades de potencia de la instalación, la **tabla 3.3** sirve como referencia para conocer el valor del voltaje que se utilizará dependiendo del valor estimado de la carga. Los valores de carga que se traslapan con dos posibles voltajes, están relacionados con la distancia a que se deba alimentar a las cargas, en este caso los centros de carga de la subestación, y en donde es importante respetar los máximos valores permisibles de caída de voltaje (3% entre alimentador y circuitos derivado

Carga en [KVA]	Voltaje de Alimentación (Tres fases)
0-75	220/127 v
0-300	220/127 v
300-750	440/254 v
750-1500	440/254 v
1500-3000	2400 v
3000-20000	4160 v
Mas de 10000	13.2 KV

Tabla 3.3 Voltajes de Alimentación según la Carga Conectada

Para comprender mejor los valores de estas tablas, la llamada red de subtransmisión recibe potencia del sistema o red de transmisión de distintos puntos ubicados en las subestaciones de transmisión; a su vez la red de subtransmisión se utiliza para alimentar a la red de distribución en las subestaciones de subtransmisión y a partir de estas redes de distribución se alimenta a los distintos tipos de usuarios (residenciales y comerciales).

3.- En pequeñas construcciones, las cuales tienen arriba de algunos cientos de kilovoltamperes [KVA] de carga y todas las construcciones alimentadas a partir de una red secundaria su alimentación debe ser dada por medio de un transformador de distribución. El sistema de distribución secundario se obtiene dependiendo de las conexiones del transformador.

4.- En construcciones de tamaño medio con cargas de algunos cientos de kilovoltamperes son generalmente conectadas al sistema de distribución primario, en este tipo de construcciones el diseñador debe proporcionar la sección del sistema de distribución primario dentro de la construcción, el valor de los transformadores de distribución, y el tamaño del sistema de distribución secundario.

### **3.1.3- Selección del Voltaje de Utilización**

Generalmente el voltaje de utilización preferido para grandes construcciones comerciales es 440Y/254 aunque puede variar dependiendo del valor de las cargas calculadas en el capítulo anterior. Las cargas trifásicas son conectadas directamente al sistema en 440 volts, y el alumbrado fluorescente es conectado fase a neutro en 254 volts. Pequeños transformadores del tipo seco con valores de 440-220/127 volts son usados para proporcionar 127 volts para equipos que así lo requieran como el alumbrado. Cuando se lleguen a utilizar transformadores monofásicos, éstos deben estar conectados en secuencia para mantener balanceada la carga total en el sistema primario. Cuando las necesidades de alimentación lleguen a cambiar, la selección de los voltajes será limitada a estas nuevas necesidades.

Cuando un (CC) llega a ser demasiado grande para poder ser alimentado en un voltaje de utilización por medio de la instalación de un solo transformador de distribución, la línea de distribución primaria de la compañía debe ser derivado para alimentar las instalaciones del transformador de distribución. Consideraciones especiales deben ser dadas para poder minimizar las caídas de voltaje y que estas no lleguen a afectar la operación de otros equipos utilizados en el sistema de alimentación al motor cuando existe el arranque de motores de gran tamaño. Grandes motores generalmente arriba de 150 [HP] pueden ser alimentados en medio voltaje por medio de un transformador separado para con ello eliminar las caídas de voltaje en el sistema de bajo voltaje. La **tabla 2.8** muestra los voltajes estándares y los límites de [HP] preferidos para motores de inducción polifásicos que pueden ser usados para aire acondicionado.

### 3.1.3.1- Rangos de Voltaje para la Utilización del Equipo

El equipo utilizable es definido como el equipo eléctrico que convierte la potencia eléctrica en alguna otra forma de energía, tal como luminosa, calorífica o mecánica. En los datos de placa del equipo utilizable debe aparecer entre otras cosas el valor de voltaje para el cual el equipo fue diseñado. La **tabla 3.1** proporciona el valor del voltaje de placa que es compatible con algún sistema de voltaje nominal de alimentación para motores estandarizados, especificados en ANSI/NEMA MG1-1978.

### 3.1.4- Variaciones de Voltaje

Siempre que el voltaje en las terminales del equipo utilizado varíe con respecto a sus datos de placa, el funcionamiento de equipo y su vida útil cambian. En general un cambio en el voltaje aplicado origina un cambio proporcional en la corriente. A partir de que el efecto en la carga del equipo es proporcional al producto del voltaje por la corriente y de que la corriente es proporcional al voltaje, el efecto total es aproximadamente total al cuadrado del voltaje; esto es solamente una aproximación proporcional por lo que no es exacta debido a que el cambio en la corriente afecta la operación del equipo. En el caso de un motor de inducción, una reducción en el voltaje de alimentación originará una reducción en la corriente que va hacia el motor, originando que el motor arranque con un cierto retardo.

**Motores de Inducción.** Los efectos más importantes de un bajo voltaje, son una reducción en el par de arranque y un incremento en la temperatura del motor, los efectos de un alto voltaje son que el par de arranque se incrementa, se incrementa la corriente de arranque y disminuye el factor de potencia. En general, pequeñas variaciones de voltaje arriba del voltaje de placa tienen mínimos efectos dañinos en el funcionamiento del motor.

**Motores Sincronos.** Los motores síncronos son dañados de la misma manera que los motores de inducción, excepto que la velocidad permanece constante, a menos de que exista un cambio de frecuencia, y el máximo par de arranque varíe directamente con el voltaje.

**Lámparas Incandescentes.** El flujo luminoso de salida y el filamento de las lámparas son afectados críticamente por las variaciones de voltaje llegando a destruirse si la variación es considerable.

**Lámparas Fluorescentes.** Las lámparas fluorescentes a diferencia de las incandescentes, operan satisfactoriamente en un rango de +/- 10% del valor de voltaje de placa del balastro. El flujo luminoso de salida varía aproximadamente en proporción directa la voltaje aplicado. Es decir, un incremento del 1% en el voltaje de alimentación incrementará el flujo luminoso de salida en 1% en consecuencia, un decremento del 1% en el voltaje de alimentación reducirá el flujo en un 1%. La vida de una lámpara fluorescente es afectada de una manera menor por la variación de voltaje que la vida de una lámpara incandescente.

**Lámparas de Alta Densidad de Descarga (HID).** Las lámparas de mercurio con balastos convencionales no regulados tendrán un 30% de decremento en el flujo luminoso de salida para un 10% de decremento en el voltaje de alimentación. Cuando es usado un balastro con un valor en watts constantes, el decremento en el flujo luminoso de salida para una disminución en el voltaje de 10% será alrededor del 2%. Las lámparas de sodio y de metal halide tienen similares características a las de las lámparas de mercurio, aunque el voltaje de encendido y de operación llega a variar un poco.

**Capacitores.** La potencia reactiva de los capacitores varía con el cuadrado del voltaje aplicado. Una variación de un 10% en el voltaje de alimentación reduce la potencia reactiva en un 19%.

### 3.1.4.1- Cálculo de las Variaciones de Voltaje

Los cálculos de las variaciones de voltajes se llevan a cabo utilizando la siguiente fórmula:

$$V = I * R \cos\theta + I * X \operatorname{sen}\theta$$

Donde:

V = Caída de voltaje del circuito de fase a neutro [v].

I = Corriente que fluye por el conductor [A].

R = Resistencia del conductor [ohms].

X = Reactancia del conductor [ohms].

$\theta$  = Angulo cuyo coseno es el factor de potencia de la carga.

$\cos\theta$  = Factor de potencia de la carga, en decimales.

$\operatorname{sen}\theta$  = Factor reactivo de la carga, en decimales.

La caída de voltaje V, obtenido a partir de la formula anterior es la caída de un conductor, comúnmente llamada “caída de voltaje de fase a neutro”. Para sistemas trifásicos balanceados, la caída de voltaje entre fases se obtiene multiplicando la caída de voltaje entre fase y neutro por alguno de los siguientes valores.

Sistema de Voltaje	Multiplicar por
Monofásico	2
Trifásico	$\sqrt{3}$

Al usar esta fórmula se debe entender que la corriente I es generalmente la máxima corriente de carga o la capacidad de conducción del conductor; la resistencia R es la resistencia en (c.a) particular del conductor usado, ya sea cobre o aluminio ya que son los que se usan de una manera más común en las instalaciones; la reactancia X también depende del tamaño y material con el cual está construido el conductor;  $\theta$  es el ángulo entre el voltaje y corriente de carga;  $\cos\theta$  es el factor de potencia de la carga expresado como un decimal.  $I * R \cos\theta$  es la componente resistiva de la caída de voltaje y esta en fase con la corriente.  $I * X \operatorname{sen}\theta$  es la componente reactiva de la caída de voltaje y está  $90^\circ$  defasada con respecto a la corriente. El  $\operatorname{sen}\theta$  es positivo cuando la corriente está atrasada con respecto al voltaje (factor de potencia atrasado) y negativo cuando la corriente está adelantada con respecto al voltaje (factor de potencia adelantado).



### 3.1.5- Mejoras a las Condiciones de Voltaje

Un mal funcionamiento del equipo, sobrecalentamiento, ruido ocasionado por los dispositivos de protección son señales de voltaje inadecuado. En casos de bajo voltaje el primer paso para obtener una mejora es hacer un estudio de la carga para medir la corriente que toma esta debido al equipo afectado, así como el obtener la corriente en el circuito que alimenta al equipo y la corriente que es proporcionada por el transformador de distribución bajo condiciones de carga. Si el voltaje de utilización es excesivamente alto un estudio de voltaje debe ser hecho para determinar el voltaje distribuido en el equipo utilizable bajo todas las condiciones de carga comparándolo con ANSI C841-1989 para determinar si el voltaje insatisfactorio es causado por la planta del sistema de distribución o por las necesidades de alimentación.

Cuando un bajo voltaje es ocasionado por una excesiva variación de voltaje en el lado de bajo-voltaje el calibre del conductor debe ser incrementado, otra solución es la de instalar un circuito de manera separada en orden para separar la carga. Cuando el factor de potencia de la carga es bajo, capacitores deben ser instalados para con ello mejorarlo y reducir la variación de voltaje. La metodología para conocer el tamaño y ubicación de los capacitores dentro de la instalación eléctrica para mejorar el factor de potencia se analiza en el apartado de factor de potencia dentro de este capítulo, y el cual es referido a IEEE Std 141-1986 (ANSI) para aplicaciones propias de capacitores.

Si el bajo voltaje afecta a una gran área, la mejor solución es convertir a distribución primaria siempre y cuando la construcción sea alimentada por un solo transformador, o instalar un transformador adicional en el centro del área afectada cuando la construcción cuenta ya con una distribución primaria. Cuando el voltaje es considerado alto o bajo para nuestra instalación y la construcción cuenta con una distribución primaria, los taps del transformador de distribución deben de ser cambiados lo cual es explicado en el apartado de transformador.

### 3.1.6- Caídas de Voltaje Momentáneas

El análisis realizado en el apartado anterior cubre los cambios relativamente lentos de voltaje y tomando en cuenta los límites de tolerancia. Sin embargo, a los cambios repentinos y rápidos de voltaje debe de dárseles una consideración especial. Es por ello que se debe de tener precaución y tomar en cuenta estas variaciones para diseñar los sistemas y que estos no irriten a los ocupantes dentro del Centro Comercial con el parpadeo de lámparas que es el mejor ejemplo en donde se presentan esta clase de voltajes, dicho parpadeo en la iluminación es molesto si ocurre de manera frecuente y cíclico.

Es importante definir cual es el límite para que una variación momentánea de voltaje no sea dañina para el público. La **figura 3.1** muestra los límites de las caídas momentáneas de voltaje para iluminación incandescente, causadas por caídas de voltaje momentáneas. La curva inferior muestra el límite donde la gente comienza a detectar el parpadeo; la curva superior es el límite donde algunas persona encontrarán esta parpadeo muy molesto. En 10 caídas momentáneas (dips) por hora, la gente comienza a detectar el parpadeo de las lámparas incandescentes, cuando las caída momentáneas de voltaje son mayores del 1% del valor de la variación se comienza a sentir incomodidad y cuando la magnitud excede el 3% del valor de la variación momentánea de voltaje se vuelve intolerable el parpadeo.

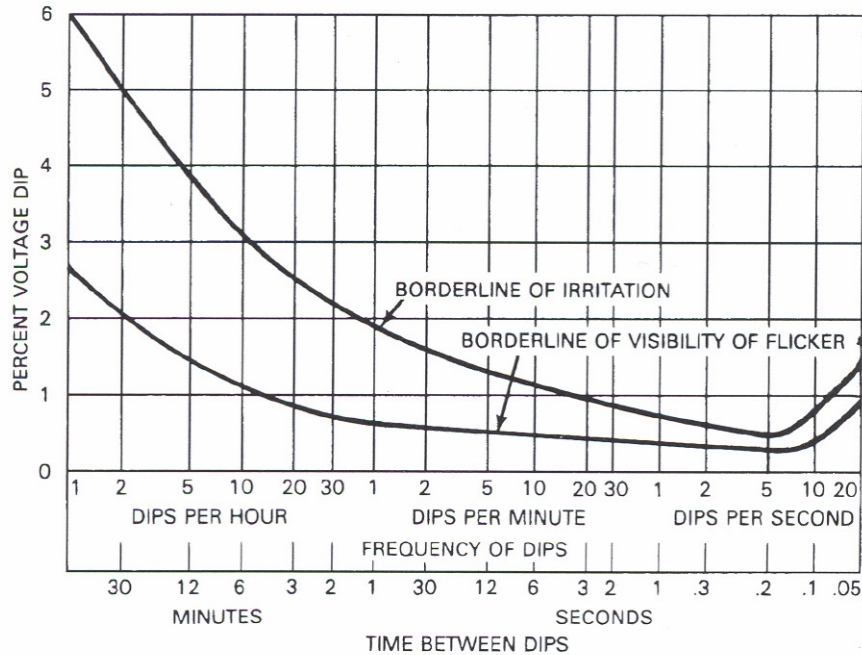


Figura 3.1 Parpadeo de Lámparas Incandescentes Causado por Caídas de Voltaje Momentáneas

Referencia: Power Systems Engineering Comité, IEEE recommended practice for electric power systems in commercial buildings.

Una fuente creadora de estas caídas de voltaje en construcciones comerciales es la corriente que toman los motores de gran capacidad al momento del arranque alimentados por un transformador de distribución que al mismo tiempo alimenta el alumbrado. Una manera rápida para estimar el parpadeo ocasionado por el arranque de un motor es multiplicar el valor en el arranque del motor a rotor bloqueado en [KVA] por la impedancia del transformador que lo alimenta y dividiéndolo entre la capacidad del transformador en [KVA]. Como dato se anexa que cada 5 [KVA] es igual a 1[HP].

$$\% \text{ Parpadeo} = \frac{\text{Capacidad del motor [KVA]} * \% \text{ Impedancia del transformador}}{\text{Capacidad del transformador en [KVA]}} < 3\%$$

Actualmente el valor en [KVA] que tiene un motor a rotor bloqueado es proporcionado por los propios fabricantes de motores y se distingue por medio de una letra perteneciente a un código y que es colocada dentro de los datos de placa del motor. Los valores para las diferentes letras del código son proporcionadas en la **tabla 3.4** obtenida de ANSI/NEMA MG1.1978.

Letras de Clave	[KVA] por [HP] a Rotor Bloqueado
A	0-3.14
B	3.15-3.54
C	3.55-3.99
D	4-4.49
E	4.5-4.99
F	5-5.59
G	5.6-6.29
H	6.3-7.09
J	7.1-7.99
K	8-8.99
L	9-9.99
M	10-11.19
N	11.2-12.49
P	12.5-13.99
R	14-15.99
S	16-17.99
T	18-19.99
U	20-23.39
V	22.4 o más

Tabla 3.4 Letras Clave para Indicar los KVA por HP de los Motores a Rotor Bloqueado

### 3.2- Subestación

La energía eléctrica que se necesita suministrar a una instalación eléctrica ya sea industrial, comercial o bien a edificios habitacionales, puede ser a voltajes de alimentación que son muy altos para las cargas, por este motivo es necesario convertir o transformar los voltajes de alimentación a niveles adecuados utilizables directamente por las cargas dentro de sus rangos de alimentación. Si definimos como *subestación* un conjunto de dispositivos eléctricos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia; en donde sus funciones principales son: transformar tensiones y derivar circuitos de potencia, es importante mencionar las diferentes clasificaciones que se hacen este equipo.

#### 3.2.1- Clasificación de las Subestaciones

La clasificación depende del tipo de uso que se les da, las características de fabricación y/o el voltaje y la potencia que manejan, enlistándose de la siguiente forma:

- 1.- Subestaciones Elevadoras.
- 2.- Subestaciones Reductoras.
- 3.- Subestaciones de Enlace.

**Subestaciones Elevadoras.** Se localizan en Centrales Eléctricas, debido a que elevan las tensiones de generación a valores de tensión de transmisión, estos últimos dependiendo del tamaño del sistema eléctrico, se pueden encontrar en un rango de 115 a 800 [KV], aunque en algunos países los valores llegan a ser mayores en corriente alterna de sus sistemas eléctricos, de igual manera para la transmisión de corriente directa se pueden encontrar niveles de tensión en un rango de hasta 800 [KV].

**Subestaciones Reductororas.** Son subestaciones donde los niveles de tensión de transmisión se reducen al nivel de subtransmisión o de subtransmisión a distribución o eventualmente a utilización. Estas subestaciones se encuentran en las redes de transmisión, subtransmisión o distribución y son el mayor número de subestaciones que conforman el sistema eléctrico.

**Subestaciones de Enlace.** En los sistemas eléctricos, se requiere tener mayor flexibilidad de operación para poder incrementar la continuidad en el servicio y consecuentemente la confiabilidad, por lo que es conveniente el uso de las subestaciones de enlace, que son simplemente subestaciones que se interconectan a una o varias subestaciones que permiten el respaldo ante una condición por mantenimiento o por falla en la instalación.

### **3.2.2- Componentes de una Subestación**

En el proyecto de una subestación eléctrica es muy importante el arreglo o disposición de equipo, el cual consiste principalmente en el arreglo de sus componentes, de acuerdo con un patrón establecido y determinado por la función de cada componente, así como su relación de área y que deben estar conectados de acuerdo con el diagrama unifilar correspondiente, el cual es el punto de partida del proyecto. Debido a que en general las subestaciones se encuentran constituidas por un determinado número de circuitos semejantes unos a otros, es conveniente representar el arreglo solamente en una sección o bien hacerlo por los llamados arreglos en bahías en donde solo se indica el equipo principal como: transformadores de instrumento, interruptores, cuchillas desconectoras, y el sistema de barras con sus aisladores.

A partir de las consideraciones anteriores se puede pasar a definir cada uno de los componentes de una subestación. La subestación está compuesta por una serie de gabinetes los cuales contienen el equipo con el que controla y regula la energía eléctrica. El transformador que forma parte de la subestación, se encarga de transformar la energía que recibe de la compañía suministradora de un nivel de voltaje a otro más adecuado, su diseño será hecho de manera detallada más adelante. Las celdas que componen a una subestación y su función son las siguientes:

**Celda de Acometida.** Prevista para recibir los cables de energía de alta tensión.

**Celda de Medición.** Destinada al equipo de medición de la compañía suministradora.

**Celda de Cuchilla de Servicio y Prueba.** Previstas para alojar y hacer las conexiones necesarias del equipo de verificación de la compañía suministradora.

**Celda de Cuchilla de Servicio.** Impide el paso de energía eléctrica a la siguiente sección y permite aislar la celda del interruptor en caso de ser necesario.

**Celda de Seccionador bajo Carga con Apartarrayos.** Su finalidad es la protección contra cortocircuito y sobretensiones atmosféricas.

**Celda de Acoplamiento Lateral del Transformador.** Para acoplamiento eléctrico y mecánico al transformador.

**Celda de Camino o Transición de Barras.** Para interconexión entre un seccionador general con uno o más seccionadores derivados.

**Transformadores de Corriente.** Los circuitos secundarios de los transformadores de corriente deben tener medios para ponerse en cortocircuito, conectar a tierra simultáneamente y aislar los transformadores del equipo normalmente conectado a ellos mientras el primario está conectado al circuito alimentador. El calibre mínimo que se recomienda usar en las conexiones de los secundarios de los transformadores de corriente es el del No.10 [5.26 mm<sup>2</sup>] para control y protección y del No.14 [2.08 mm<sup>2</sup>] para señalización.

**Transformadores de Potencia.** Los siguientes requisitos se aplican a transformadores de potencia o de distribución. En la instalación de transformadores deben cumplirse las disposiciones respecto a defensas y distancias para resguardo de partes vivas; en edificios donde no se usen solo para subestaciones, deben instalarse en lugares especialmente destinados a ello con ventilación apropiada. Los transformadores de potencia deben ser seleccionados para trabajar lo más cercano al 100% de su capacidad para obtener un máximo rendimiento.

### **3.2.3- Características Generales de Diseño**

Estas son las condiciones de diseño que se deben seguir para tener un correcto funcionamiento de la subestación.

**Voltaje Máximo de Operación.** Generalmente las subestaciones compactas, se diseñan para operar en uno de los tres rangos de voltajes, (indicados como voltajes máximos de operación) normalizados para la distribución de la energía en media tensión. Es decir puede operar en 13.2 [KV], 23 [KV] ó 34.5 [KV].

**Diseño bajo Normas de Fabricación.** El equipo debe estar diseñado y certificado bajo la Norma Mexicana NOM-J-68-1981; asegurando el correcto funcionamiento de la subestación de acuerdo a las características de utilización en territorio nacional. Otra norma nacional referente a la fabricación de subestaciones es NOM-J-220, e internacionales: IEC 529, IEC 144, IEC 298/81.

**Tipo de Aplicación.** Una subestación puede ser utilizada como: subestación de acometida principal o como subestación de acometida derivada. En este caso el tipo de aplicación determina el número de elementos que la componen, el arreglo, las dimensiones generales y el costo.

**Tipo de Servicio.** El diseño puede ser para los dos tipos de servicio más empleados en la industria: Servicio interior NEMA1 (usos generales como: servicio interior, condiciones atmosféricas normales, construido en lámina metálica). Servicio intemperie NEMA3R (a prueba de lluvia: servicio exterior a prueba de lluvia, resistente a la corrosión). El tipo de servicio determina el diseño de los gabinetes de la subestación para la protección de los elementos de control, así como el costo de la misma.

**Características Mecánicas de Protección.** La norma NOM-J-68-1981, indica que las subestaciones deben ser construidas con materiales capaces de resistir los esfuerzos mecánicos, eléctricos y térmicos, así como también los efectos de la humedad que puede presentarse en servicio normal. Como requisito mínimo de protección contra corrosión, los gabinetes deben estar sometidos a un proceso de limpieza fosfatizado y posteriormente pintados con pintura epóxica y secado al horno.

**Seguridad de Operación.** La protección contra contactos accidentales con partes vivas se logra diseñando la subestación para que presente en su totalidad perimetral superficies exentas de riesgo para el personal de operación. En las subestaciones tipo intemperie se utiliza el doble frente, asegurando protección al equipo contra el medio ambiente y al personal contra contactos involuntarios. De igual forma, el cierre de los elementos del paso de la energía se debe garantizar únicamente con las puertas cerradas, por lo que se debe contar con mecanismos de bloqueo contra apertura o cierre accidental.

**Facilidad de Instalación.** Normalmente los elementos de una subestación son diseñados para alojarse en secciones independientes (celdas) unidas mediante tornillos, lo cual facilita el armado y la instalación de la subestación.

**Instalación y Mantenimiento del Equipo.** El equipo de emergencia debe de ser revisado y probado periódicamente para cerciorarse que este en buenas condiciones; que el equipo de uso eventual se revise y pruebe antes de usarse en cada ocasión; los espacios interiores y exteriores donde está localizado el equipo eléctrico debe de tener medios de iluminación artificial con niveles adecuados para las funciones que en cada caso se tengan que cumplir. En la **tabla 3.5** se muestran los niveles de iluminación recomendados para locales interiores en una subestación.

Local	Iluminación [luxes]
Frente de tableros de control con instrumentos diversos, interruptores.	300
Parte posterior de los tableros o áreas dentro de tableros "duplex"	60
Pupitres de distribución o de trabajo.	300
Cuarto de baterías	200

Pasillos y escaleras	100
Alumbrado de emergencia, en cualquier área	20

Tabla 3.5 Niveles de iluminación para Locales Interiores en Subestaciones

Referencia: Manual, Recomendaciones para ahorro de energía en instalaciones eléctricas, FIDE.

### 3.3- Transformador

Los Centros Comerciales utilizan bajo voltaje y sistemas trifásicos. La conexión del transformador para derivar los diferentes voltajes dentro de la instalación es casi siempre Delta-Estrella, ya que la conexión delta cancela todas las componentes de la tercera armónica y múltiplos de esta, mientras que la conexión estrella proporciona un punto de conexión para el neutro. El transformador tiene la finalidad de transformar el voltaje de suministro de la energía al nivel de voltaje de consumo; también se dice que tiene la finalidad de acoplar inductivamente los diferentes circuitos eléctricos permitiendo un intercambio de energía a diferentes niveles de voltaje o entre formas distintas de conexión.

#### 3.3.1- Factores de Selección

Las principales características a especificar para un transformador en todo proyecto de instalación eléctrica son varias aunque algunas necesitan de una explicación más detallada.

##### 3.3.1.1- Capacidad del Transformador

Se calcula a partir del valor de la potencia instalada y de los factores de simultaneidad (FS) y de diversidad (FU). Por lo tanto la capacidad del transformador se obtiene como:

$$KVA_{\text{TRANSFORMADOR}} = \text{Carga instalada} * \frac{\text{Factor de simultaneidad}}{\text{Factor de diversidad}}$$

Donde:

$$\text{Factor de simultaneidad} = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga instalada}}$$

$$\text{Factor de diversidad} = \frac{\text{Suma de las demandas máximas}}{\text{Demanda máxima resultante}}$$

Se debe cumplir que:

- 1.- El factor de simultaneidad sea igual o menor que la unidad.
- 2.- El factor de diversidad sea igual o mayor que la unidad.

**Factor de Diversidad.** Se define como la relación entre la potencia absorbida en condiciones determinadas de operación, y la potencia nominal de una carga.

**Factor de Simultaneidad.** Se define como la relación entre la suma de la potencia de una carga en operación y la potencia total instalada de la carga.

Esta capacidad nominal se define como la potencia total en [KVA] que el devanado secundario es capaz de suministrar en un tiempo determinado de operación bajo condiciones de tensión y frecuencia de diseño, sin que la temperatura promedio de un devanado exceda de 65 [°C], sobre una temperatura promedio de 30 [°C] y máxima de 40 [°C]. Cuando la temperatura ambiente promedio máxima excede a los valores indicados pero sin ser mayor a la promedio de 30 [°C] y opera a una altura superior de 1000 msnm (metros sobre el nivel del mar) se sabe que a altitudes superiores a la de diseño, el aire se enrarece y la capacidad de disipación de calor disminuye y por lo tanto su capacidad en un valor aproximadamente de 0.4% por cada 100 [m] en exceso de los 1000 [m].

**Factor de Coincidencia.** Este factor es de mucha importancia, ya que de no cumplir con el valor que marca la norma (<0.87%) tendremos el problema que nuestro transformador no soportará cuando el valor de su capacidad coincida con el valor pico, lo cual debe ser muy poco probable.

$$\text{Factor de Coincidencia} = \frac{\text{KwHr uso real}}{\text{KwHr totales de la instalación}} < 0.87\%$$

### 3.3.1.2- Valores de Voltaje, Relación de Transformación y Conexiones

Todos los valores manejados en la **tabla 3.6** no son viables para todos los diferentes valores de voltaje y relaciones de transformación, en general, los de valor más pequeño proporcionan niveles en el rango de bajo voltaje y los de mayor capacidad proporcionan niveles de voltaje alto. Los valores de voltaje y relaciones de transformación deben ser seleccionadas en función con las necesidades de la instalación.

**Conexiones.** Para seleccionar un transformador es necesario conocer las ventajas y desventajas de cada una de las conexiones más utilizadas. Dichas conexiones son las siguientes:

#### Estrella-estrella:

- Aislamiento mínimo.
- Cantidad de cobre mínimo.
- Los dos neutros son accesibles.
- Alta capacitancia entre espiras, que reduce los esfuerzos dieléctricos.
- Neutros inestables, si no se conectan a tierra.



#### Estrella-estrella con terciario en delta:

- La delta del terciario proporciona un camino cerrado para la tercera armónica de la corriente magnetizante, lo cual elimina los voltajes de la tercera armónica en los devanados principales.
- El terciario se puede utilizar para alimentar el servicio de estación, aunque no es muy recomendable por las altas corrientes de cortocircuito.
- Aumenta el tamaño y costo del transformador.

#### Delta-delta:

- Circuito económico para alta carga y bajo voltaje.
- Las dos delta proporcionan un camino cerrado para la tercera armónica de la corriente magnetizante, lo cual elimina los voltajes de tercera armónica.
- No tiene puntos neutros, por lo tanto se requiere de un banco de tierra, lo cual encarece el transformador.
- Se necesitan mayores cantidades de aislamiento y de cobre.

#### Delta-estrella:

- Al aterrizar el neutro del secundario se aíslan las corrientes de tierra de secuencia cero.
- Se eliminan los voltajes de tercera armónica por que la corriente magnetizante de la tercera armónica se queda circulando dentro del delta del primario.
- La conexión estrella proporciona la conexión la neutro.

#### Estrella-delta:

- No se puede conectar a tierra el lado secundario.
- Se eliminan los voltajes de la tercera armónica debido a que la corriente magnetizante se queda circulando en la delta del secundario.

#### T-T:

- Comportamiento semejante a la conexión estrella-estrella.
- Ambos tienen neutros disponibles.
- Los voltajes y las corrientes de tercera armónica ocasionan problemas.
- Se necesitan dos transformadores monofásicos para la conexión.
- La capacidad debe ser 15% mayor que la carga por alimentar.

Zig-zag: Se utiliza en transformadores de tierra conectados a bancos en conexión delta, para tener en forma artificial una corriente de tierra que energice las protecciones a tierra correspondientes.

#### Autotransformador:

- Menor tamaño, peso y costo.

- Se utiliza cuando la relación de transformación es menor a dos. Es más barato que los transformadores equivalentes.
- La impedancia entre primario y secundario es menor que en un transformador, se presenta una mayor posibilidad de fallas.
- Debido a que sólo existe una bobina, el devanado de baja tensión también debe soportar las sobretensiones que recibe el devanado de alta tensión.
- Las conexiones tanto en el primario como en el secundario deben ser iguales.

### 3.3.1.3 Derivaciones (Taps)

Los taps son usados para cambiar la relación entre los devanados de alto y bajo voltaje, el modificar los taps es usualmente utilizado para compensar las diferencias entre el valor del transformador y el voltaje nominal del sistema. El tap seleccionado en el transformador debe estar basado sobre las condiciones máximas de voltaje en vacío.

Excepto para transformadores de pequeña capacidad, los transformadores de distribución tienen cinco taps el devanado primario generalmente dos en 2.5% por arriba y por abajo del valor del voltaje; estos taps permiten que la relación de transformación pueda ser cambiada ya sea para aumentar o disminuir el voltaje en el devanado secundario. Es importante mencionar que existen dos situaciones que requieren el uso de taps:

- 1.- Cuando el voltaje en el sistema de distribución primario está ya sea por encima o por debajo de los límites requeridos para proporcionar un voltaje secundario adecuado.
- 2.- Para ajustar el voltaje de utilización que permita el correcto funcionamiento del equipo.

### 3.3.1.4- Impedancia

El valor de impedancia es una de las características de “placa” de los transformadores, su valor se expresa en por ciento y representa la caída de voltaje expresada en por ciento para el circuito equivalente del transformador, este valor de impedancia permite:

- a) Calcular el valor de regulación.
- b) Intervenir para el cálculo de las corrientes de corto circuito.
- c) Analizar las condiciones de operación en paralelo con otro(s) transformador(es).

Algunos valores típicos de impedancias para transformadores de potencia son dados en la **tabla 3.7**. Estos valores son para transformadores con un sistema de autoenfriamiento y son sujetos a una tolerancia de  $\pm 7.5\%$  obtenida de IEEE C57.12.00-1987 (ANSI).

### 3.3.1.5 Accesorios

Se deben especificar los accesorios especiales para el transformador según sea su capacidad, estos pueden ser entre otros: termómetro indicador de la temperatura interior, cambiador de derivaciones, tanque conservador, indicador de nivel de aceite, base para rolar, caja para acoplamiento con tablero.

### 3.3.1.6- Otros Factores

Frecuencia de operación, para México 60 Hertz

Tipo de enfriamiento

Condiciones especiales de servicio (ambientes corrosivos, ambientes explosivos, etc.)

### 3.3.2- Carga del Transformador

El transformador, cuyo objetivo es cambiar los niveles de voltaje, es uno de los equipos más comunes en las instalaciones eléctricas, en ocasiones el transformador constituye una parte importante del costo total de la instalación. La eficiencia del transformador está en función de la carga que tiene conectada (curva característica de eficiencia).

Si un transformador está permanentemente conectado a la red, habrá un consumo constante de energía equivalente a sus pérdidas en vacío (especificadas por el fabricante). En el momento en que se le conecte alguna carga, las pérdidas correspondientes a esa carga serán:

$$P_C = P_N \left[ \frac{I}{I_N} \right]^2$$

Donde:

$P_C$  = Pérdidas correspondientes a cierto régimen de carga.

$I$  = Corriente de régimen de carga correspondiente.

$I_N$  = Corriente nominal (plena carga).

$P_N$  = Pérdidas debida a la circulación de la corriente nominal por los conductores del transformador (pérdidas nominales del cobre).

Para obtener las pérdidas totales del transformador deberán sumarse las de vacío (consideradas constantes) y las obtenidas con la expresión anterior. Por lo general la eficiencia máxima de un transformador se obtiene cuando la carga está entre 75 y 100%, por lo que debe procurarse que el transformador se utilice en regímenes de carga cercanos al 100%. Sin embargo al momento de especificar un transformador se requiere prever cierta holgura para reservas futuras. Entonces resulta conveniente determinar la carga promedio y procurar que se mantenga dentro de ese rango. Para calcular la carga promedio se utiliza la siguiente expresión:

$$I_{\text{PROMEDIO}} = \sqrt{\frac{\sum I_j^2 * t_j}{\sum t_j}}$$

Donde:

$j = 1,2,\dots,n$  períodos de tiempo que la carga conectada es diferente (ciclos, turnos de trabajo ó días hábiles).

$I_j$  = Carga constante durante el período de tiempo  $t_j$ .

La carga promedio se calcula para un mes que normalmente es el periodo de facturación (incluyendo días no hábiles), pero puede ser útil también para 24 horas. En este caso se acostumbra especificar dos transformadores que juntos alimenten las cargas sin reservas y se deja espacio para la instalación de un tercero. Una ventaja importante de este arreglo es que la descompostura de un transformador permite continuar operando con el otro (probablemente sobrecargado durante el tiempo necesario para reparar o sustituir el dañado).

### 3.3.3- Ejemplo de Especificación de las Tensiones y del Transformador

A partir de los datos manejados en el ejemplo del capítulo I podemos saber la potencia aparente de nuestra instalación en [KVA], y con ello seleccionar el voltaje de alimentación requerido de la siguiente manera:

Calculando primeramente la potencia que deberá tener el transformador de la instalación, considerando el factor de diversidad y el factor de simultaneidad como de 0.7 se obtiene la capacidad del transformador la cual es determinada por la siguiente expresión:

$$KVA_{\text{TRANSFORMADOR}} = \text{Carga instalada} * \frac{\text{Factor de simultaneidad}}{\text{Factor de diversidad}} = 3938 \text{ KW} * 0.7$$

$$KVA_{\text{TRANSFORMADOR}} = 2756.6 \text{ [KVA]}$$

Con este valor y observando la **tabla 3.3** se ve que la alimentación debe ser con un valor próximo a 2400 volts, pero como las compañías suministradoras en México no proporcionan tal voltaje tenemos que pasar al valor comercial superior más cercano que en este caso y a partir de la **tabla 3.2** es de 13.2 [KV] y el cual sí es proporcionado por las compañías suministradoras en México. Por lo que respecta a los motores nos podemos auxiliar de la siguiente tabla y a partir de esta determinar el voltaje al cual deben ser alimentados los motores utilizados dentro de la instalación dependiendo del valor en [HP] de su potencia.

Se ha determinado el voltaje de alimentación pero aún falta conocer el valor exacto del transformador a utilizar que soporte la potencia requerida, para esto nos podemos auxiliar de la **tabla 3.6** la cual nos da los transformadores que se pueden encontrar en el mercado y satisfagan nuestras necesidades, en este caso pueden ser dos transformadores trifásicos de 1500 [KVA] cada uno, con esto logramos tener una pequeña reserva que puede llegar a ser útil.

Por ultimo para conocer las características más importantes con las que contará la subestación son las siguientes: estará formada inicialmente por dos transformadores trifásicos de 1500 [KVA] cada uno, con conexión delta en el lado de alta tensión y estrella para el lado de baja tensión, una alimentación de 13.2 [KV] y una salida formada por 3 alimentadores de 1000 [KVA] cada uno.

1.- El número de transformadores, sus capacidades y tensiones de transformación, así como las conexiones tanto en alta como en baja tensión, dicho paso fue el realizado en el punto anterior.

2.- Características generales, la capacidad instalada de los transformadores es de 3000 [KVA] con dos transformadores trifásicos de 1500 [KVA] cada uno. Aceptando una sobrecarga de 20% en cada transformador, cuando el otro este fuera de servicio, se obtiene lo que se llama capacidad firme instalada, que en este caso es de  $1500 * 1.20 = 1800$  [KVA] sin ocasionar una disminución importante en la vida del transformador. La subestación se prevé para que en función del incremento constante de cargas, se pueda ampliar instalando un tercer transformador de las mismas características, con lo que se obtiene una capacidad firme de  $1800 * 2 = 3600$  [KVA] aceptando la misma sobrecarga en dos transformadores cuando el tercero está fuera de servicio.

3.- Carga conectada. La subestación se diseña para alimentar, inicialmente con dos transformadores trifásicos de 1500 [KVA] una carga constituida por 3 alimentadores de 1000 [KVA] cada uno, que proporciona una carga máxima total de:  $3 * 1000 = 3000$  [KVA].

Analizando se obtiene que:

Capacidad instalada = 2 transformadores de 1500 [KVA] cada uno = 3000 [KVA]

Capacidad firme =  $1500 * 1.2 = 1800$  [KVA]

3 alimentadores de 1000 [KVA] cada uno = 3 [KVA]

Se llega a la capacidad máxima disponible cuando se tengan en operación los tres transformadores trifásicos de 1500 [KVA]. Como la capacidad firme con tres transformadores de 1500 [KVA] es de 3600 [KVA], será posible en este caso aumentar la capacidad de cada alimentador a 1200 [KVA]. Por lo tanto, el equipo e instalaciones de la sección de baja tensión deben tener una capacidad para soportar una carga de 12000 [KVA] por alimentador.

### **3.4- Distribución de la Energía Eléctrica**

En la actualidad las grandes instalaciones eléctricas requieren que el suministro en la estructura del sistema de distribución de energía eléctrica sea confiable y con la menor cantidad de interrupciones de la misma. Un aspecto importante que determina que tipo de estructura se debe elegir para un proyecto, es el económico, ya que mientras más seguras sean las estructuras, en cuanto a la continuidad en el servicio, mayor es su costo de inversión, de mantenimiento y de infraestructura. Enseguida se describirán algunas de las estructuras típicas que se pueden aplicar las instalaciones eléctricas.

#### **3.4.1- Sistemas de Distribución**

Uno de los mayores factores que afectan el diseño de un sistema de distribución en baja tensión es la ubicación de la propia fuente de alimentación, la cual debe estar lo más cercana posible al centro de la carga. Existen dos tipos fundamentales de estructuras y la cuales son explicadas a continuación.

- a) Radial.
- b) Anillo.

### 3.4.1.1- Sistema Radial

Un sistema de operación radial es aquel en el que el flujo de energía tiene una sola trayectoria de la fuente a la carga, de tal manera que una falla en éste producirá interrupción en el servicio. Este servicio de energía eléctrica es probablemente el más antiguo y comúnmente usado en la distribución de energía eléctrica, debido a su bajo costo y sencillez. Las redes de operación radial se seguirá usando, pero tratando de mejorar sus características de operación para hacerlas más confiables. El *sistema radial* tiene una simplicidad adecuada para cargas de hasta 1000 [KVA], altas corrientes de cortocircuito, interruptores de alta capacidad y alta corriente, alimentadores largos y costosos, mala regulación debida a la caída de voltaje. A continuación se explican algunos de los tipos de sistemas radiales que son usados actualmente.

***Radial con Centro de Carga.*** Los alimentadores son cortos, baja corriente de corto circuito, equipo interruptor de baja interrupción y de baja corriente, buena regulación de voltaje, mala continuidad ya que una falla en el alimentador principal significa interrupción total, tardanza para restaurar el servicio en caso de una falla.

***Radial Selectivo en Primario.*** Tiene una continuidad aceptable ya que si falla un alimentador se puede cambiar la carga rápidamente a otro, en caso de falla de un transformador, la unidad se desconecta rápidamente y se restaura el servicio dejando fuera una zona de la instalación.

***Radial Selectivo en Secundario.*** Permite una pronta restauración del servicio por defectos en el alimentador primario o en el transformador, tiene una mejor continuidad que los dos anteriores, la falla en un transformador no interrumpe por largo tiempo ninguna alimentación ya que la carga pasa al otro mediante el interruptor de amarre, este arreglo es 55% más costoso que el arreglo selectivo en primario.

### 3.4.1.2- Sistema en Anillo

Este sistema tiene la ventaja sobre el radial simple de que puede aislarse una sección de cable defectuoso y no interrumpir el servicio en el resto del sistema mientras se lleva a cabo la reparación. Es posible, sin embargo, que la falla no se localice pronto y entonces la interrupción general sea larga. Para evitar esta contingencia, puede dotarse a los interruptores con protección direccional de tal manera que la seccionalización del tramo defectuoso sea automática, claro que esto eleva el costo del sistema en forma desproporcionada con relación a la ventaja ganada. Por otro lado, sin los interruptores y la protección que realice una seccionización, el sistema sólo es más peligroso y con mayor corriente de corto circuito.

## 3.5- Centros de Carga

Un criterio muy usado para la alimentación de cierto tipo de establecimientos como los Centros Comerciales, es el de la distribución por centro de carga, entiendo por *centro de carga* el conjunto de elementos agrupados en determinado lugar desde donde se controla la alimentación de energía eléctrica de una instalación o de una zona (sección ó rama).

Puede tratarse de solamente un tablero que contenga a todos los elementos, o también puede ser un conjunto de interruptores, instrumentos de medición y otros dispositivos colocados en un muro y que juntos desarrollen la función de controlar la distribución de la energía a circuitos derivados. Las características más sobresalientes de este tipo de dispositivo son:

1.- En instalaciones grandes la potencia se puede distribuir a una tensión primaria de 2.4 [KV] a 13.2 [KV] hacia las subestaciones que debe estar preferentemente cercana al centro de carga. Esta potencia se transforma a baja tensión y se transmite a las cargas por medio de alimentadores y/o circuitos derivados de la longitud más corta posible.

2.- Cuando en una cierta zona de la instalación, la potencia demandada por las cargas no se pueda suministrar por medio de un solo transformador, por ejemplo de una potencia de hasta 1500 [KVA], entonces se pueden instalar otras unidades de la misma potencia. Concentrar la potencia de una instalación en un transformador de potencia relativamente grande en un solo punto de la instalación, puede tener una serie de desventajas como las que se mencionan a continuación:

- a) Altos valores de corrientes de corto circuito.
- b) Mayores pérdidas a mayor manejo de corriente en los circuitos.
- c) Elevadas caídas de tensión para cargas distantes del transformador.
- d) Longitud excesiva de los conductores de baja tensión.
- e) Problemas para ampliaciones.

Usar el método de distribución por *centro de carga*, es decir no concentrar la carga, más bien distribuirla convenientemente en distintos centros presenta las siguientes ventajas:

- a) Mayor continuidad de servicio, aún en el caso de falla ya que se limita sólo a una zona de la instalación.
- b) Posibilidad de localizar e instalar fácilmente la subestación unitaria y prever ampliaciones futuras.
- c) Posibilidad de especificar subestaciones unitarias y centros de carga prefabricados.

### **3.5.1- Tipos de Centros de Carga**

El primer paso antes de iniciar el diseño de los centros de carga es le conocer los diferentes tipos que existen e intervienen dentro de una instalación en Centros Comerciales.

#### **3.5.1.1- Centro de Carga con Derivaciones Individuales en Caja**

Este tipo de centro de carga consiste en un arreglo de un interruptor general (puede ser tipo navajas y fusibles) en un módulo metálico colocado en un muro junto con otros interruptores similares (cada uno en una caja metálica) de menor corriente nominal. Del interruptor general sale la alimentación a los interruptores derivados a través de conexiones que están alojadas en tuberías o ductos. Probablemente se considere más adecuado un centro compacto, pero el arreglo anterior, construido de acuerdo con las normas es perfectamente valido.

### 3.5.1.2- Centro de Carga a Prueba de Explosión

Generalmente no se dispone de tableros totalmente sellados, ya que resultan demasiado costosos, de tal forma que si el centro de carga va a estar en un recinto con peligro de explosión se requiere que los elementos que lo constituyen sean sellados y a prueba de explosión. Existen otros que son explicados a continuación de una manera más detallada debido a que son los utilizados en las instalaciones en Centros Comerciales y son los tableros eléctricos, centro de control de motores.

### 3.5.1.3- Tableros Eléctricos

El término tableros es aplicable tanto a los llamados de pared, como a los tableros de piso, para los propósitos prácticos, ambos sirven para la misma función: recibir la energía eléctrica en forma concentrada y distribuirla por medio de conductores eléctricos, por lo general barras, a la cargas de los circuitos derivados. Los circuitos derivados se protegen individualmente para sobrecorrientes y cortocircuito por medio de fusibles o interruptores termomagnéticos montados en tableros alguna veces junto con los instrumentos de medición, tales como voltmetros, amperímetros, medidores de demanda. Los tableros de pared y de piso difieren únicamente en su accesibilidad, los tableros de pared como su nombre lo indica están diseñados para ser montados en pared o columna de manera que son accesibles por el frente únicamente.

Los tableros de piso están diseñados para ser instalados para ser montados de manera retirada de las paredes de tal modo que son accesibles por el frente o por la parte trasera, por lo que necesitan espacio libre para la circulación, sujeción la piso y eventualmente bases de montaje especiales.

***Diseño de Tableros Eléctricos.*** Para diseñar de manera correcta los tableros de distribución dentro de cualquier instalación sea del tipo habitacional, industrial o comercial se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

***Localización de los tableros:*** Los factores que intervienen principalmente en la localización de los tableros de pared se definen de la siguiente manera:

- a) Se debe procurar una localización central para reducir la caída de voltaje en los circuitos derivados.
- b) La distancia al tablero principal para limitar la caída de voltaje total a un máximo de 5% desde el tablero principal hasta los puntos de utilización de los circuitos derivados.
- c) En la práctica, tanto por corriente como por caída de voltaje, los tamaños de conductores.
- d) Los tableros de pared están limitados a 42 dispositivos de sobrecorriente.
- e) Otro factor que afecta a la localización de los tableros, es el cumplimiento de los requerimientos de las Compañías Suministradoras de Energía Eléctrica en México que básicamente son:



- \* Demanda total esperada en amperes en [KVA] y la carga futura probable.
- \* El motor o motores de mayor capacidad que se instalarán y la lista del resto de los motores con sus características principales.
- \* Una lista de las cargas conectadas así como las cargas que tendrán a futuro.
- \* Un plano que indique un punto de conexión propuesta para el servicio, la compañía suministradora también requiere de la fecha probable de terminación del proyecto.

Por su parte, la compañía suministradora de energía eléctrica proporciona al cliente o solicitante del servicio la siguiente información:

- a) Aprobación del punto de alimentación sugerido o bien una propuesta de puntos de alimentación convenientes de acuerdo a la red de alimentación.
- b) Aprobación de la carga conectada, y en caso de que la compañía suministradora no disponga de la capacidad para satisfacer el servicio, debe indicar el lapso de tiempo probable en que incrementará la capacidad de su red.
- c) Una lista de equipo aprobado y que es necesario para que conecte la instalación a la red el cual debe ser suministrado e instalado por el cliente, entre otros se consideran: la caja de entrada o de alimentación, el montaje del equipo de medición, el tablero de medición, el alambrado y tubo conduit o canalización, etc.

Los tableros de pared, sirven para alimentar circuitos derivados locales, un buen diseño trata de montar el tablero de pared en un punto cercano al centro de carga de los circuitos derivados. Otras posibles localizaciones dependen de las condiciones físicas del lugar de la instalación y puede requerir de montaje en paredes interiores, columnas etc. Si las condiciones de la instalación requieren de un tablero de mayores dimensiones, éste por lo general es un tablero de piso y de hecho las consideraciones hechas para la localización de los tableros de pared son aplicables a los tableros de piso.

Los tableros principales de una instalación eléctrica sean de pared o de piso, se les conoce así, como “Tableros Principales”. Por conveniencia, un servicio de 200[A] se le denomina arbitrariamente “pequeño”, hasta 600[A] “medio”, y hasta 4000[A] “grande”.

***Factores Eléctricos en el Diseño de los Tableros.*** En una instalación típica de tableros se requiere de :

- 1.- Determinar el número de circuitos derivados.
- 2.- Localizar el lugar más conveniente para los tableros y CCM.
- 3.- Localizar el lugar más idóneo para el tablero principal.
- 4.- Calcular los alimentadores apropiados del tablero principal a los circuitos derivados de los otros tableros.

*Número de circuitos derivados a los tableros:* Para todos los circuitos de alumbrado, las cargas se consideran continuas, el tamaño mínimo de los conductores alimentadores, la capacidad de las barras de los tableros y los dispositivos de protección se basan en un mínimo de 125% de la corriente total de plena carga del tablero. Cuando un tablero alimenta cargas de alumbrado y motores, su capacidad se determina sumando las cargas de alumbrado y motores para el cálculo de alimentador y de la protección.

Para el cálculo del número de circuitos se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{No. de circuitos} = \frac{\text{Carga total [watts]}}{\text{Watts/circuito}}$$

La corriente que circulará por cada circuito derivado será determinada por la siguiente relación:

$$I = \frac{\text{Watts/circuito}}{\text{Voltaje de alimentación en baja tensión}}$$

#### **3.5.1.4- Tableros Generales**

Los tableros generales normalmente van colocados en subestaciones o cuartos especiales para ubicar equipo eléctrico. Su alimentación se hace por medio de barras o cables directamente del secundario del transformador. Por lo general son autosoportados y para su operación y mantenimiento requieren de espacio de circulación en la parte posterior. Los aspectos que deben vigilarse para su diseño son:

- 1.- Distancia de seguridad tanto interiores como exteriores al tablero.
- 2.- Adecuada sección transversal de las barras para las corrientes que circularán por ellas.
- 3.- Soportes y aisladores suficientemente robustos y fijados rígidamente para soportar posibles corrientes de corto circuito.
- 4.- Equipos e instrumentos aislados para evitar corrientes indeseables y suficiente rigidez mecánica para evitar deformaciones o deterioros por cortocircuito.
- 5.- Protecciones adecuadas (capítulo V).

#### **3.5.1.5- Centro de Control de Motores (CCM)**

En áreas de producción u otras en donde se requiere alimentar varios motores se utiliza un tablero de distribución que contiene todos los elementos necesarios para la instalación y el control de estos motores, que comercialmente se conoce como centro de control de motores (CCM).

Para especificar un CCM es necesario elaborar un listado de las unidades por controlar – según el diagrama unifilar- y asignar espacios físicos para cada arrancador según su tamaño y también para la conexión de alimentación con los equipos de medición y protección que se requieran. El número máximo de arrancadores por cada CCM está limitado a 14 circuitos derivados por fase (tamaños comerciales), pero resulta conveniente instalar entre 10 y 12 motores trifásicos por cada CCM. Además, el CCM puede tener algún interruptor termomagnético que alimente cierta carga que no requiera de un arrancador.

**Tableros Eléctricos en un Centro de Control de Motores (CCM).** Las principales características de los tableros usados como centro de control de motores CCM son:

- 1.- Estructura metálica normalizada, realizada de tal manera que sea fácilmente armada y modular.
- 2.- Los paneles o módulos, tienen por lo general dimensiones normalizadas, de manera que cada compartimiento contenga un número entero de elementos, aunque de características distintas o que sean fácilmente sustituibles en caso de ser necesario.
- 3.- Cada compartimiento o panel contiene por lo general un interruptor automático que constituye un órgano de seccionamiento y protección para la corriente de cortocircuito, estaciones de botones para el mando de motores o bien arrancadores con estaciones de botones a control remoto, eventualmente se tienen módulos con instrumentos de medición, lámparas, etc.
- 4.- Un sistema de barras generales de distribución, cuchillas o un interruptor general a la entrada o algunos otros aparatos de medición como son los wathorímetros. Los tableros para un CCM se fabrican con corriente nominal de las barras principales, por lo general no superiores a 1000 [A] y para corrientes de corto circuito no superiores a 50 [KA].

### **3.5.2- Ubicación de los Centros de Carga**

Para ubicar un centro de carga en un área con cargas dispersas, se recomienda encontrar el punto de la instalación denominado centro de peso de la carga. Este punto es aquel que cumple con la condición de que la suma de todos los productos de la corriente de cada carga por su distancia al centro de peso es la mínima. Por lo general este punto no resulta accesible para la colocación física del centro de carga, pero puede buscarse un lugar próximo adecuado que de preferencia se acerque a la alimentación. A continuación se plantea el procedimiento para encontrar el centro de peso de la carga:

- a) En el plano constructivo del área considerada se define un sistema de ejes cartesianos y se obtienen las coordenadas (X,Y) para cada carga (con respecto a esta referencia).
- b) Entonces, utilizando las siguientes expresiones se obtienen las coordenadas del punto donde se cumple la condición planteada para el centro de peso de la carga.

$$X_M = \frac{\sum_1^n X_j * I_j}{\sum_1^n I_j} \qquad Y_M = \frac{\sum_1^n Y_j * I_j}{\sum_1^n I_j}$$

Donde:

- $j = 1, \dots, n.$
- $I_j =$  Corriente de cada carga.
- $X_j, Y_j =$ Coordenadas de cada carga.

Se puede utilizar la potencia en vez de la corriente cuando las cargas tiene el mismo número de fases y se considera el voltaje constante.

### 3.5.3- Desbalanceo de Fases

La gran mayoría de las instalaciones eléctricas utilizan sistemas de distribución con neutro aterrizado a cuatro hilos; así que los transformadores de distribución pueden ser conectados fase a neutro para alimentar cargas monofásicas, como por ejemplo, el alumbrado. Variaciones en las cargas monofásicas causan que las corrientes que circulan por cada uno de los conductores de las tres fases sea diferente, ocasionando diferentes variaciones de voltajes y causando que los voltajes en cada fase lleguen a estar desbalanceados. Normalmente el máximo desbalanceo de voltaje se presentará al final del sistema de distribución primario, pero su valor dependerá de que tan bien balanceadas estén las cargas monofásicas entre las fases del sistema. Sin embargo, un balanceo perfecto nunca puede ser mantenido, debido a que las cargas están continuamente cambiando, causando el desbalanceo de fases. Es por ello que se debe colocar un limite o valor máximo en donde se considera un buen balanceo de cargas.

#### 3.5.3.1- Efectos de un Desbalanceo de Fases

Cuando voltajes desbalanceados son aplicados a motores trifásicos, el desbalanceo de fases provoca una circulación de corrientes adicionales dentro del motor originando pérdidas adicionales por calor. Los motores para compresores utilizados en el aire acondicionado son los más susceptibles a los voltajes desbalanceados. Cuando un motor falla, el primer paso a seguir para determinar la causa es verificar la corriente de arranque y observar si el motor ha sido reencendido para asegurarnos que no ha sido sobrecargado, el siguiente paso es medir el voltaje de las tres fases para determinar el desbalanceo que existe. En general las cargas monofásicas no deben ser conectadas a circuitos trifásicos que alimenten cargas sensibles al desbalanceo, como computadoras o equipos electrónicos, así que un circuito separado debe de ser instalado para alimentar este tipo de equipo.

### 3.5.3.2- Cálculo del Desbalanceo

Un método simple para determinar el desbalanceo de voltaje de fases es el dado a continuación. Para los tableros trifásicos es común 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 lo más cercano al valor de equilibrio. El desbalanceo entre las tres fases debe ser menor al 5% y se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{S_M - S_m}{S_P} * 100 < 5\%$$

Donde:

$S_M$  = Voltamperes de la fase más cargada.

$S_m$  = Voltamperes de la fase menos cargada.

$S_P$  = Voltamperes de la fase promedio (carga total / # de fases).

También puede utilizarse en el cálculo anterior los amperes (si el voltaje se considera constante). Se puede planear la carga de alumbrado en forma alternada, para cuando se quiere tener la posibilidad – durante los días no hábiles- de disminuir el nivel de iluminación en forma considerable. Esto se facilita utilizando una numeración consecutiva de las cargas de alumbrado y colocando en un lado del tablero los números impares y en el otro los pares. Si se requiere dejar circuitos de reserva para el futuro, deben considerarse como si ya existiesen, sumándolos a la carga total del tablero para especificar el alimentador y su protección.

### 3.5.4- Ejemplo de Especificación de los Centros de Carga

Dentro de nuestro Centro Comercial se cuenta una oficina para realizar labores administrativas, la cual cuenta con los siguientes equipos:

14 salidas para alumbrado general de 125 watts por salida.

9 salidas para contactos de tipo general con 180 watts por salida.

20 unidades fluorescentes de 2 \* 38 watts de 110 [VA] por unidad (incluyendo eficiencia y factor de potencia de balastro).

6 contactos de 10 [A] para equipo de cómputo como impresoras, copiadoras, etc. , con un factor de demanda  $fd = 35\%$ .

Una unidad de aire acondicionado trifásica de 18 [A].

5 unidades incandescentes de 150 watts para alumbrado exterior.

Primero se realizará el cuadro de cargas para tener una visión más específica de los elementos involucrados en la instalación:

Tipo 1	14 * 125	1750
Tipo 2	9 * 180	1620
Tipo 3	24 * 110	2640
Tipo 4	6 * 10 * 127 * 0.35	2667
Tipo 5	$\sqrt{3} * 18 * 220$	6858
Tipo 6	5 * 150	750
Total		16286 VA

Se considerará una reserva de 2400 [VA] y 3 espacios vacíos para tres interruptores termomagnéticos (uno por fase). Posteriormente a la tabulación de las cargas involucradas se pasa a realizar la distribución por circuitos de la siguiente manera:

- 1 circuito para el motor de aire acondicionado.
- 1 circuito para el alumbrado para tener un mejor control de tales elementos.
- Para los contactos de 10 [A] se pueden dividir en dos circuitos de tres contactos cada uno.
- Los contactos de uso general se dividen en dos circuitos de cuatro y cinco contactos por circuito.
- Las unidades fluorescentes se dividirán en tres circuitos, dos de nueve lámparas y uno de seis lámparas.
- Las unidades de 125 watts incandescentes se agruparán en tres circuitos, uno de 6 lámparas y dos de cuatro lámparas.

Para realizar el armado de los circuitos se realizan los siguientes cálculos:

Tipo 5 -Iniciando por el sistema de aire acondicionado se tiene que se necesitarán tres circuitos de un valor de  $6858/3 = 2286$  [VA].

Tipo 6 – Se necesitará un circuito de 750 watts.

Tipo 4- Como se encuentra el mismo número de contactos se ocuparán dos circuitos con un valor de  $2667/2 = 1334$  [VA].

Tipo 2- Se ocuparán dos circuitos, uno de valor  $180 * 4 = 720$  [VA], y otro de  $180 * 5 = 900$  [VA].

Tipo 3 y tipo 1- Se determina utilizar un circuito con valor de  $(110 * 9) + (6 * 125) = 1740$  VA, otro de valor  $(110 * 9) + (4 * 125) = 990 + 500 = 1490$  VA, un tercero de  $(6 * 110) + (4 * 125) = 660 + 500 = 1160$  [VA].

La carga total =  $16,285 + 2400 = 18,685$  [VA].

El balanceo de fases se realiza de la siguiente manera: colocando los circuitos de la siguiente manera, tres circuitos sobre la fase A, tres sobre la fase B y 2 sobre la fase C se tiene lo siguiente y utilizando la fórmula se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{FASE A} &= 1334 + 750 + 900 + 2286 = 5270 \text{ VA} \\ \text{FASE B} &= 1334 + 720 + 1160 + 2286 = 5500 \text{ VA} \\ \text{FASE C} &= 1740 + 1490 + 2286 = \underline{5516 \text{ VA}} \end{aligned}$$

$$16286 \text{ [VA]}$$

$$\% \text{ Desbalanceo} = \frac{S_M - S_m}{S_P} * 100 = \frac{5516 - 5270}{16286 / 3} * 100 = 4.53\%$$

Por lo que respecta a un CCM el tablero se puede determinar de la siguiente manera: consideremos que se tiene el siguiente diagrama unifilar el cual involucra cuatro motores, uno de ellos para un ascensor de 40 [HP], otro para una escalera eléctrica de 15 HP, dos más ocupados para bombeo de agua de 1 [HP]. El siguiente formato presentado ayuda a la especificación de un CCM, tal formato debe incluir todos los datos de los motores, de los arrancadores y los requerimientos de la instalación. Si se prevén expansiones futuras, es recomendable considerarlas solamente para el interruptor y alimentador general.

Lugar	Motor			Arrancador			Interruptor		Comentarios
	Clave	Nominal	Arranque	NEMA	Tipo (1)	HP / Fases	Nominal	Marco	
1	1M-1	49.8	290	3	TP	40 / 3	100	225	
2	1M-2	19.8	110	2	TP	15 / 3	40	100	
3	1M-3	1.69	12	0	TP	1 / 3	15	100	
4	1M-4	1.69	12	0	TP	1 / 3	15	100	

### 3.6- Sistema de Emergencia

Los sistemas de emergencia tienen la función de suministrar energía, cuando falla el sistema principal de alimentación de energía eléctrica; y es importante que por el tipo de actividad o función que se desempeñe, no se interrumpa el servicio. Los servicios eléctricos de emergencia son usados para protección y vida de los equipos, existen códigos que definen los requerimientos mínimos para sistemas de emergencia para ciertos tipos de construcciones uno de ellos es el NEC, artículos 517, 700, 701 y 702.

El tipo y tamaño del sistema de emergencia debe ser determinado tomando en cuenta aquellos sistemas cuya alimentación no puede ser interrumpida como: el sistema de comunicación, el sistema de seguridad, el sistema contra incendio. La instalación debe estar regida en base a los códigos y estándares existentes como el NEC artículo 517. La potencia de emergencia para las bombas contra incendios debe ser proporcionada cuando las necesidades de agua no pueden ser cubiertas por otras fuentes, la potencia de emergencia para los elevadores debe ser considerada cuando los elevadores son utilizados para evacuar los Centros Comerciales.

### 3.6.1- Fuentes de Generación

Las fuentes para proporcionar la potencia de emergencia, pueden ser baterías o generación local. La calidad de servicio requerido, el valor de la carga a ser alimentada, y las características de la carga determinarán que tipo de alimentación de emergencia es requerida.

#### 3.6.1.1- Baterías

Se denomina batería a un conjunto de celdas conectadas en serie. La tensión nominal de la batería viene dada por la suma de las tensiones de cada una de las celdas. La tensión de una celda, por norma, es:

$$V_{\text{celda}} = \text{densidad} + 0.84$$

Las baterías, según el tipo de electrolito pueden ser ácidas o alcalinas. Las densidades según el uso a que se destine la batería varían en la forma siguiente:

Densidad	Utilización
1.21	Subestaciones y alumbrado emergente
1.245	Arranque de motores grandes
1.26	Vehículos
1.275	Montacargas

Tabla 3.8 Densidades de las Baterías

Es importante conocer las eficiencias que tiene ambos tipos de baterías para tener una base al momento de seleccionar alguna de ellas. Las eficiencias de cada tipo de batería son mostradas en la **tabla 3.9**.

Eficiencia %	Ácida	Alcalina
En AH	91	71
En volts	85	80
En watt/hora	77	57

Tabla 3.9 Eficiencias de las Baterías

Donde:

Eficiencia en ampere-hora: Es la relación de los ampere-hora de salida entre los ampere-hora de entrada.

Eficiencia en volts: Es la relación de los volts de salida entre los de entrada.

Eficiencia en watts-hora: Es la relación de la energía de salida entre la energía de entrada, ambas en watts-hora.



**Cargadores de Baterías:** Son los dispositivos eléctricos (generadores de c.d) o electrónicos que se utilizan para cargar y mantener en flotación, con carga permanente, la batería de que se trate. El cargador se conecta en paralelo con la batería. La capacidad de los cargadores va a depender de la eficiencia de la batería, o sea, del tipo de batería que se adquiriera. Para una misma demanda impuesta a la batería, se requiere un cargador de mayor capacidad si es alcalina, por tener ésta una eficiencia menor.

Para seleccionar un cargador es necesario fijar su capacidad de salida en amperes. Para ambos tipos de baterías, la capacidad se determina según la siguiente expresión:

$$I_c = \frac{AH_D}{\eta_{AH} * T_r} + I_{DN}$$

Donde:

- $I_c$  = Corriente del cargador en amperes.
- $AH_D$  = Ampere-hora que se necesita devolver a la batería.
- $\eta_{AH}$  = Eficiencia de la batería en amperes-horas.
- $T_r$  = Tiempo de recarga en horas.
- $I_{DN}$  = Corriente de demanda normal en amperes.

En la **figura 3.2** se muestra la curva de demanda que soporta una batería, con base en la cual se selecciona el cargador adecuado.

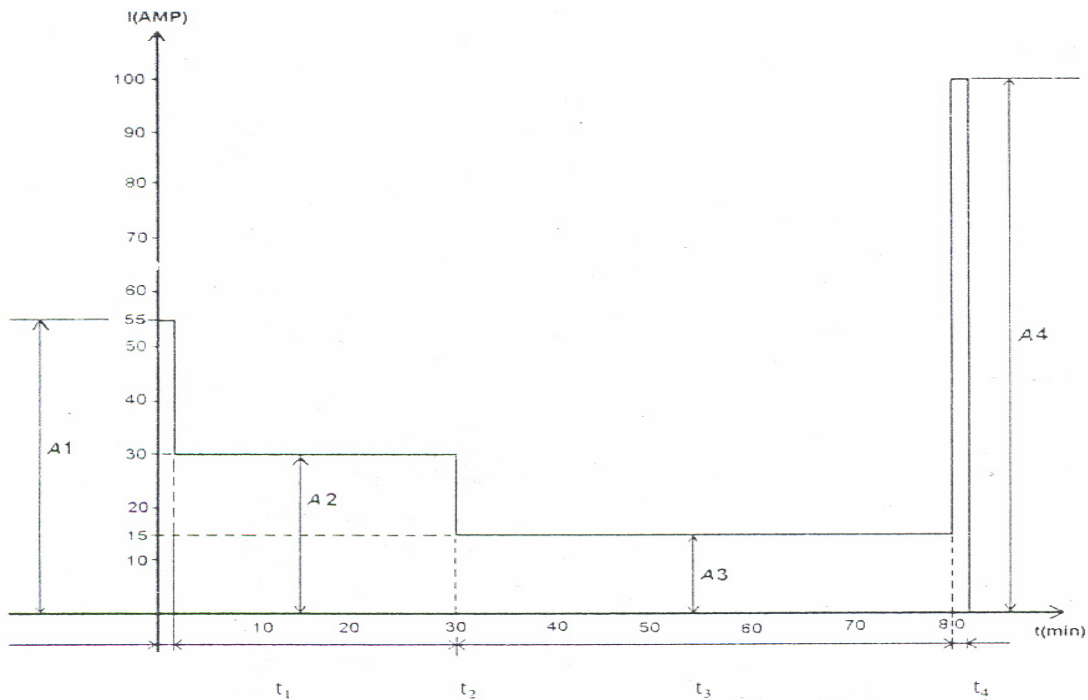


Figura 3.2 Curva Corriente vs. Tiempo

Referencia: RAULL MARTÍN José, Diseño de subestaciones eléctricas, 2a Edic., Mcgraw-Hill.

Las baterías ofrecen una fuente rentable de generación de emergencia pero requieren de un mantenimiento regular. Dentro de sus limitantes se encuentran que sus capacidades son limitadas y que requieren de un espacio amplio para su instalación y el cual cuenta con un adecuado sistema de ventilación. El equipo de alimentación que contenga la batería será determinado por las características de la propia batería y el tipo de carga a ser alimentada. La capacidad del equipo dependerá del tamaño de la carga y el espacio de tiempo que debe ser alimentada.

### **3.6.1.2- Generación local**

La generación local es aceptable cuando el servicio es esencial para alumbrado o cargas importantes y cuando estas cargas son relativamente grandes y se encuentran distribuidas sobre grandes áreas. La selección del generador puede solamente ser hecha después de un estudio cuidadoso del sistema al cual será conectado y de las cargas a ser alimentadas. El voltaje, la frecuencia y el número de fases deben de ser las mismas bajo las que trabaja el sistema. La capacidad del generador será determinada por el valor de la carga a ser alimentada, dando consideraciones para los motores que serán arrancados. Cuando un generador es requerido para alimentar las cargas de emergencia, éste no debe estar conectado en paralelo al sistema.

### **3.6.2- Componentes y Selección de un Sistema de Emergencia**

Una planta de emergencia está constituido por los siguientes componentes: una fuente alterna confiable de energía eléctrica separada de la fuente principal, controles de encendido y regulación. Generalmente las condiciones a especificar dentro de la fuente alterna que, por lo general es un motor de combustión interna son:

- 1.- Potencia del motor en [HP].
- 2.- La cilindrada, que se refiere al volumen que admite cada cilindro cuando succiona aire; multiplicado por el número de cilindros de la máquina.
- 3.- El diámetro que tienen los cilindros y su desplazamiento.
- 4.- Condiciones ambientales como: presión atmosférica, temperatura y humedad.

El tamaño del motor impulsor se determina en función del valor de la carga que se debe absorber durante una interrupción en el servicio normal; también el tipo de combustible para el motor impulsor queda determinado por la carga, y las restricciones normativas en el lugar de la instalación, la localización del grupo motor-generador y algunos otros aspectos. Por lo general los sistemas eléctricos de emergencia, pueden ser para uso de hasta durante ocho horas con carga continua; y admitir en forma eventual, sobrecargas por lapsos de ½ hora hasta de una hora, siempre y cuando no excedan al 10% ó 20% de su capacidad. El problema más crítico es la selección del generador del sistema, el cual tiene que ser capaz de satisfacer las necesidades de demanda de todas las cargas normalmente conectadas tales como alumbrado, motores y demás sistemas más la carga en el arranque del motor de mayor tamaño. La información necesaria en hacer la selección del generador del tamaño del generador incluye los [KVA] y [KW] de cada carga más la potencia en [KVA] y [KW] en el arranque del motor de mayor capacidad.

Cuando el motor de mayor capacidad es el predominante en la carga, el generador debe de ser del doble de capacidad o valor de dicho motor. Es importante recordar que el sistema de emergencia, sólo debe alimentar aquellos servicios que son indispensables, de manera que para una instalación eléctrica en particular, se debe hacer un censo de aquellas cargas que se deben mantener en operación, cuando se interrumpe la alimentación de la compañía suministradora.

### **3.6.2.1- Generadores en Sistemas de Emergencia**

Básicamente existen dos tipos de generadores que son utilizados en los sistemas, aquellos que son impulsados por un motor y aquellos impulsados por una turbina. Es muy importante saber seleccionar el tipo de generador a utilizar ya que de esto influirá de una manera importante en el costo del proyecto y del correcto funcionamiento del sistema de emergencia.

***Generadores Impulsados por Motores.*** Son las unidades que satisfacen las necesidades de energía de emergencia y energía de respaldo. Estos equipos están disponibles desde pequeñas unidades de un [KVA] hasta algunos de varios miles de KVA. Además de proveer energía de emergencia, los generadores impulsados por motor, son usados para manejar picos de carga y algunas veces preferidas como fuentes de energía principales.

Estos equipos satisfacen la necesidad de energía de respaldo para sistemas ininterrumpibles de energía, donde los sistemas con buena regulación, libres de disturbios de voltaje, frecuencia o armónicas son requeridos, tal como para operaciones con computadoras.

*Generadores con Motor Diesel:* Son algo más costosos y pesados en tamaños pequeños, pero son potentes y confiables. Los riesgos de explosión y fuego son considerablemente más bajos que los motores de gasolina. Las capacidades varían desde los 2.5 [KW] hasta varios [MW].

*Generadores con Motor a Gasolina:* Los motores a gasolina pueden ser provistos para instalaciones con salidas con mayores a los 100 [KW]. Las desventajas de este tipo de motor, incluyen: un alto costo de operación, un enorme riesgo debido al almacenamiento del combustible y generalmente un constante periodo de revisión. La corta vida de almacenamiento del combustible, restringe al motor de gasolina a ser usado en sistemas de energía de emergencia.

*Generadores con Motor a Gas:* Los motores de gas natural y gas líquido (LP) están al nivel de los motores de gasolina en cuanto a costo y están disponibles en potencias de 600 [KW] y mayores. Las consideraciones en la selección de motores a gas natural o gas (LP) son básicamente la disposición y la dependencia de combustible de alimentación, especialmente en una situación de emergencia.

Rango nominal [KW]	Nivel principal de energía [KW]	Nivel de respaldo [KW]	Factor de potencia	Tipo de combustible			Velocidad [rpm]
				Gasolina	Diesel	Gas natural / Gas LP	
5	5	5	1	x		x	3600
10	10	10	1	x		x	1800
25	25	30	0.8		x	x	1800
100	90	100	0.8		x	x	1800
250	225	250	0.8		x		1800
750	665	750	0.8		x		1800
1000	875	1000	0.8		x		1800

Tabla 3.10 Niveles típicos del generador impulsado por motor (según el tipo de combustible)

**Generadores Impulsados con Turbinas.** En general existen dos tipos de primo-impulsores de turbina para generadores el de vapor y el de gas / petróleo.

Generadores de turbina de vapor: Las turbinas de vapor son utilizadas para impulsar grandes generadores más que aquellos que pueden ser impulsados por motores diesel. Sin embargo, las turbinas de vapor son diseñadas para operaciones continuas y requieren una caldera con alimentación de combustible y una fuente de agua; por consiguiente, son muy caras para uso como una fuente de energía de emergencia o de reserva y pueden generar problemas ambientales que envuelve el uso del combustible de alimentación, ruido, salidas de productos resultado de la combustión y calentamiento del agua condensada.

Generadores de vapor y petróleo: El generador eléctrico impulsado por turbina más común empleado actualmente para energía de emergencia y reserva usa gas o petróleo por combustible, varias clases de petróleo y ambos, gas natural y propano pueden ser utilizados. Otras fuentes de combustible menos comunes son el keroseno y la gasolina.

El servicio puede ser restaurado desde cerca de unos 10 segundos mínimo hasta varios minutos, dependiendo de la turbina utilizada.

### 3.6.2.2- Tipos de Energía de Emergencia Requeridos

**Energía en AC Ininterrumpible.** Adecuada para el uso en computadoras.

**Energía de AC Interrumpible.** Especialmente condicionada para eliminar caídas de tensión, picos de tensión, flameos, armónicas o ruido tal como pudiera ser el producido por acondicionadores rotatorios ó estáticos de energía. Es requerida para energizar equipo con inmunidad no inherente a estos defectos del sistema de energía.

**Energía de DC Permanentemente Instalada Mantenido a Máxima Capacidad.** Incluye fuentes de iluminación de emergencia a baterías externas de reserva para comunicaciones, computadoras y procesadores.

**Energía DC Portátil.** Incluye fuentes de energía en linternas, faros y dispositivos portátiles de comunicación, cada uno instalado o mantenido de reserva.

Ahora se pasará a explicar en forma más específica las actividades en las cuales actúan los sistemas de emergencia dentro de un CC, por medio de la **tabla 3.11** y a partir de la cual se selecciona el mejor sistema para implementarlo dentro de la instalación.

Uso de la energía	Aplicación	Rango de tiempo de corte tolerable	Duración del respaldo
Iluminación de emergencia	Almacenes tiendas departamentales	10 a 60 segundos o lo que marquen los requerimientos de normas aplicables	1.5 horas o lo que marquen los requerimientos de las normas aplicables
Elevadores	Almacenes	10 segundos a 5 minutos	Duración del proceso de evacuación
Teléfonos	Señalización,	10 a 60 segundos	
Equipo de computo	Varios	Negociable	Negociable
Equipo de incendios	Bombas	10 segundos	2 horas o más
Equipo de seguridad	Controles de acceso	0 a 10 segundos	Hasta que se efectué un bloqueo manual

Tabla 3.11 Servicios de Emergencia Requeridos en un Centro Comercial

### 3.6.3- UPS (Uninterruptible Power System)

Un UPS es un sistema o dispositivo que proporciona calidad y continuidad de una fuente de potencia en (c.a). Cada UPS incluye equipo de ventilación, de calefacción, fuente(s) de potencia, para proporcionar una buena calidad de servicio. Un UPS alimentará las cargas críticas entiendo como críticas aquellas cargas que necesitan una alimentación constante y de buena calidad para su funcionamiento continuo.

Existen dos tipos de sistemas UPS el conocido como no redundante que puede ser usado para alimentar cargas críticas, y el sistema redundante en paralelo el cual es utilizado cuando las cargas críticas no pueden ser divididas en bloques para ser alimentadas por diferentes sistemas de generación de emergencia en este caso el sistema en paralelo es justificado.

### 3.6.4- Ejemplo de Selección de un Sistema de Emergencia

En la instalación eléctrica del Centro Comercial planteado en el problema del capítulo I, se efectuó el censo de las cargas de emergencia que no se deben interrumpir; encontrándose en las distintas áreas de la instalación las siguientes cargas:

Alumbrado 30 lámparas de 100 watts c/u	3000 watts
Alumbrado 20 lámparas fluorescentes de 60 watts c/u	1200 watts
1 motores de 10 HP con FP = 0.8	7460 watts
1 motor de 5 HP con FP = 0.8	3730 watts
2 computadoras	300 watts
Total	15.690 KW

Con estos datos y a partir de la **tabla 3.10** que indica el tamaño de los generadores se puede observar que un generador impulsado por un motor, donde el generador tenga una capacidad nominal de 25 KW y un nivel de respaldo de hasta 30 KW será suficiente para satisfacer las necesidades requeridas; por lo que respecta al motor éste será de diesel o de gas LP o gas natural con una velocidad de 1800 rpm.

Es importante tomar en cuenta la **tabla 3.11** de rangos tolerables de interrupción para conocer el tiempo máximo permisible que estarán fuera de operación nuestras cargas. Por ejemplo la carga de alumbrado estará fuera de operación un máximo de 10 a 60 segundos y por lo que respecta al respaldo debe durar como mínimo 1.5 horas, de esta manera se analizan las demás cargas.

### 3.7- Regulación de Voltaje y Factor de Potencia

La regulación de voltaje y el factor de potencia están íntimamente relacionados. La regulación de voltaje sirve para calcular el voltaje del sistema para que este se encuentre dentro de un valor práctico y seguro de voltaje bajo el que fueron diseñados todos los sistemas. El voltaje de regulación en todo circuito, expresado en por ciento se determina de la siguiente manera:

$$\% \text{ Regulación} = \frac{\text{Voltaje en vacío} - \text{Voltaje a plena carga}}{\text{Voltaje en vacío}} * 100$$

Cuando no es económico controlar las variaciones de voltaje por medio del calibre de los conductores o modificando el diseño del circuito, la regulación de voltaje se vuelve necesaria. Existen algunos tipos de reguladores de voltaje, ya sea manuales o automáticos los cuales son viables para todos los tipos y valores de carga desde dispositivos electrónicos individuales hasta motores.

#### 3.7.1- Factor de Potencia

En los circuitos de corriente continua (c.c), la potencia es el producto del voltaje por la corriente; sin embargo, en los circuitos de corriente alterna (c.a), entre estas cantidades existe un ángulo cuyo coseno es el factor de corrección por el que hay que multiplicar el producto del voltaje por la corriente (potencia aparente), para obtener la potencia real.

$$P = V * I * \cos\theta$$

Donde:

P = Potencia real en watts

V = Voltaje en volts.

I = Corriente en amperes.

$\theta$  = Angulo de fase en grados.

El ángulo de fase, depende de la carga que se está alimentando. En los circuitos eléctricos existen dos tipos básicos de cargas: cargas resistivas y cargas reactivas. Estas últimas a su vez se dividen en inductivas y capacitivas. La mayoría de las cargas en las instalaciones eléctricas son una combinación de los tipos básicos que se han descrito, predominando las de naturaleza inductiva como: motores, balastos, etc. Precisamente las cargas inductivas, son el origen del bajo factor de potencia, con sus inconvenientes y para contrarrestarlos se emplean cargas capacitivas que se oponen a sus efectos.

El factor de potencia se puede definir como la relación que existe entre la potencia activa [KW] y la potencia aparente [KVA] y es indicativo de la eficiencia con que está utilizando la energía eléctrica para producir un trabajo útil.

### 3.7.1.1- Inconvenientes de un Bajo Factor de Potencia

Las cargas eléctricas llegan a consumir grandes cantidades de potencia reactiva, lo que afecta el factor de potencia de la instalación, junto con esto se tiene un incremento en la corriente total I con serios inconvenientes, no sólo para el usuario sino también para la compañía suministradora de energía eléctrica como los descritos a continuación:

1.- Una disminución de la capacidad de los equipos de generación, distribución y maniobra de la energía eléctrica. El tamaño de los conductores y otros componentes de los equipos mencionados, se diseñan para un cierto valor de corriente y par no dañarlos sin que éste se rebase. El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, puede obligar a utilizar conductores de mayor calibre y por lo tanto más caros e incluso en la necesidad de invertir en equipos nuevos de generación y transformación, si la corriente demandada llega a sobrepasar la capacidad de los equipos existentes.

2.- Un incremento en las pérdidas por calentamiento, las pérdidas están dadas por la expresión  $I^2 * R$ . Con una bajo factor de potencia implica un incremento en la corriente total, debido al aumento de su componente reactiva, las pérdidas pueden aumentar de manera significativa.

3.- Una deficiente regulación de voltaje. Un factor de potencia reducido ocasiona un abatimiento del voltaje de alimentación de las cargas eléctricas, esta reducción del voltaje se debe en gran medida, a la caída que se experimenta en los conductores de transformadores y circuitos por la corriente en exceso que circula por ellos.

3.- Incremento en la facturación de energía eléctrica. Un bajo factor de potencia significa energía desperdiciada, por esta razón en las tarifas eléctricas, se ofrece una reducción en la factura en instalaciones con un factor de potencia mayor al 90% y también se imponen penalizaciones si el factor de potencia es menor que la cifra señalada. Las siguientes expresiones sirven para calcular los porcentajes de bonificación o recargos, se aplican los cargos por consumo y demanda máxima de energía eléctrica y que no excederán los porcentajes máximos que ahí se indican. En la formulas el factor de potencia está expresado en por ciento.

$$\text{Bonificación} = \frac{1}{4} \left[ 1 - \frac{90}{\cos\theta} * 100 \right] ; \text{ donde le máximo aplicable es de 2.5\%}$$

$$\text{Recargo} = \frac{3}{5} \left[ \frac{90}{\cos\theta} - 1 * 100 \right] ; \text{ donde el máximo aplicable es de 120\%}$$



### 3.7.1.2- Cálculo del Factor de Potencia

Cuando se trata de cargas individuales, generalmente su factor de potencia es conocido por medio de los datos del fabricante, cuando se tiene un conjunto de cargas diferentes, tanto por su naturaleza como por sus instantes de conexión es conveniente auxiliarse del equipo de medición. El factor de potencia se puede evaluar en forma instantánea o en promedio para un intervalo. En instalaciones donde la carga no está sujeta a grandes variaciones, un factor de potencia promedio puede ser considerado. Existen varios métodos para definir y medir el factor de potencia, entre los cuales se tiene los siguientes:

a) Con un wattmetro, un volmetro y un ampermetro. Las lecturas de potencia real (P), voltaje (V), y corriente (I), dan el factor de potencia al sustituirse en las siguientes expresiones: la primera cuando la instalación es monofásica y la segunda cuando es trifásica y en las que el voltaje es el voltaje al neutro y entre fases respectivamente.

$$FP = \frac{P}{\frac{V_n * I}{1000}} \qquad FP = \frac{P}{\frac{1.73 * V_{f-f} * I}{1000}}$$

b) Con un medidor de factor de potencia y un wattmetro. El medidor del factor de potencia nos dará directamente el valor del factor de potencia, adicionalmente la medición de la potencia real (P), servirá para calcular la potencia capacitiva.

c) Con un wathhorimetro y un varhorimetro. El factor de potencia promedio durante un periodo, se puede calcular a partir de las lecturas de los medidores de energía real (KWh) y reactiva (KVARh) mediante la siguiente fórmula:

$$FP = \frac{Kwh.}{\sqrt{(Kwh.)^2 + (KVARh)^2}}$$

En este caso la potencia activa promedio [KW], se determina dividiendo los [KWh] medidos, entre el número de horas que abarca el período considerado

### 3.7.1.3- Métodos de Corrección

El primer paso para corregir el factor de potencia en una instalación es prevenirlo, para lo cual, se debe evitar en lo posible la demanda excesiva de potencia reactiva. Por ejemplo, adecuando la capacidad de los motores y transformadores a sus cargas reales. Sin embargo con frecuencia esto no es suficiente y se deben emplear equipos auxiliares para corregirlo. Por ningún motivo se debe sobrecompensar la carga, ya que un exceso de [KVAR] capacitivos, es tan perjudicial como la falta de ellos. Los equipos que se utilizan para compensar la potencia reactiva y así corregir el factor de potencia son básicamente: motores síncronos, capacitores síncronos y capacitores de potencia.

**Motores Síncronos.** Aunque puedan considerarse como una ayuda para mejorar el factor de potencia, no constituyen una forma de compensación fácilmente controlable. Se llegan a justificar cuando se requieren motores nuevos y de tamaño considerable con respecto a la instalación.

**Capacitores Síncronos.** Son motores diseñados exclusivamente para corregir el factor de potencia, son de gran tamaño y capaces de proporcionar potencia reactiva, tanto de índole capacitivo como inductivo. Su mayor desventaja es que son demasiado costosos.

**Capacitores de Potencia.** Debido a su bajo costo, fácil instalación, pérdidas insignificantes, mantenimiento casi nulo y la gran cantidad de combinaciones en que se pueden ensamblar, son la forma más práctica y económica para mejorar el factor de potencia. Los capacitores se agrupan en unidades o bancos, fijos o desconectables y se instalan en paralelo con las cargas inductivas.

#### 3.7.1.4- Potencia Reactiva de los Capacitores

En una instalación cuya carga demanda una potencia real, de magnitud en KW, con un factor de potencia  $\cos\theta_1$ , la potencia reactiva de los capacitores para corregirlo a un nuevo valor  $\cos\theta_2$ , se puede calcular aplicando directamente la siguiente expresión:

$$KVARc = KW (\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

Con objeto de simplificar los cálculos, se ha preparado material auxiliar el cual se observa en la **tabla 3.12** en la que se puede encontrar rápidamente el valor del multiplicador ( $\tan\theta_1 - \tan\theta_2$ ). El factor de potencia que se desea corregir, está mostrado como ordenada y el factor de potencia deseado como la abscisa. La magnitud del multiplicador es leído en la intersección. Cuando la carga que se va a compensar no presenta variaciones importantes durante la jornada de trabajo, para calcular la potencia de los capacitores se puede considerar el factor de potencia promedio por el contrario si la carga presenta cambios significativos puede emplearse tanto el factor de potencia, como la potencia en condiciones de demanda máxima. Se debe tener cuidado con los capacitores así seleccionados, cuando se esté en condiciones de mínima carga, no causen una sobrecompensación, ya que ésta se traduciría en una elevación del voltaje, la cual podría alcanzar volares peligrosos o que se encuentren fuera de los límites explicados anteriormente. Si esto ocurriera debe considerarse la utilización de bancos desconectables, con los que se puede mantener un factor de potencia dentro de un rango apropiado. Otra alternativa para evitar una sobrecompensación, consiste en instalar los capacitores junto con las cargas, de tal forma que sólo estén en servicio, cuando éstas se encuentren desconectadas, aunque esto llega a ser demasiado costoso.

#### 3.7.1.5- Ubicación de los Capacitores

La forma más práctica y económica para corregir el factor de potencia es mediante el uso de capacitores de potencia, los cuales se pueden instalar en distintos puntos de la instalación como se observa en la **figura 3.3**, mientras más cerca se conecten de la carga por compensar, mayor es el beneficio que hacen, ya que la potencia reactiva es confinada a segmentos pequeños de la instalación. El caso ideal sería el colocar los capacitores junto a cada carga inductiva, pero debido al alto costo que esto representa, se opta por soluciones intermedias.

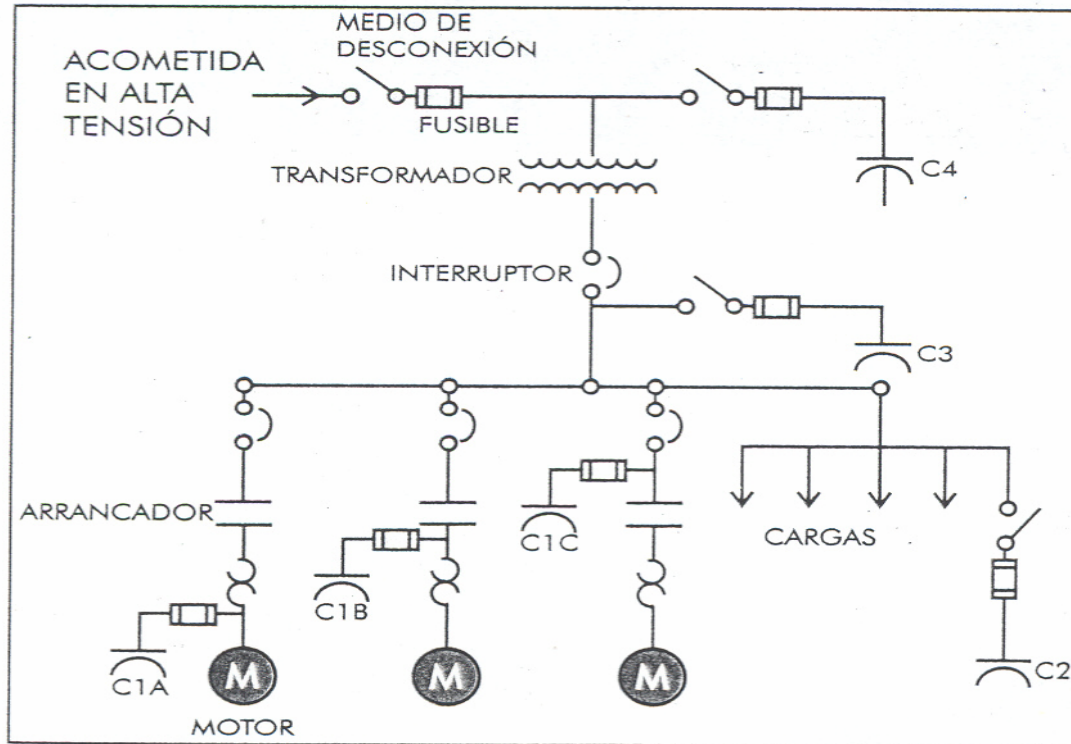


Figura 3.3 Ubicación de los Capacitores

Referencia: Manual, Aspectos básicos del factor de potencia orientado al ahorro de energía, FIDE.

Dependiendo de la localización de los capacitores, se distinguen cuatro tipos de compensación, los cuales son descritos a continuación:

**Compensación Individual.** Esta se justifica en el caso de cargas como motores de mediana y gran capacidad, de preferencia con ciclos significativos de trabajo, de tal forma que los capacitores tengan un alto factor de servicio. Los puntos C<sub>1A</sub>, C<sub>1B</sub>, y C<sub>1C</sub> indican tres posibles lugares en donde un interruptor extra para los capacitores no es necesario, ya que puede operar con el mismo interruptor de la carga que va a compensar. Una regla práctica es la de que los [KVAR] en capacitores no excedan en magnitud la de los [KVA] que toman los motores cuando trabajan sin carga.

**Compensación en Grupo.** Cuando se tiene varias cargas como motores y equipos de alumbrado de igual capacidad y ciclo de trabajo, en medida de lo posible, se pueden agrupar para compensar su potencia reactiva con un capacitor común, localizado en un tablero o alimentador. La localización C<sub>2</sub> ejemplifica esta compensación.

**Compensación Central.** La potencia reactiva de un número de cargas de distintas capacidades y diferentes periodos de conexión, puede ser compensada con un banco único de capacitores generalmente instalado en la entrada de la instalación. Los puntos C<sub>3</sub> Y C<sub>4</sub>, en baja y alta tensión corresponden a este tipo de compensación.

Económicamente resulta más convenientemente instalar capacitores en alta tensión, pero si se requiere aumentar la capacidad de la carga de los transformadores de distribución, los capacitores se deben instalar en el lado de baja tensión, para disminuir la corriente reactiva que pasa por ellos. En este caso se recomienda que la potencia de los capacitores no exceda el 100% de la capacidad del transformador, con lo que se evitan problemas de resonancia y se reducen las pérdidas cuando trabaja en vacío. La **tabla 3.13** da una guía del orden de la magnitud de la potencia de los capacitores en [KVAR], en función de la potencia nominal de los transformadores y de su voltaje de línea.

**Compensación Mixta.** En el caso de las instalaciones en las que se tienen grandes motores u otras cargas con un gran consumo de reactivos, suele ser conveniente combinar los arreglos anteriores, por ejemplo, compensando individualmente las cargas de gran capacidad y para los restantes, instalar bancos de capacitores para compensación en grupo o central.

## **CAPITULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN**

Para alimentar distintos tipos de cargas ya sea comerciales o industriales que tienen características variables, el proyectista debe tener una idea clara de cuales son los elementos importantes a considerar en la selección de un medio de distribución. La primera acción que se debe realizar es la de definir como se distribuirán las cargas para posteriormente realizar el estudio de circuitos derivados, selección de conductores y por último diseñar el sistema de protección.

### **4.1- Distribución de la Carga**

La distribución de la carga en las instalaciones eléctricas puede ser llevada a cabo por medio de las siguientes distribuciones, las cuales son las más utilizadas dentro de las construcciones comerciales.

#### **4.1.1- Distribución por Tableros**

Para utilizar este tipo de distribución se debe tener una idea clara de las cargas por abastecer, ya sea que exista una carga de motores importante o de otros equipos que no sean alumbrado y contactos de servicio normal. Conviene empezar definiendo los tableros para equipos que requieran de diseño especial; después separar la carga por zonas o necesidades de operación. Por lo que respecta a tableros de alumbrado y contactos deben considerarse por separado y cuidar que tengan un área de servicio bien definida. Por ejemplo en edificios de varios niveles como los Centros Comerciales, se coloca un tablero por cada piso y por cada área. Resulta más costoso tener circuitos derivados largos, cuyos calibres deben evitar caídas de voltaje mayores a las permitidas, que tener un solo circuito que alimente un centro de carga para un área pequeña. El único gasto extra en este caso es el marco del centro de carga por que los interruptores termomagnéticos derivados son los mismos para uno y otro tablero. Para la distribución de cargas en los CCM –centros de control de motores- se debe contemplar lo siguiente: requerimientos específicos del proceso o giro comercial, necesidades de control centralizado por áreas, cantidad de cargas del área, ambiente del lugar- polvo excesivo, intemperie o presencia de gases-, espacio para la colocación, similitud entre las capacidades de las cargas conectadas, longitud de los circuitos derivados y por último consideraciones relativas a protección es decir tener equipo contra incendio y pólizas de seguro, de acuerdo al tipo de inmueble.

#### **4.1.2- Distribución por Circuitos**

Al decidir la asignación de carga a los diferentes circuitos deben tenerse presentes las necesidades lógicas y económicas. Normalmente para áreas habitacionales se usan circuitos de 20 [A] como máximo; en industrias se pueden usar circuitos con cargas múltiples hasta 50 [A]. Las salidas para usos especiales deben tener su propia alimentación y protección. Es posible que aunque algunos circuitos queden con muy poca carga convenga tenerlos alimentados por separado. De este modo se van decidiendo grupos de carga que constituye, los circuitos del tablero. Después es recomendable establecer un sistema para asignarles un lugar físico en el tablero.

## 4.2- Circuitos

Los siguientes circuitos son los que se deben de analizar dentro de todo Centro Comercial debido a que son los más comunes, y su aplicación es de suma importancia dentro del diseño de la instalación.

### 4.2.1- Circuitos para Alumbrado

Las normas técnicas para instalaciones eléctricas, permiten sólo el uso de circuitos derivados de 15 ó 20 amperes para alimentar unidades de alumbrado. Los circuitos derivados mayores de 20 amperes, se permiten sólo para alimentar unidades de alumbrado fijas con portalámparas de uso rudo; es necesario calcular el número de circuitos derivados que se requieren para alimentar una carga dada. El número de circuitos derivados para alumbrado está determinado por la carga y se calcula de la siguiente forma:

$$\text{No. de circuitos} = \frac{\text{Carga total en watts}}{\text{Capacidad de cada circuito en watts}}$$

El número de lámparas por circuito se calcula de la siguiente manera:

$$\text{No. de lámparas por circuito} = \frac{\text{Capacidad de cada circuito en watts}}{\text{Watts por lámpara}}$$

**Carga de Alumbrado.** En el caso general, la carga de alumbrado en circuitos derivados debe considerarse igual al 100 por ciento de la carga conectada al circuito. Para el cálculo de la carga de alumbrado en circuitos derivados pueden considerarse los valores mínimos, en watts por metro cuadrado. Al determinar la carga en base a estos valores, el área debe calcularse tomando en cuenta la superficie cubierta del edificio, departamento o local de que se trate, y el número de plantas, sin incluir pórticos, garajes, ni otros espacios donde sólo se requiere alumbrado momentáneamente, a no ser que puedan tener un uso diferente en el futuro.

### 4.2.2- Circuitos de Propósitos Generales

Para aparatos fijos y otras cargas definidas, no incluidas en la carga de alumbrado a que se refiere el inciso anterior, pueden considerarse, como mínimo las cargas por salida que se indican a continuación:

- a) Salidas para aparatos fijos u otras cargas definidas, que no sean motores: cien por ciento de la potencia nominal del aparato o de la carga de que se trate.
- b) Otras salidas, para contactos no considerados en la carga de alumbrado: 180 watts, como mínimo.

- c) Alumbrado de aparadores comerciales, puede considerarse una carga de 600 watts por metro lineal de aparador, medidos horizontalmente a lo largo de su base.
- d) La carga en los motores debe calcularse de acuerdo con lo que se indique más adelante.

Un circuito derivado de propósitos generales alimenta más de una salida en donde se conectan aparatos con clavija. Las salidas para un circuito derivado de propósitos generales se calculan a 180 [VA] cada una. Un dato importante a considerar dentro de los circuitos de propósitos generales es el número de salidas permitidas. El número de salidas permitidas en un circuito derivado se obtiene dividiendo la capacidad del interruptor o fusible de protección del circuito derivado entre: 1.5 amperes. ( $180 \text{ [VA]} / 127 \text{ [v]} = 1.41 \text{ [A]}$ ). Este método se usa en instalaciones industriales y comerciales las cuales son las de nuestro interés.

$$\text{No. de salidas} = \frac{\text{Capacidad del dispositivo de protección}}{1.5 \text{ [A]} * 100\%}$$

Si las cargas son *no continuas*, el valor por salida de 180 [VA] ó 1.5 [A] se toma al 100% (se multiplica por 1.0). Cuando las cargas operan en forma continua se toman al 125% (se multiplica por 1.25).

#### 4.2.3- Circuitos para Equipo de Aire Acondicionado

Los equipos de aire acondicionado pueden usar un circuito derivado dedicado, o bien formar parte del circuito derivado de otras cargas (según sea tamaño). El equipo de aire acondicionado se designa por su capacidad en BTU (British Therwal Units) ó en TON [toneladas]. El valor se calcula en base al área en metros cuadrados que se desea servir con aire acondicionado. Los conductores para alimentar al equipo de aire acondicionado se seleccionan para un valor que *no sea inferior* al 125% de la corriente a plena carga del compresor. Si la corriente de selección del circuito derivado es la mayor de las corrientes de plena carga, se debe tomar esta para el cálculo; en general, la corriente de selección del circuito derivado está determinada por el fabricante.

#### 4.2.4- Circuitos Derivados para Motores

El cálculo del alambrado para motores eléctricos, por lo general no se relaciona con la selección de los motores mismos. Los fabricantes de equipo motorizado (por ejemplo aire acondicionado, compresores, transformadores, ventiladores, etc.) especifican los tipos de motores y controles asociados que se requieren para una aplicación dada. Como medida general para la selección de los motores eléctricos se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- 1.- Potencia en la entrada o salida, expresada en [HP] o [KW].
- 2.- Características de la carga por accionar.
- 3.- Velocidad nominal en [rpm].
- 4.- Tamaño de la carcasa.
- 5.- Temperatura ambiente.

- 6.- Voltaje nominal.
- 7.- Frecuencia del sistema del cual se va a alimentar.
- 8.- Número de fases.

#### 4.2.5- Ejemplo del Cálculo del Número de Circuitos

Dentro de un pequeño Centro Comercial se tienen las siguientes cargas conectadas:

- 1.- Una carga de 10 [KW] para alumbrado incandescente.
- 2.- Una carga de 8 [KW] para alumbrado fluorescente, el cual debe ser alimentado por circuitos de 30 [A].
- 3.- 100 contactos duplex continuos.

A partir de estos datos se puede determinar el número de circuitos con las siguientes expresiones:

Para alumbrado.

$$\text{No. de circuitos} = \frac{\text{Carga total en watts}}{\text{Capacidad de cada circuito en watts}} = \frac{1.25 * 10000 \text{ watts}}{20 \text{ [A]} * 127 \text{ [v]}} = 4.9$$

Con este resultado se determina que el número de circuitos requeridos es de 5. Los 20 [A] se tomaron debido a que es la máxima corriente que se permite en circuitos para alumbrado como se menciono anteriormente, y los 127 volts debido a que este es el voltaje a que debe ser alimentado el alumbrado en una instalación.

Contactos.

$$\text{No. de circuitos} = \frac{1.25 * 180 \text{ watts} * 100 \text{ contactos}}{20 \text{ [A]} * 127 \text{ [v]}} = 8.85 \text{ ó } 9 \text{ [circuitos]}$$

El factor de 1.25 se debe a que los contactos, así como las dos clases de alumbrado son considerados como una carga continua.

Alumbrado fluorescente.

$$\text{No de circuitos} = \frac{1.25 * 8000}{30 * 127} = 2.62 \text{ ó } 3 \text{ [circuitos]}$$



### 4.3- Circuitos Alimentadores

Los circuitos alimentadores reciben este nombre debido a que alimentan grupos de cargas. Para el cálculo de los conductores es necesario agrupar las cargas y aplicar los porcentajes correspondientes a los factores de utilización de acuerdo con sus condiciones de uso.

#### 4.3.1- Carga en Alimentadores

Para el cálculo de alimentadores en circuitos de alumbrado el factor de carga se considera unitario. Para el circuito de alimentación de un motor de inducción (tipo jaula de ardilla) se debe aumentar un 25% a la carga del motor, debido a que la corriente de arranque provoca un calentamiento adicional. Se recomienda utilizar las siguientes formulas para calcular la corriente en los alimentadores.

##### *Corriente en Alimentadores en Cargas Monofásicas.*

$$I = \frac{P}{V * \cos\theta}$$

P = Potencia real de la(s), en watts [w]  
I = Corriente en el alimentador, en amperes [A]  
V = Voltaje entre fase y neutro, en volts [v].  
cosθ = Factor de potencia.

##### *Corriente en Alimentadores con Cargas Bifásicas.*

$$I = \frac{P}{V * \cos\theta}$$

P = Potencia real de la (s), en watts [w]  
I = Corriente en el alimentador, en amperes [A]  
V = Voltaje entre fases, en volts [v].  
cosθ = Factor de potencia.

##### *Corriente en Alimentadores con Cargas Trifásicas Equilibradas.*

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\theta}$$

P = Potencia real de la (s), en watts [w]  
I = Corriente en cada una de las fases, en amperes [A]  
V = Voltaje entre fases, en volts [v].  
cosθ = Factor de potencia.

Los conductores alimentadores tendrán suficiente capacidad de conducción de corriente para alimentar a las cargas conectadas. En ningún caso la carga calculada de un alimentador será menor que las cargas de los circuitos derivados alimentados.

#### 4.4 - Diseño del Centro de Control de Motores (CCM)

Un centro de control de motores es esencialmente un tablero que se usa en primer término para montar las componentes del alimentador de los motores y de sus circuitos derivados. El centro de control de motores ofrece las siguientes ventajas:

- a) Permite que los aparatos de control se alejan de lugares peligrosos.
- b) Permite centralizar el equipo en el lugar más apropiado.
- c) Facilita el mantenimiento y el costo de la instalación es menor.

Para diseñar el centro de control de motores se debe tener en consideración la siguiente información:

1.- Elaborar una lista de los motores que estarán contenidos en el CCM indicando para cada motor:

- Potencia en [HP] o [KW].
- Voltaje de operación.
- Corriente nominal a plena carga.
- Forma de arranque (tensión plena a tensión reducida).
- Lámparas de control e indicadores.

2.- Elaborar un diagrama unifilar simplificado de las conexiones de los motores indicando la información principal referente cada uno.

3.- Tomando como referencia los tamaños normalizados para CCM, se puede hacer un arreglo preliminar de la disposición de sus componentes, de acuerdo con el diagrama unifilar y considerando ampliaciones futuras.

##### 4.4.1- Especificaciones de Diseño

Las especificaciones principales para un centro de control de motores (CCM) y las cuales no se pueden pasar por alto son:

**Características del Gabinete y Dimensiones Principales.** Generalmente son del tipo autosoportado de frente muerto para montaje en piso con puertas al frente para permitir el acceso al equipo.

**Arrancadores.** Normalmente son del tipo magnético, con control remoto y/o local por medio de botones y elementos térmicos para protección de los motores.

**Interruptores.** Son del tipo termomagnético en caja moldeada de plástico con operación manual y disparo automático y que pueden ser accionados exteriormente por medio de palancas, frecuentemente se instala para cada motor una combinación de interruptor y arrancador.

**Barras de Conexiones.** Cada CCM tiene sus barras de alimentación que son generalmente de cobre. Estas barras se encuentran en la parte superior y las conexiones se hacen en la parte inferior. Como parte de los datos para el diseño de un centro de control de motores se deben definir además:

- a) Voltaje de la fuente de alimentación.
- b) El tipo de gabinete que se emplea en función del punto de instalación del mismo (condiciones ambientales).
- c) El número y calibre de los conductores alimentadores.
- d) La función de las cargas que se alimentará, para ello se elabora una lista de equipo específico a considerar en el CCM como por ejemplo:
  - Tipo de arrancadores (reversibles, no reversibles, etc.), así como si se incluirán tableros de alumbrado.
  - Número de unidades requeridas.
  - Circuitos derivados y protección de los mismos.

#### **4.4.2- Diseño del Circuito Alimentador en un CCM**

En el diagrama correspondiente al cálculo de los circuitos derivados, el alimentador suministra de energía al circuito derivado del motor y se protege por separado.

##### **4.4.2.1- Carga del Alimentador en un CCM**

Los conductores que alimentan los motores, deben tener su capacidad nominal en amperes para alimentar la corriente a plena carga del motor. Estos conductores, de acuerdo a su aislamiento, se pueden seleccionar para 60 [°C], 75 [°C], ó 90 [°C]. Considerando, además el impacto del medio ambiente en que están instalados los motores, los conductores que los alimentan están sometidos a las altas corrientes de arranque (4 a 6 veces la nominal) y también a las corrientes de los ciclos continuos de operación. Cuando se alimenta a un solo motor, los conductores se dimensionan tomando el 125% de la corriente nominal. Cuando se trata de alimentar más de un motor, la carga del alimentador o para cualquier tablero que contenga conectado un motor se calcula con la ecuación:

$$I = 1.25 * I_{MM} + f_c * \Sigma I_J$$

Donde:

I = Corriente del alimentador en amperes [A].

I<sub>J</sub> = Carga de cada uno de los elementos conectados en amperes [A].

I<sub>MM</sub> = Corriente nominal del motor más grande del grupo considerado.

Si se considera que el voltaje es constante la carga puede expresarse en watts. Se entiende que el desbalanceo máximo entre fases debe ser como máximo del 5%.

#### 4.4.2.2- Protección del Alimentador en un CCM

Para protegerlo contra cortocircuito y fallas a tierra, la protección del alimentador se calcula agregando la suma de las cargas adicionales a la corriente máxima para el dispositivo de protección del motor contra cortocircuito o falla a tierra. Cuando se consideren cargas adicionales para el futuro, se incluyen en los cálculos para determinar la capacidad apropiada de los alimentadores y los dispositivos de protección. El circuito alimentador que proporciona la potencia desde el servicio hasta el circuito derivado de un motor, se puede realizar en distintas formas, de hecho se debe seleccionar el arreglo evaluando algunas consideraciones como el costo, voltaje de alimentación, disponibilidad de espacio, forma de control de los motores, etc. La protección del alimentador se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I = 2.5 * I_{PC \text{ MOTOR MAYOR}} + \Sigma I_{PC \text{ OTROS MOTORES}}$$

#### 4.4.2.3-Código en Motores Eléctricos

Las letras del código en los motores, representan una medida de la corriente de demanda durante el arranque o sea lo que se conoce como rotor bloqueado, que significa con velocidad inicial cero y son consideradas con un elemento que interviene en la selección de la protección del motor. Es común que las letras del código se expresen en unidades de [KVA/HP]. En consecuencia, si la potencia de un motor en [HP] y su letra de código se leen de sus datos de placa, se puede calcular en forma sencilla los [KVA] de arranque y la corriente máxima de arranque. La **tabla 3.4** muestra el código de los motores de más común uso dentro de las instalaciones en CC.

#### 4.4.3- Ejemplo del Diseño de un CCM

En la instalación eléctrica se instalarán los motores eléctricos de inducción que son indicados a continuación. Con los datos indicados, se desea obtener las características generales que se deben tener en el CCM, calculando las características principales para los alimentadores de los circuitos derivados para el alimentador principal del CCM.

Número	Potencia en HP	Letra del Código	Voltaje de Operación	Corriente a Plena Carga	Tipo de Arrancador
1	3	A	220	10	Tensión completa
2	3	A	220	10	Tensión completa
3	2	A	220	7.1	Tensión completa
4	7 1/2	C	220	23	Tensión completa
5	10	C	220	29	Tensión completa
6	15	G	220	44	Tensión completa
7	20	G	220	56	Tensión completa
8	25	G	220	71	Tensión completa

Los datos de las corrientes fueron obtenidos de la **tabla 4.1**. Se considera que se usarán interruptores termomagnéticos y conductores vinanel 900 para el motor de 3 [HP] y 220 volts con letra de código A y que toma una corriente a plena carga de 10 [A] se puede calcular la protección del circuito derivado de acuerdo con la **tabla 4.2**.

$$I = 1.5 * I_{PC} = 1.5 * 10 = 15 \text{ [A]}$$

Se puede seleccionar un interruptor termomagnético para 30 [A]. De acuerdo con la **tabla 4.3** se pueden ocupar conductores vinanel 900 calibre número 12 AWG en un tubo conduit de 13 [mm] **Tabla 4.4**. Para el motor de 2 [HP] con corriente nominal de 7.1 amperes y letra de código A. La protección del circuito derivado usando interruptor termomagnético de la **tabla 4.2** se obtiene que la protección se calcula como:

$$I = 1.5 * I_{PC} = 1.5 * 7.1 = 10.65 \text{ [A]}$$

Se puede usar interruptor termomagnético para 20 [A], el circuito derivado tendrá 3 conductores vinanel 900 calibre número 12 AWG **tabla 4.3** en un tubo conduit de 13 [mm]. (**Tabla 4.4**). Procediendo en la misma forma se calculan las características de los demás circuitos derivados que se indican en la tabla siguiente:

Número de motor	Potencia HP	Corriente a plena carga	Interruptor	Arrancador	Circuito Derivado	
					Conductor	Tubo Conduit
1	3	10	30	0	3 No. 12	13 mm.
2	3	10	30	0	3 No. 12	13 mm.
3	2	7.1	20	0	3 No. 12	13 mm.
4	7 1/2	23	50	1	3 No. 10	19 mm.
5	10	29	50	1	3 No. 10	19 mm.
6	15	44	70	2	3 No. 8	19 mm.
7	20	56	100	3	3 No. 6	25 mm.
8	25	71	100	3	3 No. 4	32 mm.

Para la protección del alimentador se hace uso de la expresión:

$$I = 2.5 * I_{PC \text{ MOTOR MAYOR}} + \sum I_{PC \text{ OTROS MOTORES}} = 2.5 * 71 + (10 + 10 + 7.1 + 23 + 29 + 44 + 46) = 356.6 \text{ [A]}$$

En este caso el motor mayor es de 25 [HP] con una corriente a plena carga de  $I_{PC} = 71 \text{ [A]}$ . Con este resultado se observa que se puede ocupar un interruptor de 400 [A]. Para tres conductores vinanel 900 por los que circula una corriente de  $356.6 \text{ [A]}$ , se puede usar calibre AWG No. 500 mcm, con un tubo conduit de 76 [mm]. La **figura 4.1** corresponde a nuestro CCM y es mostrado a continuación:

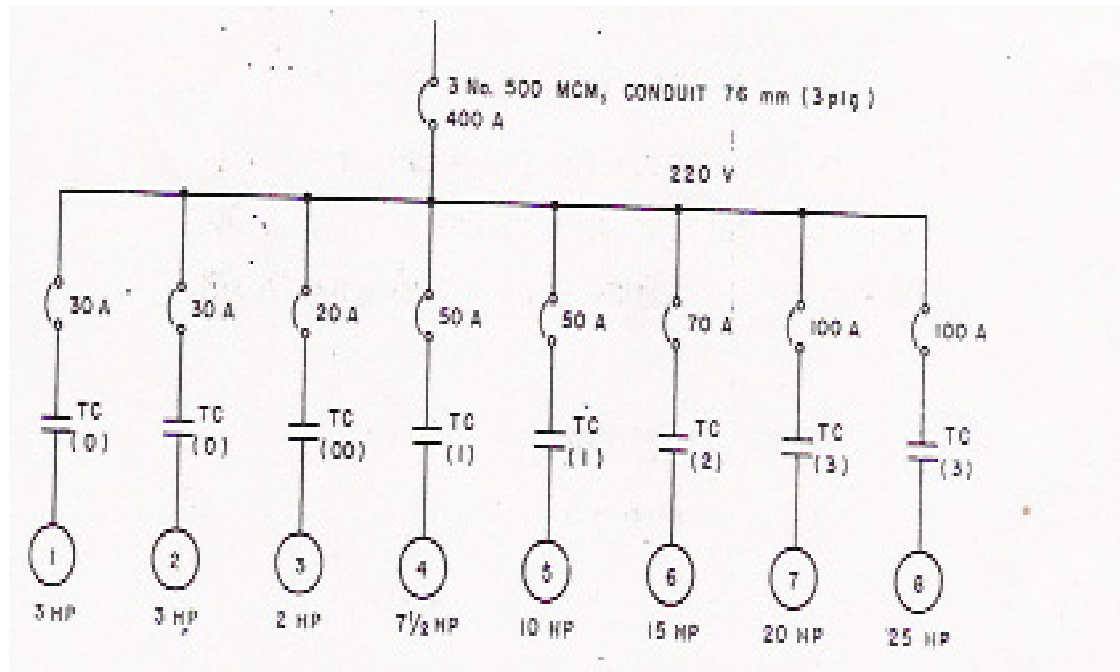


Figura 4.1 Diagrama Unifilar del CCM

Referencia: ENRIQUEZ HARPER, Gilberto, El ABC de las instalaciones eléctricas industriales, 1a. Edic., Limusa.

#### 4.5- Especificación de Conductores y Canalizaciones

La mayor parte de los conductores usados en las instalaciones eléctricas son de cobre (Cu) o de aluminio (Al). En el diseño de instalaciones eléctricas una de las tareas más importantes es el cálculo de la sección de los conductores, es decir, su especificación.

##### 4.5.1- Especificación de Conductores

En esta parte de la tesis se analizan y definen los criterios para poder diseñar y definir la sección transversal de los conductores y además se expone la metodología para obtener su especificación. Para la aplicación de los criterios se requiere primero la definición de la corriente que circulará por uno de los conductores en condiciones de plena carga (corriente nominal).

Los principales criterios que se deben considerar para la especificación del conductor son: tipo de aislamiento, capacidad de conducción de corriente, caída de voltaje permitida, capacidad para soportar la corriente de cortocircuito y calibre mínimo permitido para aplicaciones específicas. Otros criterios no tan importantes pero que se deben tomar en cuenta son: pérdidas por efecto Joule, fuerza de tiro en el proceso de cableado y conductores de diferentes calibres que puedan compartir la misma canalización.

#### 4.5.1.1-Tipos de Aislamiento

Existe una amplia variedad de aislamientos para conductores para satisfacer los requerimientos de las distintas aplicaciones. Estos tipos de aislamientos están diseñados sobre una forma estándar y todos los cables están marcados con información sobre su tamaño ya sea expresado en AWG (American Wire Gage) ó KCMIL, su voltaje y su tipo de aislamiento. El aislamiento de los cables se designa de la siguiente forma:

- A = Aislamiento de asbesto.
- MI = Aislamiento mineral.
- R = Aislamiento de hule.
- SA = Aislamiento de silicio-asbesto.
- T = Aislamiento termoplástico.
- V = Aislamiento de cambray barnizado.
- X = Aislamiento de polímero sintético barnizado.

Los cables también se designan por su medio de operación como:

- H = Resistente al calor hasta 75 [°C].
- HH = Resistente al calor hasta 90 [°C].

Si no hay designación, significa 60 [°C].

- W = Resistente a la humedad.
- UF = Para uso subterráneo.

#### 4.5.1.2- Criterios de Selección

Los siguientes criterios son los que se deben tomar en cuenta para seleccionar de una manera adecuada a los conductores que intervengan en la instalación eléctrica.

**Ampacidad o Capacidad de Conducción.** La ampacidad de un cable es su capacidad de conducción continua de corriente bajo condiciones específicas en amperes [A]. La **tabla 4.5** contiene la información de la tabla 302.4 de la NTIE (Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas) donde aparece la capacidad de corriente de conductores aislados, según el tipo de aislante y dependiendo si el conductor está instalado en tubería o en aire; también se incluye los factores de corrección por temperatura ambiente y por agrupamiento en una tubería. Deberá seleccionarse el calibre cuya capacidad de corriente sea igual o mayor a la nominal del conductor considerando todas las restricciones.

Notas de la **tabla 4.5**

- a) Estos valores son aplicables cuando se tienen, como máximo tres conductores alojados en una canalización, para un número mayor deben aplicarse los siguientes factores de corrección.

Número de conductores	% del valor indicado en la tabla anterior
4 a 6	80
7 a 24	70
25 a 42	60
Más de 42	50

Cuando se instalen conductores de sistemas diferentes dentro de una canalización, los factores de corrección por agrupamiento anteriores solamente pueden aplicarse al número de conductores de fuerza y alumbrado.

En el caso de un conductor neutro que transporte solamente la corriente de desequilibrio de otros conductores, como en el caso de circuitos normalmente equilibrados de tres o más conductores, no se debe afectar su capacidad con los factores indicados en esta tabla.

b) Los valores de la **tabla 4.5** deben corregirse para temperaturas ambiente (del local o del lugar en que se encuentren los conductores) mayores de 30° C, de acuerdo con la **tabla 4.8**.

c) Cuando los conductores desnudos se usan como conductores de puesta a tierra y se encuentran instalados junto a conductores aislados, sus capacidades de corriente deben limitarse a las permitidas para los conductores aislados del mismo calibre.

d) Cuando en un grupo de conductores se tengan aislamientos para temperaturas máximas diferentes, la temperatura límite del grupo debe determinarse por la menor de ellas.

**Caída de Voltaje.** La caída de voltaje es la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma cuando está circulando la corriente nominal, salvo casos excepcionales como lo son los circuitos derivados para un motor o para cargas únicas específicas, no se dispone en un momento determinado de toda la carga total instalada, por lo tanto, para evitar el tener que conectar conductores eléctricos de gran sección transversal, es aconsejable corregir la intensidad después de calculada para cada uno de los siguientes sistemas, esto se logra multiplicando la corriente por un factor de demanda o de utilización (relación de la demanda promedio entre la máxima potencia horaria registrada en el periodo de tiempo analizado) que según el tipo de instalación, varía normalmente de 0.6 a 0.9. La caída de voltaje máxima permitida por las NTIE es del 3% para el circuito principal y 3% para el circuito derivado, sin que los dos juntos sobrepasen el 5%.



Sistema monofásico a dos hilos (fase y neutro): Se utiliza en instalaciones eléctricas de alumbrado y contactos sencillos, cuando todas las cargas parciales son monofásicas y la carga total instalada no es mayor de 4000 watts. El calibre de los conductores por corriente se encuentra con la siguiente formula, tomando  $I_c$  como la corriente ya corregida y utilizada en el diseño.

$$I = \frac{W}{V_n * \text{Cos}\theta}$$

Por caída de tensión:

$$S = \frac{4 * L * I_c}{V_n * \%e} \qquad e = \frac{L * I_c}{25 * S}$$

Sistema bifásico a tres hilos (dos fases y neutro): Es utilizado en instalaciones de alumbrado y de contactos sencillos, cuando las cargas son monofásicas y la carga total instalada es mayor de 4000 watts, pero menor de 8000 watts. Por corriente, el calibre del conductor se determina con la siguiente expresión:

$$I = \frac{W}{2 * V_n * \text{Cos}\theta}$$

Como la carga total conectada en realidad se reparte en dos sistemas monofásicos a dos hilos, la corriente y en consecuencia la caída de tensión es exactamente la mitad con respecto al sistema elemental de fase y neutro.

Por caída de tensión:

$$S = \frac{2 * L * I}{V_n * \%e} \qquad e = \frac{L * I_c}{50 * S}$$

Sistema trifásico a cuatro hilos (tres fases y un neutro): Es utilizado en instalaciones de alumbrado y de contactos sencillos cuando todas las cargas son monofásicas y la total instalada es mayor de 8000 watts. Tratándose de un sistema a cuatro hilos y considerándolo 100% balanceado, en el neutro se toma una intensidad de corriente igual a cero.

Cuando se tienen cargas de alumbrado y contactos, motores monofásicos ó trifásicos se debe hacer intervenir a la eficiencia ( $\eta$ ), considerando un máximo valor promedio de 0.85 o menor, el cual estará determinado por las características de las cargas parciales. La corriente para el diseño del conductor está determinada por:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * V_f * \text{Cos}\theta * \eta}$$

Por caída de tensión:

$$S = \frac{2 * L * I_c}{V_n * \%ef} \qquad ef = \frac{\sqrt{3} * L * I_c}{50 * S}$$

Para todas la fórmulas mencionadas anteriormente se tiene que especificar el significado de cada uno de las variables involucradas, las cuales son explicadas a continuación.

I = Corriente de línea en amperes [A].

I<sub>c</sub> = Corriente corregida utilizada en la selección de los conductores definida como: I<sub>c</sub> = I \* FU

FU = Factor de utilización.

W = Potencia, carga por alimentar o carga total instalada expresada en [w].

V<sub>n</sub> = Tensión entre fase y neutro (127 volts).

V<sub>f</sub> = Tensión entre fases.

Cosθ = Factor de potencia ó coseno del ángulo formado entre el vector de tensión y el vector de corriente y cuyo valor es expresado en centésimas. Dicho valor representa el tanto por ciento que se aprovecha de la energía proporcionada por la empresa suministradora.

L = Distancia en metros desde la toma de corriente hasta el centro de carga.

S = Sección transversal o área de los conductores expresada en [mm<sup>2</sup>]. (área del cobre sin aislamiento).

e = Caída de tensión entre fase y neutro.

ef = Caída de tensión entre fases.

%e = Caída de tensión entre fases en tanto por ciento para sistemas monofásicos y se define como:

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

%ef = Caída de tensión en tanto por ciento para sistemas trifásicos. Calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$\%ef = ef * \frac{100}{V_f}$$

**Pérdidas por Efecto Joule.** El paso de una corriente eléctrica por un conductor produce calor que se disipa por la superficie externa. De acuerdo con la ley de Joule:

$$W = R * I^2 * t$$

La resistencia es inversamente proporcional a la sección del conductor; por lo tanto, aumentando el calibre puede lograrse que disminuyan las pérdidas por efecto Joule. Para utilizar este criterio resulta necesario estimar el costo de la energía perdida a lo largo del tiempo y compararlo con el costo adicional por el aumento del calibre.

Para obtener la sección económica deben trazarse dos curvas costo vs sección transversal, una para pérdidas y la otra para inversión. El mínimo de la suma de las dos secciones es la sección económica.

**Capacidad para Soportar la Corriente de Cortocircuito.** Para determinar la tolerancia del alimentador a la corriente de un corto circuito, se considera que todo el calor producido por la circulación de ésta se destina a elevar la temperatura del conductor. La expresión para determinar el área del conductor para soportar un cortocircuito está dada de la siguiente forma:

$$\left[ \frac{I_{CC}}{A} \right]^2 t = 0.0297 \log \left[ \frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right]$$

Donde:

$I_{CC}$  = Corriente de corto circuito en [A].

$A$  = Área del conductor en circular mils.

$t$  = Tiempo de duración del cortocircuito en [s].

$T_2$  = Temperatura máxima que resiste el conductor en condiciones de cortocircuito, en [°C].

$T_1$  = Temperatura normal del conductor en [°C].

Para revisar la tolerancia de un alimentador a un cortocircuito se obtiene el tiempo para la corriente y área dados y se compara con el tiempo de disparo de la protección e interruptor correspondiente y éste último deberá ser menor.

**Fuerza de Tiro en el Cableado.** Se trata de un elemento que se debe considerar al momento de decidir las distancias entre registros o cajas, el número de cambios de dirección (codos) y en general cualquier obstáculo que provoque una tensión mecánica la momento de instalarlo. La fuerza máxima de tiro que puede aplicarse antes de ocasionar elongamientos en los cables depende del tipo de conductor utilizado. La tensión permitida en los conductores de cobre depende del temple, si un conductor se somete durante el proceso de cableado a una fuerza de tiro descontrolada, puede cambiar su temple y aumentar su resistencia eléctrica, y si ésta es muy grande se puede inclusive provocar la ruptura del cable. La carga de ruptura no es siempre proporcional al área transversal ya que en los calibres más delgados el esfuerzo se distribuye más uniformemente que en los delgados. En la práctica se consideran como aceptables los esfuerzos del proceso de cableado que estén en el rango de 40 a 50% de la carga de ruptura. Con los datos mencionados se puede escoger un esfuerzo de tensión permisible de 7.5 [Kg/mm<sup>2</sup>] (Boletín 401, tabla 11 de industrias CONELEC). Para obtener la fuerza de tiro se utiliza la siguiente expresión:

$$F_{tiro} = K_U * \sigma * A$$

Donde:

$K_U$  = Coeficiente de uniformidad.

$\sigma$  = Esfuerzo unitario en [Kg/mm<sup>2</sup>].

$A$  = Sumatoria de la sección transversal de todos los conductores.

Al cablear varios conductores juntos, es muy importante que tengan la misma longitud para evitar que aquel o aquellos que queden más cortos se sometan a esfuerzos mayores.

#### 4.5.2- Cálculo de Conductores con Cargas Distribuidas

Es muy común que un circuito derivado tenga cargas distribuidas a lo largo de su extensión. Es normal que el calibre de las últimas unidades sea menor que el calibre con el que sale del tablero de distribución. En esta sección se propone una metodología para el cálculo exacto de los conductores. ( ver figura 4.2). En el establecimiento para el cálculo del calibre, se estudian dos casos: densidad de corriente constante y sección constante (distribución en anillo).

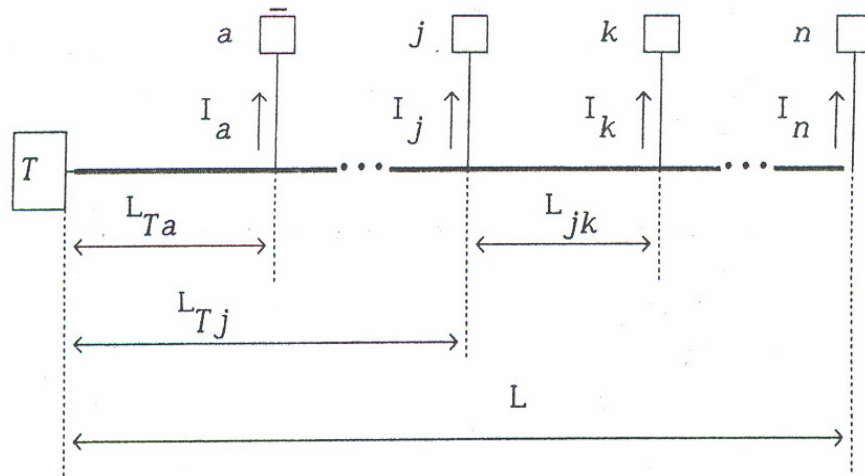


Figura 4.2 Carga Distribuida en un Alimentador

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

##### 4.5.2.1- Densidad de Corriente

La expresión para la densidad de corriente entre dos puntos consecutivos de la figura anterior es:

$$\text{Constante} = \delta = \frac{I_{jk}}{S_{cujk}}$$

Donde:

$S_{cujk}$  = Sección transversal del conductor de cobre entre j y k.

$I_{jk}$  = Corriente que circula entre los puntos j y k.

De acuerdo con la expresión anterior la caída de voltaje puede expresarse de la siguiente manera:

$$e_{jk} = \frac{2 * c}{V} L_{jk} \frac{I_{jk}}{S_{cujk}}$$

La caída total de voltaje será:

$$e = \sum_{j=T}^{j=n-1} e_{jk} = \frac{2 * c}{V} * \delta \sum_{j=T}^{j=n-1} L_{jk}$$

La longitud total desde el tablero hasta la última salida se calculó con:

$$L = \sum_{j=T}^{j=n-1} L_{jk}$$

de las dos expresiones anteriores se obtiene la sección del conductor con la siguiente fórmula:

$$S_{jk} = \frac{2 * c}{V} I_{jk} \frac{L}{e}$$

Esta relación facilita el cálculo de las secciones de los diferentes tramos de conductores ya que el único parámetro que cambia es la corriente en el tramo respectivo. En caso de tener un circuito con varias ramificaciones radiales (conductores que parten del mismo punto), se puede considerar la longitud de la ramificación más grande; de esta manera quedan cubiertas todas las demás. Es importante vigilar que el último tramo del circuito quede protegido por el interruptor seleccionado. La revisión final de la caída total de voltaje puede hacerse con la siguiente relación:

$$e = \frac{2 * c}{V} * \sum_{j=T}^{j=n-1} \frac{L_{jk} * I_{jk}}{S_{jk}}$$

Donde:

V = Voltaje nominal.

c = 2 para circuitos monofásicos o bifásicos y c =  $\sqrt{3}$  para trifásicos.

#### 4.5.2.2- Alimentador de Sección Constante

En este caso se pueden escribir las siguientes expresiones tanto para obtener la caída de voltaje así como para obtener la sección del conductor.

La caída total de voltaje será:

$$e = \sum_{j=T}^{j=n-1} e_{jk} = \frac{2 * c}{V * S_{jk}} * \delta \sum_{j=T}^{j=n-1} L_{jk} * I_{jk}$$

La sección del conductor se determina con la siguiente expresión:

$$S_{jk} = \frac{2 * c}{e * V} \sum_{j=T}^{j=n-1} L_{jk} * I_{jk}$$

Esta relación resulta útil para calcular circuitos en anillo. Su aplicación es de fácil manejo teniendo en mano el plano de la instalación. Para el cálculo de la sección en función de la potencia, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$S_{jk} = \frac{2 * c}{e * V^2} \sum_{j=T}^{j=n-1} L_{jk} * P_{jk} \quad \text{donde } c = 2 \text{ para circuitos monofásicos y } c = \sqrt{3} \text{ para circuitos trifásicos.}$$

La sección transversal del conductor debe calcularse en condiciones normales (ambas terminales del anillo energizadas) y en condiciones de emergencia (con alimentación con un solo punto del anillo).

#### 4.5.3- Aplicaciones Específicas

Es importante mencionar que aunque la selección de los conductores se lleva a cabo tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente, es importante conocer algunas características de los circuitos dentro de la instalación para con ello no cometer algún error al momento de la selección.

##### 4.5.3.1- Conductores en Circuitos Derivados

Los conductores de circuitos derivados se sujetarán a las siguientes dos restricciones ya que son las que proporcionan una seguridad y un funcionamiento adecuado a la instalación. Ambas son explicadas con detalle en el apartado de selección de conductores

**Capacidad de Conducción.** Serán de calibre suficiente para conducir la corriente del circuito derivado y deberán cumplir con las disposiciones de caída de voltaje y capacidad térmica.

**Sección Mínima.** La sección de los conductores no deberá ser menor que la correspondiente al calibre número 14, para circuitos de alumbrado y aparatos pequeños, ni menor que la del número 12 para circuitos que alimenten aparatos de más de tres amperes.

##### 4.5.3.2- Conductores para el Sistema de Aire Acondicionado

En los equipos de aire acondicionado centralizados, los conductores del circuito derivado se seleccionan lo suficientemente grandes como para evitar daños por sobrecarga y por lo mismo, se usan relevadores de sobrecarga que deben disparar cuando las sobrecargas exceden al 140% de la corriente a plena carga del compresor. El dispositivo de protección contra sobrecorriente se selecciona de manera que permita arrancar y operar al compresor, por lo que se selecciona al 175% de la corriente de plena carga del compresor.

Cuando por alguna razón, el motor del compresor no arranque con la selección al 175%, entonces el dispositivo de protección se puede seleccionar para un valor máximo del 225% de la corriente nominal del compresor.

#### **4.5.3.3-Conductores en Circuitos para Motores**

Los conductores de los circuitos derivados para motores, generalmente son de cobre o de aluminio y deben estar suficientemente bien dimensionados para soportar los arranques y paros; así como la operación continua en el accionamiento de sus cargas. Los conductores del circuito derivado deben ser capaces de permitir sobrecargas que los motores puedan producir debido a problemas de frenado del elemento accionado. Una sobrecarga generada por el equipo, requiere de más potencia para el accionamiento del mismo. Para evitar que los aislamientos de los equipos fallen como resultado del exceso de calor producido en las sobrecargas. Los conductores de los circuitos derivados, se dimensionan para el 125% de la corriente a plena carga del motor.

#### **4.5.4- Canalizaciones Eléctricas**

Se entiende por canalizaciones eléctricas a los dispositivos que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera que queden protegidos contra deterioro mecánico y contaminación, además protejan a las instalaciones contra incendios por arcos eléctricos que se representan en condiciones de cortocircuito. Los medios de canalización más comunes en las instalaciones eléctricas son:

- Tubos conduit
- Ductos
- Charolas

##### **4.5.4.1- Tubos Conduit**

Es un tipo de tubo (de metal o plástico) usado para contener y proteger los conductores eléctricos usados en las instalaciones. Los tubos conduit metálicos pueden ser de aluminio o de aleaciones especiales, los tubos de acero a su vez se fabrican en los tipos pesado, semipesado y ligero, distinguiéndose por el espesor de la pared.

***Accesorios para la Canalización en Tubo Conduit.*** En los métodos modernos se puede decir que todas las conexiones de los conductores o uniones entre los mismos se deben realizar en cajas de conexión apropiadas para tal fin y que deben estar instaladas en donde pueden ser accesibles para poder hacer cambios en el alumbrado. Por otra parte todos los apagadores y salidas para lámparas se deben encontrar alojados en cajas y en forma similar los contactos. Las cajas se construyen metálicas y de plástico según se usen para instalaciones con un tubo conduit metálico o con un PVC ó polietileno. Las cajas metálicas se construyen de acero galvanizado de cuatro formas principalmente: cuadradas, octagonales, rectangulares y circulares.

**Número de Conductores en un Tubo Conduit.** Como se ha mencionado los conductores están limitados en su capacidad de conducción de corriente por el calentamiento debido a las limitaciones que se tienen en la disipación de calor y a que el aislamiento mismo presenta también limitaciones de tipo térmico. Debido a estas restricciones térmicas, el número de conductores dentro de un tubo conduit se limita de manera tal que permita un arreglo físico de conductores, de acuerdo a la sección del tubo conduit o de la canalización, facilitando su alojamiento de aire necesario para disipar el calor. Se debe establecer la relación adecuada entre la sección del tubo y la de los conductores, para esto se procede de la siguiente forma:

Sí A es el área interior del tubo en [mm<sup>2</sup>] ó [plg<sup>2</sup>] y A<sub>C</sub> el área total de los conductores, el factor de relleno (F) es:

$$F = \frac{A_C}{A}$$

Este factor de relleno tiene los siguientes valores establecidos para instalaciones en tubos conduit.

53% para un conductor.

31% para dos conductores.

43% para tres conductores.

40% para cuatro o más conductores.

#### **4.5.4.2- Ductos**

Son otro medio de canalización de conductores eléctricos que se usan sólo en instalaciones eléctricas visibles debido a que no se pueden montar embutidos en pared ó dentro de lazos de concreto. Se fabrican de canales de lámina de acero de sección cuadrada o rectangular con tapas atornilladas y su aplicación se encuentra en instalaciones industriales y laboratorios. Los conductores se llevan dentro de los ductos en forma similar al caso de los tubo conduit y se pueden usar para circuitos alimentadores y circuitos derivados ya que su uso no está restringido.

Los ductos ofrecen ventajas en comparación con los tubos conduit debido a que ofrecen mayor espacio para alojar conductores y son más fáciles de alambrar esto en sistemas menores de distribución en donde por un mismo ducto se pueden tener circuitos múltiples, ofreciendo además la ventaja de ser fácil de alambrar, teniéndose un mejor aprovechamiento de la capacidad conductiva de los conductores al tener mejor disipación de calor. Se permiten un máximo de 30 conductores hasta ocupar un 20% del interior del ducto, en el caso de empalmes o derivaciones puede ser hasta de 75%.

#### **4.5.4.3- Charolas**

En el uso de las charolas se tienen aplicaciones parecidas a las de los ductos con algunas limitaciones propias de los lugares en que se hace la instalación. En cuanto a la utilización de las charolas se dan las siguientes recomendaciones:



1.- Procura alinear los conductores de manera que guarden siempre la misma posición relativa en todo el trayecto de la charola, especialmente los de grueso calibre.

2.- En el caso de varios conductores delgados es conveniente hacer amarres a intervalos de 1.5 a 2.0 metros, procurando colocar etiquetas de identificación cuando se trate de conductores de varios circuitos, en el caso de conductores de calibre grueso los amarres se pueden hacer cada 2.0 ó 3.0 metros.

3.- En la fijación de conductores que vayan a través de charolas por trayectorias verticales muy largas es recomendable que los amarres se hagan con abrazaderas especiales.

#### 4.5.5- Cálculo y Especificación de Tuberías

Para la especificación del diámetro de tuberías para alojar varios conductores eléctricos aislados, debe observarse cierta relación entre la suma total de las secciones transversales de los conductores (incluyendo su aislamiento) y el área transversal del interior del tubo, esta relación se conoce como *factor de relleno*. Las NTIE (1981, inciso 306.7) señalan como valor máximo aceptable para este factor un 40%. Resulta conveniente mencionar los factores de relleno aceptados por la NTIE para dos casos típicos: uno y dos conductores en un ducto. Para un conductor puede ser de 55%, para dos conductores se limita a un máximo de 30%.

La **tabla 4.6** proporciona la sección total en [mm<sup>2</sup>] de uno hasta diez conductores de los utilizados más comúnmente en la instalaciones. Esta tabla es válida únicamente para conductores con aislamiento tipo TW y TWH explicados anteriormente. En la tercera columna aparece el diámetro exterior de este tipo de conductores de tal forma que puede utilizarse para otro tipo de aislamiento que no sobrepásele diámetro marcado.

En la **tabla 4.7** se presentan los valores correspondientes al 100%, 40%, 30% y 20% del área interior de la tubería conduit cédula 20. En la **tabla 4.7** se muestran los mismos porcentajes para los ductos cuadrados. Suponiendo que los conductores son compatibles para alojarse en la misma canalización y que no hay mas de diez del mismo calibre, se procede de la siguiente manera:

1.- Utilizando la **tabla 4.6** se obtienen las secciones de los conductores de cada calibre y se hace la sumatoria total de secciones.

2.- El resultado se compara con los valores de la columna de factor de relleno deseado de la **tabla 4.7** según sea el caso. La tubería o ducto que debe especificarse será la que tiene la sección inmediata superior a la obtenida en el primer paso.

#### 4.5.6- Ejemplo del Cálculo para la Selección de Conductores y Canalizaciones

Un alimentador trifásico de tres conductores tipo TW, con 100 [m] de longitud, debe alimentar una carga de 75,000 watts a 220 volts entre fases, con una frecuencia de 60 [Hz], y un factor de potencia de 0.8 atrasado. Los conductores deberán ir dentro de un tubo conduit de acero, se desea calcular el calibre de los conductores y el tubo conduit, si se desea que la caída de voltaje no exceda el 2%.

Como primer paso se calculará la corriente que demanda la carga, considerando una eficiencia de 0.85, a partir de la siguiente expresión:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * V_f * \text{Cos}\theta * \eta} = \frac{75000}{\sqrt{3} * 220 * 0.8 * 0.85} = 290 \text{ [A]}$$

Considerando un factor de utilización de 0.44 se obtiene que  $I_c = 290 * 0.44 = 127.6 \text{ [A]}$ . La caída de tensión máxima permisible se encuentra a partir de la fórmula:

$$ef = \frac{\sqrt{3} * L * I_c}{50 * S}$$

La sección del conductor para una caída de tensión máxima del 2% se obtiene con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 * L * I_c}{V_n * \%ef} = \frac{2 * 100 * 127.6}{127 * 2} = 100.4 \text{ mm}^2$$

Con este valor y con la **tabla 4.9** con  $S = 100.4 \text{ [mm}^2\text{]}$ , conductor 0000 KCM. La corriente permisible para tres conductores de 0000 KCM en un tubo conduit a partir de la **tabla 4.3** es de 195 [A] para de uno a tres conductores del tipo TW.

El siguiente ejemplo tiene como finalidad el demostrar el uso de tablas y expresiones para el cálculo de conductores alimentadores de motores. En la instalación eléctrica de un motor de inducción se usan conductores TW. El motor es de una potencia de 3 [HP] y es alimentado a 220 volts, además a dicho motor se le agrega un circuito derivado de otro motor trifásico similar de 2 [HP] al cual se le debe determinar el calibre del conductor THW requerido.

A partir de la **tabla 4.1** se observa que la corriente a plena carga para un motor de 3 [HP] alimentado a 220 [v] es de 10 [A], por lo tanto el conductor se determina de la siguiente manera:

$$I = 1.25 * I_N = 1.25 * 10 = 12.5 \text{ [A]}$$

Si se consultan las tablas para el calibre de conductores en **tabla 4.3** se determina que para tres conductores en un tubo conduit con una corriente de 12.5 [A] se requiere un conductor THW del No. 14. Al tomar en cuenta el otro motor se observa que el más grande es el de 3 [HP], que como se determinó anteriormente la corriente es de 10 [A]. Para el motor de 2 [HP] a 220 volts la corriente a plena carga es de 7.1 [A], por lo tanto la corriente total es de:

$$I_{TPC} = 1.25 I_{MPC} + I_{MPC} = 1.25 * 10 + 7.1 = 19.6 \text{ [A]}, \text{ consultando en } \mathbf{tabla 4.3} \text{ para THW en tubo conduit, se requiere un conductor No. 12 AWG.}$$

## **CAPITULO 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN**

Los estudios a elaborar dentro de toda instalación con respecto a las protección son: análisis del cortocircuito, selección de dispositivos de protección, coordinación de los dispositivos de protección. Las condiciones anormales contra las que se deben proteger los elementos de la instalación, son el cortocircuito y las sobrecargas. El sistema se diseña para ser capaz de aislar la porción afectada del sistema, para minimizar el efecto, proveer al sistema siempre que sea posible, de medios de cierre automático, para minimizar la duración de la falla.

### **5.1- Conceptos Generales**

En esta parte del capítulo se proporciona información relativa a situaciones anormales o fallas que pueden provocar daños, en elementos de la instalación, interrupciones del servicio, poner en peligro la integridad física de las personas, así mismo se describen las protecciones que deben existir para evitar los efectos de estas fallas. Se entiende que una instalación está razonablemente protegida si cuenta con un sistema coordinado de elementos que desempeñe las siguientes funciones: evitar los daños por situaciones anormales, aislar la zona donde aparece la falla de tal forma que el resto de la instalación continúe operando en las mejores condiciones posibles.

#### **5.1.1- Voltajes Indeseables**

Se entienden por voltajes peligrosos o indeseables a aquellos que surgen en determinadas condiciones y que ponen en peligro a las personas y a la instalación.

##### **5.1.1.1- Sobrevoltaje de Origen Atmosférico**

La magnitud de los voltajes de descarga es tan alta que deben tomarse medidas para neutralizarlos para evitar que viajen por estructuras, edificios, instalaciones y equipos eléctricos. La falta de elementos conductores para canalizar estas descargas a tierra puede provocar daños importantes a estructuras o equipos.

##### **5.1.1.2-Voltajes por Falla de Aislamiento**

El aislamiento del equipo eléctrico puede fallar por envejecimiento, por daños mecánicos y provocar que partes metálicas normalmente desenergizadas se vean expuestas a voltajes peligrosos, es por ello que las estructuras y armazones metálicos deben estar conectados a tierra, con lo que en el caso de que se energicen, se elimine el peligro para las personas y se disparen las protecciones que desconectan los equipos correspondientes.

##### **5.1.1.3- Voltaje de Paso**

Se entiende por voltaje de paso el potencial entre dos puntos separados por la distancia equivalente a un paso humano, que puede darse en el suelo próximo a una toma de tierra por donde circula una corriente de falla.

Una toma de tierra está caracterizada por cierta resistencia respecto al globo terráqueo. Si se trata de una sola varilla de tierra, la resistencia de las capas concéntricas que la rodean disminuye conforme se aleja la varilla y a cierta distancia pueden empezar a despreciarse. En caso de una falla a tierra la fuente de voltaje queda directamente conectada a la toma de tierra. El voltaje entre esta toma y la tierra que la rodea es:  $V = R \cdot I$ , donde “V” es el voltaje de falla a tierra, “R” la resistencia del terreno e “I” es la corriente de falla a tierra.

### **5.1.2- Orígenes del Cortocircuito**

Las causas que originan a un cortocircuito son: fallas de aislamiento, errores de operación, ondas de voltaje peligrosas, deficiencias en el mantenimiento, agentes naturales.

**Sobrecargas.** El termino es muy general y puede aplicarse a cualquier variable física. En instalaciones eléctricas se entiende que se trata de corrientes que exceden el valor nominal correspondiente. El origen de las sobrecargas es una demanda de potencia mayor que la nominal, o alguna deficiencia de la instalación.

**Sobredemanda de Potencia.** La demanda de mayor potencia, en el mejor de los casos, sucede bajo el conocimiento del personal de operación. Puede ocurrir por: exceso de unidades alimentadas en una salida, equipos de mayor potencia que la prevista, arranques frecuentes de motores, y en general toda condición que requiera mayor potencia que la de diseño.

### **5.1.3- Inversión de Secuencias de Fase**

Las fases de un sistema trifásico se escogen de manera arbitraria, como A, B, C; sin embargo, una vez ya definida esta secuencia es importante conservarla en toda la instalación, ya que implica que los motores trifásicos giren en cierta dirección. Un cambio en la secuencia de fases, provoca un cambio en el sentido de giro que produce daños importantes en máquinas como: bombas, compresores, elevadores, etc. La secuencia de fases puede cambiarse accidentalmente debido a reparaciones o transposición de las líneas, así que debe instalarse un relevador que detecte el cambio en la secuencia que envíe una señal para evitar el arranque de motores.

### **5.1.4- Características de un Sistema de Protección**

Se describirán las características de una protección eléctrica adecuada que además debe tener la robustez necesaria para soportar cambios de temperatura y vibraciones.

- a) **Confiabilidad:** Es la característica más importante ya que una protección debe ofrecer certidumbre de que operará siempre que se presenten las condiciones anormales para la cual fue diseñada.
- b) **Rapidez:** Operación instantánea es aquella que caracteriza a una protección que no tiene retraso voluntario y operación de tiempo definido que es la que integra cierta variable en el tiempo.

- c) **Selectividad:** Es una característica que se atribuye a un sistema de protección en conjunto. Si se supone un sistema eléctrico de configuración radial, cada rama que parte de la acometida tiene varios elementos de protección; el último es aquel que protege contra una falla en el equipo colocado al final de esa rama.

Una protección selectiva es aquella que, al ocurrir una falla en laguna rama de la instalación, opera para asilar la parte estrictamente necesaria de la rama donde ocurrió, es decir, opera la protección más cercana a la falla (del lado de la alimentación) conocida como protección primaria. Se puede decir que la selectividad es la característica del sistema de protección que hace que en caso de falla opere la protección primaria. Si por alguna razón no funciona dicha protección, debe operar la de respaldo, es decir la que sigue la lado de la alimentación. La función de respaldo se entiende únicamente para los casos de falla de cortocircuito, ya que la sobrecarga de una derivación puede no ser suficiente como para que opere un respaldo.

- d) **Economía:** Un estudio técnico-económico de protecciones debe considerar la inversión necesaria para la instalación y operación del sistema contra el costo de reparación de los posibles daños asociados más el costo de interrupción del servicio.

### **5.1.5 Clasificación de los Sistemas de Protección**

Los sistemas de protección se basan en diferentes diagramas esquemáticos, con un conjunto de relevadores que protegen un conjunto de zonas. Cada zona debe estar protegida por dos juegos de protecciones que deben ser lo más independiente posible, con objeto de cubrir la falta de alguno de los dos juegos. Estas protecciones se denominan:

- Primaria.
- Secundaria o de respaldo.
- De respaldo remoto.
- De respaldo local de interruptor

**Protección Primaria.** Este tipo de protección debe operar con la mayor rapidez posible y en primer lugar. La de respaldo se energiza y arranca al mismo tiempo que la primaria pero al ser más lenta, sólo operará en caso que la primaria no respondiera. La protección primaria se diseña de tal manera que desconecte la mínima porción posible de un sistema, de manera que aisle al elemento que falló, tomando en consideración:

- 1.- Cualquier falla que ocurra dentro de una zona dada deberá disparar todos los interruptores que envían energía a esa zona.
- 2.- Se deben considerar zonas de traslape los puntos de unión de zonas contiguas, que por lo general son interruptores, de tal manera que en caso de producirse una falla en la zona de traslape, se deben disparar todos los interruptores que alimentan las dos zonas.
- 3.- Los transformadores de corriente son los elementos que físicamente delimitan las zonas de protección y se localizan en ambos lados de cada uno de los interruptores.

Un sistema de protección es más seguro en su operación a medida que tenga menos dispositivos y por lo tanto, menos eslabones que ofrezcan posibles puntos de falla. Una protección elaborada permite mayor seguridad de que opere, pero por otro lado presenta mayores posibilidades de falla de uno de los elementos, además de un mayor costo.

***Protección Secundaria o de Respaldo.*** Es la protección que debe operar cuando la protección primaria falla o está fuera de servicio. Opera mediante componentes independientes de las que se utilizan en la protección primaria, de manera que no pueden ser afectadas por las mismas causas que produjeron la falla en esta protección. La protección de respaldo desconecta generalmente una porción mayor del sistema que la primaria.

***Protección de Respaldo Remota.*** Se considera como un tercer grado de protección, es una protección independiente del suministro local de energía y es esencial donde no existen protección de las barras alimentadoras.

***Protección de Respaldo Local de Interruptor.*** Se considera también como un tercer grado de protección. En este caso se protege con un tercer juego de relevadores. Para cada caso de falla de interruptor se debe efectuar un análisis, sobre qué interruptores deben disparar para liberar la falla y cuya orden debe ser proporcionada por la protección de respaldo local.

## **5.2- Análisis de la Corriente de Cortocircuito**

Se puede decir que un cortocircuito es el establecimiento de un flujo de corriente eléctrica muy alta debido a una conexión por un circuito de baja impedancia. El objetivo del estudio de cortocircuito es calcular el máximo de la corriente y su comportamiento durante el tiempo que permanece el cortocircuito. Esto permite determinar el valor de la corriente que debe interrumpirse y conocer el esfuerzo al que son sometidos los equipos durante el tiempo transcurrido desde que se presenta la falla hasta que se interrumpe la circulación de la corriente.

Se dice que una instalación está preparada para soportar cortocircuitos cuando sus elementos cumplen con las siguientes características:

- 1.- El dispositivo de protección debe tener la capacidad para interrumpir la máxima corriente de cortocircuito.
- 2.- Todos los componentes del dispositivo de protección deben tener la capacidad para soportar la corriente de cortocircuito hasta que esta sea totalmente interrumpida. El equipo del sistema de tierras se debe adecuar para limitar el voltaje en condiciones de falla para valores seguros.
- 3.- Cuando la falla involucra tierra, lo que ocurre frecuentemente, el límite de la protección experimenta un elevado potencial el cual incrementa el riesgo del personal ya que puede originar un shock eléctrico. Es importante mantener y adecuar al equipo de tierra para minimizar la exposición a este voltaje y para detectar rápidamente y aislar la falla para reducir la duración de la exposición.

### 5.2.1- Fuentes de Cortocircuito e Impedancias Características

Cuando se hace un estudio para determinar la magnitud de las corrientes de cortocircuito, es importante considerar todas las fuentes que proporcionen dicho daño y al mismo tiempo el conocer las características de sus impedancias. Las fuentes de cortocircuito son:

- a) Generadores.
- b) Motores sincrónicos.
- c) Motores de inducción.
- d) La compañía suministradora.

### 5.2.2- Reactancias en Máquinas Rotatorias

La impedancia de una máquina rotatoria consiste de una reactancia la cual no es solamente un simple valor (como para un transformador o pieza de cable), ésta es compleja y variable con el tiempo. Existen tres valores de reactancias las cuales son asignadas a las máquinas rotatorias (motores y generadores) para poder obtener la corriente de cortocircuito en específicos tiempos. Estos valores son llamados como: reactancia subtransitoria, reactancia transitoria y reactancia sincronía. Estas son descritas a continuación.

- a) Reactancia subtransitoria ( $X''_d$ ): Es la reactancia aparente del devanado del estator al momento de ocurrir un cortocircuito y determina la corriente que fluye durante los primeros ciclos después del cortocircuito. Este valor sube rápidamente.
- b) Reactancia transitoria ( $X'_d$ ): Determina la corriente durante el periodo siguiente es decir, cuando la reactancia subtransitoria se encuentra en un valor controlado. Esta reactancia es efectiva sobre 0.5 segundos o mayor, dependiendo del diseño de la máquina.
- c) Reactancia sincronía ( $X_d$ ): Es la reactancia que determina el flujo de corriente cuando la condición de estado permanente es alcanzada. Debido a que los dispositivos que abren los circuitos actúan antes de que la falla llegue a condiciones permanentes, la reactancia de las máquinas rotatorias correspondiente a ese estado: reactancia sincronía no se utiliza en el cálculo de la corriente que debe interrumpirse. La contribución de los generadores de la compañía suministradora a la corriente de falla se considera constante. La carga adicional que suministran por causa de la falla es un porcentaje muy pequeño de su carga nominal por lo que no se puede hablar de una impedancia variable.

Se pueden utilizar los valores típicos de reactancias proporcionados en la **tabla 5.1**, la resistencia de este tipo de equipos es pequeña comparada con el de la reactancia, sin embargo no debe despreciarse, ya que su presencia limita su corriente de falla. En las **figuras 5.1.a, 5.1.b** aparecen los rangos del valor que puede adquirir la relación  $X/R$  de estos equipos. Para los motores asíncronos o de inducción (jaula de ardilla) se puede obtener un valor más preciso de la reactancia subtransitoria sustituyendo la corriente de arranque (dato de placa) en la relación:

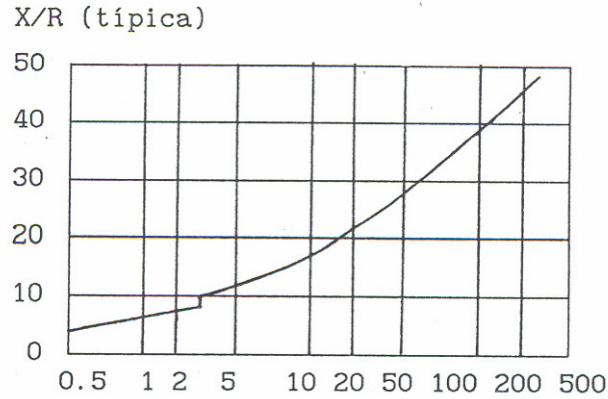


Figura 5.1.a Relación X/R Típica para Transformadores Autoenfriados

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

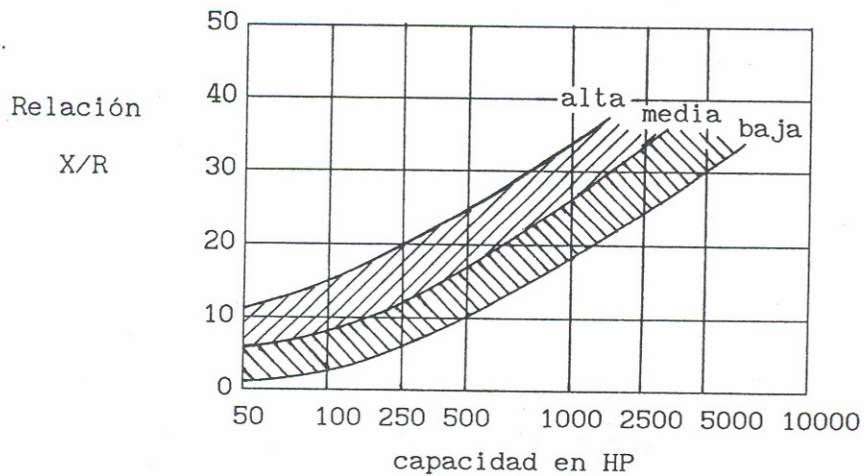


Figura 5.1.b Rango de la Relación X/R para Motores de Inducción Trifásicos

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

$$X'' = \frac{I_n}{I_a} \text{ en [p.u]}$$

Donde:

$I_a$  = Corriente de arranque (de 5 a 6 veces la nominal)

$I_n$  = Corriente nominal del motor.

La **tabla 5.2** muestra los factores que deben usarse para modificar las reactancias o impedancias de las máquinas rotatorias, dependiendo del instante del cortocircuito en que se quiera conocer la corriente.



En esta tabla se deprecian los motores de meno de 50 [HP] por que está hecha para utilizarse cuando se quieren determinar capacidades de interruptores de alta tensión; sin embrago debido a que también se requieren los valores de corriente de cortocircuito para especificar los de baja tensión ANSI/IEEE 141-1986 recomienda que para el cálculo de las capacidades del primer ciclo de la falla en baja y lata tensión se utilice el siguiente procedimiento:

- Incluir las impedancias de los motores de menos de 50 [HP] ya sea utilizando un multiplicador de 1.67 para las impedancias subtransitorias especificadas por el fabricante o considerando una impedancia en [p.u] para el primer ciclo de la corriente de cortocircuito de 0.28 sobre la capacidad de cada motor o del grupo de motores, de acuerdo con la **tabla 5.3**.
- Incluir las impedancias de los motores más grandes utilizando los factores de la **tabla 5.2**. Una manera de estimar la impedancia en [p.u] de este grupo es considerando para el primer ciclo de la falla, un valor de 0.20 sobre la capacidad del grupo de motores (referidas a la base de potencia del sistema).

### 5.2.3- Elementos de Impedancia o Reactancia Constante

Todos los elementos restantes son considerados pasivos es decir, tienen una impedancia o reactancia constante que limita el valor de la corriente de cortocircuito. Los valores de reactancias de transformadores comúnmente son expresados en un valor porcentual (% $X_T$  o % $Z_T$ ) sobre el valor de la potencia en [KVA] del transformador y dichos valores deben ser dados por el fabricante, en la **figura 5.1.a** puede obtenerse la relación X/R. Los transformadores y cables siempre deben considerarse en el cálculo de la corriente de cortocircuito.

**Red de Alimentación.** Por lo general la compañía suministradora proporciona al usuario la potencia simétrica de cortocircuito [KVAcc]. Su reactancia equivalente en ohms está dado por las siguientes expresiones:

$$X = \frac{KVA_{(base)}}{KVAcc} \text{ [p.u] ;} \quad \text{o por} \quad X = \frac{V}{\sqrt{3} * I_{cc}} \text{ [ohms]}$$

**Otros Circuitos.** Existen otros componentes con sus impedancias características tales como interruptores, transformadores de corriente, conductores, los cuales son usualmente despreciados al elaborar el cálculo de la corriente de cortocircuito. El resultado generalmente no es afectado debido a que los efectos de las impedancias son pequeños.

### 5.2.4- Reactancia en Conductores

Se puede considerar que la inductancia es la suma de dos términos llamados: inductancia propia correspondiente a los efectos por la circulación de la corriente en el elemento e inductancia mutua o externa debida a trayectorias de corriente en elementos cercanos. La inductancia propia depende del radio medio geométrico (RMG) del conductor. (**Tabla 5.4**).

Si consideramos un alimentador trifásico de un sistema ABC, cuyas distancias entre conductores son AB, BC, y CA, existe una distancia llamada media geométrica (DMG) que se calcula con la relación:

$$DMG = \sqrt[3]{AB * BC * CA}$$

Con la ayuda de la DMG y del RMG se calcula la inductancia media del sistema en [henrys por Km.]:

$$L = 2 \times 10^{-4} * \ln \frac{DMG}{RMG}$$

Esta relación sirve para el cálculo de la inductancia de los cables. Si la frecuencia del sistema es “f” la reactancia inductiva en [ohms] se puede calcular con la relación:

$X_L = 2 * \pi * f * L$  ; la reactancia inductiva en [ohms/Km.] se obtiene con la siguiente expresión, tomando una frecuencia de 60 [Hz].

$$X_L = 0.0028 * f * \log \frac{DMG}{RMG}$$

La inductancia así calculada resulta en un valor promedio de [ohms/Km] y puede diferir de una fase a otra. Por esta razón para igualar las reactancias en las fases, se realizan transposiciones de las líneas cada 1/3 del recorrido. En caso de que existan varios conductores iguales por fase , el RMG del grupo de una fase se calcula con la expresión:

$$RMGeq = \sqrt[n]{n * r * R^{n-1}}$$

Donde:

RMGeq = Radio medio geométrico equivalente por fase.

r = Radio medio geométrico de un conductor.

n = Número de conductores por fase.

R = Radio del círculo formado por el polígono regular en cuyos vértices están colocados los conductores.

### 5.2.5- Sistema en por Unidad

Los cálculos de la corriente de cortocircuito pueden ser hechos con impedancias representadas en por unidad, por ciento, o en [ohms]. Todas proporcionan resultados idénticos. Debido a que normalmente las instalaciones tienen varios niveles de voltaje resulta complicado trabajar con valores de reactancia en [ohms]. Por esta razón se definen valores base para voltajes y potencias y todos los valores anotados en los diagramas de reactancias están expresados en por unidad [p.u]. Para los cálculos de cortocircuito en edificios comerciales, los métodos en por unidad y en por ciento son equivalentes y ambos tienen las mismas ventajas.

Se empieza escogiendo una potencia base que puede ser la del equipo más grande del sistema o cualquier valor redondeado por conveniencia. Por lo que respecta a las bases de voltaje, existen tantas como niveles de voltaje haya en la instalación; normalmente se utilizan los voltajes nominales entre fases. Debido a la relación de transformación, en ambos lados del transformador cambian las bases de voltaje, de corriente y de impedancias, pero no la base de potencia. La impedancia en por unidad se puede obtener con las siguientes expresiones:

$$Z_{pu} = \frac{\%Z}{100} \quad ; \quad \text{o por la expresión} \quad Z_{pu} = \frac{Z(\text{ohms}) * \text{KVA (base)}}{1000 * [\text{KV (base)}]^2}$$

$$Z_2 = Z_1 \frac{\text{KVA}_{\text{BASE 2}}}{\text{KVA}_{\text{BASE 1}}} * \left[ \frac{\text{KV}_{\text{BASE 1}}}{\text{KV}_{\text{BASE 2}}} \right]^2$$

Donde:

$Z_2$  = Impedancia en pu utilizando la base en [KVA] deseada.

$Z_1$  = Impedancia en pu utilizando como base la potencia marcada sobre el equipo.

$\text{KVA}_{\text{BASE 2}}$  = Base de potencia escogida para el cálculo a la cual se desea referir la cantidad  $Z_2$ .

$\text{KVA}_{\text{BASE 1}}$  = Base de potencia a la cual está referida la cantidad  $Z_1$ .

$\text{KV}_{\text{BASE 1}}$  = Base de voltaje en función de la cual está expresada la impedancia  $Z_1$ .

$\text{KV}_{\text{BASE 2}}$  = Base de voltaje en función de la cual se desea referir la nueva impedancia  $Z_2$ .

En las relaciones anteriores  $Z$  puede ser sustituida por  $X$  si se desprecia la resistencia. Una vez calculados todos los valores de reactancias en por unidad [p.u] se colocan sobre un diagrama de para facilitar el cálculo de la reactancia equivalente.

### 5.2.6- Corrientes Simétricas y Asimétricas

La corriente asimétrica es analizada en términos de dos componentes, una corriente simétrica y una componente de dc. La corriente simétrica y asimétrica describen la forma de las ondas de corriente alterna, alrededor de un eje cero. Si las envolventes de los picos de las ondas de corriente son simétricas alrededor del eje cero, estas son llamadas “envolventes de corrientes simétricas”. (**ver figura 5.2**). Si las envolventes no son simétricas respecto al eje cero son llamadas “envolventes de corrientes asimétricas”. (**ver figura 5.3**).

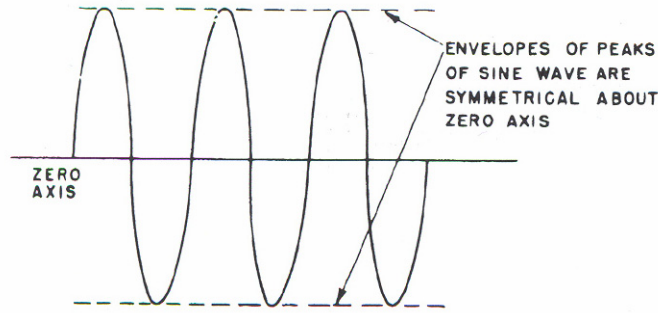


Figura 5.2 Forma de Onda en (c.a) Simétrica

Referencia: Power Systems Engineering Comité, IEEE recommended practice for electric power systems in commercial buildings.

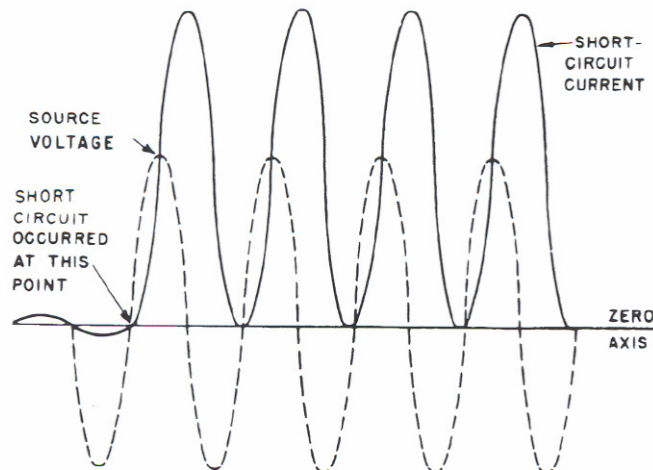


Figura 5.3 Corriente Asimétrica y Voltaje en un Circuito con Factor de Potencia Cero

Referencia: Power Systems Engineering Comité, IEEE recommended practice for electric power systems in commercial buildings.

La envolvente es una línea dibujada a través de los picos de las ondas. La magnitud de la componente de dc de una corriente asimétrica en cualquier instante es el valor de desplazamiento entre el eje de simetría de la corriente asimétrica y el eje cero. (**ver figura 5.4**). Esta componente de corriente directa es transitoria y se considera que decae exponencialmente de acuerdo con una constante de tiempo, que depende de la relación X/R de todo el sistema. En la práctica es frecuente utilizar un factor de 1.6 veces el valor de la corriente simétrica de la componente fundamental para comparar con la capacidad asimétrica total que pueden soportar los equipos y elementos de la instalación.

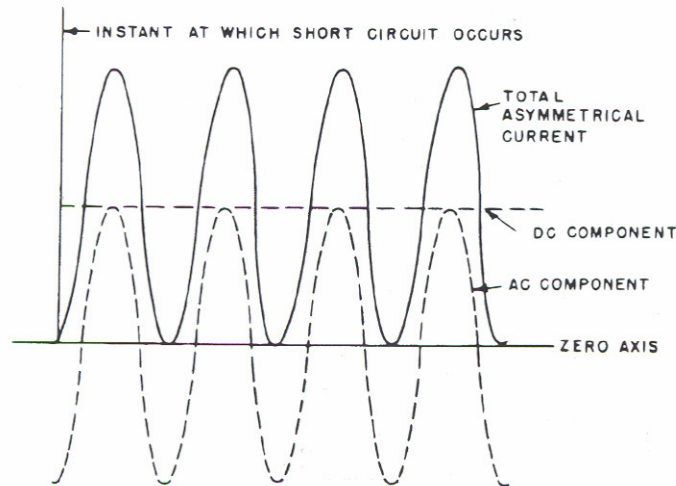


Figura 5.4 Componentes de la Corriente de la Figura 5.3

Referencia: Power Systems Engineering Comité, IEEE recommended practice for electric power systems in commercial buildings.

La mayoría de las corrientes de cortocircuito son casi siempre asimétricas durante los primeros ciclos después de la ocurrencia de la falla, la corriente asimétrica está en su máximo durante el primer ciclo después del cortocircuito y en unos ciclos después se transforma en simétrica. Cuando ocurre un cortocircuito, resulta una corriente con una forma de onda senoidal. El factor de potencia de un circuito de corriente está determinado por las resistencias y reactancia que se encuentren en serie en el circuito antes de la falla y se incluyen todas las fuentes generadoras de corrientes de cortocircuito. El factor de potencia se determina por la fórmula:

$$\text{Factor de potencia} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

La relación de la resistencia con la reactancia de un circuito es a veces expresada en términos de la relación X/R del circuito. Dicha relación varía dependiendo del tipo de red que se tenga. En sistemas de más de 600 volts se puede encontrar que la relación X/R es de 5:1 hasta 50:1; en cambio para baja tensión la cual es nuestro caso, esta relación disminuye hasta el grado de que en el cálculo de la sección de los conductores circuitos derivados podría despreciarse la reactancia; por lo tanto resulta recomendable tener un diagrama de reactancias y otro de resistencias para conocer la relación X/R y utilizarla de acuerdo con lo especificado en ANSI/IEEE 141-1986.

Sí un cortocircuito ocurre en el pico de la onda de voltaje en un circuito el cual sólo contenga reactancias, la corriente de cortocircuito iniciará en el punto cero y trazará una onda senoidal, la cual será simétrica alrededor del eje cero. ( ver figura 5.5).

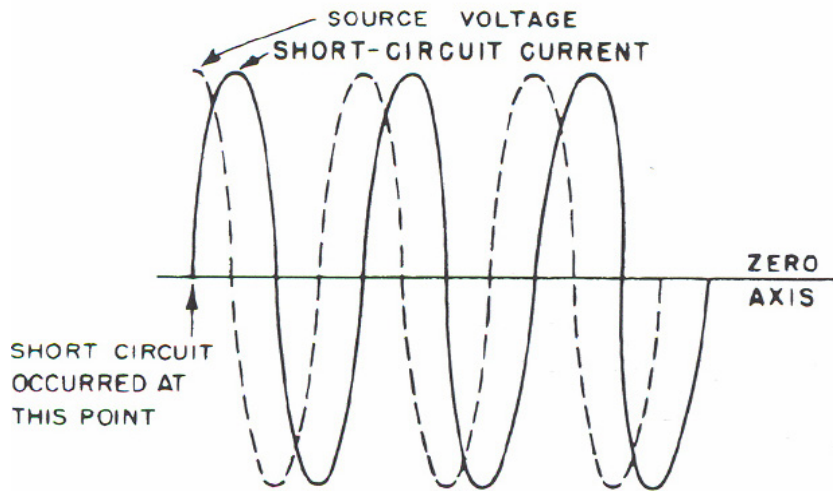


Figura 5.5 Corriente Simétrica en un Circuito con Factor de Potencia Cero

Referencia: Power Systems Engineering Comité, for electric power systems.

Si un cortocircuito ocurre en el punto cero de la onda de voltaje, la corriente iniciará en cero; pero esta no marcará una onda senoidal simétrica alrededor del eje cero debido a que la corriente estará atrasada respecto al voltaje  $90^\circ$ , esto únicamente puede suceder si la corriente es desplazada desde el eje cero como se muestra en la **figura 5.3**.

Para producir un máximo asimétrico, cuando un circuito contiene resistencias el cortocircuito siempre debe de ocurrir en el punto cero de la onda de voltaje ; sin embargo el punto en la onda de voltaje en el cual el cortocircuito debe ocurrir una onda de cortocircuito simétrica depende del valor de la relación de la reactancia y la resistencia  $X/R$ , el punto actual en la onda de voltaje en el cual un cortocircuito debe ser iniciado para producir una corriente simétrica es el ángulo cuya tangente es igual al valor de la relación  $X/R$  de el circuito.

### 5.2.7- Tipos de Fallas

Las fallas pueden ocurrir en un sistema trifásico en distintas formas. El dispositivo de protección, debe tener la capacidad de interrumpir o de soportar cualquier tipo de falla que se pueda presentar.

**Falla Trifásica.** Describe la condición en que los tres conductores, es decir, las tres fases, se unen físicamente con un valor de cero impedancia entre ellas, como si se soldaran. Aún cuando este tipo de condiciones de falla no es el más frecuente en ocurrencia, resulta, por lo general el de mayor valor y por esta razón resulta su cálculo de suma importancia y básico.

**Falla entre dos Fases.** En la mayoría de los sistemas trifásicos, los niveles de falla de fase a fase son de aproximadamente el 87% de la corriente de falla trifásica, debido a esto, el cálculo de esta falla, no siempre se requiere ya que no representa el valor máximo.

**Falla de Fase a Tierra Sólida.** En sistemas con el neutro conectado solidamente a tierra como lo es nuestro caso, la falla de fase a tierra es por lo general ligeramente menor a la falla trifásica, excepto cuando se conectan los neutros a tierra a través de un valor elevado de impedancia. El cálculo de la falla de fase a tierra, es necesario en las instalaciones comerciales o industriales que tienen el neutro solidamente aterrizado en el lado de baja tensión.

En nuestro estudio solamente se considerarán las fallas trifásicas equilibradas, lo cual elimina la necesidad de usar la teoría de las **componentes simétricas**, la cual es explicada en el **apéndice A.6.**, si la falla no fuera en un sistema balanceado. La justificación para considerar solo fallas trifásicas balanceadas está en el hecho de que las corrientes de las fallas entre líneas nunca son mayores que las trifásicas (aproximadamente 87%). Por otra parte las fallas monofásicas sólo en muy raras ocasiones son mayores que las trifásicas (máximo 125%), además los interruptores trifásicos soportan mejor una falla monofásica o bifásica debido a que los esfuerzos mecánicos son menores cuando ocurren en una o dos fases.

### 5.2.8- Métodos para el Cálculo de la Corriente de Cortocircuito

El cálculo de un valor preciso de una corriente asimétrica en un tiempo dado después de la ocurrencia de una falla es complicado; aunque actualmente se han desarrollado métodos simplificados para poder obtener fácilmente las corrientes de cortocircuito, uno de ellos es el descrito a continuación.

El voltaje durante una falla de cortocircuito puede considerarse igual al voltaje que existía en un instante antes de la falla. Entonces de la aplicación del teorema de Thevenin: la corriente de cortocircuito en un punto es igual al cociente del voltaje –que había en ese punto antes de ocurrir la falla -, entre la impedancia equivalente del sistema visto desde el punto de análisis (incluyendo la impedancia de las fuentes), con todas las otras fuentes de voltaje iguales a cero, es decir, la corriente de falla en un instante se obtiene con la ley de ohm.

$$I_{CC} = \frac{V}{Z_{eq}}$$

Entonces la dificultad consiste en encontrar la impedancia equivalente en los diferentes instantes de la falla. Una vez determinada las impedancias en cada instante, pueden utilizarse métodos analíticos para reducir el circuito a una sola fuente de voltaje con una impedancia equivalente. El valor de la impedancia equivalente depende del valor de cortocircuito que tenga tanto los dispositivos como el equipo de protección.

**Impedancia Equivalente.** Se conoce así a la impedancia o reactancia que existe entre un punto de una instalación y la red suministradora. Este valor se tiene que calcular para cada uno de los instantes del cortocircuito y para cada punto donde se quiere analizar el efecto de una falla.

Para “n” impedancias en serie:

$$Z_{eq_n} = \sum_{i=1}^n Z_i ; \quad \text{si } n=2 \quad Z_{eq} = Z_1 + Z_2$$

Para “n” impedancias en paralelo:

$$\frac{1}{Z_{eq_n}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_i} ; \quad \text{si } n=2 \quad Z_{eq} = \frac{Z_1 * Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

### 5.2.8.1- Clases de Métodos

Los métodos de cálculo de cortocircuito, se puede decir que son generales y aplicables a cualquier sistema eléctrico, pero en el caso de instalaciones eléctricas del tipo comercial se deben hacer algunas consideraciones, debido a que se tienen cargas en media y baja tensión, por ejemplo la resistencia que es despreciable en los sistemas eléctricos en alta tensión, en estos sistemas no lo son. Para el cálculo del cortocircuito en instalaciones eléctricas dentro de Centros Comerciales se utiliza el método conocido como E/X, denominado de esta manera debido a que se desprecia el valor de la resistencia, en las componentes de alta tensión (líneas de transmisión, transformadores) en donde el valor de la reactancia predomina sobre el de la resistencia.

En las instalaciones en baja tensión, esta consideración no siempre es válida y entonces la reactancia se reemplaza por la impedancia (Z), el efecto de no incorporar el valor de (R) (resistencia) en el cálculo de la corriente de cortocircuito mediante un cociente E/X, se puede dar a partir de factores cuyos valores dependen de la relación X/R del sistema y de la velocidad de operación del interruptor. Para calcular el valor de la relación X/R para una falla en un punto determinado, existen dos métodos, aunque el más utilizado y fácil de manejar es el primero.

a) El primer método involucra la reducción de la red para encontrar un equivalente de Thevenin para reactancias y resistencias. El procedimiento consiste en construir el diagrama de reactancias de la red despreciando las resistencias con valores bajos en comparación con las reactancias, entonces se reduce la red hasta encontrar una reactancia equivalente de Thevenin que se conecta entre la fuente y el punto de falla. Posteriormente se construye la red en forma similar a la anterior, pero solo ahora con resistencias (despreciando las reactancias) entonces se reduce esta red hasta encontrar el equivalente de Thevenin para resistencias de la fuente al punto de falla. La relación X/R para una falla en un punto dado, es la relación entre los equivalentes de Thevenin para las redes de reactancia y de resistencia.

b) El segundo método se basa en la formación de la matriz  $Z_{BUS}$



### 5.3- Metodología para el Cálculo de la Corriente de Cortocircuito

Para realizar un correcto cálculo de la corriente de cortocircuito se recomienda seguir el siguiente procedimiento, evitando con ello, omitir algún dato o leer erróneamente algún valor de las tablas o gráficas utilizadas.

#### 5.3.1- Procedimiento Paso a Paso

Los siguientes pasos muestran las consideraciones básicas para realizar los cálculos de la corriente de cortocircuito, en los sistemas más sencillos, algunos pasos pueden ser combinados; por ejemplo, un diagrama unifilar y un diagrama de impedancias se pueden combinar.

1.- Realizar un diagrama unifilar, el cual es fundamental para el análisis de cortocircuito, este debe incluir la siguiente información de todos los equipos que intervengan.

a) Los [KVA] de cortocircuito o la reactancia equivalente del sistema eléctrico o red de alimentación a la instalación

b) La potencia en [HP] ó [KW] de todos los motores y su reactancia subtransitoria ( $x''_d$ ) que intervengan en el estudio.

c) El valor nominal de la potencia en [KVA], las relaciones de transformación y las impedancias de los transformadores de la instalación.

d) En el caso de que exista generación local, los [KVA] nominales del generador y el valor de su reactancia subtransitoria ( $x''_d$ ).

e) El valor de la reactancia y resistencia de los cables de potencia.

f) Localización de los puntos de falla para el estudio del sistema.

g) Valores de reactancias o impedancias típicas, de los elementos de una instalación, es decir, todos los elementos que intervienen en la red se deben convertir a reactancias equivalentes en por unidad, referidas a una base común.

Los valores típicos que se sugiere utilizar en los cálculos de cortocircuito son aproximados y se permite bajo ciertas condiciones, que se agrupen elementos y se utilice una impedancia equivalente para todo el grupo.

2.- Ubicar el punto de la falla y determinar el tipo de cálculos requeridos para el cortocircuito, basado en el tipo de equipo que es utilizado. Considerar las condiciones de operación del sistema que son requeridas para mostrar los daños más severos.

3.- Prepara el diagrama de impedancias . Para sistemas de arriba de 600 volts, dos diagramas son usualmente requeridos para calcular la capacidad de interrupción de los interruptores. Determinar las reactancias de las máquinas para ser usadas en el diagrama de impedancias. Seleccionar las bases tanto de voltaje [v] como de potencia [KVA] cuando se utilice un sistema en por unidad.

Una aproximación realista involucra una combinación tanto de máquinas síncronas y de inducción.

4.- Para designar las condiciones del sistema, resolver la red de impedancia y calcular las corrientes simétricas requeridas. Los daños más severos se presentan cuando la mayoría de las máquinas están en operación y todas las interconexiones cerradas.

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito se utilizan las expresiones del análisis de circuitos eléctricos, que son las mismas para los diferentes diagramas de impedancias y que corresponden a los diferentes instantes de análisis; en el primer ciclo (subtransitorio), en el instante en el que se lleva a cabo la interrupción (transitorio), o en cualquier otro momento en el cual actúen los relevadores de protección con retardo.

La potencia de cortocircuito se calcula de la siguiente manera:

$$KV_{Acc} = \frac{KVA_{(base)}}{Z_{eq_{pu}}}$$

La corriente de falla (para sistemas trifásicos) puede ser calculada con la siguiente fórmula:

$$I_{cc} = \frac{KV_{Acc}}{\sqrt{3} * KV_{(base)}}$$

Si se consideramos que la corriente se puede calcular en [p.u] y tomando el voltaje en [p.u] igual a 1, el valor de la corriente será:

$$I_{cc_{pu}} = \frac{1}{Z_{eq_{pu}}} ; \text{ y definiendo } I_{cc} = I_{cc_{pu}} * I_{(base)}$$

Donde:

$$I_{(base)} = \frac{KVA_{(base)}}{\sqrt{3} * KV_{(base)}}$$

se llega a la expresión:

$$I_{cc} = \frac{KVA_{(base)}}{Z_{eq_{pu}} \sqrt{3} * KV_{(base)}}$$

Sí se trabaja con impedancias complejas (con magnitud y ángulo) los cálculos son mucho más complicados y el valor de la corriente resulta también compleja, con cierto desfase respecto al voltaje, por lo general muy cerca de 90° grados. Si únicamente se considera la reactancia y el voltaje igual a 1pu, resulta:

$$I_{cc} = \frac{1}{jX_{eq_{pu}}}$$

5.- Si la instalación tiene una acometida en baja tensión (440 y 220 volts) no se justifica el cálculo de la corriente de cortocircuito debido a los siguientes factores:

- La presencia de elementos cuya resistencia es alta hace que el nivel de cortocircuito sea relativamente bajo.
- Los aparatos y equipos normalizados están diseñados para las corrientes que puedan ocurrir en este tipo de instalaciones.
- Es complicado calcular el nivel de cortocircuito, sobre todo por que la compañía que distribuye la energía no puede conocer fácilmente la información relativa a la potencia de cortocircuito para los diferentes puntos de su red de baja tensión.

## 5.4- Equipo de Protección

Un dispositivo de protección en su sentido más amplio es aquel que al presentarse una falla abre el circuito. Para lograr esto se requiere desempeñar tres funciones: detectar la falla, aislarla del sistema y ejecutar la interrupción. Un paso de suma importancia es la de realizar una buena calibración del equipo. Si un elemento de protección está calibrado a un valor demasiado sensible, los transitorios pueden ocasionar una señal de disparo que provoque interrupciones en el servicio. Por otra parte, un elemento de protección mal calibrado o que se descalibra es como si no existiera. No debe modificarse la calibración de un elemento de protección que se dispara con frecuencia, tampoco es recomendable sustituir un elemento de protección por otro de mayor capacidad ya que representaría tanto como eliminar la protección contra sobrecargas.

### 5.4.1- Fusibles

Son el elemento de protección más utilizado en las instalaciones eléctricas. La capacidad interruptiva, definida como el producto de la corriente de cortocircuito por el voltaje que aparece en las terminales después de que el fusible abrió el circuito, depende de la separación de las terminales que rodean al elemento. La expresión para obtener la capacidad interruptiva de un fusible es la siguiente:

$$I_{cc} = \frac{KVA_{(base)}}{Z_{eq_{pu}} * \sqrt{3} * KV_{(base)}}$$

Según el diseño y las normas de fabricación cada fusible tiene una curva de operación como la de la **figura 5.6**. El fusible se utiliza más comúnmente como medio de protección contra cortocircuito que contra sobrecarga, sin embargo existen los llamados “fusibles limitadores de corriente” que también protegen contra sobrecargas.

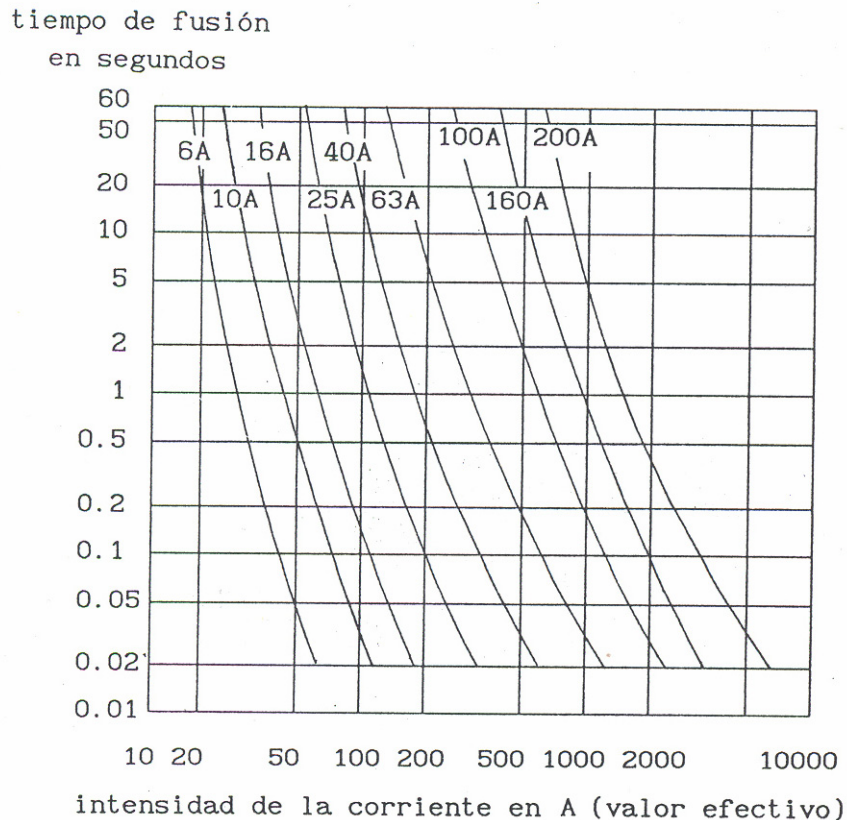


Figura 5.6 Curvas Características de Operación de Fusibles

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

**Fusibles Limitadores de Corriente.** Un fusible limitador de corriente, es aquel que opera en el valor límite de su rango y limita el pico instantáneo de corriente a un valor mucho menor que el de la corriente de cortocircuito. El propósito fundamental de los fusibles limitadores de corriente es limitar el pico de corriente a un valor tan bajo como sea posible para con ello eliminarlo rápidamente y con esto limitar los daños al circuito y componentes que el fusible este protegiendo.

Los fusible limitadores de corriente limitan tanto la corriente de falla y el tiempo de duración de la misma. Los fusibles que tienen capacidades interruptivas simétricas rms de 1000,000 a 200,000 [A] proporcionan una adecuada protección tanto contra sobrecargas como contra cortocircuitos, además proporcionan un incremento de la capacidad interruptiva para el manejo de un crecimiento futuro del sistema.

## 5.4.2- Interruptores

El cálculo de los factores multiplicadores dependientes de la relación X/R, se hace para obtener el factor de asimetría de la corriente de corto circuito, aplicable al cálculo de las capacidades interruptivas de los interruptores. Estos factores varían según sean elementos de interrupción en alta tensión o baja tensión.

La corriente obtenida de cortocircuito es la simétrica que puede compararse con la capacidad especificada como simétrica [rms] en los interruptores de baja tensión. Para obtener la corriente total asimétrica de interruptores de alta tensión se utiliza el factor de 1.6. Para calcular la corriente que se compara con la capacidad interruptiva de los interruptores de alta tensión (arriba de 1[KV]) se deben considerar las reactancias de la columna correspondientes en las **tablas 5.5 y 5.3**, para preparar el diagrama de impedancia equivalente (reactancias). También debe hacerse el diagrama de resistencias equivalentes utilizando los mismos factores de la **tabla 5.2**, así se determina la relación X/R y con ella se obtiene los factores que deben multiplicar a la corriente obtenida al dividir el voltaje en [p.u] entre la impedancia equivalente; el resultado es la corriente RMS total para compararse con la capacidad interruptiva de los interruptores de alta tensión.

Los factores que multiplican a  $V_{pu}/Z_{eq_{pu}}$  se determinan dependiendo del tiempo mínimo en que empiezan a abrir los contactos del interruptor en la **tabla 5.5** y a la cercanía o lejanía que tengan del generador que suministra la carga.

Tiempo Nominal de Interrupción en Ciclos para 60 [Hz]	Tiempo Mínimo de Inicio de Apertura de los Contactos en Ciclos para 60 [Hz]
8	4
5	3
3	2
2	1.5

Tabla 5.5 Tiempo Mínimo de Inicio de Apertura de los Contactos de un Interruptor de Alta Tensión (tabla 26 de ANSI/NEMA 141-1986)

En la **figura 5.7** se muestran los multiplicadores que corrigen el resultado para poderlo comparar con la capacidad interruptiva nominal de corriente simétrica especificada en los interruptores fabricados después de 1964. Si el factor de multiplicación es de 1.0 la comparación se hace directamente, pero si el factor encontrado es mayor a 1, la comparación debe hacerse con la capacidad interruptiva máxima de corriente simétrica del interruptor que se calcula así:

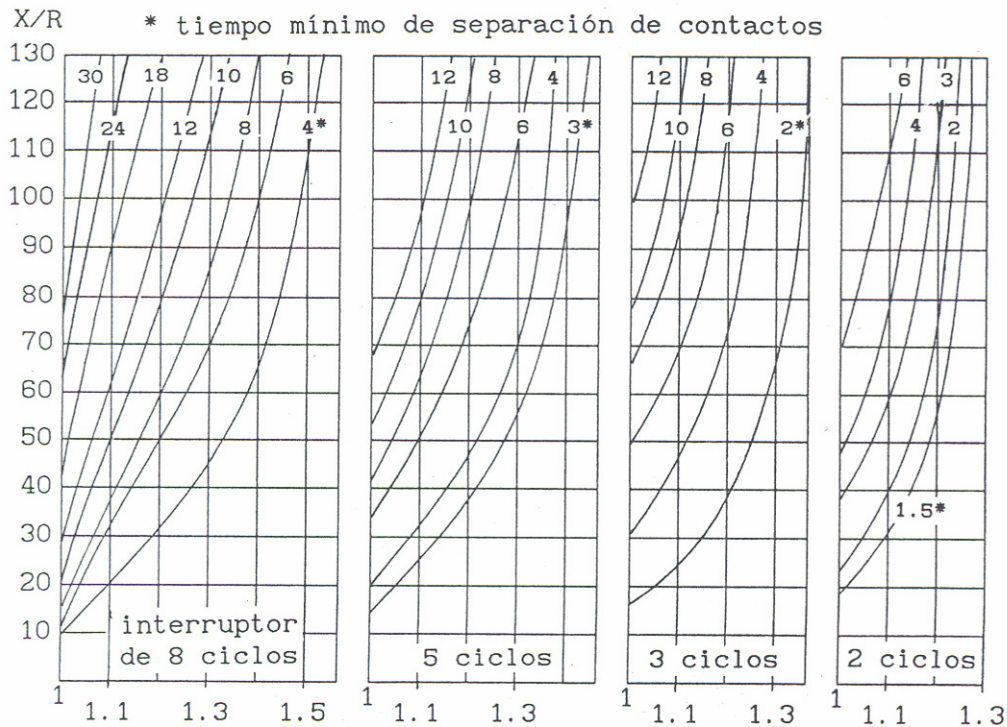


Figura 5.7 Factores de Multiplicación para Fallas Trifásicas o Fase a Tierra Alimentadas por Generadores Remotos para Obtener la Capacidad Interruptiva Total

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

$$\text{Capacidad interruptiva máxima} = \frac{\text{Capacidad interruptiva nominal} * \text{Voltaje máximo}}{\text{Voltaje de operación}}$$

**Interruptores Termomagnéticos.** Se utiliza con mucha frecuencia debido a que es un dispositivo de construcción compacta que puede realizar funciones de conexión o desconexión, protección contra cortocircuito y contra sobrecargas en baja tensión (hasta 600 volts).

Como se explico anteriormente la capacidad interruptiva que puede soportar está determinada y limitada por:

- La separación de los contactos en posición abierta.
- El tiempo que tardan en abrirse los contactos y llegar a la separación máxima, este lapso a su vez depende de la fricción y de la energía que se almacena.

La **tabla 5.8** muestra la relación entre el tiempo de interrupción y el tiempo de separación de los contactos.

Tiempo de Interrupción	Tiempo de separación entre contactos
2 ciclos	1.5 ciclos
3 ciclos	2 ciclos
5 ciclos	3 ciclos
8 ciclos	4 ciclos

Tabla 5.8 Relación entre el Tiempo de Interrupción y el de Separación de los Contactos

Si la capacidad de cortocircuito se especifica en amperes se entiende que el voltaje de restablecimiento es el voltaje nominal. El interruptor termomagnético no se utiliza como protección de sobrecarga de motores de inducción jaula de ardilla debido a que la constante térmica de su elemento es relativamente pequeña y puede dispararse con la corriente de arranque de un motor; además la calibración de los interruptores no cubre toda la escala de corrientes de los diferentes tamaños de motores.

#### 5.4.3- Relevadores

Es un dispositivo que identifica condiciones anormales de operación; se ajusta para operar bajo condiciones de falla, abriendo o cerrando contactos propios o auxiliares para desconectar de manera automática y rápida los interruptores asociados al equipo que está en falla.

**Relevadores Térmicos.** La aplicación más importante es como sensores de sobrecarga en motores –sobre todo de inducción tipo jaula de ardilla- ya que están sujetos al mismo régimen térmico de los conductores del devanado del motor; entonces operan cuando una corriente superior a la de calibración permanece por varios minutos, pero permiten que fluya la corriente de arranque (5 o 6 veces la nominal) sin enviar la señal de disparo y al mismo tiempo arranques y paros frecuentes en intervalos muy cortos si provocan el disparo.

**Relevadores Electromagnéticos.** Son elementos sensores, dentro de los más importantes se encuentran: de corriente máxima, de protección diferencial, de voltaje, de secuencia de fase, instantáneos y de tiempo. Existen algunos otros que se utilizan en líneas de transmisión y que para nuestro estudio no son de interés, tales como los de distancia, de impedancia y direccionales.

**Relevador de corriente máxima (sobrecorriente):** Es uno de los más utilizados para protección contra sobrecarga, este dispositivo se conoce como de protección 50/51. La curva característica de operación muestra los valores de corriente y tiempo en los cuales puede o no actuar el relevador. Es muy importante mencionar que estos relevadores son utilizados en sistemas radiales.

Normalmente se tiene la posibilidad de utilizar diferentes curvas paralelas entre sí, como las que aparecen en la **figura 5.8**. A este rango de curvas se le conoce como dial (Tap). El relevador se interconecta al sistema a través de un transformador de corriente (TC) que debe ser compatible con los valores nominales de corriente y tensión y con los rangos de protección, tanto en la magnitud como con el ángulo de desfaseamiento. Para diseñar un sistema de protección máxima 50/51 se recomienda seguir los siguientes pasos:

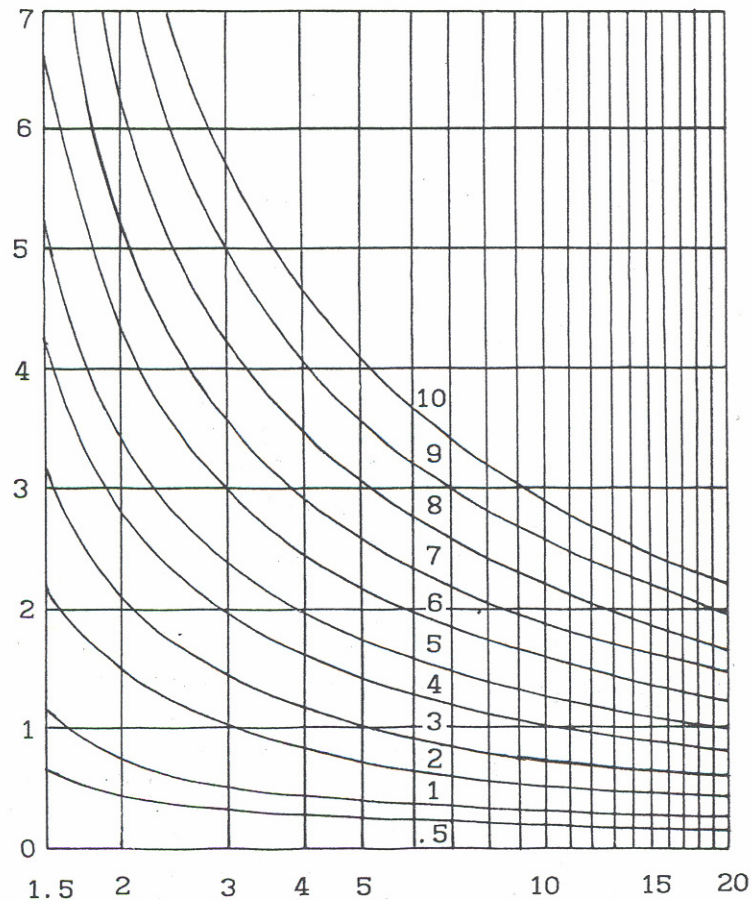


Figura 5.8 Curvas Características de Tiempo Inverso de Disparo de un Relevador

1.- Definir el valor de corriente en el que operará el relevador, para esto es necesario realizar el siguiente cálculo:

$50\text{fase} = I_{cc} / KTC$  ; la corriente de cortocircuito  $I_{cc}$  se obtiene con las fórmulas mencionadas en el apartado anterior.

2.- Determinar cuántos y cuáles aparatos utilizarán el mismo transformador de corriente que el relevador y calcular la potencia total y el burden.

$$S_{\text{total}} = \sum_1^n S_i + S \quad [\text{VA}]$$



Donde:

$$S = I_{TC}^2 * R$$

$I_{TC}^2$  = Corriente en el secundario del transformador de corriente, considerada como 5 [A].

Si = Potencia de los dispositivos conectados al TC.

R dependerá de factores como la resistencia del conductor, distancia a la cual está el TC de los otros dispositivos, etc.

Voltaje (V)	Burden V / 100	S [VA]
C - 50	0.5	12.5
C - 100	1	25
C- 200	2	50
C- 400	4	100
C- 800	8	200

Para ejemplificar como se obtiene los valores del burden para algunos relevadores se proporciona el siguiente ejemplo: para un C- 50, en donde 50 es el valor del voltaje manejado por el relevador y el cual siempre será conocido. Con esta premisa se procede de la siguiente forma:

$I = 20 * 5 = 100$  [A] ; dicha corriente es considerada constante para determinar los demás valores, en donde 20 se toma como un factor de seguridad para la corriente de cortocircuito máxima del TC y el valor de 5 son los cinco amperes del secundario del TC.

$$\text{Burden} = 50 / 100 = 0.5 \text{ [ohms]}.$$

En los datos en donde no se encuentre especificado el valor de la potencia el burden se puede calcular usando una simple regla de tres; por ejemplo si se tuvieran dos relevadores de 10 y 6 VA respectivamente conectados a un TC por medio de un conductor de 8 [ohms/Km] y que está a 80 metros de éstos, y se desea obtener el burden se puede proceder de la siguiente forma:

$$R = (8 \text{ [ohms/Km]}) (0.16 \text{ [Km.]}) = 160 \text{ metros por ser ida y vuelta en el conductor)}$$

$$R = 1.28 \text{ [ohms]}.$$

$$S = I_{TC}^2 * R = 5^2 * 1.28 = 32 \text{ [VA]}$$

$$S_{TOTAL} = 32 + 10 + 16 = 48 \text{ [VA]} ; \text{ por lo tanto}$$

$$\text{Burden} = \frac{0.5 * 48 \text{ [VA]}}{12.5 \text{ [VA]}} = 1.9 ;$$

3.- Calcular la relación de transformación considerando que la corriente máxima en el secundario del transformador es de 5 [A], y escoger la relación comercial más próxima. Para conocer la relación de transformación se debe obtener tanto la corriente nominal del TC así como la corriente de cortocircuito máxima.

$$I_{\text{línea}} = \frac{\text{KVA}}{\sqrt{3} * \text{KV}}$$

Es importante considerar un factor de seguridad el cual se toma del 50% de la corriente nominal. Por lo tanto la corriente nominal del TC se calcula de la siguiente forma:

$$I_{\text{nominal(TC)}} = (I_{\text{línea}} * 0.5) + I_{\text{línea}}$$

Si se considera un sistema trifásico balanceado la corriente de cortocircuito se obtiene de las expresiones dadas anteriormente, por lo tanto para seleccionar la relación del TC se debe cumplir que:

$$I_{\text{cc máxima}} < \text{ó} = a 20 * I_{\text{nominal(TC)}}$$

Por ejemplo si se tuviera una corriente de cortocircuito de 6000 [A] se podría utilizar un TC de 400/5 ya que  $400 * 20 = 8000$  [A], y por lo tanto soporta el cortocircuito, así como la corriente nominal del TC lo cual es la condición necesaria para se seleccionados. La relación de transformación de denomina como “KTC”.

4.- Ajustar el TAP para la curva de disparo deseada, con el fin de asegurar la selectividad de la protección con respecto a otras similares. El TAP se calcula de la siguiente manera:

$$\text{TAP} = \frac{I_{\text{pick up}}}{\text{KTC}} \quad ; \text{ donde: } I_{\text{pick up}} = (I_{\text{línea}}) (\text{Factor de carga})$$

En la **figura 5.9** aparece la conexión de un relevador de corriente máxima para la protección de un circuito trifásico en estrella.

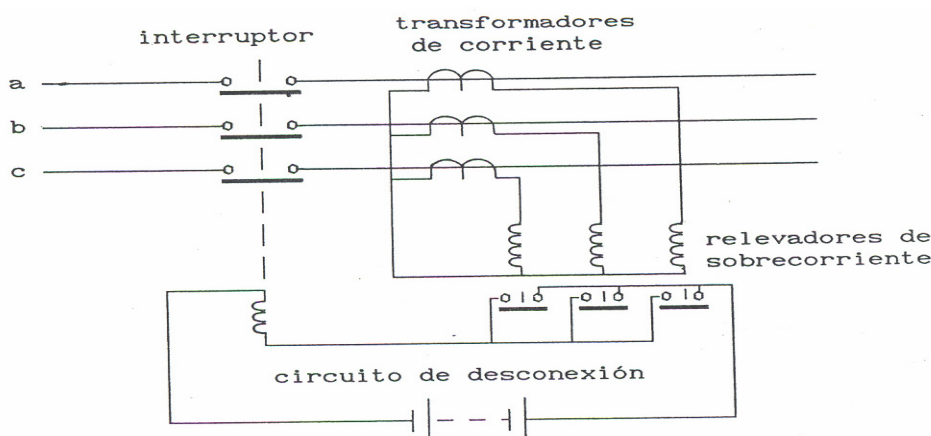


Figura 5.9 Conexión de un Relevador de Corriente Máxima

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

Relevador de protección diferencial: Opera cuando se detecta una diferencia de magnitud entre las corrientes de dos circuitos o de dos puntos del mismo circuito, lo cual sucede si se establece una corriente de falla hacia tierra. Su aplicación típica es para la protección de transformadores, generadores. Se le conoce con el número 85.

Relevador de voltaje: Está diseñado para actuar cuando el voltaje en una o más fases está fuera de ciertos límites (bajo o sobrevoltaje). La detección de voltajes abajo del nominal puede ser muy importante en el funcionamiento de motores trifásicos ya que la corriente puede adquirir valores muy altos y provocar daños de consideración.

#### 5.4.4- Apartarrayos

Es un equipo de protección contra ondas de voltaje peligrosas que viajan por las líneas de transmisión o de distribución. Se coloca entre las líneas de distribución y los equipos que se desea proteger. Su conexión es entre fase y tierra.

La curva característica de la corriente contra voltaje aplicado de un apartarrayos no es lineal, como se ve en la **figura 5.10**. Para el voltaje nominal y hasta cierto valor las corrientes son insignificantes: la resistencia interna del apartarrayos es muy grande. Si el voltaje se eleva más allá del valor “ $V_o$ ”, conocido como voltaje de disrupción, la corriente crece rápidamente: la resistencia interna del apartarrayos disminuye; cuando esto sucede la fase correspondiente está conectada a tierra; cuando disminuye la amplitud de la onda del voltaje peligroso, el valor de la resistencia interna vuelve a aumentar: se restablece el nivel de aislamiento y el apartarrayos deja de conducir.

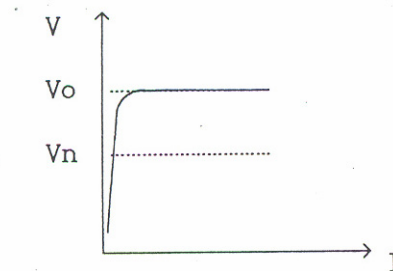


Figura 5.10 Gráfica de Corriente vs. Voltaje Aplicado para un Apartarrayos

#### 5.4.5- Sistema de Pararrayos

Son dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalanceo del sistema. Los pararrayos cumplen con las siguientes funciones:

- Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión crítica de diseño.
- Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones.

- c) Debe desaparecer la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones.
- d) La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen.

Los pararrayos se clasifican de la siguiente manera:

- Cuernos de arqueo.
- Pararrayos autovalvulares.
- Pararrayos de óxidos metálicos.

Al seleccionar un sistema de pararrayos se deben de seguir las siguientes consideraciones para con ello obtener una seguridad en el funcionamiento del sistema:

#### 5.4.5.1- Tensión Nominal en un Sistema de Pararrayos

Se define como la tensión máxima continua a valor eficaz y a frecuencia normal de operación, la que soporta un pararrayos entre sus terminales, y que permite la terminación de la ionización después de que han estado descargando energía en los explosores. Se llama tensión máxima continua de operación al valor anterior multiplicado por  $\sqrt{3}$  y se define como la tensión máxima aplicable al sistema. La tensión nominal, o sea la designación de un pararrayos convencional usualmente se calcula con la siguiente expresión:

$$V_n = K_T * V_m$$

la cual es aplicable sólo para sobretensiones producidas por descargas de rayos y no por operación de interruptores.

Donde:

$V_n$  = Tensión nominal en volts del pararrayos.

$V_m$  = Tensión máxima en volts, entre fases.

$K_T$  = Factor de aterrizamiento del sistema, cuya magnitud depende de la relación  $\frac{R_0}{X_1}$  y  $\frac{X_0}{X_1}$

$R_0$  = Resistencia de secuencia cero del sistema.

$X_0$  = Reactancia de secuencia cero del sistema.

$X_1$  = Reactancia de secuencia positiva.

Como caso práctico se puede utilizar  $K_T = 0.8$  para sistemas con neutro solidamente conectado a tierra, lo cual cumple con:

$$\frac{R_0}{X_1} < 1.0 \qquad \frac{X_0}{X_1} < 3.0$$

Cuando un sistema está directamente conectado a tierra, los pararrayos pueden ser del 85% de la tensión nominal. Por lo contrario, cuando el sistema está aislado de tierra, éstos pueden ser del 100% del valor nominal.

### 5.4.5.2- Características del Sistema de Pararrayos

Dentro de las características a considerar para un buen diseño dentro de un sistema de pararrayos se encuentran las siguientes:

**Capacidad de Sobretensión.** Cuando un pararrayos de ZnO se le aplica una tensión que excede continuamente el valor nominal y durante un tiempo largo, se incrementan las pérdidas en watts de las resistencias y aumenta su temperatura. La capacidad de sobretensión depende de la marca y del diseño del pararrayos y además del tiempo de duración de la sobretensión:

**Corriente de Descarga.** Se define así el valor pico de un impulso de corriente normalizado con una onda de  $8 * 20$  microsegundos que se utiliza para la clasificación de los pararrayos. Estos impulsos suelen ser del orden de 10 [KA] de acuerdo con las normas CEI-99-1 o ANSI-C62-1.

**Descarga Máxima.** Designa la onda de corriente de breve duración y de máxima amplitud que el pararrayos puede dejar pasar cierto número de veces a intervalos de tiempo determinados, sin que se produzcan fallas.

**Descarga Nominal.** Se define como la amplitud de la corriente de choque que al circular por el pararrayos produce una tensión residual que no sobrepasa el valor máximo fijado por la coordinación del aislamiento. La corriente de descarga nominal del pararrayos se puede calcular de la siguiente forma:

$$I_d = \frac{(2 * E) - V_r}{Z_o + R} \quad ; \quad E = \frac{2 * e}{n}$$

Donde:

$I_d$  = Corriente de descarga en [KA].

$E$  = Magnitud de la onda de sobretensión que incide (usualmente se toma el NBI del sistema).

$V_r$  = Tensión residual del pararrayos en [KV] (usualmente se desprecia).

$Z_o$  = Impedancia característica de la línea en [ohms].

$R$  = Resistencia de la línea en [ohms] (usualmente se desprecia).

$e$  = Valor de la onda incidente.

$n$  = Número de líneas que inciden.

**Margen de Protección contra Rayos.** Este margen se puede calcular de la siguiente forma:

$$MPr = \frac{NBI - V_m}{V_m} * 100$$

Donde:

$MPr$  = Margen de protección del pararrayos contra descargas atmosféricas en por ciento.

$NBI$  = Magnitud del nivel máximo de impulso en [KV] del aparato por proteger.

$V_m$  = Tensión máxima del pararrayos.

Un objeto está razonablemente protegido cuando queda bajo un cono cuyo vértice superior es la punta de la barra y que tiene una base de radio igual a dos veces la altura de la punta. Para objetos donde se requiera mayor protección, el radio de la base debe ser igual a la altura de montaje. A continuación se indican los datos para la construcción de una protección contra descargas atmosféricas en edificios tomando en cuenta los criterios mencionados anteriormente.

- 1.- Todas las barras puntiagudas deben estar conectadas, al menos, a dos conductores que vayan a la tierra en direcciones opuestas y con las trayectorias más cortas posibles.
- 2.- Las curvaturas de los conductores deben de ser lo más amplias posibles y nunca formar ángulos menores a  $90^\circ$ . Deben estar colocados en el lado exterior de los muros y protegidos contra daños mecánicos en zonas de tránsito.
- 3.- Los cables conductores y de interconexión deben tener, por lo menos 27.9 [Kg.] por cada 100 metros esto equivale al número 2 AWG.
- 4.- Las varillas que sirven como terminal puntiaguda deben tener una altura mínima de 0.6 metros y la misma sección especificada para los cables.
- 5.- En edificios con azoteas planas las terminales deben colocarse en todas las esquinas y sobre las orillas con una separación máxima de 7.5 metros.
- 6.- Todos los componentes del sistema de pararrayos deben estar colocados en forma segura y fija. El material de las varillas y de todos los elementos del sistema debe estar protegido contra la oxidación y el envejecimiento. Las aristas metálicas de los techos deben conectarse al sistema de pararrayos.

## **5.5-Coordinación de las Protecciones.**

La coordinación consiste en un estudio organizado de las curvas tiempo-corriente de los equipos de protección conectados en serie, esto se lleva a cabo a partir de la carga hacia la fuente y tomando pares de equipo a la vez, al conjunto de protecciones calibradas de forma que operen selectivamente se le conoce como sistema coordinado de protecciones.

Para la gran mayoría de los sistemas de potencia, el grado óptimo de coordinación de los dispositivos de protección consiste en una coordinación selectiva en la cual solo el dispositivo de protección más cercano a la falla opere, mientras los demás permanecen cerrados. En todos los sistemas de potencia, el dispositivo de protección debe ser seleccionado e instalado para abrir antes que las limitaciones térmicas y mecánicas del dispositivo sean excedidas.

### **5.5.1- Procedimiento de Coordinación**

La coordinación de los dispositivos de protección se debe dar de manera continua, esto se logra realizando los siguientes pasos:

- a) Primero se debe realizar un diagrama unifilar del sistema a ser coordinado, el diagrama es usado como base y en el cual aparecen datos importantes de todos los dispositivos involucrados (relevadores, fusibles, transformadores de corriente), además proporciona la relaciones del circuito de los dispositivos de protección con algún otro.
- b) El siguiente paso es el de obtener todas las impedancias que intervienen y su valor, usando estos valores , el estudio de cortocircuito es elaborado para determinar la máxima y mínima corriente de cortocircuito en algún punto particular del sistema.
- c) Como tercer paso es el de asegurarse de las corrientes máximas de carga que existirán bajo condiciones normales de operación y en cada uno de los circuitos del sistema, la corriente de magnetización del transformador o transformadores. Estos valores determinarán la corriente máxima que los dispositivos de protección deben soportar sin operar. El límite superior sensible de la corriente será determinado por el valor más pequeño resultado de las siguientes consideraciones:
  - 1) Corriente de cortocircuito máxima obtenida a partir de los cálculos.
  - 2) Requerimientos de los códigos y estándares para el equipo de protección, tales como cables, motores y transformadores.
  - 3) Limitaciones térmicas y mecánicas del equipo.
- d) Como último paso, las curvas características tiempo-corriente de todos los dispositivos de protección a ser coordinados deben ser obtenidas.

El proceso de coordinación entre dispositivos de protección en serie es esencialmente la selección de unidades particulares para posteriormente relacionarlas entre si dependiendo de las necesidades del circuito y analizando sus curvas tiempo-corriente. Cuando se selecciona los dispositivos de protección, estos deben cumplir los requerimientos de normas y códigos como ANSI, IEEE, NEC, etc., y considerar los factores de limitación de la coordinación como corriente de corto circuito, arranque de motores, corriente de carga.

### **5.5.2-Coordinación Selectiva**

Es obtenida en sistemas de bajo voltaje cuando las curvas de tiempo-corriente muestran un espacio claro entre las características de los dispositivos de protección operando en serie, es importante que no debe existir un traslape entre dos curvas características ya que de existir, la coordinación tendrá que realizarse nuevamente.

El primer nivel de coordinación y protección para ser considerado es en le transformador primario; cuando seleccionamos la protección primaria, los siguientes factores deben ser tomados en cuenta.

- a) Corriente a plena carga del transformador.
- b) Corriente de magnetización del transformador.

Considerando estos factores se obtiene las curvas de resistibilidad del transformador y entonces se puede seleccionar el fusible que reúna los criterios mencionados. Siempre que un dispositivo primario sea usado, este debe ser capaz de resistir la corriente de arranque que ocurre cuando el transformador que está soportando a la carga experimenta una pérdida momentánea de la fuente de voltaje, seguida por la reenergización del transformador, en este caso, la corriente de arranque está formada por dos componentes la corriente de magnetización y la corriente asociada con las cargas conectadas.

La coordinación más común se lleva a cabo entre relevadores. Las expresiones necesarias para realizar la coordinación entre dos relevadores son:

$$\text{Múltiplos de TAP'F} = \frac{I_{cc_{3\phi}}}{I_{pick\ up}} \quad ; \quad \text{Múltiplos de TAP'N} = \frac{I_{cc_{1\phi}}}{I_{pick\ up}}$$

En una coordinación de este tipo, primero debe operar el “N” y lo debe hacer en la carrera 0.5, se toma este valor de carrera debido a que se requiere que opere lo más rápido posible y antes que el 50 de fase. Estos valores se pueden observar y obtener de las distintas gráficas para los tipos de relevadores. Para obtener la carrera del de fase al tiempo obtenido con el relevador “N” se le suma 300 milisegundos; este valor se da debido a que debe existir un  $\Delta t$  para ocasionar con esto el tener un respaldo en nuestra protección, al contar con el valor del tiempo se procede a entrar en las curvas tiempo/corriente del dispositivo que se este utilizando y con ello determinar la carrera del relevador.

## 5.6- Selección del Equipo

Para proporcionar seguridad y minimizar los daños al equipo y mantener un grado lato en el servicio, el equipo debe ser seleccionado para detectar fallas rápidamente aislar y eliminarlas lo más pronto posible. Los dispositivos deben ser seleccionados para que los elementos que s encuentren dentro del circuito de protección no actúen bajo condiciones más allá de sus valores respectivos. La selección es dependiente del conocimiento de las magnitudes de las corrientes de falla que pueden ser esperadas por los diferentes tipos de fallas que lleguen a presentarse.

### 5.6.1- Valores Recomendables

Es esencial usar equipo con valores de cortocircuito iguales o mayores que el de la corriente de cortocircuito al cual el equipo puede ser sujeto. ANSI/70-1990, Código Eléctrico Internacional (NEC) sección 110-9 menciona que los dispositivos que intenten eliminar una corriente de cortocircuito contarán con un valor de interrupción suficiente para el voltaje empleado y para la corriente que deba ser eliminada. La selección de un dispositivo depende entonces de las características de protección, economía, mantenimiento etc.



### 5.7- Ejemplo del Cálculo de la Corriente de Cortocircuito

Se realizará el estudio de la corriente de cortocircuito del diagrama unifilar mostrado. ( ver figura 5.11). Se desea conocer el nivel de la corriente de cortocircuito sobre cada uno de los sistemas de barras. Aunque el estudio podría comprender cualquier punto del sistema, en este caso se calculará la corriente en un punto.

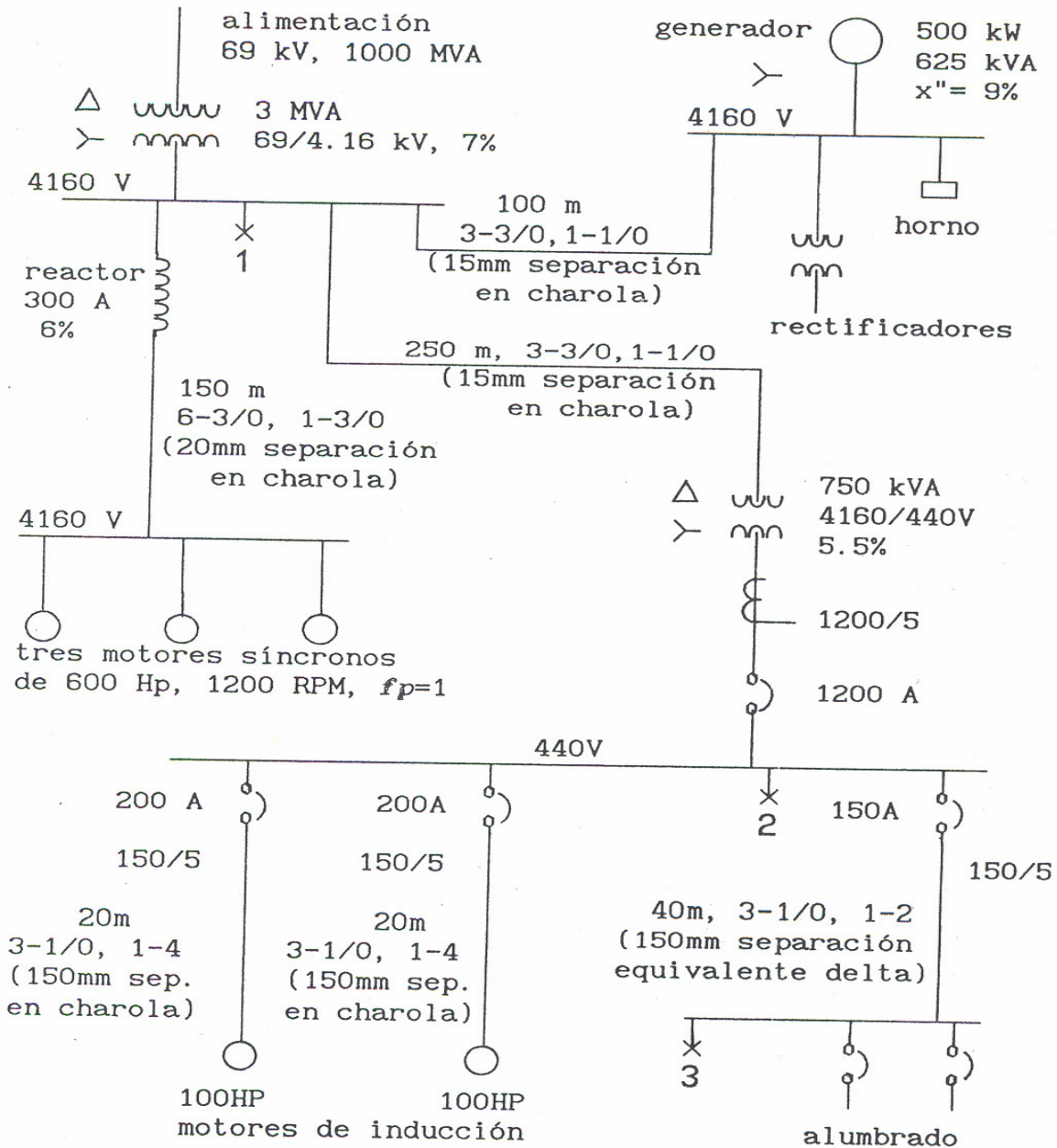


Figura 5.11 Diagrama Unifilar del Ejemplo

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

Se escoge como base de potencia 10,000 [KVA]. En la **figura 5.12** se presenta el diagrama de reactancias. Los valores de las reactancias en [p.u] se obtiene de la siguiente manera:

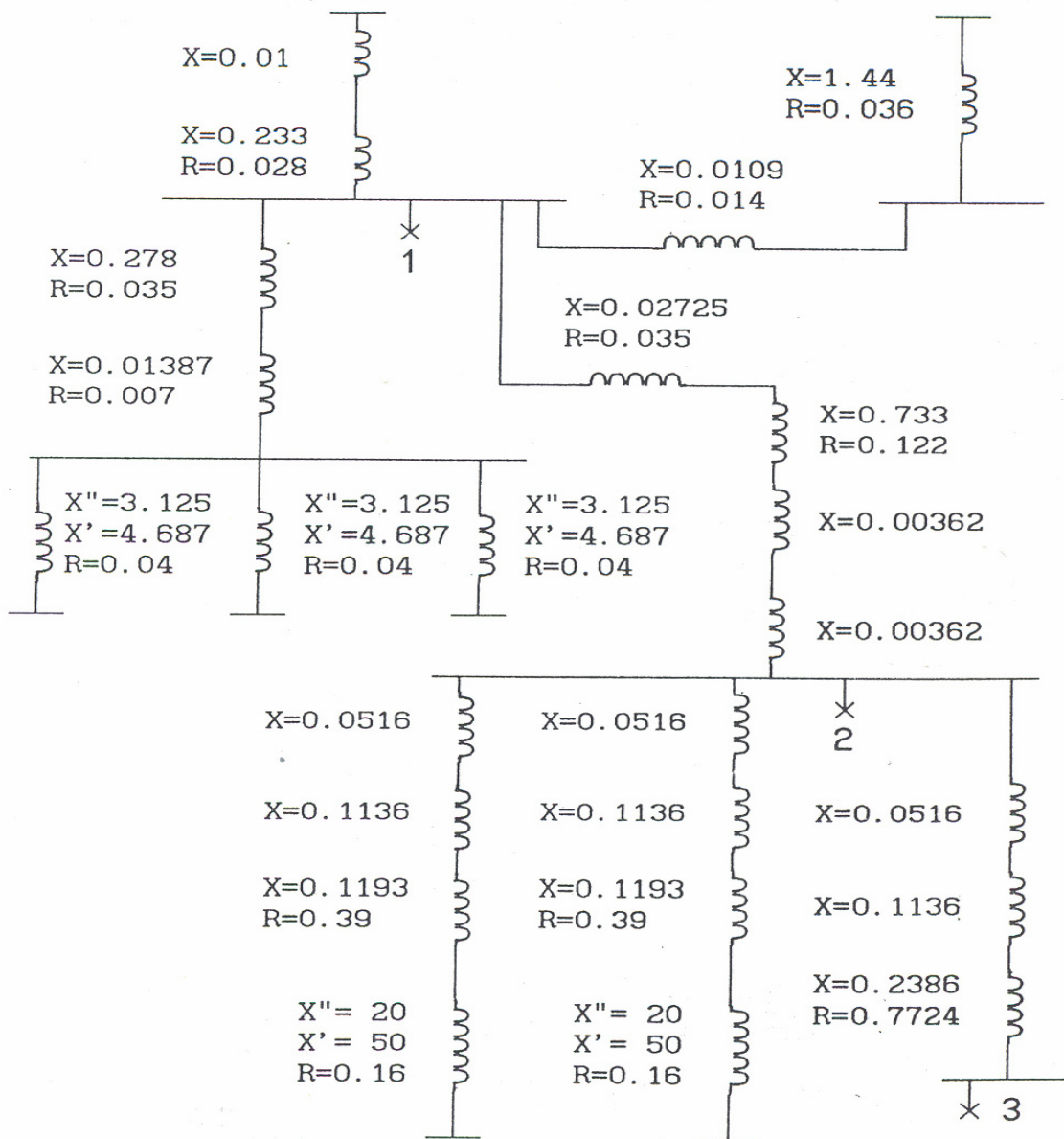


Figura 5.12 Diagrama de Reactancias y Resistencias

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

a) Reactancia equivalente de la red de suministro: De la aplicación de la relación 8.27 resulta que  $X = 0.01$  [p.u].

c) El transformador de 3000 [KV]: en la **figura 5.11** se especifica una reactancia en [p.u] de 0.07, con la siguiente relación y sustituyendo valores resulta:

$$Z_2 = Z_1 \frac{KVA_{BASE 2}}{KVA_{BASE 1}} * \left[ \frac{KV_{BASE 1}}{KV_{BASE 2}} \right]^2$$

$$X = \frac{0.07 * 10000}{3000} \left[ \frac{4160}{4160} \right]^2 = 0.233 \text{ [p.u]}$$

$$R = 0.028 \text{ [p.u]}$$

c) Generador de 625 [KV]: La reactancia subtransitoria es de 9%, por lo que con la misma relación anterior se obtiene:

$$X'' = 0.09 \frac{10000}{625} = 1.44 \text{ [p.u]}$$

$$R = 0.036 \text{ [p.u]}$$

d) En el cable de enlace de 100 [m]: Está compuesto por un cable 3/0, 19 alambres por fase. De acuerdo con la **tabla 5.7** se obtiene que:

$$RMG = 0.758 \frac{10.74}{2} = 4.07 \text{ [mm]}$$

Conductor	RMG
Alambre sólido	0.77 R*
Cable de un solo material	
7 hilos	0.726 R
19 hilos	0.758 R
37 hilos	0.768 R
61 hilos	0.772 R

Tabla 5.7 Radio Medio Geométrico de Conductores

Para el cálculo del DMG, se consideran las distancias entre los centros de los cables, y se estima el diámetro del cable de 15 [KV] en 25 [mm]. El arreglo en la **figura 5.13**.

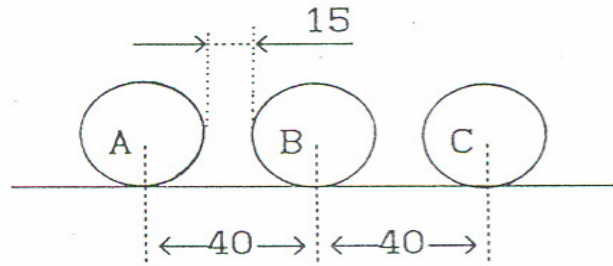


Figura 5.13 Arreglo de las Tres Fases del Cable de Enlace de 100 [m]

Con  $AB = 40$ ;  $BC = 40$ ;  $AC = 80$  y con la relación siguiente sustituyendo valores tiene que:

$$DMG = \sqrt[3]{AB * BC * CA} = \sqrt[3]{40 * 40 * 80} = 50 \text{ [mm]}$$

Con la relación se obtiene:

$$X_L = 0.0028 * f * \log \frac{DMG}{RMG}$$

$$X = 0.1734 \log \frac{50}{4.07} * 0.1 = 0.01889 \text{ [ohms]}$$

e) El cable de los motores síncronos. Son 150 [m] de distancia con dos cables de 3/0 por fase separados entre si 20 [mm]. El arreglo se muestra en la **figura 5.14**.

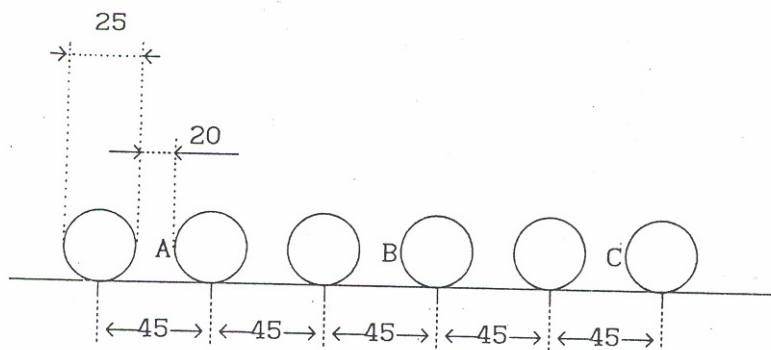


Figura 5.14 Arreglo de Cables para las Tres Fases de Alimentación

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

Se considera al RMG igual que en el caso anterior. La distancia entre pares de conductores por fase es de 90 y 180. De la relación siguiente se obtiene.

$$RMG_{eq} = \sqrt[n]{n * r * R^{n-1}} = \sqrt{2 * 4.07 * 22.5} = 13.53 \text{ [mm]}$$

Y con la relación para encontrar el DMG encontramos:

$$\text{DMG} = \sqrt[3]{90 * 90 * 180} = 113.4 \text{ [mm]}$$

Por lo que resulta que:

$$X = 0.1734 \log \frac{113.4}{13.53} * 0.15 = 0.024 \text{ [ohms]}, \text{ y por lo tanto } X = 0.01387 \text{ [p.u]}$$

$$R = 0.007 \text{ [p.u]}$$

f) El cable de 250 m.: se trata de un cable 3/0 por fase colocados a 15 mm. de separación en charola. Este cable es idéntico al de enlace con distancia diferente.

$$X = 0.0109 \frac{250}{100} = 0.02725 \text{ [p.u]}$$

$$R = 0.035 \text{ [p.u]}$$

g) El cable de 40 [m]: se trata de un cable 1/0 por fase colocados en delta sin separación, con un diámetro exterior del conductor de 8.53 [mm] 19 hilos. Se considera que el diámetro con aislamiento es de 15 [mm]. El arreglo se aprecia en la **figura 5.15**.

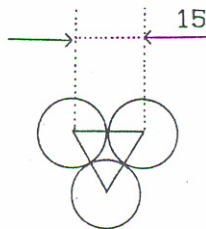


Figura 5.15 Arreglo del Cable de 40 [m]

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

$$\text{RMG} = 0.758 \frac{8.53}{2} = 3.23 \text{ [mm]}$$

$$\text{DMG} = \sqrt[3]{15 * 15 * 15} = 15 \text{ [mm]}$$

$$X = 0.1735 \log \frac{15}{3.23} * 0.040 = 0.00462 \text{ [ohms]} \text{ y por lo tanto } X = 0.2386 \text{ [p.u]}$$

$$R = \rho \frac{1}{A} = 0.014953 \text{ [ohms]}$$

$$R_{pu} = \frac{0.01495}{1000 * 0.44^2} = 0.7724 \text{ [p.u]}$$

h) Los cables de los motores de inducción: un cable de 1/0 por fase de 20 [m] de longitud con 15 [mm]. De separación en delta. Las condiciones son las mismas que en el caso anterior, excepto por la distancia, por lo tanto:

$$X = 0.2386 \frac{20}{40} = 0.1193 \text{ [p.u]}$$

$$R = 0.39 \text{ [p.u]}$$

i) El capacitor: su reactancia es de 0.06 referida a su potencia base. Con la relación para obtener de la impedancia en por unidad utilizada en el inciso (b) se realiza el cambio de base.

$$X = 0.06 \frac{10,000}{2160} = 0.278 \text{ [p.u]}$$

$$R = 0.035 \text{ [p.u]}$$

j) El transformador de 75 [KVA] en la **figura 5.1** se especifica una reactancia en [p.u] de 0.055; con la relación para obtener la impedancia en por unidad y la **figura 5.1.a** resulta:

$$X = 0.055 \frac{10000}{750} = 0.733 \text{ [p.u]}$$

$$R = 0.122 \text{ [p.u]}$$

k) Los motores síncronos de 600 [HP]; de la **tabla 5.1**  $X'' = 0.15$ , referida la base de potencia de los motores, que considerando una eficiencia aproximada de 93%, resulta:

$$600 \frac{0.7457}{0.93} = 480$$

Por lo tanto la reactancia subtransitoria y resistencia **figura 5.1.b** en [p.u] son:

$$X'' = 0.15 \frac{10,000}{480} = 3.125$$

De acuerdo con la **tabla 5.2** la reactancia para el instante de interrupción será 1.5 veces la subtransitoria; en este caso las reactancias de las barras, el arrancador y los cables de cada motor se consideran despreciables:

l) Los motores de inducción de 100 [HP], de la **tabla 5.3**  $X = 0.2$  para el primer ciclo y 0.5 para el instante de interrupción. Para una eficiencia de 93% y 0.8 como factor de potencia, es:

$$\frac{100 * 0.7457}{0.93 * 0.8} = 100 \text{ [KVA]}$$

por lo que se obtiene:

$$X'' = 0.2 \frac{10,000}{100} = 20 \text{ [p.u]}$$

$$X' = 0.5 \frac{10,000}{100} = 50 \text{ [p.u]}$$

$$R = 0.16 \text{ [p.u]}$$

m) Los interruptores termomagnéticos, el de 1200 [A] tiene una reactancia de 0.00007 [ohms], con la expresión mencionada a continuación se transforma a [p.u].

$$\frac{1}{Z_{eq_n}} = \sum_{1}^n \frac{1}{Z_i}$$

$$X = \frac{0.00007 * 10,000}{1000 * 0.44^2} = 0.00362 \text{ [p.u]}$$

Los de 150 a 200 [A] tienen una reactancia de 0.001 [ohms] que transformada a la base de referencia resulta:

$$X = \frac{0.001 * 10,000}{1000 * 0.44^2} = 0.0516 \text{ [p.u]}$$

n) Transformadores de corriente, el de 1200 [A], tiene una reactancia de  $X = 0.00007$  [ohms] que resulta igual al del interruptor de 1200 [A], por lo tanto  $X = 0.00362$ . Los de 150 a 200 [A] tiene un valor de  $X = 0.0022$  [ohms] que para la base de referencia es de:

$$X = \frac{0.0022 * 10,000}{1000 * 0.44^2} = 0.1136$$

Con esto se tiene todos los valores necesarios para completar la **figura 5.12**. Todos los extremos se consideran conectados al neutro, con las fórmulas utilizadas para la obtención de impedancias equivalentes tanto en serie como en paralelo la red se puede reducir conservando el punto de falla como referencia.

Nuestro punto de análisis está colocado en la barra de bajo voltaje. Para obtener la corriente subtransitoria, en la **figura 5.16**, obtenida del diagrama de la **figura 5.17** se puede realizar la siguiente reducción:

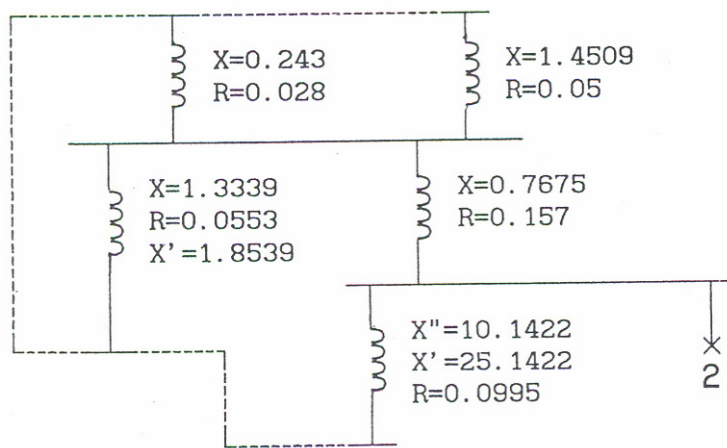
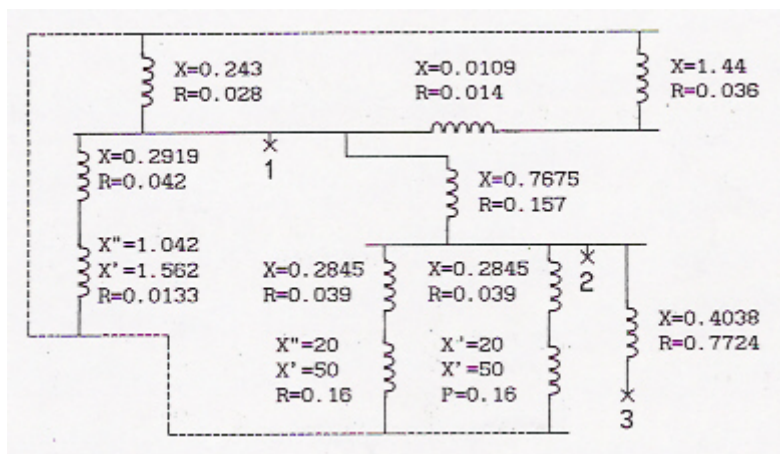


Figura 5.16 Reducción del Sistema para el Cálculo de la Corriente de Cortocircuito



5.17 Reducción del Diagrama de Impedancias y Reactancias

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.



Las tres inductancias están en paralelo y por lo tanto para obtener la equivalente se realiza el siguiente cálculo:

$$\frac{1}{1.3339} + \frac{1}{0.243} + \frac{1}{1.4509} = \frac{1}{0.180}$$

a su vez las tres inductancias se encuentran en serie por lo que resulta:  $0.18 + 0.7675 = 0.9475$ , por lo que la reactancia equivalente resulta:

$$\frac{1}{0.9475} + \frac{1}{10.14} = \frac{1}{0.8665}$$

La reactancia de la falla es de 0.8665. Con la siguiente ecuación resulta:

$$I_{cc} = \frac{KVA_{(base)}}{Z_{eq_{pu}} \sqrt{3} * KV_{(base)}}$$

$$I_{cc} = \frac{10,000}{0.8665 * \sqrt{3} * 0.44} = 15,143 \text{ [A]}$$

Este valor se puede comparar directamente con la capacidad de los interruptores ya que los diseños actuales están contruidos para valores más comunes de la relación X/R.

## 5.8- Protección de Transformadores

Los transformadores por ser máquinas estáticas, tienen un número de fallas bajo en comparación con otros elementos del sistema. Las condiciones anormales que se pueden presentar en un transformador son: fallas incipientes, fallas internas, fallas eléctricas. Las llamadas fallas incipientes se pueden presentar debido a fallas en el aislamiento en los tonillos de sujeción de las laminaciones de los núcleos y del aislamiento que los recubre, arcos eléctricos entre los devanados y el núcleo o al tanque, debido a sobretensiones por descargas atmosféricas, fallas en el sistema de enfriamiento.

Las llamadas fallas eléctricas se dan por fallas en el aislamiento ocasionados por sobretensiones de origen atmosférico o por maniobra de interruptores para los contactos a redes en alta tensión. La protección de transformadores depende de varios factores uno de las más importantes es su capacidad y nivel de tensión en que son aplicados. Nuestro estudio abarcara el análisis de los transformadores para 600 volts. Los dispositivos de sobrecorriente el devanado primario, deben ser calculados o ajustados de acuerdo a las siguientes reglas:

1.- Si la corriente primaria es de 9 [A] o mayor, el dispositivo de sobrecorriente no se puede designar o ajustar a más del 125% al valor de la corriente nominal primaria.

2.- Si la corriente primaria es menor de 9 [A], el transformador se puede proteger por dispositivos de sobrecorriente designados o ajustados a no más del 167% de la corriente nominal primaria.

3.- Si la corriente primaria es menor de 2 [A] el dispositivo de sobrecorriente se puede seleccionar o ajustar a no más de 300% de la corriente primaria.

Los transformadores de distribución con secundarios de bajo voltaje pueden ser protegidos por un fusible en el lado primario y conexiones en el secundario de acuerdo con lo que se menciona en el NEC, sección 450-3. Existen transformadores que son usados en los sistemas de distribución de bajo voltaje, estos transformadores pueden ser protegidos por medio de fusibles con retardo de tiempo los cuales sean de una capacidad que estén en el rango de 100%-125% de la corriente a plena carga en el lado primario del transformador.

### 5.8.1- Ejemplo del Cálculo para la Protección en Transformadores

Se cuenta con un transformador de 30 [MVA], con una relación de transformación de 85/23 [KV], una impedancia de  $Z = 10\%$ , una relación en el TC del lado de alta tensión de 300/5 es decir; un  $KTC_{A.T} = 60$ , conectado en estrella y una relación del TC en el lado de baja de 1200/5, es decir un  $KTC_{B.T} = 240$ , con conexión delta. Se utilizará un relevador (87) el cual es recomendable para este tipo de protección dentro de estos dispositivos.

1.- Se calcula la corriente nominal en el lado de alta tensión y la corriente secundaria en el lado de alta tensión.

$$I_{N.A.T} = \frac{30 * 10^3 \text{ [KVA]}}{\sqrt{3} * 85 \text{ [KV]}} = 201.6 \text{ [A]}$$

$$I_{S.A.T} = \frac{I_{N.A.T}}{KTC_{A.T}} = \frac{201.6}{60} = 3.36 \text{ [A]}$$

2.- Se obtiene tanto la corriente nominal en baja tensión, como la corriente secundaria en el lado de baja tensión.

$$I_{N.B.T} = \frac{30 * 10^3 \text{ [KVA]}}{\sqrt{3} * 23 \text{ [KV]}} = 753 \text{ [A]}$$

$$I_{S.B.T} = \frac{I_{N.B.T}}{KTC_{B.T}} = \frac{753}{240} = 3.13 \text{ [A]}$$

Como la conexión del TC en el lado de alta tensión es en estrella la corriente se conserva por lo tanto  $I_{A.T} = 3.36 \text{ [A]}$ . En el lado de baja tensión se sabe que la conexión del TC está en delta por lo tanto existe un factor de  $\sqrt{3}$  lo cual origina que  $I_{B.T} = \sqrt{3} * 3.13 = 5.43 \text{ [A]}$ .

3.- Como tercer punto se realiza la relación  $I_{B.T}/I_{A.T} = 5.43/3.36 = 1.6 < 3$ . En el caso que la relación fuera de un valor superior a tres el relevador no se utilizaría bajo las condiciones del problema. De la **tabla 5.8** se determina que una relación de:

$\omega_L/\omega_H = X = 4.6 / 2.9 = 1.58$  es el valor que más se aproxima a 1.6.

$\omega_H/\omega_L$	2.9	3.2	3.5	3.8	4.2	4.6	5	8.7
2.9	1	1.103	1.207	1.31	1.448	1.586	1.724	3
3.2		1	1.094	1.188	1.313	1.438	1.563	2.719
3.5			1	1.086	1.2	1.314	1.429	2.489
3.8				1	1.105	1.211	1.316	2.289
4.2					1	1.095	1.19	2.071
4.6						1	1.087	1.891
5							1	1.74
8.7								1

Tabla 5.8 Selección de TC con Carga Máxima en el Secundario de 5 [A] (General-Electric)

4.- Como ultimo paso se determina el porcentaje de error %E., el cual deberá siempre de ser menor al 5%.

$$\%E = \frac{I_{B.T}/I_{A.T} - \omega_L/\omega_H}{X} = \frac{1.6 - 1.58}{1.58} = 0.88\% < 5\%, \text{ por lo tanto la protección está bien determinada.}$$

## 5.9- Sistema de Tierras

Eléctricamente, el globo terráqueo es considerado con potencial cero, no obstante el material que la compone puede tener una resistividad eléctrica muy alta, así que para conseguir una toma de tierra adecuada debe hacerse un estudio para tener la certeza de que la resistencia está dentro de los límites adecuados. El significado de la resistencia a tierra puede entenderse si se analiza el flujo de corriente que circula por una varilla o barra enterrada y cómo se dispersa por la tierra que la rodea.

IEEE Std 142-1982, IEEE recomendaciones prácticas para el aterrizaje de sistemas de potencia industriales y comerciales y el NEC mencionan que el aterrizaje de la mayoría de los sistemas de potencia involucra a un conductor de tierra, el cuales descrito a continuación. El conductor conectado a tierra es llamado “conductor aterrizado” y debe ser distinguido del conductor de tierra (conductor que aterriza al equipo). El tener un sistema de tierras proporciona las siguientes ventajas:

1.- Limita los voltajes para alumbrado, o contacto no intencional con líneas de alto voltaje y estabiliza el voltaje para aterrizarlo a tierra durante la operación normal.

2.- Evita o previene la generación de sobrevoltajes debido a cambios en el potencial electroestático a ser aterrizado causado por un intermitente aterrizaje en alguno de los conductores o debido a un sistema no aterrizado.

3.- En combinación con el equipo de aterrizaje, puede ser diseñado para proporcionar un método seguro de protección al sistema de distribución contra sobrecorrientes.

### 5.9.1- Clasificación de los Sistemas de Tierra

Los sistemas de tierras de acuerdo a su uso dentro de cualquier instalación eléctrica se clasifican de la siguiente forma:

**Sistema de Tierra de Protección.** Tienen la misión de limitar el valor de la tensión contra tierra de aquellas partes del sistema eléctrico que no deben ser mantenidas ni en tensión ni aisladas y con la cuales se pueden poner en contacto el personal (por ejemplo: carcasa de las máquinas eléctricas, herrajes etc.).

**Sistemas de Tierra de Funcionamiento:** Sirven para poner a tierra, por necesidad de funcionamiento, determinados puntos del circuito eléctrico (neutro de generadores y transformadores, apartarrayos).

**Sistemas de Tierra de Trabajo.** Son sistemas de tierra de protección con carácter provisional, efectuados para poner a tierra parte de una instalación eléctrica, normalmente en tensión, a los cuales se debe llegar para efectuar un trabajo o reparación.

### 5.9.2- Redes de Tierra

Para las redes de tierra se consideran tres sistemas: radial, anillo y de malla, los cuales son los utilizados en México.

**Sistema Radial.** Este sistema es el más económico, pero el menos seguro ya que al producirse una falla en cualquier parte de la instalación se obtiene altos gradientes de potencial. Se utiliza para corrientes de tierra bajas. El sistema consiste en uno o varios electrodos, de los cuales se conectan las derivaciones a cada aparato. Este sistema se clasifica en:

Resistencia a tierra con un electrodo: Este sistema radial se calcula por medio de la expresión:

Donde: se tiene una barra o varilla de longitud “L” y radio “a” (ambos en metros) enterrada verticalmente.

$$R = \frac{\rho}{2\pi * L} \left[ \ln \frac{4 * L}{a} - 1 \right]$$

Donde:

$\rho$  = Resistividad del terreno en [ohms/metro].

R = Resistencia a tierra en [ohms].

Resistencia a tierra con dos electrodos: Produce una resistencia de tierra menor que con un electrodo, que es ligeramente superior a la mitad. En este sistema radial se tiene un alambre de radio “a” y longitud “2L” enterrado horizontalmente a s/2 de profundidad, obteniéndose la siguiente expresión.

$$R = \frac{\rho}{4\pi * L} \left[ \ln \frac{4 * L}{a} + \ln \frac{4 * L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \dots \right]$$

**Sistema en Anillo.** Consiste en instalar un cable de cobre de suficiente calibre alrededor de la superficie equipada por el equipo de la instalación, conectando derivaciones a cada aparato mediante un cable más delgado; si el anillo es cuadrado conviene conectar electrodos de tierra en sus vértices. ( ver figura 5.18). Es un sistema menos económico que el anterior. Los potenciales peligrosos disminuyen al disiparse la corriente de falla por varios caminos, lo que origina gradientes de potencial menores. Se utiliza para corrientes de cortocircuito intermedias. En el sistema en anillo, la resistencia de tierra se calcula por la expresión:

$$R = \frac{\rho}{2\pi^2 * D} \left[ \ln \frac{8 * D}{d} + \ln \frac{4 * D}{s} \right]$$

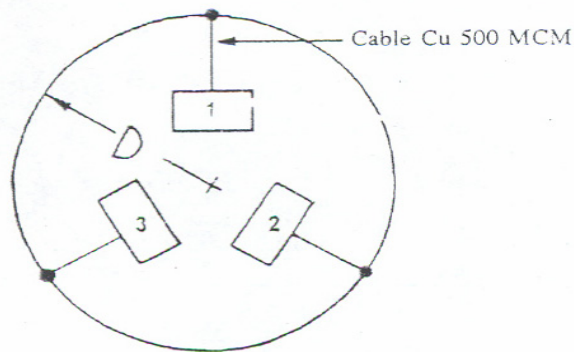


Figura 5.18 Sistema en Anillo

Referencia: RAULL MARTÍN José, Diseño de subestaciones eléctricas, 2a Edic., Mcgraw-Hill.

Donde se tiene un alambre de diámetro “d” en anillo de diámetro “D”, enterrado a s/2 de profundidad (todas las dimensiones en metros).

**Sistema de Malla.** Es el más utilizado en los sistemas eléctricos y consiste, en una retícula formada por cable de obre (aproximadamente 4/0 AWG), conectada a través de electrodos de varillas a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad. Este sistema es le más eficiente, pero también el más caro. Este sistema se analizará en forma más detallada debido a que, como se dijo es el más utilizado.

### 5.9.3- Componentes de una Red de Tierras

Todas las diferentes redes de tierras independientemente de su configuración se componen de las siguientes partes:

**Conductores.** Los conductores que se utilizan en la red de tierra son de cable de cobre de calibre superior de 4/0 AWG dependiendo del sistema que se utilice. Se escoge el calibre mínimo de 4/0 de cobre por razones mecánicas, ya que eléctricamente pueden usarse cables de cobre hasta el número 2 AWG. Se utiliza el cobre por su mejor conductividad eléctrica y térmica pero sobre todo, por su resistencia a la corrosión.

**Electrodos.** Son las varillas que se clavan en terrenos blandos y que sirven para aumentar la longitud del conductor de la red de tierra en terrenos pequeños o secos para encontrar zonas más húmedas y por lo tanto, con menor resistividad eléctrica. Se acostumbra instalar los electrodos en las esquinas de la red, en cada tercera conexión sobre el perímetro de la malla, y en especial en la zona próxima que rodea la instalación del equipo principal (transformadores, interruptores y pararrayos). La profundidad de una red de tierra puede variar entre 20 y 120 [cm], lo más común es usar 40 [cm], dando una separación entre conductores, para iniciar el diseño de una red, de unos 10 [m].

**Electrodos para Pararrayo.** Con este nombre se distingue al conjunto de electrodos que se instalan sobre la parte más elevada de las estructuras y que sirven para protegerla de posibles descargas directas de rayos. Dichos electrodos son fabricados con tramos de tubo de hierro galvanizado de 40 [mm.], de diámetro y 3 [m], de largo.

**Conectores y Accesorios.** Son elementos que sirven para unir a la red de tierra los electrodos profundos, las estructuras, los neutros de los bancos de transformadores etc. En los sistemas de tierra se utilizan tres tipos de conectores: atornillados, a presión y soldados.

### 5.9.4- Rangos de Corriente y Voltaje Tolerables por el Cuerpo Humano

Intensidades del orden de miles de amperes producen gradientes de potencial elevados en la vecindad del punto de contacto a tierra y si además se da la circunstancia de que algún ser vivo se apoye en dos puntos entre los cuales exista una diferencia de potencial debida al gradiente indicado, puede sufrir una descarga eléctrica que sobrepase el límite de su contractilidad muscular. Los efectos más comunes de la corriente que circula a través del cuerpo humano dependen de la magnitud, duración y frecuencia de ésta como se observa en la **tabla 5.9**.

Corriente en [mA] a 60 [Hz]	Efectos (de extremidad a extremidad) en un segundo
1	Umbral de percepción
5	Aceptada como la intensidad máxima que es inofensiva
16	Efecto de "no soltar"
50	Dolor, desmayo posible, lesiones mecánicas, las funciones cardiacas y respiratorias continúan.
100-3000	Fibrilación, las facultades respiratorias no se interrumpen
> 6000	Parálisis respiratoria temporal, quemaduras graves si la densidad de corriente es grande.

Tabla 5.9 Efectos de la Corriente Eléctrica en el Cuerpo Humano

En la **tabla 5.9** se indican en los valores aproximados de corriente a 60 [Hz], que originan efectos fisiológicos significativas en las personas. La “corriente de no soltar” es el valor de intensidad de corriente al cual la victima no es capaz de soltar el conductor o parte eléctrica energizada que esté tocando. Debe notarse que aun cuando se presente un perceptible choque esto puede ocasionar que un individuo pueda caer al soltarse de una escalera, o llegar a estar en contacto con partes conductoras a una mayor tensión.

La ecuación que liga la intensidad de corriente y el tiempo que un organismo puede soportarla está dada por la fórmula de Charles Dalziel.

$I_c^2 * t = 0.0135$ ; despejando  $I_c$  se tiene la siguiente expresión:

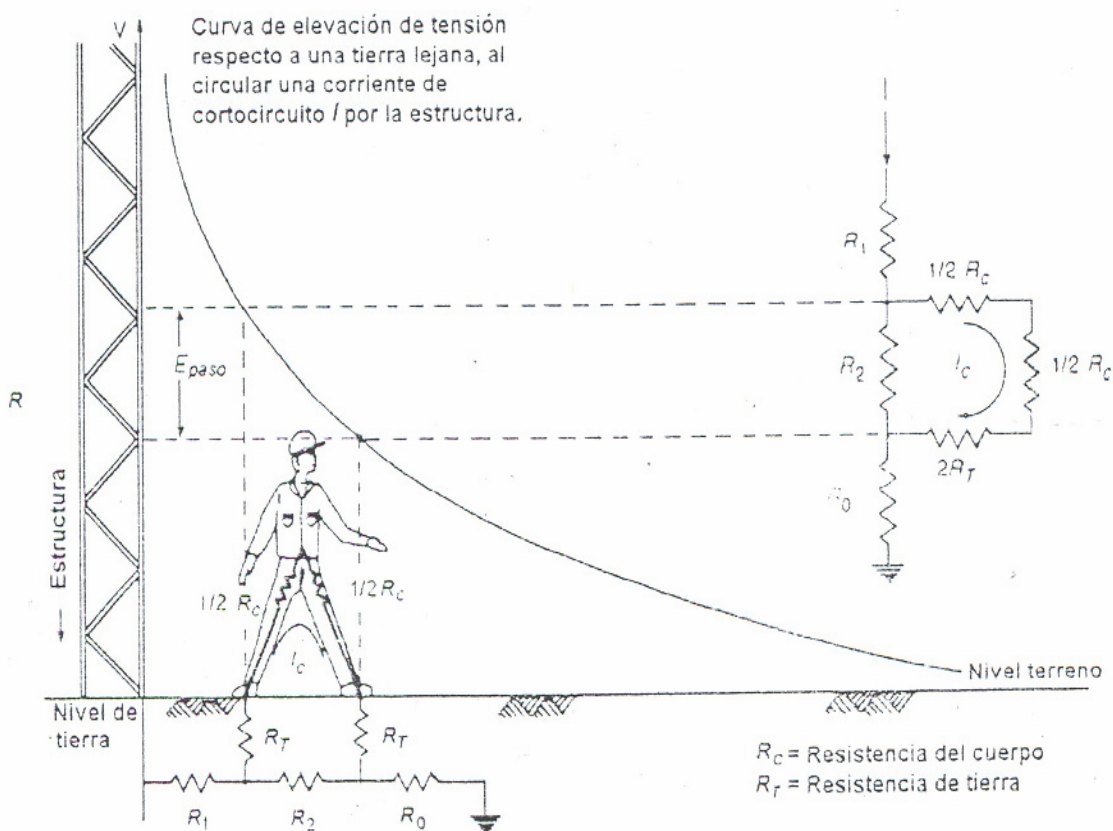
$$I_c = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

Donde:

$I_c$  = Valor efectivo de la corriente que circula por el cuerpo en amperes  
 $t$  = Duración del choque eléctrico en segundos.

0.0135 = Constante que representa los watts/segundo absorbidos por un cuerpo durante un choque eléctrico, para personas del orden de 50 [Kg.].

Es necesario tomar en cuenta los diversos casos que pueden presentarse al hacer contacto un cuerpo con superficies a diferentes potenciales. Las diferencias de potencial tolerables se determinan de acuerdo con los conceptos de tensiones de paso y de contacto. (ver figura 5.19). El valor de la resistencia del cuerpo humano  $R_c$  es variable, se recomienda tomar 1000 ohms para la resistencia entre los pies y entre pies y manos. Las siguientes expresiones se ocupan dependiendo del método utilizado dentro de un sistema de malla, los cuales pueden ser de una capa o de dos capas, dichas expresiones sirven para calcular los voltajes tolerables que puede soportar una persona pero antes es conveniente definir dos términos que son de suma importancia.



5.19 Tensión de Paso cerca de una Estructura Conectada a Tierra

Referencia: RAULL MARTÍN José, Diseño de subestaciones eléctricas, 2a Edic., McGraw-Hill.

*Tensión de contacto:* Se define como el valor de la tensión que se presenta, al paso de la corriente a tierra, entre las masas metálicas conectadas a tierra y el terreno circunvecino que pueden entrar en contacto eventualmente con una persona.

*Tensión de paso:* Es la que se manifiesta al paso de la corriente de tierra, entre dos puntos del terreno distantes un metro.



### ***Método de una Capa***

$$E_{\text{paso}} = \frac{116 + 0.7 * \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$E_{\text{contacto}} = \frac{116 + 0.17 * \rho_s}{\sqrt{t}}$$

Por norma, se toma el valor máximo de la tensión que puede soportar el cuerpo humano durante un tiempo de 1.2 seg., que es de 150 volts, por lo tanto el voltaje de malla (Em) se determina con la siguiente expresión:

$$E_{\text{malla}} = K_m * K_i \frac{I_D}{L} * \rho$$

El voltaje de malla (Em) es la diferencia de potencial, en volts, del conductor de la malla al centro del rectángulo de ésta. Los coeficientes se obtienen a partir de las siguientes fórmulas:

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} \ln \left[ \frac{D^2}{16 h * d} \right] + \frac{1}{\pi} \ln \left[ \frac{3}{4}, \frac{5}{6} \right]$$

El número de factores del segundo término es igual al número de conductores longitudinales de la malla menos dos.

Ki = Factor de irregularidad debido a que la corriente tiende a irse hacia la periferia de la red y especialmente en las esquinas.  $K_i = 0.65 + 0.172 * n$ , donde n es el número de conductores longitudinales de la malla.

La ecuación que calcula el potencial de paso en la periferia de la malla ( $E_{\text{periferia}}$ ) es:

$$E_{\text{periferia}} = K_s * K_i \frac{I_D}{L} * \rho$$

donde Ks es un factor geométrico de la malla que toma en cuenta el número de conductores n de la malla, el espaciamiento D y la profundidad de enterramiento h

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots \right]$$

El número de términos del paréntesis es igual al número de conductores transversales de la malla.

**Método de las dos capas**

$$E_{\text{paso}} = \frac{157 + 0.7 * C_s * \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$E_{\text{contacto}} = \frac{157 + 3.42 * C_s * \rho_s}{\sqrt{t}}$$

Para calcular Cs se toma el factor K cuya fórmula se aplica en la **tabla 5.10**.

Ecuación	(h) Profundidad de la red en metros	Relación de x = b / a	Valores de:	
			K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
A	0	x	-0.04x + 1.41	0.15x + 5.50
B	√A / 10	x	-0.05x + 1.20	0.10x + 4.68
C	√A / 6	x	-0.05 + 1.13	-0.05x + 4.40

Tabla 5.10 Cálculo de K<sub>1</sub> y K<sub>2</sub>

**5.9.5- Sistema de Malla**

Como se mencionó anteriormente éste es el sistema más usado en México por ser el más seguro y económico, por lo tanto se requiere de una análisis más profundo de dicho sistema y el cual es realizado en los siguientes apartados

**5.9.5.1- Resistividad del Terreno**

Este valor, que deberá ser lo más bajo posible, depende de la resistividad del terreno en el cual está enterrado el sistema de dispersión. La **tabla 5.11** muestra los valores medios de la resistividad del terreno dependiendo del tipo de suelo.

Tipo de tierra	[ohms/metro]
Arcilla, marga, fósil, mantillo húmedo.	10
Arcilla, marga, fósil, mantillo seco.	10 <sup>2</sup>
Arena húmeda	10 <sup>2</sup>
Arena fina, y yeso seco	10 <sup>3</sup>
Basaltos	10 <sup>4</sup>
Roca compacta	10 <sup>5</sup>

Tabla 5.11 Resistividades para Diferentes Tipos de Suelos

La resistencia a tierra se calcula a partir de la fórmula que calcula la resistencia de un cubo de tierra de volumen unitario, o sea, tiene un metro en cada uno de sus ejes

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde:

- $\rho$  = Resistividad del terreno en [ohms/metro].
- L = Longitud del perímetro de la malla en [m].
- A = Área en m<sup>2</sup> de la sección transversal.

### 5.9.5.2- Medición de la Resistividad

La resistividad de un terreno se obtiene con el promedio de varias mediciones efectuadas a lo largo de los cuatro ejes indicados en la **figura 5.20** que representa la superficie de un terreno. Si en los valores obtenidos las dos lecturas de resistividad más separadas varían menos de un 50%, se considera que la resistividad es uniforme y se utiliza el método sencillo, llamado método de una capa.

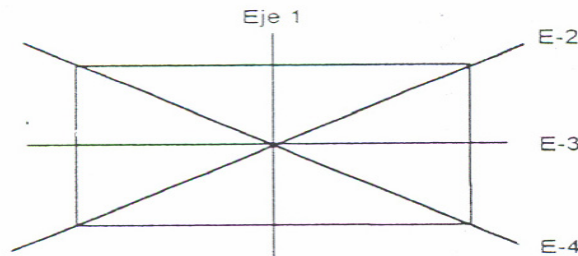


Figura 5.20 Ejes de Medición

Si por el contrario los valores varían en más de un 50%, entonces se consideran dos resistividades diferentes, es decir, se utiliza el método de dos capas que lleva a un cálculo más complicado de la resistencia de la red de tierra.

### 5.9.5.3- Resistencia de la Red de Tierra

Una vez determinada la resistividad del terreno ( $\rho$ ) la resistencia del mismo ( $R_T$ ) depende del área de la red de tierra y de la longitud de la malla ( $L$ ) dada por la suma de todas las ramas de la red. No se puede calcular  $R_T$  mientras no se conozca el valor de  $L$  y al revés. La solución es fijar una malla con un valor arbitrario de  $L$  y se obtiene una resistencia tentativa. Posteriormente se igualan los voltajes de malla y de contacto y de la igualdad resultante se despeja el valor de  $L$ . Este nuevo valor más aproximado, se sustituye en la fórmula que produce una precisión razonable para profundidades de la malla menores de 30 [cm], además no considera el uso de electrodos. Esta fórmula se ocupa cuando se tiene una sola capa.

$$R_T = \frac{\rho}{4 * r} + \frac{\rho}{Lm}$$

Donde:

- $R_T$  = Resistencia de la red de tierra en [ohms].
- $\rho$  = Resistividad del terreno en [ohms/metro].
- $r$  = Radio del círculo que tiene igual área  $A$  que la ocupada por la red de tierra en metros.
- $Lm$  = Longitud total de los conductores de la red de tierra en metros.

Para una estimación más precisa de la resistencia de tierra  $R_T$  cuando se tiene dos capas se considera la resistencia de la malla, más la producida por la suma de todos los electrodos, así que  $R_T$  se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$R_T = R_m + 1.15 * R_e$  ; en este caso conviene utilizar la siguiente fórmula que toma en consideración la resistencia de tierra de un terreno con *dos capas* como se menciona anteriormente y cuyas ecuaciones son:

$$R_T = \frac{R_m * R_e - R_m e^2}{R_m + R_e - 2R_m e}$$

Analizando cada elemento se tiene que:

$$R_m = \frac{\rho_1}{\pi * Lm} \ln \frac{2Lm}{h_1} + K_1 \left[ \frac{Lm}{\sqrt{A}} - K_2 \right]$$

$$R_e = \frac{\rho_a}{2 * n * \pi * L_e} \ln \left[ \frac{8 * L_e}{d_2} - 1 + 2 * K_1 \frac{L_e (\sqrt{n} - 1)^2}{\sqrt{A}} \right]$$

$$R_{me} = \frac{\rho_a}{\pi * L_m} \ln \left[ \frac{2 * L_m}{L_e} + K_1 \frac{L_m}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right]$$

$$\rho_a = \frac{L_e * \rho_1 * \rho_2}{\rho_2 * (H - h) + \rho_1 * (L_e + h - H)}$$

Donde:

$R_m$  = Resistencia de la suma de todos los conductores de la malla en [ohms].

$R_e$  = Resistencia de la suma de todos los electrodos de tierra en [ohms].

$R_{me}$  = Resistencia mutua entre los conductores de la malla y los electrodos en [ohms].

$\rho_1$  = Resistividad del terreno hasta la profundidad  $H$  en [ohms/metro] (primera capa).

$\rho_2$  = Resistividad del terreno de la segunda capa desde  $H$  hacia abajo.

$\rho_a$  = Resistividad aparente vista por el electrodo en [ohms/metro].

$\rho_s$  = Resistividad superficial en [ohms/metro].

$L_m$  = Longitud de los conductores de la malla en metros.

$L_e$  = Longitud total de los electrodos en metros.

$h$  = Profundidad de la red en metros.

$h_1$  = Coeficiente de la profundidad de enterramiento  $\sqrt{d_1} * h$ , para mallas superficiales  $h = 0.5 d_1$ .

$A$  = Área de la red en  $m^2$ .

$n$  = Número de electrodos en el área  $A$ .

$K_1$  y  $K_2$  = Factores de reflexión. Se calculan con ecuaciones lineales y dependiendo de la geometría del sistema ( $a$ ,  $b$  y  $h$ ). **Figura 5.21 4.10** y de la **tabla 5.10**.

$d_2$  = Diámetro de los electrodos de la malla en metros.

$H$  = Grueso de la capa superior en metros.

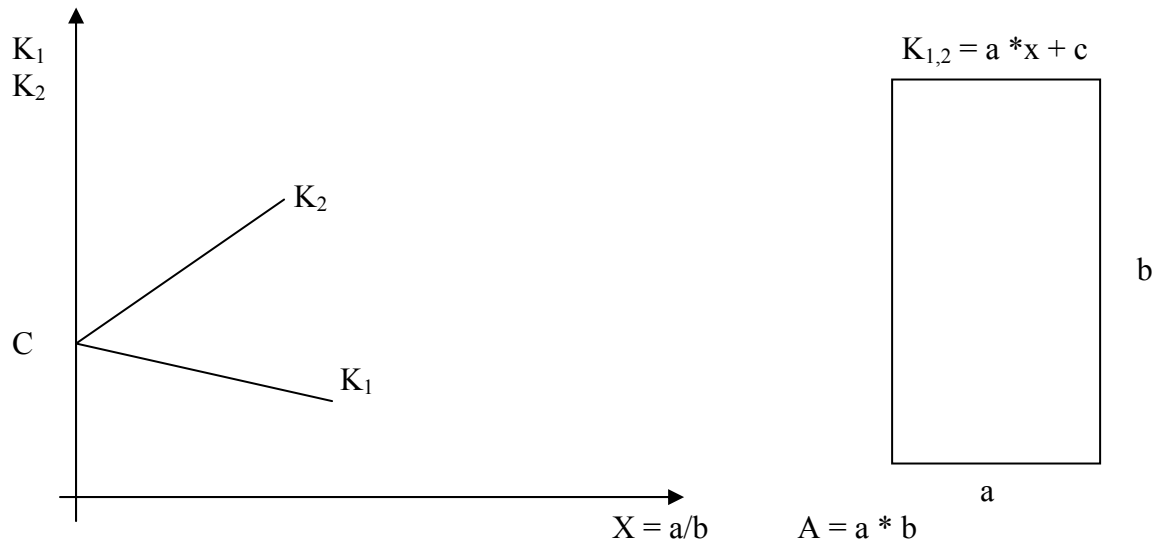


Figura 5.21

#### 5.9.5.4- Corrientes Máximas de Cortocircuito y Factores de Corrección

Para determinar el valor correcto de la corriente de falla a tierra, que se utiliza en el cálculo del sistema de tierras, se necesita:

- Determinar el tipo de falla posible a tierra que produzca el flujo máximo de corriente entre la malla del sistema de tierras y la tierra adyacente.
- Determinar el valor efectivo máximo de la corriente asimétrica de falla a tierra “I” entre la malla de tierra y la tierra circundante en el instante de iniciarse la falla.

Existen dos factores de corrección que se usan en la determinación de la corriente máxima de falla a tierra ocupada para el cálculo del sistema de tierras. Uno de estos factores es conocido como factor de decremento “D” el cual considera el efecto del desplazamiento de la componente de corriente directa y la atenuación de las componentes transitorias de alterna y directa de la máxima corriente de falla. El valor de “D” se puede obtener a partir de la siguiente **tabla 5.11**.

Frecuencia 60 Hz.	Duración de la falla y del choque eléctrico t seg.	X''/R			
		10	20	30	40
0.5	0.008	1.58	1.65	1.67	1.69
3	0.05	1.23	1.38	1.46	1.52
6	0.1	1.13	1.23	1.32	1.38
12	0.2	1.06	1.12	1.18	1.23
18	0.3	1.04	1.08	1.12	1.16
>30	>0.5	1.03	1.03	1.04	1.05

Tabla 5.12 Factores de Decremento (D)

El otro factor es conocido como factor de crecimiento ( $f_c$ ). Resulta prudente dar un margen adecuado que estime los valores futuros de las corrientes de falla, por aumento de la capacidad del sistema eléctrico y esto es logrado considerando este factor. A partir de ambos factores se obtiene la corriente máxima que se utiliza en el cálculo de la red de tierra por medio de la expresión:

$$I_D = D * f_c * I_{cc}$$

### 5.9.6- Métodos de Diseño

Como se menciona en apartados anteriores existen dos métodos para el diseño eficiente de una red de tierras en forma de malla, y los cuales son explicados con detalle a continuación.

#### 5.9.6.1- Método de una Capa

Este método está basado en establecer límites seguros de diferencias de potencial que pueden existir en condiciones de falla, entre puntos que pueden ser tocados por algún ser humano.

**Cálculo de la Sección del Conductor.** Cada uno de los elementos del sistema de tierras debe soportar la corriente de falla máxima, durante un tiempo establecido. Estos elementos incluyen los conductores de la propia malla, las conexiones y los electrodos. La ecuación que permite obtener la sección de conductor requerido y que evita la fusión, en función de la máxima corriente de falla y del tiempo máximo de duración es la siguiente:

$$C = I \sqrt{\frac{35 * S}{\log \left[ \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right]}}$$

Donde:

I = Valor máximo de la corriente que circula por la red en amperes.

C = Sección de cobre en circularmilis.

S = Tiempo durante el cual circula la corriente I en segundos.

$T_m$  = Temperatura máxima permisible en [°C]. Generalmente se usa 1083 [°C] que es la temperatura de fusión del cobre.

$T_a$  = Temperatura máxima ambiente en [°C]., se toma 40 [°C].

La **tabla 5.13** permite seleccionar en función de la ecuación anterior, la sección de cobre necesaria a partir del tiempo de duración de la falla. Para hacer la red más económica se acostumbra utilizar el tiempo de 0.5 segundos es decir, 30 ciclos.

**Cálculo de las Tensiones de Paso, Contacto y de Malla.** El cálculo de estas variables se realiza con las formulas expuestas en el apartado de corrientes y voltajes tolerables por el ser humano en el método de una capa.

**Cálculo de la longitud Total del Conductor.** La longitud (L) que se requiere para tener una red de tierra segura se obtiene igualando el valor de  $E_m$  con el valor de  $E_{\text{contacto}}$  obteniéndose la siguiente expresión donde sus términos fueron definidos con anterioridad:

$$L = \frac{K_m * K_i * \rho * \sqrt{t}}{116 + 0.17 * \rho_s}$$

Se dan casos donde la longitud calculada mediante la ecuación anterior es demasiado grande como para ser técnica o económicamente realizable. En estos casos se recomienda tomar en cuenta todos los conductores que deriven la corriente de falla.

### 5.9.6.2- Método de las dos Capas

Se considera como el caso general que sirve para calcular la resistencia de terrenos formados por capas de resistividades diferentes. La prueba de resistividad determina el modelo de suelo por utilizar. El cálculo de la red de tierra por este método considera que el sistema está formado por una malla de conductores horizontales, más un conjunto de conductores enterrados en forma vertical (electrodos) que se distribuyen en el perímetro de la red.

**Potencial de Malla.** Este parámetro se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$E_m = K_m * K_i * \rho * \frac{I_D}{L}$$

En este método los factores se determinan de distinta manera que en el método de una capa, teniéndose las siguientes expresiones:

$$K_m = \frac{1}{2 * \pi} \left[ \ln \left[ \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D + 2h)^2}{8D * d} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{Kh} \ln \left[ \frac{8}{\pi (2n - 1)} \right] \right]$$

$K_{ii} = 1$  en mallas con electrodos o a lo largo del perímetro, en las esquinas.

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \quad ; \text{ en mallas sin electrodos}$$



$n = (A * B)^{1/2}$  ; Donde A = número de conductores longitudinales, B = número de conductores transversales, ambos en mallas rectangulares.

$$K_h = 1 + \frac{h}{H_o} \quad \begin{array}{l} h = \text{Profundidad de la malla en metros.} \\ H_o = 1 \text{ metro} \end{array}$$

$$K_i = 0.656 + 0.172 * n$$

**Cálculo de Potenciales de Paso y Contacto.** Estos se determinan con las expresiones mencionadas en el apartado de rangos tolerables de corriente y voltaje para en el cuerpo humano en el método de dos capas.

**Longitud de los Conductores.** Se puede considerar la siguiente expresión para calcular la longitud de cables más electrodos.

$$L = L_m + 1.15 * L_e$$

Donde:

$L_m$  = Longitud total de los conductores de la malla.

$L_e$  = longitud total de todos los electrodos = 1.15 \* ancho del terreno \* longitud del electrodo.

El 15% es un factor que toma en cuenta que la densidad en los electrodos próximos al perímetro de la malla es mayor.

**Potencial en la Periferia de la Malla.** Se calcula con la expresión:

$$E_{\text{periferia}} = K_s * K_i \frac{I_D}{L} * \rho$$

Donde:  $K_s$  es un factor geométrico de la malla que en este método se calcula de la siguiente forma:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{[1 - 0.5^{(n-2)}]}{D} \right]$$

$n_s$  = número d electrodos en el lado de mayor longitud lado de mayor longitud.

$$K_i = 0.656 + 0.172 * n_s$$

Cuando  $h$  varía entre 0.3 y 2.50 metros, donde  $n$  es el mayor número de conductores de los dos ejes del rectángulo. El valor del potencial en la periferia de las mallas depende de la profundidad de la malla, a través del factor  $K_s$ , y disminuye rápidamente a medida que se incrementa la profundidad de la red ( $h$ ). Para mallas cuadradas, o sea  $A = B$  debe considerarse: Si  $n < 2.5$ , la  $h$  debe escogerse en 0.30 y 2.5 metros  $d < 0.3h$  y  $D > 2.5$

Finalmente para obtener la longitud mínima de los conductores que mantienen el potencial de contacto dentro de los límites de seguridad, se puede utilizar la misma fórmula que para el método de una capa.

$$L = \frac{K_m * K_i * \rho * \sqrt{t}}{116 + 0.17 * \rho_s}$$

### 5.9.7- Ejemplo del Diseño de un Sistema de Tierras

Diseñar la red de tierra para una instalación la cual tiene dos bancos de transformadores de 15 [KVA] cada uno,  $X = 7.5\%$ , 115 / 16 [KV] conexión delta-estrella con reactor de 4 [ohms]. Verificar los voltajes de paso y de contacto que no sobrepasen los valores límites permitidos por el cuerpo humano, además que red de tierra no sobrepase los valores de normas. Se utilizará el método de las dos capas.

Ancho del local = 24 [m]  
 Longitud de la red = 45 [m] =  $b$   
 Ancho de la red = 27 [m] =  $a$   
 Corriente de cortocircuito = 6500 [A] =  $I_{cc}$   
 Resistividad del terreno = 100 [ohms/metro] =  $\rho$   
 Resistividad superficial = 3000 [ohms/metro] =  $\rho_s$   
 Profundidad de la red = 0.70 [m] =  $h$   
 Tiempo de duración de la falla = 18 [ciclos] =  $t$   
 Relación X/R en el punto de falla = 20  
 Longitud de los electrodos = 3 [m]  
 Diámetro de los electrodos = 0.0159 [m]  
 Factor de crecimiento = 1 =  $f_c$   
 Temperatura máxima de la red = 145 [°C] =  $T_m$ .

a) Como primer paso se obtiene la corriente de diseño  $I''$

$$I'' = D * f_c * I_{cc} = 1.07 * 1.0 * 6500 = 6955 \text{ [A]}$$

$D = 1.07$  para  $t = 0.3$  segundos [18 ciclos]

b) Se obtiene el factor de reflexión  $K$

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} = \frac{100 - 3000}{100 + 3000} = -0.935$$

Con la **figura 5.22** se toma la curva correspondiente al valor de  $K = -0.935$  y donde la cruza la curva con la abscisa ( $h_s$ ) corta el eje de las ordenadas ( $C_s$ ), que par nuestro caso es  $C_s = 0.7$ . A este factor se le llama factor de reducción.

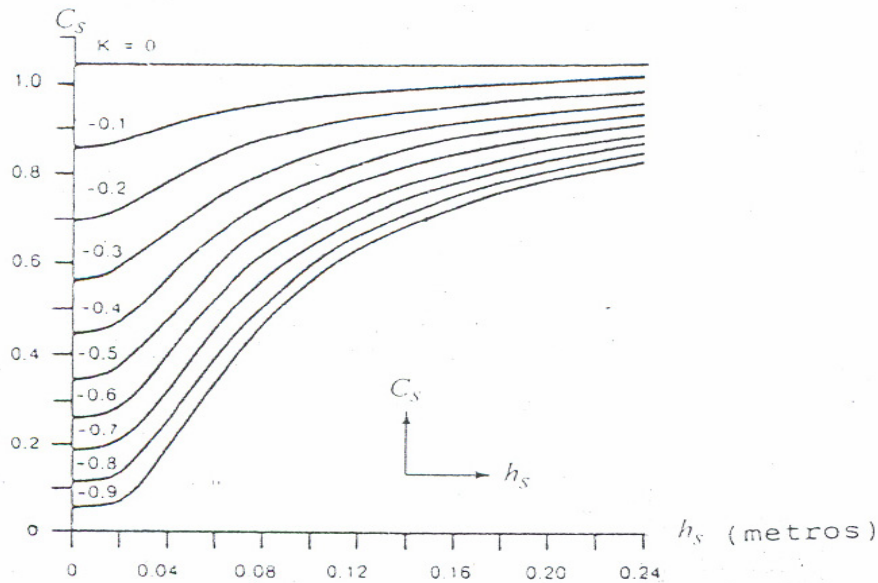


Figura 5.22 Determinación del valor K

Referencia: RAULL MARTÍN José, Diseño de subestaciones eléctricas, 2a Edic., Mcgraw-Hill.

c) Cálculo de los potenciales tolerables. Para el método de dos capas se utilizan las ecuaciones planteadas anteriormente.

$$E_{\text{paso}} = \frac{157 + 0.7 * C_s * \rho_s}{\sqrt{t}} = \frac{157 + 0.7 * 0.7 * 3000}{\sqrt{0.3}} = 3012.9 \text{ [v]}$$

$$E_{\text{contacto}} = \frac{157 + 3.42 * C_s * \rho_s}{\sqrt{t}} = \frac{157 + 0.17 * 0.7 * 3000}{\sqrt{0.3}} = 952 \text{ [v]}$$

d) Longitud tentativa de la red de tierra, se utiliza una cuadrícula de 3\*3 metros de largo. ( ver **figura 5.23**).

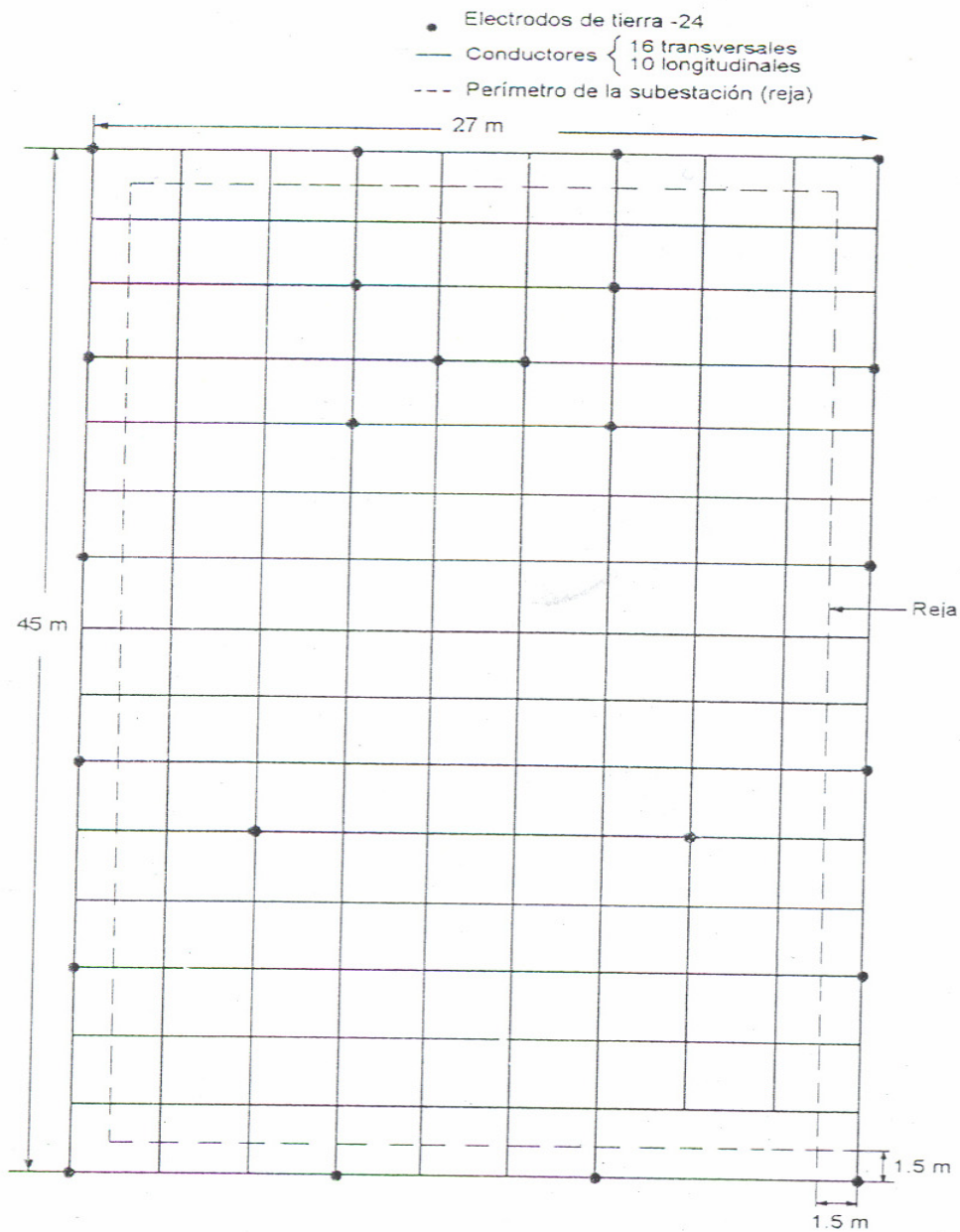


Figura 5.23 Longitud de la Red de Tierra

$$\text{Conductores transversales} = 16 * 27 = 432 \text{ [m]}$$

$$\text{Conductores longitudinales} = 10 * 45 = 450 \text{ [m]}$$

$$\underline{\underline{L_m = 882 \text{ [m]}}}$$

$$\text{e) Longitud de los electrodos (L_e) = 1.15 * 24 * 3 = 82.2 \text{ [m]}$$

$$\text{f) Longitud total de la red} = L_m + L_e = 964.8 \text{ [m]}$$

g) Cálculo del potencial de malla (Em) en la red.

$$n = (A * B)^{1/2} = (16 * 10)^{1/2} = 12.65$$

Cálculo de Kh.

$$Kh = (1 + 0.7)^{1/2} = 1.3$$

Cálculo de Km.

$$Km = \frac{1}{6.28} \left[ \ln \left[ \frac{3^2}{16 * 0.7 * 0.0134} + \frac{(3 + 2 * 0.7)^2}{8 * 3 * 0.134} - \frac{0.7}{4 * 0.0134} \right] + \frac{1}{1.3} \ln \left[ \frac{8}{3.14 (2 * 12.65 - 1)} \right] \right] = 0.488$$

Cálculo de Ki.

$$Ki = 0.656 + 0.172 * n = 0.656 + 0.172 * 12.65$$

Ki = 2.83 ; por lo tanto:

$$Em = \frac{0.468 * 2.83 * 100 * 6955}{964.8} = 949.3 \text{ [v]}$$

h) Potencial en la Periferia de la Malla. Se calcula con la expresión:

$$E_{\text{periferia}} = Ks * Ki \frac{I_D}{L} * \rho = \frac{6955 * 0.4194 * 3.408 * 100}{964.8} = 1030.3 \text{ [v]}$$

Calculando Ks

$$Ks = \frac{1}{3.14} \left[ \frac{1}{2 * 0.7} + \frac{1}{3 + 0.7} + \frac{1 (1 - 0.5^{(n-2)})}{3} \right] = 0.4194$$

Calculando  $K_i$ , con  $n_s = 16$  ya que es el lado de mayor longitud de la malla.

$$K_i = 0.656 + 0.172 * 16 = 3.408$$

Se puede observar que  $E_m < E_{\text{contacto}}$  lo cual siempre debe ocurrir para tener un sistema de tierras bien diseñado y seguro, además se debe asegurar que  $E_{\text{periferia}} < E_{\text{paso}}$  lo cual ocurre.

### 5.9.7.1- Cálculo de $R_T$

a) Se calcula la profundidad de enterramiento  $h_1$

$$h_1 = (d_1 * h)^{1/2} = (0.0134 * 0.7)^{1/2} = 0.0968$$

b) Relación longitud-ancho

$$a / b = 45 / 27 = 1.667$$

La profundidad ( $h$ ) que se fijó en el problema es de 0.6 [m], la ecuación B de la **tabla 5.22** utilizada para encontrar los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$  se utiliza para profundidades entre  $h = 0$  y  $h = 3.40$  [m] que es nuestro caso. Con esta tabla se determina los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$  utilizando el renglón de la ecuación B que como se mencionó es la que abarca el rango del dato que se está manejando 0.6 [m]. Por lo tanto:

$$K_1 = -0.05 * b/a + 1.20 = 1.2$$

$$K_2 = 0.10 * b/a + 4.68 = 4.85$$

c) Calculando cada una de las resistencias que intervienen en la ecuación para determinar  $R_T$  en el método de las dos capas, se obtienen los siguientes valores:

$$R_T = \frac{R_m * R_e - R_{me}^2}{R_m + R_e - 2R_{me}} = \frac{1.202 * 2.044 - 1.234}{1.202 + 2.044 - 2.222} = 1.19$$

Analizando cada elemento y tomando en cuenta que:

$$\rho_a = \rho_1 = \rho_2 = 100 \text{ [ohms/metro]}$$

$$R_m = \frac{100}{3.14 * 882} \ln \frac{2 * 882}{0.0968} + 1.12 \frac{882}{\sqrt{1215}} - 4.85 = 1.202$$

$$R_e = \frac{100}{2 * 24 * 3.14 * 3} \left[ \ln \left[ \frac{8 * 3}{0.0159} \right] - 1 + 2 * 1.12 \frac{3 (\sqrt{24 - 1})^2}{\sqrt{1215}} \right] = 2.044$$

$$R_{me} = \frac{100}{3.14 \cdot 882} \left[ \ln \left[ \frac{2 \cdot 882}{3} \right] + 1.12 \frac{882}{\sqrt{1215}} - 4.85 + 1 \right] = 1.111$$

Evaluando estos valores en la ecuación correspondiente para obtener  $R_T$ , obtenemos que, nuestra  $R_T = 1.19$  y como el valor  $R_T < 5$  [ohms] es el valor máximo permitido por la norma IEEE 1986, nuestros cálculos están elaborados de una manera correcta y cumple nuestro sistema con la norma.

## **CAPITULO 6. NORMAS Y REGLAMENTACIÓN**

Dentro de cualquier instalación eléctrica es de suma importancia el conocer y seguir las normas y reglamentos que rijan este tipo de proyectos en el área donde se realicen. Dichas normas son tanto técnicas como de seguridad, describiendo cada una de estas por separado.

### **6.1- Normas Técnicas en Instalaciones Eléctricas**

La norma que actualmente rige las instalaciones eléctricas dentro de Centros Comerciales en México es la NOM-001-SEDE-1999 Instalaciones Eléctricas (utilización). Dicha norma fue armonizada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas (CCONNIE), con el apoyo del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM) entre otras instancias.

El aplicar esta norma tiene como objetivo el establecer las disposiciones y especificaciones de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades; en lo referente, a protección contra choque eléctrico, efectos térmicos, sobrecorrientes, corrientes de falla, sobretensiones, incendios, entre otros.

La aplicación de la NOM es debida a que cubre las instalaciones eléctricas en: propiedades industriales, institucionales, cualquiera que sea su uso, públicas y privadas y en cualquiera de los niveles de tensiones eléctricas de operación, incluyendo las utilizadas para equipo eléctrico conectado por los usuarios. Instalaciones en edificios utilizados por las empresas suministradoras, tales como edificios de oficinas, almacenes, estacionamientos, talleres mecánicos, etc.

Para la correcta aplicación de esta NOM se recomienda, de ser posible consultar los siguientes documentos para contar con una mayor seguridad.

- Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.
- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento.
- NOM-008-SCFI, Sistema General de Unidades de Medida.
- NOM-024-SCFI, Información comercial-aparatos electrónicos, eléctricos- Instructivos y garantías para los productos de fabricación nacional e importada.
- NOM-050-SCFI, Información comercial del envase o su etiqueta que deberán ostentar los productos de fabricación nacional y extranjera.
- NMX-J-098, Sistemas Eléctricos de Potencia-Suministro-Tensiones eléctricas normalizadas.



### 6.1.1- Códigos Internacionales

El NEC (National Electric Code) es una guía nacionalmente aceptada para la instalación y operación segura de conductores y equipo eléctrico, es la base esencial para otros códigos o reglamentos de seguridad eléctrica; este código se revisa actualmente cada 3 o 4 años y actualmente es una norma aceptada por el American National Standards Institute (ANSI), y nos sirve como apoyo para poder llevar al cabo nuestro proyecto de una mejor manera.

Los requerimientos de alambrado eléctrico mencionados, son una guía de vital importancia para construcciones del tipo comercial. El NEC es publicado y avalado por el National Fire Protection Association (NFPA), por el American National Standards Institute (ANSI). El código no representa una especificación de diseño pero permite identificar las necesidades mínimas de seguridad y de utilización de la energía eléctrica.

Aunque el NEC es la llave hacia las prácticas de seguridad eléctrica, en Estados Unidos existen otros códigos que son usados también en cuestiones eléctricas, muchos de estos pueden ser encontrados en las listas de publicaciones del ANSI que es el órgano encargado de coordinar la revisión de estándares propuestos entre todas las sociedades afiliadas para asegurar que éstas tengan la aprobación de la mayoría. y del IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). La IEEE publica cientos de estándares relacionados con la seguridad, mantenimiento, verificación del equipo, aplicación del equipo de manera correcta, etc. Las siguientes publicaciones son recomendaciones que se sugiere verificar para contar con un proyecto de mejor calidad.

- IEEE Std 141-1986, IEEE Recommended Practice for Electrical Power Distribution for Industrial Plants.
- IEEE Std 242-1986, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.
- IEEE Std 446-1987, IEEE Recommended Practice Emergency and Standby Power System for Industrial and Commercial Applications (ANSI).

El National Electrical Manufacturers Association (NEMA) representa a los fabricantes de equipo, sus publicaciones sirven para estandarizar con seguridad diseños futuras de equipo eléctrico. Algunos estándares NEMA contienen información de aplicaciones importantes para equipo eléctrico como motores, interruptores etc.

## **6.2- Normas de Seguridad**

Seguridad de la vida y preservación de la propiedad son dos de los más importantes factores en el diseño de sistemas eléctricos, ambos son esenciales en construcciones del tipo comercial debido a la alta afluencia de público. La seguridad tiene como objetivo primordial evitar el accidente, conseguir el bienestar familiar, aumentar la producción en el trabajo; significa progreso técnico, ahorro de vidas humanas; pero la seguridad debe ser preventiva para reducir los riesgos, el accidente.

La seguridad en el manejo de dispositivos eléctricos es algo que no debe pasarse por alto, y que no es difícil una vez que sus conceptos han sido comprendidos. Se han elaborado códigos de seguridad que son procedimientos detallados, específicos extensos para la construcción y operación de sistemas eléctricos con plena prevención de daños potenciales y constituyen usualmente una obligación de carácter legal.

Existen varios códigos que proporcionan reglas como mínimas medidas de seguridad de las personas y de la propiedad. La seguridad del personal es clasificada en dos categorías:

- a) Seguridad para mantenimiento y para personal de operación.
- b) Seguridad para público en general .

Seguridad para mantenimiento se logra por medio del propio diseño de la instalación y una selección de los equipos adecuada. Para la seguridad de público en general que los equipos interruptores se activen al menor contacto, esto se logra delimitando por medio de señalamientos las zonas peligrosas, un buen diseño del sistema de tierras, teniendo voltajes de falla limitados entre otros.

### **6.2.1- Accidentes Eléctricos**

Existen dos tipos de problemas: primero el de proteger al personal que opera los sistemas y está calificado para hacerlo. Esto incluye el entrenamiento de los operarios de todos los niveles, en métodos y actitudes de seguridad. Debe proporcionarse equipo de trabajo adecuado. El ambiente laboral debe hacerse y conservarse seguro. El entrenamiento es importante en el caso de dirigentes al igual que el de los ingenieros.

El segundo problema consiste en proteger a aquellos trabajadores y empleados que no están calificados para trabajar en sistemas eléctricos y al público en general. La esencia de esta protección es evitar que personal no calificado tenga accesos a partes vivas de un sistema eléctrico o en general, a cualquier parte de un sistema que opere con potenciales arriba de 600 volts. El NEC define a una “persona calificada” como aquella que está familiarizada con la construcción y operación del equipo y de los riesgos involucrados.

Existen tres tipos de daños corporales contra los cuales se debe proteger al personal:

1.- Muerte o lesiones por electrocución: esto es por hacer contacto directo con voltajes superiores a 20 o 30 volts. Cuanto más alto es el voltaje, tanto mayor es el peligro.

2.- Quemaduras por arcos eléctricos: son frecuentemente causados por cortos circuitos cuando los conductores se manejan energizados.

3.- Lesiones a los ojos ya sea por la radiación de un arco intenso frente a ellos, o por la salpicadura de metal fundido en la proximidad y originada por la fuerza explosiva de un cortocircuito.

A estos riesgos eléctricos peculiares hay que agregar dos más que están relacionados y que son:

4.- Por caída o golpes similares (desde una escalera) causados por un choque eléctrico u otro efecto de esta naturaleza; esto puede involucrar a dos personas trabajando juntas.

5.- Lesiones por el contacto con maquinaria movida o controlada eléctricamente, por ejemplo, un motor que arranca en forma inadvertida.

#### **6.2.1.1- Contactos Eléctricos**

Dividimos los contactos eléctricos en dos grandes grupos: contactos directos y contactos indirectos.

**Contactos Directos.** Se produce cuando una persona toca o se pone en contacto involuntariamente o accidentalmente con un conductor, instalación, elemento eléctrico, máquina, enchufe, etc., bajo tensión directa. Para prevenirse en tales casos se debe demostrar mucha precaución y no tocar partes conductoras bajo tensión y ser conscientes del peligro y desconectar siempre el interruptor general dejando la línea segura para y trabajar sin peligro. Son muchas las medidas que se deben adoptar como prevención de los accidentes eléctricos: por ejemplo, separar los conductores y líneas bajo tensión, adoptar distancias mínimas de seguridad, anchura de paso, altura de seguridad, pasillos, protecciones aislantes, barreras, armarios, cajas, precaución y prevención ante cualquier maniobra por pequeña que sea. La prevención de cada caso puede resolverse tomando siempre algunas medidas de las citadas u otras con mayor amplitud y seguridad frente a los contactos directos e indirectos.

**Contactos Indirectos.** Son aquellos que se producen al tocar partes metálicas conductoras, elementos o máquinas, carcasas, etc., que no de deben estar sometidas a tensión directa, pero que sí lo están por haber quedado bajo tensión accidental. Presenta una diferencia de potencial  $V_d$  derivada a consecuencia de un defecto de aislamiento, rotura de conductor, un contacto directo con las partes metálicas, un calentamiento, etc. ( **ver figura 6.1**).

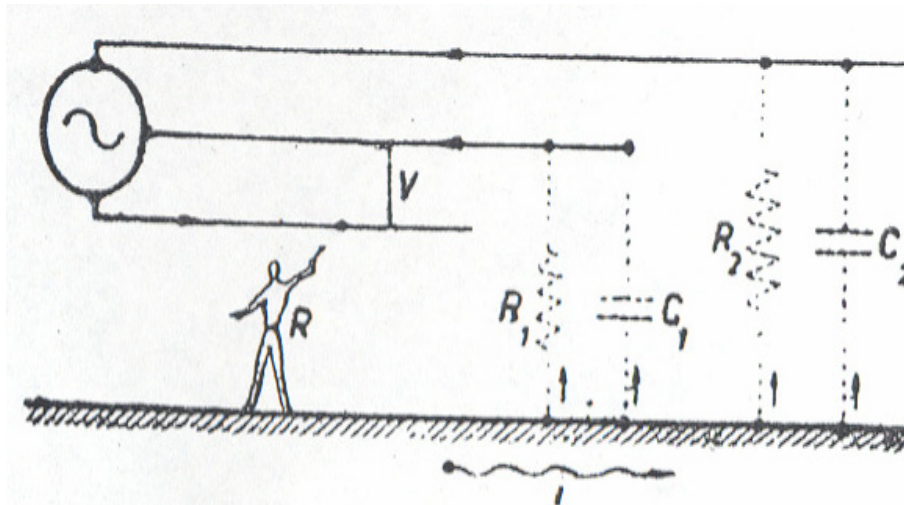


Figura 6.1 Contacto Directo

Referencia: WILLIAM H. Roadstrum, Introducción a la ingeniería eléctrica, 3a Edic., Harla.

Los voltajes ordinariamente empleados, comprendidos entre 100 y 300 volts, no son peligrosos salvo en determinadas condiciones y por eso son también los más propicios a provocar desgracias, por que se cree que no es preciso observar ninguna aunque elemental, precaución. Hay que decir que el peligro para los organismos vivos depende de la intensidad de la corriente que los puede atravesar; o bien (lo que es equivalente, puesto que esta intensidad es proporcional a la diferencia de potenciales) de la diferencia de potenciales a que el cuerpo está sometido, pero no del potencial que el organismo puede haber alcanzado.

Por esta causa una persona puede mantenerse impunemente suspendida de un hilo, o en general con una estructura metálica que, por una razón cualquiera, se encuentre bajo tensión. En las instalaciones de corriente continua una persona que entre en contacto con hilo de baja tensión que forma parte de una instalación completamente aislada, no debe experimentar ningún efecto; pero si el aislamiento de la red, como suele acontecer, no es perfecto, la resistencia de aislamiento con respecto a la tierra no es infinita y puede suceder que el contacto, aun con un solo conductor, dé origen a consecuencias fatales.

En el caso de corriente alterna es necesario también tener en cuenta, como posible vía de retorno, la capacidad de los hilos, con respecto a la tierra, la cual se considera en paralelo con la resistencia  $R$  de aislamiento. Para poder tocar un conductor bajo tensión, sin peligro, hay que conseguir que sea prácticamente despreciable la corriente a través del cuerpo, aislándose la propia persona de la tierra, con medios más apropiados cuanto mayor es la tensión del conductor, con respecto a la tierra; se deduce que un contacto es mortal, cuanto mayor es la tensión y cuanto menor es la resistencia total de aislamiento que se opone al paso de la corriente, a través del cuerpo. Influye también el tiempo de duración del contacto, ya que en el ultimo los efectos (térmicos y químicos) dependen del trabajo eléctrico que la corriente produce en el interior de los tejidos, por esta razón, un contacto demasiado corto con una tensión muy elevada puede no ser mortal; mientras que podría serlo un contacto prolongado con baja tensión, sí las condiciones son tales que permitan pasar a través del cuerpo una corriente de suficiente intensidad.

Se ha comprobado que una intensidad de 0.03 [A] de corriente continua es el límite máximo, ordinariamente soportable, sin consecuencias para el cuerpo humano; una corriente de 0.1 [A] durante algunos segundos es, en la mayor parte de los casos mortal. Con corriente alterna los valores antes indicados vienen aun reducidos, dividiéndolos por  $\sqrt{2}$  ya que ciertos efectos fisiológicos están en relación con el valor máximo y no con el valor eficaz de la corriente.

La resistencia R que una persona presenta al paso de la corriente, se puede considerar como la suma de dos resistencias distintas, que son:

1.- Una, relativamente constante, propia del cuerpo, que llamaremos  $R_i$  y que vale aproximadamente 500 [ohms], medida entre las manos en paralelo y los pies.

2.- Una, variable con las circunstancias, llamada  $R_e$  y representa la resistencia de contacto entre el cuerpo y las dos partes del circuito (corriente tierra y el hilo bajo tensión) entre las cuales existen la diferencia de potencial.

La resistencia  $R_e$  varía entre grandes límites, en condiciones normales medias, la resistencia de la piel seca con un electrodo metálico es de unos 50,000 [ $\Omega/\text{cm}^2$ ] de superficie con corriente alterna y cerca de 15000 [ $\Omega/\text{cm}^2$ ] con corriente continua. El límite de seguridad generalmente en la actualidad admitido es de unos 25 volts, tanto para la corriente continua como para la alterna.

La corriente que pasa por el cuerpo tiene el valor :

a) En el caso de corriente continua:

$$I = \frac{V}{R + R_1}$$

Porque tratándose de corriente continua la capacidad no tiene ningún efecto. Supuesto que  $V = 500$  [v] y  $R = 1000$  [ $\Omega$ ] (caso más desfavorable), se ve que para que (I) no supere el valor peligroso de 0.03 amperes, basta que  $R_1$  sea un poco superior a 15000 [ $\Omega$ ]; es decir, es necesario un valor de aislamiento bastante bajo, para hacer segura la instalación. Este punto fue tratado en el capítulo V, pero es importante retomarlo para entender de una mejor forma los conceptos manejados en este capítulo.

b) Con corriente alterna monofásica, es preciso tener en cuenta la capacidad  $C_1$  con respecto a tierra, del conductor no tocado, la cual actúa en paralelo con la resistencia de aislamiento  $R_1$ . También si se admite que la resistencia de aislamiento  $R_1$  sea infinita tendremos:

$$I = \frac{V}{Z} = \omega * C * V$$

Y puesto que  $V = 300$  volts eficaces y  $f = 60$  ciclos por segundo, se ve que con objeto de que  $I$  no supere el valor peligroso de  $0.03/\sqrt{2}$  amperes, deberá ser  $C_1$  menor que  $0.22$  microfaradios, condición difícil de alcanza, si la instalación forma parte de una red extensa, conectada a distribuciones por cables. Por el contrario si  $C_1$  fuese despreciable, sería necesario que  $R_1$  fuese mayor de  $20,000 [\Omega]$  para eliminar todo peligro, o sea, un aislamiento mayor que el requiere para la corriente continua a  $500$  volts.

### **6.2.2- Protecciones dentro de las Instalaciones Eléctricas**

Existen varios tipos de protección que se deben cumplir de una manera eficiente dentro de cualquier instalación y las cuales son explicadas a continuación.

***Protección por Aislamiento:*** Consiste en interponer una conveniente resistencia de aislamiento entre el elemento de tensión y la persona que lo debe maniobrar; es decir, entre éste y la tierra. El valor mínimo es esta resistencia debe ser tal, que la posible corriente que atravesase el cuerpo no supere un miliampere; debe ser, por consiguiente, al menos igual en ohms a  $1000$  veces la tensión de la instalación el volts si se prescindie, por prudencia de la resistencia de aislamiento propia de la instalación con respecto a tierra; y de la resistencia del cuerpo humano.

Con tensiones bastante elevadas (más de  $40 [KV]$ ) es necesario, además, tener presente los fenómenos de capacidad y la rigidez dieléctrica del medio aislante usado. En las instalaciones de baja tensión, la acción protectora con respecto a las personas se confía únicamente al revestimiento de los hilos; para la alta tensión esto no es suficiente y por ello entre los conductores, en general desnudos, se asegura el aislamiento por un espacio de aire adecuado y según los casos, para las maniobras se prescriben medios aislantes especiales.

***Protección con Puesta a Tierra de las Partes Metálicas.*** La parte metálica de una instalación de alto voltaje, que normalmente no está sometida a tensión (como la carcasa externa de los transformadores de tensión y de corriente, o el revestimiento metálico de los cables), puede adquirir potenciales peligrosos por inducción electroestática. Como medida de precaución basta conectar a tierra la armadura y los secundarios de los referidos transformadores.

***Peligros de Sobretensión en las Instalaciones de Baja Tensión.*** La cautela indicada para los usuarios de instalaciones de baja tensión resulta del todo insuficiente cuando por causas externas dichas líneas son objetos de sobretensiones. A los efectos del peligro que presentan tales sobretensiones, se pueden dividir éstas en momentáneas y permanentes. Las primeras son, ordinariamente, de origen atmosférico, y preocupan más por los daños que pueden producir a la maquinaria y al instalación en general, que a las personas, dada su extrema brevedad; por esta razón son más peligrosas las sobretensiones permanentes que pueden producirse por contacto con una próxima línea de alta tensión, o por influencia electroestática; ejercida por dicha línea sobre la baja tensión. Algunas de las causas más conocidas son:

Deficiencia de asilamiento entre líneas de alta y baja tensión: Estas condiciones pueden verificarse en las cabinas de transformación y en todas aquellos locales donde se encuentren próximas líneas de alta tensión y baja tensión, especialmente si van montadas sobre la misma pared, es por ello que se deben hacer buenas conexiones a tierra, es decir poner un punto apropiado del circuito de baja tensión con conexión a tierra.

Contacto directo entre un conductor de alta tensión y uno de baja tensión: Este es el caso más peligroso, por que no siempre resulta una protección suficiente la puesta a tierra de un punto del circuito de baja tensión. En efecto, si la línea de baja tensión está muy extendida, la puesta a tierra de uno de sus puntos pueden tener alguna eficacia en la parte de la instalación próxima al punto puesto a tierra, pero no para las más alejadas.

## CONCLUSIONES

Al realizar este trabajo de tesis se pudo comprobar que los libros o guías escritos actualmente que involucran el diseño e implementación de instalaciones eléctricas dentro de Centros Comerciales CC no cubren todas las necesidades que éstas requieren; es por ello que se pensó en desarrollar este tema el cual es de gran importancia dentro del campo de la ingeniería eléctrica.

Nuestro trabajo de tesis se basa en conceptos básicos y sencillos de entender, lo cual es el primer punto a cubrir dentro de nuestro trabajo de investigación, que es el manejar tanto conceptos como fórmulas de una manera entendible lo cual provoca que la gente involucrada dentro del mundo de las instalaciones eléctricas en un CC ponga una mayor atención al momento de realizar el diseño, seleccionar el equipo o realizar la implementación de los sistemas.

Un segundo punto de suma importancia, que es abarcado dentro de nuestra tesis es el de la seguridad, entendiendo que la seguridad será tanto para la instalación como para el público y trabajadores que desarrollen sus labores dentro del CC, es por ello que se puso un gran énfasis en el cálculo de la carga de los diferentes equipos que tendrá que manejar nuestra instalación, con esto se logra conocer en números reales la magnitud de la carga que tendrán que manejar nuestros sistemas.

A partir de estos datos se seleccionan los distintos dispositivos que tomarán parte dentro del proyecto como son: conductores, canalizaciones, transformadores, bancos de capacitores, pero sobre todo el equipo de protección que será utilizado. Con respecto al equipo de protección se debe mencionar que fue a este tema al cual se le puso una mayor atención, esto debido a que como su nombre lo indica la protección y seguridad tanto de personas como de la propia instalación debe ser el punto medular al desarrollar y llevar a cabo un proyecto de esta índole; es por ello que nuestro equipo y sistema de protección está basado tanto en lo que se conoce como el cálculo de la corriente de cortocircuito, así como en la coordinación de los diferentes dispositivos que intervienen dentro del sistema tales como: relevadores, fusibles, apartarrayos, sistema de tierras entre otros.

Con este análisis podemos asegurar que al realizar la instalación eléctrica dentro de un CC sin importar sus dimensiones con nuestra tesis esta se encontrará dentro de las normas de seguridad tanto técnicas como de atención a personas que rijan actualmente este tipo de instalaciones eléctricas.

Nuestra tesis además de servir como una guía a aquellas personas que se dediquen a las instalaciones eléctricas dentro de CC nos puede ayudar para verificar las instalaciones dentro de este tipo de establecimientos ya establecidas y con ello realmente comprobar o en su caso modificar aquellas instalaciones que no se encuentren hechas de una manera adecuada o que no cumplan con las normas mínimas de seguridad.



Otro punto dentro de la verificación es el de analizar en su caso que los equipos que la conforman se encuentren seleccionados en base a cálculos confiables y verificables. Tales dispositivos pueden ser las que conforman el sistema de alimentación, de distribución o de protección, dicha selección debe cumplir con todas las necesidades que involucra la instalación eléctrica dentro de un CC. Esto es de suma importancia mencionarlo ya que actualmente se suscitan una gran cantidad de accidentes dentro de establecimientos a los cuales asisten una gran cantidad de personas como pueden ser: discotecas, supermercados, y CC, tales accidentes generalmente son incendios y los cuales en su gran mayoría son ocasionados por la mala selección e implementación de nuestros equipos; como puede ser el escoger un conductor de una menor capacidad de conducción de corriente a la calculada o no determinar de una manera adecuada las protecciones que serán empleadas, esto debido a un mal cálculo de la corriente de cortocircuito que debería soportar nuestro sistema de protección, de ahí la razón de recomendar esta tesis tanto cuando se va a iniciar un proyecto como cuando se va a verificar aquellas instalaciones ya existentes sin la necesidad de recurrir a expresiones complejas o a tablas que no son entendidas con facilidad y lo que provoca como se mencionó en un principio errores que llegan a costar vidas humanas.

Por último se debe comentar que la tesis no sólo está basada en las normas mexicanas encargadas de verificar que se lleven a cabo de una manera correcta las instalaciones eléctricas dentro de los CC, si no que también se toman aquellas de índole internacional como el NEC (National Electric Code) por mencionar alguna, esto es para mostrar que nuestro trabajo no sólo tiene una aplicación dentro del territorio nacional sino que con esta tesis se puede realizar tanto el diseño como la implementación de una instalación eléctrica dentro de todo tipo de CC en otros países, ya que es confiable, entendible, pero sobre todo toma en cuenta de una manera primordial la seguridad de ahí su relevancia e importancia.

## APENDICES

### A.1- Conceptos Básicos en Iluminación

Las unidades y magnitudes fundamentales empleadas para valorar y comparar las cualidades y los efectos de las fuentes de luz son las siguientes:

*Flujo Luminoso.* A la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa se le llama flujo luminoso o potencia luminosa. El flujo luminoso se representa por la letra griega FI ( $\Phi$ ) y su unidad es el lumen [lm].

*Intensidad Luminosa.* Es una cantidad fotométrica de referencia. La unidad relativa de medición es la candela [cd], cuyo patrón es una superficie de 1.66 [mm<sup>2</sup>] de platino, llevada a la temperatura de fusión que es 1769 [°C] (2042 [°K]). La intensidad luminosa se representa por la letra (I), su fórmula es:

$$I = \frac{\Phi \text{ [lm]}}{W \text{ [watt]}}$$

La candela se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de 1 lumen en un ángulo sólido de un estereorradián (28.6 grados sólidos).

$$\text{cd} = \frac{\text{lm}}{\text{sr}}$$

*Eficacia o Rendimiento Luminoso.* La eficacia luminosa de una fuente de luz, indica el flujo que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. La eficacia se representa por la letra griega ETA ( $\eta$ ) y sus unidades son lúmenes entre watts.

$$\eta = \frac{\Phi \text{ [lm]}}{W \text{ [watt]}}$$

*Energía Luminosa o Cantidad de Luz.* De forma análoga a la energía eléctrica por unidad de tiempo, la cantidad de luz o energía luminosa se determina por la potencia luminosa o flujo luminoso por unidad de tiempo. La cantidad de luz se representa por la letra (Q) y su unidad es el lumen-hora [lm-h]. Su fórmula es:

$$Q = \Phi * t$$

Donde:

Q = Energía luminosa  
 $\Phi$  = Flujo luminoso [lm]  
t = Tiempo [horas]

*Iluminancia.* La iluminancia o iluminación de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su extensión. Se representa por la letra (E) y su unidad es el lux en el sistema internacional de unidades. Su ecuación es:

$$E = \frac{\Phi [\text{lm}]}{A [\text{m}^2]} = \text{LUX}$$

La iluminancia constituye un dato importante para valorar el nivel de iluminación que existe en una oficina, en la superficie de un recinto, en una calle etc.

*Luminancia.* La luminancia de una superficie en una dirección determinada es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la superficie aparente (superficie vista por el observador situado en la misma dirección). La luminancia se representa por la letra (L) y su unidad es el nit [nt] o candela por metro cuadrado [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]; tiene un submúltiplo que es el stilb [sb] que es candela por centímetro cuadrado [ $\text{cd}/\text{cm}^2$ ], empleado para fuentes con elevadas luminancias. La ecuación que representa la luminancia es:

$$L = \frac{I}{S \cos\alpha}$$

Donde:

S  $\cos\alpha$  - Es la superficie aparente.

I-Intensidad luminosa.

La luminancia puede ser directa o indirecta, la primera corresponde a los manantiales luminosos y la segunda a los objetos iluminados. La luminancia es lo que produce en el órgano visual la sensación de claridad, pues la luz no se hace visible hasta que es reflejada por los cuerpos. La mayor o menor claridad con que vemos los objetos iluminados, depende de su luminancia.

## A.2 Tablas Capitulo II

RECOMENDACIONES IES	NIVEL MÍN. EN LUXES	RECOMENDACIÓN IES	NIVEL MÍN. EN LUXES
<b>Bancos</b> Vestíbulos, general Zonas de escritura Cajas, registros, claves, perforación de tarjetas	500 700 1500	<b>Equipo Eléctrico</b> Fabricación de impregnado Embobinado, aislamientos, pruebas	500 1000
<b>Básquetbol</b> Reglamento Recreativo	500 300	<b>Estaciones, terminales</b> Naves Andenes Salas de espera y baños Zonas de entrega de equipaje Zonas para venta de boletos	100 200 300 500 1000
<b>Fundiciones</b> Hornos de recocido Limpieza Fabricación de corazones Inspección precisa Inspección media Moldeo Colado, desmoldeo	300 300 1000 5000 1000 1000 500	<b>Imprentas</b> Grabado de fotografías, grabado de agua fuerte Inspección de colores Prensas Corrección de pruebas Salas de composición, máquinas de composición	500 2000 700 1500 1000
<b>Garajes para vehículos de motor</b> Almacén Pasillos de tráfico Zonas de estacionamiento Zonas para servicio Entradas Zonas para reparación	50 100 200 500 1000	<b>Lámina de acero, trabajos en general</b> General Inspección de estañado, galvanizado	500 2000
<b>Gimnasios</b> instalaciones Ejercicio general y recreativo Competencias, concursos	100 300 500	<b>Madera, trabajos de:</b> Corte de sierra, trabajos en banco Cepillado, encolado, lijado, trabajos en banco de mediana calidad. Trabajos en banco de calidad, máquinas, lijado y acabado fino.	300 500 1000

Tabla 2.1 Niveles de Iluminación

Referencia: E. L. Donnelly, Teoría y práctica de la instalación eléctrica, 2da. Edic., Paraninfo.

RECOMENDACIONES IES	NIVEL MÍN. EN LUXES	RECOMENDACIÓN IES	NIVEL MÍN. EN LUXES
<b>Papel, fabricación de:</b> Cubas hidratadoras, molienda, refinación Corte acabados Contado manual de hojas Inspección de calandrias Embobinado	300 500 700 100 1500	<b>Textiles, productos de algodón</b> Picado, cardado, torcido Pabiladoras, veloces, tróciles Estampados Otros	500 1500 2000 1000
<b>Pintura, talleres de:</b> Pintura por aspersión, pintura de muñeca, pintura con plantilla Pintura fina, acabados, pruebas	500 100	<b>Textiles, tejidos sintéticos y sedas</b> Picado, cardado, torcido Embobinado: Hilo claro Hilo oscuro Otros	500 500 2000 1000
<b>Pruebas</b> General	500	<b>Tiendas</b> Pasillos, almacén Venta en mostrador Venta en autoservicio	300 1000 2000
<b>Ropa, fabricación de:</b> Recibo, almacenaje, embarque, medición Fabricación de patrones, recortes Marcado, taller Corte y planchado Cosido e inspección	300 500 1000 3000 <sub>(ca)</sub> 5000 <sub>(ca)</sub>	<b>Vidrio, fabricación de:</b> Mezcladoras, hornos, prensas, máquinas sopladoras Corte, esmerilado, plateado Pulido esmerilado y nivelado	300 500 1000
<b>Soldadura</b> General	500	a) Obtenido por combinación de equipo general con equipo especializado de iluminación.	
<b>Tabaco, productos de:</b> Secado, descortezado, general	300	b) No menos de 1/5 parte del nivel de iluminación.	

Tabla 2.1.a Niveles de Iluminación

Tomado de Manual de Alumbrado Westinghouse 1985

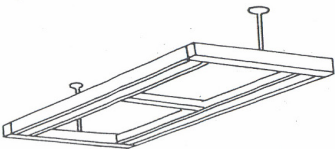
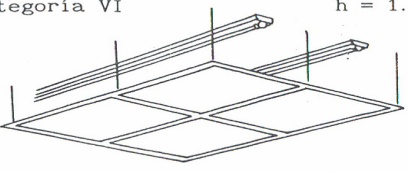
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.	Techo	80%			70%			50%		
	Pared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
Categoría VI h = 1.5  2 lámparas cualquier carga. Lados opacos.	RCL*									
	1	0.68	0.65	0.62	0.59	0.56	0.54	0.42	0.41	0.39
	2	0.59	0.54	0.51	0.51	0.48	0.44	0.37	0.35	0.32
	3	0.52	0.46	0.42	0.45	0.40	0.37	0.32	0.29	0.27
	4	0.46	0.40	0.35	0.40	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23
	5	0.40	0.34	0.30	0.35	0.30	0.26	0.25	0.22	0.20
	6	0.36	0.30	0.26	0.31	0.27	0.23	0.22	0.20	0.17
	7	0.32	0.26	0.26	0.28	0.23	0.19	0.20	0.17	0.14
	8	0.29	0.23	0.19	0.25	0.20	0.17	0.18	0.15	0.13
	9	0.26	0.20	0.17	0.23	0.18	0.15	0.17	0.13	0.11
10	0.24	0.18	0.15	0.21	0.16	0.13	0.15	0.12	0.10	
Categoría VI h = 1.5 a 2  Techo luminoso. Transmisión 50%. Reflectancia de cavidad 80%.	1				0.60	0.58	0.56	0.58	0.56	0.54
	2				0.53	0.49	0.45	0.51	0.47	0.43
	3				0.47	0.42	0.37	0.45	0.41	0.36
	4				0.41	0.36	0.32	0.39	0.35	0.31
	5				0.37	0.31	0.27	0.35	0.30	0.26
	6				0.33	0.27	0.23	0.31	0.26	0.23
	7				0.29	0.24	0.20	0.28	0.23	0.20
	8				0.26	0.21	0.18	0.25	0.20	0.17
	9				0.23	0.10	0.15	0.23	0.18	0.15
	10				0.21	0.17	0.13	0.21	0.16	0.13

Tabla 2.2 Coeficientes de Utilización

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

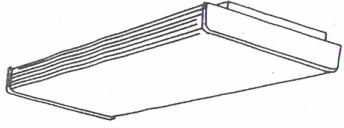
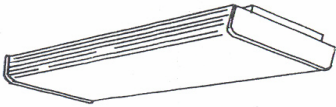
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Techo	80%			70%			50%		
		Pared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
Categoría V  2 lámparas T-12 430 mA. Envoltura prismática 30 cm ancha.	h = 1.2	RCL*									
	1	0.68	0.65	0.63	0.65	0.63	0.61	0.61	0.60	0.58	
	2	0.60	0.56	0.53	0.58	0.55	0.52	0.55	0.52	0.49	
	3	0.54	0.49	0.45	0.52	0.48	0.45	0.50	0.46	0.43	
	4	0.49	0.43	0.40	0.47	0.43	0.39	0.45	0.41	0.38	
	5	0.44	0.38	0.34	0.43	0.38	0.34	0.40	0.36	0.33	
	6	0.40	0.34	0.30	0.39	0.34	0.30	0.37	0.32	0.29	
	7	0.36	0.31	0.27	0.35	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	
	8	0.32	0.27	0.24	0.32	0.27	0.23	0.30	0.26	0.23	
	9	0.29	0.24	0.21	0.29	0.24	0.20	0.27	0.23	0.20	
10	0.27	0.22	0.18	0.26	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18		
Categoría V  4 lámparas T-12 430 mA. Envoltura prismática 60 cm ancha.	h = 1.2	1	0.66	0.64	0.61	0.64	0.62	0.60	0.61	0.59	0.57
	2	0.59	0.55	0.52	0.57	0.54	0.51	0.55	0.52	0.40	
	3	0.53	0.48	0.45	0.52	0.48	0.44	0.49	0.46	0.43	
	4	0.48	0.43	0.39	0.47	0.42	0.39	0.45	0.41	0.38	
	5	0.43	0.38	0.34	0.42	0.37	0.34	0.40	0.36	0.33	
	6	0.39	0.34	0.30	0.38	0.34	0.30	0.36	0.32	0.29	
	7	0.35	0.30	0.26	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	
	8	0.32	0.27	0.23	0.31	0.26	0.23	0.30	0.26	0.23	
	9	0.28	0.24	0.20	0.28	0.23	0.20	0.27	0.23	0.20	
	10	0.26	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18	0.25	0.20	0.17	

Tabla 2.2.b Coeficientes de Utilización

Reflectancia base de piso o techo de 90%															
Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	89	88	87	87	86	85	83	82	80	79	77	75	73	68	65
80	88	87	86	85	83	80	77	75	72	70	69	59	61	55	51
70	88	86	84	82	80	76	72	68	64	61	58	53	49	42	36
50	86	84	80	77	75	68	62	57	52	48	44	38	34	27	22
30	85	81	77	73	69	61	53	47	42	37	33	28	24	18	15
10	84	79	74	69	64	55	47	40	34	31	25	20	16	12	09
0	82	76	73	67	62	51	43	36	30	26	22	16	11	06	04
Reflectancia base de piso o techo de 80%															
Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	79	79	78	78	77	75	74	73	72	71	70	68	66	62	59
80	78	77	76	75	74	72	69	67	65	63	61	58	55	50	46
70	78	76	75	73	72	68	64	61	58	55	53	48	44	38	33
50	77	74	71	69	67	61	56	51	47	43	40	35	31	25	21
30	76	72	68	65	62	54	48	42	37	33	30	25	22	17	14
10	74	70	65	61	57	49	41	35	30	26	22	18	15	11	08
0	72	68	57	57	55	46	38	32	27	24	20	14	10	05	03

2.2.c Reflectancias Efectivas de Cavidad

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

Reflectancia efectiva de la cavidad del techo de 80%										
Ref pared	Relación de cavidad del local									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50%	1.08	1.07	1.05	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02
30%	1.08	1.06	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01
10%	1.07	1.05	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo de 70%										
Ref pared	Relación de cavidad del local									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50%	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02
30%	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01
10%	1.06	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo de 50%										
Ref pared	Relación de cavidad del local									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50%	1.05	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
30%	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01
10%	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo de 10%										
Ref pared	Relación de cavidad del local									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50%	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
30%	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
10%	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 2.3 Factores de Corrección del Coeficiente de Utilización para Reflectancias Efectivas de Cavidad del Suelo Diferentes del 20%.

Clase de Instalación de Iluminación	Ancho de la Calle	Disposición de los Luminarios	Altura de Montaje
Autopistas y calles de intenso tráfico de vehículos	Entre 8 y 10 [m] o más de 10 [m]	Unilateral o bilateral con centro alterno	10 a 12 [m]
Calles con tráfico medio	Menores de 10 [m] o mayor de 10 [m]	Unilateral o bilateral con centro alternado	10 [m] o más
Calles urbanas con intenso tráfico y con tráfico de personas intenso	Menor de 8 [m] o entre 8 y 10 [m]	Unilateral, bilateral con centro alterno, bilateral con centro opuesto	Mayor o igual a 8 [m], entre 8 y 10 [m], 10 [m] o más

Calle con poco trafico de vehículos	8 [m] o menor	Unilateral	Mayor de 7.5 [m]
Calles en pequeñas poblaciones con poco trafico de vehículos		Unilateral	De 7.5 a 9 [m]

Tabla 2.4 Altura de Montaje Recomendada para Luminarios

### A.3 Tablas Capitulo III

Single-Phase	Three-Phase
3	9
5	15
10	30
15	45
25	75
37.5	112.5
50	150
75	225
100	300
167	500
250	750
333	1000
500	1500
833	2000
1250	2500
1667	3750
2500	5000
3333	7500
5000	10 000

Tabla 3.6 Rangos en KVA Manejados por los Transformadores

Referencia: Power Systems Engineering Comité, IEEE recommended practice for electric power systems in commercial buildings.



High-Voltage Rating (volts)	Design Impedance (percent)	
	Low Voltage, Rated 480 V	Low Voltage, Rated 2400 V or Higher
Power Transformers		
2400 to 22 900	5.75	5.5
26 400, 34 400	6.0	6.0
43 800	6.5	6.5
67 000		7.0
Rated kVA	Design Impedance (percent)	
Secondary-Unit Substation Transformers		
112 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> through 225	Not less than 2	
300 through 500	Not less than 4.5	
Above 500	5.75	
Network Transformers		
1000 and smaller	5.0	
Above 1000	7.0	

Tabla 3.7 Valores Aproximados de Impedancia en Transformadores

Referencia: Power Systems Engineering Comité, IEEE recommended practice for electric power systems in commercial buildings.

FACTOR DE POTENCIA ORIGINAL $\cos \phi_1$	FACTOR DE POTENCIA QUE SE DESEA, $\cos \phi_2$						
	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94
0.65	1.169	1.027	0.966	0.918	0.878	0.840	0.685
0.66	1.138	0.996	0.935	0.887	0.847	0.809	0.654
0.67	1.108	0.966	0.905	0.857	0.817	0.779	0.624
0.68	1.079	0.937	0.876	0.828	0.788	0.750	0.595
0.69	1.049	0.907	0.840	0.798	0.758	0.720	0.565
0.70	1.020	0.878	0.811	0.769	0.729	0.691	0.536
0.71	0.992	0.850	0.783	0.741	0.701	0.663	0.508
0.72	0.963	0.821	0.754	0.712	0.672	0.634	0.479
0.73	0.936	0.794	0.727	0.685	0.645	0.607	0.452
0.74	0.909	0.767	0.700	0.658	0.618	0.580	0.425
0.75	0.882	0.740	0.673	0.631	0.591	0.553	0.398
0.76	0.855	0.713	0.652	0.604	0.564	0.526	0.371
0.77	0.829	0.687	0.620	0.578	0.538	0.500	0.345
0.78	0.803	0.661	0.594	0.552	0.512	0.474	0.319
0.79	0.776	0.634	0.567	0.525	0.484	0.447	0.292
0.80	0.750	0.608	0.541	0.499	0.459	0.421	0.266
0.81	0.724	0.582	0.515	0.473	0.433	0.395	0.240
0.82	0.698	0.556	0.489	0.447	0.407	0.369	0.214
0.83	0.672	0.530	0.463	0.421	0.381	0.343	0.188
0.84	0.645	0.504	0.437	0.395	0.355	0.317	0.162
0.85	0.620	0.478	0.417	0.369	0.329	0.291	0.136
0.86	0.593	0.450	0.390	0.343	0.301	0.264	0.109
0.86	0.567	0.424	0.364	0.317	0.275	0.238	0.083
0.88	0.538	0.395	0.335	0.288	0.246	0.209	0.054
0.89	0.512	0.369	0.309	0.262	0.230	0.183	0.028
0.90	0.484	0.341	0.281	0.234	0.192	0.155	.
0.91	0.453	0.310	0.250	0.203	0.161	0.124	.
0.92	0.426	0.283	0.223	0.176	0.134	0.097	.
0.93	0.345	0.252	0.192	0.145	0.103	0.066	.
0.94	0.363	0.220	0.160	0.113	0.071	0.034	.
0.95	0.329	0.186	0.126	0.079	0.037	.	.
0.96	0.292	0.149	0.089	0.042	.	.	.
0.97	0.250	0.107	0.047	.	.	.	.
0.98	0.203	0.060	.	.	.	.	.
0.99	0.143	.	.	.	.	.	.

Tabla 3.12 Factor de Potencia

Potencia del transformador KVA	Voltaje de la línea KV		
	5/13	15/23	25/34
25	2	2.5	3
50	3.5	5	6
75	5	6	7
100	6	8	10
160	10	12.5	15
250	15	18	22
315	18	20	24
400	20	22.5	28
630	28	32.5	40

Tabla 3.13 Magnitud de la Potencia de los Capacitores

Referencia: Manual, Aspectos básicos del factor de potencia orientado al ahorro de energía, FIDE.

#### A.4 Tablas del Capítulo IV

HP	127 volts	220 volts
1/6	4	2.3
1/4	5.3	3
1/3	6.5	3.8
1/2	8.9	5.1
3/4	11.5	7.2
1	14	8.4
1 1/2	18	10
2	22	13
3	31	18
5	51	29
7 1/2	72	42
10	91	52

Tabla 4.1 Corriente a Plena Carga en [A] de Motores Monofásicos de Corriente Alterna

HP	Motor de inducción jaula de ardilla			Motor sincrónico		
	220 volts	440 volts	2400 volts	220 volts	440 volts	2400 volts
1/2	2.1	1				
3/4	2.9	1.5				
1	3.8	1.9				
1 1/2	5.4	2.7				
2	7.1	3.6				
3	10	5				
5	15.9	7.9				
7 1/2	23	11				
10	29	15				
15	44	22				
20	56	28				
25	71	36		54	27	
30	84	42		65	33	
40	109	54		86	43	
50	136	68		108	54	
60	161	80	15	128	64	11
75	201	100	19	161	81	14
100	259	130	25	211	106	19
125	326	163	30	264	132	24
150	376	188	35			29
200	502	251	47			38

Tabla 4.1.a Corriente a Plena Carga de Motores Trifásicos de Corriente Alterna

TIPO DE MOTOR	PORCIENTO DE LA CORRIENTE A PLENA CARGA			
	FUSIBLE SIN RETRASO DE TIEMPO	ELEMENTO DUAL (FUSIBLE CON RETRASO)	INTERRUPTOR CON DISPARO INSTANTANEO	INTERRUPTOR DE TIEMPO INVERSO
MONOFASICO, TODOS LOS TIPOS SIN LETRA DE CODIGO.	300	175	700	250
TODOS LOS MOTORES MONOFASICOS Y POLIFASICOS JAULA DE ARDILLA CON ARRANQUE A VOLTAJE PLENO, O ARRANQUE POR REACTOR O RESISTOR.				
SIN LETRA DE CODIGO	300	175	700	250
LETRAS DE CODIGO F a V	300	175	700	250
LETRAS DE CODIGO B a E	250	175	700	200
LETRA DE CODIGO A	150	150	700	150
TODOS LOS MOTORES DE JAULA DE ARDILLA Y SINCRONOS CON ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR NO MAYORES DE 30 AMPERES SIN LETRA DE CODIGO.	250	175	700	200
MAYORES DE 30 AMPERES SIN LETRA DE CODIGO	200	175	700	200
LETRAS DE CODIGO F a V	250	175	700	200
LETRAS DE CODIGO B a E	200	175	700	200
LETRA DE CODIGO A	150	150	700	150
JAULA DE ARDILLA CON ALTA REACTANCIA NO MAYORES DE 30 AMPERES SIN LETRA DE CODIGO.	250	175	700	250
MAYORES DE 30 AMPERES SIN LETRA DE CODIGO.	200	175	700	200
ROTOR DEVANADO SIN LE-				

Tabla 4.2 Capacidad Máxima o Ajuste del Dispositivo de Protección contra Cortocircuito y Falla a Tierra para el Circuito Derivado de Motores

Referencia: ENRIQUEZ HARPER Gilberto, Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales, 1a Edic., Limusa.

Calibre A.W.G. M.C.M.	TIPO VF T.W. 'T' TWH 60 [°C]				VINANEL 900 RH, 'RUH', V, 75 [°C]			
	1 a 3 conduc. tubo	4 a 6 conduc. tubo	6 a 9 conduc. tubo	1 conduc. tubo	1 a 3 conduc. tubo	4 a 6 conduc. tubo	6 a 9 conduc. tubo	1 conduc. aire
14	15	12	10	20	15	12	10	20
12	20	16	14	25	20	16	14	25
10	30	24	21	40	30	24	21	40
8	40	32	28	55	45	36	31	65
6	55	44	38	80	65	52	45	95
4	70	56	49	105	85	68	59	125
2	95	76	66	140	115	92	80	170
0	125	100	87	195	150	120	105	230
0	145	116	110	225	175	140	122	265
0	165	132	115	260	200	160	140	310
0	195	156	132	300	230	184	161	360
250	215	172	150	340	255	204	178	405
300	240	192	168	375	285	228	199	445
350	260	208	182	420	310	248	217	505
400	280	224	196	455	335	268	234	545
500	320	256	224	515	380	304	266	680
600	355	284	248	575				
750	400	320	280	655				
1000	455	364	318	780				
1250	495	396	346	890				
1500	520	416	364	980				
1750	545	436	382	1070				
2000	560	448	392	1155				
Temp.°C	Factor de Corrección para Temperatura Ambiente mayor a 30 [°C]							
40	0.82	0.82	0.82	0.82	0.88	0.88	0.88	0.88
45	0.71	0.71	0.71	0.71	0.82	0.82	0.82	0.82
50	0.58	0.58	0.58	0.58	0.75	0.75	0.75	0.75
55	0.41	0.41	0.41	0.41	0.67	0.67	0.67	0.67
60					0.58	0.58	0.58	0.58

Tabla 4.3 Capacidad de Corriente de Conductores de Cobre Basada en una Temperatura de 30 [° C]

Referencia: ENRIQUEZ HARPER Gilberto, Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales, 1a Edic., Limusa.



Tipo de aislam.	THWN, RUW, T, TW, TWD, MTW		RH, RHW, THW, THWN, DF, XHHW, RUH		PILC, V, MI		TBS, AVB SIS, THHW TA, SA, FEP THW, RHH EP, MTV, XHHW*	
Temp. máxima	60 °C		75 °C		85 °C		90 °C	
Calibre AWG/MCM	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire
14	15	20	15	20	25	30	25	30
12	20	25	20	25	30	40	30	40
10	30	40	30	40	40	55	40	55
8	40	55	45	65	50	70	50	70
6	55	80	65	95	70	100	70	100
4	70	105	85	125	90	135	90	135
3	80	120	100	145	105	155	105	155
2	95	140	115	170	120	180	120	180
1	110	165	130	195	140	210	140	210
0	125	195	150	230	155	245	155	245
00	145	225	175	265	185	285	185	285
000	165	260	200	310	210	330	210	330
0000	195	300	230	360	235	385	235	385
250	215	340	255	405	270	425	270	425
300	240	375	285	445	300	480	300	480
350	260	420	310	505	325	530	325	530
400	280	455	335	545	360	575	360	575
500	320	515	380	620	405	660	405	660
600	355	575	420	690	455	740	455	740
700	385	630	460	755	490	815	490	815
750	400	655	475	785	500	845	500	845
800	410	680	490	815	515	880	515	880
900	435	730	520	870	555	940	555	940
1000	455	780	545	935	585	1000	585	1000

Tabla 4.5 Capacidad de Corriente de Conductores de Cobre Aislado en [A]

Tipo de aislam.	AVA, AVL		AI, SA, AIA		A, AA, FEPB	
Temp. máx.	110 °C		125 °C		200 °C	
Calibre AWG/MCM	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire
14	30	40	30	40	30	45
12	35	50	40	50	40	55
10	45	65	50	70	55	75
8	60	85	65	90	70	100
6	80	120	85	125	95	135
4	105	160	115	170	120	180
3	120	180	130	195	145	210
2	135	210	145	225	165	240
1	160	245	170	265	190	280
0	190	285	200	305	225	325
00	215	330	230	355	250	370
000	245	385	265	410	285	430
0000	275	445	310	475	340	510
250	315	495	335	530	-	-
300	345	555	380	590	-	-
350	390	610	420	655	-	-
400	420	665	450	710	-	-
500	470	765	500	815	-	-
600	525	855	545	910	-	-
700	560	940	600	1005	-	-
750	580	980	620	1045	-	-
800	600	1020	640	1085	-	-
900	-	-	-	-	-	-
1000	680	1165	730	1240	-	-

Tabla 4.5.a Continuación

Cal. AWG ó MCM	Sec. del cobre mm <sup>2</sup>	Diám. del conduc. mm	Suma de las secciones para cada cantidad de conductores				
			1	2	3	4	5
14	2.08	3.43	9.2	18.5	27.7	37.0	46.2
12	3.31	3.91	12.0	24.0	36.0	48.0	60.0
10	5.26	4.52	16.1	32.1	48.1	64.2	80.2
8	8.37	6.10	29.2	58.5	87.7	116.9	146.1
6	13.30	7.82	48.0	96.1	144.1	192.1	240.1
4	21.15	9.04	64.2	128.4	192.6	256.7	321.9
2	33.63	10.57	87.8	175.5	263.3	351.0	438.7
1/0	53.48	13.44	142	284	425.6	567.5	709.3
2/0	67.43	14.61	168	335	502.9	670.6	838.2
3/0	85.05	15.90	199	397	595.7	794.2	992.8
4/0	107.2	17.37	237	474	710.9	947.9	1185
250	126.7	19.38	295	590	885	1180	1475
300	152.2	20.78	339	678	1017	1357	1696
350	177.6	22.07	383	765	1148	1530	1913
400	202.6	23.27	425	851	1276	1701	2127
500	253.1	25.43	508	1016	1524	2032	2540
600	303.7	28.22	626	1251	1876	2502	3127
750	379.3	30.89	749	1499	2248	2998	3747
1000	506.7	34.80	951	1902	2853	3805	4756

Tabla 4.6 Sección de Conductores TW y THW en mm<sup>2</sup>

Cal. AWG ó MCM	Sec. del cobre mm <sup>2</sup>	Diám. del condu. mm	Suma de las secciones para cada cantidad de conductores				
			6	7	8	9	10
14	2.08	3.43	55.44	64.68	73.9	83.2	92.4
12	3.31	3.91	72.04	84.05	96.1	108.1	120.1
10	5.26	4.52	96.28	112.32	128.4	144.4	160.5
8	8.37	6.10	175.3	204.6	233.8	263.0	292.2
6	13.30	7.82	288.2	336.2	384.2	432.3	480.3
4	21.15	9.04	385.1	449.3	513.5	577.7	641.8
2	33.63	10.57	526.5	614.2	702.0	789.7	877.5
1/0	53.48	13.44	851.2	993.1	1135	1277	1419
2/0	67.43	14.61	1005.9	1173.5	1341	1509	1676
3/0	85.05	15.90	1191.3	1389.9	1589	1787	1986
4/0	107.2	17.37	1421.8	1658.8	1896	2133	2370
250	126.7	19.38	1769.9	2064.9	2360	2655	2950
300	152.2	20.78	2034.8	2374.0	2713	3052	3391
350	177.6	22.07	2295.3	2677.9	3060	3443	3826
400	202.6	23.27	2551.8	2977.0	3402	3828	4253
500	253.1	25.43	3047.4	3555.3	4063	4571	5079
600	303.7	28.22	3752.8	4378.3	5004	5629	6255
750	379.3	30.89	4496.5	5245.9	5995	6745	7494
1000	506.7	34.80	5706.9	6658.0	7609	8560	9512

Tabla 4.6.a Continuación

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega,



Tuberías Conduit					
Diámetro		Área en [mm]			
Pulgada	[mm]	100%	40%	30%	20%
1/2	13	195	78	58.5	39
3/4	19	340	136	102.5	68
1	25	555	222	166.5	111
1 1/4	32	975	390	292.5	195
1 1/2	38	1325	530	397.5	265
2	51	2175	870	652	425
1 1/2	64	3100	1240	930	620
3	75	4767	1907	1430	953
3 1/2	88	6375	2550	1912.5	1275
4	102	8250	3300	2475	1660

Tabla 4.7 Sección Transversal de Tuberías Conduit

Temperatura ambiente °C	Temperatura máxima permisible en el aislamiento en °C						
	60	75	85	90	110	125	200
31 - 40	0.82	0.88	0.90	0.91	0.94	0.95	-
41 - 45	0.71	0.82	0.85	0.87	0.90	0.92	-
46 - 50	0.58	0.75	0.80	0.82	0.87	0.89	-
51 - 55	0.41	0.67	0.74	0.76	0.83	0.86	-
56 - 60	-	0.58	0.67	0.71	0.79	0.83	0.91
61 - 70	-	0.35	0.52	0.58	0.71	0.76	0.87
71 - 80	-	-	0.30	0.41	0.61	0.68	0.84
81 - 90	-	-	-	-	0.50	0.61	0.80
91 - 100	-	-	-	-	-	0.51	0.77
101 - 120	-	-	-	-	-	-	0.69
121 - 140	-	-	-	-	-	-	0.59

Tabla 4.8 Factores de Corrección por Temperatura Ambiente

Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

CALIBRE			SECCION		DIAMETRO	
A. M.	W. C.	G. M.	C. M.	MM <sup>2</sup>	PULGS.	MM
20			1022	0.5176	0.03196	0.812
18			1624	0.8232	0.04030	1.024
16			2583	1.3090	0.05082	1.291
14			4107	2.0810	0.06408	1.628
12			6530	3.3090	0.08081	2.053
10			10380	5.2610	0.1019	2.588
8			16510	8.3670	0.1285	3.264
6			26250	13.3030	0.1620	4.115
4			41740	21.1480	0.2043	5.189
3			52630	26.6700	0.2294	5.827
2			66370	33.6320	0.2576	6.543
1			83690	42.4060	0.2893	7.348
0			105500	53.4770	0.3249	8.252
00			133100	67.4190	0.3648	9.266
000			167800	85.0320	0.4096	10.403
0000			211600	107.2250	0.4600	11.684

KCM - MILES DE CIRCULAR

Tabla 4.9 Dimensiones de los Conductores Eléctricos Desnudos

## A.5 Tablas Capitulo V

Máquinas	X"	X'
Turbogeneradores		
- 2 polos	0.09	0.15
- 4 polos	0.15	0.23
Generadores de polos salientes y devanados con amortiguamiento		
- 12 polos y menos	0.16	0.33
- 14 polos y más	0.21	0.33
Motores síncronos		
- 6 polos	0.15	0.23
- 8 a 14 polos	0.20	0.30
- 16 polos o más	0.28	0.40
Motores de inducción		
Arriba de 600 V	0.17	----

Tabla 5.1 Reactancias Típicas en [p.u] para Máquinas Eléctricas Rotatorias  
Referencia: NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega.

Tipo de Maquina Rotatoria	Primer ciclo	Instante de Interrupción
Turbogeneradores e hidrogeneradores con devanado de amortiguamiento	1 * X"d	1 * X"d
Hidrogeneradores sin devanado de amortiguamiento	1 * X"d	1 * X"d
Motores sincronos	1 * X"d	1 * X"d
Motores de inducción		
Arriba de 100 HP, rpm = 1800	1 * X"d	1.5 * X"d
Arriba de 250 HP, a 3600 rpm	1 * X"d	1.5 * X"d
Todos los demás de HP > 50	1.2 * X"d	3 * X"d
Todos los menores de 50 HP	despreciable	

Tabla 5.2 Factores que Multiplican a las Reactancias o Impedancias de Máquinas Rotatorias Dependiendo del Instante en que se quiere Analizar la Falla

Tipo de Maquina Rotatoria	Primer ciclo	Instante de Interrupción
Motores de Inducción		
Todos los de más de 50 HP	1.2 * X"d	3 * X"d
Todos los menores de 50 HP	1.67 * X"d	Despreciable

Tabla 5.3 Factores que Multiplican a las Reactancias o Impedancias para Obtener los Valores más Precisos de la Corriente de Falla en Sistemas de Varios Niveles de Voltajes

Construcción del Conductor	RMG
Alambre sólido Cable de un solo material	0.779 R*
7 hilos	0.726 R
19 hilos	0.758 R
37 hilos	0.768 R
61 hilos	0.772 R

\* Radio del conductor

Tabla 5.4 Radio Medio Geométrico de Conductores

Calibre		Diámetro		Área		Peso	
C.M.	AWG	plg	mm	plg <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	lb/mil	kg/km
1000.000	-	0.15	29.3	-	-	-	-
500.000	-	0.81	20.6	0.393	253.3	1544	2297.4
400.000	-	0.73	18.5	0.314	202.7	1235	1837.6
300.000	-	0.63	16.0	0.236	152.0	9263	1378.3
250.000	-	0.57	14.6	0.196	126.6	771.9	1148.8
211.600	4/0	0.53	13.4	0.17	107.22	653.3	972.11
167.800	3/0	0.47	11.9	0.13	85.03	518.1	710.93
133.100	2/0	0.42	10.6	0.10	67.42	410.9	611.41
105.500	1/0	0.37	9.5	0.08	53.48	325.8	484.79
66.370	2	0.29	7.4	0.05	33.63	204.9	304.89
41.740	4	0.23	5.9	0.03	25.89	128.9	191.80
26.240	6	0.18	4.7	0.02	13.30	81.0	120.60
16.510	8	0.15	3.7	0.01	8.37	51.0	75.84
10.380	10	0.12	2.9	0.006	5.26	32.1	47.70

Tabla 5.13 Características Físicas de los Conductores de Cobre

Referencia: Manual, Aspectos básicos del factor de potencia orientado al ahorro de energía, FIDE.

#### A.6- Teoría de las Componentes Simétricas

Establece que tres vectores desequilibrados de un sistema trifásico, se pueden descomponer en tres sistemas equilibrados de vectores, denominados de secuencia positiva, negativa y cero los cuales son independientes, de este modo se resuelve cada una de estas redes como una red balanceada y después se regresa a la solución del problema original. Esta teoría ofrece ventajas para las condiciones transitorias de un sistema eléctrico de potencia, tales son: los componentes de secuencia positiva, son de igual magnitud con diferencia de fase de 120° y con la misma secuencia de fase que el sistema original; las componentes de secuencia negativa, son de igual magnitud y con diferencia de fase de 120°, con la secuencia de fases opuestas al sistema original; las componentes de secuencia cero, están formadas por tres vectores de igual magnitud y con una diferencia de cero grados. Como cada uno de los vectores desequilibrados originales es igual a la suma de sus componentes, los vectores expresados en función de dichas componentes, se expresan:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0}$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$

Donde:

$V_a, V_b, V_c$  = Voltajes de cada una de las fases del sistema.

$V_{a1}, V_{b1}, V_{c1}$  = Voltajes de secuencia positiva de cada una de las fases.

$V_{a2}, V_{b2}, V_{c2}$  = Voltajes de secuencia negativa de cada una de las fases.

$V_{a0}, V_{b0}, V_{c0}$  = Voltajes de secuencia cero de cada una de las fases.

*Operadores de las componentes simétricas:* La letra “a” se utiliza para designar al operador que origina una rotación de 120° en sentido contrario al movimiento de las manecillas del reloj. Tal operador es un número complejo de modulo uno y argumento de 120° y que se define como:

$$\begin{aligned} a &= 1 \angle 120^\circ = -0.5 + 0.86j \\ a^2 &= 1 \angle 240^\circ = -0.5 - 0.86j \\ a^3 &= 1 \angle 360^\circ = 1 \\ a^4 &= 1 \angle 120^\circ = a \end{aligned}$$

A partir de estos operadores y con las relaciones expuestas anteriormente se llega a las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 * V_{a1} & V_{c1} &= a * V_{a1} \\ V_{b2} &= a * V_{a2} & V_{c2} &= a^2 * V_{a2} \\ V_{b0} &= V_{a0} & V_{c0} &= V_{a0} \end{aligned}$$

Con estas ecuaciones y con las mencionadas anteriormente, realizando las operaciones matriciales necesarias, se pueden expresar los voltajes de secuencia en función de los de fase, de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

Las ecuaciones anteriores se pueden escribir en forma similar para las corrientes:

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

El cálculo de las corrientes de cortocircuito, es esencial para la selección de la capacidad adecuada del equipo de protección y los dispositivos de interrupción, además de que es básico para la coordinación de protecciones; es por ello que en este apartado se propondrá un método para el cálculo del cortocircuito.

***Cálculo de las Fallas Monofásica y trifásica.*** Para la obtención de las ecuaciones para las componentes simétricas de corriente y tensiones en una red en general, durante una falla, se designa  $I_a, I_b, I_c$ ; a las corrientes que salen del sistema equilibrado inicial, en la falla de las fases A,B,C. Es importante mencionar que las redes de un circuito cualquiera pueden reemplazarse por su equivalente de Thevenin.

***Falla trifásica.*** Lo que se pretende en primera instancia, es obtener las expresiones que permitan calcular las corrientes de cortocircuito. En la falla trifásica las tres fases se encuentran conectadas entre sí. En la falla trifásica, el sistema se mantiene balanceado por lo que sólo se consideran las componentes de secuencia positiva, por lo tanto las corrientes están desfasadas 120°; aplicando el operador se tiene que:

$I_b = a^2 * I_a$                        $I_c = a * I_a$     sustituyendo estos valores en la matriz de componentes de corrientes se obtiene que:

$$I_{a0} = 0, \quad I_{a1} = I_a, \quad I_{a2} = 0$$

Donde:

- $I_{a0}$  = Corriente de secuencia cero.
- $I_{a1}$  = Corriente de secuencia positiva.
- $I_{a2}$  = Corriente de secuencia negativa.
- $I_a$  = Corriente en la fase durante la falla =  $I_{\text{FALLA TRIFÁSICA}}$

Obteniendo el equivalente de Thevenin para la secuencia positiva y resolviendo el circuito se encuentran las expresiones para el cálculo de la corriente de cortocircuito para una falla trifásica o trifásica a tierra.

$$I_{\text{FALLA TRIFÁSICA}} = \frac{V_{\text{TH}}}{Z_1}$$

Donde:

- $V_{\text{TH}}$  = Voltaje de Thevenin (considerado 1 en [p.u]).
- $Z_1$  = Impedancia de secuencia positiva en [p.u].

Para obtener la corriente de falla en amperes se multiplica el resultado obtenido con la expresión anterior por la base considerada en el punto donde ocurrió la falla.

*Falla monofásica (fase a tierra).* Una falla de este tipo se representa por medio de un sistema trifásico. Sus condiciones de falla son:

$$\begin{aligned} V_a &= 0 \\ I_a &\neq 0 \\ I_b &= I_c = 0 \end{aligned}$$

A partir de las componentes simétricas se obtienen los valores de corriente, los cuales se determinan con la siguiente expresión:

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = I_a/3$$

$$I_{a1} = \frac{V_{\text{TH}}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad \text{por lo tanto la corriente de falla total para una falla monofásica es:}$$

$$I_{\text{FALLA MONOFÁSICA}} = I_a = 3 * I_{a1}$$

Si la falla ocurre en un sistema con neutro conectado a tierra a través de una impedancia ( $Z_n$ ), las condiciones de falla son:

$$I_b = I_c = 0, \quad V_a = I_a * Z_n, \quad I_{a1} = I_{a2}, \quad I_{a0} = I_a/3$$

La corriente de falla se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_{\text{FALLA}} = \frac{3 * V_{\text{TH}}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 * Z_n}$$

Donde:

$V_{\text{TH}}$  = Voltaje de Thevenin (considerado 1 en [p.u]).

$Z_1$  = Impedancia de secuencia positiva en [p.u].

$Z_2$  = Impedancia de secuencia negativa en [p.u].

$Z_0$  = Impedancia de secuencia cero en [p.u].

$I_{a0}$  = Corriente de secuencia cero.

$I_{a1}$  = Corriente de secuencia positiva.

$I_{a2}$  = Corriente de secuencia negativa.

$I_a$  = Corriente en la fase durante la falla =  $I_{\text{FALLA MONOFASICA}}$

$V_a$  = Voltaje en la fase donde ocurre la falla.

3.- Preparar el diagrama de impedancias o reactancias correspondiente reemplazando cada elemento por su impedancia y cada fuente de cortocircuito por una fuente de voltaje en serie con una reactancia o impedancia, tomando en cuenta los siguientes conceptos:

**Formación de las Secuencias para el Análisis del Cortocircuito.** Para los estudios de cortocircuito, se requiere que cada corriente de secuencia, circule por una red de impedancias de la misma secuencia, es decir, que un estudio de corto circuito por cualquier método que se aplique, requiere de la formación de las redes de secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero.

*Red de secuencia positiva.* Dicha secuencia se obtiene reemplazando cada elemento del sistema por su impedancia y cada generador por una fuente de voltaje en serie con su impedancia de secuencia positiva, los motores síncronos o de inducción son también fuentes de voltaje y tienen la misma representación.

*Red de secuencia negativa.* Se obtiene igual que la red de secuencia positiva, reemplazando cada elemento por su impedancia, de la misma secuencia, aunque en este caso no se tienen fuentes de voltaje, la razón es que los sistemas están diseñados en la práctica para generar sólo en la secuencia de fases (ABC).

*Red de secuencia cero.* En la formación de esta red, se deben tomar en consideración, la forma en como se encuentran conectados los neutros de los equipos.

## INDICE DE FIGURAS

1.1 Acometida.....	16
2.1 Índice local.....	40
2.2 Dimensiones de cavidad de un local.....	47
2.3 Gráficas del Factor de Degradación.....	50
2.4 Curva isocandela en plano vertical de un luminario con distribución simétrica.....	58
2.5 Proyecciones de un luminario sobre los planos vertical y horizontal.....	58
2.6 Curva fotométrica.....	60
2.7 División del área.....	61
3.1 Parpadeo de las lámparas incandescentes.....	95
3.2 Curva de demanda de un batería.....	118
3.3 Ubicación de los capacitores.....	128
4.1 Centro de control de motores.....	139
4.2 Carga distribuida en un alimentador.....	145
5.1.a Relación X/R en transformadores autoenfriados.....	157
5.1.b Rango de la relación X/R para motores de inducción.....	157
5.2 Forma de onda en (c.a).....	161
5.3 Corriente asimétrica.....	161
5.4 Componentes de la corriente.....	162
5.5 Corriente simétrica en un circuito con factor de potencia cero.....	163
5.6 Curvas características de los fusibles.....	169
5.7 Factores de multiplicación para fallas trifásicas.....	171
5.8 Curvas de tiempo inverso de un relevador.....	173
5.9 Conexión de un relevador.....	175
5.10 Grafica corriente contra voltaje de un apartarrayos.....	176
5.11 Diagrama unifilar.....	182
5.12 Diagrama de resistencias y reactancias.....	183
5.13 Arreglo de las tres fases del conductor.....	185
5.14 Arreglo de las tres fases para la alimentación.....	185
5.15 Arreglo del cable de 40 [m].....	186
5.16 Reducción del sistema para el cálculo de cortocircuito.....	189
5.17 Reducción del diagrama de impedancias y reactancias.....	189
5.18 Sistema en anillo.....	194
5.19 Tensión de paso.....	197
5.20 Ejes de medición.....	200
5.21 Geometría del sistema.....	203
5.22 Curvas para determinar el factor K.....	208
5.23 Longitud de la red de tierra.....	209
6.1 Contacto directo.....	216



## INDICE DE TABLAS

1.1 Distribución de las Tienda Ancla.....	12
1.2 Instrumentos de medición.....	17
1.3 Sistemas de iluminación.....	22
1.4 Requerimientos para las cargas conectadas.....	34
2.1 Niveles de iluminación.....	225
2.2 Coeficientes de utilización.....	226
2.3 Factores de corrección.....	228
2.4 Altura de montaje en luminarios.....	229
2.5 Relación distancia de luminarios vs altura.....	56
2.6 Capacidad de transporte en ascensores.....	69
2.7 Capacidades de transporte en escaleras eléctricas.....	72
2.8 Voltaje de alimentación para motores trifásicos.....	74
2.9 Requisitos de agua en edificios.....	78
3.1 Rangos de voltaje en motores estándares.....	89
3.2 Tensiones en México.....	90
3.3 Voltajes de alimentación según la carga conectada.....	90
3.4 Letras de motores a rotor bloqueado.....	96
3.5 Niveles de iluminación dentro de las subestaciones.....	100
3.6 Rangos en KVA en transformadores.....	229
3.7 Valores de impedancia en transformadores.....	230
3.8 Densidades en baterías.....	117
3.9 Eficiencias en las baterías.....	117
3.10 Niveles de generadores en sistemas de emergencia.....	121
3.11 Servicios requeridos en (CC).....	122
3.12 Factores de potencia.....	231
3.13 Potencia de los capacitores.....	231
4.1 Corriente a plena carga de motores monofásicos.....	232
4.2 Capacidad máxima de los dispositivos contra cortocircuito para motores.....	233
4.3 Capacidad de corriente en conductores.....	234
4.4 Número de conductores en un tubo conduit.....	235
4.5 Capacidad de corriente en conductores de cobre aislado.....	236
4.6 Sección de conductores TW y THW.....	237
4.7 Sección transversal de tuberías conduit.....	238
4.8 Factores de corrección.....	238
4.9 Dimensiones de conductores desnudos.....	239
5.1 Reactancias en máquinas rotatorias.....	239
5.2 Factores de multiplicación para reactancias e impedancias.....	240
5.3 Factores de multiplicación para sistemas de varios niveles.....	240
5.4 Radio medio geométrico.....	240
5.5 Tiempo de apertura de contactos.....	170
5.6 Tiempo de interrupción y de separación de los contactos.....	172
5.7 Radio medio geométrico de conductores.....	184
5.8 Selección del TC con carga máxima de 5 [A].....	192
5.9 Efectos de la corriente en el cuerpo humano.....	196
5.10 Cálculo de $K_1$ y $K_2$ .....	199

5.11 Resistividades.....	200
5.12 Factores de decremento.....	203
5.13 Características físicas de los conductores de cobre.....	241

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.-LAWRENCE J. Israel, Store planning/design, John Wiley, Estados Unidos de América, 1994, 250 págs.
- 2.-CLIVE Darlow, Shopping centers, 1a. Edic., Darlow, Inglaterra, 1972, 224 págs.
- 3.-MORRIS L. Mayer, Modern retailing theory and practice, 6a. Edic., Irwin, Estados Unidos de América, 1993, 792 págs.
- 4.-NEAGU BRATO Servan, Instalaciones eléctricas, Alfaomega, México, 1990, 218 págs.
- 5.-GARDUÑO FERNANDEZ, Jesús, Equipos eléctricos modernos, Continental, México, 1976, 182 págs.
- 6.-D. M., Considine, Manual de instrumentación aplicada, Continental, México, 1992, 690 págs.
- 7.-FERRER LANA, José, Medidas eléctricas y métodos de instrumentación, Delfino, Barcelona, 1967, 245 págs.
- 8.-C. R., Urwin, y W. F., Parker, Instalaciones eléctricas, teoría y práctica, Continental, México, 1992, 318 págs.
- 9.-DEL TORO, Vincent, Ingeniería eléctrica, 1a Edic., Prentice-Hall, México, 1988, 477 págs.
- 10.-ENRIQUEZ HARPER, Gilberto, El ABC de las instalaciones eléctricas industriales, 1a. Edic., Limusa, México, 1984, 237 págs.
- 11.-McPARTLAND F., Joseph, y NOVAK J., William, Electrical design details, Robert E. Krieger, Malabar Florida, 1983, 230 págs.
- 12.-E. L. Donnelly, Teoría y práctica de la instalación eléctrica, 2da. Edic., Paraninfo, Madrid, 1974, 342 págs.
- 13.-HOWARD W. Fisher, Especialidades eléctricas, 1a. Edic., Diana, México, 1971, 253 págs.
- 14.- PITA G. Edward, Acondicionamiento de aire, 1a. Edic., Continental, México, 1994, 542 págs.
- 15.- HERNÁNDEZ GORIBAR Eduardo, Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración, 13a Edic., Limusa, México, 1994, 455 págs.
- 16.- H.P. Richter, Manual práctico de instalaciones eléctricas, 6a Edic., Continental, México, 1995, 567 págs.

- 17.- TYLER G. Hicks, Bombas su selección y aplicación, 3a Edic., Continental, México, 1995, 530 págs.
- 18.-MERRICK GAY Charles, Instalaciones en los edificios, 6a Edic., Gustavo Gili, Barcelona, 1979, 654 págs.
- 19.-SOREVILA Antonio, Instalaciones eléctricas, 7a Edic., Alsina, Argentina, 2000, 240 págs.
- 20.-ENRIQUEZ HARPER Gilberto, Guía para el diseño de instalaciones eléctricas residenciales, industriales y comerciales, 4a Edic., Limusa, México D.F., 1996, 305 págs.
- 21.-SAGE Konrad, Instalaciones técnicas en edificios, 3a Edic., Gustavo Gili, Barcelona, 1980, 257 págs.
- 22.-BECERRIL L. Onésimo, Instalaciones eléctricas prácticas, 9a Edic., México D.F., 1983, 208 págs.
- 23.-ENRIQUEZ HARPER Gilberto, Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión, 5a Edic., Limusa, México D.F., 1996, 240 págs.
- 24.-ENRIQUEZ HARPER Gilberto, Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales, 1a Edic., Limusa, México D.F., 1991, 567 págs.
- 25.-GIUSEPPE Castelfranchi, Instalaciones eléctricas, 3a Edic., Gustavo Gili, Barcelona, 1987, 420 págs.
- 26.-WILLIAM H. Roadstrum, Introducción a la ingeniería eléctrica, 3a Edic., Harla, México, 1989, 692 págs.
- 27.- NOM-001-SEDE-1999, Instalaciones eléctricas, 1a Edic., Secretaria de Energía, México, 2001, 988 págs.
- 28.- Power Systems Engineering Comité, IEEE recommended practice for electric power systems in commercial buildings, 1991, 600 págs.
- 29.- Manual, Aspectos básicos del factor de potencia orientado al ahorro de energía, FIDE, 2004, 25 págs.
- 30.- Manual, Recomendaciones para ahorro de energía en instalaciones eléctricas, FIDE, 2004, 20 págs.
- 31.- RAULL MARTÍN José, Diseño de subestaciones eléctricas, 2a Edic., Mcgraw-Hill, México, 2000, 556 págs.