

01126  
20



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

GUIA DE PROCEDIMIENTOS PARA EL PROYECTO.  
INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE  
SISTEMAS ELECTRICOS INDUSTRIALES EN MEDIA Y  
BAJA TENSION

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTAN:

FABIAN FLORES MORALES  
JAIRO BERTIN FLORES AVILA  
FLOYLAN CARRILLO VILLANUEVA  
OSCAR RIOS HERNANDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ARTURO MORALES COLLANTES



MEXICO, D. F.

2003

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

INTRODUCCION.....	5
CAPITULO 1 PROYECTO.....	10
1.1 INGENIERIA BASICA.....	10
1.2 ANÁLISIS DE CARGA.....	11
1.2.1 FUERZA.....	11
A) Características y aplicaciones.....	11
Motores de inducción jaula de ardilla.....	12
Motores de inducción de rotor devanado.....	12
Motores síncronos.....	13
Motores de velocidad variable de corriente directa.....	13
B) Factores que influyen dentro de los cálculos y protecciones correspondientes de los motores.....	14
Régimen de trabajo.....	15
Factor de servicio.....	15
1.2.2 Alumbrado.....	16
A) Lámparas incandescentes.....	16
B) Lámparas de descargas eléctricas.....	16
Lámparas fluorescentes.....	16
Lámparas de descarga gaseosa.....	17
1.3 ASIGNACION DE ESPACIOS.....	19
1.3.1 Ubicación de equipos.....	19
A) Subestación eléctrica.....	19
B) Transformadores.....	20
C) Tableros principales.....	20
D) Bancos de baterías.....	20
E) Plantas de emergencia.....	21
1.4 Elaboración de planos.....	21
1.5 Ingeniería de detalle.....	23
1.6 Sistemas de suministro de energía.....	24

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1.6.1	Selección de las tensiones de suministro y utilización .....	24
1.6.2	selección de las estructuras del sistema de distribución.....	25
	A) Sistema radial .....	26
	B) Radial con centro de potencia.....	26
	C) Sistema radial selectivo en primario .....	27
	D) Radial selectivo en secundario. ....	27
	E) Red automática.....	28
	F) Anillo en alta tensión.....	28
1.7	Memoria de cálculo .....	29
1.7.1	Conductores.....	29
	A) Calculo de alimentadores para fuerza. ....	29
	B) Calculo de alimentadores para alumbrado .....	30
	Alumbrado de oficinas. ....	31
	Alumbrado de naves industriales.....	31
	Alumbrado Exterior .....	31
	C) Formulas para el cálculo de alimentadores .....	32
	Formulas por capacidad de corriente.....	32
	Formulas por caída de tensión.....	32
1.7.2	CANALIZACIONES .....	33
1.7.3	PROTECCIONES.....	35
	A) Protección de motores .....	35
	B) Análisis de corto circuito .....	36
	Falla trifásica sólida .....	40
	Falla de fase a fase sólida .....	40
	Falla de línea a tierra sólida.....	40
	C) Redes de secuencia .....	41
	Red de secuencia positiva. ....	41
	Red de secuencia negativa.....	41
	Red de secuencia cero. ....	42
	Simplificación de los diagramas de potencia de corto circuito. ....	43
	D) SISTEMAS DE TIERRA.....	44
	Determinación de la resistividad del terreno. ....	44
	Sistema de malla. ....	45
	E) Protección de motores .....	46
	Protección de motores contra sobrecarga. ....	46
	Protección de motores contra corto circuito y falla a tierra. ....	48

# **TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

CAPITULO 2 . INSTALACION.....	49
2.1 SUBESTACION ELECTRICA .....	51
2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	54
2.3 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES .....	57
2.4 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN .	58
2.5 SELECCIÓN DE INTERRUPTORES .....	69
2.6 INTERRUPTORES DE POTENCIA ELECTROMAGNÉTICOS .....	74
2.7 SELECCIÓN DE TABLEROS .....	84
2.8 CENTRO DE CONTROL DE MOTORES.....	95
A) Forma de Planear un Centro de Control.....	106
B) Segundo paso.....	107
C) Tercer paso.....	107
CAPITULO 3 OPERACION .....	108
3.1 Reglamento de operación .....	108
3.2 Disponibilidad de equipo eléctrico.....	112
3.3 Libramiento de equipo eléctrico .....	112
3.4 Licencias y permisos.....	113
3.5 Puesta en servicio de equipo eléctrico.....	115
3.6 Administración de la información del equipo de monitores .....	124
3.7 Seguridad en la operación de los sistemas eléctricos.....	127

<b>CAPITULO 4 Mantenimiento .....</b>	<b>146</b>
<b>4.1 Mantenimiento a Equipos de Distribución .....</b>	<b>164</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>192</b>

## INTRODUCCION

Uno de los problemas mas comunes dentro del diseño de proyectos es que no se tiene una visión integral del mismo, muchos de nosotros pensamos que simplemente un proyecto electromecánico consta de planos y memorias de calculo; hoy en la actualidad esto es tan solo una parte que tiene que desarrollar todo Ingeniero electromecánico.

Todas las instalaciones eléctricas industriales de cualquier capacidad de carga deberán de cumplir con ciertos reglamentos los cuales debemos de acatar estrictamente, esto dará como resultado una instalación que garantice la seguridad del personal, la eficiencia en los procesos de producción; esto quiere decir que tendremos las menos fallas posibles en la instalación que generen retrasos y por consiguiente pérdidas considerables

Es muy importante que tomemos en cuenta el aspecto económico ya que idealmente una instalación bien diseñada será aquella que no tenga fallas y que se realice con un bajo costo; deberemos de encontrar por consiguiente un equilibrio entre lo económico, confiable y seguro

En nuestro caso dicho proyecto empieza con la planeación y, termina en la operación y mantenimiento de este, todos los procedimientos intermedios se describen en forma general para no perder de vista el objetivo central del tema que es guiar a la persona involucrada para que pueda tomar ciertos criterios que puedan llevarlo a desarrollar un proyecto seguro, confiable, eficiente y económico.

Cuando la energía eléctrica deja de fluir en una fabrica, la producción en la planta se detiene. El propietario puede tener invertido dinero en las mejores instalaciones, las más modernas máquinas de producción, tener un amplio inventario de materia prima, un buen desarrollo de productos, personal eficiente y altamente capacitado y todo aquello que se requiere para producir productos rapidamente y a bajo costo. De cualquier manera, si la energía eléctrica no está disponible dónde y cuando se le necesita, entonces la inversión del propietario en ambos, planta e inventario, es por mucho capital muerto. Porque la energía eléctrica es tan importante en cualquier proceso de fabricación, el sistema de distribución de energía en la planta es la cadena vital que lleva la energía del punto de suministro a las maquinas que mantiene la producción de la planta.

El sistema de distribución de energía eléctrica generalmente cuesta menos del 2 al 5 por ciento del total del costo de la planta, incluyendo la maquinaria. Desde que uno obtiene mucho por tan poco de la inversión en el sistema de distribución de energía, esto se logra solamente siguiendo las mejores prácticas y adquiriendo el mejor equipo. Esto asegura un máximo de provecho sobre toda la inversión de la planta.

El ingeniero que diseña el sistema de distribución en una planta industrial debe confiar en sus conocimientos técnicos y además debe ejercer sus juicios de ingeniería, ya que no todas las fases de la ingeniería del sistema de potencia pueden ser expresadas en números o formulas. Cuando se toman decisiones basadas sobre juicios de ingeniería, el ingeniero deberá siempre basar sus consideraciones en los mejores registros disponibles y no en vagas hipótesis o información la cual no se puede aplicar en problemas aproximados. Una de las más valiosas herramientas son los datos de pruebas hechos bajo condiciones específicas controladas. Los reportes de campo y las experiencias de operación tienen que ser siempre evaluadas con mucho cuidado para estar seguro de que todos los datos y antecedentes son adecuados.

Los datos de campo son una ayuda importante del ingeniero. El ingeniero debe estar seguro de que conoce las condiciones bajo las cuales los datos de campo fueron obtenidos, de tal manera que sean suficientemente amplios para que sean de utilidad. Por tanto, cualquier dato de campo que sea usado debería ser extensivo y representar una parte de la industria y no solamente unos cuantos casos aislados. Entonces ingeniero debe basarse sobre realidades (el método científico) y de esta manera muchas fallas en el sistema serán superadas.

## **PLANEACION TOTAL**

Un sistema de distribución confiable de energía que sea adecuado para resolver los requisitos de servicio de una planta, pero que sea de bajo de costo, requiere que una planeación integral, aún si el sistema eléctrico es instalado en partes, tal como subestaciones, cable, bus, interruptores, transformadores, etc., el sistemas sin embargo funciona como un unidad completa integral. El mejor camino para obtener un cuadro total del probable desempeño de un sistema de distribución industrial es hacer un diagrama unifilar. Sobre un plano se debe mostrar el sistema en su totalidad. El diagrama unifilar da al ingeniero una idea razonable de que tan confiable será el servicio y como los componentes del sistema quedarán unidos para cubrir las necesidades de la planta económica y efectivamente. Hay muchos factores que deben ser considerados en la planeación total de un sistema de potencia. Algunos de los más importantes aspectos que deben ser considerados se mencionan a continuación.

## **SEGURIDAD**

El ingeniero tiene que poner demasiado énfasis en la seguridad. La electricidad ha llegado a ser una parte integral de las líneas de producción. Es usada en áreas donde toda clase de personas trabajan. El ingeniero es responsable de hacer los sistemas tan seguros como sea posible. Construir una subestación con una barda alrededor etiquetada con la leyenda "Solamente personal autorizado" no es garantía de seguridad ya que el personal autorizado también incurre en equivocaciones.

Tres ideas fundamentales nos ayudaran a construir sistemas de distribución seguros:

Encerrar todos los conductores vivos en metal aterrizado.

Usar solamente equipo de protección adecuado.

Desarrollar el sistema para que no sea necesario trabajar sobre conductores no energizados.

## **PLANEACION PARA EL CRECIMIENTO DE LA CARGA**

Una de los grandes errores cometidos en la ingeniería de sistemas de distribución es planear sin tomar en cuenta el crecimiento de la carga. Este error en la planeación provoca inflexibilidad y complicaciones. El uso de la electricidad en muchas plantas se incrementa constantemente. Aún si no se agregan nuevas áreas, la manufactura de una área se intensifica e incrementa el monto de la electricidad de 3 a 5 por ciento al año. La fabricación requiere de la expansión de las instalaciones existentes así como también de nuevas instalaciones. El costo de la planeación y preparación para el futuro crecimiento de carga es tan barato que debería ser un deber realizarlo en cada planta. Algunos elementos importantes al respecto son: el permitir tener de reserva kVA's en las subestaciones sobre cargas presentes y adquirir interruptores generales con un margen en el rango de interrupción para permitir un incremento del suministro de la energía a la planta.

## **FLEXIBILIDAD**

Cualquier planta, y particularmente una planta metalmeccánica, deberán ser diseñadas con la idea de que nuevos procesos completos pueden ser implementados sin requerir mayores cambios en los sistemas de distribución de la energía

Dos grandes contribuciones a la flexibilidad son:

Usar centros de carga con pequeñas subestaciones las cuales pueden ser agregadas en pequeñas unidades como sean requeridas y, si es necesario, movidas, y

Usar electroductos enchufables, lo cual permite la instalación de sistemas de distribución permanentemente lo cual las máquinas herramientas y otros equipos son simplemente enchufados donde sea necesario.

## **CONFIABILIDAD EN EL SERVICIO**

Una alta confiabilidad en el servicio generalmente puede ser obtenido de dos maneras: uno es proveer caminos duplicados para suministrar la energía a cualquier carga, el otro es instalando solamente el mejor equipo eléctrico disponible y usando el mejor método de instalación.

A esto se le puede agregar que la confiabilidad de servicio puede incrementarse a través de la simplicidad del sistema, un factor que fue mencionado previamente.

## **MODERNIZACIÓN Y EXPANSIÓN**

Cuando las instalaciones de plantas tienen que ser expandidas o modernizadas, el ingeniero tiene la oportunidad en diseñar un sistema eléctrico ideal. Primero es necesario un diagrama unifilar del sistema que se necesitaría si la planta fuera nueva. Habiendo hecho este plan, el ingeniero debería dejar que esto guiara la futura modernización y expansión. Obviamente el equipo existente no es reemplazado todo a la vez, pero como se agrega y reemplaza equipo, esto debe hacerse sobre la base de ser integrado dentro del plan ideal y no solamente como reemplazo en el viejo sistema.

## **SELECCIÓN DE EQUIPO**

El principio fundamental en la selección del equipo es elegir el mejor equipo disponible. Al final no eleva el costo de la instalación y paga dividendos en el servicio continuo y el bajo mantenimiento.

Algunos principios aceptados ampliamente son:

Usar solamente equipo Metal – Clad a 15 kV o menos.

Usar transformadores no inflamables.

Usar equipo ensamblado en fábrica para fácil instalación en campo y mejor coordinación.

Asegurar que los rangos eléctricos del equipo sean adecuados, por ejemplo: voltaje, corriente o capacidad interruptiva.

Muchas de las ventajas del equipo de alta calidad se pueden perder si el equipo es instalado y mantenido de una manera incorrecta.

## **MANTENIMIENTO**

Uno de los últimos puntos que se mencionaran en la presente TESIS es el tema de los mantenimientos, ya se ha llevado a cabo la planeación, la puesta en operación y la operación del proyecto en cuestión, todo funciona según lo planeado, pero no debemos olvidar que los equipos e instalaciones son eternos, algún día fallara y con estas fallas se presentaran perdidas cada vez mas grandes, por tal motivo deberemos de prevenirnos desde la terminación del proyecto de programas de mantenimiento, estos programas deberán contemplar el archivo de todos los manuales de operación, planos de instalaciones y referencias de marcas y catálogos de todas las instalaciones en caso de requerir alguna refacción o pieza a reponer

Los programas de mantenimiento se encargaran de mantener en lo subsecuente el correcto funcionamiento de las instalaciones; ayudado con los manuales de cada equipo se determinaran los tiempos en los que se programaran los servicios a los mismos.

Es de vital importancia que al momento de que se entreguen las instalaciones, se encuentre presente el personal que se encargara de operar y mantener el sistema, esto con el fin de evitar en un futuro el desconocer la forma de operar y sus requerimientos de servicio de los diversos equipos e instalaciones instalados en el sistema.

Con lo anterior nos podemos dar cuenta que aunque tengamos un proyecto muy bien planeado, sino se cuenta con el adecuado mantenimiento el resultado será por consiguiente perdidas en la producción; por esto incluimos como parte y complemento de un proyecto el mantenimiento de las instalaciones.

# **CAPITULO 1 PROYECTO**

## **1.1 INGENIERIA BASICA.**

Antes de iniciar con el diseño de un proyecto eléctrico cualquiera que éste sea, se debe tener en claro que es lo que se va a diseñar, así como conocer perfectamente el tipo de proceso que se va a realizar, esto permitirá al proyectista tener herramientas para tomar decisiones en el desarrollo del proyecto.

Como sabemos, en la industria se cuenta con una gran variedad de procesos de producción para los cuales se emplean infinidad de criterios de diseño, estos procesos pueden ser tan complejos como podamos imaginar, por lo que la descripción del mismo nos permitirá enmarcar al proyecto bajo ciertos criterios de diseño específicos.

En esta descripción se tiene que enumerar paso a paso cómo se lleva a cabo el proceso de producción, desde la preparación de la materia prima hasta el proceso de almacenamiento del producto final.

Cuando se inicia con un proyecto de una industria cualquiera, el primer objetivo es reunir a las personas de las diferentes áreas que intervendrán en el mismo, en estas reuniones se determinan los parámetros y necesidades principales que se requieren para llevar a cabo el proyecto, de este punto parten los proyectistas de las diferentes disciplinas para llevar la idea que se persigue a planos constructivos. En estas reuniones participan personas que conocen detalladamente como se llevan a cabo los procesos de producción y son ellos los que proporcionarán detalladamente las características que nos permitirán desarrollar el proyecto eléctrico.

Cabe señalar que el proyectista debe solicitar a los responsables de dirigir el proyecto información técnica de los equipos que intervendrán en el proceso productivo, ya que es de vital importancia conocer las necesidades de los mismos

Con estos datos y características podemos iniciar de una forma segura y ordenada el proyecto eléctrico. En el siguiente tema veremos, ya teniendo en cuenta los equipos que intervienen en el proceso, de que forma separaremos e identificaremos las cargas que conforman el proyecto.

## 1.2 ANÁLISIS DE CARGA.

Ya que se sabe exactamente cuales son los equipos que intervienen dentro del proceso se debe realizar el análisis de cargas, esto con la finalidad de elaborar un diagrama unifilar el cual representa la carga del sistema.

El diagrama unifilar se compone de una fuente de alimentación, una subestación, transformadores, tableros principales y derivados, así como sus correspondientes alimentadores y como punto final la carga del sistema.

Las cargas se dividen en forma general como **fuerza y alumbrado**, estas cargas representan el mayor porcentaje dentro del total de la carga, la carga restante se utiliza para sistemas especiales.

### 1.2.1 FUERZA

Estas cargas son principalmente motores, los cuales representan la mayor carga del sistema, por lo que se debe conocer su función específica dentro del proceso de producción para poder realizar sin errores los cálculos correspondientes; otro aspecto que es importante definir es el voltaje de operación de los motores involucrados en el proceso, ya que este dato nos permitirá saber cuantos niveles de voltaje se manejarán dentro de nuestro sistema, y por consiguiente definirá los tipos de transformadores y tableros que se emplearán para transformar el voltaje y alojar las protecciones respectivas.

El sistema puede estar compuesto por cualquiera de los diferentes tipos de motores que se muestran a continuación:

- Motores de inducción jaula de ardilla
- Motores de inducción de rotor devanado
- Motores síncronos
- Motores de velocidad variable de corriente directa

#### A) Características y aplicaciones.

Las características y aplicaciones de cada uno de estos motores se muestra a continuación:

### Motores de inducción jaula de ardilla

- Requieren un espacio reducido para su colocación y mantenimiento.
- No producen chispa. Esta característica es importante para algunos sitios en los cuales se pueda provocar un incendio por medio de la chispa que se genera en el arranque de algunos motores
- Son motores de velocidad fija.
- El par de arranque también es fijo.
- Demanda de corriente alta al arranque.

Estos motores están clasificados de acuerdo a National Electrical Manufacturers Association (NEMA ) como sigue:

Clase	Par de arranque	Cte. En el arranque	Deslizamiento a plena carga	Notas	Aplicación
A	Normal	Normal	Bajo < 5%	Pueden requerir arrancadores a voltaje reducido	Maquinas herramientas, ventiladores, bombas, compresores y transportadores, arrancados sin carga
B	Normal	Baja	Bajo < 5%	Motores para arranque directo sobre la linea	Igual que la clase A con menor corriente de arranque.
C	Alto 200% de p.c	Baja	Bajo < 5%	Motores para arranque directo sobre la linea	Bombas de embolo, transportadores arrancados con carga.
D	Alto 275% de p.c	Baja	Alto 5-8 8-13%	Rotores de alta resistencia	Elevadores y prensas
F	Bajo	Muy baja	Bajo < 5%		Motores de alta velocidad para ventiladores

### Motores de inducción de rotor devanado

Se utilizan principalmente en todas las cargas que requieren un par de arranque alto con corrientes de arranque pequeño, este tipo de motor tiene la eficiencia de par más alto dentro de los motores de inducción.

El par de plena carga en el arranque en el motor de inducción de rotor devanado se puede obtener con la corriente normal como corriente de arranque.

Un ejemplo del uso que se les da a este tipo de motores son los siguientes:

#### **Velocidad constante**

- Compresores
- Molinos de harina
- Transportadores de banda
- Propulsión de navios

#### **Velocidad variable**

- Grúas
- Elevadores
- Descargadores de carbón y mineral

- Locomotoras
- Trituradoras de piedra
- Rodillos principales en laminadoras

### **Motores síncronos**

Se utilizan para mover cargas a velocidades constantes debido a las siguientes ventajas.

- Corrección del factor de potencia. Los KVA reactivos de un motor síncrono son menos costosos que los capacitores.
- Alta eficiencia. La eficiencia del motor síncrono es de 1 a 3% mayor que la del motor de inducción debido a la ausencia de deslizamiento y corriente de excitación.
- Posibilidad de frenado dinámico. Este consiste en mantener el campo alimentado con el estator abierto, de tal manera que la reacción de las corrientes parásitas frena el motor.

Ejemplos de utilización de los motores síncronos:

#### **Alta velocidad > 500 rpm.**

- Molinos de hule
- Ventiladores
- Bombas
- Compresores centrífugos y recíprocantes

#### **Baja velocidad < 500 rpm.**

- Laminadoras
- Molinos de bolas
- Generadores para galvanoplastia
- Bombas recíprocantes y centrífugas.

### **Motores de velocidad variable de corriente directa**

Este tipo de motores se utiliza en procesos donde es necesario variar la velocidad del motor en proporciones desde 10:1 hasta 40:1. La variación de la velocidad se logra debido a la precisión del control utilizado (conocido como "Sistema Ward Leonard") en donde se emplea un generador de corriente directa movido a velocidad constante (generalmente una unidad motor-generador) y uno o más motores de corriente directa cuyas armaduras son alimentadas por dicho generador. También se utiliza una fuente de corriente directa para la excitación de los campos de generador y motores y un equipo de control para arrancar, parar y modificar la velocidad de los motores. Este sistema cuenta con sus respectivas protecciones de sobrecarga y bajo voltaje.

Este sistema de control se puede simplificar si se conectan las bobinas de excitación en serie, tanto del generador como del motor de corriente directa .

### **Aplicación**

La aplicación más común de este tipo de motores y su sistema de control es en la fabricación de papel, en donde las características deseadas y con las cuales cumple el sistema de control Ward Leonard para motores de C.D. son las siguientes:

- 1.- Par constante
- 2.- Velocidades de 12:1
- 3.- Operación continua de cualquier velocidad
- 4.- Buena regulación de velocidad
- 5.- Economía a cualquier velocidad

Cabe destacar que actualmente existen equipos Variadores de Velocidad, los cuales pueden realizar el mismo control sobre los motores de inducción

Los procesos de producción están conformados por varios subproceso en los que se localizan los diferentes tipos de motores de los cuales se habló anteriormente, estos motores deben agruparse de forma que no se tenga un área muy grande para la colocación de los diferentes gabinetes de protección; este problema se puede solucionar agrupando los motores en un centro de control de motores (CCM); estos gabinetes nos permiten de una forma ordenada controlar a los motores que intervienen en una parte específica del proceso.

Por otro lado existen también motores de gran capacidad, para los cuales se recomienda que sus controles se manejen independientes de los motores pequeños. Esto debido a que por su gran potencia, requieren de interruptores y conductores de alimentación de gran capacidad los cuales se deben concentrar dentro de los tableros principales.

Además, se debe tener en cuenta que para no saturar de conductores las canalizaciones se tienen que manejar alimentadores principales y alimentadores derivados, por esta razón se agrupan motores de pequeña capacidad en Centros de Control de Motores.

### **B) Factores que influyen dentro de los cálculos y protecciones correspondientes de los motores**

Cada motor en especial tiene una función y un tiempo de operación dentro del proceso, debido a esto se tienen algunos factores que influyen dentro de los cálculos y protecciones correspondientes, algunos de estos factores se enuncian a continuación:

## Régimen de trabajo.

Este concepto se refiere al tiempo en el cual el equipo o motor completa su función, y se aplica a motores que esperan por corto tiempo, en forma periódica o haciendo variar sus cargas. La tabla 430-22(a) de la Norma de Instalaciones Eléctricas nos muestra el porcentaje de corriente nominal indicada en la placa para el cálculo de los alimentadores, dependiendo del servicio y el régimen de trabajo del motor.

Tabla 430 – 22(a). Por ciento para determinar el tamaño nominal de los alimentadores a motores de acuerdo con el régimen de trabajo

Clasificación del servicio	Por ciento de la corriente eléctrica nominal indicada en la placa			
	Régimen de trabajo del motor			
	5 minutos	15 minutos	30 y 60 minutos	Servicio continuo
De corto tiempo Accionamiento de válvulas, ascenso y descenso de rodillos	110	120	150	—
Servicio intermitente Ascensores y montacargas, máquinas herramientas, bombas y puentes levadizos, mesas giratorias, etc. para soldadoras de arco, véase 630-21	85	85	90	140
Servicio periódico Rodillos, equipos para manejo de minerales y carbón, etc.	85	90	95	140
Trabajo variable	110	120	150	200
Cualquier motor debe considerarse en trabajo continuo, a menos que la naturaleza del aparato eléctrico que accione, no trabaje continuamente con carga, bajo ninguna condición durante su operación.				

## Servicio continuo

Se define como aquella carga en la que la corriente eléctrica máxima continua circula por más de tres horas, para estos motores existe también un factor el cual tendrá efectos sobre sus cálculos como se verá más adelante.

## Factor de servicio.

Otro factor que debemos tener en cuenta y que viene indicado en la placa de datos de los motores, es el de factor de servicio. Este factor indica que se le puede permitir desarrollar a los motores más de los HP indicados en la placa, sin causar un deterioro indebido en el material aislante; por ejemplo, si se tiene un motor de 10 HP con un factor de servicio de 1.15, se le puede permitir al motor desarrollar 11.5 HP este factor estará de acuerdo a lo indicado en la tabla 430.22 (a) de la NOM-001-SEDE-1999.

Como podemos ver, se tiene diferentes tipos de motores los cuales no trabajan de igual forma, por lo que se les debe dar un trato especial para poder realizar los cálculos correspondientes.



## **1.2.2 ALUMBRADO.**

El segundo tipo de carga que se tiene en un sistema es el alumbrado. Para una mayor comprensión acerca de los tipos de luminarias que se tienen en toda industria, comercio y oficinas, definiremos los medios de generación de luz que se tienen actualmente y los factores que afectan la funcionalidad de la luminaria.

Desde el punto de vista de la ingeniería eléctrica, existen dos tipos de generación de la luz eléctrica: incandescencia y descargas eléctricas.

### **A) Lámparas incandescentes**

El primer método es una fuente que produce luz por incandescencia de un alambre de tungsteno, dentro de un bulbo de vidrio. Aproximadamente el 7% de su rendimiento es en forma de energía visible (luz), el resto son radiaciones infrarrojas (calor). Una lámpara incandescente de 300 watts produce 9 lúmenes por watts consumidos. Los principales inconvenientes de la lámpara incandescente son: una vida corta y una baja eficiencia. Sin embargo, las ventajas que la compensan y sostienen son:

- Tamaño Compacto.
- Bajo costo inicial
- Inafectable por la temperatura circundante.
- No necesita accesorios de arranque o reactores.
- Color cálido, que da a los objetos un aspecto familiar.
- Flujo luminoso fácilmente controlable en una gran variedad de distribuciones luminosas.
- Opera indistintamente con corriente alterna o continua.

### **B) Lámparas de descargas eléctricas**

El segundo método de generación de luz es el de descargas eléctricas, dentro de las cuales las más usuales son las lámparas fluorescentes y la de vapor de mercurio. El primer método ha llegado a ser el más utilizado en la iluminación comercial e institucional, y el último en la iluminación industrial y exterior.

#### **Lámparas fluorescentes**

Las lámparas fluorescentes son una fuente de descarga eléctrica que hace uso de la energía ultravioleta generada a una alta eficiencia por un vapor de mercurio en un gas inerte (argón, kriptón o neón) a baja presión para activar un revestimiento de material fluorescente ( fósforo ) depositado sobre la superficie interna de un tubo de vidrio. El fósforo actúa simplemente como transformador para convertir la luz ultravioleta invisible en luz visible.

Los principales inconvenientes de estas lámparas son su gran tamaño físico en relación con su wattaje ( una lámpara de 48" consume 40 watts ), la necesidad de un reactor que le proporcione una corriente y un voltaje adecuado de operación y una gran reducción de su flujo luminoso a bajas temperaturas. Sus ventajas son las siguientes:

- Alta eficiencia luminosa, mas de 67 lúmenes por watt
- Producción de buenos colores.
- Vida mas larga, aproximadamente 12,000 horas en comparación con las 750 a 2,500 horas de las lámparas incandescentes.

### **Lámparas de descarga gaseosa**

El otro tipo de lámpara de descarga gaseosa es la de vapor de mercurio de alta intensidad. Esta genera la luz directamente de la luminosidad producida por el arco eléctrico. Esta lámpara tiene una emisión de luz característica azul-verde. Su calidad en el color ha sido mejorada para igualar el color de las lámparas fluorescentes, por una acción de fluorescencia parcial por medio de polvos fluorescentes en la superficie interna del bulbo de vidrio.

Su característica la hace una fuente ideal para gimnasios, grandes campos deportivos, instalaciones industriales y en general en todas las áreas al aire libre.

Además de necesitar un reactor, otro inconveniente de las lámparas de vapor de mercurio es que, después de aplicarle corriente, se necesitan varios minutos para obtener su máxima emisión luminosa, y si se ha apagado, es necesario un enfriamiento de tres a cinco minutos antes de tener su total emisión nuevamente.

Estos inconvenientes son insignificantes en lugares en donde las lámparas están en uso constante durante un tiempo determinado (como en fábricas o del crepúsculo al amanecer en alumbrado publico).

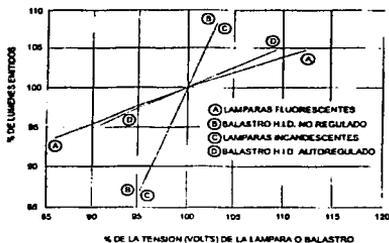
Resumiendo, sus ventajas son las siguientes:

- Larga vida económica, más de 16,000 horas con muy baja depreciación.
- Fuente luminosa concentrada que facilita un control preciso de los rayos luminosos.
- Alta eficiencia luminosa, más de 80 lúmenes por watt.
- Flujo luminoso inalterable por los cambios de temperatura.
- Más robusta que las lámparas incandescentes y fluorescentes, y no se ve afectada por las vibraciones o el trabajo rudo.

En una combinación lámpara-luminaria-balaustrada existen factores que influyen directamente para que su eficiencia baje considerablemente; estos factores de pérdida luz son aquellos que al cabo de un tiempo, contribuyen a disminuir la producción de la luz.

El factor pérdida de luz generalmente esta constituido por la depreciación de lúmenes de lámpara y la depreciación de luminarias por polvo, aunque existen otros componentes, tales como caída de voltaje, factor balastro, depreciación del reflector por disminución de reflectancia y la depreciación por suciedad en las paredes del local.

En relación a la caída de voltaje las luminarias se comportan de acuerdo a la siguiente gráfica:



El factor balastro es el porcentaje de lúmenes de lámpara producidos por una balastro. Las balastros para lámparas de descarga de alta intensidad están diseñadas para tener un 100 % de factor de balastro, si la combinación lámpara-luminaria-balastro opera de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

La depreciación de lúmenes de la lámpara es el porcentaje de lúmenes que todavía emitirá una lámpara en el momento de ser sustituida.

Los valores de depreciación de la luminaria por polvo, los proporciona el fabricante de forma aproximada para distintos ambientes de suciedad o limpieza que privarán en el lugar donde se instalan las luminarias; la acumulación de polvo en las luminarias trae como consecuencia una pérdida en la emisión luminosa y, por consiguiente, pérdidas de iluminación en el plano de trabajo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **1.3 ASIGNACION DE ESPACIOS.**

### **1.3.1 UBICACIÓN DE EQUIPOS.**

Los equipos que intervienen para el control y el suministro de la energía requieren de un espacio para ser ubicados físicamente, estos equipos por sus dimensiones necesitan de áreas especiales a fin de que puedan estar protegidos y restringidos de personal no autorizado.

La correcta ubicación de los equipos es importante para determinar la distancia que tendrán los conductores y las canalizaciones eléctricas.

Dentro de los equipos más importantes en las grandes instalaciones están los siguientes:

- Subestación eléctrica.
- Transformadores.
- Tableros principales.
- Plantas de emergencia.
- Banco de Baterías.

A continuación se describen algunos aspectos en el diseño de estos espacios.

#### **A) Subestación eléctrica**

La subestación eléctrica representa la parte más importante del sistema eléctrico debido a que desde este punto se energizan todos los tableros que alimentan a la carga del sistema, por lo que requiere de un espacio especial; este espacio debe cumplir con ciertas características que le permitan tener funcionalidad y seguridad para el personal que supervisa y le da mantenimiento. Uno de los puntos iniciales para seleccionar la ubicación del área de la subestación, es buscar un punto central dentro del sistema, ya que con esto la longitud de los conductores y canalizaciones serán más cortas, dando como resultado un ahorro en los mismos. Otro aspecto importante es que el espacio sea un lugar seguro, este debe estar restringido a personal no autorizado por medio de cercas de alambre o muros de tabique, la altura de estos locales debe ser de por lo menos 2.10 m de altura, el área asignada contará con bases de concreto que alojará a los equipos de la subestación, el piso de este local debe ser antiderrapante y con una pendiente de por lo menos de 2.5% hacia las coladeras del drenaje, la ventilación del cuarto debe ser adecuada para que los equipos puedan trabajar bajo las temperaturas nominales de trabajo; con respecto a las puertas de entrada y salida estas deben estar

libres de obstáculos que impidan la libre circulación en caso de un incendio, además de que el abatimiento será de adentro hacia fuera y debe contar con un seguro que permita abrir desde adentro, la Norma Oficial en su apartado 924-7, permite que se instalen puertas corredizas en lugares donde no se tenga el espacio necesario para instalar una puerta abatible, siempre y cuando se indique su sentido de apertura y se mantengan abiertas mientras se encuentren personas dentro.

Algunas restricciones que se tienen de acuerdo a la Norma Oficial para estas áreas son las siguientes:

- No estar hechas de material combustible.
- No emplearse para almacén u otra actividad que no sea para lo que fue hecha.
- Debe estar libre de polvos y gases combustibles en exceso.
- Deben de mantenerse secos.

Cuando la subestación se instala a la intemperie, esta debe estar delimitada con cercas metálicas, y los gabinetes deben ser diseñados para uso intemperie.

## **B) Transformadores**

Regularmente en las áreas donde se encuentran las subestaciones, se encuentran también los transformadores, estos equipos al igual que la subestación deben contar con una base de concreto que soporte el peso del equipo, además de la base se requiere de un depósito que permite almacenar el aceite en caso de un derrame del o los transformadores.

## **C) Tableros principales**

El área que se asigna para los tableros principales debe estar ubicada cerca de la subestación eléctrica, debido a que los alimentadores principales de los transformadores son de capacidad y diámetro considerables, estos conductores ocupan espacios grandes para su conducción hasta los tableros principales. Los locales que se diseñan para alojar a los tableros generales cuenta con el espacio necesario para poderles dar el mantenimiento correspondiente.

## **D) Bancos de baterías**

Los locales para los bancos de baterías, deben ser independientes de cualquier otro equipo, deben tener la suficiente ventilación para evitar la acumulación de los gases que se desprenden de las baterías, espacio para poder dar mantenimiento y pisos que sean de material resistente a los ácidos en caso de un derrame de la batería.

## **E) Plantas de emergencia**

Para los cuartos de las plantas de emergencia, se debe tener en cuenta que dado que se trata de un motor de combustión interna, éste genera una gran cantidad de calor y gases producto de la combustión; para aliviar el calor excesivo generado por la planta se requiere que el cuarto esté ventilado, esta ventilación está compuesta por ventanas y puertas tipo Luver (tipo persiana), las cuales permiten el paso del aire fresco al interior de la sala desplazando con esto el aire caliente y si esto no es suficiente, se deben instalar extractores de aire, estos extractores en conjunto con las ventanas y puertas permiten de una manera forzada el cambio del aire que existe en la sala al momento de estar trabajando la máquina. En el interior o exterior de la sala se localiza el tanque de combustible, éste debe tener un sardinel con una coladera y una tubería que conduzca en caso de un derrame o fuga del combustible hacia un registro de recuperación, este registro cuenta con piso y paredes que no permiten que se fugue el combustible al subsuelo con el fin de no contaminar el suelo o los mantos acuíferos que pudiesen estar presentes en la zona.

## **1.4 ELABORACIÓN DE PLANOS.**

Todo proyecto eléctrico debe contar con planos que permitan al constructor realizar sin ningún problema lo que en el plano se anote; los planos que componen el proyecto deben enumerarse según su importancia y deben llevar siglas que los identifique de los demás planos constructivos, es decir planos de obra civil, hidráulicos, sanitarios, sistema contra incendio, etc., además de que en el pie de plano se anotarán los siguientes datos:

1. Nombre del proyecto.
2. Dirección del proyecto.
3. Nombre y/o logotipo de la empresa.
4. Número de plano.
5. Cuadro de revisión de plano.
6. Nombre del proyectista.
7. Nombre de quien revisa.
8. Nombre de quien autoriza.
9. Escala del dibujo.

Además de los datos de pie de plano, se deben cumplir los requisitos de las reglas de dibujo correspondiente.

Los planos para su mayor comprensión, al momento de llevarse a obra, deben especificar claramente lo siguiente:

- Simbología, Indicando que significa cada símbolo; esto permite representar de una forma abreviada los equipos que componen la instalación, como son la subestación, transformadores, tableros, motores, lámparas, contactos, canalizaciones, etc.
- Cédula de cableado, esto con el fin de no llenar de números los planos y con esto hacer complicada su comprensión.
- Distancia de las trayectorias de los alimentadores, esto ayudará en gran medida en el caso de una cuantificación de materiales.
- Notas, en las cuales se refiera en particular a algún aspecto que se tenga que considerar en alguna parte de la instalación.
- Referencias de planos, que permiten identificar en otro u otros planos alguna característica o detalle en particular que se requiere para la comprensión de la instalación.

Los planos se enumerarán por orden de importancia como sigue

IE-1 Diagrama unifilar.

IE-2 Alimentadores generales.

IE-3 Subestación.

IE-4 Planta de emergencia.

IE-5 Fuerza.

IE-6 Alumbrado exterior.

IE-7 Alumbrado normal.

IE-7 Alumbrado de emergencia.

IE-8 Contactos normales.

IE-9 Contactos de emergencia.

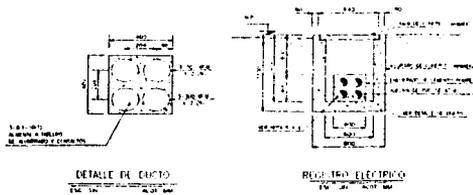
IE-10 Planos de detalles.

IE-11 Cuadros de carga.

## 1.5 INGENIERÍA DE DETALLE.

Se refiere a la ingeniería que se realiza en plano para poder comprender a detalle las partes del proyecto que no es posible representar dentro de los planos de instalaciones, estos detalles son los que permiten al constructor realizar la instalación sin mayores problemas, los detalles se realizan en diferentes planos según la parte de la instalación que se trate. Por ejemplo: Para los planos de alumbrado en ocasiones, cuando se tienen como datos las distancias, los diámetros de los conductores y tuberías, y las luminarias que se encuentran en un área de oficinas surge la pregunta ¿Cómo se deben instalar dichas luminarias?, la ingeniería de detalle muestra claramente de que forma debe ser suspendida dicha lámpara, los soportes que lleva, la altura que debe tener del nivel del piso, etc. Véase el siguiente ejemplo

Algunos otros casos que son difíciles de plasmar dentro de los planos, es el acomodo de los alimentadores dentro de las canalizaciones (charolas), por lo que es necesario realizar a detalle el acomodo que deben llevar los conductores eléctricos; de igual forma en los planos de alimentadores generales, resulta conveniente realizar los detalles del acomodo de ductos subterráneos, cabe mencionar que en referencia a este punto es importante seguir con lo indicado en las tablas de la Norma Eléctrica (tablas de la 310-70 a la 310-86). Véase el siguiente ejemplo ilustrativo.



Ejemplo de acomodo de ductos

Como podemos observar, la ingeniería de detalle representa todos aquellos detalles importantes que ayudan a realizar una mejor construcción en nuestras instalaciones eléctricas, cualquiera que esta se trate.

## **1.6 SISTEMAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA.**

### **1.6.1 SELECCIÓN DE LAS TENSIONES DE SUMINISTRO Y UTILIZACIÓN**

En esta sección se mostrarán los criterios que se utilizan para definir los voltajes con los que trabajarán los equipos del sistema.

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 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, debido a que los equipos que reciben la acometida son comprados sobre pedido y regularmente no se tienen en stock por parte de los distribuidores de material eléctrico, los voltajes de suministro son investigados desde la planeación del proyecto para realizar los pedidos correspondientes de equipo.

Cabe mencionar que un punto que se deja en algunas ocasiones fuera del proyecto pero que no deja de 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 1 000 Volts.
- Media tensión es el servicio que se suministra en niveles de tensión mayores a 1 000 Volts, pero menores o iguales a 35 000 Volts.
- Alta tensión a nivel de subtransmisión es el servicio que se suministra a niveles de tensión mayores a 35 000 Volts, pero menores a 220 000 Volts.
- Alta tensión a nivel de transmisión es el servicio que se suministra a niveles de tensión iguales o mayores a 220 000 Volts.

De acuerdo a estas tensiones de suministro se puede contratar en las siguientes tarifas:

- En media tensión tarifas OM Y HM
- En alta tensión a nivel subtransmisión, tarifas HS y HSL.
- En alta tensión a nivel transmisión, tarifas HT y HTL.

### **1.6.2 SELECCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.**

En esta parte se estudiarán las estructuras del sistema de distribución que se elegirán para suministrar energía a la carga del proyecto en estudio.

En la actualidad las grandes industrias 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 aspecto económico, ya que por ejemplo, entre más seguras sean las estructuras, en cuanto a la continuidad en el servicio, mayor es su costo de inversión, de mantenimiento y de infraestructura. A continuación se describen algunas de las estructuras típicas que se pueden aplicar a las instalaciones industriales.

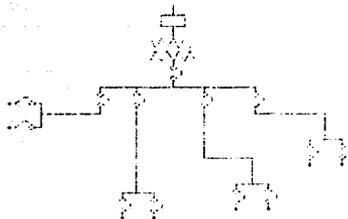
Existen dos tipos fundamentales de estructuras:

- Radial
- En Anillo

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 sistema de 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 seguirán usando, pero tratando de mejorar sus características de operación para hacerlas más confiables. A continuación se muestran algunos ejemplos de estas mejoras en el sistema radial.

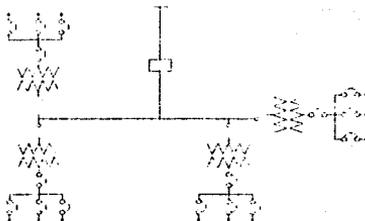
### A) Sistema radial



#### Características:

- Simplicidad adecuada para cargas de hasta 1 000 KVA.
- Altas corrientes de corto circuito.
- Interruptores de alta capacidad y alta corriente.
- Alimentadores largos y costosos.
- Mala regulación debido a la caída de voltaje.

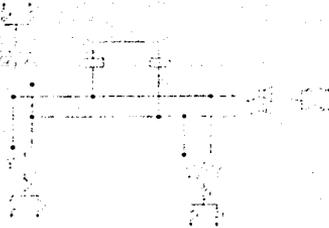
### B) Radial con centro de potencia



#### Características:

- Los alimentadores son cortos, debido a la colocación de cada centro de potencia inmediata al centro de la carga.
- Baja corriente de corto circuito.
- Equipo interruptor de baja interrupción y baja corriente.
- Buena regulación de voltaje.
- Mala continuidad, una falla en el alimentador principal significa interrupción total.
- Tardanza para restaurar el servicio en caso de una falla.

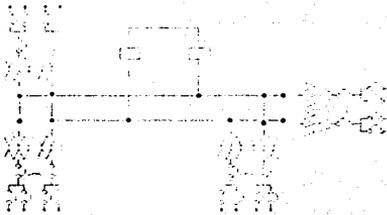
### C) Sistema radial selectivo en primario



#### Características:

- Continuidad aceptable. Al fallar un alimentador se puede cambiar la carga rápidamente al otro. Cada uno de sus circuitos primarios debe de tener capacidad para el total de la carga.
- En caso de falla de un transformador, la unidad se desconecta rápidamente y se restaura el servicio dejando fuera una zona de la fabrica.

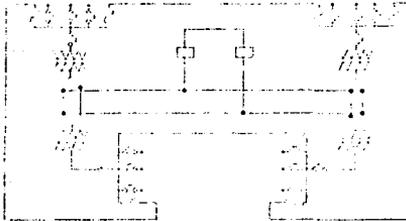
### D) Radial selectivo en secundario.



#### Características:

- Permite pronta restauración del servicio por defectos en el alimentador primario en el transformador.
- Mejor continuidad que el No. 2 o el No. 3.
- La falla en un transformador no interrumpe por largo tiempo ninguna alimentación, ya que la carga pasa al otro mediante el interruptor de amarre. Cada transformador debe poder llevar la carga de la estación.
- Este arreglo es 55% más costoso que el arreglo No. 2.

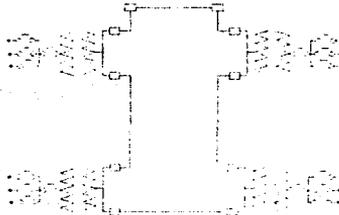
### E) Red automática.



#### Características:

- Alimentación no interrumpida a la carga.
- Alta eficiencia y regulación.
- Operación automática. En caso de falla del transformador o alimentador primario: la carga se transfiere a los otros transformadores u otro alimentador a través del anillo secundario.
- No requiere exceso de capacidad transformadora.
- Maneja el arranque de motores grandes con menos variación de voltaje.
- Parpadeo del alumbrado mínimo.
- Bajas pérdidas.
- No se adapta a sistemas superficialmente extensos por el costo del anillo secundario (55% más costoso que el No. 2).

### F) Anillo en alta tensión



### Características:

- Este sistema tiene la ventaja sobre el radial simple de que puede aislarse una sección de cable defectuoso y reanudar 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.
- Esto eleva el costo del sistema desproporcionadamente con relación a la ventaja ganada. Por otro lado, sin los interruptores y protección seccionalizante, el sistema solo es más peligroso y con mayor corriente de corto circuito que el No. 2.

## 1.7 MEMORIA DE CÁLCULO

Para el cálculo de alimentadores, canalizaciones y protecciones, se debe contar con un diagrama unifilar, el cual representa la carga en estudio, en este plano se pueden observar las distancias, trayectorias y ubicación de los equipos dentro del proyecto.

### 1.7.1 CONDUCTORES

El cálculo de los alimentadores de los tableros se divide en alimentadores generales y alimentadores derivados (de fuerza y de alumbrado).

#### A) Cálculo de alimentadores para fuerza.

Para los alimentadores de circuitos de motores el cálculo variará dependiendo del tipo de motor en estudio; en el caso de los circuitos con un solo motor la capacidad de conducción de corriente del alimentador no debe de ser menor al 125% de la corriente nominal (a plena carga), en los motores de velocidad variable el alimentador debe dimensionarse de acuerdo con la mayor corriente a plena carga que marque la placa de datos del motor. De acuerdo al régimen de trabajo en el que se encuentren los motores, se deberá considerar la capacidad del conductor (como lo marca la tabla 430-22 de la Norma Oficial Mexicana) en porcentaje de la corriente nominal indicada en la placa.

### **Secundario de motor con rotor devanado.**

En servicio continuo se debe considerar la corriente no menor al 125% de la corriente a plena carga del devanado del motor; en servicio no continuo de acuerdo a la tabla 430-220 de la Norma Oficial Mexicana.

### **Resistencia separada de los controladores.**

Cuando la resistencia secundaria está separada de los controles del motor de rotor devanado, la capacidad de conducción de corriente de los conductores entre el control y la resistencia no debe ser menor a la mostrada en la tabla 430-23 C de la Norma Oficial Mexicana

### **Motores con capacitores.**

En los circuitos de motores con capacitor, la capacidad de conducción del alimentador no debe de ser menor al 135% de la corriente eléctrica nominal del capacitor. La capacidad de conducción de corriente de los conductores que conectan un capacitor a las terminales de un motor o a los conductores del circuito del motor, no deben ser menor que  $1/3$  de la capacidad de conducción de corriente de los conductores del circuito del motor y nunca menor al 135% de la corriente eléctrica nominal del capacitor.

Para los circuitos con varios motores, la forma de elegir el alimentador es considerando la suma de corriente nominal de todos los motores, mas un 25% de la corriente nominal del motor mayor del grupo.

### **Motores con arranque en estrella**

En los motores con arranque en estrella conectados para funcionar en delta la capacidad del conductor debe basarse en el 58% de la corriente a plena carga del motor.

## **B) Calculo de alimentadores para alumbrado**

En los cálculos de alimentadores de tableros de alumbrado en las industrias, se tienen tres áreas de estudio: alumbrado de oficinas, alumbrado de naves industriales y alumbrado exterior, en estas tres áreas, los tableros que controlarán a los circuitos se tendrán que ubicar lo más cerca posible de la concentración de las luminarias; dependiendo de la cantidad de luminarias que se tengan en el proyecto se determinará cuantos tableros se tendrán que instalar para controlar los circuitos de dichas luminarias

### **Alumbrado de oficinas.**

Cuando se trata de oficinas de varios niveles los tableros se ubican regularmente por piso, en los circuitos de alumbrado se recomienda seccionar el alumbrado por zonas y con una cantidad de luminarias no muy grande, ya que una falla en el circuito podría dejar sin iluminación un área muy grande, con lo que la instalación se volvería poco confiable. Como se verá en el capítulo de selección de equipos, se tienen en el mercado una gran cantidad de tipos de tableros; la capacidad del tablero lo determina la cantidad de lámparas por circuito que se tengan; con el número de circuitos podemos determinar el tipo de tablero a instalar, estos tableros pueden alojar los siguientes números de circuitos: 2, 4, 8, 12, 24, 36, 42 etc.

En el cálculo de los alimentadores de alumbrado, se realiza un cuadro de cargas, en este cuadro se representan las cargas y los circuitos que se tienen, dando como resultado la suma total de las cargas por fase en el tablero, con esta suma de cargas podemos determinar la capacidad del alimentador que se instalará.

Los voltaje que se utilizan para el alumbrado de oficinas por su capacidad en carga, se da en voltajes nominales de 127 Volts, con este dato la carga total de alumbrado y la distancia desde el área de tableros generales y el tablero derivado, se puede realizar el cálculo del alimentador.

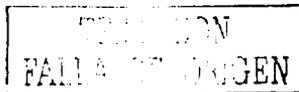
### **Alumbrado de naves industriales**

Para la distribución de las luminarias en esta zona se recomienda alinearlas de forma que cada línea represente un circuito, esto con la finalidad de prender seccionando la iluminación de la planta industrial, también se recomienda que las líneas de luminarias estén distribuidas de forma que sea una línea de circuito par seguida de una línea de circuito impar, ya que si un alimentador de una de las fases fallara tendríamos dos zonas seguidas sin iluminación, el tipo de luminarias regularmente por su capacidad, requieren voltajes de alimentación de 220 Volts.

### **Alumbrado Exterior**

Para este tipo de alumbrado también se utilizan voltajes de alimentación de 220 Volts. Para esta carga, debido a que se localiza en exteriores y que solamente se prenden durante la noche, es necesario colocar una fotocelda para poder controlar el encendido y apagado de las luminarias.

El cálculo para el alimentador del tablero se debe realizar por dos métodos: por capacidad de corriente y por caída de tensión; cada conductor esta diseñado para soportar cierta corriente a una cierta temperatura como se muestra en las tablas 310-16 a la 310-84 de la Norma Oficial Mexicana, cuando se tiene la instalación eléctrica en un lugar que exceda la temperatura ambiente que marca la Norma, se aplica un factor



de corrección sobre la capacidad de conducción de corriente del conductor, esto trae como consecuencia que se tenga que tomar la temperatura ambiente como dato importante.

Los conductores sufren un cambio en la capacidad de conducción de corriente con respecto a la distancia de los mismos, debido a que la corriente tiene que vencer una impedancia del cable mayor con respecto a la distancia, y eso se ve reflejado con una caída de voltaje, para compensar esta caída de voltaje se incrementa el calibre del conductor de forma que la caída de voltaje no sea mayor a 3% del valor nominal.

### C) Formulas para el cálculo de alimentadores

Se muestran a continuación las formulas que nos permitirán calcular los alimentadores por capacidad de corriente y por caída de tensión

#### Formulas por capacidad de corriente.

MONOFASICA	BIFASICA	TRIFASICA
$I = \frac{W}{V_n \cdot f.p}$	$I = \frac{W}{2 \cdot V_n \cdot f.p}$	$I = \frac{W}{\sqrt{3} \cdot V_l \cdot f.p}$

#### Formulas por caída de tensión.

MONOFASICA	BIFASICA	TRIFASICA
$S = \frac{4 \cdot L \cdot I}{V_n \cdot e\%}$	$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{V_n \cdot e\%}$	$s = \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot L \cdot I}{V_l \cdot e\%}$

Donde:

- I = Corriente por fase en amperes.
- L = Longitud en metros.
- $V_n$  = Tensión al neutro en Volts.
- $V_l$  = Tensión entre fases en Volts.

- e% = Caída de tensión en porcentaje.
- f.p = Factor de potencia (unitario).
- S = Sección del conductor.
- W = Potencia

Otro punto que se debe considerar para el cálculo de los alimentadores es el tipo de canalización en el que irá el alimentador. Podemos ver en las tablas de la Norma Oficial en el apartado 310-15, que la capacidad de conducción de los alimentadores cambia si se canaliza por tubería o al aire libre, observando de estas tablas que los conductores que se encuentran al aire libre tienen una mayor capacidad de conducción de corriente en comparación con los que van por tubería o ducto.

En los cálculos de los alimentadores de tableros generales, se debe tomar en cuenta la Norma en su apartado 220-11, que dice que los factores de demanda de la tabla 220-11 se deben aplicar a la parte de la carga total calculada para el alumbrado general, este factor nos permite reducir en un porcentaje el calibre de los alimentadores generales, otro factor que influye en la capacidad de conducción de corriente del alimentador es el número de conductores activos en una canalización, esto se aplica cuando se tiene más de tres conductores activos, como se muestra en la siguiente tabla:

Numero de conductores activos	% de valor de las tablas ajustado para la temperatura ambiente si fuera necesario
De 4 a 6	80
De 7 a 9	70
De 10 a 20	50
De 21 a 30	45
De 31 a 40	40
41 y más	35

Por otro lado, como lo menciona la Norma en su tabla 250-95 el cable de puesta a tierra para canalizaciones y equipos no debe ser menor a lo que se marca en la misma, como se puede observar el calibre del conductor esta directamente relacionado con el dispositivo de protección del circuito en cuestión.

## 1.7.2 CANALIZACIONES

La parte complementaria en el cálculo de alimentadores y que afecta directamente en el dimensionamiento del mismo es el cálculo de canalizaciones.

Para tomar la decisión de qué tipo de canalización se va a implementar en un proyecto, el primer punto que se debe tomar en cuenta es dónde se va a ubicar dicha canalización, la cantidad de alimentadores y la longitud del mismo.

Se tienen diferentes tipos de canalizaciones:

- Tubería
- Ducto
- Charola

Para las tuberías conduit tipo pesado, semipesado, y ligero se tiene restringido el área de ocupación por parte de los conductores, para un conductor se considera un porcentaje de área ocupada del 53%, para dos conductores el 31% y para más de dos conductores el 40%, por lo que la tabla 10-4 de la Norma nos determinará de acuerdo al número de conductores que se tenga, el tamaño nominal en mm de la canalización; para las canalizaciones de tubo flexible metálico o no metálico y para tubo de PVC y de polietileno, los cálculos deben basarse en las dimensiones interiores reales proporcionadas por el fabricante, o indicadas en la Norma del producto.

Cuando se está diseñando la trayectoria de los alimentadores generales, en algunas ocasiones es necesario agrupar las tuberías en trayectorias bajo el piso, en estos casos los ductos se deben agrupar como lo marca la Norma en la figura 310-1. Cabe mencionar que cuando los ductos se instalan debajo del piso y al paso de vehículos o maquinaria pesada, es necesario proteger dichos tubos por medio de un encofrado de concreto para evitar el daño físico.

En ocasiones es difícil la instalación de algunos cables por tuberías conduit tipo pesado, por lo que se elige la canalización en forma de charola, en este tipo de canalización se puede colocar de forma más fácil los conductores, sin necesidad de un gran esfuerzo, una de las restricciones que tiene este tipo de canalización es que la colocación de la misma debe de estar fuera del alcance de cualquier persona ajena a las instalaciones eléctricas, esto debido a que se tienen expuestos los conductores al daño físico, además de que si se encuentran cerca del piso se debe colocar una tapa de protección a una altura de por lo menos 1.80 metros sobre el nivel del piso; en las charolas se tiene la restricción del calibre del alimentador que se puede instalar en la misma, esto como lo marca la Norma en el artículo 318-3 los cables deben ser de un calibre mínimo de 21.15 mm que corresponde a un calibre 4 AWG, en cuanto a la distancia que deben tener los travesaños de la charola estos están en función al calibre de los conductores, por ejemplo cuando se tienen conductores de calibre entre 1/0 a 4/0 esta separación máxima es de 23 cm, y cuando se tienen conductores de calibre 1/0 y hasta 4 AWG esta separación será como máximo 15 cm.

Para el acomodo de los conductores en la charola, cuando se tienen circuitos en paralelo, los conductores se deben acomodar en grupos de no más de un conductor por fase o neutro para prevenir desbalanceo de corriente eléctrica, debido a la reactancia inductiva, si estos conductores se instalan en una sola capa la suma total de los diámetros no debe de exceder el ancho de la charola.

La cantidad de conductores que se permiten en los soportes tipo charola se encuentra en las tablas 3-18-9 y 3-18-10.

Para las charolas que contengan cables de control únicamente, la suma de los diámetros no deberá superar el 50% de la sección interior de la charola.

Otro tipo de soporte para los cables en las industrias es la canalización tipo ducto, esta canalización protege de una forma más efectiva a los conductores en comparación a los soportes tipo charola, la cantidad de conductores que se permiten en un ducto es tal que la suma de las áreas de la sección transversal no debe ser mayor al 20% del área del ducto.

Para los ductos que se instalan en forma horizontal los soportes se deben colocar a intervalos de no menos de 1.5 m de distancia y los que se instalan en forma vertical a no menos de 4.5 m de distancia.

### 1.7.3 PROTECCIONES

Uno de los puntos que se debe tener en cuenta dentro de las protecciones es primero proteger al circuito en cuestión y después el dispositivo de protección mismo.

Para los conductores que alimentan a una carga cualquiera, el dispositivo debe ser de una capacidad menor a la capacidad de corriente del conductor que protege, por lo que en el caso de una sobrecarga el dispositivo actúa al generarse una corriente mayor a su capacidad permitiendo proteger a la carga y al conductor

#### A) Protección de motores

En el caso particular de los motores los cuales representan la mayor carga del sistema se tienen las siguientes protecciones:

- Protección contra sobrecarga
- Protección contra corto circuito
- Protección térmica

Cuando se presenta una sobrecarga de un aparato eléctrico se origina una sobrecorriente que si persiste por un tiempo prolongado puede dañar o calentar peligrosamente el aparato.

En los motores de más de 746 W (1 hp) los disparos de los dispositivos de protección no deben ser mayores a los porcentajes de corriente de placa como sigue:

- |  |      |
|--|------|
| • Para motores con factor de servicio no menor a 1.15                | 125% |
| • Motores con indicador de elevación de temperatura no mayor a 40 °C | 125% |
| • Todos los demás  | 115% |

Los motores deben de contar con protecciones térmicas que lo protejan contra sobrecalentamientos excesivos o fallas de arranque; estas protecciones térmicas deben estar de acuerdo con lo siguiente; la corriente eléctrica de disparo de la protección térmica del motor no debe exceder los siguientes valores en porciento sobre los valores de corriente eléctrica a plena carga de los motores que se indican en las tablas 430-148 y 430-150 de la Norma eléctrica:

- Motor a plena carga cuya corriente eléctrica sea menor a 9 Amp. 170%
- Motor a plena carga cuya corriente eléctrica entre 9.1 y 20 Amp. 156%
- Motor a plena carga cuya corriente eléctrica mayor a 20 Amp

140%

### B) Análisis de corto circuito

Los sistemas eléctricos de potencia en plantas industriales, centros comerciales y grandes edificios, se diseñan para alimentar las cargas en una forma segura y confiable, uno de los aspectos a los que se le pone mayor atención en el diseño de los sistemas de potencia, es el control adecuado de los cortos circuitos, ya que estos pueden producir interrupciones de servicio con la consecuente pérdida de tiempo, en ocasiones y desde luego, con el riesgo de daño a personas, equipos e instalaciones. Cuando ocurre un corto circuito, se presentan situaciones inconvenientes que se manifiestan con distintos fenómenos como son:

En el punto de la falla se presenta un fenómeno de arco eléctrico o fusión de los metales mismos.

Las corrientes de corto circuito, circulan de las fuentes (alimentación de la red y maquinas rotatorias) hacia el punto de falla.

Todas las componentes de la instalación, por donde circulan las corrientes de corto circuito, se ven sujetas a esfuerzos térmicos y mecánicos. Estos esfuerzos varían con el cuadrado de la corriente y la duración de la falla en seg.

Las caídas del voltaje en el sistema, están en proporción a la magnitud de la corriente de corto circuito. La caída de voltaje máxima se presenta en el punto de ocurrencia de la falla.

Por todos los disturbios que produce un corto circuito, las fallas se deben remover tan rápido como sea posible, y esto es justamente la función del dispositivo de protección (interruptores, fusibles, etc.), de hecho los dispositivos de protección deben tener la capacidad de interrumpir la máxima corriente de corto circuito que pueda circular para una falla en el punto de localización del dispositivo de interrupción.

Se tienen dos tipos de corriente de corto circuito: simétrica y asimétrica; si las equivalentes de los picos de la onda de corriente son simétricas alrededor del eje cero, se le denomina envolvente de corriente simétrica; si las envolventes no son simétricas

alrededor del eje cero, se les denomina envolvente de corriente asimétrica. La mayoría de las corrientes de corto circuito son casi siempre asimétricas, durante los primeros ciclos después de que ocurre el corto circuito, la corriente asimétrica está en su máximo durante el primer ciclo; después de que el corto circuito ocurre y en unos pocos ciclos después se transforma en simétrica. La falla de mayor magnitud dentro de un sistema es el de falla trifásica, por esta razón resulta el cálculo básico para las instalaciones.

Los sistemas eléctricos de potencia operan en sistemas en donde la unidad de potencia que se maneja es el "kilovolt" (kV ), estos valores junto con las corrientes y las impedancias, se expresan en forma común en "**por unidad**" o en por ciento esto para simplificar notación y cálculos, en especial cuando se manejan en el mismo sistema distintos niveles de voltaje y distintos valores de potencia en los equipos.

El valor en "**por unidad**" resulta una cantidad dimensional, los valores de voltaje, corriente, potencia, potencia reactiva, resistencia, reactancia e impedancia, se puede expresar en "**por unidad**" o en por ciento de acuerdo a la siguiente relación.

$$\text{Cantidad en por unidad} = \frac{\text{Cantidad}}{\text{Cantidad base en las mismas unidades}}$$
$$\text{Cantidad en por ciento} = (\text{cantidad en por unidad}) \times 100$$

Donde la cantidad es un valor escalar o complejo expresado en sus propias unidades. La llamada cantidad base se refiere a un valor de referencia, seleccionado en forma arbitraria o a conveniencia, para la misma cantidad y en las mismas unidades.

Algunas ventajas de utilizar cantidades en por unidad o en por ciento son las siguientes:

- El valor equivalente en por unidad, es el mismo para cualquier transformador, ya sea que se refiera al lado del primario o al lado del secundario.
- La impedancia en por unidad de un transformador en un sistema trifásico, es la misma independientemente del tipo de conexión que se tenga ( delta-estrella, delta-delta, etc. )
- El método en por unidad es independiente de los cambios de voltaje y de los desfases.

Los fabricantes de equipo eléctrico, por lo general, especifican la impedancia de los mismos en por unidad o en por ciento a la base de sus datos de placa, por lo que estos valores se pueden usar directamente en sus propias bases.

Los valores en por unidad de impedancia de los equipos caen dentro de una banda muy estrecha en tanto que los valores en ohms lo hacen en un rango muy amplio.

Para tener claro algunos aspectos relativos a las cantidades en por unidad, es conveniente hacer una revisión de las cantidades que intervienen en los circuitos trifásicos, considerando los dos tipos de conexiones más comunes, **delta y estrella**.

Para cada una de las anteriores conexiones se aplican las siguientes expresiones:

Donde:

$$S = 3 V_{LL} I_L$$

$S$  = Potencia trifásica aparente.

$$V_{LL} = \sqrt{3} V_{LN}$$

$V_{LL}$  = Voltaje de línea a línea.

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

$V_{LN}$  = Voltaje de línea a neutro

$I_L$  = Corriente por fase

**Impedancia conectada en estrella.**

$$Z_y = \frac{V_{LN}}{I_L} = \left( \frac{V_{LL} \angle -30^\circ}{\sqrt{3}} \right) \left( \frac{\sqrt{3} V_{LL}}{S} \right) \Rightarrow Z_y = \frac{V_{LL}^2 \angle -30^\circ}{S}$$

**Impedancia conectada en delta.**

$$I_L = \frac{I_D \angle 30^\circ}{\sqrt{3}}$$

$$Z_D = \frac{V_{LL}}{I_D} = \frac{\sqrt{3} V_{LL} \angle -30^\circ}{\frac{I_L \sqrt{3}}{\sqrt{3}}} = \left( \sqrt{3} V_{LL} \angle -30^\circ \right) \left( \frac{\sqrt{3} V_{LL}}{S} \right) \Rightarrow Z_D = \frac{3V_{LL}^2 \angle -30^\circ}{S}$$

$$I_D = \frac{V_{LL}}{Z_D} = \frac{S \angle 30^\circ}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

Las cantidades tomadas como base son cantidades escalares por lo que no requieren notación fasorial para su manejo y se escriben de la siguiente forma:

**Para la potencia base**

$$KVA_b = \sqrt{3} KV_b I_b$$

### Corriente base

$$I_b = \frac{KVA_b}{3KV_b}$$

### Impedancia base

$$Z_b = \frac{KV_b^2 \times 1000}{KVA_b} \quad \text{o} \quad Z_b = \frac{KV_b^2}{MVA_b}$$

El voltaje usado como base es el de fase a fase, los valores de impedancia expresados en por unidad se refieren al valor base de impedancia y entonces se tienen las siguientes expresiones:

$$Z_{pu} = \frac{Z(\Omega)}{Z_b(\Omega)} = \frac{Z(\Omega)MVA_b}{(KV_b)^2} \qquad Z\% = \frac{Z(\Omega)KVA_b}{10(KV_b)^2}$$

Cuando los valores en ohms se desean obtener a partir de los valores en por unidad o en porciento:

$$Z(\Omega) = \frac{KV_b^2 Z_{pu}}{MVA_b} \qquad \text{o bien} \qquad Z(\Omega) = \frac{1000KV_b^2 Z_{pu}}{KVA_b}$$

Normalmente las impedancias en por unidad se especifican sobre las bases del equipo, las cuales son generalmente diferentes de las bases del sistema de potencia. Debido a que todas las impedancias del sistema se deben de expresar sobre la misma base, es necesario convertir todos los valores a una base común entonces, se tiene la ecuación general para el cambio de una base a otra:

$$Z_{2pu} = \left( Z_{1pu} \frac{KVA_2}{KVA_1} \right) \left( \frac{KVA_1^2}{KVA_2^2} \right)$$

Cuando las relaciones de transformación de los transformadores corresponden a los voltajes nominales, entonces la ecuación se simplifica.

$$Z_{2pu} = Z_{1pu} \frac{KVA_2}{KVA_1}$$

En el estudio del cortocircuito es indispensable tener un diagrama unifilar y un diagrama de impedancias, en el diagrama unifilar se deben incluir los componentes significativos del sistema y los datos de cada componente como son: potencia, voltaje e impedancia.

El diagrama de impedancias se obtiene del diagrama unifilar, representando cada componente por su impedancia, conservando su interconexión; para el estudio de corto circuito es necesario sustituir los componentes del diagrama unifilar por su respectiva impedancia referidas a una base común de potencia y los niveles base de voltaje en estudio; en el diagrama de impedancias aparece una fuente equivalente, esta fuente es un equivalente de Thevenin que se representa como una fuente de voltaje en serie con una impedancia. Esta fuente se toma por lo general con un valor de 1.00 en p.u y la impedancia en serie con esta fuente se obtiene a partir del valor de la potencia (o corriente) de corto circuito en el punto de alimentación referida al valor de la potencia base o la corriente base en su caso.

Para el estudio de corto circuito debemos de tener en cuenta que existen varios tipos de falla como son: falla de fase a fase sólida, falla trifásica sólida y falla de fase a tierra sólida.

### **Falla trifásica sólida**

Una falla trifásica sólida describe la condición en la que las tres fase se unen físicamente con un valor de cero impedancia entre ellas como si se soldaran o atornillaran físicamente.

Aún cuando este tipo de condiciones de falla no es la más frecuente en ocurrencia, resulta por lo general la de mayor valor, y por esta razón resulta el cálculo básico para las instalaciones industriales y comerciales.

### **Falla de fase a fase sólida**

Este tipo de fallas ocurre aproximadamente el 87 % de la falla trifásica sólida y debido a que no representa el máximo valor regularmente no se calcula.

### **Falla de línea a tierra sólida**

En sistemas con el neutro, sólidamente conectado a tierra, la falla sólida de fase a fase es por lo general, igual o ligeramente menor que la falla sólida trifásica excepto cuando se conectan los neutros a tierra a través de un valor elevado de impedancia en el que el valor de corriente es significativamente menor.

El cálculo de la falla de línea a tierra, es necesario en las instalaciones industriales que tienen el neutro sólidamente aterrizado en el lado de bajo voltaje.

Para el calculo de línea a tierra, se requiere el uso de técnicas por componentes simétricas, ya que la corriente de falla a tierra se puede calcular como:

$$I_F = \frac{3V}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_N}$$

Donde:

- V = Voltaje de línea a neutro.
- Z<sub>1</sub> = Impedancia de secuencia positiva.
- Z<sub>2</sub> = Impedancia de secuencia negativa.
- Z<sub>0</sub> = Impedancia de secuencia cero.
- Z<sub>N</sub> = Impedancia de conexión a tierra del neutro.

Este valor de impedancia Z<sub>N</sub> en la instalación puede ser una resistencia cuyo valor se selecciona de manera tal que limite la corriente de falla a tierra a un valor menor al original.

### C) Redes de secuencia

Para los estudios de corto circuito, y en particular, para las fallas a tierra, 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 siguientes redes:

- De secuencia positiva.
- De secuencia negativa.
- De secuencia cero.

#### Red de secuencia positiva.

En la figura siguiente, se ilustra la red de secuencia positiva. 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. Tratándose de instalaciones industriales, los motores síncronos o de inducción, son también fuentes de voltaje y tienen la misma representación.

#### Red de secuencia negativa.

La red de secuencia negativa, se muestra en la figura siguiente, y se obtiene igual que la red de secuencia positiva, es decir, reemplazando cada elemento por su impedancia, de la misma secuencia. En este caso, no se tienen fuentes de voltaje, la razón es que los sistemas están diseñados en la práctica para genera sólo en la secuencia de fase ABC, para un observador que ve fases girando en sentido contrario de las manecillas del reloj.

### Red de secuencia cero.

En la red de secuencia cero, circulan sólo corrientes de secuencia cero, que aparecen durante la falla a tierra, es decir, que en la formación de esta red, se deben tomar en consideración, la forma en cómo se encuentran los neutros de los elementos conectados a tierra.

A continuación se dan las formulas para el cálculo de las corrientes de corto circuito trifásica y la monofásica.

$$I_{CC3\phi} = \frac{V}{Z_1} \quad \text{Corriente de corto circuito trifásica}$$

$$I_{CCN} = \frac{3V}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad \text{Corriente de corto circuito monofásica}$$

Si la falla ocurre en un sistema con neutro conectado a tierra a través de reactancia  $Z_N$

$$I_{CC} = \frac{3V}{Z_1 + Z_2 + (Z_0 + 3Z_N)}$$

Uno de los métodos más simples para calcular el nivel de corto circuito en un sistema es el método de los MVA; se usa separando el circuito en sus componentes y calculando cada componente con su propio bus infinito, para esto a partir del diagrama de impedancias y luego al diagrama de MVA, esta conversión se obtiene dividiendo la potencia del propio elemento expresada en MVA entre su impedancia expresada en p.u.; todas las reactancias de los diferentes elementos deberán convertirse a su potencia de aportación al corto circuito de acuerdo a las siguientes formulas:

$$MVA_{CC} = \frac{KV^2}{Z}$$

$$MVA_{CC} = \frac{MVA}{X_{p.u.}}$$

$$MVA_{CC} = \frac{MVA}{Z_{p.u.}}$$

Donde:

- MVA<sub>CC</sub> = Potencia de corto circuito del elemento en MVA.
- KV = Tensión a la cual el elemento opera.
- Z = Impedancia del elemento en ohms
- X<sub>p.u.</sub> = Reactancia del elemento en p.u.
- Z<sub>p.u.</sub> = Impedancia del elemento en p.u.
- MVA = Potencia nominal del elemento en MVA.

Como se observa a diferencia de los otros métodos, hasta este punto no se ha requerido de una base en MVA o KVA y tampoco es necesario cambiar las impedancias a otra base. Con estos valores se elabora un diagrama unifilar de potencias de corto circuito.

### Simplificación de los diagramas de potencia de corto circuito.

Se combina las potencias de corto circuito para reducirlos a una potencia equivalente en el punto de falla seleccionado de acuerdo a las reglas siguientes.

Los elementos en serie se combinan como si fueran resistencias en paralelo:

$$MVA_{12} = \frac{(MVA_1)(MVA_2)}{MVA_1 + MVA_2}$$

Los elementos en paralelo se combinan como si fueran resistencias en serie:

$$MVA_{12} = MVA_1 + MVA_2$$

Cuando los elementos se encuentran en una combinación delta y se desea convertir en estrella, se aplica la siguiente regla:

Si se designa como Y a los MVA en conexión estrella y D a los MVA en conexión en delta, la conversión se obtiene con las relaciones que se indican a continuación:

$$Y_1 = \frac{S}{D_1} \qquad Y_2 = \frac{S}{D_2} \qquad Y_3 = \frac{S}{D_3}$$

Siendo

$$S = (D_1 * D_2) + (D_2 * D_3) + (D_3 * D_1)$$

Esta simplificación de potencias se realiza para obtener la potencia equivalente en el punto de falla donde se requiera.

Para el cálculo de corto circuito en el punto de falla se aplicara la expresión siguiente:

$$I_{cc\phi} = \frac{MVA_{cc} * 1000}{\sqrt{3} * KV}$$

Donde:

MVA<sub>cc</sub> = Potencia de corto circuito en el punto de falla en MVA

KV = Tensión en el punto de falla.

I<sub>ccφ</sub> = Corriente de corto circuito trifásico en el punto de falla.

Como se puede notar este tipo de calculo es una muy buena aproximación para realizar un cálculo rápido y sin mayores esfuerzos.

#### **D) SISTEMAS DE TIERRA.**

En la planeación de las instalaciones eléctricas, es necesario considerar una protección para que el personal que está en contacto continuo u ocasional con la maquinaria o accesorios eléctricos no portadores de corriente, no quede expuesto a sufrir descargas eléctricas; así como también proteger la propia maquinaria e instalación eléctrica, dicha protección debe ser un sistema que sirva para derivar a tierra las corrientes producidas por la formación de carga, corrientes que puedan existir en el sistema, o las corrientes producidas de las distintas fallas a tierra (cortocircuito).

Uno de los aspectos principales para la protección contra sobretensiones en las instalaciones eléctricas, es disponer de una red de tierras adecuadas a la cual se conecten los neutros de los aparatos y equipos, los apartarrayos, estructuras metálicas, los tanques, los gabinetes de los equipos y todas aquellas parte metálicas que deben estar a potencial de tierra. Al decir que deben estar al potencial de tierra, nos indican que dicho potencial entre el sistema eléctrico y la tierra deben ser iguales a cero.

El manejo de los sistemas eléctricos implica un alto riesgo por lo cual ha surgido la necesidad, en primer instancia de preservar la integridad física de los usuarios contra las descargas eléctricas y en segunda proteger al equipo eléctrico. Las fallas eléctricas se originan por varias razones, siendo las más comunes: una falla de aislamiento, descargas atmosféricas y operación de interruptores.

La incidencia de una descarga eléctrica en un ser humano, provoca desde una pequeña sensación desagradable; una dísyunción orgánica más severa, hasta la pérdida de la vida.

#### **Determinación de la resistividad del terreno.**

##### **Resistividad.**

La resistividad de los suelos son diferentes entre sí, debido a las condiciones geográficas de nuestro país, es decir, existen suelos que son buenos conductores de electricidad así como suelos que son pésimos conductores de electricidad. Para conocer que tan buena conductividad tiene un terreno, es necesario conocer su resistividad o resistencia específica. Como en nuestro país tenemos diferentes estructuras de suelo podemos encontrar suelos rocosos, arenosos, pantanosos, secos, húmedos, etc. Por ello es necesario conocer en qué tipo de suelo vamos a construir nuestra red de tierras, así como también saber el valor de la resistividad del terreno.

La experiencia nos marca que los suelos secos y rocosos presentan alta resistencia al paso de la corriente eléctrica mientras que los suelos húmedos tienen una baja resistencia.

La resistividad del suelo, también conocida como resistencia específica es la propiedad que tiene el suelo para conducir la corriente eléctrica, esta resistividad queda determinada por los siguientes factores:

- Tipo de suelo.
- Contenido de humedad del mismo.
- Composición química (Contenido de sales).
- Temperatura.

La resistividad se mide en ohms – metro, ohms – cm., etc. Existen dos formas para determinar la resistividad de un terreno, una es empírica mediante tablas y conocimiento del terreno, y la otra es efectuando mediciones directamente en el terreno; para fines de diseño se recomienda siempre medir la resistividad del terreno.

En la tabla siguiente se muestran las resistencias de diferentes tipos de suelos

Clase de terreno.	Resistencia (ohms – metro).
Terreno húmedo (suelo orgánico).	10 – 50.
Terreno de cultivo arcilloso.	100
Tierra arenosa húmeda.	200
Tierra arenosa seca (suelo seco).	1000
Tierra con guijarros o cemento.	1000
Suelo rocoso húmedo (piedra molida húmeda).	3000
Roca compacta.	10000

### **Medición de la resistividad.**

En caso de que se realice la medición de la resistividad del terreno se pueden utilizar los siguientes métodos:

1. Método de Wenner o de los 4 electrodos.
2. Método de Lee.
3. Método del electrodo central.
4. Método del voltmetro y del ampémetro.

### **Sistema de malla.**

El sistema de malla es el más usado actualmente en las subestaciones eléctricas. Consiste, como su nombre lo indica en un arreglo de conductores perpendiculares formando una malla o retícula, a la cual se conectan las derivaciones de cada uno de los equipos. En el perímetro de la malla generalmente se colocan varillas o electrodos de tierra. Este sistema es el más eficiente ya que se limitan los potenciales originados por la circulación de la corriente de fallas.

### **Efecto del gradiente de voltaje.**

La resistividad del suelo no se ve afectado por el gradiente de voltaje a menos que éste exceda un cierto valor crítico. El valor algunas veces varía con el tipo de material del suelo, generalmente tiene magnitud de varios kilovoltios por centímetro.

Una vez excedido se desarrolla un arco en la superficie del electrodo que avanza hacia tierra a fin de incrementar al tamaño efectivo del electrodo hasta que los gradientes son reducidos a valores que el material del suelo pueda soportar.

Debido a que el sistema de tierra de la subestación se diseña para cumplir con criterios más rigurosos de límites de voltajes de paso y de contacto, el gradiente puede suponerse que está por debajo del valor crítico.

### **E) Protección de motores**

#### **Protección de motores contra sobrecarga.**

##### **Motores de alto par.**

Para los motores de alto par, la corriente eléctrica nominal debe ser la determinada a rotor bloqueado como lo indica en la tabla 430-7(b) de la Norma Eléctrica; la corriente eléctrica para la protección por sobrecarga, así como la de protección por falla a tierra, deben estar de acuerdo con lo siguiente:

La protección del circuito derivado contra corto circuito y falla a tierra debe ser capaz de soportar la corriente eléctrica de arranque del motor

Los medios de desconexión del circuito de un motor de alto par de arranque debe tener una capacidad nominal, expresada en Amp. no menor al 115 % de la corriente eléctrica a plena carga del motor.

Para motores utilizados en sistemas de c.a. de tensión eléctrica ajustable, par variable, la capacidad de conducción de los conductores, así como la de desconectores, la del dispositivo de protección del circuito derivado por cortocircuito y por falla a tierra, etc., deben seleccionarse de acuerdo con la corriente eléctrica máxima de operación que se indica en la placa de datos del motor, del controlador o de ambos. Si la corriente eléctrica máxima de operación no se indica en la placa del motor, la corriente eléctrica de operación debe basarse en el 150% de los valores indicados en la tabla 430-150 de la Norma Eléctrica.

### **Motores de servicio continuo.**

Cada motor de más de 746 W (1 CP) debe protegerse contra sobrecarga por uno de los medios siguientes:

Un dispositivo separado de sobrecarga que sea sensible a la corriente eléctrica del motor, la corriente eléctrica nominal o de disparo de este dispositivo no debe ser mayor que el porciento de la corriente de placa a plena carga del motor, como sigue:

Motores con factor de servicio indicado mayor o igual a 1.15

125%

Motores con indicación de elevación de temperatura menor o igual a 40°C  
los demás motores

125%  
115%

Sin embargo este valor puede ser modificado según lo permitido por la sección 430-34 de la Norma como sigue:

Cuando el relé de sobrecarga se selecciona y no sea suficiente para soportar la carga aplicada, se permite utilizar el relé inmediato superior, siempre que su corriente eléctrica de disparo no exceda el porciento de la corriente del motor operando a plena carga indicados a continuación:

Motores con factor de servicio indicado no menor a 1.15

150%

Motores con indicación de elevación de temperatura no mayor a 40°C

140%

Todos los demás motores

130%

Si no se tiene alguna derivación durante el arranque, el dispositivo de protección contra sobrecarga debe de tener el suficiente retardo de tiempo para que permita al motor arrancar y acelerar su carga.

Si se tienen derivaciones durante el periodo de arranque y este no es automático, puede ponerse en derivación o desconectarse del circuito durante el periodo de arranque, siempre que el dispositivo que lo ponga en derivación o lo desconecte no pueda quedarse en la posición de arranque, además, que los fusibles o el interruptor automático de tiempo inverso del motor estén calibrados o ajustados a no más de 400% de la corriente eléctrica a plena carga del motor y estén ubicados en el circuito de tal forma que funcionen durante el periodo de arranque del motor.

### **Arranque automático.**

Si el motor arranca automáticamente el dispositivo de protección contra sobrecarga no debe ser puesto en derivación o desconectado del circuito.

Una protección térmica integrada al motor y aprobada para este uso con el motor que protege, debe prevenir los daños por sobrecalentamiento del motor, así como por fallas en el arranque.

La corriente eléctrica de disparo de la protección térmica del motor no debe exceder los valores en por ciento sobre los valores de corriente eléctrica a plena carga de los motores que se indican en las tablas 430-148 y 430-150 de la Norma Eléctrica.

Un motor cuyas condiciones de funcionamiento sean de operación por corto tiempo, intermitentes, periódico o varíen en su servicio como se ilustran por la excepción de la tabla 430-22(a) (regímenes de trabajo del motor), se permite su protección contra sobrecargas por el dispositivo de protección contra corto circuito y falla a tierra del circuito derivado, siempre y cuando la protección no exceda la especificación indicada en la tabla 430-152 de la Norma Eléctrica.

### **Protección de motores contra corto circuito y falla a tierra.**

#### **Capacidad nominal o ajuste.**

Debe usarse un dispositivo de protección con un rango o ajuste, seleccionado de tal forma que no exceda los valores dados en la tabla 430-152 de la Norma Eléctrica. Solo se permite utilizar un interruptor automático de disparo instantáneo si es ajustable y forma parte de una combinación aprobada y listada de motor y controlador con protección coordinada del motor contra sobrecargas, cortocircuitos y falla a tierra en cada conductor, y si el valor de disparo se ajusta para que no supere lo especificado en la tabla 430-152. Se permite un protector del motor contra cortocircuito en lugar de los dispositivos de la tabla 430-152, si ese protector forma parte de una combinación aprobada y listada de motor y controlador con protección coordinada del motor contra sobrecargas, corto circuito y fallas a tierra en cada conductor que abra el circuito cuando la corriente eléctrica supere 1300% de la corriente nominal a plena carga. Un interruptor automático de disparo instantáneo o fusible protector de motor debe usarse sólo como parte de un controlador tipo de combinación que provea protección coordinada del circuito derivado del motor contra sobrecarga, cortocircuito y falla a tierra.

## **CAPITULO 2 . INSTALACION**

La etapa de selección del equipo eléctrico en el diseño de las Instalaciones Eléctricas Industriales es un paso importante en el que se determina el comportamiento de la Red de Distribución; ya que el desempeño que tengan cada uno de los elementos que la integran se refleja en el desempeño global de la red de suministro, y al mismo tiempo en las actividades industriales.

En esta etapa es importante realizar una correcta selección del Equipo, el cual tiene como finalidad el suministro y control de la energía eléctrica, así como también la protección de la red y los equipos que se encuentran conectados a la misma; de igual forma, es necesario tomar en consideración la selección de aquellos equipos que están diseñados para proteger al personal operario contra contactos accidentales con partes energizadas; por tanto aumenta la importancia de realizar una correcta selección del equipo a instalar.

Por ejemplo, podemos mencionar las desventajas y consecuencias de una mala selección:

- Fallas, interrupciones y mala calidad en el suministro de la energía eléctrica.
- Paros en la producción y pérdidas económicas.
- Peligro de accidentes para el personal que opera el equipo eléctrico.
- Daño a los equipos conectados a la red.
- Daños a otras instalaciones debido al fuego y/o explosiones causadas por fallas del equipo.

Dentro de los aspectos que se toman en cuenta para la selección del Equipo eléctrico podemos mencionar tres muy importantes:

### **1. Características eléctricas del suministro de la energía.**

Es necesario tomar en cuenta las características del suministro de la energía eléctrica a distribuir, como son:

- a) Potencia
- b) Voltaje
- c) Frecuencia,
- d) Corrientes Nominales

- e) Corrientes de Corto Circuito
- f) Factor de Potencia
- g) Tipo de servicio y características de la demanda

## 2. Economía

En la selección del equipo es necesario considerar el aspecto económico, sin olvidarnos de que cumpla con las características de la distribución de la energía.

Es necesario recalcar la importancia de optimizar costos sin perder de vistas las características que debe cumplir el equipo para una buena distribución de la energía.

## 3. Seguridad

Aspecto importante al momento de la selección, es el de elegir aquél equipo que ofrezca los requisitos mínimos de seguridad para el personal que lo opera y/o les da mantenimiento. El diseño del equipo debe ser tal, que se evite el contacto accidental con las partes vivas o conductoras de energía. El cumplimiento de este requisito se garantiza cuando los equipo se construyen conforme a las Normas de fabricación, las cuales reúnen las observaciones técnicas de fabricación necesarias para otorgar al Equipo Eléctrico de seguridad en su uso, operación y mantenimiento.

Además de conocer los criterios de selección del equipo eléctrico, existen una serie de recomendaciones en lo que se refiere a la utilización y ubicación del equipo eléctrico y que nos ofrecen ventajas adicionales. Estas recomendaciones se encuentran en las Normas de Instalaciones Eléctricas (Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999 "Instalaciones Eléctricas" utilización), que tienen por objetivo:

" ... 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, fenómenos atmosféricos e incendios, entre otros. El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta NOM garantizan el uso de la energía eléctrica en forma segura."

Otras recomendaciones aceptadas ampliamente relacionadas con la selección de equipo eléctrico son las siguientes:

- Seleccionar equipo de fabrica y de fácil instalación en campo, ya que ahorra tiempo en su instalación y permite obtener una fácil coordinación en la instalación eléctrica.

- Seleccionar aquellos que se fabriquen bajo las Normas de fabricación de cada equipo correspondiente y que estén certificados por algún organismo encargado de verificar el cumplimiento de dichas Normas.

En cuanto a las características de los equipos que han tomado hoy en día más importancia, son aquellas que permiten colocarle accesorios al equipo en campo de una manera fácil y segura, permitiendo incrementar la capacidad y versatilidad del Equipo Eléctrico. Estas características hacen que un equipo sea seguramente seleccionado, ya que su empleo permite tener un mejor control sobre el equipo y la instalación eléctrica, así como también aumenta la seguridad de tener un control más preciso en el suministro de energía eléctrica.

Otra de las ventajas que ofrecen los equipos actualmente, es la facilidad para efectuar su mantenimiento o inspección en campo, ya que permite realizar estas actividades con un tiempo mínimo de intervención y con una mayor seguridad.

En el presente capítulo se analizan cada uno de los elementos más importantes que integran una Instalación Eléctrica Industrial.

Se inicia con una descripción del funcionamiento del equipo, su finalidad y ubicación en la red de suministro como un panorama que nos permite ubicarlos en su contexto. Se analiza después los elementos que lo integran y los aspectos técnicos más importantes que definen su funcionamiento. Por último y como parte fundamental, se dan una serie de recomendaciones para una correcta selección de dicho equipo.

## **2.1 SUBESTACION ELECTRICA**

La subestación es uno de los elementos más importantes dentro de los equipos que componen una red de distribución de energía eléctrica. Una subestación, en su forma más general, se puede definir de la siguiente manera:

"Es un conjunto de dispositivos eléctricos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia; sus funciones principales son: transformar tensiones y derivar circuitos de potencia".

En el estudio de las subestaciones es importante mencionar las diferentes clasificaciones que se hacen de éste equipo. Por ejemplo, la clasificación depende del tipo de uso que se les da, las características de fabricación y/o el voltaje y la potencia que manejan, por ejemplo:

Las subestaciones se pueden clasificar, de acuerdo con el tipo de función que desarrollan, en tres grupos:

- Subestaciones variadoras de tensión.
- Subestaciones de maniobra o seccionadoras de circuito.
- Subestaciones mixtas (mezclas de las dos anteriores).

De acuerdo con la potencia y tensión que manejan las subestaciones, éstas se pueden agrupar en:

- Subestaciones de transmisión. Arriba de 230 kV,
- Subestaciones de subtransmisión. Entre 230 y 115 kV
- Subestaciones de distribución primaria. Entre 115 y 23 kV
- Subestaciones de distribución secundaria. Debajo de 23 kV.

Una tercera clasificación es aquella en la que el criterio principal es el tipo de fabricación:

- Subestaciones abiertas y Subestaciones compactas

Una última clasificación es la que se hace de las subestaciones cuando el voltaje que manejan se encuentra en el rango de media tensión (además de tomar en cuenta el tamaño y tipo de diseño) y es precisamente éste voltaje y el diseño el que define el nombre de las subestaciones:

- Subestación compacta 13.8 kV
- Subestación compacta 23 kV
- Subestación compacta 34.5 kV

Para nuestro estudio, esta última clasificación es la de mayor interés, y es la que abarca las subestaciones que más se utilizan en la industria.

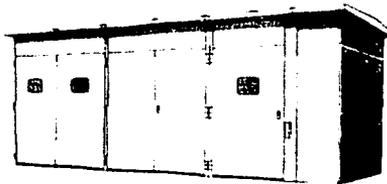


Figura No. 2.1 Subestacion Compacta Tipo Intemperie

Las ventajas de las subestaciones compactas con las subestaciones abiertas son las siguientes:

- El costo de las subestaciones es relativamente bajo
- Ocupan poco espacio y son fáciles de instalar, ampliar y relocalizar en un momento dado.
- Su construcción es totalmente blindada y son de frente muerto proporcionando de esta manera seguridad para el personal de operación y mantenimiento.

La subestación está compuesta por una serie de gabinetes los cuales contiene 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.

Las celdas que componen a una subestación y su función son las siguientes:

- a) Celda de acometida:** Prevista para recibir los cables de energía de alta tensión.
- b) Celda de medición:** Destinada al equipo de medición de la Compañía Suministradora.
- c) Celda de cuchilla de servicio y prueba.** Previstas para alojar y hacer las conexiones necesarias del equipo de verificación de la Compañía Suministradora de Energía.
- d) 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.**
- e) Celda de seccionador bajo carga con apartarrayos.** Su finalidad es la protección contra corto circuito y sobretensiones atmosférica.
- f) Celda de acoplamiento lateral a transformador.** Para acoplamiento eléctrico y mecánico al transformador.
- g) Celda de camino o transición de barras.** Para interconexión entre un seccionador general con uno o más seccionadores derivados.

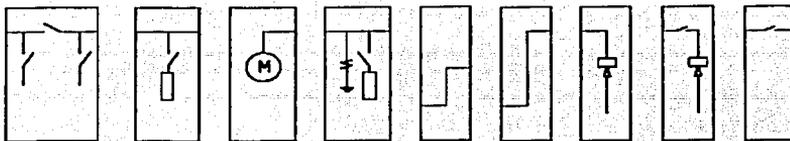


Figura No. 2.2 Diagramas Unifilares por Celda. De izquierda a derecha: Celda para equipo de verificación de la compañía suministradora, celda de seccionador bajo carga con fusibles, celda de medición, celda de seccionador bajo carga con apartarayos y fusibles, celda de acoplamiento a transformador, celda de transición, celda de acometida, celda de acometida con seccionador sin carga y celda con cuchilla de paso.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1.- **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.

- Subestación compacta de 13.8 kV
- Subestación compacta de 23 kV
- Subestación compacta de 34.5 kV

2.- **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 las 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 y VDE 0101/9.62

Tipo de aplicación. Una subestación puede ser utilizada como:

- a) Subestación de acometida principal
- b) Subestación de acometida derivada.

En esta caso el tipo de aplicación determina el número de elementos que componen la subestación, el arreglo, las dimensiones generales y el costo de la misma.

3.- **Tipo de Servicio.** El diseño puede ser para los dos tipos de servicios más empleados en la industria:

- a) **Servicio Interior NEMA 1 (Usos Generales):** Servicio interior, condiciones atmosféricas normales, construido en lámina metálica.
- b) **Servicio intemperie NEMA 3R (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

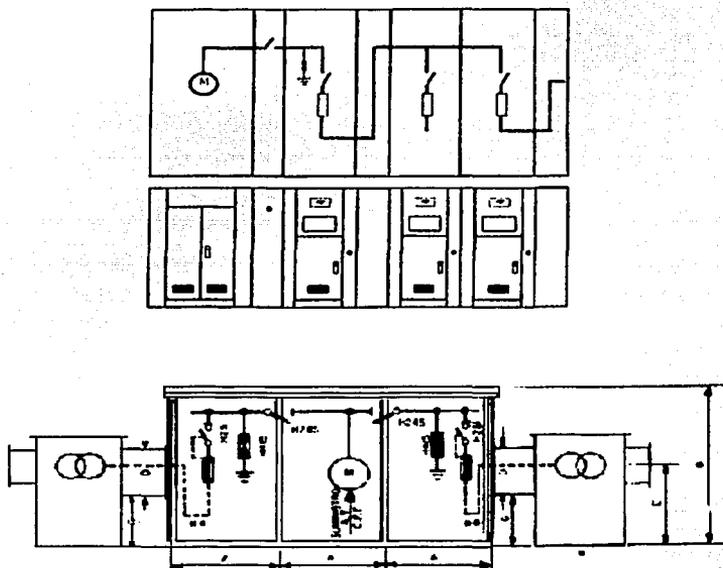


Figura No. 2.3 Dos tipos de ejemplificaciones de diagramas unifilares y arreglos físicos.

**5. - Características mecánicas de fabricación.** 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 humedad que puedan presentarse en servicio normal. En el cumplimiento de esta Norma, las subestaciones son auto soportadas y se fabrican con lámina de acero rolada en frío calibre 12 en su estructura y calibre 14 en sus cubiertas.

Además:

"... debe asegurarse la protección contra corrosión mediante el uso de materiales adecuados o mediante la aplicación de recubrimientos en la superficie expuesta, tomando en cuenta las condiciones destinadas para su uso y mantenimiento".

Como requisito mínimo de protección contra corrosión, los gabinetes deben estar sometidos a un proceso de limpieza de fosfatizado y posteriormente pintados con pintura epóxica y secado al horno.

**6. 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. Debe contar con mecanismo coordinados de apertura y cierre de puertas y cuchillas (Secuencia de apertura y cierre), de tal manera que se asegure que no existan partes energizadas al momento de abrir las puertas de las celdas de la subestación. De igual forma, el cierre de los elementos del paso de la energía se debe garantizar únicamente con las puertas cerradas. Debe contar con mecanismos de bloqueo contra apertura o cierre accidental. La conexión a tierra debe estar hecha en tal forma que todas las bases del aparato así como la construcción metálica de la subestación se conecten a un sistema compuesto por una barra de cobre aterrizada.

**7. 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. Esto permite lograr las diferentes configuraciones de subestaciones y garantiza la ampliación de la subestación o el desarme y traslado cuando se requiera.

## 2.3 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES

### A. Celda de acometida. Se aplica en los siguientes casos:

- Cuando se prevé la recepción de cables de energía de alta tensión.
- En aquellos casos de ampliaciones o interconexiones a una subestación derivada desde una subestación receptora.

### B. Celda de medición. Está destinada para:

- Alojar el equipo de medición cuando la capacidad de la subestación es de 500 Kva. o mayor (El espacio debe estar diseñado para alojar el equipo de medición de la compañía suministradora).

### C. Celda de cuchilla de servicio y prueba. Destinada para:

- Alojar el equipo de verificación de la compañía suministradora.

### D. Celda de cuchilla de servicio. Se utiliza en los siguientes casos:

- Para aislar a la subestación cuando se requieren trabajos de mantenimiento en el interior de la subestación.
- Como acometida de la compañía suministradora cuando no se requiera celda de medición
- Cuando se trata de una subestación derivada sin medición.
- Cuando no exista una celda de cuchilla de prueba.

### E. Celda de seccionador bajo carga con apartarrayos. Se utiliza cuando:

- Se desea protección contra corto circuito a través de los fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva.
- Para protección de la línea o transformador contra la operación monofásica o bifásica gracias a su mecanismo percutor, el cual desconecta automáticamente las tres fases cuando se funde el fusible.
- Para protección del transformador contra sobretensiones de origen atmosférico mediante 3 apartarrayos del tipo auto valvular conectados a un sistema con neutro a tierra.

**F. Celda de acoplamiento lateral a transformador. Celda para:**

- Acoplamiento eléctrico y mecánico del transformador a la celda del seccionador.

**G. Celda de camino o transición de barras. Su uso está destinado a:**

- La interconexión entre un seccionador general con uno o más seccionadores derivados.

## **2.4 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN**

### **1. Cuchillas desconectadoras.**

Las cuchillas desconectadoras son utilizadas como dispositivos de seccionamiento de circuitos, para operar sin carga, en sistemas de media tensión hasta 38 kV, especialmente para aislar subestaciones, barras y circuitos de la fuente de suministro. Se aplican como cuchillas de paso o en arreglos de cuchillas de paso y prueba en subestaciones compactas, tableros de media tensión industriales, urbanos y rurales de servicio interior. Sus características eléctricas y de operación deben estar de acuerdo a la norma mexicana NMX-J-356.

La operación de la cuchilla puede ser manual o con accionamiento a resorte. Su operación puede llevarse a cabo mediante un mecanismo de disco, un mecanismo de manivela lateral o por medio de un accionamiento motorizado.

Una hoja de datos técnicos para la selección de cuchillas se muestra en anexo B.

### **2. Seccionador bajo carga.**

Los seccionadores eléctricos en aire son equipos tripolares de operación en grupo, utilizados para operar con carga y seccionar redes de tensiones medias de hasta 38 kV, conectar y desconectar líneas o cables, seccionar circuitos en anillo así como para desconectar transformadores con o sin carga. Sus características eléctricas y de operación deben estar de acuerdo a la norma mexicana NMX-J-323.

Su principal aplicación la encuentran en subestaciones compactas y tableros de media tensión industriales, urbanos y rurales de servicio interior. Los desconectadores se instalan generalmente en el interior de gabinetes o celdas. Su operación se lleva a cabo desde el exterior, mediante mecanismos operadores, ya sea de disco, palanca o de manivela. Los desconectadores extinguen el arco a través de cámaras de arqueo o cámaras planas de extinción del arco. Ver datos técnicos y especificaciones en anexo B.

### 3. Fusibles

Son dispositivos de protección eléctrica de una red que hacen las veces de un interruptor, siendo más baratos que éstos, se emplean en aquellas partes de una instalación eléctrica en que los relevadores y los interruptores no se justifican económicamente.

Su función es la de interrumpir circuitos cuando se produce en ellos una sobrecorriente, y soporta la tensión transitoria de recuperación que se produce posteriormente.

Un juego de fusibles de alta tensión, en su parte fundamental, está formado por tres polos. Cada uno de ellos, a su vez está formado por una base metálica semejante a las utilizadas en las cuchillas, dos columnas de aisladores que pueden ser de porcelana o de resina sintética y cuya altura fija el nivel básico de impulso a que trabaja el sistema, sobre los aisladores se localizan dos mordazas, dentro de las cuales entra a presión el cartucho del fusible.

Dentro del cartucho se encuentra el elemento fusible, que normalmente está formado por un alambre o tiras metálicas con una sección reducida, que está calibrada de acuerdo con su capacidad de corriente, en esta sección se produce una densidad de corriente elevada que, al pasar de un valor determinado y durante un tiempo prefijado, se provoca la fusión del elemento y la apertura del circuito de que se trate. Al fundirse el elemento fusible se generan gases a presión dentro del cartucho del fusible que se proyectan hacia el exterior del tubo. El gas a presión está formado por el aire que se encuentra dentro del cartucho, que se expande bruscamente por efecto del calor del arco eléctrico y que al ser expulsado produce la extinción del arco al pasar por cero la onda de corriente. Para los elementos fusibles se utiliza como material un alambre de aleación a base de plomo, para el caso de bajas tensiones y corrientes, y una cinta de aleación a base de cobre o de aluminio, para el caso de mayores corrientes.

#### Las diferentes corrientes que caracterizan un fusible

- a) **Capacidad de Corte:** Corriente máxima que el fusible puede interrumpir. Esa corriente se da en kA eficaces (corriente simétrica). Este valor generalmente es muy elevado (de 20 a 63 kA).
- b) **Corriente Crítica:** Corriente cuya interrupción genera una energía de arco máxima. Para los fusibles este valor varía entre 40 a 60 veces la corriente nominal.
- c) **Corriente mínima de Corte:** Es la corriente menor capaz de interrumpir el fusible. Se da en valor eficaz (sin asimetría). Para corrientes inferiores a este valor, las láminas que componen la parte activa del fusible pueden fundirse, sin que la corriente se interrumpa. Un régimen de arco puede instalarse de manera que se produzca la destrucción del fusible. La cobertura de esta escala de fallo puede garantizarse asociando a los fusibles un interruptor que se activará a través del percutor de los fusibles.

- d) **Corriente Nominal:** Es la corriente permanente que puede soportar el fusible garantizando sus características de tiempo / corriente. En este valor de corriente se basa la potencia disipada que se da en las tablas de características.
- e) **Corriente de Servicio:** Es la corriente permanente que puede soportar el fusible en sus condiciones precisas de operación. Debe tener en cuenta parámetros como la temperatura ambiente, la calidad de las piezas de contacto o el confinamiento de los fusibles en una celda.

La selección de los fusibles debe hacerse de acuerdo al equipo a proteger, ya que los criterios de selección son diferentes para cada aplicación.

#### Elección del calibre de los fusibles para transformador de distribución

A continuación se muestra una tabla de fusibles que protegen a transformadores desde 75 kVA hasta 300 kVA

Tensión Nominal	Potencia Nominal del Transformador											
	(KVA)											
KV	75	112.5	150	225	300	500	750	1000	1500	2000	2500	3000
2.4	40	63	100	160	160	250	X	X	X	X	X	X
4.16	25	40	40	63	100	160	200	315	X	X	X	X
13.2/13.8	10	10	16	25	25	40	63	100	125	160	200	X
23	6	6	10	16	16	25	40	63	100	100	125	160
34.5	—	6	6	10	16	25	40	40	63	63	100	100

Cortesía ALSTOM

#### 4. Apartarrayos

Dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por tensiones atmosféricas, operación de interruptores o desbalanceo de sistemas.

Un dispositivo de protección efectiva debe tener tres características principales:

- Comportarse como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda cierto valor predeterminado.
- Convertirse en conductor al alcanzar la tensión ese valor.
- Conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobre tensión.

Una vez desaparecida la sobretensión y reestablecida la tensión normal, el dispositivo de protección debe ser capaz de interrumpir la corriente. Estas características se logran con el apartarrayos, el cual cumple con las siguientes funciones:

- Descargar la sobre tensión cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva de diseño.
- Conducir a tierra las corrientes de descargas producidas por las sobretensiones.
- Debe desaparecer la corriente de sobrecarga al desaparecer las sobretensiones.
- No deben operar con sobretensiones temporales de baja frecuencia.
- La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen.

Las sobretensiones se agrupan en las categorías siguientes:

1. - sobretensiones de impulso por rayo.
2. - sobretensiones de impulso por maniobra.
3. - Sobretensiones de baja frecuencia (60 Hz)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los apartarrayos deben quedar conectados permanentemente a los circuitos que protegen y entrar en operación en el instante en que la sobre tensión alcanza un valor convenido superior a la tensión máxima del sistema.

Los apartarrayos se clasifican en los siguientes tres grupos:

1. Cuernos de arqueo.
2. Apartarrayos autovalvulares.
3. Apartarrayos de óxidos metálicos.

#### **Apartarrayos autovalvulares.**

Este grupo de apartarrayos, llamados también de tipo convencional, está formado por una serie de resistencias no lineales de carburo de silicio, prácticamente sin inductancia, presentadas como pequeños cilindros de material prensado. Las resistencias se conectan en serie con un conjunto de explosores intercalados entre los cilindros.

Las resistencias evitan que, una vez iniciada la descarga en los explosores, se produzca una corriente permanente. A su vez permiten disminuir las distancias entre los electrodos, proporcionando mayor sensibilidad al apartarrayos, aun en el caso de sobretensiones reducidas.

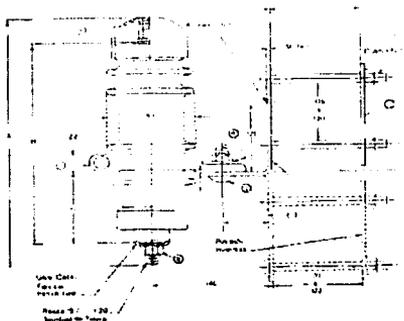
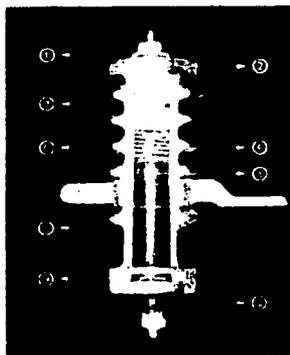
Las resistencias no lineales son unos pequeños cilindros formados por pequeñas partículas de carburo de silicio (SiC) con dimensiones del orden de 200 micrones. La curva característica no lineal de tensión-corriente se obtiene a partir de las propiedades semiconductoras eléctricas, por la interacción entre el carburo de silicio y el aglutinador que permite cierto contacto entre las partículas de SiC, ocasionando la obtención de una resistencia no lineal.

Los cilindros semiconductores tienen la propiedad de disminuir su resistencia en presencia de sobretensiones y de aumentarla a un valor prácticamente infinito, al regresar

Esto convierte al apartarrayos en una válvula de seguridad para las tensiones, que funcionan en el momento necesario, evitando la presencia de la corriente de cortocircuito sin que se produzcan oscilaciones secundarias.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ① CAPUCHON AISLANTE
- ② TERMINAL SUPERIOR, CONECTOR Y TAPA INFERIOR
- ③ CONJUNTO DE CAMARAS DE ARQUEO
- ④ RESORTE DE CONTACTO CON DERIVADOR
- ⑤ CILINDROS AUTOVALVULARES
- ⑥ PORCELANA FABRICADA BAJO PROCESO HUMEDO
- ⑦ ABRAZADERA GALVANIZADA
- ⑧ INDICADOR DE FALLAS
- ⑨ SELLO ROLADO



- ① - Soporte NEMA (hacia arriba).
- ② - Tornillo cabeza de cuche de 12.7 mm. (1/2")  
tujea a presión.
- ③ - Soporte NEMA (invertido)
- ④ - Capuchón aislante.
- ⑤ - Abrazadera.
- ⑥ - Rolletes de presión de la abrazadera.
- ⑦ - Solera (término)
- ⑧ - Fuerza de tierra.

Figura No. 2.4 Partes que integran un aparrayos autovalvular.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## **Apartarrays de óxidos metálicos**

Este apartarrayos de óxido de zinc (ZnO) está basado también en que la curva de tensión-corriente de las resistencias es menos lineal que la del caso de carburo de silicio; conduce cuando la tensión es superior a la tensión máxima de referencia y cierra la conducción, prácticamente a un valor cero, cuando la tensión regresa a su valor normal.

Los apartarrayos están constituidos por varias piezas de resistencia no lineal de óxido de zinc, apiladas dentro de una columna hueca de porcelana sin entrehierros. En la parte superior de la porcelana tienen una placa de presión que, en caso de una sobrepresión interna, se rompe y permite escapar los gases hacia arriba sin producir daños laterales.

La resistencia no lineal son pequeños cilindros formados por partículas de óxido de zinc de menor tamaño que en el caso de los convencionales. Las partículas están formadas por cristales de óxido de zinc de unos 10 micrones, rodeados por un material aglutinador de mayor resistencia eléctrica que el cristal, el cual produce una separación entre los cristales del orden de 0.1 de micrón y permite cierto contacto entre los cristales de óxido, ocasionando una resistencia no lineal. La resistencia de los cristales es mucho menor que la del material aglutinador, de tal manera que cuando aparece una sobretensión entre los elementos no lineales, casi toda la tensión aparece en la capa aglutinadora; así se produce un fenómeno multiplicador de corriente, típico de la electrónica de estado sólido y se obtiene una característica extremadamente no lineal entre la tensión aplicada y la corriente resultante, que se aproxima al caso del apartarrayo ideal.

### **Selección de apartarrayos**

La selección de apartarrayos debe basar en la coordinación de tres parámetros de funcionamiento:

- MCOV (Maximum Continuous Operating Voltage) Voltaje máximo de operación continua del Apartarrayos, a frecuencia del sistema.
- Voltaje Nominal (Duty Cycle) Voltaje máximo al que el apartarrayos puede estar energizado mientras descarga impulsos normalizados de corriente (prueba Duty Cycle durante 2° minutos, según ANSI).
- Sobrevoltaje Temporal (TOV: Transient Overvoltage) Sobrevoltaje máximo que puede soportar el apartarrayos en función del tiempo de duración, de la temperatura ambiente y de la absorción de energía previa a la aplicación de la sobretensión. Este se define usualmente a través de una familia de curvas, aunque algunos estándares establecen un tiempo y temperatura ambiente definidos para fines de comparación.

El MCOV (Maximum Continuous Operating Voltage) está asociado con la tensión de operación permanente máxima del sistema, mientras que el voltaje nominal se relaciona normalmente con las sobretensiones transitorias que se presentan durante fallas de línea a tierra en el sistema. La capacidad de sobrevoltaje temporal se evalúa calculando o estimando la magnitud y duración de las sobretensiones temporales más probables en el sistema de potencia en que se aplicarán los apartarrayos. Así mismo, los apartarrayos pueden ser instalados en lugares con altitud desde 0 hasta 3,600 msnm y pueden ser usados en lugares donde la temperatura no exceda 60°C.

El tipo de aterrizamiento del sistema es importante para seleccionar el valor adecuado de tensión nominal para un apartarrayos determinado. Existen los siguientes tipos de sistemas:

**TIPO A:** Sistemas con neutro a tierra:

Sistemas con neutro a tierra cuyas relaciones reactancia a resistencia son menores que las de los sistemas tipo B. Los sistemas tipo A llevan 4 hilos con neutro múltiple en conexiones de distribución; este sistema es llamado usualmente "multi aterrizado".

**TIPO B:** Para sistemas con tierra múltiple con relación de reactancia ( $X_0/X_1$ ) positiva y menor de 3 y aquellos cuya relación de resistencia ( $R_0/X_1$ ) sea positiva y menor de 1 en cualquier punto del sistema.

Este sistema es usualmente definido como "Efectivamente aterrizado o firmemente aterrizado".

**TIPO C:** Este sistema con todo y tener el neutro aterrizado, no llena los requerimientos del sistema tipo B, porque la relación de reactancia es mayor de 3 con valor positivo; Sistemas usando tierra "Falsa" se incluyen en esta clasificación

**TIPO D:** Este sistema tiene el neutro aislado, en el cual la reactancia de secuencia cero es capacitiva y su relación ( $X_0/X_1$ ) es negativa y queda comprendida entre menos de 40 y menos infinito.

**TIPO E:** Este sistema se caracteriza por una corriente de carga relativamente alta o una reactancia de secuencia cero, positiva y muy alta. Para este sistema la relación de reactancia ( $X_0/X_1$ ) es negativa con los límites entre cero a menos 40. entre estos límites, es posible se tengan efectos de resonancia parcial, así que cada caso debe analizarse y tratarse individualmente.

Generalmente para seleccionar apartarrayos tipo distribución se hace la clasificación de aterrizaje en forma aproximada; ya clasificado el sistema en el que se va a requerir la protección se determina el valor nominal de apartarrayos necesario. Ver tabla de selección de apartarrayos autovalvulares en Anexo B.

## **Selección del Transformador**

El transformador en la subestaciones eléctricas 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 circuitos eléctricos distintos permitiendo intercambio de energía a diferentes niveles de voltaje o entre formas distintas de conexión. Los transformadores se clasifican en:

- **Potencia:** Los más de 500 kVA o más de 69 kV.
- **Distribución:** Los que no pasan de 500 kVA y de 69 kV.

Desde el punto de vista de su construcción, se clasifican como sigue:

- De tipo interior o intemperie.
- De montaje en poste o en piso.
- Por su enfriamiento.
  1. Tipo seco (enfriamiento por aire) A
  2. Enfriamiento por aceite y aire OA
  3. Enfriamiento por aceite y aire con circulación forzada OA/FA
  4. Enfriamiento por aceite y aire con circulación de aceite forzado OA/FOA



10. Condiciones especiales de servicio como ambientes corrosivos, ambientes explosivos, etc.

11. Altura sobre el nivel del mar.

12. Accesorios.

### Capacidad del transformador.

Para el cálculo de la capacidad del transformador se tiene la siguiente fórmula:

$$KVA_{\text{Transformador}} = \text{Carga Instalada} \times \frac{\text{Factor de demanda}}{\text{Factor de diversidad}}$$

donde:

$$\text{Factor de demanda} = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga Instalada}}$$

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

y se debe cumplir que

- El factor de demanda es igual o menor que la unidad.
- El factor de diversidad es igual o mayor que la unidad.

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 a 1000 msnm para la cual se diseñan, como se sabe 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 40% por cada 100 m en exceso de los 1000 m.

Se puede operar también los transformadores a sus capacidades nominales a alturas superiores a los 1000 msnm siempre que la temperatura ambiente promedio máxima no exceda de 3°C/1000 m por debajo de 30°C.

En el anexo B se muestra una tabla con la capacidad nominal de transformadores por variación de temperatura y altitud.

Un parámetro muy importante dentro de la especificación de transformadores es la impedancia. Este valor es un valor de placa y está expresada en porcentaje. Representa la caída de voltaje dada en porcentaje para el circuito equivalente del transformador, con el valor de impedancia del transformador se calcula el valor de regulación, las corrientes de corto circuito y analizar las condiciones de operación en paralelo con otros transformadores. En el anexo B se muestra una tabla con valores típicos de impedancia para transformadores.

## 2.5 SELECCIÓN DE INTERRUPTORES

El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga, en condiciones normales, así como, y ésta es su función principal, bajo condiciones de cortocircuito. Además, sirve para insertar o retirar de cualquier circuito energizado máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables.

Tipos de interruptores.

- a) Gran volumen de aceite
- b) Pequeño volumen de aceite.
- c) Neumáticos (aire comprimido)
- d) Hexafluoruro de azufre.
- e) Interruptores en vacío
- f) Interruptores de potencia electromagnética.
- g) Interruptores automáticos en caja moldeada.

### Gran volumen de aceite

Fueron los primeros interruptores empleados en alta tensión, utilizan el aceite como medio de extinción del arco.

En este tipo de extinción el arco producido calienta el aceite causando una formación de gas muy intensa que aprovechando el diseño de la cámara, empuja un chorro de aceite a través del arco, lo cual provoca su alargamiento y enfriamiento hasta llegar a su extinción al pasar la onda de corriente por cero.

### **Pequeño volumen de aceite.**

Este tipo de interruptor tiene forma de columna y por el pequeño consumo de aceite son muy utilizados en tensiones de hasta 230 kV y de 2500 MVA de capacidad interruptiva. En general se utilizan en tensiones y potencias medianas. Este interruptor utiliza aproximadamente un 5% de volumen de aceite del caso anterior.

### **Neumáticos (Aire Comprimido)**

Su uso se origina ante la necesidad de eliminar el peligro de inflamación y explosión del aceite utilizado en los interruptores de los dos casos anteriores.

En este tipo de interruptores el apagado del arco se efectúa por la acción violenta de un chorro de aire, que barre el aire ionizado por efecto del arco.

El poder de ruptura aumenta casi proporcionalmente a la presión del aire inyectado. La presión del aire comprimido varía entre 8 y 13 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo de la capacidad de ruptura del interruptor.

La extinción del arco se efectúa en tiempo muy corto, del orden de 3 ciclos, lo cual produce sobretensiones mayores que en los casos anteriores.

### **Hexafluoruro de azufre.**

Son aparatos que se desarrollaron al final de la década de los sesenta y cuyas cámaras de extinción operan dentro de un gas llamado hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Este es un gas que presenta ciertas características particulares para la extinción del arco debido a que reúne dos requisitos fundamentales.

1. Un elevado valor de rigidez dieléctrica
2. Una elevada velocidad de recuperación de la rigidez dieléctrica cuando se pierde durante la interrupción a causa del arco eléctrico.

La rigidez dieléctrica de la presión atmosférica es 2 o 3 veces mayor de la del aire y su valor a una presión de 3 kg/cm<sup>2</sup> es comparable con el del aceite mineral tratado.

Fisicamente el gas tiene características electronegativas, o sea la propiedad de capturar electrones libres transformando los átomos en iones negativos, lo cual provoca en el gas las altas características de ruptura del arco eléctrico y por lo tanto la gran velocidad de recuperación dieléctrica entre los contactos, después de la extinción del arco.

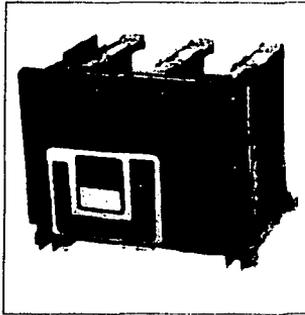
Las ventajas principales que presentan los interruptores que utilizan gas SF<sub>6</sub> como medio de extinción del arco son:

1. Tamaño.
2. Peso y volumen limitado para fácil traslado e instalación.
3. Estructura compacta y robusta con un mecanismo simple, garantizando una larga vida mecánica.
4. Reducido consumo de energía mecánica respecto a un equivalente interruptor tradicional, esto permite utilizar dispositivos de mando, mecanismos de operación ligeros los cuales son menos complicados porque requieren de una cantidad pequeña de energía.
5. Insensibilidad a la corriente crítica un tanto por la característica del SF<sub>6</sub> el cual es capaz de sostener el arco fino a la corriente o evitando corrientes de Chopping. En consecuencia sobretensiones. La autogeneración permite un excelente rendimiento en la interrupción del pistón.
6. Mantenimiento prácticamente nulo es presencia de elevadas corrientes acumuladas gracias a una vida eléctrica elevada referente a la efectiva condición de trabajo, elevado número de interrupciones a valor medio de interrupción de fallas de corriente, y un número elevado de operaciones a corriente nominal de servicio.
7. Excelente seguridad incluso en ambientes severos.
8. Características constantes a través del tiempo.
9. Control constante de la presión con manómetros o presostatos, con contacto de alarma y bloqueo.

#### **Vacío**

En este tipo de interruptores los contactos están dentro de botellas especiales en las que se ha hecho el vacío casi absoluto. La interrupción se produce al separarse los contactos dentro de un recipiente hermético en el que se ha hecho el vacío, de tal manera que ha medida que se separan los contactos, la corriente se concentra en los puntos más calientes de la superficie del contacto y cesa cuando se evapora el último puente entre los dos contactos.

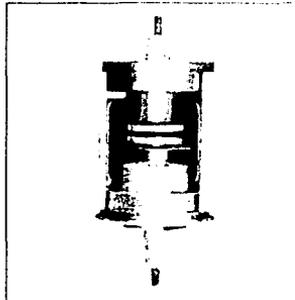
El contacto fijo está sellado con la cámara de vacío y por el otro lado entra el contacto móvil, que también está sellado al otro lado de la cámara y que, en lugar de deslizarse se mueve junto con la contracción de un fuelle de un material que parece ser una aleación del tipo de latón.



VCPW Breaker Element

Figura 2.6 Interruptor de potencia en vacío

Al abrir los contactos dentro de la cámara de vacío, no se produce ionización, y por tanto, no es necesario el soplado del arco, ya que este se extingue prácticamente al paso por cero después del primer ciclo.



Cut away View of the contact assembly  
Shiro Detail

Figura 2.7 Contacto de interruptor de potencia en vacío

**Las características de interrupción del arco en vacío se resumen de la siguiente manera:**

- Operación por medio de un accionamiento de energía almacenada (El accionamiento de energía almacenada del interruptor es manual o eléctrico).
- Mínima disipación de energía durante la presencia del arco. Arco de bajo voltaje debido a la alta conductividad del plasma metálico.
- Mínimo desgaste de contactos. Erosión uniforme de toda la superficie de contacto que se refleja en una excelente disipación de calor. Interrupción de corrientes nominales de operación, hasta 30,000 veces, debido al desgaste insignificante del contacto durante las mismas.
- Mínimo tiempo de interrupción. La duración del arco es independiente de la corriente interrumpida lo que permite obtener tiempos mínimos de interrupción bajo condiciones de falla.
- Rápida recuperación de la rigidez dieléctrica. La recuperación del dieléctrico en vacío es extremadamente rápida, resultando interrupciones sin reencendido por corriente capacitivas.
- Recierres rápidos múltiples. Cuando se emplea el interruptor en redes por ejemplo, las perturbaciones a que están expuestas estas últimas (descargas atmosféricas, animales, etc.) son subsanadas rápidamente debido al breve lapso que requiere el interruptor entre la desconexión y la conexión.
- Conmutación rápida y sincronización. La conmutación de consumidores (cargas) de una alimentación de energía eléctrica a otra puede efectuarse sin que sea necesario interrumpir el servicio, ya que los interruptores en vacío cuentan con periodos de tiempo de conexión y desconexión extremadamente cortos. Por esta razón son también adecuados para sincronizar circuitos.
- Interrupción de corriente de corto circuito hasta de 63 kA, con un promedio de 100 veces dicha tarea, debido a que la duración del arco es muy pequeña, incluso para las corrientes elevadas y a la reducida transformación de energía entre los contactos abierto.
- Interrupción de pequeñas corrientes inductivas sin que se produzcan tensiones inadmisibles en este tipo de circuitos, ya que la corriente de ruptura del arco eléctrico es inferior a 5 A.

## 2.6 INTERRUPTORES DE POTENCIA ELECTROMAGNÉTICOS

La característica principal de estos interruptores es la unidad de disparo y los rangos de corriente que manejan en baja tensión, la aplicación para los interruptores de potencia electromagnéticos incluyen: interruptores principales, de enlace, de alimentación y de emergencia en plantas industriales, grandes complejos comerciales y equipamiento médico y de salubridad. Los interruptores se diseñan para instalaciones fijas y removibles, pueden estar agrupados físicamente en tableros de distribución central o utilizados por separados en aplicaciones autónomas.

### MECANISMO DE OPERACIÓN

Los interruptores de potencia electromagnéticos están equipados con un mecanismo de acumulación de energía de dos pasos para cerrar y abrir los contactos principales de los interruptores. Después de una operación de cierre se retiene energía suficiente en el mecanismo de acumulación de energía de dos pasos para realizar la función de disparo. El mecanismo se puede disparar manualmente o electrónicamente con el motor eléctrico. Estos interruptores están provistos de botones pulsadores interruptor (switch) e indicadores codificados de color facilitan las operaciones de cierre y apertura.

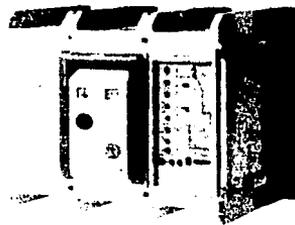


Figura 2 # Dos tipos de Interruptores Electromagnéticos

### UNIDAD DE DISPARO

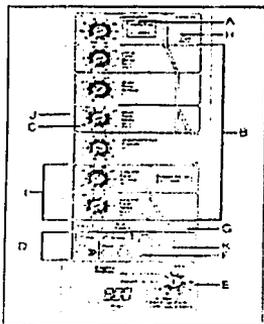
La unidad de disparo es el cerebro de los interruptores de potencia. La protección de máxima corriente para equipos de c.a. se efectúa con un tipo de relé con microprocesador y un solenoide de apertura que actúa directamente en el mando del interruptor.

CON  
FALLA DE ORIGEN

Esta unidad tiene la capacidad de funcionar aún con la presencia de armónicos y fenómenos que se presenten en el bus de conexión o bien en la red de distribución. La unidad de disparo permite una correcta selectividad y coordinación en la protección. Los múltiples ajustes se adaptan a las condiciones de carga.

### Descripción de ajustes y señalizaciones para las unidades de disparo

A continuación se describe una unidad de disparo típica.



- A.** Módulo reemplazable, seleccionable del 40 al 100% de la  $I_n$  nominal.
- B.** Funciones de protección básicas (ajustables).
- C.** Zona de regulación de disparo de tiempo corto.
- D.** Módulo de prueba por fase y falla a tierra (disparo y no disparo).
- E.** Módulo de medición de corriente y demanda.
- F.** Conector a fuente externa.
- G.** LED. Indicador de disparo.
- H.** Indicador de posición energizado desenergizado.
- I.** Zona de relación de disparo de falla tierra.
- J.** Marco de la unidad de disparo protegiendo ésta contra interferencias.
- K.** Puerto de comunicación.

Figura 2.9 Unidad de disparo de Interruptor Electromagnético

## PROTECCIÓN Y TIEMPOS DE ACTUACIÓN EN LAS UNIDADES DE DISPARO.

### 1. Protección contra sobrecarga (L)

Es el nivel de corriente al cual el interruptor operará continuamente sin iniciar un seguimiento de disparo.

## **2. Ajuste tiempo largo con retardo**

El ajuste de tiempo de retardo es usado para seleccionar el retardo de la unidad de disparo basado en la magnitud de corriente de sobrecarga. El tiempo de retardo largo es una función inversa  $I^2t$ .

## **3. Protección selectiva contra corto circuito (S)**

El ajuste de tiempo corto es usado para regular la corriente elevada que se desea y que pueda soportar el interruptor sin dispararse. Estos valores pueden seleccionarse de 1.5, 2, 2.5, 3.4, 6, 7, 8 ó 9 veces la  $I_n$ .

## **4. Ajuste de actuación de protección selectiva contra corto circuito**

Este ajuste se utiliza para seleccionar el intervalo que el interruptor deberá esperar antes de responder al valor preestablecido en el ajuste de tiempo corto. Existen dos formas de operación: Ajuste fijo y el otro es un retardo inverso de la  $I^2t$ ; ésta tiene la característica de ser inversamente proporcional al cuadrado de la magnitud de la sobrecarga. Esto significa que a mayores valores de sobrecarga se tienen tiempos de retardo más cortos e inversamente a menores valores de sobrecarga se tienen mayores tiempos de retardo. Esta característica permite una mejor coordinación de interruptor y fusibles. El ajuste fijo puede seleccionarse desde 0.07, 0.1, 0.15, 0.2, ó 0.3 seg., en el tiempo inverso puede calibrarse a valores de 0.7, 0.1, 0.15, 2 ó 3 seg.

## **5. Ajuste instantáneo de corto circuito (I)**

Se usa para seleccionar el nivel de la corriente de corto circuito al cual el interruptor dispara sin retardo de tiempo intencional. El disparo sin retardo como un resultado de sobrecarga severa, minimiza el daño potencial a los equipos y sistemas eléctricos. El ajuste instantáneo puede seleccionarse desde 1.5 hasta 12 veces la  $I_n$ .

## **6. Ajuste de falla a tierra**

Sirve para seleccionar el nivel de corriente a tierra al cual la interrupción del circuito se iniciaría, junto con el retraso de la falla a tierra, este ajuste permite un disparo selectivo, entre bus y alimentador u otros interruptores derivados.

## **7. Ajuste de tiempo de falla a tierra con retardo**

Es usado para seleccionar el intervalo al cual el interruptor esperará antes de responder ante la presencia de la falla a tierra, una vez que ésta es alcanzada. Hay dos formas de operación: fija y una función inversa ( $I^2t$ ), las cuales se pueden ajustar de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, ó 0.5 seg. El retraso de la función  $I^2t$  revierte a un retraso fijo del mismo valor cuando la corriente a tierra excede el 50% de la  $I_n$ .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

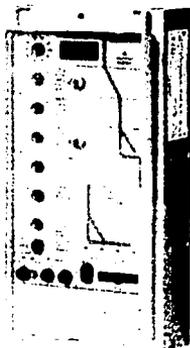


Figura 2.10 Unidades de disparo típicas. De izquierda a derecha: unidad de disparo SB (Siemens), unidad de disparo PR111 sólo con funciones de protección y PR112 con funciones de protección, medida de corriente y diálogo (ABB).

### Rango de aplicación de interruptores electromagnéticos.

El rango de aplicación de los diferentes tipos de interruptores electromagnéticos se puede ver gráficamente en la siguiente figura. Estos interruptores van desde los 100 hasta los 6300 amperes.



### Características principales

- Funcionamiento sin necesidad de alimentación exterior
- Tecnología con microprocesador
- Elevada precisión
- Sensibilidad al verdadero valor eficaz de la corriente
- Regulación del neutro normalmente al 50% de la regulación de las fases, con posibilidad de programación al 100%

### INTERRUPTORES DE CAJA MOLDEADA EN BAJA TENSIÓN

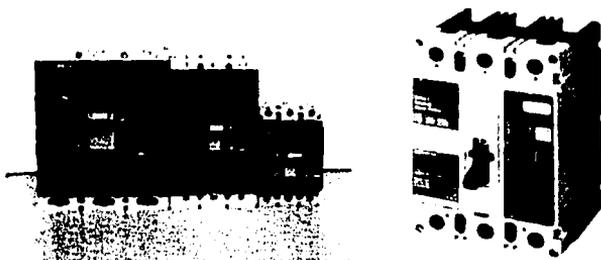


Figura No 2.11. Interruptores termomagnéticos ABB, interruptor termomagnético Cutler Hammer

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **PRINCIPALES COMPONENTES Y SU OPERACIÓN.**

Sus componentes fundamentales son:

1. Caja moldeada
2. Unidad de disparo
3. Mecanismo de operación
4. Cámaras de arqueo
5. Zapatas terminales.

### **1. Caja moldeada.**

Suministra aislamiento a los componentes internos del interruptor, ofreciendo de ésta manera, las características de "frente muerto", es decir, que no se expone el personal al contacto de partes vivas del aparato.

### **2. Unidad de disparo.**

La protección de los circuitos se efectúa dependiendo del tipo de acción de disparo.

- a. Térmica
- b. Magnética
- c. Electrónica

**Acción de disparo térmica.** Ofrece protección contra sobrecargas, se obtiene mediante el empleo de un elemento bimetalico. El elemento termico bimetalico se hace de dos metales de diferentes, soldados entre sí, uno de ellos no es afectado apreciablemente por cambios de temperatura, mientras que el otro se expande con bastante rapidez, ocasionando la flexión del conjunto. El elemento bimetalico se conecta directamente en serie con la carga. Si ocurre una sobrecarga, éste sufrirá una deflexión, activando el mecanismo de operación. La desviación del bimetálico ocurre debido al calor que se genera al paso de la corriente a través del bimetálico. Este dispositivo actúa más rápidamente cuanto mayor sea la sobrecarga; a esto se le conoce como "curva de corriente de tiempo inverso"

**Acción de disparo magnético.** Provee protección contra corto circuito. Se obtiene al conectar un electromagneto en serie con el dispositivo bimetalico por el cual circula la corriente de carga. Cuando ocurre un cortocircuito, la corriente que pasa a través del interruptor activa el electroimán, originado instantáneamente la apertura del circuito. Esta acción toma menos de un ciclo, por lo cual se considera instantáneo.

**Acción termomagnética.** Es la combinación de los dos casos anteriores.

**Acción de disparo electrónica.** Al igual que en el caso de los interruptores electromagnéticos. Esta acción de disparo está determinada por la señal que genera un microprocesador que detecta el tipo de falla para el cual está programado y que manda a un solenoide que actúa directamente sobre el mecanismo de apertura.

### **3. MECANISMOS DE OPERACIÓN.**

d. Manual

e. Automático

Sirve para abrir y cerrar los contactos del interruptor en forma manual y opera de manera automática al ocurrir una falla; en este caso la manija pasa a ocupar una posición intermedia entre los puntos "abierto" y "cerrado". En el caso de corto circuito, el mecanismo se puede restablecer en forma inmediata; no así, cuando la falla sea térmica ya que se debe dar un tiempo razonable (3 min. Aprox.) para que el bimetálico vuelva a su posición original. Cabe mencionar que el mecanismo operará aún cuando se tenga asegurada la manija de operación exterior en la posición de "cerrado"; a esto se le denomina "disparo libre".

### **4. CÁMARAS DE ARQUEO.**

Diseñadas para suprimir el arco que se forma al abrir los contactos. Durante este periodo de apertura, se induce un campo magnético en las rejillas, el cual atrae el arco original, dividiéndolo en arcos pequeños que se extinguen en menos de un ciclo. Además, el calor generado es rápidamente disipado a través de las mismas rejillas.

### **5. ZAPATAS TERMINALES**

Tiene como finalidad conectar el interruptor tanto a la línea de alimentación como a la de carga. Hay que destacar que el torque aplicado a la zapata sea el requerido, ya que de no ser así, se presentarán calentamientos sumamente perjudiciales al equipo.

## **PRINCIPALES FACTORES A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE INTERRUPTORES EN CAJA MOLDEADA EN BAJA TENSIÓN.**

- 1.- Voltaje del sistema (Volts).
  - 2.- Corriente de operación (Amperes).
  - 3.- Capacidad interruptiva (Amperes).
  - 4.- Frecuencia (Hertz).
  - 5.- Numero de fases (Polos).
  - 6.- Condiciones de operación.
  - 7.- Sistema de coordinación de operaciones.
  - 8.- Accesorios
  - 9.- Dimensiones.
  - 10.- Inspección y mantenimiento.
- 1.- Voltaje del circuito.**

Los interruptores deben aplicarse en sistemas eléctricos cuyos voltajes no excedan la tensión nominal o de diseño del interruptor. Por ejemplo, un interruptor para operar en un máximo de 240 V c.a., no debe emplearse para funcionar en 440 V c.a.

### **2.- Corriente de operación.**

Es la corriente máxima en régimen continuo, por lo general a 40 °C, a la cual el interruptor trabaja sin dispararse. Para temperaturas diferentes se afecta el rango de conducción. La calibración se realiza para un funcionamiento a 40 °C que es el promedio de temperatura que se tiene en el interior de un gabinete. En ambientes diferentes se requieren calibraciones especiales o bien la reducción de la capacidad del interruptor.

### **3. - Capacidad Interruptiva**

Se define como la corriente de falla máxima que el interruptor puede eliminar sin ser dañado. Está en función de la impedancia y capacidad del transformador, de la distancia de éste y el punto donde se localice el interruptor, del calibre de los conductores y de la contribución de los motores, ya que actúan como generadores en los primeros ciclos de falla. En otras palabras, podemos decir que la capacidad interruptiva debe ser igual o mayor a la corriente de corto circuito calculada.

#### **4. - Frecuencia**

Los interruptores se aplican en frecuencias de 50/60 y 120 hz. sin necesidad de reducir su capacidad o bien de calibrarlos especialmente.

Para frecuencias mayores, hasta 400Hz. (comúnmente utilizados en sistemas de computación), se reduce tanto la ampacidad como la capacidad interruptiva debido al incremento de resistencia resultante por calentamientos producidos por el efecto de las corrientes de Hedy y las pérdidas en el hierro. Para este caso será necesario realizar una calibración especial o reducir la capacidad del interruptor.

#### **5. - No. De fases (polos)**

Son las fases activas del sistema, y sirven de base para determinar el número de polos del interruptor, siendo los más comunes de 1,2 ó 3 polos.

#### **6. - Condiciones de operación**

##### **a. Temperatura Ambiente Alta**

Debido a que los interruptores termomagnéticos son sensibles a la temperatura ambiente se calibran a 40°C, por lo que la presencia de temperaturas mayores originará que el interruptor conduzca una corriente menor a la de su capacidad nominal. De igual manera, la capacidad de un conductor está basada en la temperatura ambiente de 30°C (temperatura ambiente del aire) por lo que en ambientes más altos se reducirá su capacidad. Como se observa de la información anterior, la reducción de la capacidad del interruptor y del conductor son similares, por lo que para estos casos se obtiene protección más adecuada utilizando interruptores de ambiente no compensado. Es importante considerar que de presentarse altas temperaturas, el dispositivo de sobrecorriente deberá seleccionarse de mayor capacidad y aplicar a los conductores el factor de corrección.

##### **b. Corrosión, Humedad**

Se recomienda aplicar un tratamiento especial a los interruptores que estén en contacto con ambientes húmedos o corrosivos.

##### **c. Altitud**

Quando se instalan los interruptores a 6000 pies (1830 m) es necesario considerar una reducción en las capacidades interruptivas y conductivas del interruptor. Esto es debido a que baja la densidad del aire, no permite disipar el calor existente en las partes conductoras, también disminuye la capacidad dieléctrica y no soporta los mismos niveles de voltaje como ocurre bajo presión atmosférica normal.

##### **d. Posición De Montaje**

Los interruptores tienen la posibilidad de montaje vertical u horizontal sin que se afecten sus características de disparo o su capacidad interruptiva.

**e. Servicio Interior ó Exterior**

Se debe tener en cuenta el lugar de instalación a fin de seleccionar el gabinete correcto, siendo los más comunes:

**NEMA 1. Servicio Interior (Usos generales)**

**NEMA 12. Servicio Interior (A prueba de polvo)**

**NEMA 3R. Servicio Exterior (Intemperie)**

**7. - Sistemas coordinados de protección.**

Cuando en un sistema se cuenta con diversos sistemas de protección es conveniente contar con las curvas características de los interruptores a fin de evitar disparos no deseados y obtener una adecuada coordinación. Estas curvas representan los límites de disparo de sobrecorriente a una temperatura ambiente determinada (Normalmente a 40 °C).

**8. - Accesorios**

Se aplican cuando se desea contar con medios de control, señalización alarma y protección por bajo voltaje; se instalan en el interior de los interruptores.

**9. - Dimensiones**

Son indispensables cuando se desea montar los interruptores en gabinete, tableros o maquinaria en general.

Una sección específica de dimensiones se inicia en la página con lo cual el fabricante de equipo original o tablerista podrá seleccionar el equipo que mejor cubra sus requerimientos.

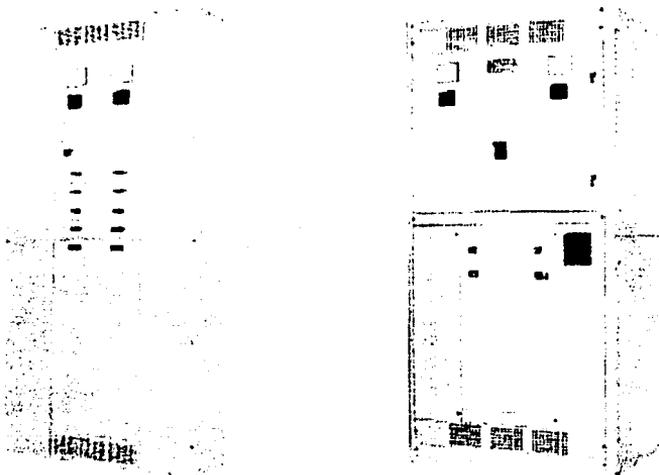
## 2.7 SELECCIÓN DE TABLEROS

### Elementos de tableros eléctricos

Este término se aplica desde los tableros llamados de pared como a los tableros de piso y ambos sirven para la misma función. Estos equipos tienen la función de recibir la energía eléctrica en forma concentrada y distribuirla mediante conductores eléctricos, (por lo general en forma de barras) a las cargas de los circuitos derivados.

Los circuitos derivados son protegidos para sobrecorrientes y corto circuito mediante interruptores termomagnéticos montados en los tableros algunas veces junto con los instrumentos de medición, tales como voltímetros, amperímetros, medidores de demanda, etc.

La diferencia entre los tableros de pared y de piso difieren únicamente en su accesibilidad, los tableros de pared están diseñado para ser montado en pared o columna de madera que son accesibles por el frente únicamente, los tableros de piso están diseñados para ser instalados para montarse retirados de las paredes de manera tal que son accesibles por el frente o por la parte trasera, necesitan entonces espacio libre para circulación, sujeción al piso y eventualmente bases de montaje especiales.



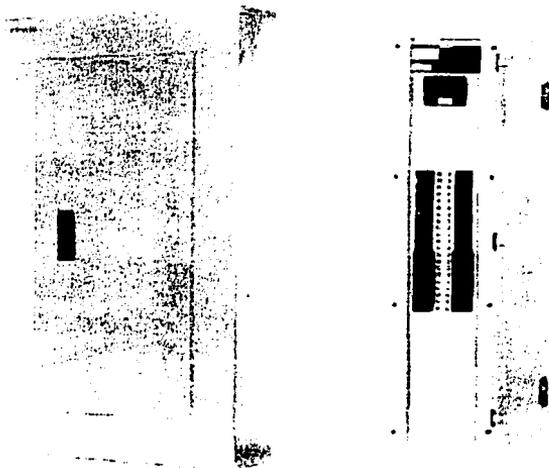


Figura 2.12 Tableros do piso y pared

#### Tableros de maniobra, control y distribución.

Por razones de operación y mantenimiento se impone la necesidad de que cada usuario o grupo de usuarios o simplemente parte de una instalación eléctrica sea seccionable del conjunto del sistema eléctrico. El conjunto de los órganos o elementos que cumplen con estas funciones son los aparatos eléctricos y debido a que estos aparatos tienen siempre partes en tensión, se deben instalar en condiciones tales que impidan los contactos accidentales de las personas.

El sistema más empleado para cerrar los aparatos eléctricos en el campo de la baja tensión y de la media tensión, es el de montarlos dentro de tableros cerrados realizados con perfiles y láminas metálicas.

La técnica de realización de los tableros eléctricos ha evolucionado notablemente en los últimos tiempos y se han desarrollado categorías de tableros eléctricos con características bien precisas de las cuales las más importantes son:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CONSTRUCCIONES MODULARES.**

Con dimensiones normalizadas.

Los aparatos por usuario o por circuito se instalan de maneta tal que quedan independientes.

Las barras se protegen de manera tal que no sean accesibles. Se procura en la media tensión el uso de interruptores del tipo móvil (extraíbles)

Estos tableros se encuentran disponibles para cubrir las exigencias de una distribución normal de las instalaciones y de la protección, así como el control de motores (Centro de Control de Motores) para la distribución de la potencia en baja tensión (Centros de Potencia) para la distribución en media tensión (Metal Clad).

### **TABLEROS DE CONTROL DE POTENCIA (TABLEROS DE POTENCIA)**

Los tableros de Control de potencia reciben la potencia en baja tensión del transformador o de los transformadores y la distribuyen a distintos alimentadores o bien a centros de control de motores.

El correcto y eficiente funcionamiento es fundamentalmente para la continuidad del servicio, sus características constructivas principalmente de estos tableros son su concentración constructiva que es análoga a la de los centros de control de motores.

Con este tipo de tableros, por lo general se instalan interruptores de tipo termomagnético con control manual o eléctrico. La corriente nominal en las barras de estos tableros varía de 600 a 4000 A y el valor de la corriente de corto circuito varía de 15 a 100 KA, en algunos gabinetes de pueden tener instrumentos de medición como amperímetros, voltímetros, contadores de energía, etc.

### **TABLEROS METAL CLAD**

También para los aparatos en media tensión se ha generalizado la practica de montar los aparatos dentro de tableros, esta practica es extensiva a las llamadas "subestaciones unitarias", en donde se forma "un paquete de tableros en los cuales se encuentran también los transformadores, es decir, se contiene en esta subestación los tableros de alta tensión y baja tensión.

Los tableros Metal Clad se construyen en forma análoga a los tableros de potencia, es decir por medio de gabinetes o paneles en donde se contiene un aparato. Se emplean interruptores termomagnéticos, electromagnéticos, en pequeño volumen de aceite o en vacío.

TRABAJOS CON  
FALLA DE ORIGEN

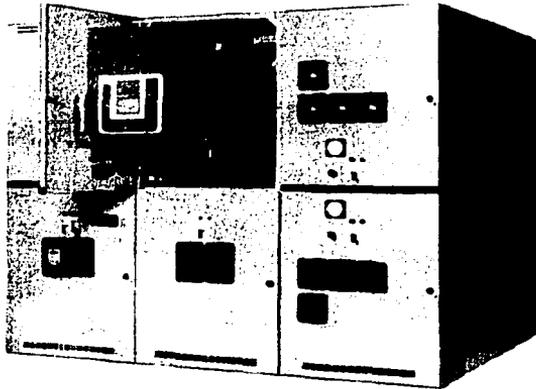


Figura 2-13 Tablero Metal Clad

## DESCRIPCIÓN Y ÁREAS DE APLICACIÓN

Las celdas para módulos extraíbles con interruptores de potencia son apropiadas para:

- Tensiones nominales desde 7.2 KV hasta 24 KV.
- Intensidades nominales de capacidad interruptiva a la desconexión de hasta 40 KA.
- Intensidades nominales de las derivaciones y de las barras colectoras de hasta 3000 A.
- Las instalaciones de maniobra se utilizan en los siguientes campos:
  - Centrales eléctricas, estaciones de transformación y centros de carga de las empresas.
  - De suministro de energía.
  - Industria de cemento.
  - Altos hornos.
  - Laminadoras.
  - Industria de fibras.
  - Industria alimenticia.

- |                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| - Industria química.           | Alimentaciones           |
| - Industria de aceite mineral. | - Ferroviarias           |
| Instalaciones de:              | - Construcción de buques |
| - Oleoducto y gaseoducto       | - Centrales de diesel    |
| - Electroquímica               | - Plantas de emergencia  |
| - Petroquímica                 |                          |

### **CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS**

- Celda con equipo de maniobra en unidad extraíble
- Puerta de alta tensión y unidad extraíble hacen parte del sistema global de enclavamiento, garantizando la seguridad de los operadores e impidiendo maniobras erróneas.
- Facilidad de sustitución de la unidad extraíble, por medio de carro de maniobra.
- Previsto de divisiones y mamparas metálicas que impiden contacto involuntario con las partes bajo tensión.
- Cuenta con caja de baja tensión, la cual es 100% removible; donde se aloja todo el control de la celda.

### **Procedimiento preliminar para el diseño y localización de tableros de pared**

Se debe determinar la localización de los tableros de pared necesarios para las cargas eléctricas de la instalación, esta decisión, requiere cooperación con los arquitectos e ingenieros mecánicos a fin de determinar el lugar más conveniente de todo el equipo eléctrico, incluyendo esto a los tableros de pared, esto requiere por lo general de análisis que conduzca a soluciones que satisfagan los compromisos eléctricos, mecánicos y arquitectónicos.

### **Localización de tableros de pared**

Los factores que intervienen principalmente en la localización de los tableros de pared son:

1. Se debe procurar una localización central para reducir la caída de voltaje en los circuitos derivados.
2. La distancia al tablero principal para limitar la caída de voltaje total a un máximo de 4% desde el tablero principal hasta los puntos de utilización de los circuitos derivados.
3. En la práctica, tanto por corriente como por caída de voltaje, los tamaños de conductores se limitan a 500 MCM
4. Los tableros de pared están limitados a 42 dispositivos de sobrecorriente.
5. Otro factor que afecta a la localización de los tableros, es el cumplimiento de los requerimientos de las compañías suministradoras de energía eléctrica (La comisión federal de Electricidad en México). Ver los requerimientos e el anexo B.

### **Factores en la localización de tableros de pared y de piso.**

La localización de tableros de pared en un proyecto depende de muchos factores, ya que en general cada proyecto es diferente de otro y requiere por lo tanto de un tratamiento individual, esto hace que frecuentemente se presenten distintas alternativas de solución.

### **Localización de tableros de pared y tableros de piso.**

Los tableros de pared como su nombre lo indica, se montan por lo general en paredes y 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, particiones, columnas, etc.

Si las condiciones de la instalación requieren de un tablero de mayores dimensiones, este 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". La distinción en el tamaño o capacidad de los servicios para las instalaciones eléctricas no está claramente definida, de manera que pueden existir traslapos, pero el principio de clasificarlas

como se ha indicado es adaptable a la mayoría de los servicios, sea del tipo residencial, industrial o comercial.

Un servicio pequeño (hasta 200 A) es común en grandes casas habitación o pequeños comercios, en tanto que un servicio mediano, es común en comercios más o menos grandes o en instalaciones industriales pequeñas en donde por lo general la corriente de cortocircuito es pequeña y el tablero principal resulta simple.

#### **Localización de los tableros principales de gran tamaño.**

Los tableros principales de gran tamaño se suponen arbitrariamente que están entre 800 y 4000 A, difieren principalmente de los de pequeño tamaño en que requieren un mayor análisis en cuanto al estudio de corto circuito se refiere, por lo general se requiere de un lugar independiente dentro del esquema de la instalación eléctrica y un montaje y base especiales, ya que en el caso de las instalaciones comerciales e industriales, para tableros de piso.

En este tipo de tableros es común encontrar los instrumentos de medición en ciertas secciones ya que en particular, en el campo de las mediciones eléctricas industriales se tienen aplicaciones en donde es necesario efectuar mediciones para controlar el funcionamiento y las condiciones de operación de las instalaciones, desde el punto de vista no solo técnico, también de la energía consumida.

Los instrumentos eléctricos son muy variados, su aplicación en cuanto al tamaño y características de las instalaciones es prácticamente la misma.

En la realización de las mediciones del tipo industrial es muy importante el uso de los llamados transformadores de instrumento, también conocidos como transformadores reductores y que se clasifican como:

- Transformadores de potencial (TP)
- Transformadores de corriente (TC).

Estos transformadores de instrumento se emplean cuando los voltajes o las corrientes de los circuitos por medir, son muy elevadas o bien por que no sea seguro o cómodo conectar directamente al circuito los instrumentos de medición.

#### **Transformadores de corriente.**

En el campo de las bajas tensiones o de los voltajes usados normalmente en las instalaciones industriales se emplean los transformadores de corriente principalmente, estos transformadores están provistos de un circuito primario por en que circula la corriente que va a ser medida y un circuito secundario por el que circula una corriente que a una relación de transformador bien precisa, representa la corriente del primario.

Normalmente las corrientes secundarias son de 5 A y de 1 A, a los cuales corresponden las corrientes primarias, por grande que sea su valor, la escala del amperímetro proporciona la indicación de la corriente del primario a la relación apropiada.

### **Transformadores de potencial.**

El uso de los transformadores de potencial resulta indispensable en el campo de la media y de la alta tensión, con el empleo de estos transformadores, además de obtener seguridad para el personal mediante el aislamiento de las partes en alta tensión, se reduce el valor de las tensiones a tierra.

Para la media tensión los transformadores de instrumento se encuentran normalmente aislados con resinas sólidas, aunque también en este campo, como en el de la alta tensión, se usan transformadores con medio de enfriamiento aceite.

### **FACTORES ELÉCTRICOS EN EL DISEÑO DE LOS TABLEROS DE PARED Y DE PISO.**

En una instalación típica de tableros se requiere:

1. Determinar el número de circuitos derivados.
2. Localizar el lugar más conveniente para los tableros.
3. Localizar el lugar más conveniente 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 contra sobrecorriente se basan en un mínimo del 125% de la corriente total de plena carga del tablero, para esto es necesario hacer uso de las tablas de consumo estimados para cierto tipo de locales y cargas.

Para todos los circuitos de motores, los conductores se calculan de la misma forma que para el alumbrado, se considera el 125% de la corriente a plena carga para cada motor individual cuando se trata de más de un motor, el 125% se aplica al motor de mayor capacidad y se le suma la corriente a plena carga del resto de los motores. Por lo tanto el conductor del alimentador de los motores se calcula como:

$$I_{\text{total plena carga}} = 1.25 I_{\text{plena carga motor mayor}} + \text{suma } (I_{\text{plena carga}} - \text{otros motores})$$

Para la protección del alimentador, la ecuación anterior se modifica sustituyendo el factor 1.25 para el motor mayor.

Cuando un motor 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 del mismo.

Los factores de demanda se pueden usar de acuerdo a los valores listados en las normas técnicas para instalaciones eléctricas, si se incluye algún factor de demanda especialmente indicado para los motores, este se usa específicamente para el cálculo de los mismos, previniendo expansiones futuras en las instalaciones se debe dimensionar sobre esta base el tablero.

De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, el número máximo permisible de dispositivos de protección contra sobrecorriente en una tablero está limitado a 42. Cuando se requieren más dispositivos se deben instalar tableros adicionales, estos se pueden localizar adyacentes y se puede usar el mismo alimentador.

Para circuitos derivados de tableros de motores, tales como los que alimentan a los centros de control de motores, y para tableros que alimentan cargas combinadas de alumbrado y motores la capacidad del alimentador y la protección del mismo se calcula en forma similar a la descrita anteriormente para motores, solo se cambia el factor de protección del 125%.

#### **CIRCUITOS PARA TRANSFORMADORES**

Para ciertas aplicaciones en instalaciones comerciales e industriales, del tablero principal se tienen alimentadores o circuitos derivados que alimentan transformadores de capacidad relativamente pequeñas para alimentar cargas de alumbrado o cargas particulares estos transformadores frecuentemente tienen derivaciones (Taps) para compensar el efecto de las caídas de voltaje. Por lo general el tipo de enfriamiento es aire, es decir son transformadores del tipo seco. En este caso como en el de otros tipos de cargas, se requiere calcularla capacidad del alimentador y la de los elementos de protección.

#### **DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS**

Las normas técnicas para instalaciones eléctricas en su sección 405 establecen las siguientes disposiciones reglamentarias:

Aplicación.

Los requisitos de esta sección se aplican a los tableros integrales de piso y de pares usados para la distribución de circuitos de alumbrado y fuerza en instalaciones de utilización, así como los tableros de control de motores.

### **Arreglo de las barras colectoras y otros conductores.**

- a) Las barras colectoras y otros conductores de los tableros de piso y de pared, deben estar localizadas de manera que no estén expuestos a daño mecánico y fijados firmemente en su lugar.
- b) La disposición de las barras y otros conductores deben ser tal que evite el sobrecalentamiento debido a efectos inductivos.
- c) Las terminales para la conexión de los conductores de la carga deben colocarse, preferentemente, de manera que no sea necesario parar con dichos conductores a través o por detrás de las barras colectoras.
- d) Se recomienda que la secuencia de fases en las barras colectoras sea A, B, C desde el frente hacia atrás del tablero o de izquierda a derecha viendo el tablero de frente, según sea la colocación de las mismas barras.

### **Gabinetes**

Los gabinetes de los tableros de piso y de pared deben fabricarse de materiales resistentes a la corrosión y no combustible.

### **Tableros de Piso**

Tableros de piso con partes vivas descubiertas.

Los tableros de piso que tengan alguna parte viva descubierta deben estar ubicados en locales permanentes secos y ser accesibles sólo a personas idóneas.

### **En Lugares Mojados**

Los tableros de piso que se instalen en locales mojados o a la intemperie deben ser "a prueba de intemperie" o bien estar ubicados de manera que se evite la entrada de humedad o agua al interior de sus gabinetes.

### **Ubicación con respecto al material fácilmente inflamable**

Los tableros de piso deben colocarse de manera que se reduzca al mínimo la posibilidad de comunicar el fuego a materiales inflamables.

### **Separación entre el tablero y el techo**

Los tableros de piso que se instalen en locales con techos o plafones de materiales combustibles deben estar separados un metro, como mínimo, de tales techos o plafones, a menos que se coloque una barrera de material incombustible entre estos y los propios tableros, o que se trate de tableros totalmente cerrados, en cuyo caso la distancia puede ser menor.

### **Espacio libre alrededor de los tableros**

Debe dejarse espacio libre alrededor de los tableros de piso, para fines de operación y mantenimiento.

### **Protección de los circuitos para instrumento**

Los instrumentos, lámparas indicadoras, transformadores de potencial y otros equipos con bobinas de potencial, deben alimentarse con circuito que estén protegidos por dispositivos de sobrecorriente no mayores a 15 A, excepto cuando la operación de estos dispositivos de sobrecorriente implique algún peligro en la operación de dichos equipos.

### **Conexión a tierra de los tableros de piso**

Los gabinetes de los tableros de piso deben conectarse a tierra.

### **Conexión a tierra de instrumentos, relevadores y transformadores para instrumentos en los tableros de piso**

Los instrumentos, relevadores y transformadores para instrumentos, instalados en los tableros de piso, deben conectarse a tierra.

## **TABLEROS DE PARED**

### **Número de dispositivos de sobrecorriente en un tablero de pared**

Un tablero de pared para circuitos derivados de alumbrado y aparatos debe proveerse de medios físicos para impedir la instalación de un número mayor de dispositivos de sobrecorriente que el número para el cual fue diseñado y aprobado el tablero.

Estos tableros no deben contener más de 42 dispositivos de sobrecorriente para circuitos derivados de alumbrado y aparatos, además del dispositivo de protección general.

Para efectos de este artículo, un interruptor automático de dos polos se considerará como dos dispositivos de sobrecorriente y uno de tres polos como de tres dispositivos de sobrecorriente.

### **En lugares húmedos o mojados**

Los tableros de pared que se instalen en lugares húmedos o mojados deben estar provistos de gabinetes adecuados para las condiciones existentes en cada caso, o bien estar ubicados de manera que se evite la entrada de humedad o agua a su interior.

### **Frente muerto**

Los gabinetes de los tableros de pared deben ser de frente muerto, salvo el caso en que sean accesibles sólo a personas idóneas.

### **Conexión a tierra de los tableros de pared**

Los gabinetes de los tableros de pared deben conectarse a tierra.

## **2.8 CENTRO DE CONTROL DE MOTORES.**

El desarrollo de los Centros de Control de Motores se encuentra ligado a la evolución de los interruptores termomagnéticos en caja moldeada. Así es como con la aparición de los Interruptores termomagnéticos, surge la aplicación de Arrancadores combinados en sustitución del arreglo tradicional del Interruptor de navajas o de seguridad y Arrancador Magnético, como unidades separadas. El uso de estas combinaciones de interruptor Termomagnético - Arrancador fue alcanzando cada vez más auge, debido a su facilidad de instalación y bajo costo.

Al mismo tiempo fue haciéndose notable la tendencia, sobre todo en las instalaciones eléctricas de cierta importancia, a localizar los controles de motores agrupadas en áreas remotas, en lugar de instalarlos individualmente cerca de cada motor.

Esto a su vez, llevó a la práctica de montar estos grupos de controles y combinaciones en estructuras, quedando cada control con su propia línea de alimentación y salida.

Poco a poco la idea de agrupar estas mismas combinaciones en gabinetes comunes, con barras principales a las cuales se conectaba la entrada de energía y se distribuía a cada combinación. Este arreglo es al que inicialmente se le dio el nombre de Centro de Control.

A partir de entonces se fueron introduciendo mejoras en el diseño original, a fin de hacerlo cada vez más funcional y con mayor seguridad para el operador, hasta llegar al diseño actual. Dentro de las características más notables que fueron aumentadas a través del tiempo están:

### Construcción de unidades o combinaciones removibles.

- Ductos de alambrado.
- Aislamiento completo entre unidades
- Construcción de estructuras estándar.

La definición que da NEMA para un centro de control, es la de un ensamble autosoportado de frente muerto, con uno o más gabinetes verticales agrupados para el control de motores y distribución de la energía.

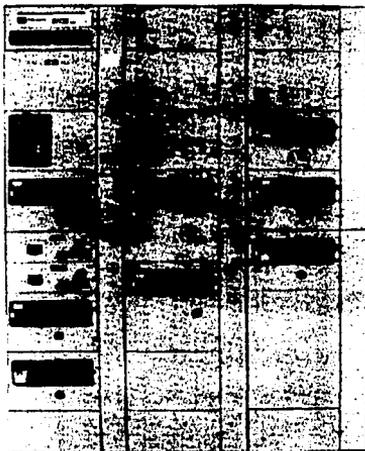


Figura 2 14 Centro de control de motores.

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

### **Diseño y características generales.**

Los centros de control de Motores son autoportados mediante estructuras de perfiles doblados de acero rolado en frío calibre 12 lo que proporciona mecánica y están diseñados para servicio interior y servicio intemperie.



Figura 2.15 Estructura de un Centro de control de motores.

### **Dimensiones**

Los tableros cuenta con una altura de 2.28 metros y un espacio disponible para unidades de 1.80 metros, con un fondo de 51 cm lo que da la posibilidad de montaje de uno o dos frentes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

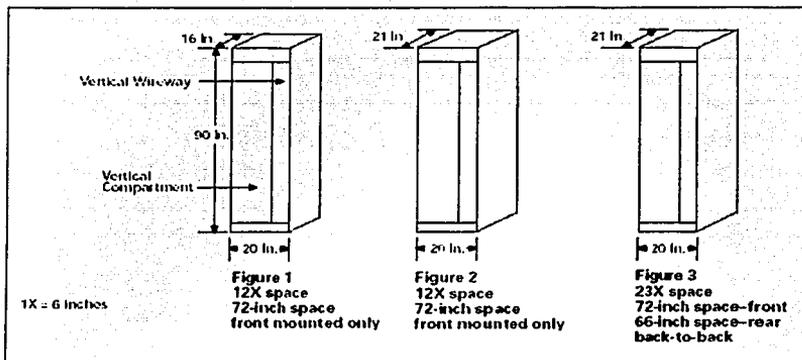


Figura 2.16 Estructura y dimensiones de sección de CCM

Hay estructuras disponibles de 38 cm de profundidad para un solo frente. No obstante presentan varias limitaciones, como la de no poder incluir arrancadores a voltaje reducido tipo autotransformador o interruptores generales de 800 A, o mayores. Las secciones se ofrecen con ducto de alambrado individual en el lado derecho con diferentes frentes dependiendo de la aplicación y tipo de equipo instalado 20", 24", 28" y 32".

### Ducto de alambrado

El ducto de alambrado aprovecha todo el largo del espacio, ofreciendo espacio adecuado para la interconexión a las unidades adyacentes. Este ducto tiene 12 cm de ancho, quedando disponibles 38 cm para el compartimiento de unidades e incluyen soportes para la sujeción de conductores.

El diseño permite aumentar secciones verticales a futuro, permitiendo una versatilidad ilimitada para incorporar unidades. Las cubiertas laterales y posteriores son removibles, lo que permite acceso al interior del Centro de Control.

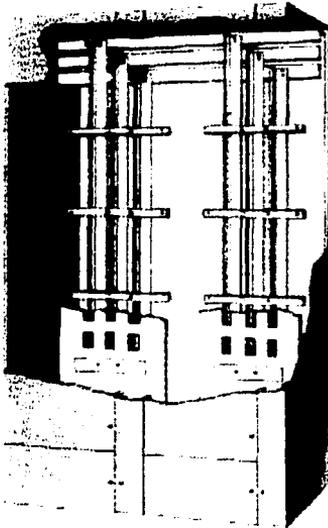
### Bus horizontal principal

Un bus trifásico montado horizontalmente, se encuentra en la parte superior y corre a lo largo de todas las estructuras, para distribuir la energía a cada compartimiento vertical. Están disponibles en las capacidades de 600, 800, 1200, 1600, 2000 y 2500 A.

## Buses verticales

Generalmente, cada sección debe incluir un bus trifásico vertical a fin de suministrar energía a cada unidad instalada en el centro de control. Su capacidad puede ser de 300, 600 y 1000 y 1200 A.

Tanto los buses horizontales como los verticales están fabricados de cobre electrolítico con lo que se obtiene una mejor conductividad. Además el bus vertical tiene acabado de estaño para facilitar la conexión a las unidades.



*MCC Bus Layout*

Figura 2.17 Vista de bus y soportería en Tablero CCM

## Soportería

Los soportes son de resina poliéster y fibra de vidrio. Su finalidad es la de restringir el movimiento de los buses como resultado de la interacción de sus campos magnéticos al ocurrir una falla de cortocircuito.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El ensamble de los buses está diseñado para resistir fallas de 25, 000 amperes simétricos. Sin embargo, se tienen diseños para fallas de 42,000 y 65,000 amperes simétricos.

#### **Barreras de bus horizontal**

Son barreras metálicas cuya función es aislar cada compartimiento vertical y ducto de alambrado de los buses principales.

#### **Barreras de bus vertical**

Estas son de glass - polyester. Las barreras, tanto horizontal como vertical, sirven para evitar contacto accidental con buses energizados por parte del personal.

#### **Ductos de alambrado horizontal**

Se ubican tanto en la parte superior como inferior de la estructura, con un espacio de 23 cm. son de ducto adecuado para el alambrado entre secciones.

#### **Entrada de cables**

Los cables de alimentación pueden entrar por la parte de arriba o de abajo del centro de control. Llegan a zapatas conectadas al bus o al interruptor general. En este punto se aprecian varios tipos de acometida.

#### **Espacios para recibir tubos conduit**

El diseño de la estructura con amazón abierto, da máximo espacio para la entrada de tubos conduit en la parte superior o inferior de la estructura.

#### **Puertas removibles**

Todas las puertas cuentan con un doblez en los extremos para dar mayor rigidez. Las bisagras son removibles, con lo cual se quitan fácilmente las puertas; éstas quedan aseguradas con tornillos cautivos de 1/4 de vuelta para un rápido acceso.

Cuenta con bocados que permiten la proyección de la manija de operación del interruptor y del panel de control.

#### **Unidades fijas o removibles**

Las conexiones entre el bus vertical y cada combinación pueden ser fijas o removibles.

El medio más usual es con conexiones removibles, lo que permite insertar o retirar una unidad, mientras el Centro de Control está energizado. Para esto las unidades serán removibles hasta tamaño 4 e interruptores hasta 225 amperes máximo.

Para arrancadores tamaño 5 en adelante e interruptores de 250 amperes y mayores, la conexión es fija. Las unidades pueden contener en su interior combinaciones de interruptor-arrancador o interruptores individuales.

Cada combinación de arranque de motor deberá contener un dispositivo para desconexión del circuito, mismo que ofrezca adicionalmente protección confiable contra sobrecorriente. Esto se puede obtener por medio de interruptores termomagnéticos o protector de motor. Además, deberá incluir la protección contra sobrecargas, las cuales pueden originarse por las siguientes causas.

1. Sobrecarga sostenida: causadas por una carga mecánica anormal en la flecha del motor.
2. Sobrecargas sostenida: causadas por un bajo voltaje en la línea
3. Ciclos demasiado rápidos de trabajo en las máquinas intermitentes, así como arranques y paros demasiado frecuentes.
4. Excesiva carga mecánica, lo cual causará que el motor se atasque o falle al arrancar, tomando una corriente muy elevada durante el periodo de arranque.
5. Motor trifásico operando monofásicamente, evitando su arranque o causando excesiva corriente de marcha.
6. Finalmente, y aunque no sea una sobrecarga estrictamente hablando, una excesiva temperatura ambiente en el motor, tiene el efecto de una carga sostenida.

Por otra parte, la restauración manual de relevador de sobrecarga se logra por medio de un botón de restablecimiento montado en la puerta.

### **Mecanismo de operación**

Se logra a través de una manija operada externamente. Indica las posiciones de abierto, cerrado o disparado y tiene inscrita la capacidad nominal en amperes del interruptor.

La puerta del gabinete cuenta en la parte posterior con un soporte soldado, el cual impide mecánicamente que ésta se pueda abrir cuando el interruptor se encuentra en la posición cerrado o disparado. Este seguro puede liberarse por personal autorizado, mediante el giro de un tornillo. Igualmente, el bloque se puede liberar llevando la manija a la posición de abierto.

Por otra parte, se cuenta con la posibilidad de instalar candados, a fin de asegurar al interruptor en la posición de abierto.

## **Dispositivos de control**

Paneles completos conteniendo botones, lámparas e interruptores selectores, forman parte de la unidad de control. De fácil instalación ya sea en planta o en campo. Es removible mediante el giro de un tornillo para tener mayor espacio en el interior de la unidad.

## **Protección de los circuitos de control**

Se emplea transformador de control cuando se desea que dispositivos tales como bobinas, lámparas o botones, operen a voltajes que no representen peligro al operador o personal de mantenimiento. Así por ejemplo, el circuito de fuerza puede trabajar en 480 Volts y el control en 120 Volts.

El primario del transformador será conectado del lado de carga del interruptor y se protegerá con fusibles.

El secundario tendrá protección en el lado de tierra. Cuando no se use transformador de control, el circuito será protegido por dispositivos de sobrecorriente en cada hilo.

En caso de contar con un transformador maestro que alimente a más de una combinación se deberá contar con un medio de desconexión y protección en el primario.

## **Tablillas terminales de control**

Estas tablillas se encuentran en la parte izquierda de la unidad, consistentes en blocks de terminales enchufables que facilitan la instalación y el mantenimiento.

## **Clase y tipo de alambrado**

Las combinaciones interruptor – arrancador se clasifican de acuerdo a su alambrado en:

CLASE I, CLASE II. Este a su vez se subdividen en tipos A, B, C. (Definen la cantidad de alambrado que se suministra en cada caso). Este es de calibre 14 THW, 90 °C.

CLASE I. No existen las conexiones o enlaces eléctricos entre unidades o entre unidades y dispositivos de control montados a remoto.

CLASE II. Son básicamente los mismos de la clase I, excepto que son diseñados para formar un sistema completo de control con enlaces eléctricos y alambrado entre unidades.

## **Tipos de alambrado**

**Tipo A.** No hay terminales en la unidad. Tal es el caso de interruptores principales o derivados. En el caso de motores, el usuario introduce el alambrado de cada motor hasta las terminales propias del arrancador.

**Tipo B.** En este tipo, todos los cables de control terminan en tabillas terminales localizadas en la parte inferior de la unidad removible (con el fin de facilitar el alambrado al exterior).

**Tipo C.** Aquí las conexiones de todo el alambrado de control y de fuerza (éstas últimas hasta tamaño 3 únicamente) son llevadas desde las terminales de la unidad removible hasta las tabillas terminales localizadas en la parte de arriba o de bajo de cada compartimiento vertical.

## **Descripción de las combinaciones**

En la puesta en tensión de un motor, éste absorbe una gran intensidad de la red y puede, sobre todo si la sección de la línea de alimentación es insuficiente, provocar una caída de tensión susceptible de afectar el funcionamiento de los receptores.

A veces esta caída de tensión es tal que es perceptible sobre los aparatos de alumbrado.

Para remediar estos inconvenientes, algunos sectores prohíben por encima de una cierta potencia, la utilización de motores de inducción con arranque directo; otros imponen en función de la potencia de los motores la relación entre la intensidad de arranque y la intensidad nominal.

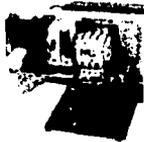


Figura 2.19 Unidad removible de CCM con combinación interruptor- arrancador

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El motor jaula de ardilla es el único que puede ser acoplado directamente a la red con un equipamiento sencillo. Sólo los extremos de los devanados del estator tienen salida sobre la placa de bornes.

Las características del rotor han sido determinadas para siempre por el constructor, los diversos procedimientos de arranque permiten hacer variar únicamente la tensión en las bornes del estator.

En este tipo de motor la reducción de la punta de intensidad está acompañada de una fuerte reducción del par.

### **Arrancador a tensión plena**

Arranque directo:

Es un sistema de arranque obtenido en un solo tiempo; el estator del motor arranca con sus características naturales con una fuerte punta de intensidad. Este procedimiento es ideal si es tolerable la punta de intensidad y si el par de arranque del motor ( fijado por el tipo de construcción de su rotor y cerca de 1,5 Cn) es el conveniente para la puesta en marcha de la máquina.

<b>Corriente inicial de arranque:</b>	4 a 8 In
<b>Par inicial de arranque:</b>	0.6 a 1.5 Cn
<b>Duración media del arranque:</b>	2 a 3 segundos.
<b>Aplicaciones típicas:</b>	Pequeñas máquinas arrancando a plena carga.
<b>Ventajas:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Arrancador simple</li><li>- Par de arranque importante</li></ul>
<b>Inconveniente:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Punta de intensidad muy importante</li><li>- <b><i>Asegurarse que la red admite esta punta.</i></b></li></ul>

La punta de intensidad, en la puesta en tensión es muy elevada, del orden de 4 a 8 veces la intensidad nominal. El par durante el arranque es siempre superior al par nominal, sobre todo para los motores modernos de jaula. Es máximo cuando el motor alcanza el 80% de su velocidad; en este momento, la punta de intensidad está considerablemente amortiguada.

Este dispositivo permite arrancar las máquinas incluso en plena carga, si la red admite la punta de corriente en el momento del arranque. Es pues indicada para las máquinas de pequeña y mediana potencia. Sin embargo, el par en el momento de la puesta en tensión es cerca de 1.5 Cn, este procedimiento no está recomendado si el arranque debe hacerse lento y progresivamente (determinados montacargas, cintas transportadoras, etc.)

### **Arrancador a tensión reducida tipo autotransformador**

El motor es alimentado en tensión reducida mediante un autotransformador, el cual se pone fuera de servicio cuando el arranque se termina.

#### **El arranque se efectúa en tres tiempos:**

- 1er tiempo: Puesta en "estrella" del autotransformador, después del cierre del contactor de línea. El motor arranca ahora en tensión reducida.
- 2º tiempo: apertura del punto neutro. Una fracción del devanado del autotransformador, insertado en serie con cada fase del estator, se comporta como una inductancia.
- 3er tiempo: Un tercer contacto acopla el motor a plena tensión de la red y provoca la apertura de los dos primeros contactores de arranque. Con este dispositivo el motor nunca está separado de la red de alimentación; la corriente no se interrumpe y los fenómenos transitorios son suprimidos.

Sin embargo, con el fin de evitar un ralentizamiento importante durante el segundo tiempo de arranque, la inductancia de los arrollamientos del auto-transformador debe ser pequeña y adaptada al motor.

Para obtener un valor conveniente de inductancia, es prácticamente necesario prever un auto-transformador. El segundo tiempo destinado principalmente a amortiguar las transiciones eléctricas, se suele elegir de una duración muy breve (tiempo de conmutación de un contactor). A lo largo del primer tiempo, el par se reduce proporcionalmente al cuadrado de la tensión y la corriente de la línea en una relación muy próxima, ligeramente más elevada que la corriente magnetizante del auto-transformador. (La corriente es reducida solamente en relación a la tensión pero ha sido tomada en cuenta desde el punto de vista de la utilización).

Esta forma de arranque es sobretodo utilizado para los motores de gran potencia. Con relación al arranque estatístico permite obtener un par más elevado con una punta de intensidad menor.

Por otra parte, varias tomas han sido previstas en el auto-transformador para ajustar la tensión de arranque en función de la máquina operada.

<b>Corriente inicial de arranque:</b>	1.7 a 4 In
<b>Par inicial de arranque:</b>	0.4 a 0.85 Cn
<b>Duración media del arranque:</b>	7 a 12 segundos.

**Aplicaciones típicas:** Máquinas de gran potencia o de fuerte inercia en los casos donde la reducción de la punta de intensidad es un criterio importante.

**Ventajas:**

- Buena relación par intensidad
- Posibilidad de regulación de los valores de arranque.
- No hay corte de la alimentación durante el arranque.

**Inconveniente:** - Necesita un auto – transformador costoso.

Ver en anexo B la tabla de selección del tamaño del módulo según el arrancador.

## **A) Forma de Planear un Centro de Control**

### **Primer paso**

Hacer una lista de datos generales

1. Tipo de Gabinete
2. Características de la fuente de energía
3. Tamaño de cables alimentadores, y cuantos por fase
4. Localización de la entrada de cables de alimentación.
5. Tipo de alambrado NEMA (A, B o C)
6. Construcción estándar o tipo de respaldo-contra-respaldo

## **B) Segundo paso**

Hacer lista del equipo específico

1. Tipo de unidades requeridas (reversibles, no reversibles, tableros de alumbrado, etc).
2. CP y capacidad de circuitos derivados.
3. Número de unidades requeridas
4. Características específicas en unidades. Aditamentos

## **C) Tercer paso**

Planeamiento de las unidades del centro de control

1. Determine la altura de la unidad.
2. Complemente el proyecto por medio de:
  - a. Máxima utilización de la altura disponible para las unidades de enchufar (Estilo A y B, 1.98 m (78"); estilo C, 1.68 m (66")).
  - b. Buscando el mejor agrupamiento de unidades en secuencia de acuerdo con los requerimientos del trabajo en particular.

## CAPITULO 3 OPERACION

### 3.1 REGLAMENTO DE OPERACIÓN

El reglamento de operación se puede dividir a grandes rasgos de la siguiente manera:

#### **Suministro de energía:**

Se refiere a la forma en como se suministrara la energía eléctrica por medio de la dependencia a la que le corresponda. Este suministro de energía deberá realizarse con eficiencia, seguridad y economía tanto en la transmisión y la recepción de está, durante, y la operación del sistema.

#### **Estadística de operación**

Consiste en obtener datos de forma sistemática y ordenada de parámetros, mediciones y eventos significativos ocurridos en los sistemas eléctricos. Esta información se puede obtener por medio de un **analizador de redes con interfase**, el cual controla a los equipos instalados en lugares estratégicos para obtener la mayor información posible durante la operación del sistema eléctrico.

Esté analizador debe ser capaz de monitorear el sistema a través de una red, para poder adquirir datos de forma remota, también procesar este tipo de datos y lograr destacar información importante, es decir datos que nos arrojen características importantes del sistema eléctrico como pueden ser influencias atmosféricas, inducción electromagnética, sobretensiones, caídas de voltaje significativas, transitorios en el sistema o cualquier adversidad que modifique al sistema eléctrico de sus condiciones normales.

Estas características las podremos definir con el análisis adecuado de los datos obtenidos por los equipos analizadores de redes, básicamente se debe tomar en cuenta el comportamiento típico de cada tipo de falla y sus características básicas que son relevantes cuando se presenta la falla y como consecuencia se afecte considerablemente al sistema eléctrico.

#### **Análisis de la operación**

Este proceso se dará después de obtener una base de datos estadísticos durante un periodo de tiempo establecido que nos permita determinar el comportamiento del sistema eléctrico. Analizando de manera sistemática la información recabada y las conclusiones de los análisis realizados así como las decisiones tomadas durante el periodo de análisis establecido, se logrará definir alternativas adecuadas para las posibles fallas que pueden presentarse en el sistema eléctrico que se vio afectado.

Logrando una respuesta más efectiva del sistema eléctrico ante las adversidades que se puedan presentarse en el futuro.

### **Maniobras de operación**

Es lo que realiza un operador directamente a un control, para accionar algún elemento que pueda cambiar el estado o funcionamiento de un sistema.

Es necesario que todo operador de estación deba conocer a fondo la operación del equipo a su cargo para evitar maniobras erróneas.

El operador de estación solo podrá ejecutar sin intervención del operador responsable las maniobras en equipo auxiliar o de menor importancia, siguiendo cada uno de los lineamientos del manual de operación de esa estación. Deberá informar al operador de la ejecución de éstas cuando lo solicite o se presente alguna anomalía durante su ejecución, también será responsable de ejecutar las maniobras en equipo principal, efectuándolas de manera estricta conforme al manual de operación correspondiente bajo la vigilancia y por orden del operador responsable.

El operador responsable dará las instrucciones en forma clara y precisa, mencionando al equipo por su nomenclatura y en un orden en el cual deben ser ejecutadas, tiene la obligación de comunicar brevemente al operador de estación el objeto de las maniobras a ejecutar.

Si por algún motivo se observan errores en la secuencia de ejecución de las maniobras dictadas por el operador será necesario hacer evidente la correcta secuencia de maniobras.

Si durante la ejecución de la maniobra se observa alguna condición anormal en el sistema se le debe comunicar al operador ejecutor, si esta inestabilidad se considera de peligro inmediato se deberá considerar el caso como una emergencia.

Una vez ejecutadas todas las maniobras el operador deberá anotar en la bitácora la hora y la secuencia de ejecución de cada una de las maniobras.

Al encontrarse una falla como consecuencia de las maniobras se tomara la nota de la hora y los dispositivos de protección que actuaron, repondrá las banderas indicadoras se avisara al personal correspondiente o se seguirá paso a paso los lineamientos que establezca el procedimiento correspondiente.

En general, la reconexión del equipo deberá hacerse con la autorización del responsable, cuando no se pueda establecer contacto de inmediato con el responsable la reconexión quedara a criterio del operador.

Las instrucciones especiales del operador que no figuren en los instructivos de operación deberán quedar expuestas en lugar visible de la estación y registradas en su bitácora.

## **Recepción de equipo para la operación**

**Designación del constructor:** Es aquella dependencia responsable de realizar los trabajos de modificación o sustitución de los equipos o instalaciones existentes, esto se podrá llevar a cabo por personas propias del constructor o personas contratadas de forma externa.

**Designación de los receptores:** Son aquellas personas o compañías que intervengan en la recepción, mantenimiento y operación de los equipos o instalaciones nuevas o modificadas.

La modificación o sustitución de los equipos e instalaciones existentes o nuevas, serán entregadas por el constructor para su operación siguiendo el siguiente procedimiento de entrega y recepción de nuevo equipo.

Para el caso de una obra nueva, las áreas de ingeniería y proyectos enviarán a las áreas respectivas los planos correspondientes del anteproyecto de las instalaciones nuevas o ampliaciones o modificaciones a las ya existentes, que constará de planta general, diagrama unifilar y diagrama esquemático de protección, con el propósito de verificar que satisfagan las necesidades operativas del proyecto.

Al iniciarse la obra, el área receptora de mantenimiento y operación entregará al departamento de control una relación de las siguientes actividades con sus correspondientes fechas:

- De terminación de la obra
- De iniciación de los trabajos de puesta en servicio
- De la primera energización o puesta en servicio
- De entrega al departamento de mantenimiento

Los receptores a cargo de la operación y mantenimiento, deberá haber recabado antes de la primera energización y/o puesta en servicio lo siguiente:

### **INFORMACIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN.**

Características de la maquinaria, curvas de la maquinaria, relación de ajustes de protecciones y dispositivo de control.

### **PLANOS Y DIAGRAMAS.**

Diagrama unifilar de maniobras, diagrama lógico de disparos, diagrama unifilar de protecciones.

## DATOS DE PLACA.

Un listado de los datos de placa de todos los equipos relacionados.

## INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN.

El acto de entrega deberá realizarse una vez que el constructor dé por terminados sus trabajos. El acto oficial de recepción se entenderá por realizado en el momento en que el área receptora de operación acepte en su estado final los trabajos, las instalaciones y los equipos.

Deberá existir una acta de entrega del área de operación al departamento de control y deberá contener:

- Pendientes: Relación de equipo pendiente de entrega, relación de equipo de protección que quedara fuera de operación.
- Instructivos: Instructivo de algún equipo especial que se requiera para su funcionamiento

A partir del momento de la recepción oficial, se considerará que la instalación o el equipo están listos para su operación. A partir de ese momento el departamento correspondiente queda facultado para operar el equipo bajo las mismas condiciones que cualquier otro equipo ya existente o en operación.

En el caso de que existiera fallas o anomalías en los equipos se deberá seguir el siguiente procedimiento:

El personal correspondiente dará aviso a los responsables del equipo como receptores de operación y este a su vez reportará de forma detallada las fallas o anomalías a la constructora quien llevará a cabo las reclamaciones correspondientes a las compañías proveedoras y estas realicen las reparaciones correspondientes según las condiciones pactadas.

### **3.2 DISPONIBILIDAD DE EQUIPO ELÉCTRICO**

Un equipo eléctrico se considera disponible de acuerdo a las siguientes definiciones:

**Equipo:** Es el conjunto de maquinas, aparatos, circuitos eléctricos, tuberías, medios de comunicación de cualquier instalación para su operación.

**Equipo Disponible:** Es el que no esta afectado por ninguna licencia y que puede ponerse en operación en cualquier momento que se requiera por las necesidades de la instalación o instalaciones donde será operado.

**Equipo vivo:** Es el que esta energizado.

**Equipo muerto:** Es el que no está energizado.

**Equipo librado:** es aquel en el que se ejerció la acción de librar.

### **3.3 LIBRAMIENTO DE EQUIPO ELÉCTRICO**

Es dejar sin potencial eléctrico los equipos para el personal, aislando completamente el resto del equipo mediante interruptores, cuchillas, fusibles y otros dispositivos, asegurándose además contra la posibilidad de que accidental o equivocadamente pueda quedar energizado.

Es necesario seguir los siguientes lineamientos para solicitar una libranza, licencia o permiso, de a cuerdo al: MANUAL DE OPERACION DE ENERGIA ELECTRICA establecido.

Cuando un usuario de servicio en media o alta tensión requiera realizar reparaciones, mantenimiento a sus instalaciones o cualquier actividad que implique suspender temporalmente la corriente deberá solicitar al suministrador la libranza respectiva con tres días de anticipación, a la fecha de inicio de los trabajos, debiendo firmar la petición tanto el solicitante como el responsable técnico.

El responsable técnico del solicitante de la libranza se encargará de verificar la ausencia de suministro y tomará las medidas de seguridad suficientes y necesarias para el personal y el equipo del solicitante que estará presente y laborando durante el periodo de la libranza.

### 3.4 LICENCIAS Y PERMISOS

Todos los trabajos de mantenimiento, modificaciones, ampliaciones y otras actividades necesarias para el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, deberán coordinarse a través de **Licencias y Permisos** a fin de tener siempre la posibilidad de adecuar en la mejor forma la disponibilidad de la energía, así como para no sobrecargar los circuitos de enlace o transformadores que se vean afectados al ser liberado el equipo en el cual se realizará algún tipo de trabajo.

Todo trabajo que se afecte las características normales de operación del sistema eléctrico, debe efectuarse previa a una tramitación de una licencia aun cuando el equipo este fuera de servicio, pues se considera que está **disponible** (Listo para entrar en servicio en cualquier momento).

Es necesario mencionar la importancia de tomar las mismas medidas indicadas anteriormente a los siguientes elementos:

Los equipos de protecciones, herramientas de operación, comunicaciones, instalaciones y equipo para la recepción y almacenamiento de combustibles.

Es importante tener en cuenta que las **Licencias** generalmente implican tener fuera del sistema eléctrico la parte del equipo que amparan y con esto producir condiciones anormales del sistema eléctrico por lo tanto debe de reducirse el numero y duración de las licencias y cuando exista una licencia para ser ejecutada no se inicien los procesos previos hasta que se tengan todos los elementos y requisitos necesarios para poder ejecutar las labores solicitadas. Con esto se logrará un gran ahorro en el deterioro de los componentes del sistema eléctrico.

Las licencias podrán ser solicitadas por:

- Oficio o memorando. Este método es el más adecuado para varias licencias relacionadas entre si o maniobras coordinadas con otras áreas, así como la programación de trabajos previos o relacionados.
- Verbalmente por medio de los canales de comunicación.

Si la licencia va a causar interrupción a los usuarios, la solicitud deberá hacerse con la suficiente anticipación al operador a fin de saber con seguridad si se puede conceder o no en los términos de la solicitud. En estos casos el aviso a los usuarios se hará con una anticipación de setenta y dos horas como mínimo, por parte del solicitante, una vez que se halla autorizado la licencia.

En el momento que se recibe la solicitud de la licencia, se debe proceder a su análisis para lograr fijar los detalles de las maniobras si es que son necesarias, las interrupciones de carga y de que forma distribuirla para no afectar al usuario, o la no interrupción del servicio pero considerar todas las circunstancias que influyan para la autorización.

Una vez estudiada la solicitud de la licencia, la decisión tendrá que ser tomada con la suficiente oportunidad a fin de que las personas responsables del mantenimiento del equipo, estén en posibilidades de ratificar la presencia del personal y materiales necesarios para la ejecución de los trabajos solicitados.

Para librar cualquier parte del equipo el operador ejecutara y/o dará las ordenes para la ejecución de las maniobras, citándolo por su nomenclatura. Si el operador de estación (OE) no esta enterado el responsable de la licencia tiene la obligación de indicarle brevemente el objeto de la licencia.

Una vez que el operador ha comprendido las maniobras, debe proceder a efectuarlas en la sucesión y sin omisión de ninguna. Solo en el caso de notar alguna anomalía durante la ejecución de las mismas deberá informar al operador responsable antes de ejecutar la consecutiva maniobra.

El operador debe estar totalmente seguro en la parte que le corresponde de que el equipo no tiene peligro de llegar a quedar excitado o energizado.

Las licencias y prorrogas serán concedidas únicamente por el personal debidamente autorizado correspondiente. Las prorrogas por mas de 48 horas deberán ratificarse por escrito e indicando la justificación de la misma.

Cuando existe una licencia en vivo se colocara una tarjeta auxiliar amarilla en el control del interruptor del circuito o la línea. Cuando se trate de circuitos con interruptor que tengan recierre se bloqueará el recierre y también se colocara tarjeta auxiliar amarilla. Cuando se trate de circuitos con relevadores de baja frecuencia, el bloqueo será al criterio del centro de operación correspondiente.

Si durante la ejecución de un trabajo en vivo se llegase a disparar el interruptor del circuito, el operador no debe cerrarlo hasta obtener comunicación con el responsable de la licencia, el cual deberá responder de forma inmediata al operador.

La licencia autoriza **exclusivamente** los trabajos especificados en la solicitud de la licencia en caso de ser necesarios otros trabajos será necesario solicitar otra licencia. En el que una parte del equipo este fuera de servicio por licencia **NO Autoriza** a otros trabajadores a trabajar en él, sin solicitar otra licencia.

Es importante mencionar que cuando no exista operador de estación (OE) el solicitante de la licencia desarrollará las funciones correspondientes del operador de estación.

El operador de estación tiene la obligación de verificar la posición y el estado **Aparente** del equipo una vez retirada la licencia, informando al operador.

Al término de una licencia el equipo será normalizado enseguida, poniéndolo en servicio en presencia del ejecutor del trabajo, o dejándolo en disponibilidad.

Los trabajadores que se involucren en trabajos programados en vivo o en muerto deberán permanecer en el sitio hasta que el equipo involucrado en la licencia quede nuevamente en servicio o en disponibilidad en forma satisfactoria.

El operador deberá dictar las maniobras de normalización en forma ordenada clara y precisa. En el caso de que no haya comunicación directa con el operador las entregas y devoluciones de licencias podrán hacerse a través de los operadores de estación.

### **3.5 PUESTA EN SERVICIO DE EQUIPO ELÉCTRICO**

En la operación de la red eléctrica aparece la necesidad de ejecutar maniobras, conectar y desconectar cargas, esta acción se realiza mediante llaves, y se observa la presencia de arco eléctrico, la llave debe ser capaz de establecer corriente, de interrumpirla, al menos la corriente que corresponde a la carga.

Un motor que funciona normalmente presenta una corriente nominal, pero al momento de arranque la corriente es varias veces mayor de la nominal, y dura relativamente poco tiempo (algunos segundos), hasta que el motor ha alcanzado su corriente a plena carga, si el motor se encuentra bloqueado la corriente persiste en su alto valor y debe ser interrumpida para que el motor y el resto de la instalación no se dañen.

Hemos dicho que en caso de que el motor quedara bloqueado, se mantiene la alta corriente de arranque, la llave debe poder establecer e interrumpir esta corriente, es más, si al momento de conectar ocurriera una falla, el único elemento del circuito capaz de hacer maniobras deberá también interrumpir esta condición.

Para tener idea del orden de magnitud de las corrientes de cortocircuito digamos por ahora que están comprendidas entre 25 y 100 veces las corrientes nominales, se pueden presentar corrientes de cortocircuito (que dependen de la red, no del motor como para el arranque) de 1500 A, quizás más.

La llave para no representar peligro para quien la opera debe como mínimo poder soportar estas condiciones de funcionamiento, lógicamente exigiremos que sea capaz de interrumpir un cortocircuito si no hay otros elementos que actúen (en forma automática, antes del operador asustado que ha hecho el cortocircuito) en el lado fuente, mas cerca de la alimentación.

La duración del arco eléctrico a la interrupción, y sus efectos, en particular el desgaste de los contactos, hacen conveniente que el movimiento de los mismos se produzca con velocidad independiente del operador.

Entre contactos se presenta cierta resistencia eléctrica que es menor cuanto mayor es la presión de contacto que se tiene, no olvidemos que en una resistencia se produce calor por efecto Joule, y contactos envejecidos o debilitados se calentaran mas de lo admisible.

El desgaste y la suciedad aumentan la resistencia de contacto, y este efecto es negativo, produce mayor calentamiento de los contactos, y recordando que los conductores aumentan su resistividad con la temperatura se comprende la necesidad no exponer estos elementos a condiciones de instalación muy desfavorables.

Los razonamientos desarrollados permiten calificar presumiendo acerca del comportamiento de un aparato de maniobra.

Hasta aquí hemos utilizado el nombre genérico de llave, las normas establecen y definen los aparatos específicos para distintos usos que encontramos en el mercado y que tienen distintos costos, y distintas prestaciones y funciones.

Por otra parte hemos mirado un aspecto de las llaves, su capacidad de establecer e interrumpir un circuito, y de conducir la corriente normalmente en forma permanente, cuando la llave esta abierta, con sus contactos separados, tiene una función importantísima, mantener aislado el circuito del lado carga, y ese aislamiento debe mantenerse mientras se necesite.

Examinaremos a continuación las características de distintos tipos de aparatos de maniobra comparándolos entre sí.

### **Interruptores**

La característica más saliente del interruptor, también llamado disyuntor, es poder operar estableciendo e interrumpiendo cualquier valor de corriente hasta la que corresponde a su poder de interrupción (corriente de cortocircuito), lógicamente después de efectuar algunas veces esta operación el desgaste de los contactos puede ser muy elevado y las prestaciones del aparato quedan disminuidas.

Los poderes de interrupción de los interruptores van desde 1 kA hasta algunas decenas, como dicho son del orden de 100 veces la corriente nominal de los aparatos.

Cuando se presenta un cortocircuito la elevada corriente debe ser interrumpida después de un breve tiempo, tanto para proteger el interruptor mismo, como para el resto de los elementos de la red. El interruptor esta asociado a relés que censan la corriente, y según sea su valor comandan la actuación, un relé térmico, (basado en un bimetal por ejemplo) produce el disparo en un tiempo inversamente proporcional al valor de la corriente (mejor digamos al cuadrado del valor de la corriente, ya que mide la acumulación de calor en el elemento).

Un relé magnético (basado en una bobina por ejemplo) produce el disparo prácticamente instantáneo, en este caso la duración de la falla será mínima, sumándose al tiempo del relé la breve duración del arco (del orden de un semiciclo o menos para un interruptor de calidad de hasta algún centenar de Amps. de corriente nominal).

Cuando los interruptores logran actuar e interrumpir en tiempos menores a un semiciclo, se les llama limitadores.

La energía necesaria para que el interruptor abra debe encontrarse acumulada, de manera que el relé la libere cuando corresponda, en algunos modelos de interruptores se aprovecha también la fuerza electromagnética de repulsión para lograr la mejor interrupción.

La energía esta acumulada generalmente en un resorte que al momento del cierre se carga.

La característica de actuación del aparato, curva que relaciona corriente y tiempo, se utiliza para controlar la protección que ofrecen los relés (eventualmente ajustados a determinados valores) es la que corresponde a los elementos protegidos.

### **Cortocircuito y sobrecargas**

Se hace ahora necesario decir algunas palabras del cortocircuito, se trata de un aumento de la corriente debido a un cambio brusco en el circuito.

Los cortocircuitos están ligados a defectos, fallas de aislamiento entre conductores que se encuentran a distinto potencial.

Al cerrarse el circuito, sobre una impedancia de valor pequeño las corrientes resultan muy elevadas.

Los daños debidos a cortocircuito pueden ser evitados con la rápida desconexión del circuito fallado, y un adecuado dimensionamiento de los componentes en el supuesto que durante la vida de la instalación se presentan cortocircuitos.

Los componentes y la instalación deben ser capaces de soportar las condiciones de cortocircuito por el tiempo que corresponde a la actuación de las protecciones. Es evidente que una mayor rapidez de las protecciones permite un dimensionamiento menos costoso.

Las sobrecargas se presentan en cambio cuando se pretende utilizar los elementos de la instalación mas allá de lo previsto, cuando en un ramal se conectan mas cargas que las que la instalación es capaz de soportar, cuando las maquinas accionadas impulsan cargas mayores de las previstas, si una sobrecarga se prolonga mucho tiempo se presentan sobretemperaturas que envejecen prematuramente el aislamiento pudiéndola llevar rápidamente al colapso.

La subdivisión entre sobrecargas y cortocircuito no es neta, siendo difícil establecerla, pero a los fines de la protección eficiente no es de importancia definir donde se presenta.

### **Fusibles**

El calor que se produce en un conductor por el que circula corriente, se aprovecha en este aparato para detectar el valor de la corriente y si este persiste en el tiempo, el calor acumulado funde al conductor, se genera un arco eléctrico que finalmente interrumpe la corriente. Cuanto mayor es el valor de la corriente menos tiempo tarda el fusible en alcanzar la condición de fusión (tiempo de prearco), con una corriente determinada lo alcanza en un semiciclo, y por arriba de ese valor el fusible funde en tiempos que son menores a un semiciclo.

Con corrientes muy grandes el fusible funde en pocos milisegundos, y si la tensión de arco que se presenta es elevada, la corriente de arco resulta muy limitada no alcanzando el valor máximo que se hubiera presentado si el fusible no estuviera instalado. Esta característica de los fusibles se llama de limitación, los aparatos limitadores son aquellos que impiden que se alcancen los valores máximos de la corriente de cortocircuito, y en consecuencia el resto del circuito puede ser de dimensiones limitadas respecto de lo que sería necesario si no hubiera limitación.

En resumen las características limitadoras permiten un dimensionamiento más económico de la instalación.

El tiempo de actuación del fusible se representa en un gráfico que relaciona el valor de la corriente y el tiempo. Se representa el tiempo medio de interrupción, a veces se representa el tiempo mínimo de prearco y el tiempo máximo de interrupción.

Estas curvas experimentales requieren realización de gran cantidad de ensayos e investigación, y no es fácil obtenerlas para los aparatos mas económicos.

Hemos descrito el fusible como un alambre que se funde, se presenta un arco, y para que este se interrumpa adecuadamente es necesario un ambiente especial, los fusibles de mayor poder de interrupción, la fusión se produce en arena de cuarzo, que contiene y enfría el arco.

Los fusibles de elevada corriente nominal están constituidos por una lamina perforada que se funde a la altura de las perforaciones.

La interrupción del fusible no debe estar acompañada de sobre-tensiones elevadas, el poder de interrupción del fusible significa que debe ser capaz de interrumpir cualquier corriente hasta la máxima sin causar sobre-tensiones superiores a los límites (que las normas fijan).

Los interruptores limitadores tienen una característica parecida, los contactos se separan consecuencia de las elevadas fuerzas de repulsión, con gran velocidad e introduciendo alargamiento del arco (gran tensión de arco).

## **Interruptores de maniobra**

Interruptores con limitado poder de interrupción, llamados también seccionadores con poder de apertura, tienen capacidad de maniobra, pero requieren que se los proteja de cortocircuitos, función de la que se deberá encargar el dispositivo que se encuentre del lado fuente (fusible). A veces estos aparatos tienen un relé térmico, y es fácil confundirlos con interruptores, pero para su funcionamiento seguro en todas condiciones requieren al menos estar protegidos por un fusible que en teoría debería estar del lado fuente para proteger cualquier condición.

Las llaves en general pueden considerarse seccionadores de maniobra, pueden conducir y maniobrar la corriente nominal, en las instalaciones con comando manual estas llaves son las que encienden luces, calefacción, pequeños motores, etc.

Existen seccionadores de maniobra combinados con fusibles, e inclusive en algunos modelos la fusión del fusible (que tiene un percutor) produce el disparo tripolar de la llave.

## **Llaves**

Este es un nombre genérico que se utiliza para identificar aparatos de maniobra.

En rigor existen nombres mas adecuados para identificar los distintos aparatos, sin embargo para muchas funciones en las cuales simplemente se maniobra se utilizan llaves que conectan y desconectan en determinados puntos el circuito.

Estas llaves, conmutadoras, pueden presentar combinaciones especiales de contactos para lograr el adecuado funcionamiento, combinaciones de escalera, selectores, etc.

## **Seccionadores**

Existen llaves cuya función solo es aislar una parte de la instalación de otra, para poder acceder a ella en condiciones de seguridad, estos aparatos reciben el nombre de seccionadores (de seguridad) y en media y alta tensión son la mayor cantidad de aparatos. Se operan cuando por ellos no circula corriente, están sin carga (la corriente es despreciable), o al abrirlos no cambia el potencial entre sus bornes (se encuentran cortocircuitados por otros aparatos).

Su función es garantizar la seguridad cuando se accede a la parte de la instalación que se ha seccionado. En baja tensión en general no se instalan seccionadores con esta función exclusiva, en muchos casos las aparatos son seccionables, y su extracción garantiza las condiciones de seguridad.

## **Contactores**

El contactor es un aparato proyectado para hacer un numero enorme de maniobras, y tiene características especialmente adecuadas para maniobrar motores, su poder de interrupción es comparativamente menor que el del interruptor.

Este aparato tiene una única posición estable (de equilibrio), el movimiento de los contactos se produce por acción de una bobina, que permanece excitada para mantenerlo cerrado. Cuando la bobina pierde la excitación los contactos vuelven a la posición de reposo (se abren), al comparar con el interruptor se nota que este tiene dos posiciones estables, abierto y cerrado.

También el contactor esta asociado a un relevador térmico, que acciona un contacto que interrumpe la corriente en la bobina (cuando corresponde) y comanda así la apertura, desconecta la carga cuando se presenta una situación de sobrecarga.

Ciertos contactores tienen relevadores mas sofisticados que comparan las corrientes de las tres fases comandando la actuación si estas no son iguales (protegen de interrupciones de una fase, u otros desequilibrios).

Si ocurre un cortocircuito, de valor elevado, que supera la prestación del contactor, para su protección se instala un fusible, al que se le asigna la función de interrumpir las corrientes de falla elevadas y proteger así el contactor y el resto del circuito.

En casos de instalaciones industriales la continuidad del servicio, y las facilidades de mantenimiento hacen preferir la combinación de un interruptor con protector solo magnético, combinado con un contactor con su relevador térmico. También en estos casos y para facilitar el mantenimiento, el conjunto de aparatos que controlan el motor están montados en una bandeja, que puede ser desmontable, extraible, a veces seccionable, el tablero que tiene estas características se llama centro de control de motores.

## **Consideraciones en la puesta en servicio de equipo eléctrico.**

La energía eléctrica se utiliza con distintos fines, uno de ellos que se destaca por la importancia es la iluminación.

Las lámparas transforman energía eléctrica en luz, y en estas aplicaciones interesa la intensidad y el color de la luz.

La relación entre flujo y potencia depende del tipo de lámpara, unas son más eficientes que otras, y en cada caso se presentan ventajas e inconvenientes.

Las características de las lámparas son complementadas por los artefactos, que permiten su optimo aprovechamiento.

Otros dispositivos de aprovechamiento de la energía eléctrica son los motores, cuyas características de importancia son:

- su velocidad
- momento de torsión
- potencia
- trabajo
- tiempo de arranque

Los motores pueden ser de distintos tipos, asíncronos, síncronos, a colector, todos de corriente alterna, y a colector de corriente continua.

Los asíncronos varían muy poco su velocidad con al carga, los síncronos giran a velocidad constante (relacionada con la frecuencia de la red), los de colector permiten cierta regulación de velocidad.

Modernamente han aparecido dispositivos de control que permiten regular la velocidad de los motores de corriente continua (fuentes de corriente continua thyristorizadas) y también de los motores asíncronos (fuentes de frecuencia variable).

La selección de motores debe contemplar las exigencias de servicio, de la carga, de la velocidad, y la maniobra. También son importantes las formas constructivas del motor que deben ser tomadas en cuenta en las aplicaciones.

El arranque de los motores se realiza directamente cuando es posible, y la sobrecorriente de arranque no muestra consecuencias, cuando en cambio se necesita reducir (limitar) este efecto, la corriente de arranque se controla mediante resistores, reactores, auto-transformadores, cuya función es reducir la tensión aplicada al motor.

Una forma natural de reducir la tensión de los motores de corriente alterna trifásicos asíncronos es conectándolos en estrella para arrancar y luego pasándolos a triángulo (delta).

Para algunas aplicaciones los motores se comportan como frenos, los motores asíncronos se alimentan con corriente continua, que establece un campo fijo que tiende a frenar el motor.

Un aspecto muy importante en la vida del motor, es controlar su temperatura lo que se confía a las protecciones térmicas, que deben detectar estados de sobrecarga, que se producen por condiciones mecánicas, o por funcionamiento del motor en dos fases. Existen relevadores de protección particularmente aptos para detectar esta última situación.

Un detalle que debe cuidarse mucho en el montaje, es la correcta alineación del motor con la maquina accionada.

Una ultima aplicación que merece citarse es la térmica, la energía eléctrica hace funcionar hornos, soldadoras, instalaciones electroquímicas, etc.

### **Factor de potencia en las instalaciones eléctricas**

Casi todas las aplicaciones de la energía eléctrica mencionadas anteriormente corresponden a consumos de potencias activas, y reactivas inductivas, y en consecuencia se presenta defasaje de la corriente con la tensión de forma particular que en conjunto se multiplica y afecta a las instalaciones eléctricas, presentándose un desequilibrio importante.

Por otra parte la corriente que se presenta en la instalación es mayor de la que corresponde por solo la potencia activa.

Resulta conveniente bajo muchos puntos de vista tomar en cuenta la existencia del factor de potencia en las instalaciones eléctricas, una forma rápida de poder mejorar está inestabilidad de las instalaciones es conectando capacitores en paralelo a las cargas, o bancos de capacitores que quedan conectados permanentemente mientras la carga lo justifica, es decir el valor de los capacitores siempre dependerá de las cargas conectadas al sistema eléctrico.

Quien suministra energía obliga a los grandes consumidores a mejorar el factor de potencia, actuando sobre la tarifa, las ventajas que se obtienen son también menor corriente circulante por los cables, menores perdidas, menores caídas de tensión que son ventajas para el usuario.

### **A que se le llama Factor de potencia.**

El Factor de potencia es un tema muy importante para la industria. Se puede definir como la relación de entre la potencia activa (KW) y la potencia aparente (KVA) y es un indicativo de la eficiencia con la cual se está utilizando la energía eléctrica para producir un trabajo útil.

Un bajo Factor de potencia limita la capacidad de los equipos y los arriesga a sobrecargas peligrosas y perdidas excesivas de energía.

También puede reflejarse en cargos extras al momento de la facturación de la energía eléctrica, los cuales son significativos cuando el factor de potencia es disminuido. El origen del bajo factor de potencia son las cargas del tipo inductivo, las cuales pueden ser motores de inducción, Lámparas Fluorescentes, Equipos electrónicos y formas de onda no controladas (Armónicas)

El primer paso para la corrección de un problema de factor de potencia, es prevenir a futuro la correcta selección y operación de los equipos que componen al sistema.

Los principales sistemas de compensación de los reactivos son los bancos de capacitores, ya que son una práctica y económica forma de combatir al bajo factor de potencia, sobre todo en instalaciones eléctricas existentes.

El factor de potencia se puede tomar como un indicador importante el cual nos indica el adecuado aprovechamiento de la energía eléctrica.

Podemos clasificar a la energía utilizada para el propio funcionamiento de los equipos como energía reactiva y la energía que es transformada en trabajo se le puede denominar energía activa.

Existen indicadores con fundamentos en el estudio del factor de potencia que mencionan que el factor de potencia debe ser mayor a 0.85 para que no se presenten anomalías en las instalaciones eléctricas.

#### **Anomalías que se presentan si el factor de potencia es menor a 0.85:**

Cuando el Factor de Potencia es menor a 0.85 se refleja directamente en los equipos con un incremento considerable de consumo de energía reactiva, es decir, consumen grandes cantidades de energía eléctrica para su propio funcionamiento y provocando un excesivo consumo de corriente eléctrica en las instalaciones del equipo y por consecuencia en la compañía suministradora. Si el consumo de corriente es bastante considerable puede existir el daño directo a las instalaciones por una sobre carga en el sistema eléctrico, y como consecuencia variaciones de tensión disminuyendo la eficiencia de los equipos instalados.

Se debe tomar en cuenta también que las compañías suministradoras al notar que es presente un factor de potencia menor al 0.85 se debe considerar en la facturación un incremento del 10 o 20%, esta sanción se sumara a la facturación durante exista la anomalía en el sistema.

#### **Sugerencia para poder contrarrestar este tipo de anomalías:**

Cuando existe un excesivo consumo de energía reactiva por cada uno de los equipos que integran la instalación eléctrica, será necesario obtener la proporción en la que afecta al sistema cada equipo y así lograr compensar por medio de bancos de capacitores al sistema. Es la forma más sencilla y económica, logrando valores del factor de potencia por arriba de los valores establecidos.

Si se quiere lograr un consumo racional de energía eléctrica siempre será necesario realizar la compensación del factor de potencia en los sistemas eléctricos. Una forma básica es previendo que en equipos nuevos se diseñe y tome en cuenta la compensación del factor de potencia en forma individual por cada equipo que va a contener el sistema eléctrico.

Otra forma es mantener los valores controlados del factor de potencia y esto beneficiara directamente al consumidor y a la compañía suministradora, por que se aumenta la vida útil de la instalación, evita las penalizaciones en la facturación y mejora la calidad de la energía recibida por el consumidor.

Actualmente existen bancos de capacitores automáticos.

Ventajas que se producen al corregir el factor de potencia en un sistema eléctrico.

- Eliminación de sanciones por trabajar con bajo factor de potencia menor a 0.85
- Bonificaciones en la facturación por lograr un factor de potencia igual o mayor a 0.90
- Menores pérdidas en el sistema si se mejora el factor de 0.6 a 0.9 se reducen las pérdidas hasta de un 56% y si se mejora de un 0.6 a 1.0 las pérdidas se reducen hasta en un 64%.
- Potencia total liberada por un transformador, (KVAs Disponibles)

### **3.6 ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL EQUIPO DE MONITORES**

Un desarrollo o implementación de una red de monitoreo automático, nos brinda la posibilidad de censar en forma permanente en las variables de mayor importancia en un sistema eléctrico, logrando con esto el monitoreo a las líneas de alimentación, visualización, graficación, procesamiento y almacenamiento de las variables eléctricas más significativas. Teniendo como resultado un perfil del consumo de energía por un sistema de manera diaria, semanal o mensual, también se podrá analizar la calidad de la energía suministrada y el análisis espectral en frecuencia y fase de las formas de onda del voltaje y corriente del sistema eléctrico.

Una red de monitoreo puede clasificarse en tres grandes sistemas operación:

- Sistemas de medición de variables eléctricas en los sistemas eléctricos.
- Sistema de comunicación de forma remota o local.
- Sistema de monitoreo y almacenamiento de datos.

### **Sistemas de medición de variables eléctricas.**

Este sistema se integra por transformadores de corriente y potencial, acondicionadores de corriente a voltaje, equipo analizador de redes y líneas telefónicas para el envío de información en forma remota, todos estos elementos deberán ser instalados en los puntos del sistema donde se requiera el monitoreo.

La función principal de esta parte del sistema es censar segundo a segundo la variables eléctricas más significativas, integrarlas para almacenarlas y procesarlas para verlas en forma local o enviarlas en forma remota a un servidor o concentrador de información para su análisis estadístico.

Un analizador de redes eléctricas nos permite el monitoreo automático en un tiempo de medición e integración programable de acuerdo a las necesidades de exactitud en los valores requeridos, dependiendo esto de las características del analizador de redes empleado en el sistema eléctrico:

- Voltaje eficaz por fase
- Corriente eficaz por fase
- Potencial real por fase
- Energía total y por fase
- Frecuencia por fase

### **Sistema de comunicación de forma remota o local**

Por medio de una interfase para comunicación remota vía MODEM basado en un puerto serial RS-232 acoplado ópticamente se realiza la transferencia de información del o los analizadores de redes al servidor o concentrador de datos, para posteriormente realizar un análisis de la información recavada.

Para la visualización de la información en forma local se cuenta con una pantalla de cristal líquido y un teclado simple para seleccionar las variable eléctrica que se pretende observar, según las características de los equipos analizadores podrán existir menús del funcionamiento del teclado.

### **Sistema de monitoreo y almacenamiento de datos.**

El sistema de monitoreo y almacenamiento se comprende de un servidor o computadora personal que permita por un medio visual ver las características de las variables eléctricas, así como también poder controlar por medio del software o programa de control del analizador de redes de forma bidireccional, de modo que pueda reportar por medio visuales y audibles si existe alguna anomalía en el punto de monitoreo y además deberá ser capaz de restablecer si se requiere al analizador en todo momento.

## **Características técnicas que ofrecen analizadores de redes existentes en el mercado:**

Los equipos tienen una gran variedad de aplicaciones y pueden ajustarse a las necesidades de cada aplicación por eso se tratará de resaltar las características principales y sus posibles aplicaciones básicas.

El objetivo general de la aplicación de estos equipos en los sistemas eléctricos es mejorar el rendimiento, reducir los costos y mantener la funcionalidad de los equipos que lo integran.

Las soluciones a las mediciones realizadas por algún equipo analizador de redes eléctricas se logra gracias al análisis de calidad de las corrientes en los sistemas eléctricos, el reflejo real de los costos de la energía consumida, el control automático de la demanda, la facturación y los reportes generados de forma automática. El uso de estos equipos en los sistemas eléctricos proporcionan las siguientes ventajas específicas:

Se lograra integrar de forma eficiente la supervisión de las variables eléctricas y obteniendo como resultado el control de la adquisición de datos y la facturación real.

De acuerdo a las capacidades de cada analizador es posible que cada uno de ellos conectados en una red son capaces de comunicarse simultáneamente con varios sistemas a través de puertos o interfaces multiprotocolo.

También pueden aprovecharse los módems integrados y las conexiones LAN / WAN directas, implementando conexiones de Ethernet, fibras ópticas, teléfonos, Internet, teléfonos móviles, y enlaces de radio en la red.

Existen también puertos tipo E/S analógicos y digitales que pueden ser implementados como sensores por medio de relevadores y transductores.

El software de los sistemas de monitoreo son capaces de ofrecer visualización desde cualquier lugar para toda una empresa, lo que permite compartir información y así aumentar la productividad en las áreas que tienen relación con el monitoreo de los sistemas eléctricos.

La tecnología que es utilizada en los últimos tiempos se considera confiable y compatible tanto en los equipos analizadores como en el software, además de su fácil manejo ya que se utilizan redes y protocolos estándares del sector eléctrico para lograr elegir la correcta compatibilidad de los sistemas.

Actualmente los sistemas cuentan con dispositivos para activar alarmas remotas cuando existen picos de demanda o cualquier variable eléctrica que salga de las tolerancia preestablecidas a través de un radio localizador personal, por correo electrónico, fax o por medio de la pantalla grafica en sitio.

Las alarmas pueden adaptarse para satisfacer todo tipo de necesidades. Las alarmas de condición única pueden depender del tipo de analizador y de los límites previamente establecidos.

La instalación de todos los equipos que actualmente se encuentran en el mercado son de fácil instalación ya que solo se debe tomar en cuenta la relación de transformación, el método y forma de cableado y los modos de comunicación, después de esto se puede empezar a obtener la información que puede aportar el analizador de redes del sistema eléctrico.

También se cuenta con diversos sistemas de seguridad para evitar la fácil manipulación de los analizadores de redes y una amplia capacidad de almacenamiento de datos para garantizar el resguardo de la información importante durante algún suceso crítico, o buscar las formas de comunicación para garantizar las operaciones si se presenta algún fallo del entorno de comunicación.

### **3.7 SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS**

Seguridad y riesgo son palabras muy usadas, pero su significado se presta a manipulaciones y deformaciones, por lo que trataremos de aclarar que quieren decir para nosotros.

Estamos expuestos a ciertos riesgos, un evento desfavorable puede ocurrir, el tiempo de exposición al riesgo es el tiempo durante el cual el evento desfavorable ha podido ocurrir. El tiempo es acumulativo, y la seguridad contra un evento es la probabilidad de que en condiciones preestablecidas en un tiempo determinado, el evento no se presente.

La seguridad así definida como probabilidad (de que un evento desfavorable no se produzca) se representa por un número comprendido entre cero y uno, uno es certeza de que el evento no se producirá, cero es lo contrario, certeza de que se producirá.

Otro concepto ligado a la seguridad es la tasa de falla, que nos indica a lo largo del tiempo como van muriendo los objetos de una población dada, pensemos en que instalamos cierta cantidad de lámparas, que no renovamos y a lo largo del tiempo determinamos como varía el número de lámparas quemadas sobre el total.

Es claro que la seguridad se reduce cuando aumenta el tiempo de exposición al riesgo, para tener una seguridad absoluta se debe tener un tiempo de exposición al riesgo nulo, o una tasa de falla nula, imposibilidad de que ocurra el evento.

Pero si un evento no se puede producir el concepto de seguridad contra esa situación pierde totalmente el significado.

Al definir seguridad hemos usado las palabras: en condiciones preestablecidas, no tiene significado hablar de seguridad en cualquier condición, se deben definir las condiciones de empleo, de instalación y de mantenimiento.

Es así que algo no peligroso en determinadas circunstancias se convierte en fatal en otras. La falta de atención a cualquier condición arriba indicada, implica decadencia del nivel de seguridad. Estas condiciones tienen en cuenta cuando se considera el grado de adiestramiento que una persona requiere para acceder partes peligrosas, y en tal caso el dispositivo de seguridad es sustituido por la idoneidad del operador, de aquí la importancia de capacitación y adiestramiento que se requiere para ciertas personas que realizan ciertas tareas.

Un hombre es una maquina poco confiable, ajusta mal un tornillo de cada 10,000, hace mal una lectura de cada 200, y después de leer las instrucciones se equivoca una de cada 20 veces... Y hay aparatos en los cuales el peligro es imposible de eliminar sin impedir al aparato su función, pensemos en un cuchillo.

Confiabilidad es un concepto parecido a seguridad, pero que tiene que ver con el funcionamiento, con la prestación requerida, una instalación eléctrica o un equipo eléctrico puede fallar y no necesariamente se presenta una situación peligrosa.

### **Protección contra contactos.**

El contacto de la persona con partes en tensión puede determinar el pasaje de corriente a través del cuerpo humano con consecuencias que pueden ser mortales. Este es el peligro más común dentro de las instalaciones eléctricas.

Podemos distinguir una protección funcional, que permite el funcionamiento del aparato eléctrico, una protección principal, que realiza una función de protección mecánica, y una protección suplementaria que otorga una mayor garantía.

El peligro de contacto puede presentarse tanto con partes que se encuentran en tensión siempre (contacto directo), como con partes que normalmente no están en tensión pero se han puesto en tal condición a causa de una falla (contacto indirecto).

Tierra física es un conductor de la instalación accesible que normalmente no se encuentra en tensión, pero debido a una falla del aislamiento principal puede ponerse en tensión. La tierra física debe conectarse a tierra.

Tierra física extraña no forma parte de la instalación pero puede introducir un potencial de tierra cualquiera.

Se puede pensar que un hombre (desde el punto de vista eléctrico) es una bolsa de piel llena de agua salada (iones, células y líquido).

Son lógicos los peligrosos fenómenos que se producen al circular corriente en este conductor, la corriente es peligrosa desde un rango de valores que va desde valores muy pequeños, 20, 30 mA, su peligrosidad esta ligada al estado de la piel, mas o menos húmeda, al estado de la persona.

En determinadas condiciones 10 mA son peligrosos, (particularmente si son permanentes), corrientes aun menores pueden ser fatales en instalaciones de aparatos de electromedicina en situaciones de falla o que sea una instalación no correcta.

En algunos casos se asocia al grado de peligro a la tensión, de forma escrita la resistencia del cuerpo humano varia, pero convencionalmente se fija en 1,000 ohms, por lo que tensiones mas allá de los 50 V. pueden ser peligrosas. Al aumentar la tensión la resistencia del cuerpo disminuye, pudiendo suponer que se reduce a la mitad.

Las tensiones de distribución normales que se usan implican peligro, y entonces toma importancia el criterio de seguridad.

Los peligros que pueden presentarse son las tensiones de contacto, de paso, transferidas que se pueden producir entre distintas partes de la instalación eléctrica y el ambiente.

Pareciera que si en una instalación se puede evitar la circulación de corriente de falla fuera del circuito normal no se pueden presentar peligros de tensiones de contacto mientras se toque un solo punto del circuito, pero debe tenerse en cuenta que si ocurre una falla de aislamiento en una parte del circuito, a partir de ese momento el peligro aparece con la segunda falla, y uno podría creer que el peligro no esta presente (actuando así en condiciones sumamente riesgosas).

El contacto con partes en tensión se protege con cubiertas que impiden el acceso a puntos peligrosos, aislantes, aisladores dobles dan una mayor garantía (casi absoluta seguridad, aunque el segundo aislamiento se rompa, o si solo falla la primera, el aparato no es peligroso), aislamientos reforzados (es uno solo pero equivalentes a las dobles).

En los aparatos con cubierta metálica una falla de aislamiento pone en tensión la cubierta, y es necesario que la conexión a tierra de la cubierta genere un camino de muy baja impedancia para la corriente de falla, conexión de puesta a tierra de seguridad.

Una diferencia entre las corrientes que se presentan entre los distintos conductores puede significar una fuga de corriente que se cerrara por la tierra, y en consecuencia genera situaciones de peligro, la detección de esta corriente, señala la falla, y la

consiguiente interrupción protege del peligro (minimiza el tiempo de exposición al peligro).

Esto es lo que hacen los interruptores diferenciales, que detectan corrientes de fuga muy pequeñas (30 mA, 300 mA), lógicamente la instalación para permanecer en servicio debe tener su aislamiento en perfecto estado.

### **Puesta a tierra**

Ya hemos comentado que, al menos en las instalaciones de baja tensión normales, es conveniente que la red este puesta a tierra, es ya habitual en todas las instalaciones la puesta a tierra del neutro al menos en el punto de alimentación (transformador de la red pública).

Las fallas a tierra implican corrientes que al menos deben alcanzar un valor suficiente para ser detectado por las protecciones, de manera que eventuales condiciones de peligro desaparezcan en breves tiempos.

El comportamiento de un sistema en relación con su puesta a tierra depende tanto de la situación del neutro (en el punto desde donde se alimenta el transformador de alimentación):

Los sistemas se clasifican entonces indicando sus características con dos letras; a continuación examinaremos las combinaciones validas explicando condiciones que se presentan.

Sistema TT, neutro a tierra, y masas a tierra local independiente del neutro, esta situación se presenta en nuestro país cuando el usuario esta conectado a la red publica de distribución de energia.

En este caso es muy difícil lograr una baja tensión de contacto, el sistema exige una tierra muy baja, y la seguridad depende de la tierra de la red. Aun así no se puede evitar que se alcance una tensión peligrosa, y entonces se debe reducir el tiempo de exposición abriendo el circuito para minimizar el peligro, si la tensión peligrosa que aparece esta limitada a 50 V puede persistir mas de 2 segundos, pero si es del orden de 200 V debe persistir no más de 0.1 seg.

Si bien el suelo mas o menos aislante ayuda a disminuir la tensión aplicada al cuerpo, se debe tomar la condición peor (con el suelo mojado por ejemplo), la rapidez del aparato de protección depende a su vez del valor de la corriente, por lo que resulta conveniente razonar sobre la corriente que produce la actuación en 5 segundos.

Todas las tierras físicas asumen igual tensión en momento de falla que es la que corresponde al equipo de mayor corriente.

El neutro en estas instalaciones se considera activo.

Sistema TN neutro a tierra, tierras físicas al neutro a través del conductor de protección, donde conductor neutro y de protección están separados (dos conductores distintos), se indica TN-S.

Cuando neutro y conductor de protección son dos conductores distintos, la falla produce circulación de corriente por el conductor de protección, no es importante la baja resistencia de puesta a tierra, pero en cambio es importantísimo la equipotencialidad de las masas.

En los sistemas TT las masas extrañas pueden estar conectadas a la tierra de protección, aunque no es indispensable, esta conexión produce beneficios al reducir la impedancia de tierra, en cambio en los sistemas TN las masas extrañas deben estar conectadas al conductor de protección de lo contrario son peligrosas porque pueden asumir potenciales muy distintos del conductor de protección.

En algunos casos se realizan sistemas TN-C donde conductor neutro y de protección están confundidos en uno solo (conductor PEN), estas instalaciones no son aconsejables porque pueden convertirse en peligrosas por mal mantenimiento y evolución. Siendo que la seguridad depende de la integridad del conductor neutro y protección, este no debe tener seccionamientos, ni tampoco debe poderse romper por el uso, por lo que debe respetar secciones mínimas abundantes.

También pueden presentarse sistemas TN-C-S que son mezclas de TN-C y TN-S lógicamente no aconsejables por lo antes dicho.

En los sistemas TN si el neutro puede asumir un potencial peligroso este se presentara en todas las masas.

En los casos en que el usuario recibe alimentación en media tensión y se encarga de reducir a baja tensión, el sistema es naturalmente TN, y es importante desarrollarlo correctamente.

La sigla IT distingue a los sistemas con neutro aislado o a tierra a través de impedancia elevada, y masas a tierra, recordemos lo ya dicho respecto de el tamaño de estos sistemas, deben ser de área y potencia mínima.

## **Lugares altamente peligrosos**

Algunos locales son particularmente peligrosos y por el riesgo elevado se deben tomar especiales precauciones.

Los sótanos son particularmente peligrosos por la presencia de humedad, por encontrarse mojados, a veces con agua sobre el suelo, la instalación en altura evita algunos peligros, pero es fácil darse cuenta del peligro que en estos locales representan instalaciones de emergencia y portátiles. En todos estos lugares la mejor garantía es una buena instalación fija, que aunque parezca costosa evita con seguridad accidentes que cuestan más.

También son peligrosos por estas razones los baños y duchas, los tomacorrientes deben estar alejados al menos de bañeras, duchas y lavatorios, para evitar la tentación de tomar artefactos eléctricos cuando se está mojado, recordemos que en esta condición el riesgo es mayor.

Peligrosos son también los sitios donde el movimiento es restringido y hay presencia de grandes superficies conductoras, pensemos en un tanque metálico que debe inspeccionarse, la baja tensión es lo recomendable.

También las piletas, por la presencia de agua, conductora, son áreas peligrosas desde el punto de vista de posibilidad de electrocución.

La obra civil es una zona de elevado riesgo eléctrico, ya que se presentan aparatos muy solicitados por el uso y que tienen probabilidad de falla elevada, la obra evoluciona permanentemente, y hay presencia de muchas personas que no siempre tienen adecuada competencia, y no hablemos de instalaciones provisionales las cuales son irresponsablemente peligrosas.

Tomacorrientes inadecuados son frecuente fuente de peligro, particularmente porque accesibles al dedo cuando se hacen operaciones de conexión y desconexión, si bien las normas son muy claras al respecto, la cultura todavía no ha producido la indispensable purificación de los componentes.

**La siguiente nomenclatura es necesario conocerla y tenerla presente para poder manejar los conceptos más comunes en cualquier instalación eléctrica.**

Para la segura y adecuada operación, la nomenclatura para identificar voltajes, subestaciones y equipos, se hace de una manera preestablecida, con el fin de eliminar errores, y males interpretaciones se recomienda la utilización en las instalaciones eléctricas de los siguientes estándares, definiciones y nomenclaturas:

Información complementaria para la correcta ubicación del lugar donde se llevará a cabo las instalaciones eléctricas.

Las áreas de control dependiendo del lugar en el que se pretenda llevar a cabo una instalación eléctrica, en la república se podrán identificar por los números siguientes:

1. Área central
2. Área oriental
3. Área occidental
4. Área noroeste
5. Área norte
6. Área noroeste
7. Área baja California
8. Área peninsular

Las tensiones de operación (Voltajes de alimentación) se identificaran por la siguiente tabla de colores:

400 Kv	Azul	Extra alta tensión
230 Kv	Amarillo	Alta tensión
De 115 hasta 69 Kv	Morado magenta	Alta tensión
De 34.5 hasta 13.2 Kv	Blanco	Media tensión
Menores de 13.2 Kv	Naranja	Media tensión

La identificación de las estaciones de servicio se genera por las primeras tres letras o sílabas según sea el caso, del lugar donde este ubicada, se debe evitar que se repita está nomenclatura dentro de una misma área y otras áreas.

Si se presenta el caso de repetición se toma en cuenta el numero de identificación de cada área.

Existen las siguientes formas de cómo se realizan las identificaciones, como por ejemplo:

La abreviatura del nombre más conocida es por ejemplo, Querétaro (QRO).

Las tres primeras letras del nombre, por ejemplo, Pitrera (PIT).

Las iniciales de las tres primeras sílabas, ejemplo, Mazatepec (MZT).

Para los nombres de dos palabras, se utilizó las dos primeras letras de la primera palabra y la primera de la segunda palabra o viceversa. Ejemplo: Río Bravo (RIB), Pto. Escondido (PES).

Se tomaron otras letras para evitar repeticiones en el caso que se agotaron las posibilidades anteriores. Ejemplo, Manzanillo (MNZ).

La identificación de cualquier instalación, se hará con cinco dígitos. Como única excepción los alimentadores de distribución radial en 34.5 KV y voltajes inferiores conservaron cuatro dígitos en su nomenclatura en las instalaciones.

La forma de leer para obtener información de la nomenclatura es de izquierda a derecha y se clasifican de la siguiente manera:

Primero **Tensión de operación**

Segundo **Tipo de equipo**

Tercero y cuarto **Numero asignado al equipo (Las combinaciones que resulten) del 0 al 9 para el tercer dígito, combinando del 0 al 9 del cuarto dígito.**

Quinto **Tipo de dispositivo**

**Tensión de operación.**

Está definido por el primer carácter alfanumérico de acuerdo a lo siguiente:

Tensión KV			Número
0.00	a	2.40	1
2.41	a	4.16	2
4.17	a	6.99	3
7.00	a	16.50	4
16.60	a	44.00	5
44.10	a	70.00	6
70.10	a	115.00	7
115.10	a	161.00	8
161.10	a	230.00	9
230.10	a	499.00	A
500.10	a	700.00	B

**Tipo de equipo.**

Está definido por el segundo carácter numérico de acuerdo a lo siguiente:

Número	Equipo
1.	Grupo generador – Transformador
2.	Transformadores o auto transformadores
3.	Líneas o alimentadores
4.	Reactores
5.	Capacitores
6.	Equipo especial
7.	Esquema de interruptor de transferencia
8.	Esquema de interruptor y medio
9.	Esquema de interruptor de amarre de barras
0.	Esquema de doble interruptor lado barra

**Número asignado al equipo.**

El tercero y cuarto carácter definen el número económico del equipo de que se trate y su combinación permite tener de 00 al 99.

### Tipo de dispositivo

Para identificar equipo se utiliza el quinto carácter numérico que especifica el tipo de dispositivo de que se trata.

Número	Dispositivo
0	Interruptor
1	Cuchillas a barra 1
3	Cuchillas a barra 2
4	Cuchillas adicionales
5	Cuchillas fusibles
6	Interruptor en gabinete blindado
7	Cuchillas de enlace entre barras
8	Cuchillas de puesta a tierra
9	Cuchillas de transferencia
0	Cuchillas del lado de los equipos

Las barras se identifican de la forma siguiente:

B1 Tensión en KV

B2 Tensión en KV

BT Tensión en KV

Ejemplos:

B1 115 KV: Barra uno de 115 KV

B2 115 KV: Barra dos de 115 KV

BT 115 KV: Barra de transferencia de 115 KV

En esquema de interruptor y medio para designar el interruptor medio, se toma el cuarto dígito del interruptor que va a barras uno, para el tercer dígito del medio y el cuarto dígito del interruptor que va a barras dos, para el cuarto dígito del interruptor.

Las cuchillas en esquema de interruptor y medio se identifican de acuerdo a la barra a la cual se conectan.

En el esquema de barra seccionada, cada sección se identifica con letra.

Para formar la nomenclatura de las cuchillas de enlace entre secciones de barra, se consideran: el segundo dígito como caso especial (seis), el tercer dígito es considerado que las secciones se numeran y se utiliza del 1 al 9; el cuarto dígito se forma con el número de la sección que conecta la cuchilla y el quinto dígito será el seis.

Para la identificación de las líneas en el esquema de barras en anillo, se efectuará utilizando el tercer y cuarto dígitos de la línea el cuarto dígito de los interruptores entre las líneas o el equipo asociado. La identificación de cuchillas en esquema de conexión en anillo, se numeran de acuerdo al movimiento de las manecillas del reloj, empezando con el dígito tres para un extremo del interruptor y el dígito seis para el otro extremo del interruptor que se trate.

Todo el equipo se identificará por el código alfanumérico antecedido por la nomenclatura de la instalación de que se trate, las líneas se identifican agregando también la abreviatura de la instalación a la cual llega.

La nomenclatura en el campo debe hacerse con un fondo amarillo y las tetras y números en color negro y un tamaño que permita verse a una distancia prudente.

Las cuchillas de puesta a tierra deberán ser rotuladas con franjas alternadas de color amarillo negro y rojo en su mecanismo de operación.

Definiciones de los posibles elementos que conforman generalmente al sistema eléctrico o a cualquier instalación eléctrica.

**Abrir:** Es separar una parte del equipo eléctrico para impedir el paso de la corriente eléctrica.

**Alimentador:** Es el circuito conectado a una sola estación, que suministra energía eléctrica a subestaciones distribuidoras o directamente al usuario final.

**Arrancar:** Es el conjunto de operaciones, manuales o automáticas, para poner en servicio el equipo.

**Bloqueo:** Es el medio que impide el cambio parcial o total de la condición de operación de un dispositivo, equipo o instalación de cualquier tipo.

**Calidad:** Es la condición de tensión y frecuencia del servicio eléctrico de acuerdo a las normas y reglamentos vigentes.

**Capacidad efectiva:** Es la potencia máxima que se puede obtener de cada una de las unidades generadoras.

**Central:** Es la estación cuya función consiste en generar energía eléctrica.

**Cerrar:** Es unir una parte del equipo para permitir el paso de la corriente eléctrica.

**Continuidad:** es la acción de suministrar ininterrumpidamente el servicio de energía eléctrica al usuario de acuerdo a las normas y reglamentos aplicables.

**Cuchillas:** son los dispositivos cuya función consiste en conectar y desconectar un equipo sin carga.

**Cuchillas de apertura con carga:** son las que están diseñadas para interrumpir corrientes de carga hasta valores nominales.

**Cuchillas de neutro:** Son las que permiten conectar y desconectar el neutro de un equipo.

**Cuchillas de puesta a tierra:** Son las que sirven para conectar a tierra un equipo.

**Demanda Máxima:** Es la potencia máxima registrada en un periodo de tiempo determinado.

**Disparo:** Es la apertura automática de un dispositivo por funcionamiento de la protección para poder desconectar una parte del sistema eléctrico.

**Disturbio:** Es la alteración, generalmente breve y peligrosa de las condiciones normales del sistema o de una de sus partes.

**Economía:** Es un objetivo básico de la operación que consiste en el uso óptimo de los recursos considerando las unidades generadoras más convenientes en cada momento, asignándoles la potencia mas adecuada, según la disponibilidad, el costo y el consumo del energético usado y las pérdidas de energía en la transmisión.

**Emergencia:** es el estado del sistema eléctrico cuando está puede poner en peligro el servicio, las instalaciones o vidas humanas y que requiere de una acción inmediata.

**Energéticos:** Son los recursos destinados a la producción de energía eléctrica con que cuenta el sistema eléctrico.

**Equipo muerto:** Es el que no está energizado.

**Excitar un generador:** Significa hacer pasar corriente por el campo de excitación.

**Falla:** Es una alteración o un daño permanente o temporal en cualquier parte del equipo, que varía sus condiciones normales de operación y que generalmente causa un disturbio.

**Herramientas de operación:** Son los equipos, sistemas y programas que proporcionan a los centros de operación, información visual audible o escrita de las condiciones del sistema eléctrico para planear, supervisar, controlar y analizar la operación.

**Interruptor:** Es el equipo que sirve para cerrar y abrir circuitos eléctricos, con o sin carga o con corriente de falla.

**Cerrar o Abrir:** Un interruptor con su control eléctrico significa conectar o separar sus contactos principales operando un dispositivo de control eléctrico en la estación o desde un centro de telecontrol.

**Cerrar o Abrir:** Un interruptor mecánicamente o manualmente significa conectar o separar sus contactos principales, actuando directamente sobre el mecanismo mediante palanca, gatos, manivelas, etc.

**Licencia:** Es la autorización especial que se concede a un trabajador para que este y/o el personal a su cargo se protejan, observen, o ejecuten un trabajo en relación con un equipo o parte de él o en el equipo o equipos cercanos, " en esté caso estará en licencia el equipo".

**Licencia en vivo:** Es la autorización que se concede a un trabajador para que este o su personal a cargo ejecute en trabajo en un equipo energizado.

**Licencia en muerto:** es la autorización para que un trabajador para que esté o su personal a cargo ejecute un trabajo en equipo desenergizado.

**Licencia Global:** : Es la autorización que se concede a un trabajador sobre un conjunto de equipos de una estación o grupo de estaciones, para que estos pueden ordenar directamente en el lugar de trabajo a los operadores de la estación una serie de maniobras o eventos a ejecutarse en dicha estación, bajo un programa previo y aprobado y aprobado por la autoridad correspondiente por el centro de operación.

**Limitador de carga efectiva:** es el dispositivo que no permite a una unidad generadora incrementar su potencia activa por arriba de los límites establecidos.

**Línea:** Es el circuito eléctrico que tiene como objetivo conducir energía eléctrica.

**Maniobra de operación:** Se entenderá como lo hecho por un operador directamente o de forma remota para accionar algún elemento que pueda cambiar el estado o funcionamiento de un sistema, sea eléctrico, neumático, hidráulico o de cualquier otra índole.

**Operación:** Es la aplicación del conjunto organizado de las técnicas y procedimientos destinados al uso y funcionamiento adecuados del equipo.

**Operación Normal:** Es la condición en la que se cumple la continuidad y la calidad establecidas del servicio eléctrico, sin existir sobrecarga en ningún equipo.

**Operación de emergencia:** Es la condición de operación fuera de las condiciones normales de operación.

**Operador:** Es el trabajador cuya misión principal es operar el equipo a su cargo y vigilar eficaz y constantemente su funcionamiento.

**Parar:** Es el conjunto de operaciones manuales o automáticas, mediante las cuales un equipo es llevado al reposo.

**Permiso:** Es la autorización que da el operador a un trabajador facultado, para que este y/o el personal bajo su cargo efectúe trabajos en lugares próximos a circuitos eléctricos (Dentro o fuera de las estaciones), en equipo que no este en operación.

**Potencia de placa:** Es la potencia especificada por los fabricantes de equipos.

**Protección:** Es el conjunto de relevadores y aparatos asociados que disparan los interruptores necesarios para separar equipo fallado del sistema eléctrico o que hacen operar otros dispositivos ( Válvulas, extintores y alarmas) para evitar que el daño aumente o se propague.

**Relatorio:** Es el documento oficial en el cual se deben anotar los sucesos de la operación.

**Seguridad:** Es el estado de operación que presenta un sistema eléctrico para que en el caso de ocurrir algunas contingencias permanezca en estado estable el sistema sin exceder la capacidad de los equipos, ni violar los rangos permisibles de voltaje y frecuencia.

**Sistema eléctrico de potencia:** Es el conjunto de equipos eléctricos conectados eléctricamente entre sí y operados bajo una administración común.

**Tarjeta auxiliar:** Es la que se coloca en los mandos de los dispositivos que deben permanecer bloqueados durante el desarrollo de una licencia. El hecho de que una tarjeta auxiliar esté colocada en un dispositivo, es indicación estricta de que ese equipo NO DEBE SER OPERADO, independientemente del estado en el que se encuentre, Abierto, Cerrado, Vivo o Muerto.

Se emplean para este fin las siguientes tarjetas auxiliares:

- ROJA**                      Se usa para licencias en equipo MUERTO
- AMARILLA**                Se usa para licencias en equipo VIVO
- BLANCA**                    Se usa para licencias ESPECIALES, las cuales el operador autoriza al poseedor de ella, a efectuar maniobras en ese equipo para desarrollar el trabajo para el cual se solicitó la licencia.

Dentro de la operación es necesario identificar los dispositivos del sistema de acuerdo a las normas internacionales vigentes que rigen este tipo de operación. La siguiente lista menciona los los dispositivos de acuerdo al número asignado por la normas internacionales IEEE y ANSI:

1. Elemento maestro
2. Relevador de arranque o de cierre, con retardo.
3. Relevador de comprobación o de bloque condicionado
4. Contacto maestro
5. Dispositivo de parada
6. Interruptor de arranque
7. Interruptor de Ánodo
8. Interruptor del circuito de control
9. Dispositivo inversor
10. Interruptor de secuencia de unidad
11. *Reservado para aplicaciones futuras*
12. Dispositivo de sobre velocidad
13. Dispositivo de velocidad sincronía
14. Dispositivo de baja velocidad
15. Dispositivo para comparar y conservar velocidad
16. *Reservado para aplicaciones futuras*
17. Interruptor de descarga o derivador

18. Dispositivo acelerador o desacelerador
19. Contactador o relevador de transición de arranque
20. Válvula operada eléctricamente
21. Relevador de distancia
22. Interruptor igualador
23. Dispositivo regulador de temperatura
24. *Reservado para aplicaciones futuras*
25. Dispositivo de sincronización o de comprobación de sincronismo
26. Dispositivo térmico de aparatos
27. Relevador de bajo voltaje
28. Detector de flama
29. Contactador de desconexión
30. Anunciador de alarma
31. Dispositivo para excitación separada
32. Relevador direccional de potencia
33. Contacto de posición (DE LIMITE)
34. Dispositivo de secuencia maestro
35. Dispositivo para operar escobillas o poner en cortocircuito anillos colectores
36. Dispositivo de voltaje o polarización.
37. Relevador de baja potencia o baja corriente
38. Dispositivo de protección de chumacera
39. Monitor de condición mecánica
40. Relevador de campo
41. Interruptor de campo
42. Interruptor de marcha

43. Dispositivo manual de transferencia o selección
44. Relevador de secuencia de arranque de unidades
45. Monitor de condición atmosférica
46. Relevador de corriente de secuencia negativa o desequilibrio de fases
47. Relevador de voltaje de secuencia de fases (Voltaje)
48. Relevador de secuencia incompleta
49. Relevador térmico de maquinas o transformadores
50. Relevador instantáneo de sobrecorriente o de velocidad de aumento de corriente
51. Relevador temporizado de sobrecorriente alterna
52. Interruptor de corriente alterna
53. Relevador de excitador o de generador de C.D.
54. Relevador de alta velocidad para C.D.
55. Relevador de factor de potencia
56. Relevador de aplicación de campo
57. Dispositivo para poner en corto circuito o a tierra
58. Relevador de falla de rectificador
59. Relevador de sobrevoltaje
60. Relevador de desequilibrio de voltajes
61. Relevador de desequilibrio de corrientes
62. Relevador de paso o apertura con retardo
63. Relevador de presión, de nivel o de flujo (De líquido o gas)
64. Relevador para protección a tierra
65. Regulador de velocidad
66. Dispositivo contador o espaciador de operaciones o para ajustes de posición
67. Relevador direccional de sobrecorriente alterna

68. Relevador de bloqueo
69. Dispositivo permisivo de control
70. Reostato operado eléctricamente
71. Interruptor de nivel
72. Interruptor de C.D.
73. Contactor de resistencia de carga
74. Relevador de alarma
75. Mecanismo cambiador de posición
76. Relevador de sobrecorriente directa
77. Transmisor de pulsos
78. Relevador de protección o medidor de ángulo de fase entre voltajes o corrientes o entre voltaje y corriente.
79. Relevador de corriente de A.C:
80. Interruptor de flujo
81. Relevador de frecuencia
82. Relevador de recierre de C.D.
83. Relevador automático de transferencia, o de selección
84. Mecanismo de operación
85. Relevador receptor para onda portadora o para hilo piloto
86. Relevador de bloqueo definitivo
87. Relevador de protección diferencial
88. Motor generador o motor auxiliar
89. Cuchillas operadas eléctricamente
90. Dispositivo de regulación
91. Relevador direccional de voltaje
92. Relevador direccional de voltaje y de potencia

93. contactor cambiador de campo

94. Relevador de disparo o de disparo libre

99. Se usará únicamente para aplicaciones específicas en instalaciones donde ninguno de los números asignados del 1 al 94 sean adecuados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO 4 Mantenimiento

Mantenimiento es el conjunto de actividades desarrolladas con el objeto de tener los bienes físicos de una empresa en condiciones de funcionamiento económico.

Los objetivos del mantenimiento, consideran el concepto económico resumidos en:

Preservar el valor de los bienes físicos.

Maximizar la disponibilidad de los bienes físicos. Incrementar la eficiencia, eficacia y fiabilidad de los bienes físicos.

Minimizar los costos de operación. Reducir los costos totales a lo largo de la vida de los bienes físicos, así como los gastos (inversiones) relacionados y a consecuencia de las tareas y actividades desarrolladas sobre los bienes físicos, incluyendo los conceptos de riesgo. Esto es el costo del ciclo de vida.

### TIPOS DE MANTENIMIENTO Y SUS SOPORTES

#### a) Mantenimiento eléctrico predictivo

El mantenimiento predictivo es la determinación del desarrollo de las diferentes tareas del mantenimiento previas a la falla, con base a:

Diagnostico del estado del equipo

Tiempo de servicio

Condiciones de operación, mediante:

- Análisis de ingeniería.
- Información estadística.
- Resultados de la inspección.

En este tipo de mantenimiento es imprescindible, para apoyo a la inspección, del uso del equipo de control supervisorio, como es el monitoreo por medio de un analizador de redes, con su propio software conectado a una PC y un de control estadístico enlazado para realizar reportes de historiales, tendencias, etc.

#### b) Mantenimiento eléctrico preventivo

El mantenimiento preventivo (MP), es la detección de las posibles fallas y su corrección antes del tiempo en que se habrían presentado, o bien se hace la corrección de la falla en su fase inicial.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La detección de las fallas se obtiene a partir de la tarea de *inspección y/o la estadística ingenieril* (análisis y estudio de la información).

Se debe considerar actualmente al mantenimiento eléctrico preventivo (MEP), como una herramienta industrial para la conservación de los equipos y de la maquinaria y para la disminución de las fallas que ocasionarían pérdidas por paros, por trabajos de re-arranque, desperdicios del material en el proceso al momento de la falla, posibles daños al equipo, costos altos para la reparación de los mismos y en ocasiones existe un alto riesgo en la seguridad del personal.

Pero también el mantenimiento eléctrico preventivo es una estrategia empresarial para la reducción de costos, ejemplo de ello son los programas de ahorro de energía y la bonificación del factor de potencia, en donde, la empresa invierte al inicio pero recupera la inversión a corto plazo.

Para hacer eficiente el mantenimiento eléctrico preventivo y así eliminar las fallas en los equipos se deben cumplir algunas rutinas de servicios que se basan en la *Limpieza, Apriete, Secado y Antifricción.*<sup>1</sup>

La frecuencia de la *limpieza* debe establecerse de acuerdo al tipo de ambiente en el cual se trabaja. El objetivo de la limpieza es el de eliminar los riesgos de fallas provocados por una mala conductividad en los puntos de contacto debido al polvo, el aceite, la pelusa, los insectos y roedores y el óxido.

La limpieza se debe realizar con cuidado con una aspiradora o un trapo de franela, para evitar que lo sucio caiga en otro componente. La limpieza nos ayuda en ocasiones a localizar las causas que provocan la suciedad, como pueden ser los orificios que sirven para el paso de roedores o como entrada de polvo, la presencia de óxido se puede evitar eliminando todas las posibles causas de su origen, como pueden ser que las puertas o el propio envolvente que ya no sellen y pueda entrar la humedad, también la ubicación del equipo en un lugar húmedo es causa de oxidación. Todos los trabajos de limpieza al equipo eléctrico se deben realizar con la mayor precaución

El *apriete* de las conexiones es fundamental para evitar arqueos, flamasos, chisporroteos y calentamiento en los puntos de contacto. Una buena conductividad en los contactos es una manera de evitar fallas en los equipos. Por lo tanto en las rutinas de mantenimiento se debe enfocar al apriete de barras conexiones de tierras, aisladores, tortillería de envolventes, tabillitas de interconexión. Así también el calentamiento de las conexiones es un signo de mala conductividad debido a un mal contacto.

El *secado* es importante, ya que los equipos deben operar en una atmósfera libre de humedad, para obtener mejores resultados, por lo que se deben tomar las medidas necesarias para evitar la humedad en los equipos eléctricos como son las siguientes:

---

<sup>1</sup> Jesús Ávila Espinosa, Mantenimiento a instalaciones, libro rojo serie AE



- Revisar los sellos o empaques de los gabinetes tipo intemperie.
- Reubicar en su caso los equipos que se encuentren en lugares húmedos
- Evitar con implementos la condensación como pueden ser las esponjas absorbentes de humedad, principalmente en regiones geográficas con alto contenido de humedad ambiental como son las costas.

La *antifricción* es una tarea que consiste en la revisión de los mecanismos que tienen elementos en movimiento principalmente como son los de apertura y cierre. Una fricción excesiva dificulta la operación y reduce la velocidad de acción de los dispositivos eléctricos, lo que puede provocar fallas mayores.

Por lo tanto, debe verificarse regularmente, sistematizada y reglamentada la operación mecánica de los dispositivos, accionándolos manual y eléctricamente en su caso, principalmente aquellos que operan raramente como son los seccionadores.

La lubricación de los elementos en movimiento es una medida preventiva, siempre y cuando se realice siguiendo las recomendaciones del fabricante y con el lubricante correcto.

Se puede resumir las tareas del MEP en:

*Servicio :*

- Limpieza
- Apriete
- Secado
- Antifricción

*Inspección de:*

- Aislamientos
- Ajustes
- Arqueos
- Caída de tensión
- Capacidad de carga
- Continuidad
- Detección de tierras

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Pruebas eléctricas
- Regulación de voltaje
- Vigilancia o monitoreo

*Cambio de:*

- Aislamientos
- Elementos que han fallado y/o concluido su vida
- Fusibles

*Modificación de:*

- Aislamientos
- Conductividad

*Reparación:*

- Menores (dentro del MEP)
- Mayores

### **c) Mantenimiento Eléctrico Correctivo**

El mantenimiento eléctrico correctivo (MEC) es la eliminación de las fallas eléctricas en los equipos a medida que estas se presentan o se hacen inminentes.

Las tareas que se desarrollan en este tipo de mantenimiento son fundamentalmente la reparación y el reemplazo. La implantación del MEC es fácil y barata, ya que no se requiere de análisis, estudios y/o trabajos previos. Es decir, no se hace nada hasta que no se presenta la falla.

Las desventajas principalmente son los gastos altos en mano de obra y materiales por sobre precios (demandados para su obtención con urgencia), trabajo adicional, altos riesgos y tiempos prolongados fuera de operación de los equipos. Pretender eliminar estas desventajas del MEC, sin efectuar un mantenimiento sustentado técnicamente, originaría sobre inventarios y exagerado equipamiento de respaldo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### **d) Soporte técnico para una buena ejecución del mantenimiento predictivo.**

Las tecnologías de diagnóstico se han extendido en todos los sectores industriales durante las últimas décadas. Las técnicas de mantenimiento basadas en las condiciones que se aplican más comúnmente son el análisis de vibraciones, la termografía, el ultrasonido, el análisis de aceites lubricantes y los penetrantes.

**Análisis de vibraciones** es el estudio de las características del movimiento periódico en máquinas, determinando su frecuencia y amplitud de vibración. El conocimiento y la interpretación de las vibraciones presentes en las máquinas determina el mantenimiento de ellas en condiciones estables y satisfactorias de operación.

Beneficios en la detección oportuna de:

- Des-alineamiento
- Des-balanceo
- Fricción
- Holgura mecánica
- Rodamientos dañados
- Desgaste de componentes.

Las técnicas para el **análisis de las vibraciones** pueden utilizarse a vigilar el rendimiento del equipo mecánico que gira, realiza movimientos recíprocos o tiene otras acciones dinámicas entre estos se incluyen los motores, bombas, ventiladores, turbinas, caja de engranes, valeros, compresores, generadores, transportadores, transmisiones de bandas o cadena, máquinas indexadoras y máquinas recíprocas.

Es importante este tipo de diagnóstico ya que la falla mecánica en este caso repercute en los sistemas eléctricos.

**La termografía infrarroja** es un método predictivo de no contacto, preciso, que permite evaluar bajo condiciones de trabajo la operación de los equipos facilitando los diagnósticos, y permitiendo conocer en todo momento la tendencia de los equipos. A través de las imágenes térmicas infrarrojas los problemas pueden ser fácilmente identificados y evaluados, antes de ser detectados visualmente. Esto permite la programación del mantenimiento de componentes y equipos, dándole a los programas de mantenimiento un enfoque predictivo.

Los usos más comunes de la **termografía**, que mide la temperatura superficial mediante la medición de radiación infrarroja, son los de determinar conexiones eléctricas deficientes y puntos peligrosos, desgaste de los refractarios en hornos, y sobrecalentamientos críticos en componentes de calderas y turbinas. Una cámara de rayos infrarrojos muestra variaciones en la temperatura superficial, calibrada para proporcionar la temperatura absoluta o los gradientes de temperatura mediante variaciones en blanco y negro o a color.

Principales aplicaciones: detección de falsos contactos, des-balanceo de cargas, sobrecargas, circuitos abiertos, fugas de energía, así como daños en equipos mecánicos como rodamientos, flechas de carga, acoplamientos, fugas de vapor y calor, obstrucciones y daños en tuberías, etc.

**Ultrasonido**, existen varias técnicas para las pruebas de **ultrasonido**, pero todas ellas se emplean para determinar fallas o anomalías en soldaduras, recubrimientos, tuberías, tubos, estructuras, flechas, etc. Las grietas, huecos, acumulaciones, erosión, corrosión e inclusiones se descubren transmitiendo pulsos u ondas de ultrasonido a través del material y evaluando la marca resultante para determinar la ubicación y severidad de la discontinuidad. Esta técnica también se utiliza para medir la cantidad de flujo.

**Penetrantes**. Los penetrantes electrostáticos y de tintes líquidos se utilizan para detectar grietas y discontinuidades en superficies provocadas en la manufactura por desgaste, fatiga, procedimientos de mantenimiento y reparación general, corrosión o desgaste general por agentes atmosféricos. Se aplica el penetrante y se permite que se introduzca en las anomalías. La superficie se limpia y así el penetrante se revela mediante técnicas visuales, fluorescentes o electrostáticas.

**Análisis de lubricantes**. Cuando se analiza el aceite de una máquina, existen varias técnicas diferentes que pueden aplicarse para determinar la composición química del aceite y buscar materiales extraños en él.

La ferografía y la detección de virutas magnéticas examinan partículas de desgaste con base de hierro en los aceites lubricantes para determinar el tipo y grado de desgaste.

El análisis espectrométrico del aceite mide la presencia y cantidad de contaminantes en el aceite mediante el espectrómetro de misión atómica u absorción es útil para determinar la presencia no solo de hierro, sino también de otros elementos metálicos o no metálicos que pueden estar relacionados con la composición de las diversas partes de la máquina, como baleros, cojinetes, anillos de pistones, etc.

La cromatografía mide los cambios en las propiedades de los lubricantes, incluyendo la viscosidad, punto de inflamación, pH, contenido de agua y fracción insoluble, mediante la absorción y análisis selectivos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Un control de las lecturas obtenidas por cualquiera de las técnicas de diagnóstico mencionadas a través de una **herramienta estadística**, sirve como soporte para la correcta evaluación y predicción de fallas en los diferentes sistemas electromecánicos. Aplicar la herramienta estadística adecuada a cada sistema de diagnóstico o monitoreo ayudará al personal técnico a realizar un correcto mantenimiento predictivo.

### **e) Soporte técnico para una buena ejecución del mantenimiento preventivo.**

Para obtener buenos resultados en los diferentes mantenimientos eléctricos preventivos es necesario que el personal previamente capacitado y autorizado para la ejecución de los trabajos cuente con la información técnica necesaria y adecuada, siendo los más importantes:

#### **1. Diagrama Unifilar**

Por su fácil interpretación, simplicidad, esta se convierte en la información más importante para el análisis y comprensión de la operación de las instalaciones eléctricas.

Todos los elementos que comprende un diagrama Unifilar debieron ser codificados y referenciados a los planos eléctricos, así como identificados con las maquinas accionadas, indicando las cargas en planos y en campo.

El diagrama Unifilar debe estar actualizado para brindar seguridad al personal que lo emplea cuando se hacen las **libranzas** para mantenimiento, sin causar pérdidas en la producción, daños a otros equipos o accidentes al personal.

Un problema frecuente que se encuentra en las industrias es que se tienen modificaciones y ampliaciones que representan incrementos de la carga eléctrica en algunos circuitos e incluso en el total de la carga suministrada, sin tomar en cuenta la capacidad y diseño de la instalación existente. Por lo cual, Mantenimiento debiera revisar y aprobar cualquier incremento de carga, en función del comportamiento del sistema eléctrico en el área en que se incorporará la carga, debiendo determinar las mejoras requeridas, identificadas durante la operación regular.

Así mantenimiento podrá determinar la capacidad remanente, después del aumento de carga y en aquellos casos en que se tienen valores de sobrecarga, determinará el riesgo que representaría operar esta condición inadecuada, en caso de subsistir.

CON  
FALLA DE ORIGEN

### *Bitácoras.*

La documentación de las fallas eléctricas en las instalaciones es esencial para realizar un análisis que comprendería:

- Determinación de las causas de la falla
- Procedimientos para prevenir la falla.

### *Procedimientos.*

Un soporte técnico necesario para realizar un mantenimiento preventivo son los procedimientos claros y detallados de las secuencias y métodos de las acciones preventivas para reducir las fallas, ya que un adecuado y oportuno mantenimiento preventivo pudo haber evitado la falla.

Los principales procedimientos documentados con los que se debe contar son:

- Secuencia para librar los circuitos y el quipo.
- Lista de verificación (check list) de campo
- Secuencia de verificación y pruebas.
- Inventario de materiales y refacciones (stock)

Así también contar con un inventario de refacciones requeridas, determinadas en base a la producción crítica, al tiempo prolongado de entrega debido a la obsolescencia, a la baja demanda, a que es un producto de importación

## 2. Ingeniería.

- Calificación del elemento.

La falla provocada por un componente malo implica que todo el equipo similar debe ser revisado, modificando y/o remplazado tan pronto como sea posible. Se dice que es malo por no cumplir con el requerimiento de operación por:

- a. Mal diseño
- b. Calidad deficiente
- c. Selección inadecuada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Personal calificado

Una empresa debe contar con respaldo eficiente y oportuno para el desarrollo del mantenimiento del equipo ya sea con:

Recursos humanos propios (interno)

Respaldo externo (consultores e instaladores).

Estas dos alternativas no son excluyentes entre sí.

### 3. Equipo de prueba.

En función del tipo, complejidad y tamaño de la instalación eléctrica se definirían los equipos de prueba requeridos, con los cuales se debe contar, generalmente se consideran los siguientes:

- Tester (probador de existencia de tensión).
- Cables de conexión.
- Multímetro.
- Amperímetro de gancho.
- Voltímetro
- Megger.
- Garrochas falseadoras
- Ducter
- Medidores de factor de potencia en aislamientos
- TTR
- Probador de rigidez dieléctrica del aceite
- Termómetro.

Por el alto costo y la baja frecuencia en su uso de algunos equipos de medición y prueba, en ocasiones conviene la contratación de empresas que cuenten con los equipos y la experiencia necesaria para obtener un adecuado diagnóstico, que proporcione las bases para la toma de decisiones de reemplazo total, rehabilitación o mantenimiento menor.

#### 4. Capacitación

Contar con personal capacitado es fundamental para cualquier empresa que desee sobresalir en sus productos y en su organización, por eso no se debe ahorrar (ahorro mal entendido) en la capacitación, sobre todo en aspectos tan importantes como es la seguridad que presenta el conocimiento de las instalaciones eléctricas.

Para desarrollar con seguridad las actividades del mantenimiento eléctrico preventivo se debe contar con una lista del personal capacitado, autorizado e idóneo para:

- Cerrar los interruptores (fundamentalmente alimentadores y los principales equipos).
- Para casos de emergencia, en general es conveniente abrir los circuitos, lo que puede efectuar cualquier persona.

#### 5. Medidas de seguridad.

Los trabajos con electricidad por su peligrosidad para el ser humano, se recomienda realizarlos mediante brigadas de dos trabajadores ("parejas") principalmente en trabajos de altura (más de tres metros). Así en caso de accidente a uno de ellos, el otro estará en posibilidad de dar aviso y proceder a iniciar los primeros auxilios, siempre y cuando haya sido capacitado al respecto, particularmente en resucitación cardio pulmonar, para el caso de electrocución. Trabajar solo con electricidad impide verificar las propias acciones y no advertir cualquier acto inseguro que se pudiera cometer.

Las principales medidas de seguridad que se deben tener son:

- Utilizar el equipo de seguridad acorde al tipo de trabajo a realizar: guantes para alta tensión, mangas o chaquetas protectoras de arco, botas aislantes, cascos, barreras para la cara, pertigas.
- Utilizar cartelones de aviso de: equipo peligroso, uso de procedimientos de cerradura ("lock out"), aterrizaje de equipo.
- Emplear materiales seguros
- Disponer de protecciones eléctricas confiables.

**f) Soporte técnico para una buena ejecución del mantenimiento correctivo.**

El mantenimiento correctivo (MC), es un servicio inesperado y en ocasiones extremadamente "urgente", que se presenta en ocasiones con un grado de dificultad mayor a lo acostumbrado como servicio normal. Por lo que para este tipo de mantenimiento será de vital importancia contar con el personal capacitado, con conocimientos y mucha experiencia.

El personal técnico de mantenimiento deberá contar con la información necesaria y suficiente para realizar las "reparaciones" y/o modificaciones a las instalaciones y equipos. Contar con los Procedimientos y reglamentaciones para la ejecución segura de los mantenimientos será indispensables para el personal técnico.

El soporte de técnicos especializados externos es igualmente importante y en ocasiones convenientes cuando se cuenta con pólizas de mantenimiento de los equipos más sofisticados ó especializados que cuentan con partes de repuesto difíciles de tener en inventario, debido al costo alto o al tiempo de entrega largo.

Al igual que el MP, los soportes técnicos representan una base esencial para la solución de un MC.

1. Diagramas unifilares y eléctricos del equipo o de la instalación.
2. Bitácoras de fallas
3. Equipos de pruebas y medición.
4. Personal capacitado.
5. Medidas y equipo de seguridad.
6. Ingeniería como respaldo interno o externo.
7. Procedimientos documentados y acatados por el personal, como son los ya mencionados:
  - a. Secuencia para librar circuitos
  - b. Secuencia de verificación y pruebas
  - c. Inventarios de materiales y refacciones

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## PRUEBAS Y MEDICIONES

### a) Principales pruebas y mediciones a un sistema eléctrico

En general todo equipo eléctrico es probado en fabrica, como control de calidad interno para garantizar éste al usuario. Comúnmente es necesario desarmar parte del equipo para su transportación al sitio en que se instalará, donde las condiciones de los aislamientos cambian a las definidas en fabrica, por lo que se hace necesario efectuar pruebas en sitio.

1. En *Las pruebas en sitio* todo el equipo deberá ser revisado al llegar al sitio de su instalación y ahí se podrán realizar las pruebas necesarias, fundamentalmente a los aislamientos, a los cuales les afecta en forma muy importante la humedad; en algunos casos los aislamientos no deben ser expuestos directamente al ambiente. Conforme se ensamble el equipo se pueden realizar las pruebas por componente.
2. La puesta en marcha podrá realizarse una vez ensamblado y conectado el equipo, por primera vez o después de un mantenimiento como ya se ha mencionado en capítulo 3 de Operación.

También es importante verificar que las características del *suministro* de energía eléctrica a la planta sean los adecuados:

- Voltaje ( valor y regulación)
- Balanceo de fases.
- Secuencia de fases (esto es asegurarse de la rotación de los motores)

Es importante recordar que todos los valores obtenidos de las pruebas de puesta en servicio del equipo, sean registrados y entregados al departamento de mantenimiento y/o ingeniería de planta como elementos de referencia, para ser elemento de comparación con los resultados que se obtengan en las pruebas periódicas, y poder así detectar cualquier posible falla antes de que se presente y pueda ser corregida oportunamente. El mejor diagnostico para evitar fallas imprevistas en los equipos es el análisis de los resultados de las pruebas. Las pruebas revelan los riesgos de la instalación y del sistema.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

3. La continuidad es vital, ya que todos los equipos e instalaciones deben sujetarse a la prueba de continuidad eléctrica, en la que se comprueban y/o evitan.

- a) Conexión
- b) Corto circuito
- c) Conexión equivocada.
- d) Circuito abierto franco o por falso contacto.

4. Medición de Tensión adecuada.

Caidas de tensión dentro de los límites, de esta forma se verifica la capacidad adecuada de los conductores y la resistencia del circuito.

5. Temperatura. Se mide la temperatura de los elementos del circuito para asegurarse que no existe:

- a) Un bloqueo mecánico en la operación como es el motor trabado.
- b) Capacidad inadecuada de los conductores.
- c) Falta de disipación adecuada del calor.
- d) Falsos contactos.
- e) Ubicación incorrecta del equipo o instalación.

Por otro lado la resistencia del *aislamiento* en la instalación deberá conservarse dentro de los límites adecuados de acuerdo a sus características. Por lo tanto algunas de las principales pruebas a equipo eléctrico son las siguientes

#### **Pruebas de aislamiento**

El propósito de un aislamiento en un circuito eléctrico es confinar el campo eléctrico y la corriente en áreas y trayectorias previamente establecidas. Todo aislamiento tiene como características principales las siguientes.

Capacitancia del aislamiento. El valor de un buen material dieléctrico tiende a cero, en función de su calidad.

- a. Resistencia del aislamiento. El valor de un material dieléctrico tiende a infinito, en función de su calidad.
- b. Rigidez dieléctrica. Es la capacidad del material para soportar la tensión eléctrica, sin que se presente la ruptura dieléctrica, o de otra forma es la tensión eléctrica que soporta un material por unidad de longitud en el instante en que se presenta la ruptura.

- c. Resistencia eléctrica. Es la resistencia que ofrece un material al paso de la corriente, cuando se le aplica una diferencia de potencial.
- d. Perdidas dieléctricas. Son las pérdidas producidas por la corriente que circula a través del dieléctrico al aplicar una diferencia de potencial, que se transforma en calor.
- e. *El megger* es el equipo para medir la resistencia de aislamiento, la cual se define como la resistencia que ofrece un aislamiento al aplicarle una tensión de CD, durante un tiempo determinado (como referencias se utilizan los valores de 1 a 10 min.).

Factores que afectan la resistencia del aislamiento principalmente son:

1. Contaminación. Originada por partículas de carbón, polvo o aceite depositados en la superficie. El polvo sobre la superficie aislante, regularmente no es conductor cuando esta seco. Pero cuando se expone a la humedad se vuelve parcialmente conductor y baja la resistencia de aislamiento, por lo que se deberá eliminar toda materia extraña que este depositada sobre el mismo antes de efectuar la prueba.
2. Humedad. Influye en los materiales utilizados en los aislamientos como son aceite, papel, cartón y algunas cintas, por ser materiales higroscópicos capaces de absorber humedad, ocasionando reducción de resistencia.
3. Temperatura. La resistencia de aislamiento, varía inversamente con la temperatura en la mayoría de los materiales aislantes. Normalmente todas las pruebas de resistencia de aislamiento, se refieren a una temperatura estándar llamada temperatura base. Las base recomendadas son:

Maquinas rotatorias	40 °C
Transformadores	2 °C
Cables	15.6 °C

Al realizar pruebas de resistencia de aislamiento, es muy importante la medición de la temperatura en los equipos, ya sea por medio de termopares o detectores de temperatura. La medición de resistencia de aislamiento es una prueba de potencial y debe restringirse a valores apropiados, dependiendo de la tensión nominal de operación del equipo que se va a probar y de las condiciones en que se encuentre su aislamiento, ya que si la tensión de prueba es alta se puede provocar *fatiga* en el aislamiento. Los potenciales de prueba mas utilizados son tensiones de 500 a 5000 VCD. En la tabla A-1 del anexo D se presentan los valores de prueba, los cuales brindan un margen seguro, ya que el equipo se fabrica con un grado de seguridad considerable.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

El tiempo de duración de la prueba es importante principalmente en las grandes maquinas rotatorias y transformadores de potencia con aislamientos en buenas condiciones. Es por eso que es muy importante seleccionar el método de medición, los principales métodos de medición de resistencia de aislamiento se indican en la tabla A-2 del anexo D.

### **Pruebas de resistencia de tierras**

Resistencias a tierra de diferentes tipos de instalaciones:

- Electrodo artificiales. No debe ser mayor a 25 ohms en las condiciones más desfavorables. Se recomienda probar la resistencia a tierra de los electrodos al instalarse y repetir la prueba periódicamente.
- Sistemas de tuberías metálicas continua y subterránea para la conducción de agua, tiene en general una resistencia a tierra menor de 3 ohms.
- Estructura de edificios. Tiene en general una resistencia a tierra considerablemente menor de 25 ohms.
- Subestaciones. La resistencia eléctrica total del sistema de tierras deberá conservar el valor más bajo posible (los valores aceptable van desde 10 oms hasta 1 ohm)

Para medir la resistencia del sistema de tierras, el equipo por su operación puede ser:

- Manual o de manivela.
- Electrónico (de baterías)

### **Probador de resistencia de contactos "Ducter".**

La finalidad del ducter es poder medir bajas resistencias por el método de caída de tensión con CD. Tiene varios usos como medición de juntas de rieles, juntas soldadas, resistencias de contacto, micro resistencias, etc.

Para la medición de resistencias de contacto en interruptores y cuchillas desconectoras, tiene cinco rangos para medición desde 20 ohms hasta 2 micro ohms, y es variable su valor con respecto a la marca o tipo.

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

### **Medición de la relación de transformación.**

El analizador "TTR" está diseñado para determinar con exactitud la relación vueltas de los devanados de los transformadores de tipo convencional, de potencia y distribución, así como de los auto transformadores, en los que la relación de las tensiones nominales de placa sea la misma que la relación real de vueltas..

### **Medición de la rigidez dieléctrica del aceite.**

La rigidez dieléctrica es una de las características principales del aceite aislante; se define como el máximo gradiente de potencial que puede soportar el aceite aislante, sin que se produzca la descarga disruptiva. En la práctica se mide la tensión de ruptura dieléctrica, que se define como el gradiente de potencial, en el cual se produce la descarga disruptiva en el aceite aislante.

### **b) El uso de un analizador de redes eléctricas como herramienta del mantenimiento predictivo eléctrico.**

El uso de un analizador de redes como anteriormente se mencionó, tiene como objetivo el de monitorear la red eléctrica y proporcionar la medición de los principales parámetros eléctricos, análisis de calidad del suministro; por lo que su interpretación será fundamental en la predicción y control de posibles fallas en el sistema eléctrico.

La recolección de datos a través de un analizador de redes permite facilitar el estudio del comportamiento del sistema eléctrico por medio de graficas u otra herramienta estadística.

Definir las variables y los valores críticos del sistema ayudarán a la protección de los equipos que estén operando dentro de la red, así como hacer un uso eficiente de la energía.

### **c) Controles para un buen mantenimiento predictivo y preventivo**

El control del mantenimiento significa coordinar la demanda del mantenimiento y los recursos disponibles para alcanzar un nivel deseado de eficacia y eficiencia.

Un sistema eficaz de operación y control debe incorporar todas las siguientes características:

1. Demanda de mantenimiento (es decir, que trabajo tiene que hacerse y cuando)
2. Recursos de mantenimiento (es decir, quién hará el trabajo y qué materiales y herramientas se necesitan)
3. Procedimientos y medios para coordinar, programar, despachar y ejecutar el trabajo.

4. Normas de rendimiento y calidad (es decir, cuánto tiempo se requerirá para hacer un trabajo y las especificaciones aceptables)
5. Retroalimentación, monitoreo y control (es decir, el sistema debe generar información y reportes para el control del costo de calidad y la condición de la planta; también es esencial un mecanismo de recopilación de datos y un seguimiento regular para la retroalimentación y el control)

Un analizador de redes es una buena herramienta para la retroalimentación de datos para el control y monitoreo del sistema eléctrico.

El sistema de ordenes de trabajo es el vehículo para planear y controlar el trabajo de mantenimiento. También proporciona la información necesaria para vigilar e informar sobre el trabajo de mantenimiento.

El control del mantenimiento comprende las siguientes tres importantes funciones:

- a. Coordinación y planeación de las ordenes de trabajo
- b. Procedimiento de las ordenes de trabajo
- c. Retroalimentación de información y acción correctiva

Posteriormente, esta información obtenida se analiza y se formula el curso de acción apropiado. Este curso de acción y las decisiones correspondientes están encaminados a mejorar lo siguiente:

1. Control del trabajo
2. Control de costos
3. Control de calidad
4. Control de la condición de la planta

El control del trabajo vigila el estado del trabajo y el trabajo realizado para investigar si éste se ha efectuado de acuerdo con las normas (de calidad y de tiempo)

En control de costos, el costo de mantenimiento comprende:

- a. El costo directo del mantenimiento, que es el costo de la mano de obra, las refacciones, los materiales, el equipo y las herramientas.
- b. Costo de paro de las operaciones debido a la falla.
- c. Costo de calidad debido a que un producto esta fuera de las especificaciones como resultado de defectos en la máquina y /o instalación.

- d. Costo de redundancia debido a equipos de respaldo.
- e. Costo de deterioro del equipo por la falta de mantenimiento adecuado.
- f. Costo de mantenimiento excesivo.

#### **d) Procedimientos y reglamentaciones para la ejecución segura de los mantenimientos a equipos eléctricos.**

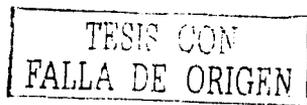
Los trabajos con electricidad por su peligrosidad para el ser humano, se recomienda realizarlos mediante brigadas de dos trabajadores ("parejas") principalmente en trabajos de altura (más de tres metros). Así en caso de accidente a uno de ellos, el otro estará en posibilidad de dar aviso y proceder a iniciar los primeros auxilios, siempre y cuando haya sido capacitado al respecto, particularmente en resucitación cardio pulmonar, para el caso de electrocución. Trabajar solo con electricidad impide verificar las propias acciones y no advertir cualquier acto inseguro que se pudiera cometer.

Es así como legalmente se han constituido una variedad de procedimientos reglamentaciones y normas alrededor de los sistemas eléctricos con la finalidad de evitar accidentes. Por lo tanto encontraremos por ejemplo reglamentos de construcciones locales, estatales o federales que obliguen al constructor a acatar medidas que garanticen la seguridad de los trabajadores, usuarios y posteriormente a los encargados de mantenimiento.

Otro ejemplo son las normas técnicas para instalaciones eléctricas como lo es la NOM-001-1999. También encontraremos procedimientos de operación y mantenimiento en industrias privadas o paraestatales en donde la base sigue siendo la seguridad del personal y del equipo. En estos procedimientos encontraremos que todos los trabajos de mantenimiento, ampliaciones, modificaciones del sistema eléctrico en áreas de suministro, protección o distribución deberán coordinarse a través de **licencias o permisos**<sup>2</sup> a fin de informar a las áreas afectadas por los trabajos ó la de tener la mejor forma de disponer de equipos alternos, así como no sobrecargar los enlaces y transformadores que se afectan al *librar* el equipo en el que se desea trabajar. Todos los trabajos que afecten las características del sistema eléctrico, deberán efectuarse previa **licencia**, aún cuando el equipo este desconectado, pues se considera que está disponible (listo para entrar en servicio en cualquier momento).

---

<sup>2</sup> Conceptos vistos en capítulo 3 "Operación".



Todos estos procedimientos o reglamentaciones que se han desarrollado por dependencias o empresas son para respetarse y llevarse a cabo, ya que su única finalidad son la de garantizar la ejecución segura de los trabajos de mantenimiento.

## 4.1 MANTENIMIENTO A EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN

### e) Mantenimiento A Subestaciones.

La mayoría de las subestaciones tienen una serie de mecanismos de bloqueo que imposibilitan la incorrecta secuencia de operación, por lo que es importante entender el funcionamiento de los mismos, antes de intentar operarla. Todos los desconectadores de operación con o sin carga, salen de fábrica en la posición de cerrado, esto con la finalidad de que no sufran desajustes por vibraciones, durante el traslado de la subestación.

Por ejemplo el seccionador principal no podrá ser abierta si la cuchilla de paso de la que depende el seccionador esta cerrada. Lo anterior significa que se podrá abrir la puerta únicamente después de haber abierto la cuchilla de paso de operación sin carga, que abrirá sólo si el seccionador principal de operación con carga esta abierto.

Además de seguir la secuencia de operación mencionada. Si se requiere abrir la puerta de un seccionador principal con cuchilla de puesta a tierra, se tendrá que seguir con los siguientes pasos:

- Abrir el seccionador
- Abrir la cuchilla de paso ( no abrirá en caso de que haya un seccionador principal adicional al de cuestión en la posición de cerrado).
- Cerrar la cuchilla de puesta a tierra (aterrizaje del sistema).
- Abrir la puerta

Para la operación de los diferentes mecanismos de desconectadores se deberá seguir las instrucciones del fabricante de subestaciones para evitar cualquier incidente que pueda afectar el equipo o la seguridad del personal.

Para dar **mantenimiento preventivo** y que la subestación trabaje en las mejores condiciones posibles, se recomienda efectuar las siguientes acciones al menos 2 veces al año.

1. Verificar que el equipo no este energizado.
2. Siga las reglas básicas de seguridad y utilice los accesorios requeridos (tarimas, guantes, guantes, cascos, cables para conexión a tierra, etc.).

3. Abra el aparato. Limpie las superficies de contacto que se encuentran sucias y aplique parafina.
4. Solamente aplique parafina como lubricante sobre las superficies de contacto. Nunca utilice grasa orgánica, aceite o algún tipo de lubricante industrial.
5. Lubrique ligeramente las partes móviles del mecanismo de operación (mecanismo operador, puntos de giro flecha de accionamiento resorte).
6. En el caso de desconectores o de cuchilla de paso de operación con carga, verificar que las cámaras de extinción estén alineadas entre sí y con respecto a los ganchos de arqueo.
7. En el caso de desconectores o de cuchilla de paso de operación con carga, compruebe que las barras o cables conectados a las terminales del desconector o cuchilla de paso no ejerzan o apliquen fuerza alguna, ya que esto puede provocar desalineamiento de las cámaras con respecto a los ganchos o bien desajustes que entorpezcan el buen funcionamiento del equipo.
8. En el caso de desconectores de operación con carga, verificar que los ganchos de arqueo se encuentren alineados con la respectiva cámara. Se hará necesario enderezarlos si se requiere.
9. En caso de requerir ajustes menores para su operación en conjunto con el mecanismo operador (disco, palanca, manivela, etc.) realice siempre los ajustes en la varilla o tubo de transmisión del mecanismo operador. Nunca intente ajustar los aisladores de accionamiento del desconector, ya que éstos se encuentran perfectamente calibrados de fábrica.
10. Realice varias operaciones de apertura y cierre del equipo a través del mecanismo operador (disco, palanca, manivela, etc.)
11. En el caso de desconectores de operación con carga, cerciórese presionando con ayuda de una pértiga o la mano, de que en la posición de cerrado, los ganchos de arqueo hayan entrado hasta su tope en la cámara de extinción de arco.
12. No opere el aparato sin haber aplicado antes parafina como lubricante sobre las superficies de contacto.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **f) Mantenimiento A Interruptores.**

El mantenimiento a los interruptores, al igual que los desconectadores se debe poner especial atención en el mecanismo de cierre, ya que usualmente es el primero en dañarse y ya no permite su accionamiento. En el caso de interruptores de potencia, los mecanismos de energía almacenada rotatorio causan problemas debido al mal uso del operador de mantenimiento, que en ocasiones equivoca la secuencia del cierre del interruptor o llega a forzar el mecanismo.

Los interruptores, ya sean de potencia o de caja moldeada, tienen poca necesidad de mantenimiento cuando su operación es normal, es decir, bajo un ambiente no corrosivo, húmedo o con polvo circundante en los tableros. Limpiar con aire comprimido a baja presión y filtrado es suficiente para limpiar el interruptor sin desmontarlo.

Un programa de mantenimiento preventivo a interruptores deberá considerar el tipo de ambiente que rodea al tablero para establecer la frecuencia de limpieza y los tipos de solventes dieléctricos a utilizar, así como la frecuencia de operación de los interruptores, es decir, cuantas veces se cierra y abre el interruptor y sobre todo cuantas veces se ha disparado por sobrecargas o cortos circuitos para así evaluar un reemplazo.

Una prueba que debe realizarse a los interruptores es la de resistencia de contactos (micro resistencias) mediante el Dúcter.

Cuando el interruptor presenta sobrecalentamientos, es necesario revisar los bornes de conexión, apretar si es necesario y si persiste el calentamiento evaluar la capacidad del interruptor para la carga alimentada.

Los interruptores electromagnéticos por su complejidad en los mecanismos de cierre y disparo, deberán ser tratados por personal especializado.

Utilizar el interruptor con el potencial adecuado, en el marco del tablero adecuado y con la capacidad interruptiva adecuada es un factor que evitará fallas y problemas de mantenimiento.

## **g) Mantenimiento A Transformadores.**

Conociendo la importancia de los transformadores de potencia en la industria debemos de poner mucha atención en el tipo y la frecuencia de mantenimiento que debemos realizar en el transformador, por que una falla o un paro por mantenimiento mal programado puede ocasionar perdidas costosas a una empresa o inclusive daños físicos a los equipos. Por lo que se recomienda las siguientes actividades:

1. Revisión de:
  - a. Características eléctricas del suministro.
  - b. Especificaciones generales del transformador.
2. Relación de transformación.
3. Medición y prueba de:
  - a. Resistencia de aislamiento
  - b. Factor de potencia de aislamiento
  - c. Resistencia óhmica
4. Revisión de:
  - a. Termómetros.
  - b. Equipos y protecciones en general.
5. Verificar el nivel de aceite.
6. Verificar posibles fugas de aceite.
7. Verificar el sellado y estado de las juntas.
8. Limpiar el tanque y las boquillas (bushings)
9. Apriete general de tornillería y conexiones.
10. Verificar la ventilación del local en que se aloja el transformador
11. Verificar que no halla trozos de carbón, ni indicios de gases o humos.
12. Verificar las características del aceite mediante una muestra.

Las fallas más comunes y las causas y soluciones para cada una de ellas son las siguientes:

**1. Fallas en el aceite.**

Causa: Humedad.

Originada por el aire y el calor que puede absorber el transformador en su proceso de trabajo.

- a) Fallas en las juntas.
- b) Fugas en general.
- c) Descomposición propia del aceite y los aislamientos.

**Solución:** Analicé las características del aceite periódicamente cuidando que conserve las siguientes condiciones:

- a) Numero de neutralización 0.04
- b) Tensión Interfacial 36 diners /cm máx.
- c) Peso específico a 20°C 0.844
- d) Índice de viscosidad 88
- e) % carbón rambsbottom 0.084
- f) Resistencia dieléctrica 26 Kv
- g) Apariencia clara y brillante
- h) Factor de potencia 0.1%
- i) Cantidad de humedad 35 ppm

Un aceite contaminado presenta los siguientes valores:

- Contenido de humedad 80 ppm
- Rigidez dieléctrica 22 Kv

Antes de cambiar el aceite del transformador se deberá limpiar el tanque.

- Se deberá llenar al vacío.

## **2. Falla en el quipo auxiliar.**

**Causa:** El equipo auxiliar de protección y medición falla.

**Solución:** Inspeccione los equipos de protección y medición constantemente, verificando su estado, número de operaciones de interruptores.

Verificar:

- a) Instrumentos de medición
- b) Condiciones nominales del transformador
- c) Tornillería de las terminales y conexiones
- d) Estado de aisladores o bushings
- e) Tanque. Debe estar: Limpio, sin fugas y sin señales de "abombamiento"

### 3. Fallas en los devanados.

Causa 1: Falsos contactos, estos deterioran:

- a) Aislamiento y
- b) Contaminan el aceite, produciendo: gasificación, carbono y abombamiento del tanque del transformador.

Esta falla se manifiesta por:

- a) Presencia de carbón en las terminales
- b) Terminales carcomidas
- c) Se adquiere una coloración intensa en el aislamiento y el conductor.

Solución 1: Apriete. Los falsos contactos se originan por terminales flojas. Inspeccionar periódicamente.

Causa 2: Corto circuito externo.

Esta falla es producida por un corto externo al transformador y dependerá de la intensidad y su tiempo de duración. La corriente que circula durante el corto circuito se traduce en esfuerzos mecánicos que distorsionan los devanados, e incluso los mueve de su lugar.

Si el corto circuito es intenso y de una larga duración, su efecto se reflejara en:

- Degradación del aceite,
- Sobrepresión,
- Arqueos y
- "abombamientos" en el tanque del transformador.

**Solución 2:** Después de una falla de este tipo y teniendo la certeza de que esta se ha eliminado, se deberá revisar exhaustivamente el transformador para determinar si está o no dañado. Deberá revisar las protecciones del transformador, revisando la capacidad nominal del transformador.

**Causa 3. Corto circuito interno:** Este tipo de fallas es el resultado de aislamiento que pierde sus características por:

- Exceso de humedad.
- Sobre calentamientos continuos
- Alteraciones en el voltaje, etc.

**Solución 3:** En estas fallas el devanado se deteriora solo en el punto de falla y se detecta por:

- Degradación que sufre el aceite
- Ionización que produce el corto interno
- Deposito de carbono en el aceite y
- Posibles abombamientos en el tanque

Esta falla tarda en poner fuera de servicio al transformador y se deberá detectar en los análisis que se realicen en las muestras del aceite del transformador.

**Causa 4: Sobretensiones transitorias.** Estas son producidas generalmente por:

- Falsas operaciones de switcheo.
- Puesta en servicio o desconexión de bancos de capacitores

Los sobrevoltajes que se presentan pueden ser del doble del voltaje nominal. El daño que causa el transformador es a largo plazo ya que se presenta en algunas ocasiones como un circuito interno o entre espiras.

**Solución 4:** Si el aislamiento de las bobinas del transformador se encuentran resentido o deteriorado la falla se puede manifestar en forma de "disparo de bala expansiva".

La ionización generada contamina el aceite, lo gasifica y puede ocasionar el abombamiento en el tanque del transformador.

Al presentarse este tipo de fallas, el transformador se debe poner fuera de servicio, extraer el aceite al transformador y someterlo a un mantenimiento exhaustivo.

**Causa 5: Sobrecargas.** Las sobrecargas continuas ocasionan en el transformador un envejecimiento prematuro que destruye el aislamiento presentándose principalmente corto circuito interno con las consecuentes fallas en el aceite, mencionadas en las fallas por corto circuito externo.

**Solución 5:** Al igual que la falla por corto circuito externo se deberá someter a análisis el aceite del transformador.

Se deberá tomar en cuenta la carga conectada al transformador, que no deberá ser mayor que la capacidad nominal del mismo, para evitar la falla por sobrecarga.

**Causa 6: Sobre tensiones por descargas atmosféricas.** En caso de que los apartarrayos estén deteriorados y la falla pasa al transformador y rebasa el nivel del impulso, el devanado fallará por el esfuerzo de carga a que fue sometido.

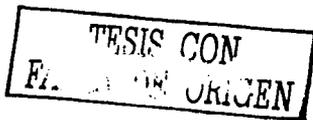
La falla se manifiesta por las bobinas deterioradas cercanas a los herrajes del transformador.

**Solución 6:** Revisar en forma periódica los apartarrayos y sus conexiones y terminales si la falla se presenta en el transformador, se deberá someter a análisis de aceite del mismo, así como las inspecciones y pruebas de aislamiento de los devanados, boquillas, etc.

#### **Recomendaciones:**

Las pruebas básicas para realizar en un transformador son:

1. Relación de transformación.
2. Resistencia a aislamiento
3. Factor de potencia del aislamiento
4. Resistencia óhmica de los devanados
5. Verificación del estado del tanque, juntas, sellos, etc.
6. Limpieza general del tanque, conexiones, bushings, etc.
7. Apriete de conexiones
8. Verificar el nivel de aceite
9. Verificar si existe: Depósitos de carbón, desprendimientos de gases o humos en terminales.



#### **4. Consumo excesivo de energía eléctrica.**

La sobrecapacidad del transformador representa baja eficiencia y bajo factor de potencia.

En función de la carga se debe calcular el consumo.

**Causa 1: Sobrecapacidad del transformador ( error de proyecto)**

**Solución 1: Sustituya el transformador.**

Quando se tengan transformadores en paralelas, defina un criterio de conexión, acorde con la operación.

**Solución 2: Revise la carga**

**Solución 3. Revise la operación**

#### **h) Mantenimiento A Generadores.**

El sistema de suministro de potencia de emergencia, abarca una amplia variedad de equipos, esto es desde una simple batería auto contenida para alumbrado hasta un sistema múltiple complejo con motores y generadores de alta ingeniería con capacidades de varios mega-watts. En el primer caso se utiliza un dispositivo de energía almacenada, una batería, como fuente de potencia, en tanto en el segundo caso se emplea equipo rotatorio, conjuntos de motor-generador como fuente de potencia.

Quando falla la fuente de potencia normal, los sistemas de suministro de potencia de emergencia (o también conocidos como plantas de emergencia), proporcionarán la potencia eléctrica a cargas específicas seleccionadas. El equipo que comprende el sistema está determinado principalmente por las características y requisitos de las cargas divididas. Dos grupos de equipo, la fuente de potencia de emergencia y el equipo de transferencia eléctrica, subdividen el sistema con base en las funciones. Aun cuando los dos grupos de equipos tienen funciones independientes, los grupos están interrelacionados y ambos sirven al propósito común del sistema completo.

La función de este equipo es generar potencia eléctrica, el conjunto motor-generador es la parte principal del grupo. El generador está acoplado permanentemente para ser impulsado por un motor primario que puede ser un *motor diesel, de gasolina, de gas o una turbina de gas*. En este grupo está incluido un suministro independiente de combustible con equipo de almacenamiento y transferencia y el grupo motor-generador con equipo de soporte, como regulador de voltaje, excitador, sistema de enfriamiento, ventilación sistema de escape y control del motor con medidores y alarmas. Por otro lado la función del equipo de transferencia o conmutación eléctrica es interconectar la potencia del generador con el equipo que la utiliza. Los equipos de transferencia son automáticos o manuales. El conmutador de transferencia está bloqueado para evitar el cierre simultáneo de las fuentes de potencia normal y de emergencia. Los conmutadores automáticos de transferencia también supervisan ambas fuentes e inician el arranque del sistema. Otro componente del equipo de transferencia eléctrica incluye interruptores de derivación si se necesitan, protección contra sobre corriente, y en el caso de operación en paralelo de múltiples motor-generadores, tableros de conmutación en paralelo y de totalización.

Cuando la planta de emergencia está instalada e interconectada, las fallas del sistema suelen ocurrir por falta de mantenimiento. Ya sea que el arranque del sistema sea manual o automático, la prevención depende de un programa de mantenimiento, del ejercicio del sistema y de la competencia del personal de mantenimiento.

El personal que establece el programa de mantenimiento debe preparar una lista de tareas de mantenimiento que hay que llevar a cabo para la planta de emergencia. A continuación, debe establecerse un medio para documentar la historia del mantenimiento y los servicios realizados al sistema de suministro de potencia de emergencia. Si bien el personal de mantenimiento prepara la lista de mantenimiento deberá incluir las recomendaciones del fabricante en los artículos del mantenimiento y los programas. Debido a la naturaleza infrecuente de la operación de estos sistemas, algunos artículos de mantenimiento requieren intervalos de servicio en horas de operación, en tanto que otros artículos requieren intervalos de días, semanas, meses o años. Algunos artículos requieren ambos. Por lo que se recomienda que el sistema de suministro de potencia de emergencia debe tener un medidor de tiempo de actuación para indicar las **horas de operación**.

La mayoría de los motores que se dejan ociosos por períodos largos de tiempo tienen dificultades en el arranque. Por esta misma razón el sistema de suministro de potencia de emergencia necesita un programa regular de trabajo para facilitar su operación. El programa puede utilizar ya sea una característica automática de ejercicio o un conmutador de transferencia de control o prueba manualmente iniciada.

El uso frecuente del sistema beneficia especialmente al conjunto generador ya que causa que el agua se evapore del sistema de lubricación y de los devanados del generador, y causa que las partes internas del motor se cubra con una película del motor.

El ejercicio con carga, si es posible al menos durante 30 minutos, causa la evaporación del agua en el sistema de lubricación, minimiza la acumulación de carbón en el motor y evita que se ensucie el sistema de escape. El ejercicio del sistema debe realizarse cuando menos una vez por semana

Un arranque automático puede tener puntos de ajuste para el número y longitud de los períodos de ejercicio sin atención. Las pruebas iniciadas manualmente dan los mismos beneficios al sistema que un arranque automático, excepto que requiere de la presencia de personal de mantenimiento

### **i) Mantenimiento A Tableros.**

El mantenimiento de los tableros de distribución comprende las barras, conductores, dispositivos de protección, dispositivos de interrupción, dispositivos de control, alambrados de interconexión, circuitos de interrupción, accesorios, estructuras de soporte y envolventes.

Debe llevarse a cabo un plan de mantenimiento preventivo para todos los dispositivos de distribución de la planta. El mantenimiento normal incluye la verificación y el apretado de las conexiones de cables, la prueba de la operación de interruptores, la verificación de relevadores y la calibración de equipos de medición, entre otros.

Una vez instalado el tablero de distribución con su carga normal antes de una inspección de rutina, deberá probarse en el campo tocando la superficie del frente muerto de los interruptores termomagnético, interruptores de navaja, cubiertas interiores, puertas y laterales del gabinete con la palma de la mano. Si la temperatura de estas partes no le permite mantener el contacto por lo menos tres segundos, esto puede ser la indicación de un problema que requiere investigación inmediata.

Se debe tener Precaución antes ejecutar cualquiera de las siguientes operaciones desenergicese el tablero y verifíquese en las líneas alimentadoras con un voltímetro previendo la posibilidad de que el tablero no haya sido totalmente desenergizado.

1. Inspeccione el tablero una vez al año o después que haya ocurrido una falla eléctrica severa.
  - a) Búsquese cualquier rastro de condensación provocada por agua filtrada o goteo que haya penetrado al tablero. La condensación a las tuberías o fuentes de goteo es una causa común de fallas en los tableros.
  - b) Si hay acumulación de polvo y mugre límpiense el tablero usando una brocha, un absorbedor neumático o trapo limpio libre de pelusa. Evite soplar impurezas a los interruptores electromagnéticos o cualquier otro equipo.
  - c) Inspeccione cuidadosamente todas las conexiones. Verifique el apriete de los tronillos, etc. Para evitar calentamiento o que los mismos se encuentren flojos reemplace o limpie cualquier parte donde las superficies de contacto muestren

corrosión o marcas de coloración intensas. Examine cuidadosamente los portafusibles, si hay algún indicio de sobrecalentamiento o de falta de apriete, verifique la presión de los resortes, apriete tortillería, etc., remplace los portafusibles si la presión de los resortes es menor, comparada con otros idénticos que muestren estar en buen estado en el tablero. Apriete los fusibles de tapón. Busque indicios de deterioro en el aislamiento del material o fusión del compuesto sellador, remplace tales partes aislantes, así como los componentes en donde el compuesto sellador se haya fundido. Asegurarse que la causa del sobrecalentamiento ha sido corregida.

- d) Verifique la operación mecánica de todos los componentes de la siguiente forma: ejercitando los mecanismos de operación de los interruptores, así como el mecanismos externos de los interruptores termo-magnéticos, asegurarse de que estos en forma rápida y segura abran o cierren los contactos totalmente. Verifique la integridad de todos los bloqueos mecánicos y eléctricos, así como los mecanismos cerrados o bloqueados con candados. También, donde sea posible verifique todos los dispositivos en busca de partes faltantes o rotas, tensión apropiada de los resortes, libertad de movimiento, oxido o corrosión, impurezas y uso excesivo; ajuste, limpie, lubrique y remplace las partes que lo requiera.
  - e) Examinar todos los supresores de arco fácilmente accesibles y partes aislantes en busca de grietas o roturas por salpicaduras provocadas por los arcos eléctricos, aceite y depósitos de hollín, pero es recomendable reemplazar las partes, si una porción apreciable de material se ha quemado o si el material se ha carbonizado. Limpie y alise los contactos de cobre navajas y mordazas cuando la inspección indique la necesidad de hacerlo. Evítese la remoción de metal en la superficie de contactos plateados. Limpie la superficie de contactos para remover óxido negro usando papel fino de óxido de aluminio y remueva la menor cantidad posible de material. Elimine las partículas de metal y de materiales abrasivos del interior del tablero.
2. Lubrique las partes móviles de los mecanismos, etc., de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes que usualmente están impresas en los diagramas o etiquetas.
    - a) Use grasa ligera o aceite limpio de acuerdo con las instrucciones, los cuales no deberán ser metálicos.
    - b) No se aceiten o engrasen las partes de los interruptores termomagnéticos.
    - c) Elimine el exceso de lubricación para evitar la acumulación de polvo y mugre.
  3. Opere cada interruptor de navajas o interruptor termomagnético varias veces para asegurarse de que todos los mecanismos están libres y en condiciones apropiadas de operación.

4. Apriete todas las conexiones de acuerdo con el torque proporcionado por el fabricante, si este lo ha proporcionado. En caso de que esta información no este disponible, él apriete a aplicar deberá ser el más alto indicado en la tabla de valores que a continuación se da en la tabla A-3 en anexo D.
5. Verifique la resistencia de aislamiento.
  - d) Si ha ocurrido una falla eléctrica severa
  - e) Si ha sido necesario cambiar o limpiar partes o superficies aislantes.
  - f) Si el tablero ha estado expuesto ha un ambiente altamente húmedo, a condensación o goteo.
6. Verifique los fusibles para asegurar que tienen la capacidad conductible adecuada, así como la interruptiva. Asegurarse de que los fusibles que no sean limitadores no sean usados bajo ninguna circunstancia como repuestos de posibles limitadores. No deberá tratarse bajo ninguna circunstancia de eliminar los mecanismos de rechazo que se prevén para evitar la instalación del tipo fusible equivocado

#### **j) Mantenimiento A Sistemas De Tierra.**

El sistema de tierra es un medio de protección para las personas físicas, las instalaciones y equipo de la empresa, ya que se detecta la falla a tierra, se proporciona un camino de menor resistencia que el cuerpo humano; en la NOM-001-99 se determina las condiciones de puesta a tierra.

La conexión de tierra de los sistemas debe hacerse en forma tal que no circulen corrientes inconvenientes por los conductores de puesta a tierra.

La puesta tierra de equipo en general con partes metálicas expuestas que pudieran quedar energizadas bajo condiciones anormales debe aterrizzarse (puesta a tierra)

La puesta a tierra debe ser **permanente y continúa**. Esto representa que mantenimiento debe vigilar, dentro de la tarea de inspección, las puestas a tierra fundamentalmente cuando sea reinstalado un equipo que se ha retirado para mantenimiento. Mantenimiento debe tener presente la necesidad, como medida de protección, la puesta a tierra de los elementos en que se efectúa alguna tarea. Los elementos de puesta a tierra deben tener:

1. Capacidad suficiente para conducir cualquiera de las corrientes que le puedan ser impuestas.

## 2. Impedancias suficientemente bajas para:

- Limitar el potencial sobre tierra
- sobre corriente del circuito.

Las puestas a tierra, deben tener una baja impedancia, para lo cual es necesario revisar la resistividad del terreno.

Normalmente el mantenimiento de tierras será suficiente con:

- Humedecer los electrodos de tierra.
- Revisar sus conexiones de tierra periódicamente

### **k) Mantenimiento A Banco De Baterías.**

Es buena practica mantener las baterías limpias y secas. La limpieza reduce las pérdidas debidas a la resistencia de contacto y evita el corto circuito o el contacto con tierra a través de películas de suciedad conductoras.

La disipación de calor se mejora en las baterías limpias, lo que ayuda a reducir la temperatura de operación. Se debe evitar el congelamiento por que se pueden dañar permanentemente. El almacenamiento o la operación de alta temperatura reduce efectivamente la vida. Para una vida y rendimiento optimo, se deben seguir exactamente las instrucciones de mantenimiento y recarga proporcionados por los fabricantes.

El mantenimiento de las celdas primarias se limita a remplazarlas cuando se descargan o presentan fugas. Las celdas secundarias de potencia portátil necesitan cargarse cuando se hallan descargado, y remplazarse cuando presentan fugas. Ya que la mayor parte de las pilas portátil son de níquel -cadmio, la recarga debe realizar después de una descarga total. Las cargas repetidas después de descargas parciales reducirán su capacidad. Las baterías estacionarias para potencia motriz arranque de motores requieren de limpieza, adición de agua y cargado. Cuando se limpian, el electrolito en las cubiertas de las celdas o conectores deben neutralizarse y enjuagarse para evitar la corrosión y los cortos circuitos. Debe añadirse cuando se requiera agua aprobada para el uso en baterías de agua destilada para mantener el electrolito entre los niveles alto y bajo. El nivel del electrolito debe cubrir siempre las placas, las burbujas de gas que se forman durante la carga desplazan volumen, lo que causa que el nivel del electrolito aumente. Por lo tanto, el agua debe añadirse cuando la batería esta en carga y gaseando. Si el agua se añade después de que el gas se ha disipado del electrolito, deben dejarse espacio para la expansión.

Las conexiones de la batería y el equipo de carga deben verificarse cuando menos una ves al mes. Una conexión sucia o floja puede reducir el rendimiento de la batería. El mal funcionamiento del equipo de carga puede resultar en baja carga o sobrecarga, lo cual reduce la vida de la batería.

Los registros de mantenimiento de las baterías son útiles para programar las funciones de mantenimiento periódico, como la verificación del equipo de carga, la limpieza, y el mantenimiento de los niveles.

Debe tenerse precaución cuando se almacene, opere o repare una batería debido a los riesgos de seguridad, química, explosiva o eléctrica asociada con todas ellas:

- **Química.** Las baterías contienen líquidos corrosivos que pueden ser dañinos al contacto.
- **Explosiva.** Algunas baterías presentan posibilidades de explosión debido a la liberación de hidrógeno durante la carga. Estos riesgos se controlan mediante ventilación y evitando la ignición por chispas y llamas abiertas en las áreas de carga.
- **Eléctricas.** Deben tomarse precauciones para mantener los objetos metálicos lejos de las conexiones de la batería y de las terminales para evitar corto circuito. Una batería almacena gran cantidad de energía que puede liberarse rápidamente cuando se pone en corto circuito.

Las baterías son seguras cuando se siguen las practicas adecuadas de seguridad.

## I) Mantenimiento A Motores Eléctricos Y CCM's.

En el terreno de la practica y por razones obvias, es normal que previo a la instalación del equipo se efectúe un estudio y revisión del mismo. Los motores eléctricos no son la excepción, si bien a de reconocerse que las reglas a seguir son bastante simples y muy importantes, ya que de llevarse a efecto, se obtendrá "una prolongada, correcta y económica operación".

La existencia de una "historia" de mantenimiento, con el registro (siempre que sea posible) de los problemas comprobados en cada motor, su corrección y modificaciones introducidas es fundamental para un sistema correcto de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo.

La forma más sencilla y eficaz de evitar problemas de corrección de motores es su correcta selección, recepción e instalación. La mayor parte de los problemas de mantenimiento tiene su origen en la inadecuación del motor al accionamiento considerado, un sistema de transmisión mecánica incorrectamente dimensionado, o de problemas en los dispositivos de mando. La utilización correcta de equipos de protección es fundamental.

Los motores eléctricos tienen una variedad de detalles constructivos que varían según el fabricante. Deben considerarse siempre las instrucciones y recomendaciones de mantenimiento emitidas por el fabricante de cada motor, teniendo en cuenta las condiciones ambientales de la instalación y las peculiaridades del accionamiento. El mantenimiento empieza en la **Selección** del motor. Frecuentemente se hace la selección sin considerar las implicaciones en el "servicio y mantenimiento" del motor, de lo que resultan consecuencias económicas desfavorables.

La segunda regla a seguir es la **Recepción**: revise el motor con cuidado y asegúrese que no sufrió daño alguno durante su embarque y transporte, cerciorándose de que la flecha se mueve libremente, haciéndola girar con la mano

Compruebe que los datos de placa correspondan a la tensión y frecuencia de la red de energía eléctrica con que se va a alimentar el motor.

Efectué cuidadosamente las conexiones en las terminales para su **instalación** siguiendo las instrucciones indicadas en la placa descriptiva.

El motor debe instalarse en un lugar donde se tenga libre flujo de aire, aun en aquellos casos donde se requiere usar alguna caseta o pantalla protectora. La temperatura ambiente (excepto en casos de fabricación específica) no deberá exceder de 40 °C al nivel del mar o de 30 °C a una altura máxima de 2280 metros sobre el nivel del mar.

El motor deberá montarse sobre una cimentación rígida, procurando que asiente perfectamente la base y fijándolo por medio de tornillos o pernos del diámetro permisible por los barrenos de las patas. Un montaje defectuoso puede motivar:

- a. Vibración excesiva
- b. Ruido.
- c. Corrientes altas.
- d. Operación a altas temperaturas.
- e. Falla de baleros.

La mayoría de los motores utiliza rodamientos. Cuando están adecuadamente dimensionados para los esfuerzos axiales y radiales a que se someterán en operación, la vida útil de un rodamiento puede ser de varios años. Aproximadamente 70% de los fallos de los motores resultan de problemas en cojinetes de rodamientos; sin embargo, la gran mayoría de esos fallos se debe al montaje inadecuado de los rodamientos, la lubricación incorrecta o esfuerzos radiales excesivos.

Se debe evitar desmontar el motor para comprobar el estado de los rodamientos, procediéndose a esa comprobación durante el funcionamiento del motor por la "auscultación" del rodamiento. Se puede hacer esto con un *estetoscopio*, un pedazo de madera dura o incluso un destornillador. Un ruido continuo, de baja intensidad, indicará un funcionamiento normal; por el contrario, un ruido agudo, penetrante, indicará que las esferas, rodillos o pistas están dañados. También se pueden detectar precozmente los fallos en los rodamientos, utilizando analizadores de vibración. Los motores grandes tienen sensores de vibración incorporados a los cojinetes.

El fallo más frecuente no es la *falta* de lubricación, sino de la lubricación excesiva, hecha con cantidades de grasa mayores que las recomendadas.

El **mantenimiento** a los motores se reduce a lo siguiente:

- a) limpiar y sopletear con aire limpio y seco y a una presión menor de 3kg/cm<sup>2</sup>, la superficie del motor, así como sus partes internas (en motores abiertos), evitando aplicar directamente a los devanados el aire comprimido. En caso de motores que estén expuestos a goteo o salpicadura de agua, líquidos corrosivos o compuestos químicos, deberá efectuarse la limpieza con mayor frecuencia.
- b) Revisar montaje y alineación.
- c) Efectuar mediante reporte periódico lecturas de corriente y voltaje.
- d) Verificar que la operación de los baleros sean sin ruido o vibraciones.

El **Centro de Control de Motores (CCM)**, como cualquier tablero eléctrico de distribución y/ ó control, necesita de la revisión periódica a través de las rutinas de servicio, descritas en el tema del *mantenimiento eléctrico preventivo (MEP)*.

En el CCM se concentran los elementos de control, protección y distribución de los motores (arrancadores) y en algunos caso comprenden unidades de medición general del tablero con transformadores de corriente (TC) y transformadores de potencial (TP). Por lo que el mantenimiento se deberá enfocar al tipo y a la frecuencia recomendada por el fabricante de cada componente.

Factores variables como la temperatura, la humedad y la contaminación atmosférica pueden afectar negativamente el comportamiento de los controles de motores. El mal uso de un control puede originar también dificultades serias, y con frecuencia es la causa más importante de los problemas de control de motores. La inspección visual cada seis meses aproximadamente y las verificaciones eléctricas menos frecuentes con los instrumentos adecuados pueden ayudar a asegurarse de que los motores no pararán debido a la falla de un arrancador que podía haberse evitado.

Es importante realizar una verificación mecánica completa del equipo del centro de control de motores antes y después de la instalación. Las inspecciones visuales deben hacerse con ayuda de una lámpara de mano, manguera con aire a baja presión y un cepillo pequeño. Las partículas y polvo se pueden eliminar con un cepillo en los contactos y otras áreas del interruptor; la oxidación ligera y la suciedad en las caras de las bobinas pueden quitarse con aire comprimido y cepillo. Nunca se debe utilizar una lima o abrasivo de ninguna clase en la cara de los polos de la bobina, ya que esto puede alterar el ajuste preciso entre los componentes del núcleo. Tan solo apretar los tornillos de las terminales debe ser suficiente para corregir muchos problemas de los controladores de motores. Cada componente de un control de motor se debe verificar para evitar daño.

*Contactor.*

*Relevadores de Sobrecarga.*

*Interruptores Electromagnéticos.*

*Portafusibles.*

*Barras Conductoras y Bases Aislantes.*

*Terminales y Conductores Internos.*

## **m) Mantenimiento De Motores De A. C.**

Los principales e importantes servicios de mantenimiento a los motores de corriente alterna, se basan en la buena limpieza a los devanados el correcto ejercicio de la lubricación a los rodamientos, y en su caso el servicio programado a los colectores, anillos rozantes o deslizantes, porta-escobillas y escobillas. A continuación se describen los mantenimientos para estos componentes:

*Mantenimiento de los devanados.* Los sistemas aislantes disponibles son cada vez más confiables y seguros. Eventuales fallas, normalmente, son debidos a condiciones ambientales adversas o el almacenaje inadecuado. Estadísticamente, los problemas en el sistema aislante constituyen la segunda causa más frecuente de fallas de motores eléctricos en funcionamiento (la primera son los problemas con los rodamientos)

Las causas reconocidas más frecuentes de falla del sistema aislante en los devanados son:

- Deterioro térmico
- Absorción de humedad
- Contaminación por sustancias químicas ionizables, aceite, polvo, etc.
- Daños mecánicos originados por tensiones (mecánicas) surgidas en el arrollamiento en la condición de corto circuito o bloque muy largo, vibración o penetración de herramientas.
- Descarga corona
- Pico de tensión
- Funcionamiento con voltajes o corrientes anormales
- Bobinas débiles
- Soportes de cabeza de bobina débil

La observación periódica y sistemática de las condiciones ambientales, con la comprobación de eventuales obstrucciones en el sistema de ventilación de los motores, debido a polvos y partículas sea en las entradas y salidas de ese sistema, sea en los propios devanados, la presencia anormal de gases, vapores y aceites en el ambiente y en los devanados y en la comprobación de los valores de resistencia de aislamiento, asegura una detección precoz de las causas más comunes que originan el deterioro y fallo del aislamiento en los devanados.

Se debe limpiar los devanados cuando se detecta la presencia de polvo en la superficie, con un sistema de aire que aspire el polvo o las partículas. Se debe evitar el uso de aire comprimido pues esto suele ocasionar una penetración de las partículas en el sistema aislante, o su acumulación en los retornos del arrollamiento. Cuando los devanados están recubiertos con partículas metálicas o abrasivas, el uso del aire comprimido tiene consecuencias todavía más perjudiciales.

Cuando la bobina esta contaminada por una película pegajosa de aceite en la superficie es necesario limpiar el arrollamiento con disolventes.

Cuando se sustituye una bobina o un grupo de estas, hace falta una operación de re-impregnación en todo el arrollamiento, debiendo emplearse materiales idénticos a los originalmente utilizados.

*Colectores.* Un colector nuevo tiene una superficie lisa y brillante, la coloración cambia gradualmente de tonalidad a lo largo del funcionamiento del colector, debido a la formación de una película de oxido de grafito en la superficie de conmutación.

Una vez iniciada la formación de esa película se debe evitar operaciones de comprobación que la alteren o la destrocen, ya que facilita la conmutación y aumenta la vida de las escobillas, porque constituye una protección a la superficie del colector.

*Anillo rozantes o deslizantes.* De la misma forma que los conectores, los anillos deslizantes también necesitan formar la película de oxido de grafito en la superficie de conmutación. Los gases, el polvo, como en el caso de los colectores pueden impedir la formación de esa película protectora, valiendo las mismas consideraciones.

Si los anillos deslizantes presentan señales o marcas de chispeo, no están alineados y centrados, será difícil repararlos con un esmeril manual, siendo casi siempre necesario tornearlos.

En le caso de las máquinas sincronas, uno de los anillos se presentará obscurecido mientras el otro brillara. Para evitar desgastes desiguales, hace falta invertirlo periódicamente la polaridad de excitación de la máquina sincrónica. La frecuencia para realizar esa inversión depende del régimen de funcionamiento y tipo de las escobillas. Sin embargo, como regla general, se debe invertir la polaridad a lo máximo cada seis meses.

*Porta-escobillas.* Las cuatro formas más comunes de porta-escobillas están indicadas en las figuras 4.1 del anexo D. Existen porta escobillas que son adecuadas para motores que funcionan en ambos sentidos de rotación. Cualquiera que fuera la forma del porta-escobillas, hace falta asegurar que el extremo inferior del mismo esté a una distancia de la superficie del conector o anillo suficientemente grande para que no la toque, pero suficientemente cerca para evitar que la escobilla juegue dentro del porta-escobillas o se quede con una extensión grande al descubierta. Aunque la distancia más apropiada varíe según las dimensiones de la escobilla, un alojamiento de 2.0 a 3.5 mm suele ser correcto (Figura 4.1 anexo D)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Escobillas de carbón.** Las características de las escobillas de carbón están relacionadas con:

- Buena conmutación y buen contacto eléctrico
- Resistencia al chispeo
- Buena resistencia mecánica
- Buena resistencia mecánica
- Caída de tensión a lo largo de la propia escobilla

La presión correcta de las escobillas sobre el colector es esencial para un funcionamiento exento de problemas. Cada motor y cada escobilla implican un valor determinado de presión, normalmente en el margen de los 180 a 300 gramos / cm<sup>2</sup>.

Tanto la presión excesiva como la inferior a la especificada originan un desgaste acelerado de la escobilla. La presión excesiva implica un desgaste mecánico mayor de las escobillas y la presión insuficiente da como resultado una caída de tensión mayor al contacto y la aparición de chispas. Tan importante como el valor en las escobillas es la igualdad de las presiones en todas las escobillas de un motor. Cuando se sustituyen las escobillas, hace falta ajustar la superficie de contacto de las mismas al formato de la superficie del colector. Se deben sustituir las escobillas antes de que el desgaste sea excesivo. Si el soporte de la escobilla llega a entrar en contacto con la superficie del colector, ocurrirá abrasión en esa superficie, pudiendo a llegar a una completa destrucción en casos extremos.

#### **n) Mantenimiento A Motores De C. D.**

Para los mantenimientos de los motores de corriente directa se siguen de la misma forma a los de corriente alterna con la diferencia de algunos casos específicos como son los porta-escobillas por ejemplo, ya que cuando se sustituye el inducido de un motor de corriente continua, o su porta-escobillas, hay que ajustar la posición de éstas con relación a la línea neutra, para minimizar el chispeo. Se debe hacer esto siempre teniendo en cuenta las instrucciones específicas de cada fabricante y la experiencia del personal de mantenimiento en operaciones similares anteriormente efectuadas.

Todos los servicios de mantenimiento presentados a los motores de corriente alterna son compatibles para los de corriente directa: mantenimiento a rodamientos, devanados, colectores, porta escobillas, escobillas, etc.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **o) Principales Fallas De Motores.**

Se enlistan las fallas más comunes en motores eléctricos y sus causa y soluciones correspondientes:

#### **Falla: Motor bloqueado al arranque:**

Causas	Solución
Freno mecánico accionado	Revise que el freno este liberado Ajuste inadecuado del freno
Rotor bloqueado mecánicamente	Revisar que la carga accionada, incluyendo sus mecanismos no se encuentren bloqueados.
Protecciones del arrancador bloqueado	Verifique el arrancador, interruptor, protecciones y conexiones

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Falla: Sobrecalentamiento de rodamientos:**

Causas	Solución
Flecha torcida y/ ó pandeada	Verifique la flecha, rectifíquese o replácese
Presión o gasto de lubricación bajos	Revisar el sistema de lubricación
Los rodamientos trabajan con sobrecarga	Verificar el alineamiento, revisar los empujes a que ésta sujeta el rodamiento, estado de desgaste del rodamiento.
Características del lubricante	Verificar la viscosidad y características del lubricante del rodamiento
Elementos rotos o pistas cascadas de los rodamientos	Reemplazar el rodamiento defectuoso

**Falla: Sobrecalentamiento de las bobinas o devanados**

Causas	Solución
El motor esta sobrecargado	Revisar las condiciones de operación del motor, voltaje, corriente, potencia, etc.
Falla en el aislamiento de los devanados	Verificar la resistencia del aislamiento
Falla en el sistema de enfriamiento del motor	Revisar el sistema de enfriamiento del motor.

**Falla: Consumo excesivo de energía eléctrica.**

Causas	Solución
Sobrecapacidad del motor (error de proyecto)	Sustituye el motor Revise la carga Revise la operación

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Falla: El motor no alcanza su velocidad**

Causas	Solución
Voltaje demasiado bajo en las terminales del motor (debido a caída de voltaje de línea o caída de voltaje en el alambrado del motor)	Úsese una derivación de voltaje más alto en las terminales del transformador aumentese el tamaño del conductor
Carga en el arranque demasiada alta	Verificar la capacidad de carga del motor
Capacitor débil o en corto circuito	Reemplace el capacitor
Barras rotas en el rotor	Busque grietas cerca de los anillos del extremo o barras rotas en el rotor

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Falla: El motor tarda mucho tiempo en acelerar**

Causas	Solución
Exceso de carga; bandas apretadas; carga de alta inercia	Reduzca la carga; Aumente el tamaño del motor. Afloje las bandas
Rotor defectuoso	Reemplace por rotor nuevo
Capacitor débil o en corto circuito	Reemplace capacitor

**Falla: El motor vibra después de hechas las correcciones**

Causas	Solución
Motor desalineado	Realínese
Acoplamiento fuera de balance	Debe balancearse el acoplamiento
Rodamiento de bolas defectuoso	Reemplace rodamiento
Motor polifásico funcionando en una fase	Verifique si hay un circuito abierto o fusibles fundidos
Alto voltaje	Corrójase

**Falla: Operación ruidosa**

Causas	Solución
El entrehierro no es uniforme	Verifiquense y corríjase los montajes de la carcasa o de rodamientos
Desbalanceo del rotor	Balance el rotor
Alto voltaje	Redúzcase el voltaje de línea

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### **p) Mantenimiento De Alumbrado.**

Los sistemas de iluminación requieren de un mantenimiento que asegure la calidad y cantidad de iluminación requerida mantenimiento que debe ser programado y realizado considerando todos los factores físicos, económicos y necesidades.

En una instalación de alumbrado son varias las causas de pérdida de luz como son:

- a) Variación de tensión y temperatura
- b) Deterioro de las superficies de los luminarios
- c) Ensuciamiento en las paredes y techo del local
- d) Depreciación luminosa de las lámparas por evenjecimiento
- e) Lámparas que fallan y que no son reemplazadas
- f) Ensuciamiento de los luminarios

Los niveles de iluminación requeridos son proyectados considerando cuando el sistema entrega la mínima cantidad de luz permitida. Esto ocurre al final del ciclo del mantenimiento planeado. Siguiendo una rutina de mantenimiento la luz entregada por el sistema puede caer a menos de la mitad de la luz inicial entregada.

Como esta caída cambia gradualmente no será apreciable hasta que alguien comience a quejarse que se necesita más luz. Esta situación puede ser evitada solamente por el sobre diseño del sistema de alumbrado bien elaborado y ejecutado.

Un buen mantenimiento de alumbrado minimiza el sobre diseño de sistemas de alumbrado y no despijfarra energía.

#### **q) Mantenimiento De Luminarias.**

En general el mantenimiento de la iluminación, contempla simplemente reemplazar la unidad fundida o sus accesorios, ya sea lámpara, arrancador, balastro, etc.

Es frecuente observar lámparas de diferentes tonalidades en una instalación, lo cual detecta ignorancia sobre el tema, ya que no se considera la fuente de luz en función de su aplicación específica.

Una manifiesta ineficiencia en los cambios de unidades fundidas se tiene patente en el reemplazo individual por falla o mantenimiento correctivo, en el cual no es posible definir la fiabilidad de luminaria al reponer en forma aleatoria las lámparas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Con el tiempo este sistema es ineficiente, por que se gasta mucho dinero y tiempo, se invierte muchas horas-hombre y se de merita las funciones del local, donde se tiene el problema de mantenimiento con lámparas fuera de servicio en forma irregular.

Reemplazo en grupo. Consiste en el cambio total de:

- a) Lámparas por luminaria ( primera fase )
- b) Zona de trabajo

Este reemplazo es al final de su vida económica, independientemente del estado en que se encuentre. Algo similar se podría efectuar con los accesorios del luminaria y pantallas y revisión de todas las conexiones y partes eléctricas de la instalación.

El reemplazo en grupo depende principalmente de:

- a) Nivel de vida
- b) Costo de mano de obra
- c) Costo de materiales
- d) Ubicación de los luminarias

No existe regla general que recomiende reemplazo en grupo; cada instalación debe considerarse independientemente.

En general el reemplazo en grupo se recomienda cuando el costo de mano de obra del reemplazo individual es mayor que la mitad del costo neto de las lámparas o cuando el costo de mano de obra del reemplazo en grupo es menos comparando con el costo de mano de obra por el reemplazo de lámparas en forma individual.

La selección de un período de reemplazo o intervalo de limpieza tendrá un efecto directo sobre el factor de perdida de luz. Un análisis que incluya un estudio de variables económicas puede utilizarse en la fase de diseño de un proyecto como una forma de minimizar la depreciación de luz del sistema en el tiempo.

Como resultados se obtendrá que se utilizara menos luminarias en un sistema de alumbrado en general para un nivel de iluminación mantenido previsto y los costos iniciales de operación, serán reducidos en todo el sistema durante su vida.

#### Ventajas del reemplazo en grupo:

- Mayor nivel de iluminación por el mismo consumo de energía.
- Mayor eficiencia y duración de luminarias
- Ahorro de horas-hombre invertidas por el reemplazo individual correctivo
- El presupuesto se apega a los gastos reales de mantenimiento, es decir, se puede calcular con precisión el presupuesto.
- Mejora la apariencia de la instalación de la iluminación.
- Elimina gastos administrativos continuos debido a compras constantes.
- Seguridad de tener confiable y sistema de mantenimiento.
- No perturba el ritmo de trabajo, ya que el reemplazo de grupo se efectúa en un tiempo específico que puede ser fuera de horas laborables.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **1. Generadores, Motores y Transformadores Eléctricos**

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

Autor: Víctor Pérez Amadorbarrón

### **2. Manual de usuario para programas de fallas trifásicas y monofásicas**

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

Autor: Rodolfo Lorenzo Bautista y Leonel Monroy del Río

### **3. Sistemas de Distribución**

Limusa

Autor: Roberto Espinoza y Lara

### **4. Norma Oficial Mexicana nom-001, Sede-01999 Instalaciones Eléctricas (utilización)**

Instituto Politécnico Nacional

### **5. Plantas Eléctricas Selmec a diesel**

Selmec boletín SC40N

### **6. Interruptores de potencia en baja tensión**

Catalogo 2001

Schneider Electric.

**7. Redes Eléctricas**

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería  
Jacinto Viqueira Landa

**8. Sistemas Tierras**

Guillermo Monrroy

**9. Industrial Power System Handbook**

Donal Beeman  
Firts Edition MacGraw-Hill Book Company Inc. 1955

**10. Red Book**

IEEE  
1993

**11. Power Distribution System Design**

Cutler-Hammer  
January 1999.

**12. El Sector Eléctrico de México**

Reséndiz-Nuñez Daniel  
Coordinador  
Comisión Federal de Electricidad – Fondo de Cultura Económica 1994

**13. Mantenimiento a Instalaciones**

Serie AE Libro Rojo, edición 7, 1993

SOMMAC

Jesús Avila Espinoza

**14. Manual de Mantenimiento Industrial**

Robert C. Rosaler, P.E

McGraw-Hill

**15. Sistema de Mantenimiento, Planeación y Control.**

Duffuaa Raouf Dixon

Limusa Wiley

**16. Manual de Instalación y Mantenimiento de Motores Eléctricos**

IEM

**17. Selección y Aplicación de Motores Eléctricos**

Orlando S. Lobosco

José Luis P.C. Vias

Serie Siemens, 1989

Marcombo

**18. Instructivo para Instalación, Operación y Mantenimiento de Tableros de pared y Autosoportados Dentro de las Normas de Seguridad.**

Dwuppon Elektric.