



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"DISEÑO DE TABLEROS TIPO METAL-CLAD EN MEDIA
TENSION CON INTERRUPTORES EN SF₆ (4.16 - 36 kV)"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
PRESENTAN:

José Simon Antun Portillo	(Area Electrica)
Israel Santos Moreno	(Area Electrica)
Alfonso Valdelamar Vazquez	(Area Mecanica)
Martin Wrbieta Cortés	(Area Mecánica)

DIRECTOR DE TESIS: M.I. LOURDES ARELLANO BOLIO.



México, D.F.

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

Quiero dedicar este trabajo de tesis a mis padres, ya que gracias a su apoyo, esfuerzo y confianza fue posible para mí terminar mi carrera profesional, muy en especial a mi madre ya que gracias a su apoyo incondicional y a sus sacrificios he podido ver realizado este sueño.

Mi más sinceros agradecimientos a la Facultad de Ingeniería, a mis profesores y compañeros por el apoyo brindado durante mis estudios; y en especial al Ing. Lourdes Arellano Bolio, directora de este trabajo de tesis por las facilidades y el apoyo brindado para su realización.

A mis amigos, por la confianza y apoyo que siempre recibí de ellos, muy en especial a Israel Santos, quien durante el desarrollo de nuestra carrera y elaboración de este trabajo de tesis, siempre me motivó a seguir adelante.

Gracias Maguin por todo tu cariño y apoyo desde que me cargaste en tu vientre, este trabajo te lo dedico ya que contribuiste a la realizaci3n del mismo en todo momento, te quiero mucho.

A Dios por otorgarme una satisfacci3n m1s en mi vida, y darme la paciencia, dedicaci3n y valor para no desistir en el empe1o por lograr mis objetivos.

Agradezco a la Sra. Nuri, por sus sabios consejos y toda la ayuda que nos proporciono a mi familia y a mi para salir adelante. Siempre recordaremos esos grandes a1os de ayuda, amistad y cari1o.

A la Gordis, que ha sido un soporte siempre que lo he requerido, le dedico tambi3n este trabajo como parte de mi equipo de toda la vida.
A Don Carlos , Do1a Micaela y a mi Padre les agradezco su apoyo.

A mis grandes amigos de toda la vida, donde te encuentres "Boti", te estar3 agradecido por los grandes y difciles momentos que pasamos, y al igual que al compadre y Simon, te guardo en mi memoria como parte fundamental de mi vida.

INTRODUCCION

En la industria actual es de suma importancia contar con el equipo eléctrico adecuado para cubrir, de manera óptima, todas sus necesidades y lograr una competitividad con productos del extranjero. Para lograr esto, siempre se han requerido estudios profundos relacionados con el diseño y operación de los mismos, básicamente abatiendo costos y reduciendo el ciclo de fabricación.

En particular los tableros de distribución, control y protección constituyen una parte esencial en el sistema eléctrico de cualquier instalación.

Estos deben proporcionar al sistema, seguridad, flexibilidad, simplicidad operacional entre otras características, también deben cumplir con las principales normas eléctricas nacionales e internacionales.

Los tableros de media tensión del tipo **Metal-Clad con interruptores en SF₆**, proporcionan un medio novedoso para el equipo de distribución de energía eléctrica. Estos equipos son capaces de solucionar los mas diversos problemas en plantas y al mismo tiempo desarrollan todas las funciones de interrupción, aislamiento y protección.

La utilización de modernos interruptores de gas SF₆ (Hexafluoro de Azufre) proporcionan muchas ventajas en cuanto a seguridad, simplificación de construcción y reducción de energía para la operación.

También se obtiene una reducción en las dimensiones generales del tablero, fácil operación, inspección y flexibilidad entre otras ventajas.

El tablero debe contar con adecuados sistemas de protección como es el caso de relevadores y sistemas de comunicación para controles remotos.

OBJETIVO

Analizar y optimizar el proceso del diseño y construcción de un tablero de media tensión tipo metal-clad aislado en aire, utilizando tecnología de punta, que pueda ser estandarizado y utilizado en diferentes sistemas, logrando de esta manera una mayor flexibilidad en la selección de los mismos, además de una reducción en los costos de fabricación, operación y mantenimiento.

INTRODUCCION

INDICE

1. ANTECEDENTES

- 1.1. Descripción general
- 1.2. Definiciones
- 1.3. Simbología
 - 1.3.1 Lista de números y funciones de aparatos electricos
- 1.4. Condiciones normales de servicio
 - 1.4.1 Condiciones especiales de servicio
 - 1.4.2 Ambientes no usuales
 - 1.4.3 Especificaciones generales
- 1.5. Grados de protección
 - 1.5.1 Grados de protección de acuerdo a NEMA
 - 1.5.2 Grados de protección de acuerdo a IEC
 - 1.5.3 Envolventes
- 1.6. El gas SF₆ como medio de interrupción
 - 1.6.1 Generalidades
 - 1.6.2 El gas hexafluoruro de azufre (SF₆)
 - 1.6.3 Ventajas del SF₆

2. SELECCION DE EQUIPO PRINCIPAL EN TABLEROS

- 2.1. Interruptores
 - 2.1.1 Generalidades
 - 2.1.2 Tipos de Interruptores (métodos de extincion del arco)
 - 2.1.3 Ventajas de los interruptores en SF₆
- 2.2. Transformadores de instrumentos.
 - 2.2.1 Generalidades
 - 2.2.2 Transformadores de potencial (T.P.)
 - 2.2.3 Transformadores de corriente (T.C.)
- 2.3. Equipos de medicion, control y protección
 - 2.3.1 Sistemas de protección
 - 2.3.2 Importancia de tener un sistema de protección electrico
 - 2.3.3 Relevadores
 - 2.3.4 Relevadores mas usados en subestaciones
 - 2.3.5 Unidad de medicion, protección y control integrada (UMPI)
 - 2.3.6 Calculo y estudio de cortocircuito

3. DISEÑO MECANICO Y ELECTRICO

- 3.1. Descripción general
- 3.2. Celda básica
 - 3.2.1 Compartimento de barras
 - 3.2.2 Compartimento de baja tension
 - 3.2.3 Modulo de transformadores de potencial

- 3.2.4 Compartimento del interruptor
- 3.2.4.1 Contenedor o cuna del interruptor
- 3.2.5 Puertas, cubiertas y otros accesorios
- 3.2.6 Diagramas de alambrado y lógica del control
- 3.3. Pruebas
- 3.4. Algunas consideraciones de cortocircuito

4. GENERALIDADES PARA RECEPCIÓN, ALMACENAJE, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- 4.1. Empaque y embarque.
- 4.2. Recepción y manejo.
- 4.3. Instalación.
- 4.4. Puesta en servicio.
- 4.5. Inspección y mantenimiento.
- 4.6. Partes de repuesto y accesorios adicionales

5. SEGURIDAD

- 5.1. Seguridad del gabinete

6. CONTROL DE CALIDAD

- 6.1. Planeación del diseño
- 6.2. Entradas de diseño
- 6.3. Resultados del diseño
- 6.4. Verificación del diseño
- 6.5. Control de documentos

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

1.- ANTECEDENTES

1.1. - DESCRIPCION GENERAL

El nombre de tablero tipo "Metal-Clad" es generalmente aplicado a todos los tipos de tableros dentro de contenedores metalicos (metal enclosed). Esta definición es esencial para identificar el tipo exacto de equipo que es objeto de nuestro estudio.

Definiremos en principio el termino de media tensión, el cual es usado cuando se tienen voltajes entre 1 y 36 kV. Todos los tableros instalados y ensamblados en este rango de voltaje estan cubiertos y siguen las siguientes especificaciones:

IEE Standard 27, y NEMA
IEC 298 en conjuncion con IEC 694
IEC 298 Anexo AA
IEC 73, IEC 71-1
ANSI C-37.20
En sus últimas ediciones.

En la fabricación de tableros metal-clad se debe cumplir con una serie de requisitos mínimos indispensables, tales como.

- Deben existir barreras entre compartimentos de cada sección separando las partes vivas y los componentes de baja tensión.
- Se deben aterrizar todos y cada uno de los componentes de cada sección del tablero, debe contar con un diagrama mimico y espacios de acceso especiales y válvulas de alivio

Las pruebas a las cuales debe ser sometido un tablero metal-clad, estan establecidas también en normas internacionales, entre las que tenemos a la IEC 298 parte 6, la cual nos indica que cada fabricante debe cumplir con los requerimientos de capacidad de aislamiento, contactos de protección, capacidad de corto circuito, interrupción adecuada y un perfecto funcionamiento mecánico.

Las pruebas anteriores se deben practicar a un tablero prototipo y a los subsecuentes solamente se les aplicarán pruebas de rutina.

El rango de voltaje de un tablero metal-clad podra ser seleccionado de acuerdo a los requerimientos de la red de distribución. Las consideraciones para los rangos de nivel basico de impulso, esta de acuerdo con la tabla 1.1, dependiendo de los diferentes requerimientos.

Las instalaciones y equipos de la lista 2 de la tabla 1.1 estan expuestos a sobrevoltajes producidos por descargas atmosféricas, por ejemplo estos estan conectados directamente a lineas aereas y necesitan de una resistencia dielectrica apropiada, para los equipos de la lista 1 de la tabla 1.1 los cuales no estan expuestos a descargas atmosféricas, o estan protegidos por apartarrayos, estos pueden tener una resistencia dielectrica baja

Niveles de aislamiento de resistencia al impulso para Tableros metal-clad. (IEC 694)						
Voltaje Nominal	Valor de voltaje de resistencia al impulso				Valor de voltaje de resistencia frecuencia - potencia 1 min.	
Valor r.m.s.	Valor pico				Valor r.m.s.	
	Lista 1		Lista 2			
	Fase-tierra, fase-fase, y a través del aparato cerrado	a través de la distancia de aislamiento	Fase-tierra, fase-fase, y a través del aparato cerrado	a través de la distancia de aislamiento	Fase-tierra, fase-fase, y a través del aparato cerrado	a través de la distancia de aislamiento
kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
3,6	20	23	40	46	10	12
7,2	40	46	60	70	20	23
12	60	70	75	85	28	32
17,5	75	85	95	110	38	45
24	95	110	125	145	50	60
36	145	165	170	195	70	80

Tabla 1.1

Al momento de la fabricación de un tablero metal-clad, se deben realizar las siguientes consideraciones de seguridad para el personal.

Se deben tomar una serie de medidas de seguridad y poner códigos de reconocimiento al momento de la instalación de acuerdo a estándares internacionales como en IEC 298.

Se recomienda, que durante la instalación del tablero se realicen pruebas de arqueo interno bajo condiciones uniformes y evaluarse. Los efectos del arqueo durante una falla en la instalación del tablero dependen de la intensidad de este.

Características generales de diseño

Al hablar de un tablero metal-clad se dice que este pertenece a la familia de tableros Metal-enclosed, para lo cual haremos las siguientes divisiones.

Los tableros metal-enclosed se pueden dividir en tres tipos principales.

- Tablero tipo metal-clad
- Tablero compartimento (con una o mas particiones no - metálicas)
- Tablero tipo cubículo

1.2 DEFINICIONES

Tablero

Se define a un tablero como un gabinete metálico formado por varias secciones verticales ensambladas y autosportadas.

Tablero metal-clad

Término genérico con que se designa el conjunto integrado en un gabinete metálico, completamente cubierto por los lados y por la parte superior con lámina (excepto por aperturas de ventilación), que aloja dispositivos de interrupción de media tensión (mas de 1000 y hasta 34500 Volts) y el equipo de control, medición, protección y regulación asociados a los mismos, así como los elementos necesarios para la interconexión y soportes de tales dispositivos y equipos.

Los tableros tipo metal-clad pertenecen a la familia de los tableros metal-enclosed pero tienen las siguientes características especiales:

1. La interrupción o el equipo principal de desconexión es del tipo removible (drawout) con un mecanismo para moverlo físicamente entre la posición de conectado y desconectado. Cuenta con equipo de auto verificación y auto acoplamiento de los dispositivos de desconexión primarios y de las conexiones del alambrado de control
2. Los equipos principales del circuito primario, tales como, el circuito de interrupción o el mecanismo de interrupción, barras, transformadores de voltaje, transformadores de control, están completamente cerrados o aislados por barreras metálicas conectadas a tierra, las cuales no tienen aberturas entre compartimentos.
3. Todas las partes vivas están encerradas en un compartimento metálico, conectado a tierra.
4. Se proveen barreras automáticas que protejan los elementos primarios cuando el elemento removible está en la posición de desconectado, prueba o en la posición de removido.
5. Los conductores y las conexiones del bus primario son cubiertas completamente de material aislante
6. Se tienen bloqueos mecánicos para garantizar una adecuada y segura secuencia de operación bajo condiciones normales de operación.
7. Los instrumentos, medidores, relevadores, mecanismos de control secundario y su alambrado serán aislados de todos los componentes del circuito primario por barreras metálicas conectadas a tierra, con excepción de tramos cortos de conductor como las terminales de los transformadores de instrumentos
8. La puerta a través de la cual el dispositivo de interrupción se inserta en la celda, puede funcionar como un panel de instrumentos o relevadores y puede también proveer acceso a un compartimento secundario o de control dentro de la celda

Ensamble

Es una unidad de tablero adecuada para ser transportada sin necesidad de desarmarse (un ensamble puede constituir un tablero completo)

Dispositivo de bloqueo.

Consta de un dispositivo eléctrico o mecánico que no permite la iniciación hasta que alguna otra condición previamente fijada se ha cumplido.

Envolvente

Se considera la parte externa de un tablero que sirve para preservar al personal de la aproximación accidental a partes vivas o en movimiento contenidas dentro del mismo tablero y para proteger el equipo interno contra efectos externos.

Compartimento

Es una parte del tablero totalmente cerrada, excepto las aberturas necesarias para interconexión, control y ventilación.

Cubierta

Es una parte de la envolvente de un tablero.

División

Es una parte de la envoltura de un compartimento que separa a éste de otro. Una división se convierte en cubierta cuando es accesible desde el exterior.

Puerta

Es una cubierta con bisagras o deslizable.

Obturador

Es una parte la cual puede ser movida entre una posición donde se permite que los contactos de un aparato removible encajen con los contactos fijos y otra posición donde se convierten en una parte de una cubierta o una división, escudando los contactos fijos.

Pasamuro

Es un accesorio el cual lleva a un conductor a través de una división o cubierta y lo aísla de ella e incluye los medios de sujeción a la división o cubierta.

Aparato removible

Es un aparato que puede ser removido totalmente de un tablero, aún estando el circuito primario bajo tensión.

Aparato desenchufable

Es un aparato que puede ser removido hasta una posición donde se proporciona una distancia de seccionamiento o una separación, permaneciendo mecánicamente relacionado con el gabinete.

Posición de servicio o de conectado

Es la posición de un aparato removible en que éste se encuentra completamente enchufado para su función normalmente provista.

Posición de desenchufado

Es la posición de un aparato removible en la cual es establecida una distancia de seccionamiento o una separación, permaneciendo el aparato mecánicamente relacionado con el gabinete.

Posición de prueba

Es una posición de desenchufado en la cual los circuitos de control están conectados, permitiendo las pruebas de operación mecánica del aparato desenchufable.

Posición de removido

Es la posición de un aparato removible cuando éste se encuentra fuera y mecánicamente separado del gabinete.

Posición de conectado a tierra.

Es una posición en la cual, el cierre de una cuchilla de conexión ocasiona que el circuito se ponga en corto circuito y conectado a tierra.

Segregación

Es un término que designa una disposición de conductores en la que hay metal conectado a tierra interpuesto entre ellos en tal forma que una ruptura dieléctrica sólo puede ocurrir hacia tierra.

Tensión nominal (en un tablero)

Es la tensión usada para designar un tablero y a la cual están referidas las condiciones de operación del mismo.

Tensión máxima de un sistema

Es el valor más alto que se presenta en un sistema bajo condiciones normales de operación, en cualquier instante y en cualquier punto del mismo sistema. Se excluyen tensiones transitorias (como las debidas a la operación de interruptores) y variaciones temporales de tensión.

Tensión máxima del equipo

Es la tensión más alta para la cual se especifica el equipo en relación con:

El aislamiento y otras características que pueden estar referidas a esta tensión en las recomendaciones pertinentes del equipo.

La tensión máxima del equipo es la tensión del sistema a la que él mismo puede utilizarse u operarse.

Se da por entendido que, particularmente para ciertas tensiones nominales de sistemas, la operación normal del equipo no puede garantizarse arriba de esta tensión máxima del equipo, tomando consideraciones que dependen de la tensión, tales como pérdidas de capacitores, corriente de magnetización de transformadores, etc.

Nivel de aislamiento (en un tablero)

Es la combinación de los valores de tensión (tensión sostenida a la frecuencia del sistema y tensión de impulso) que caracterizan el aislamiento de un tablero en relación con su aptitud para soportar los esfuerzos dieléctricos.

Corriente nominal (de un circuito)

Es la corriente que un circuito de un tablero es capaz de conducir continuamente bajo las condiciones prescritas de uso y funcionamiento.

Corriente soportable de corto tiempo (de un circuito)

Es la corriente que un circuito de un tablero puede conducir durante un determinado corto tiempo bajo las condiciones establecidas de uso y funcionamiento (se expresa en valor eficaz).

Corriente soportable de cresta (de un circuito)

Es el valor de cresta de la corriente que un circuito de un tablero puede soportar bajo las condiciones prescritas de uso y funcionamiento.

Temperatura del aire ambiente (de un tablero)

Es la temperatura, determinada bajo condiciones prescritas, del aire que rodea el gabinete de un tablero.

Circuito primario (de un tablero)

Son todas las partes conductoras de un tablero incluidas en los circuitos cuyos dispositivos de interrupción están destinados a cerrar o abrir, y las cuales están conectadas a estos circuitos.

Circuito secundario (de un tablero)

Son todas las partes conductoras de un tablero destinadas a ser conectadas al equipo de control, medición, protección y regulación del mismo tablero.

Aislamiento auto no recuperable

Es aquel aislamiento que pierde sus propiedades aislantes, o no las recobra completamente después de una descarga disruptiva causada por la aplicación de una tensión de prueba.

Descarga disruptiva

Es una descarga asociada a la falla de aislamiento por la acción de un esfuerzo eléctrico, en el cual la descarga rompe completamente el aislamiento en prueba, reduciendo la tensión entre electrodos a cero o a un valor cercano a cero. Este término se aplica a los aislamientos sólidos, líquidos o gaseosos y sus combinaciones.

Una descarga disruptiva en un aislamiento sólido, ocasiona la pérdida permanente de la rigidez dieléctrica (aislamiento no auto-recuperable); en un aislamiento líquido o gaseoso la pérdida puede ser solamente temporal (aislamiento auto recuperable).

1.3 SIMBOLOGIA

Como los planos y diagramas en la Ingeniería eléctrica son un medio de comunicación de ideas y además son elementos importantes en las especificaciones, se ha tenido la necesidad de normalizar símbolos, números y diagramas.

Como toda normalización, ésta no se escapa de ser un instrumento más dinámico que estático y en consecuencia debe ser probada y revisada a través de su uso entre fabricantes y usuarios de equipo eléctrico.

Estas especificaciones se refieren principalmente a tableros eléctricos y sirven de complemento a las especificaciones ya establecidas para estos aparatos.

Previo a listar los números y símbolos se definen algunos conceptos de importancia.

Diagrama completo.- Es aquel en el cual se indica con todas las líneas de conexión y símbolos los componentes que forman un circuito o sistema de circuitos.

Diagrama de conexiones o de alambrado.- es aquel en que se indica lo siguiente:

- a La colocación relativa de los elementos que forman el tablero.
- b Cada aparato o instrumento deberá estar identificado, así como sus bornes terminales.
- c Se indicará la interconexión entre elementos del tablero y las referencias correspondientes al equipo exterior conectado a éste, así como el diagrama de conexiones internas de los aparatos e instrumentos y su cuadro de operación cuando se requiera.

Dibujo de ensamble general.- Tiene por objeto principal indicar las características físicas del tablero de acuerdo con las especificaciones y deberá contener la siguiente información como mínimo, de acuerdo con el tipo de tablero: fig. 1.1

- a Dimensiones generales del tablero
- b Arreglo general del equipo montado en el tablero.
- c Vistas de elevación frente, posterior lateral y planta.
- d Los cortes que sean necesarios para indicar la colocación del equipo dentro del tablero
- e Dimensiones del espacio recomendado para la instalación del tablero.
- f Dimensiones de los espacios requeridos para la entrada al tablero de los cables principales y/o de control.
- g Recomendación del fabricante para la cimentación del tablero con su plantilla de anclaje.

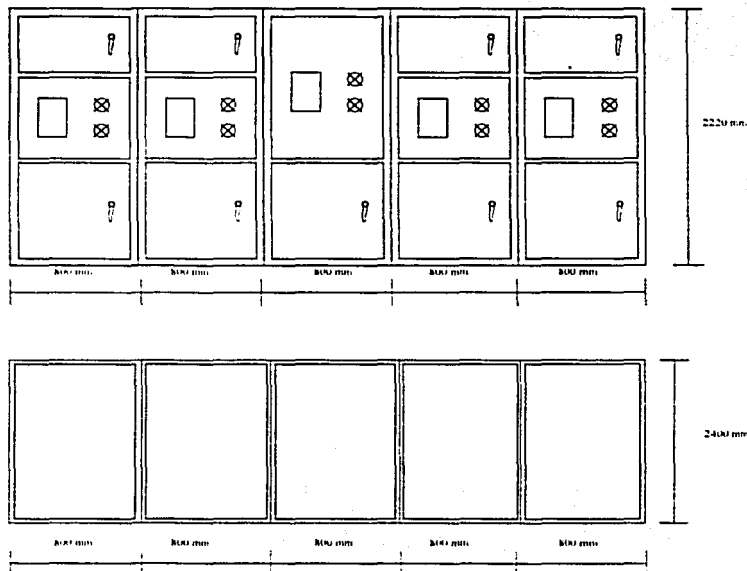


Fig. 1.1 Vista frontal y de planta de un tablero metal-clad en 13.8 kV

Diagramas elementales o esquemáticos.- estos serán de dos tipos:

- a) Diagrama trifilar
- b) Diagrama de control.

- a) Diagrama Trifilar.- En este diagrama se muestran todas las conexiones primarias de un circuito o sistema de circuitos trifásicos con la localización de transformadores de corriente y de potencial así como sus respectivas polaridades, generadores, transformadores de potencia, etc., además se indicaran las conexiones en secuencia real de los diferentes elementos internos del equipo montado en los tableros. Asimismo se podrán incluir los circuitos de excitación correspondiente a los generadores y cualquier otro circuito auxiliar.
- b) Diagramas de control - Estos se emplean para indicar la operación y conexión en su secuencia real de todos aquellos circuitos que no estén incluidos en el diagrama trifilar, por ejemplo, control de interruptores fig 1.2, circuitos de alarmas, control de cuchillas operadas con motor, reguladores de velocidad, alumbrado, contactos y calefactores propios del tablero, etc.. estos diagramas se compondrán de dos partes:

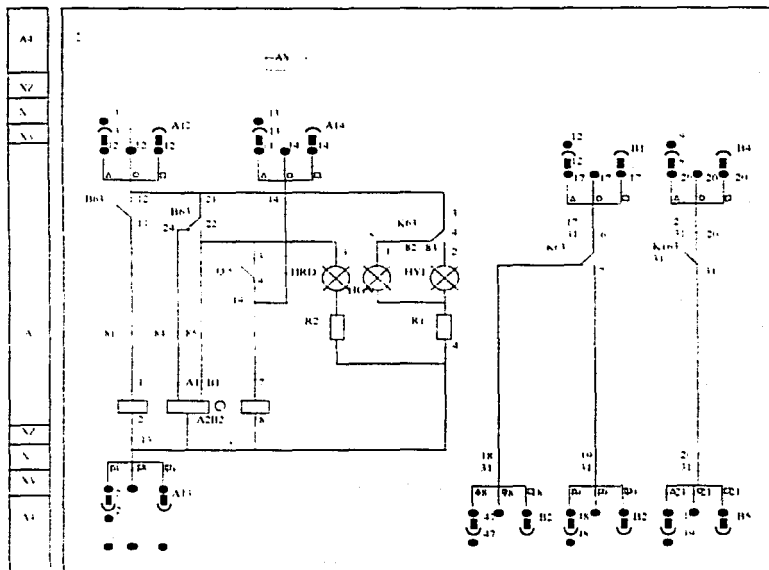


Fig. 1.2 Diagrama de control para los accesorios de un interruptor de potencia en media tensión

Secuencia real del alambrado del circuito














Se indicará para todos aquellos elementos que estén conectados, el orden estricto en el cual se van sucediendo sus conexiones.

Diagrama de operación del circuito

Tiene por objeto indicar de la manera más clara y sencilla posible su operación y comportamiento para el cual se ha diseñado, en este diagrama no se pondrá especial interés en que los elementos del equipo aparezcan conectados con la secuencia real del alambrado, por lo que se evitara hasta donde es posible el cruce de conductores y cualquier otra causa que disminuya su claridad y sencillez

Simbolo gráfico

Es una representación gráfica de conductores, conexiones, aparatos, instrumentos y otros elementos que componen un circuito eléctrico fig. 1.3. Este puede representarse en un diagrama unifilar o en un diagrama completo.

LEYENDA	SIMBOLOS SEGUN NORMAS				NUMERO Y FUNCION DE LOS APARATOS
	UNE ¹	DIN ²	ASA ³	OTRAS	
Interruptor					52
Interruptor enchufable o extraíble					52
Seccionador					89
Transformador de potencia dos devanados					

¹ Union National Standart

² Deutsch International Normen

³ American Standard Asociation

Transformador de potencia tres devanados					
Auto-Transformador					
Transformador De Corriente					
Transformador De Potencial					
Transformador de potencial capacitivo					
Relé					depende del tipo de relé
Toma de Tierra					
Fusible					

Fig. 1.3. Simbología más usada en el ámbito eléctrico

Diagrama Unifilar.- Es el que indica mediante una sola línea y símbolos el orden en que se encuentran conectados los dispositivos, componentes o partes de un circuito eléctrico o un sistema de circuitos. El diagrama unifilar mostrará los componentes principales y sus funciones de una manera simplificada, fig. 1.4

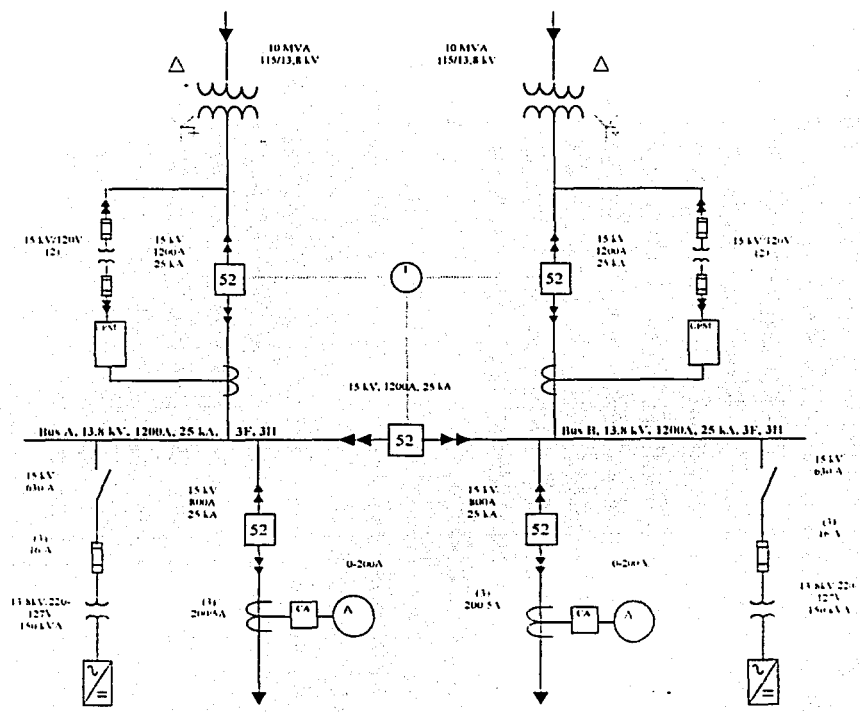


Fig. 1.4. Diagrama unifilar típico en media tensión

1.3.1. - Lista de números y funciones de aparatos eléctricos

En la aplicación de los dispositivos de protección a los sistemas eléctricos, normalmente se emplean números para designar a cada uno de ellos, estos números por lo general corresponden a los adoptados en forma normalizada por el Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electronica de Estados Unidos de Norteamérica y que también se encuentran incorporados a la norma americana C37.2-1970 de la ANSI.

Este sistema de designación se usa en los diagramas unifilares y especificaciones principalmente.

Los números más utilizados se enumeran a continuación.

No. de Dispositivo	Descripción de acuerdo a Normas ANSI
1	Elemento maestro
2	Relevador de cierre o iniciación retardada
3	Reservado para aplicación futura
4	Contactador o relevador maestro
5	Dispositivo de paro
6	Interruptor, contactor o conector de arranque
7	Interruptor del circuito de anodo
8	Desconector de la alimentación de control
9	Dispositivo inversor
10	Controlador de secuencia
11	Transformador de alimentación de control
12	Dispositivo de sobreelevación
13	Dispositivo de velocidad sincrónica
14	Dispositivo de baja velocidad
15	Dispositivo regulador de velocidad
16	Dispositivo de control para carga de baterías
17	Interruptor o contactor de descarga de campo
18	Interruptor, contactor o relevador de desaceleración
19	Contactador o relevador de transición de arranque a marcha
20	Valvula de operación eléctrica
21	Relevador de impedancia
22	Interruptor o contactor igualador
23	Dispositivo regulador de temperatura
24	Interruptor, contactor o conector de enlace entre barras colectoras
25	Dispositivo para sincronización o puesta en paralelo de circuitos
26	Dispositivo de operación térmica instalado en equipo
27	Relevador de bajo voltaje de C A
28	Dispositivo de operación térmica instalado en resistores
29	Interruptor, contactor o desconector para separar circuitos
30	Relevador señalizador
31	Dispositivo de excitación separada
32	Dispositivo o relevador de potencia
33	Conector de posición


No. de dispositivo	Descripción de acuerdo a Normas ANSI
34	Conector motorizado de secuencia
35	Dispositivo para movimiento de carbones o para cortocircuitar anillos deslizantes
36	Dispositivo de polaridad
37	Relevador de bajo voltaje o baja corriente
38	Dispositivo térmico para protección de rodamientos
39	Contactador de reducción de campo
40	Relevador de campo
41	Interruptor, contactor o desconector de campo
42	Interruptor, contactor o desconector de marcha
43	Dispositivo de transferencia
44	Contactador o relevador de iniciación o cambio de secuencia
45	Relevador de sobrevoltaje de CD
46	Relevador de inversión o desbalanceo de fases
47	Relevador de inversión o pérdida de fase
48	Relevador de secuencia incompleta
49	Relevador o dispositivo de sobre-temperatura en equipo de C.A
50	Relevador o dispositivo de protección contra cortocircuitos
51	Relevador de sobrecorriente de C.A
52	Interruptor o contactor de C.A
53	Relevador de excitador o de generador
54	Interruptor de alta velocidad
55	Relevador de factor de potencia
56	Relevador o dispositivo de aplicación de campo
57	Dispositivo para aterrizar o cortocircuitar un circuito
58	Relevador de falla de encendido de ignitrones
59	Relevador de sobrevoltaje de C.A
60	Relevador de desbalance de voltaje
61	Relevador de desbalance de corriente
62	Relevador que retrasa la apertura o paro
63	Relevador de presión, flujo o nivel de fluido
64	Relevador de protección a tierra
65	Gobernador
66	Relevador de pasos
67	Relevador direccional de sobrepotencia o sobrecorriente
68	Dispositivo o relevador térmico
69	Dispositivo permisivo de control
70	Reostato de operación eléctrica
71	Interruptor o contactor de alimentación de emergencia de CD
72	Interruptor o contactor de línea de CD
73	Interruptor o contactor de resistencia de carga
74	Relevador de alarma
75	Mecanismo de cambio de posición

No. de dispositivo	Descripción de acuerdo a Normas ANSI
76	Relevador de sobrecorriente de CD
77	Transmisor de impulsos
78	Relevador medidor de ángulo de fase
79	Relevador de recierre de C.A.
80	Relevador o dispositivo de bajo voltaje de CD
81	Dispositivo de frecuencia
82	Relevador de recierre de CD
83	Interruptor o contactor de transferencia o selección automática
84	Mecanismo de operación
85	Relevador receptor de sistemas de onda portadora o hilo piloto
86	Relevador o dispositivo de bloqueo
87	Relevador diferencial
88	Motor o motor generador auxiliar
89	Desconectador de línea
90	Dispositivo regulador
91	Relevador direccional de voltaje de CD
92	Relevador direccional de voltaje y corriente
93	Contactador o relevador de modificación del campo
94	Relevador o contactor de disparo libre
95	Reservado para aplicaciones especiales
96	Reservado para aplicaciones especiales
97	Reservado para aplicaciones especiales
98	Reservado para aplicaciones especiales
99	Reservado para aplicaciones especiales

Los números anteriores se utilizan para designar las funciones de los dispositivos en todo tipo de equipo automático de maniobra, excepto para el equipo de recierre automático en alimentadores.

- Para dichos equipos se utiliza la nueva serie que comienza en el 101 en lugar de 1.
- Cuando se necesita se aplica el término "restablecimiento manual"
- Se usan también sufijos alfabéticos para señalar dispositivos auxiliares separados tales como:

X
Y
Z



contactor o relevador auxiliar.

1.4. - CONDICIONES NORMALES DE SERVICIO

Se deben tomar en cuenta para el diseño de un tablero Metal-Clad las condiciones ambientales de cada región y en general los siguientes puntos son de importancia para el perfecto funcionamiento del tablero.

La temperatura ambiente del aire no debe exceder de 40 ° C y su valor medio, medido en un periodo de 24 Hrs. , no debe exceder de 35 ° C.

La temperatura ambiente mínima del aire debe ser de -5 ° C para tableros de servicio interior y de - 25 ° C para tableros de servicio intemperie.

La altitud no debe exceder de 1000 msnm.

El aire ambiente no debe estar contaminado por polvo, humo, sal, gases ni por vapores corrosivos e inflamables

Para instalación intemperie, el fabricante debe tomar en cuenta la presencia de condensación, lluvia, nieve, una capa de hielo o escarcha hasta de 5 kg/m², cambios rápidos de temperatura y los efectos de la radiación solar.

*** Nota:**

Esto no implica que los tableros intemperie conduzcan su corriente nominal bajo todas las condiciones de radiación solar sin que exceda la elevación de temperatura especificada mas adelante.

La presión del viento no debe exceder de 700 Pa (que corresponde a 34 m/s de velocidad del viento).

Para instalación interior, las condiciones de humedad están bajo consideración, pero pueden usarse como guía las cifras siguientes:

- El valor medio de la humedad relativa, medido durante un periodo de 24 hrs. no excede 95%, y el valor promedio de un mes no excede 90%.
- El valor medio de la presión de vapor, para un periodo de 24 hrs no excede 22 mBar.

En estas condiciones pueden producirse condensaciones en alguna ocasión.

Las vibraciones producidas por causas externas al tablero o por temblores de tierra son despreciables.

Condiciones atmosféricas normalizadas

Son aquellas bajo las cuales, las pruebas a los tableros de media tensión deben ser aplicadas, dichas condiciones atmosféricas son:

- Temperatura 20° C
- Presión Atmosférica 101,3 kPa
- Humedad 11 grs/m³.

1.4.1. - Condiciones especiales de servicio

Es recomendable que las condiciones normales de servicio, descritas en el punto 1.4, se cumplan si es aplicable. Sin embargo, si existen condiciones especiales de servicio y no pueden ser eliminadas, éstas tendrán que ser especificadas por el usuario, previo acuerdo con el fabricante, aplicando las siguientes consideraciones:

Temperatura ambiente superior a 40° C

Cuando los tableros de media tensión son usados en temperaturas ambiente superiores a los 40 ° C, su funcionamiento puede ser afectado y deben tomarse en cuenta consideraciones especiales. Para estas aplicaciones los límites de temperatura para partes y materiales está listado en la sección de especificaciones generales en la tabla 1.10 y no pueden excederse estos valores.

Altitud

Los tableros de media tensión que dependan del aire como medio dieléctrico y de enfriamiento tendrán una mayor elevación de temperatura y una menor capacidad dieléctrica de aguante cuando sea operada a altitudes superiores a la especificada en el punto la tabla 1.2

Para aplicaciones a mayores altitudes, la tensión permanente a la frecuencia del sistema nominal, la tensión de aguante al impulso, y el valor de corriente nominal de los tableros deben multiplicarse por los factores de corrección de la tabla 1.2

Factores de corrección para altitudes mayores que la normalizada

Altitud msnm	Para Tensiones nominales y de prueba		Para corriente nominal	Para temperatura ambiente
	Referidas al nivel del mar	Referidas a la altitud de prueba		
0	1	2	3	4
1000	1	1	1	1
1200	1.02	.98	.995	.992
1500	1.05	.95	.990	.980
1800	1.05	.92	.985	.966
2100	1.13	.89	.980	.956
2400	1.17	.85	.970	.944
2700	1.21	.83	.965	.932
3000	1.25	.80	.960	.920
3600	1.33	.75	.95	.896
4200	1.43	.70	.935	.872

Tabla 1.2

* Notas

- 1 En la columna 1 se indica el factor que debe aplicarse a la tensión de prueba al nivel del mar para mantener los valores dados en la tabla 1.3 a la altitud de operación
- 2 En la columna 2 se indica el factor que debe aplicarse a las tensiones de prueba de la tabla 1.3 para obtener los valores a la altitud de prueba equivalentes a los de nivel del mar
- 3 Los factores de corrección de las columnas 3 y 4 no deben aplicarse al mismo tiempo
- 4 Para efectos de prueba los valores que se utilicen deben ser afectados por los factores de corrección a condiciones atmosféricas normalizadas.

1.4.2. - Ambientes no usuales (Ver Tabla 1.8)

Un buen rendimiento de tableros en media tensión puede conseguirse en ambientes no usuales con consideraciones especiales cuando se desarrollan las especificaciones del equipo, sin embargo, deberá hacerse énfasis en eliminar, si es posible totalmente, tales condiciones no usuales. Algunos ejemplos de ambientes no usuales son:

- a) Exposición a humos dañinos, vapor, sal y vapores de aceites
- b) Exposición a polvos
- c) Exposición a climas húmedos y cálidos
- d) Exposición a ambientes explosivos
- e) Exposición a vibraciones anormales
- f) Exposición a temblores.

1.4.3. - Especificaciones generales

Las características nominales de los tableros de media tensión son valores límite de operación bajo condiciones específicas de temperatura ambiente, incremento de temperatura etc. cuando el tablero de media tensión cuente con circuito primario y secundario las especificaciones deben ser asignadas a ambos.

En los tableros de media tensión (metal-clad) se debe contar con la siguiente información:

- Tensión nominal
- Nivel de aislamiento nominal
- Número de fases
- Frecuencia nominal
- Corriente nominal
- Corriente sostenida de corto tiempo, corriente sostenida de cresta
- Nivel de aislamiento nominal de alimentación de los dispositivos de cierre y apertura y de los circuitos auxiliares (cuando aplica).
- Frecuencia nominal de alimentación de los dispositivos de cierre y apertura, además de los circuitos auxiliares (cuando aplica).
- Grados de protección, Limitación de temperatura
- Transformadores de corriente

Tensión nominal

Los valores de tensión nominal de los tableros de media tensión trifásicos deben ser los indicados en la tabla 1.3, columna 1

Nivel de aislamiento nominal

Los valores del nivel de aislamiento de los tableros de media tensión trifásicos deben ser los indicados en la tabla 1.3, columnas 3 a 6.

Tensiones nominales y niveles de aislamiento (kV)

Tension nominal (valor eficaz)	Tension maxima (valor eficaz)	Tension de aguante al impulso por rayo (1.2/50 μ s)		Tension sostenida (1 min. 60 Hz) (valor eficaz)	
		a tierra y entre fases	a traves de la distancia de seccionamiento	a tierra y entre fases	a traves de la distancia de seccionamiento
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
2.4	3.6	40	46	10	12
4.16	4.76	60	66	15	21
7.2	8.25	75	83	26	29
13.8	15	95	105	36	40
23	25.5	125	138	60	66
34.5	36	150	165	80	86

Tabla 1.3

Estos valores se aplican al caso general en que el aire aislante o las superficies expuestas de aislamiento sólido están sujetos a los efectos de las condiciones atmosféricas y de otras condiciones tales como contaminación atmosférica, humedad, insectos etc.

Número de fases

El numero de fases es de 3.

Frecuencia nominal

La frecuencia nominal debe ser de 60 Hz.

Corriente Nominal

Los valores de corriente nominal de los circuitos, tales como alimentadores o barras colectoras, deben seleccionarse de la siguiente tabla 1.4

Valores nominales de corriente (amps)

400	600	630	800	1000	1200	1250
1600	2000	2500	3000	3150	4000	5000

Tabla 1.4

Corriente sostenida de corta duración

Conviene elegir el valor nominal de la corriente sostenida de corta duración admisible de la serie R-10, este valor debe ser compatible con cualquier otra característica de cortocircuito asignada, especificada para el aparato mecánico de conexión, ver tabla 1.5

SERIE R-10									
1	1.25	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	y sus productos por 10 ⁿ

Tabla 1.5

Corriente sostenida de cresta

El valor normal de la corriente sostenida de cresta es igual a 2.5 veces el valor de la corriente sostenida de corta duración. Este término es igual al de la corriente de cierre en corto circuito.

Duración de cortocircuito

Es el intervalo de tiempo durante el cual un aparato mecánico de conexión puede, en posición de cierre, soportar la corriente sostenida de corta duración.

1. El valor normal de la duración de corto circuito asignada es de 1 s.
2. Si es necesario un valor superior a 1 s, se recomienda el valor de 3 s
3. Por acuerdo entre el fabricante y el usuario, puede elegirse un valor inferior a 1 s.

Nivel de aislamiento nominal de alimentación de los dispositivos de cierre y apertura y de los circuitos auxiliares.

Tensión nominal de alimentación de los dispositivos de cierre y apertura y de los circuitos auxiliares es la tensión medida en los bornes del aparato mismos durante su funcionamiento, incluyendo, si es necesario, las resistencias auxiliares o los accesorios proporcionados o requeridos por el fabricante para su instalación en serie con él, pero sin incluir los conductores para la conexión a la fuente de alimentación. Los valores de tensión nominal de alimentación se muestran en las tablas 1.6 y 1.7

Tensión en corriente directa

Tensión (V)
24
48
60
110 o 125
220 o 250

Tabla 1.6

Tensión en corriente alterna

Sistema trifásico de cuatro y tres hilos (V)	Sistema Monofásico de tres hilos (V)
220/127	220/120
440/254	

Tabla 1.7

* Notas

Los valores interiores de la primera columna de la tabla 1.7 son tensiones entre fase y neutro y los mayores son entre fases. El valor de la segunda columna es la tensión entre fase y neutro, y el valor mayor es la tensión entre líneas

El valor nominal de la frecuencia de alimentación de los dispositivos de cierre y apertura y de los circuitos auxiliares es de 60 Hz

1.5. - GRADOS DE PROTECCION

1.5 1. - Grados de proteccion de acuerdo a NEMA

TIPO	PROTECCION	DESCRIPCION
1	Usos generales	Diseñado para uso en interiores, en áreas donde no existen condiciones especiales de servicio, y proteger el contacto accidental de personas con el equipo protegido
2	A prueba de goteo	Diseñado para uso en interiores, proteger el equipo contra goteo de líquidos no corrosivos y contra salpicaduras de lodo
3	Para servicio Intemperie	Diseñado para uso en exteriores y proteger el equipo que encierra contra tolveneras y aire húmedo. Gabinete metálico resistente a la corrosión
3R	A prueba de lluvia	Diseñado para uso en exteriores y proteger el equipo que encierra contra la lluvia. Gabinete metálico resistente a la corrosión
4	Hermetico al agua, polvo y resistente a la corrosion	Diseñado para equipo expuesto directamente a severas condiciones externas, salpicaduras de agua o chorro de manquera
4X	Hermetico al agua, polvo y resistente a la corrosion	Debe cumplir con los mismos requisitos que se señalan para gabinetes tipo 4 y además ser resistentes a la corrosion (con acabado especial para resistir corrosion o gabinete hecho de polyster)
5	Hermetico al polvo	Diseñado para uso en interiores y proteger el equipo que encierran contra el polvo
6	Sumergible, hermetico al agua y al polvo	Diseñado para uso en interiores y exteriores, en caso de inmersión ocasional caída de chorros directos de agua, polvos o pelusas
7	A prueba de gases explosivos	(Equipo encerrado en aire), diseñado para usos en atmosferas peligrosas clase 1 grupos B, C o D (ver NEC) y soportar una explosión interna sin causar peligros externos
8	A prueba de gases explosivos	(Equipo encerrado en Aceite), diseñado para el mismo fin que el tipo 7 pero su equipo trabaja sumergido en aceite y así evitar cualquier posibilidad de arco que se produzca
9	A prueba de polvos explosivos	(Equipo encerrado en aire), diseñado para uso en atmosferas peligrosas Clase II grupos E, F, y G (ver NEC) y evitar el ingreso de cantidades peligrosas de polvos explosivos
10	Para uso en minas	Diseñado para uso en minas, cumpliendo los requisitos para atmosferas que contienen mezclas de metano y aire. Gabinete a prueba de explosión con juntas y seguros adecuados
11	Resistente a la corrosion	(Equipo encerrado en aceite) diseñado para proteger el equipo contra condensaciones externas de líquidos corrosivos, humos y gases corrosivos. Gabinete resistente a la corrosión
12	Uso industrial, hermetico al polvo y al goteo	Diseñado para uso en interiores y/o proteger al equipo contra fibras, insectos, pelusas y polvos, salpicaduras ligeras, goteos y condensaciones externas de líquidos
13	Uso industrial, hermetico al aceite y al polvo	Diseñado para uso en interiores y proteger el equipo contra aceites, líquidos refrigerantes y polvos. Principalmente en gabinetes de dispositivos piloto para maquinas herramienta

Tabla 1.8

1.5.2. - Grados de protección de acuerdo a IEC

1. Protección de personas contra aproximaciones a partes vivas y contacto con partes móviles.

Para tableros blindados tipo metal-clad y para tableros tipo compartimentados los grados de protección deben especificarse separadamente para envolventes y divisiones.

Para tableros tipo cubículo, solamente es necesario especificar el grado de protección para las envolventes.

Para los circuitos principales de compartimentos en gas, no es necesario especificar el grado de protección.

El grado de protección contra contactos de personas con partes vivas de circuitos auxiliares y con algunas partes móviles (flechas en rotación y articulaciones móviles) debe ser indicado por medio de la designación especificada en la tabla 1.9

La característica numeral señala el grado de protección previniendo para las envolventes con respecto a las personas y al equipo contenido.

La tabla 1.9 da detalles de objetos considerados "externos" a la envolvente para cada grado de protección.

El termino "externo" implica que parte de un cuerpo u objeto detenido por cualquier persona no entrara a la envolvente o si entra, que mantenga una distancia adecuada y no pueda tocar partes en movimiento.

GRADO DE PROTECCIÓN	PROTECCIÓN CONTRA APROXIMACIONES A PARTES VIVAS Y CONTACTOS CON PARTES MÓVILES
IP 2 X	Dedos u objetos similares de un diametro mayor a 12 mm
IP 3 X	Herramientas, alambres, etc de diametro o espesor mayor de 2.5 mm
IP 4 X	Alambres de diametro o flejes de espesor mayor de 1.0 mm
* Nota	La designacion de los grados de proteccion corresponde a IEC-529

Tabla 1.9

2. Protección del equipo contra efectos externos.

- Protección contra ingreso de cuerpos sólidos.
- Protección contra la intemperie, equipo para instalación exterior contará con protección apropiada, y estará indicada por la letra característica W puesta esta inmediatamente después de las letras IP.
- Protección contra el ingreso de agua, en tableros de servicio interior, no esta previsto un grado de proteccion contra daños por el ingreso de agua.

3. Protección del equipo contra danos mecánicos.

Bajo consideración, por el momento el fabricante debe ser consultado de los lugares de la envolvente que pueda ser sometida a impactos mecánicos o efectos similares.

Falla interna.

Las fallas dentro de la envolvente de un tablero debido a un efecto o a una condición excepcional de servicio o mala operación, pueden provocar un arco interno.

La probabilidad de que ocurran tales fallas en las construcciones que satisfacen los requisitos de esta norma, es muy pequeña, pero no deben ser desatendidas.

En presencia del personal, alguna de tales fallas puede conducir al riesgo de daños, pero la probabilidad debe ser menor, es deseable que se prevea el más alto grado de protección al personal. El principal objetivo debe ser evitar tales fallas o de limitar su duración y consecuencias, la experiencia muestra que las fallas son más probables que ocurran dentro de la envolvente que en otra parte, se debe poner especial atención a esto.

Las pruebas son innecesarias en partes de circuitos protegidos por dispositivos limitadores de corriente, por ejemplo fusibles.

1.5.3. - Envolventes.

Generalidades.

Las envolventes de un tablero metal-clad, deben ser metálicas, cuando el tablero es instalado, la envolvente proveera al menos los grados de protección indicados en las tablas 1.8 o 1.9 asegurando protección de acuerdo con las siguientes condiciones.

La superficie del piso, aún no siendo metálica, se considerara como una parte de la envolvente, las medidas tomadas en función a obtener el grado de protección escrito para las superficies del piso deben ser mediante acuerdo entre el fabricante y el usuario.

Las paredes de un local no son consideradas como parte de la envolvente.

Cubiertas y puertas.

Las cubiertas y puertas que son parte de una envolvente, deben ser metálicas. Cuando se cierran deben prever el grado de protección especificado para la envolvente.

Las cubiertas y puertas no deben ser nechas de malla de alambre, metal expandible o similares.

Dos categorías de cubiertas y puertas son reconocidas para compartimentos de alta tensión.

1. Aquellas que no necesiten ser abiertas en condiciones normales de operación o mantenimiento (cubiertas fijas). No debe ser posible quitar una de estas cubiertas sin el uso de una herramienta.
2. Aquellas que necesiten ser abiertas en condiciones normales de operación o mantenimiento (cubiertas y puertas removibles), estas no necesitan herramientas especiales para abrirse o removerse. Deben tener medios de cierre fácil, por ejemplo: candados a menos que la seguridad del personal este garantizada por un adecuado dispositivo de bloqueo.

En tableros metal-clad y compartimentados, las puertas y cubiertas sólo deben abrirse cuando la parte del circuito principal contenido en el compartimento al cual se tendrá acceso, esté desenergizado.

Aberturas de ventilación o descarga (alivio de sobrepresiones).

Las aberturas de ventilación y descarga deben estar resguardadas de tal forma que el grado de protección especificado para la envolvente, sea obtenido. Estas aberturas pueden llevar malla de alambre o similar siempre que tengan una adecuada resistencia mecánica. Así también deben estar resguardadas de manera que reduzcan al mínimo el peligro al operador a consecuencia del escape de gas o vapor a presión

Limitaciones de temperatura

El calentamiento de cualquier parte de un aparato de conexión para una temperatura ambiente que no supere los 40° C, no debe exceder los límites especificados en la tabla 1.10

Item	Naturaleza de la parte, del material y el dielectrico	Temp. °C	Elevacion de temp. A una temp. ambiente max.de 40°C
1	Contactos, cobre desnudo y aleacion de cobre desnudo		
	en aire	75	35
	en SF6	90	50
	en aceite	80	40
	Plataado o niquelado en aire		
	en SF6	105	65
	en aceite	90	50
	Estanados en aire		
	en SF6	90	50
	en aceite	90	50
2	Conexiones, atornilladas o el equivalente		
	Cobre desnudo y aleacion de cobre desnudo		
	en aire	90	50
	en SF6	105	65
	en aceite	100	60
	Plataado o niquelado en aire		
	en SF6	115	75
	en aceite	100	60
	Estanado en aire		
	en SF6	105	65
en aceite	100	60	
3	Demas contactos o conexiones necnas con metal		
	desnudo o cubierto con otros materiales	(ver nota 8)	(ver nota 8)
4	Terminales para la conexion de conductores externos (ver nota 9)		
	Desnudo	90	50
	Plataado, estanado o niquelado	105	65
	Otros recubrimientos	(ver nota 8)	(ver nota 8)

cont...

Item	Naturaleza de la parte, del material y el dielectrico	Temp. °C	Elevacion de temp a una temp. ambiente max. de 40°C
5	Aceites para interruptores en aceite (ver notas 10 y 11)	90	50
6	Partes metalicas actuando como resortes	(ver nota 12)	(ver nota 12)
7	Materiales usados como aislantes y partes metalicas en contacto con aislamientos de las siguientes clases (ver nota 13)		
	Clase Y (para materiales no impregnados)	90	50
	Clase A (para materiales inmersos en aceite o impregnados)	100	60
	Clase E	120	80
	Clase B	130	90
	Clase F	155	115
	Enamel base aceite	100	60
		Sintetico	120
	Clase H	180	140
Clase C	(ver nota 14)	(ver nota 14)	
8	Cualquier parte de metal o de material aislante en contacto con aceite, excepto contactos	100	60

Tabla 1.10

* Notas a la tabla 1.10

- De acuerdo a su funcion, la misma parte puede caer en varias de las categorias listadas en la tabla. En este caso los valores maximos permisibles de temperatura en incremento de temperatura a ser considerados seran los mas bajos.
- Para dispositivos de interrupcion en vacio, los valores de temperatura y de incremento de temperatura no aplican para partes en vacio. El resto de las partes no deben exceder los valores de la tabla.
- Debe tenerse cuidado para asegurar que no ocurra daño en los materiales aislantes de alrededor.
- Cuando haya contactos con distintos recubrimientos, las temperaturas permisibles y los incrementos de temperatura seran adecuadas con menor valor permitido en la tabla.
- La calidad del recubrimiento en los contactos sera tal que una capa del recubrimiento se mantenga en el area de contacto.
 - Despues de hacer prueba de ruptura.
 - Despues de la prueba de corriente sostenida de corta duracion.
 - Despues de pruebas de resistencia mecanica.
- Para contactos de fusibles, el incremento de temperatura sera de acuerdo a norma de fusibles.
- En conexiones con distinto recubrimiento, el valor y el incremento de temperatura, sera el de la parte con mayor valor listado en la tabla.
- Cuando sean usados materiales no listados en la tabla, las propiedades de los materiales deberan tomarse en cuenta para determinar los valores de temperatura e incremento de la misma.
- Los valores de temperatura e incremento de temperatura son validos aun en el caso de que el conductor conectado a la terminal sea desnudo.
- En la parte superior del aceite.
- Consideraciones especiales deben tomarse en cuenta cuando se use low flash point oil con los valores dados y la oxidacion.
- La temperatura no debe alcanzar el valor donde la elasticidad del material sea afectada.

13. Las siguientes clases de materiales aislantes son consideradas

- Clase Y El aislamiento consiste de materiales o combinaciones tales como algodón, seda y papel no impregnados.
- Clase A: El aislamiento consiste de materiales o combinaciones tales como algodón, seda y papel impregnados, recubiertos o inmersos en líquidos dieléctricos tales como aceite.
- Clase B El aislamiento consiste de materiales o combinaciones tales como mica, fibra de vidrio, asbesto etc.
- Clase C El aislamiento consiste de materiales o combinaciones tales como mica, porcelana, vidrio y cuarzo con o sin adulvinantes inorgánicos.
- Clase E El aislamiento consiste de materiales o combinaciones que por experiencia o pruebas aceptadas demuestran ser capaces de operar en temperaturas clase E.
- Clase F El aislamiento consiste de materiales o combinaciones tales como mica, fibra de vidrio, asbesto etc.
- Clase H El aislamiento consiste de materiales o combinaciones tales como silicón, mica, fibra de vidrio, asbesto etc. con adulvinantes adecuados tales como resina de silicón.

14. Limitado solo a la necesidad de no causar ningún daño a partes adyacentes.

1.6 EL GAS SF₆ COMO MEDIO DE INTERRUPCION.

1.6.1. Generalidades

Debido al aumento constante de la potencia en las instalaciones eléctricas, los fabricantes de equipos de interrupción, se han visto obligados a mejorar las características de ruptura de los interruptores a fin de protegerlos de las potencias elevadas de corto circuito a las que están expuestos. A fin de adaptarse a las más estrictas normas que actualmente imperan, el interruptor de gran volumen de aceite ha sido desplazado por los tipos de pequeño volumen de aceite y de aire comprimido. Todos estos modelos poseen sus propias ventajas y desventajas, las cuales están determinadas por la naturaleza del fluido extintor.

Con la idea de poder hacer frente, adecuadamente a los requisitos presentes y futuros, los fabricantes han buscado un nuevo fluido extintor que posea las ventajas de los existentes y que, al mismo tiempo, no tenga ninguno de sus inconvenientes.

Hace, aproximadamente, unos 15 años la empresa Westinghouse, pionera de la nueva técnica, realizando un examen sistemático de las características de los gases adecuados para la extinción del arco eléctrico, seleccionó al hexafluoruro de azufre. Este es el único gas que posee reunidas, las propiedades físicas, químicas y eléctricas favorables para la extinción de los arcos de los interruptores de potencia.

El uso del hexafluoruro de azufre en los equipos de interrupción de media y alta tensión han ido en constante progresión, empezando a ser utilizados en U.S.A. y actualmente en Europa y Asia.

1.6.2. El gas hexafluoruro de azufre (SF₆)

El hexafluoruro de azufre gaseoso es incoloro, inodoro, no tóxico y no inflamable. Es uno de los compuestos químicos más estables y también, uno de los gases más pesados: a 20°C y presión atmosférica, su densidad es cinco veces la del aire.

Su coeficiente de transmisión del calor, a presión atmosférica, es 1.6 veces mayor que la del aire y a una presión de 2 kg./cm² este coeficiente es, aproximadamente, 25 veces el del aire a presión atmosférica. Esta es una propiedad muy interesante, ya que facilita una rápida disipación del calor y reduce, de esta manera el aumento de temperatura del equipo.

El hexafluoruro de azufre es un gas halógeno cuya estructura molecular comprende un átomo de azufre central unido a seis átomos de flúor dispuestos en los vértices de un octaedro.

El hexafluoruro de azufre es una de las sustancias más inertes conocidas. No ataca ningún material estructural a temperaturas inferiores a 500°C, y permanece estable a temperaturas a las cuales el aceite se oxida y descompone. A la temperatura del arco eléctrico se descompone en fluoruro de azufre inferior, pero el grado de descomposición es muy pequeño, debido a que la mayoría de los productos resultantes, se regeneran inmediatamente para formar de nuevo el hexafluoruro de azufre, con el resultado de que este permanece intacto después de sucesivas rupturas. Las pequeñas cantidades de residuos que puedan permanecer son absorbidas por alúmina activada, dispuesta a tal efecto. Durante el paso del arco, se producen fluoruros metálicos, los cuales se depositan en forma de polvo blanco, pero debido a que poseen una gran rigidez dielectrica no causan perturbación desde el punto de vista eléctrico.

La rigidez dielectrica del gas hexafluoruro de azufre, a presión atmosférica, es más del doble de la del aire, (anhidrido carbónico o nitrógeno)

Como podemos observar en la fig. 1.3 la rigidez dieléctrica que es un 30 % menor que la del aceite a presión atmosférica, aumenta rápidamente con el incremento de presión. Alcanza un valor igual al del aceite a una presión de 650 g/cm² y a 1.25 kg/cm², la rigidez dieléctrica del hexafluoruro de azufre es aproximadamente, 15% mayor que la del aceite.

Un arco en hexafluoruro de azufre no produce ningún depósito de carbon como ocurre en el caso del aceite

Como la densidad del hexafluoruro de azufre es cinco veces mayor que la del aire, la velocidad de disuasión es extremadamente lenta. Una pequeña cantidad de aire no tiene, prácticamente, ninguna influencia en la rigidez dielectrica del hexafluoruro de azufre.

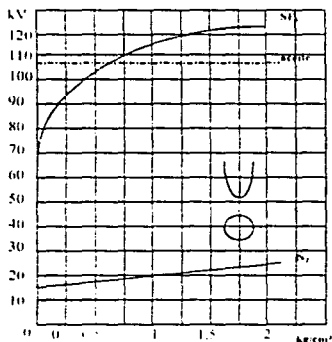


Fig. 1.3 Curvas comparativas de la rigidez dieléctrica del hexafluoruro de azufre, aceite y nitrógeno

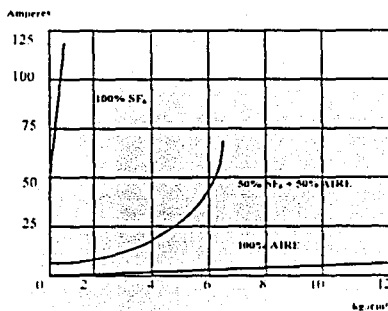


Fig. 1.4. Curvas comparativas de las corrientes cortocircios a 2.3 kV en el aire, con una mezcla en partes iguales de hexafluoruro de azufre y hexafluoruro de azufre puro

El hexafluoruro de azufre es uno de los gases más electronegativos, es decir, sus moléculas tienen una gran afinidad para los electrones libres, con los cuales se combinan para formar hexafluoruro de azufre (SF₆) cargado negativamente junto con iones de pentafluoruro de azufre (SF₅). Como estos iones son pesados y, por lo tanto, prácticamente inmóviles, no actúan como portadores de corriente. Es esta la cualidad excepcional del hexafluoruro de azufre la que otorga sus excelentes propiedades dieléctricas y, también, su gran poder de extinción del arco.

Como las tensiones disruptivas (de perforación del aislamiento) en el hexafluoruro de azufre son 24 veces las observadas en el aire, es posible cortar en hexafluoruro de azufre corrientes 100 veces mayores que aquellas que podrían ser cortadas en el aire, bajo condiciones idénticas. La fig 1.4 muestra los resultados experimentales obtenidos, a varias presiones para una distancia de ruptura, de 7.5 mm a 2.3 kV.

El problema de las velocidades de crecimiento de la tensión de reencendido, las cuales pueden alcanzar valores excesivamente elevados en el momento del corte (por ejemplo, en el defecto kilométrico) ha sido especialmente estudiado. M. Mayr ha deducido una fórmula que da el valor límite de la tensión de reencendido, después de que la corriente ha pasado por cero, por encima de la cual el arco se cerrará nuevamente;

$$E \approx \frac{E_0}{2^{1.73} (\varphi V)^2} \text{ volts}$$

E₀ = Tensión del arco estabilizado

φ = Constante de tiempo de la columna del arco (tiempo que tarda la tensión del arco en tomar su valor inicial después de la perturbación).

$$V = 2 \pi f_0$$

La constante de tiempo φ, para el hexafluoruro de azufre es 100 veces menor que la del aire luego la tensión de reencendido permisible puede ser 100 veces mayor. En las figs 1.5 y 1.6 podemos ver las constantes de tiempo para distintas sustancias y para diversas mezclas de hexafluoruro de azufre y otros cuerpos gaseosos. Como se ve, todas ellas son considerablemente mayores que el hexafluoruro de azufre.

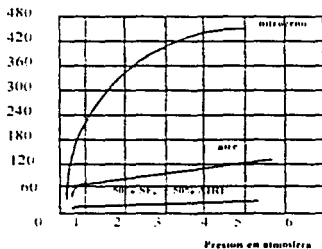


Fig 1.5 Constantes de tiempo del nitrógeno, aire y una mezcla a partes iguales de hexafluoruro de azufre y aire.

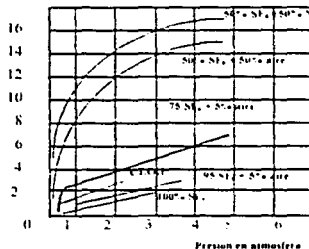


Fig 1.6 Constantes de tiempo, en función de la presión, de varias mezclas de hexafluoruro de azufre y aire.

El bajo valor de las constantes de tiempo se explica por la gran rapidez con que los electrones libres, en el arco, son capturados por las moléculas del gas. Esto explica por que un interruptor de hexafluoruro de azufre no es influenciado por las frecuencias propias de la red incluso las más elevadas. Debido a las propiedades inherentes a este gas, el proceso de ruptura de los interruptores de hexafluoruro de azufre es completamente diferente al de las unidades de aire comprimido

En un interruptor de aire comprimido el principal factor que influye para la extinción del arco es la violenta distorsión de la columna del arco en una boquilla; la distorsión es proporcional a la longitud del arco, a la presión y a la velocidad del sonido. La velocidad del sonido en el hexafluoruro de azufre es un 40 % menor que en el aire y, como los arcos en los interruptores de hexafluoruro de azufre se extinguen, al menos, tan rápidamente como en los de aire comprimido, necesariamente los fenómenos físicos que tienen lugar son diferentes.

En un interruptor de hexafluoruro de azufre, el arco se extingue por la disipación de calor radial en una cámara de soplado cilíndrica de un diámetro relativamente grande. Este proceso es acelerado por el hexafluoruro de azufre el cual es admitido en la cámara bajo la presión de 14 kg/cm², antes de que los contactos se separen. La acción no es, en ningún modo, tan violenta como la que tiene lugar en los de aire a presión, incluso pequeñas corrientes inductivas son cortadas sin producción de sobretensiones peligrosas. Fig 1.7

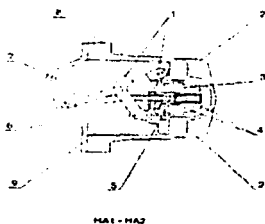


Fig 1.7 Extinción del arco en un interruptor en SF₆ para 24 kV, marca ABB

Por esta razón, los interruptores de hexafluoruro de azufre son especialmente, adecuados para el corte de líneas en vacío en las que la velocidad de recuperación del dieléctrico es de enorme importancia

Como ya hemos mencionado el hexafluoruro de azufre puro no es tóxico y puede manejarse sin peligro. Westinghouse realizó un experimento con unos ratones blancos en una atmósfera compuesta de un 20% de oxígeno y 80% de hexafluoruro de azufre durante 48 horas, y los animales no mostraron ningún signo de intoxicación.

Los productos de descomposición del hexafluoruro de azufre que se desprenden por contacto con el arco eléctrico, como ya hemos mencionado, en cantidad despreciable se absorben por la alúmina situada en el interior del interruptor. Por estas razones de economía, en vista del relativamente gran volumen de gas contenido en los interruptores de gran potencia el gas es recuperado antes de que se abra el tanque. No permanece ningún vestigio de los productos de descomposición del hexafluoruro de azufre al abrir las puertas del interruptor.

1.6.3. Ventajas del SF₆

Por lo tanto, resumiendo, el uso del hexafluoruro de azufre para la interrupción de arcos eléctricos presenta las siguientes ventajas.

- Una constante de tiempo de la columna del arco muy pequeña.
- Alta rigidez dieléctrica y una rápida recuperación del poder aislante después de la extinción del arco.
- El circuito es cortado con una velocidad de aumento de la tensión de recuperación excepcionalmente alta.
- Muy alta capacidad de ruptura.

La empresa Westinghouse ha empleado el hexafluoruro de azufre desde 1953 para una gama de desconectores bajo carga, de 15 a 161 kV capaces de cortar corrientes de hasta 600 amperes con factores de potencia de 0.5 a 1. Desde aquella fecha se han instalado satisfactoriamente cientos de unidades con esta tecnología

El uso del hexafluoruro de azufre en equipos de mayor poder de ruptura ha ido en aumento. En la fig. 1.8 se observa un interruptor en 24 kV, 3000A, 1000 MVA completamente modernizados y con los últimos avances en cuanto a diseño y funcionalidad.

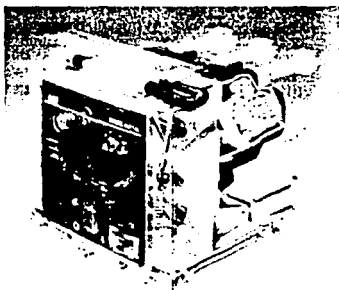


Fig. 1.8 Interruptor de 24 kV, 1000 MVA.
Marca ABB SACE.

2. SELECCION DE EQUIPO PRINCIPAL EN TABLEROS

2.1 INTERRUPTORES

2.1.1 Generalidades

El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de la continuidad de un circuito bajo carga en condiciones normales.

El interruptor es el dispositivo más importante de un tablero; debe ser capaz de interrumpir corrientes eléctricas de intensidades y factores de potencia diferentes, pasando desde las corrientes capacitivas de varios cientos de amperes a las inductivas de varias decenas de kiloamperes (cortocircuito).

El interruptor se puede considerar que está formado por tres partes principales:

Parte activa:

Constituida por las cámaras de extinción que soportan los contactos fijos y el mecanismo de operación que soportan los contactos móviles.

Parte pasiva:

Esta parte desarrolla las siguientes funciones:

- a) Protege eléctrica y mecánicamente el interruptor.
- b) Ofrece puntos para el levantamiento y transporte del interruptor, así como espacio para la instalación de los accesorios.
- c) Soporta los recipientes de aceite o gas, si los hay, y el gabinete de control.

Accesorios:

En esta parte se considera lo siguiente:

- a) Boquillas terminales que a veces incluyen transformadores de corriente.
- b) Válvulas de llenado, descarga y muestreo del fluido aislante.
- c) Conectores de tierra.
- d) Placa de datos.
- e) Gabinete que contiene los dispositivos de control, protección, medición, accesorios como: compresora, resorte, bobinas de cierre o de disparo, calefacción, etc.

Parametros de los interruptores

A continuación se definen algunas de las magnitudes y características que hay que considerar en un interruptor para una selección adecuada.

Tensión nominal: Es el valor eficaz de la tensión entre fases del sistema en que se instala el interruptor.

Tensión máxima: Es el valor máximo de la tensión para el cual está diseñado el interruptor y representa el límite superior de la tensión, al cual debe operar según normas.

2. SELECCION DE EQUIPO PRINCIPAL EN TABLEROS

2.1 INTERRUPTORES

2.1.1 Generalidades

El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de la continuidad de un circuito bajo carga en condiciones normales.

El interruptor es el dispositivo más importante de un tablero; debe ser capaz de interrumpir corrientes eléctricas de intensidades y factores de potencia diferentes, pasando desde las corrientes capacitivas de varios cientos de amperes a las inductivas de varias decenas de kiloamperes (cortocircuito).

El interruptor se puede considerar que está formado por tres partes principales:

Parte activa:

Constituida por las cámaras de extinción que soportan los contactos fijos y el mecanismo de operación que soportan los contactos móviles.

Parte pasiva:

Esta parte desarrolla las siguientes funciones:

- a) Protege eléctrica y mecánicamente el interruptor.
- b) Ofrece puntos para el levantamiento y transporte del interruptor, así como espacio para la instalación de los accesorios.
- c) Soporta los recipientes de aceite o gas, si los hay, y el gabinete de control.

Accesorios:

En esta parte se considera lo siguiente:

- a) Boquillas terminales que a veces incluyen transformadores de corriente
- b) Válvulas de llenado, descarga y muestreo del fluido aislante.
- c) Conectores de tierra.
- d) Placa de datos.
- e) Gabinete que contiene los dispositivos de control, protección, medición, accesorios como: compresora, resorte, bobinas de cierre o de disparo, calefacción, etc.

Parámetros de los interruptores

A continuación se definen algunas de las magnitudes y características que hay que considerar en un interruptor para una selección adecuada.

Tensión nominal: Es el valor eficaz de la tensión entre fases del sistema en que se instala el interruptor.

Tensión máxima: Es el valor máximo de la tensión para el cual está diseñado el interruptor y representa el límite superior de la tensión, al cual debe operar según normas.

Corriente nominal: es el valor eficaz de la corriente normal máxima que puede circular continuamente a través del interruptor sin exceder los límites recomendables de elevación de temperatura.

Corriente de corto circuito: es el valor eficaz de la corriente máxima de corto circuito que puede abrir las cámaras de extinción del arco. Las unidades son kiloamperes (kA) aunque comúnmente se dan en megavolt-amperes (MVA) de cortocircuito.

Camaras de extinción del arco: es la parte primordial de cualquier interruptor eléctrico, en donde al abrir los contactos se transforma en calor la energía que circula por el circuito que se trate.

Dichas camaras deben soportar los esfuerzos electrodinámicos de las corrientes de corto circuito, así como los esfuerzos dieléctricos que aparecen al producirse la desconexión de bancos de reactores, capacitores y transformadores.

Durante la interrupción del arco aparecen los siguientes fenómenos:

- a) Altas temperaturas debido al plasma creado por el arco.
- b) Altas presiones debido a la alta temperatura del plasma
- c) Flujos turbulentos del gas que adquieren velocidades variables entre 100 y 1000 metros por segundo y que producen el sopiado del arco, su alargamiento y, por lo tanto su extinción
- d) Esfuerzos mecánicos debidos a la corriente de cortocircuito
- e) Esfuerzos dieléctricos debidos a la tensión de restablecimiento

Como la interacción de estos fenómenos es difícil de analizar, el diseño de una cámara de interrupción está basada, en gran porcentaje, en tablas y pruebas de laboratorio. En la actualidad se sigue en la búsqueda de cámaras interruptivas de menor tamaño y mayores capacidades de cortocircuito, centrándose los estudios en la investigación de la física del arco eléctrico a través de equipos de medición, captación de datos, simulación y finalmente, del empleo de computadoras

2.1.2. - Tipos de interruptores (métodos de extinción del arco)

Cuando los contactos de un interruptor se abren es necesario favorecer la extinción del arco e inmediatamente después la recuperación del aislamiento (rigidez dieléctrica) entre los contactos mismos de manera que la rigidez dieléctrica entre estos sea superior a la tensión de restablecimiento. Para facilitar la extinción del arco se busca aumentar artificialmente la separación y disminuir la temperatura.

La recuperación de la rigidez dieléctrica se obtiene alejando lo más rápidamente posible los contactos y sustituyendo el gas ionizado producto del arco eléctrico, con algún material aislante, este material puede ser aire, aire comprimido a una presión determinada o algún otro tipo de gas a presión, como por ejemplo el Hexafluoruro de azufre (SF_6), puede ser también aceite mineral o bien se puede crear el vacío.

De acuerdo con los elementos que intervienen en la apertura del arco de las cámaras de extinción, los interruptores se pueden dividir en los siguientes grupos, ordenados conforme a su aparición histórica:

1. Gran volumen de aceite
2. Pequeño volumen de aceite
3. Neumáticos (aire comprimido)
4. Vacío
5. Hexafloruro de azufre

Interruptor de gran volumen de aceite: fueron los primeros interruptores que se emplearon en alta tensión y que utilizaron el aceite para la extinción del arco. Son muy utilizados todavía en Estados Unidos

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

Interruptor en pequeño volumen de aceite: este tipo que tiene forma de columna, fue inventado en Suiza por el Dr. J. Landry. Los interruptores en pequeño volumen de aceite, son muy utilizados en Europa en tensiones de hasta 230 kV y de 2500 MVA de capacidad interruptiva. En general se usan en tensiones y potencias medianas. Este interruptor utiliza aproximadamente un 5% del volumen de aceite del caso anterior.

Los contactos de estos interruptores pueden soportar, según estadísticas de los fabricantes, el siguiente número de operaciones sin requerir su cambio:

a corriente nominal	4 000 operaciones
a la mitad de la potencia máxima de cortocircuito	8 operaciones
a plena potencia de cortocircuito	3 operaciones

Interruptores neumáticos: 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/cm² dependiendo de la capacidad de ruptura del interruptor.

Las características de estos interruptores son las siguientes:

Los tiempos de maniobra son muy cortos, lo que limita la duración de los esfuerzos térmicos que originan los cortocircuitos y por lo tanto se reduce el desgaste de los contactos.

Son aparatos de construcción sencilla: se emplean los mismos elementos interruptivos para todas las tensiones, lo cual reduce el almacenaje y el costo de las piezas de repuesto.

Pueden efectuar cierres con tiempos mínimos y potencias de cortocircuito elevadas aunado al mantenimiento sencillo y rápido.

Interruptores de vacío: En este tipo de interruptores, el arco es extinguido de una manera diferente a la realizada en gas. A continuación se detalla su modo de operar.

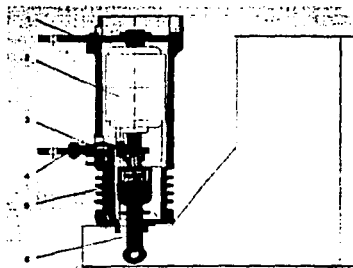
El elemento de corte en un interruptor en vacío es la botella de vacío, fig. 2.1. Esta consiste en una cámara de arqueo, protegida por aislamiento de cerámica, uno de los contactos está fijo con la estructura de la botella y el otro es móvil.

El metal descrito facilita el movimiento de los contactos y provee una conexión hermética a la botella del interruptor. La presión interna en el interruptor de vacío es menor que 10^{-7} bar.

El interruptor en vacío no tiene interrupción de arqueo medio. Las propiedades del material de los contactos y la geometría de ellos definen el comportamiento de interrupción y la capacidad de interrupción.

1. Parte fija
2. Botella de vacío
3. Mecanismo de accionamiento
4. Conector
5. Placa protectora
6. Mecanismo fijo

Fig. 2.1. Botella de vacío para interruptor de 24 kV.



Después de la separación de los contactos, el material de los vapores resultantes del arqueo pasa a través de la superficie de los contactos.

La corriente de arqueo hasta ahora fluida, termina en plasma hasta la siguiente corriente cero; cerca de la corriente cero, el arco es extinguido y las pérdidas del vapor metálico son conducidas en pocos milisegundos como consecuencia de la recombinación de la carga y la carrera de los iones.

En este sentido el espacio del contacto es des-ionizado y la resistencia dieléctrica se restablece rápidamente. El vapor metálico es condensado en la superficie de los contactos y sólo una pequeña porción se condensa en las paredes de la cámara de arqueo. Las paredes de la cámara de arqueo tienen la función, de proteger contra el vapor y prevenir la condensación del vapor metálico en el aislamiento

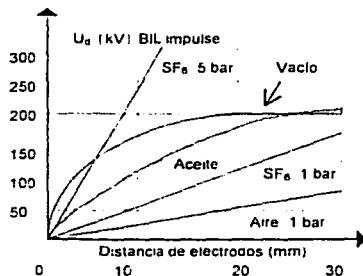


Fig. 2.2 Voltaje de descarga en función de los contactos de separación en diferentes medios

La resistencia dieléctrica en vacío es muy alta fig. 2.2. realizada en un laboratorio y comparada con la resistencia dieléctrica de los contactos de placa plana en diferentes medios de interrupción de arco.

Con una separación de unos cuantos milímetros en los contactos se logra una alta resistencia al voltaje de impulso. Después la curva se alisa, es decir, que para un valor específico y apenas una pequeña separación de los contactos se incrementa muy poco la resistencia dieléctrica.

Los interruptores en vacío para rangos desde 4.16 kV hasta 36 kV, fig. 2.3, tienen separación de contactos entre 5 mm y 25 mm.



Fig. 2.3. Interruptor en Vacío 36 kV
Cortesía ABB Sace (italy 1993)

Cuando se tienen corrientes normales de interrupción y corrientes de cortocircuito con valores momentáneos abajo de 10 kA, el flujo de corriente termina con la difusión del arco. Cuando las corrientes de interrupción son mas de 10 kA, las contracciones de arco comprimidas por estos campos magnéticos pueden causar aumento de calor en los contactos y en los soportes del arco.

En caso de prevenir semejante sobrecalentamiento local en la superficie de los contactos, el arco es forzado a rotar en ambos lados hasta mantenerse uniforme cerca de 10kA. Esto se puede alcanzar, por ejemplo, por la geometría especial de los contactos: contactos con campo magnético radial y contactos con campos magnéticos axiales. (Fig. 2.4)

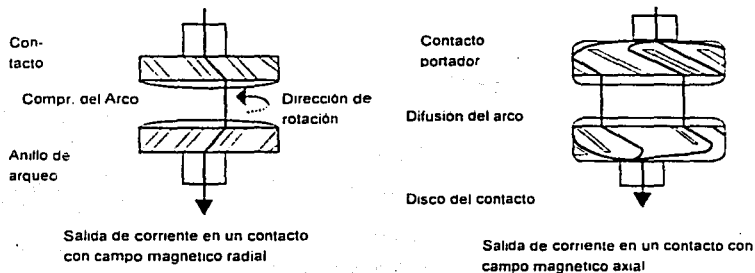


Fig. 2.4: Posibles tipos de contactos en los interruptores en vacío

El contacto de campo magnético radial previene sobrecalentamiento local de los contactos forzando la rotación del arco, hasta aquí, generando un campo magnético radial suplementario.

Al mismo tiempo en la terminación del flujo de corriente del arco, una fuerza es desarrollada, lo cual hace rotar el arco sobre los anillos de arqueo de los contactos, hasta aquí la erosión a los soportes del arco es distribuida sobre toda la superficie del anillo.

Cuando la corriente disminuye dentro de la mitad de la curva, incrementando más la parte de los arcos, estos son extinguidos hasta que se convierte en un solo arco a la derecha.

Otro método es usado para manejar corrientes de corto circuito largas. dos cualidades de los contactos ranurados forman la figura de la bobina de corriente del circuito. Esto genera un campo magnético axial suplementario, el cual detiene la difusión del arco en caso de corrientes muy largas

El arco es distribuido regularmente sobre toda el area de contacto, así que no existen esfuerzos locales.

La energía producida durante la extinción del arco es baja. Las razones de esto es la corta duración del arco, el poco espacio entre contactos y el hecho de que el arco no es enfriado.

Esto da como resultado una larga vida de servicio eléctrico de los contactos, mejor que los principios convencionales conocidos. Esta es la razón principal del porque los interruptores en vacío requieren de poco mantenimiento, con intervalos largos del mismo y bajo costo.

Como la rigidez dieléctrica en la separación de los contactos es restaurada rapidamente. Las corrientes de interrupcion capacitiva del interruptor son sin restriccion alguna.

La rápida recuperación de la rigidez dieléctrica en la separación de los contactos no es lograda por fuertes flujos en la mitad de la extinción del arco, pero si por las propiedades de los contactos. En contraste con los interruptores convencionales, altos sobrevoltajes no son consecuencia inevitable cuando se interrumpen corrientes inductivas. En los interruptores en vacío, la magnitud de la corriente depende del material de los contactos. Actualmente los interruptores en vacío modernos pueden tener corrientes de interrupcion pequeñas, esto no incrementa demasiado los altos sobre voltajes, incluso cuando se tienen interrupciones en transformadores sin carga. Fig. 2.5

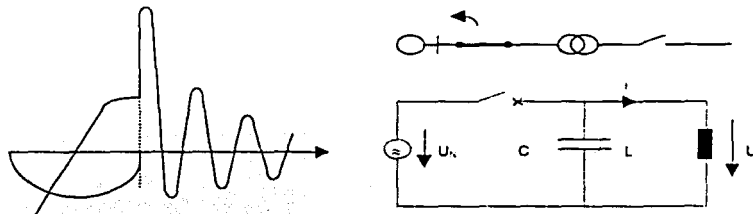


Fig. 2.5 Corrientes de interrupcion (chopping) durante switcheo inductivo

Interruptores de hexafluoruro de azufre (SF_6): son aparatos que se desarrollaron al final de la década de los años 60 y cuyas cámaras de extinción operan dentro de un gas llamado hexafluoruro de azufre (SF_6) que tiene una capacidad dieléctrica superior a otros fluidos dieléctricos conocidos. Esto hace más compactos y durables desde el punto de vista de mantenimiento (fig. 2.6).

La extinción del arco eléctrico se puede obtener también por medios diferentes de los convencionales como son el aceite y el aire comprimido o bien el aire a la presión atmosférica. Desde hace algunos años se puede encontrar en el mercado especialmente para tensiones mayores a 15 kV. interruptores en el que el medio de extinción del arco está constituido por SF_6 , este es un gas que presenta ciertas características particulares para la extinción del arco debido a que reúne dos requisitos fundamentales.

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

La rigidez dieléctrica del SF_6 a la presión atmosférica es 2 o 3 veces mayor de la del aire y su valor a una presión de 3 kg/cm² es comparable con el del aceite mineral tratado.

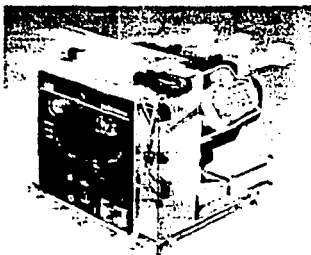


Fig. 2.6. Interruptor en SF_6 modelo HAzc 24.12.16 marca ABB

Propiedades del SF_6 : es gas químicamente estable e inerte, alcanza unas tres veces la rigidez dieléctrica del aire, a la misma presión. A la temperatura de 2000 ° K conserva todavía alta conductividad térmica, que ayuda a enfriar el plasma creado por el arco eléctrico y al pasar por cero la onda de corriente, facilita la extinción del arco.

Físicamente 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.

2.1.3- Ventajas de los interruptores en SF₆.

La utilización del modelo matemático con una experimentación sofisticada ha desarrollado a los interruptores en SF₆.

Las ventajas principales de los interruptores en SF₆ son:

- Tamaño.
- Peso y volumen limitado para fácil traslado e instalación.
- Estructura compacta y robusta con un mecanismo simple, garantizando una larga vida mecánica.
- 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.
- Insensibilidad a la corriente crítica un tanto por la característica del SF₆ el cual es capaz de sostener el arco fino a la corriente o evitando corrientes de Chopping. En consecuencia sobretensiones
- Mantenimiento prácticamente nulo en presencia de elevadas corrientes acumuladas gracias a una vida eléctrica elevada referente a la efectiva condición del 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.
- Excelente seguridad incluso en ambientes severos.
- Características constantes a través del tiempo.
- Control constante de la presión con manómetros o presostatos, con contacto de alarma y bloqueo.

El control del gas permite:

1. Control continuo del medio de extinción.
2. Posibilidad de integración del interruptor en un sistema de control remoto.

La interrupción es clasificada como "sistema a presión cerrada" de acuerdo con la norma IEC56-4, en cuanto no necesita aportación de gas durante la vida de servicio. Estas propiedades de ensamble permiten a los diseñadores una nueva solución y beneficios incluyendo:

a) Mayor uso del espacio:

1. Posibilidad de realizar instalaciones compactas. (Particularmente utilizadas en construcciones de grandes ciudades).
2. Posibilidad de ampliación de espacios existentes aumentando el número de líneas de alimentadores en un mismo espacio.

b) Flexibilidad en el montaje y la construcción:

1. Estandarización para poder responder a exigencias diversas con productos siempre iguales.
2. Renovación de los productos existentes por otros de avanzada tecnología (retrofits).

c) Versatilidad, seguridad, economía.

1. Aumento de confiabilidad en la continuidad del servicio
2. Garantía de seguridad elevada para la protección del personal
3. Reducción de mantenimiento.

d) Seguridad del ambiente.

1. Al final de la vida de un interruptor, el SF6 puede ser removido del interruptor y puesto en un cilindro que puede ser regresado al fabricante para su reutilización.
2. Una vez reutilizado el gas, el interruptor puede abrirse y el producto de la descomposición (sólo pocos gramos), puede ser removido y neutralizado por inmersión en una solución de leche de calcio.
3. Otros componentes (cobre, acero, materiales aislantes, etc.)

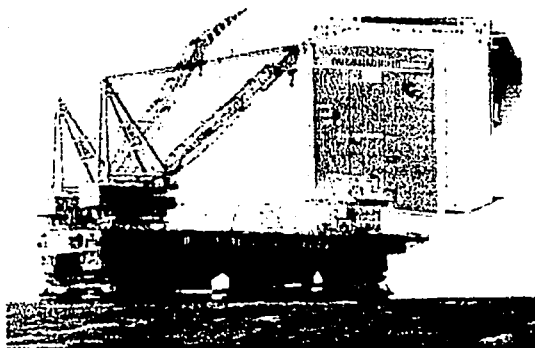


Fig. 2.7. Aplicación real de interruptores en SF6 en subestaciones compactas para plataformas marinas.

2.2. - TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

2.2.1 Generalidades

En el proceso de generación - consumo de la energía eléctrica se puede observar que se emplean diferentes tensiones, desde la generación, transmisión, distribución y tensión de consumo.

Los elementos que desempeñan la función de hacer variar las tensiones a los diferentes valores requeridos reciben el nombre de transformador.

Los transformadores de instrumento se emplean para medición o protección ya que permiten usar niveles de voltaje y corriente razonables. Su nombre se debe a la cantidad principal por variar ya sea corriente o tensión.

2.2.2 Transformadores de potencial (TP)

Las tensiones primarias pueden tener valores relativamente altos, 230, 69, 36, 24, 13.8 kV por ejemplo, estos transformadores lo reducen a valores utilizados por los elementos de medición o protección.

En los transformadores hay un estado de equilibrio entre corriente, flujo magnético y voltaje, parte de la corriente primaria produce flujo magnético el cual genera voltaje en el secundario y parte de él balancea el secundario en amper - vuelta. En TP la impedancia del secundario es muy alta por lo tanto, los amper - vueltas de magnetización son grandes en comparación de los amper - vueltas del secundario, pero el voltaje de este es más o menos 1% del voltaje primario.

La relación de transformador está dada por:

$$K_n = \frac{V_1}{V_2}$$

donde:

V_1 = Tensión en el primario

V_2 = Tensión en el secundario

Las especificaciones de los TP's son:

1. Relación de transformación

2. Potencia a alimentar en VA: $P = V_2 I_2 = \frac{V_2^2}{Z}$

3. Clase de precisión.

4. Tipo de servicio.

5. Número de fases.

6. Especificaciones dieléctricas.

6.1 Nivel básico de aislamiento al impulso en microsegundos

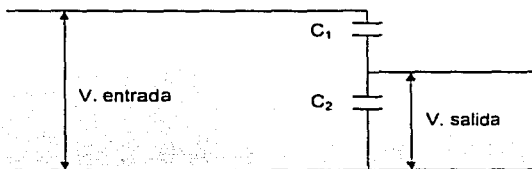
6.2 Nivel de aislamiento a la tensión en un minuto.

Existen dos tipos de transformadores de potencial: los magnéticos y los divisores de voltajes o capacitivos.

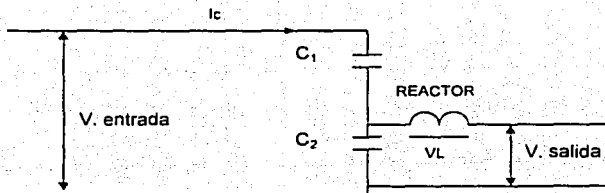
Los magnéticos tienen su salida determinada por requisitos de exactitud más que por límites de temperatura de operación. Los más comunes son los monofásicos conectados en delta abierta; aunque también hay trifásicos donde cada fase tiene dos devanados secundarios, y uno de ellos se conecta a los devanados de los T.P de otras fases formando una delta rota por donde se presentara voltaje de secuencia cero.

Los divisores de voltaje o capacitivos: ya que los requisitos de aislamiento son mas estrictos que los de un transformador de potencial, los magnéticos resultan demasiado caros en circuitos de mas de 100 kV. por lo tanto, se baja el voltaje de la línea por medio de un divisor de voltaje capacitivo, y el voltaje del primario del TP puede reducirse a un decimo del de la línea.

Algunas veces estos transformadores capacitivos se compensan por un circuito inductivo que físicamente es un reactor. La operación de relevadores de distancia de alta velocidad es menos confiable con un TP capacitivo que magnético, pero esta decisión debe basarse en economía, importancia de la línea y rapidez de disparo.



$$V_s = V_e \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$



2.2.3 Transformadores de corriente (TC)

Su función principal es transformar un valor de corriente en un circuito, a otro que pueda ser manejado ya sea por instrumentos de medición o de protección y también proporcionan aislamiento contra la alta tensión del circuito.

La relación de transformación es:

$$Kn = \frac{I_1}{I_2}$$

donde:

I_1 = corriente de carga en el primario
 I_2 = corriente de carga en el secundario.

El criterio para seleccionar el transformador de corriente es casi invariablemente la corriente de carga máxima. En otras palabras, la corriente en el secundario del transformador no debe exceder la corriente continua al relevador aplicado.

La ecuación que rige el comportamiento de los TC es:

$$P = zI_2^2$$

donde:

P = Potencia suministrada a la carga VA.
 z = impedancia de la carga.
 I_2 = corriente secundaria del TC.

Ejemplo: un TC de 5 amps. en el secundario alimenta un instrumento de 100 VA, no puede alimentar una impedancia superior a:

$$Z = \frac{P}{I_2^2} = \frac{100 \text{ VA}}{25^2 \text{ A}} = 0.16 \Omega$$

Existe una diferencia entre el valor especificado y el valor medio en la magnitud de las corrientes en el TC por lo tanto, el error de relación es:

$$n = \frac{Kn I_2 I_1}{I_1} \times 100$$

Esto indicará la precisión de dicho transformador. También se puede calcular esta precisión utilizando una curva de excitación o con la clasificación ASA (American Standard Association) de la precisión.

Resistencia a los cortocircuitos.

Por estar conectados en serie a las líneas de alimentación, los transformadores de corriente están sometidos a las mismas sobretensiones y sobrecorrientes.

En general estas sobrecorrientes son superiores a las corrientes nominales del TC y originan efectos térmicos y dinámicos que pueden dañar el transformador.

Los efectos térmicos obligan a dimensionar adecuadamente el primario del TC, se considera que todo el calor producido queda almacenado en el conductor primario cuyo calentamiento máximo se determina en cada norma

Para evitar que el transformador se rompa por los esfuerzos dinámicos que se producen en el primario, es necesario adecuar una sujeción mecánica en dichos primarios.

Estos esfuerzos mecánicos son función del valor máximo de cresta de la corriente de cortocircuito.

Conocida la potencia máxima de cortocircuito de la línea en la que está colocado el T.C. podemos calcular la corriente térmica con la fórmula:

$$I_{\text{term.}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V}$$

donde:

$I_{\text{term.}}$ = corriente térmica de cortocircuito (kA. ef)

P = potencia de cortocircuito (MVA)

V = tensión compuesta (kV)

Corriente térmica ($I_{\text{term.}}$)

Es el valor eficaz más elevado de la corriente primaria, que el transformador puede soportar al efecto joule durante un segundo sin sufrir deterioro, estando el circuito secundario conectado en cortocircuito. Se expresa en kA eficaces.

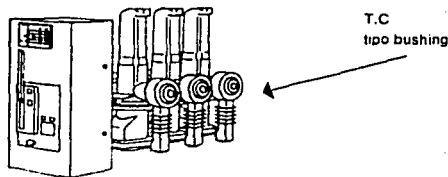
El TC más usado para protección es el de boquilla, fig. 2.2.1, ya que son menos costosos que otros. No se utiliza en circuitos mayores de 15 kV ni en equipos blindados. Este tipo de transformador consta de un núcleo de forma anular con arrollamiento secundario, el núcleo rodea una boquilla de aislamiento a través de la cual pasa un conductor de potencia.

En los transformadores de corriente pueden existir errores de ángulo debido a la corriente magnetizante, o errores de saturación

El primario puede causar errores en la precisión de las mediciones por lo que se debe tratar en lo posible de reducir este tipo de errores, y se puede hacer esto tratando de disminuir la corriente magnetizante del transformador lo más posible.

La saturación puede no ser inconveniente y a veces puede ser deseada para limitar acción en el caso de instrumentos del tablero de control o relevadores de ajuste de corriente bajo; pero puede obstaculizar seriamente el funcionamiento de un relevador de corriente y de tiempo o cualquier tipo de relevadores de comparación, como relevadores diferenciales o de distancia en fallas grandes.

Fig. 2.2.1: Interruptor en vacío con T.C. tipo bushing en 15 kV. marca Merlin Gerin



Polaridad y conexiones de los transformadores de corriente.- La polaridad de las terminales primarias del transformador está pintada por "H₁", y las terminales secundarias por "X" y entran y salen al igual que los TP.

Aunque la corriente alterna siempre está cambiando su polaridad, estas marcas sirven para mostrar la dirección del flujo de corriente relativo a otra corriente u otro voltaje

Existen conexión estrella y delta. Una conexión importante es la derivación de la corriente de secuencia cero, esta derivación es necesaria para evitar un mal funcionamiento de relevadores direccionales monofasicos durante fallas a tierra en ciertas condiciones.

Ejemplo: conexión de tres TC auxiliares para derivar las corrientes de secuencia cero de los relevadores en el secundario del TC conectados en estrella, la única restricción es que los TC auxiliares sean semejantes.

Relé a tierra
Flujo de corriente de secuencia cero.

Ejemplo: conectar protección diferencial; y decir que relación de TC debe haber para que cuando pase I nominal pasen 5 amps.

datos 230/85 kV

S= 100 MVA

dolución

$$S = \sqrt{3} VI$$

relación para alta

$$I = \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} 230 \text{ kV}} = \frac{100 \text{ MVA}}{398.37 \text{ kV}} = 251.02 \text{ [A]}$$

$$\text{relación} \frac{251.02}{5} = 50.20$$

relación para baja

$$I = \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 85 \text{ kV}} = \frac{100 \text{ MVA}}{147.92 \text{ kV}} = 679.25 \text{ (A)}$$

$$\text{Relación} = \frac{679.25}{5} = 135.84$$

Los transformadores de potencial y corriente se instalan bajo recomendaciones establecidas por las normas y por los fabricantes, éstas indican las aplicaciones adecuadas para el servicio en que se utilizarán.

Los aspectos generales para seleccionar transformadores de potencial o corriente son:

- tipo de instalación
- tipo de aislamiento - baja, media o alta tensión
- clase de precisión - error máximo admisible en % que un TP o TC puede introducir en la medición de potencia.
- consumos de instrumentos alimentados por TC y TP
- cumplir con especificaciones dieléctricas, (tensión de impulso, frecuencia, descargas parciales, factor de potencia dieléctrico, etc.)
- potencia de los instrumentos por alimentar
- consumo de potencia de los conductores que conectan al transformador con los instrumentos por conectar.

Polaridad y conexiones de los transformadores de medición

Existen marcas en las terminales de los T.P. que indican las polaridades por ejemplo "H", y "X", indican alta y baja tensión respectivamente. Cuando la corriente entra por H₁ sale por X₁

Los transformadores de instrumento empleados para la alimentación de instrumentos de medición y/o de protección en los circuitos trifásicos generalmente están conectados en cualquiera de las conexiones típicas de los circuitos trifásicos es decir, delta o estrella (fig. 2.2.3 y 2.2.4). Aunque algunas veces, como en el caso de los T.P. se pueden conectar en delta abierta (conexión V) cuando las características de la instalación lo permite

En el caso particular de los transformadores usados para alimentar relevadores de protección es recomendable, en particular para aquellos que alimentan relevadores de falla a tierra, que se conecten con una conexión opuesta a la del devanado del transformador de potencia o a la del devanado del generador cuando se protege éste. Es decir, si un transformador está en delta - estrella a tierra los transformadores de corriente en el lado de alta se deben conectar a tierra.

La razón de esto es que las conexiones delta no se tiene circulación de corrientes de secuencia cero por no tener punto de referencia a tierra y en algunos esquemas de protección se requiere que exista esta corriente

En particular se debe tener cuidado para cualquier conexión y respetar la polaridad de los transformadores que debe estar en correspondencia con la de los instrumentos que alimentan. Por ejemplo una conexión estrella del TC para alimentar relevadores de sobrecorriente a tierra se indican a continuación. fig. 2.2.2

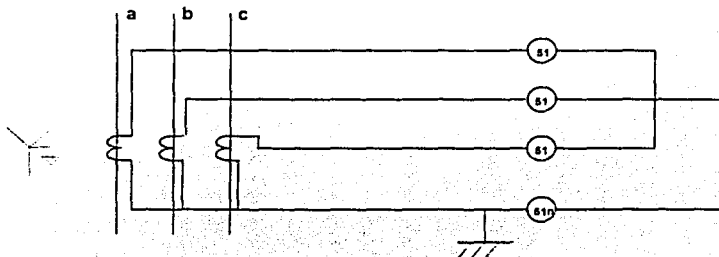


Fig. 2.2.2: Conexión típica de los transformadores de Corriente

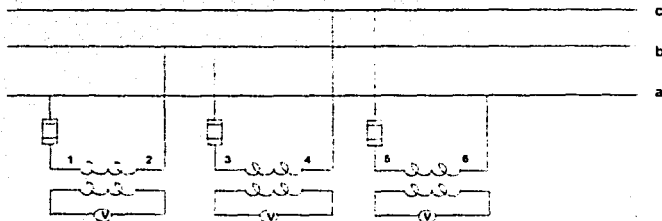


Fig. 2.2.3: Una conexión delta de transformadores de potencial se representa en la parte superior.

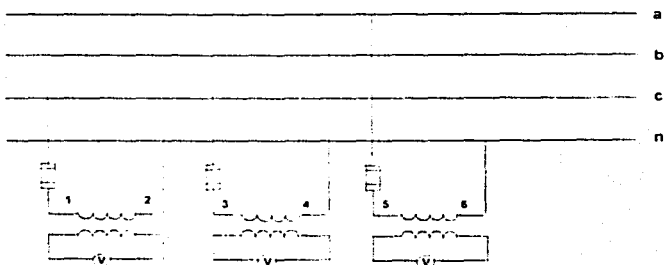


Fig. 2.2.4: Otro tipo de conexión para los transformadores de potencial, es la estrella

2.3 EQUIPOS DE MEDICION, CONTROL Y PROTECCION

2.3.1 Sistemas de protección

Existen muchas causas que pueden perturbar el servicio normal de los generadores, transformadores, barras y redes eléctricas. A continuación enumeramos algunas de ellas.

1. Perforaciones en los aislamientos de máquinas y cables, producidas por envejecimiento, por corrosión, o por calentamiento.
2. Descargas atmosféricas y sobretensiones interiores.
3. Influencias de animales: por ejemplo, roedores que corroen cables, gatos que producen cortocircuitos entre barras, pájaros que provocan cortocircuitos en las líneas aéreas, etc.
4. Destrucciones mecánicas por engarrotamiento, embalamiento de máquinas, caída de árboles en líneas aéreas, etcétera...
5. Factores humanos, como apertura de un seccionador bajo carga, falsas maniobras en las máquinas, etc.
6. Exceso de carga conectada a la línea, por lo que los generadores y transformadores han de trabajar en condiciones muy apuradas.
7. Puestas a tierra intempestivas, producidas por la humedad del terreno.

Todas las perturbaciones que hemos enumerado y otras más que no se han podido citar, se reducen a cinco grupos principales, que son:

1. Cortocircuito
2. Sobrecarga
3. Retorno de corriente
4. Subtensión
5. Sobretensión

Se produce cortocircuito cuando hay conexión directa entre dos o más conductores de distinta fase, en una condición eléctrica. Los cortocircuitos aumentan extraordinariamente la intensidad de la corriente que atraviesa un circuito eléctrico. (capítulo 2.3.6)

Los cortocircuitos tienen efectos desastrosos sobre las máquinas y líneas eléctricas y, por esta razón, deben remediarse rápidamente ya que, de lo contrario, deterioran las líneas eléctricas fundiendo los conductores y llegando incluso a destruir las máquinas eléctricas.

Se dice que un circuito está sobrecargado cuando el circuito trabaja con mayor intensidad de corriente que aquella para la que está proyectado.

No deben confundirse los conceptos "cortocircuitos" y "sobrecarga". El cortocircuito se caracteriza por un aumento prácticamente instantáneo y muchas veces mayor de la intensidad de corriente que pasa por un circuito, mientras que la sobrecarga está caracterizada por un aumento de cierta duración y algo mayor de dicha intensidad de corriente. Por lo tanto, y como analizaremos más adelante, las protecciones para ambos tipos de perturbación tienen diferentes características.

Aunque no tan espectaculares como en el caso de los cortocircuitos los efectos de las sobrecargas pueden resultar también nocivos para máquinas y conductores pues provocan, sobre todo calentamiento indeseables que a la larga, pueden producir perforaciones en los aislamientos y cortocircuitos; además las máquinas sobrecargadas trabajan siempre con bajo rendimiento.

El retorno de corriente, se produce, sobre todo en los circuitos de corriente continua, cuando la intensidad de corriente del circuito disminuye hasta valores inferiores a cero; en este caso, como la intensidad es de valor negativo, el sentido de la corriente se invierte.

Por ejemplo, cuando se carga una batería de acumuladores con un generador de corriente continua, al final del periodo de la carga, existe el peligro de que la fuerza electromotriz de la batería sea superior a la del generador, por lo que la batería terminara descargándose sobre la maquina que, entonces, trabajara como motor. Parecido es el caso de un alternador que trabaja en paralelo con una red cuya tension es mayor que la fuerza electromotriz del generador: éste trabaja entonces como motor sincrónico, con el consiguiente peligro de averia para la maquina motriz.

La subtensión aparece cuando, por una u otra causa, la tensión en la central es inferior a la nominal. La subtensión puede ser perjudicial porque la carga conectada a la red no puede disminuir su potencia y al ser la tensión menor a la prevista, compensa este efecto con una mayor intensidad absorbida, es decir, con una sobrentensión.

La sobretension es lo contrario de la subtensión, o sea, una tensión en la central, mayor que la nominal, con el consiguiente riesgo de perforación de los aislamientos, peligro para el personal etc.

Dispositivos de protección contra las perturbaciones

Puede deducirse de lo anterior que para evitar las perturbaciones o, al menos, para disminuir los efectos de estas perturbaciones, son necesarios dispositivos de protección apropiados.

Cualquier dispositivo de protección consta de los elementos indicados en la fig. 2.3 1, es decir

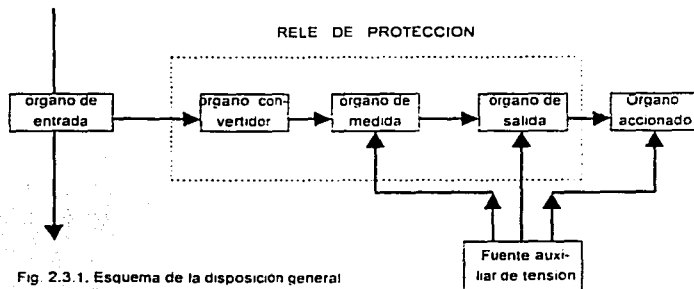


Fig. 2.3 1. Esquema de la disposición general de un rele de protección.

Un órgano de entrada, detecta las señales procedentes de una perturbación. (corrientes, tensiones, etc.) y las convierte en señales aptas para ser corregidas por el relé de protección, es decir, de débil potencia y de baja tensión. Por lo general los órganos de entrada, sirven de aislamiento eléctrico entre las partes de alta y de baja tensión de la instalación.

En el órgano de conversión se convierten las señales procedentes del órgano de entrada, de tal forma que pueden medirse por el órgano que sigue. Algunas veces no existe este órgano de conversión.

El órgano de medida es sin duda, la parte más importante del dispositivo de protección; aquí se miden las señales procedentes de los órganos anteriores, previamente adaptadas por dichos órganos, y se decide de acuerdo con el valor de la medida, cuando debe entrar en funcionamiento el correspondiente dispositivo de protección.

El órgano de salida es el elemento intermediario entre el dispositivo de protección y los órganos accionados por este dispositivo. Amplifica las señales procedentes del órgano de medida y, en su caso, engloba también los elementos necesarios para aumentar el número de señales de salida. Los órganos de salida clásicos son los contactos de mando y, actualmente, los elementos lógicos con sus correspondientes dispositivos de amplificación.

El órgano accionado es, generalmente, la bobina de mando de los interruptores, que producen la desconexión de estos en caso de perturbación.

Finalmente, existe siempre una fuente auxiliar de tensión que actúa como órgano de alimentación del dispositivo de protección. Esta fuente auxiliar puede ser una batería de acumuladores en baja tensión, un dispositivo de tensión nula, o bien, la propia red, a través de los correspondientes transformadores de corriente y de potencial.

Los elementos que hemos llamado órgano convertidor, órgano de medida y órgano de salida generalmente están englobados en un solo aparato, denominado, relé de protección.

2.3.2 Importancia de tener un sistema de protección eléctrico

En el diseño de sistemas de alimentación eléctrica frecuentemente se pasan por alto la selección y coordinación apropiada de los dispositivos protectores. La coordinación adecuada de los dispositivos protectores evita daños al equipo, costosos tiempos muertos y daños personales.

Los sistemas diseñados correctamente deben proporcionar una alimentación continua de energía a un costo razonable. Los daños causados por fallas son insoportables pero frecuentemente inevitables. Debido a que no es factible un sistema sin fallas, se debe tolerar un cierto número de ellas durante la vida del sistema, aumentando la incidencia a medida de que pasa el tiempo.

Los tipos principales de fallas en los sistemas trifásicos son: de 3 fases, fase a fase, 2 fases a tierra, una fase a tierra y arqueo. Cuando ocurre una falla, debe interrumpirse el flujo de corriente a la parte en falla de inmediato, sin suspender la energía a las zonas restantes.

Esto se logra mediante dispositivos que tienen como función detectar la falla y efectuar la desconexión. Los dispositivos protectores básicos son: fusibles, relevadores de protección y desconectores de acción directa que se usan con los interruptores.

Un sistema de protección se compone de una combinación de estos dispositivos de detección y conexión, coordinados para seleccionar la operación de unos con otros.

Las características de tiempo y corriente de todos los dispositivos de protección deben ajustarse en el lugar de la instalación para coordinarlos entre sí. El dispositivo protector más cercano a la falla, del lado de la fuente de potencia, operará primero. Si este dispositivo falla, el siguiente dispositivo en dirección a la fuente de potencia debe operar y abrir el circuito.

Protección de una Subestación es un conjunto de sistemas que mantienen vigilancia permanente y cuya función es eliminar o disminuir los daños que puede recibir un equipo eléctrico cuando se presenta una falla. La parte importante de estos sistemas son los relevadores que sirven para detectar la falla y que, a su vez, efectúan la desconexión automática de los interruptores cuando se producen sobrecorrientes debido a cortocircuitos, aislando las partes del sistema que han fallado.

La selección del tipo de protección que se utiliza en los bancos o líneas de una Subestación será tanto más elaborado cuanto mayor sea la complejidad de la instalación, y también dependerá de las características de los equipos utilizados, para lo cual se debe tener especial cuidado en la selección adecuada de las zonas a proteger.

Los sistemas de protección se basan en diferentes diagramas esquemáticos, con un conjunto de relevadores que protegen un conjunto de zonas. Cada zona debe estar protegida por dos juegos de protecciones que deben ser lo más independiente posible, con objeto de cubrir la falla de alguno de los dos juegos.

Estas protecciones se denominan.

- protección primaria
- protección secundaria o de respaldo
- protección de respaldo remoto
- Protección de respaldo local de interruptor.

Protección primaria

La protección primaria debe operar con la mayor rapidez posible y en primer lugar. La de respaldo se energiza y arranca al mismo tiempo que la primaria, y como es más lenta, sólo operará en caso de que la primaria no respondiera. En el remoto caso de que fallara la primaria y la de respaldo, deben operar las protecciones de las subestaciones alimentadoras, que haciendo las veces de una tercera protección, mucho más lenta, desconecta la energía que incide sobre la zona de falla.

La protección primaria se diseña de tal manera que desconecte la mínima porción posible de un sistema de potencia, de manera que aisle el elemento fallado, tomando en consideración lo siguiente:

1. Cualquier falla que ocurra dentro de una zona dada, deberá disparar todos los interruptores que envían energía a esa zona.
2. Se debe considerar zonas de traslape los puntos de unión de zonas contiguas, que por lo general son interruptores, de tal manera que en caso de producirse una falla en la zona de traslape, se deben disparar todos los interruptores que alimentan las dos zonas.

3. Los transformadores de corriente son los elementos que físicamente delimitan las zonas de protección y se localizan en ambos lados de cada uno de los interruptores, formando juegos de tres unidades monofásicas.

La figura 2.3.2 indica las zonas sobre las que actúa la protección primaria, con una serie de traslapes de manera que nunca quede alguna parte de la instalación fuera de la protección. Esto implica a veces, desconectar mayor número de interruptores que los mínimos necesarios. Si no se hicieran los traslapes se podría presentar la falla en la región fronteriza de dos zonas, en cuyo caso ningún interruptor operaría.

Los traslapes, como se observa en la figura 2.3.2 se obtienen incluyendo los transformadores de corriente del lado exterior de los interruptores, para que estos queden incluidos dentro de las protecciones de dos zonas adyacentes.

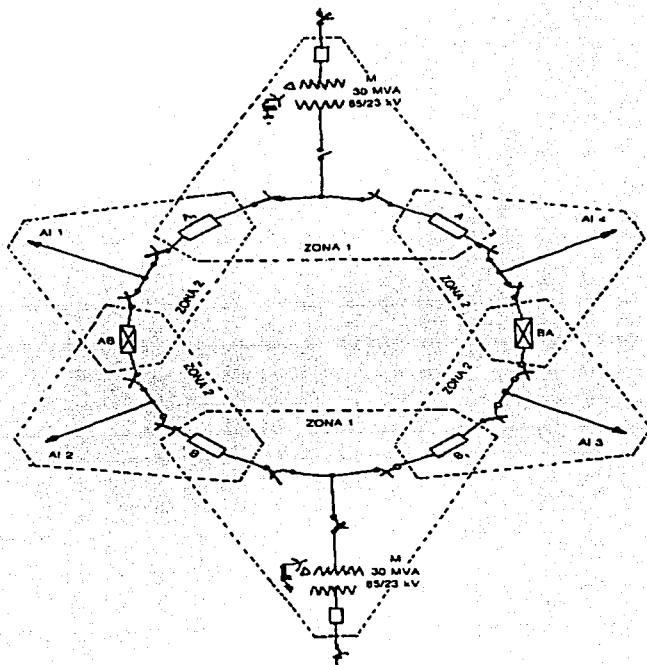


Fig. 2.3.2- Zonas de protección en una Subestacion con Baja Tension en anillo

Un sistema de protección es más seguro en su operación, a medida que tenga menos dispositivos, y por lo tanto menos eslabones que puedan ofrecer posibles puntos de falla. Una protección muy elaborada permite mayor seguridad de que opere pero por otro lado presenta mayores probabilidades de falla de uno de los elementos, además de mayor costo.

Las protecciones primarias pueden fallar por alguno de los factores siguientes:

1. Falla del interruptor, ya sea del mecanismo de operación o del circuito de disparo
2. Falla de la alimentación de corriente directa
3. Falla de algún relevado
4. Falla de los transformadores de instrumento.

Protección secundaria o de respaldo

Es la protección que debe operar cuando la protección primaria falla o está fuera de servicio. Opera mediante componentes independientes de las utilizadas en la protección primaria, de manera que no puedan ser afectadas por las mismas causas que produjeron la falla en esta protección.

La protección de respaldo desconecta generalmente una porción mayor del sistema que la primaria.

Los relevadores de una protección secundaria, aunque arrancan al mismo tiempo que los de la primaria correspondientes, no deben operar simultáneamente con ésta, por lo cual es necesario retrasar su ajuste, para dar tiempo a la protección primaria a que efectúe el ciclo de operación completo.

Protección de respaldo remota

Es una protección remota que se activa cuando han fallado la protección primaria y secundaria propias de la Subestación. Se considera como un tercer grado de protección que opera por medio de las protecciones de las subestaciones alimentadoras, y que libera los interruptores que alimentan la falla de la Subestación considerada.

Es una protección independiente del suministro local de energía, y es esencial donde no hay protección de buses. En esta protección se utilizan los relevadores de sobrecorriente de distancia, de alta velocidad, y cuya señal se envía a través del hilopiloto, si la distancia es menor de 20 Km. y si la distancia es mayor, la señal se envía a través de un equipo de onda portadora.

Protección de respaldo local de interruptor

Se considera también como un tercer grado de protección.

En este caso se protege con un tercer juego de relevadores, que opera cuando ocurre la falla de algún interruptor.

Características de una protección.

Dependiendo de la importancia de una Subestación, las protecciones deben seleccionarse de acuerdo con las siguientes características:

1. Sensibilidad
2. Selectividad
3. Velocidad
4. Confiabilidad
5. Precio

SENSIBILIDAD. Según esta característica, un relevador debe detectar y operar con señales pequeñas.

SELECTIVIDAD: Cuando en un sistema se presenta una falla, debe operar la protección más cercana a la falla, sin cortar la energía que alimenta otras áreas del sistema, seleccionando los interruptores necesarios que libran la falla.

VELOCIDAD. Es fundamental para disminuir al máximo los daños en la zona de falla y además para evitar que el sistema salga de sincronismo. La velocidad depende de la magnitud de la falla y de la coordinación con otras protecciones.

CONFIABILIDAD. La confiabilidad junto con la velocidad es muy importante, pues un relevador puede ser muy rápido y en un momento crítico puede fallar, por lo cual de nada serviría. Por esto, los relevadores deben adquirirse con un fabricante de prestigio, tener buen mantenimiento, estar bien ajustados y en general ofrecer la seguridad de que no van a fallar cuando más se necesite su operación.

PRECIO. El precio de una protección es un factor relativamente poco importante, si se compara con el costo del resto del equipo de la instalación, por lo que debe tratarse de adquirir la mejor calidad posible.

2.3.3. Relevadores

Son dispositivos electromagnéticos, electrónicos o microprocesados que protegen los equipos de una instalación eléctrica de los efectos destructivos de una falla, y reducen sus efectos y daños.

Los relevadores son dispositivos que envían a los interruptores considerados una señal de apertura, y se dice que funcionan cuando al energizarse su bobina de disparo cierran sus contactos, disparando los interruptores.

Los relevadores se pueden dividir en cuatro grupos.

1. Atracción electromagnética
2. Inducción electromagnética
3. Estado sólido
4. Microprocesados

Cualquiera de ellos opera mediante señales recibidas, que pueden ser de:

- a) Tensión derivada de transformadores de potencial
- b) Corriente derivada de transformadores de corriente
- c) Mixtos, reciben ambas señales simultáneamente

1. Atracción electromagnética

Estos relevadores están formados por una bobina de un núcleo magnético que en uno de sus extremos tiene el contacto móvil que, al desplazarse con el núcleo, cierra el circuito de disparo a través de un contacto fijo. (Fig. 2.3.3)

Estos relevadores suelen tener derivaciones en la bobina de operación para permitir el ajuste de la corriente mínima de operación, que es el valor preciso de corriente a partir del cual el relevador empieza a moverse.

Este tipo de relevadores son afectados por la componente de corriente directa que aparecen en los cortocircuitos asimétricos. Pueden operar con corriente alterna o directa.

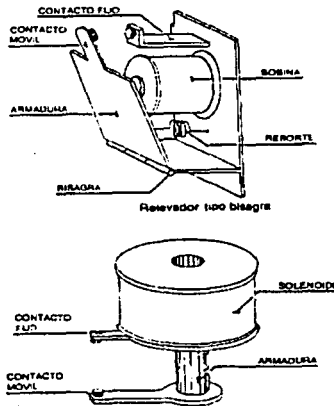


Fig. 2.3.3. Relevador tipo embolo, típico rele de atracción electromagnética

2. Inducción electromagnética

Utilizan el principio del motor de inducción. Son motores de inducción en el que el estator tiene bobinas de corriente o corriente y potencial, y los flujos creados por las corrientes de las bobinas inducen corrientes en el disco. (Fig. 2.3.4)

La interacción entre el estator y el rotor crean un par que hacen girar el rotor, en oposición a un resorte en espiral, y cierra los contactos del circuito de disparo.

Estos relevadores operan sólo con corriente alterna, por lo tanto no les afecta la componente de corriente directa del cortocircuito asimétrico, el rotor, que es el elemento que lleva el contacto móvil, trabaja contra un resorte de restricción calibrado que regresa el disco al cesar la fuerza del par.

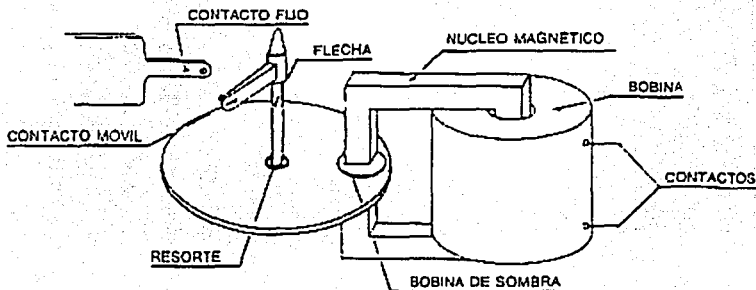


Fig. 2 3 4. Relevador tipo disco de inducción

3. Estado sólido

Es un relevador formado por unidades lógicas de estado sólido, que son componentes de baja corriente que trabaja con señales de voltaje de corriente directa. La unidad lógica sólo tiene dos estados cero y uno, y generalmente trabaja con una tensión de operación de 20 volts.

Los relevadores de estado sólido en relación con los electromagnéticos equivalentes son más pequeños, más rápidos, tienen menor carga, la mayor parte de esta carga se debe a la fuente de poder, con ajustes bajos en la corriente de operación, en que la carga es de mayor peso, producen menor saturación en los transformadores de corriente que el relevador convencional, mientras que en ajustes altos en la corriente de operación, en que la carga es de poco peso, la carga del relevador estático excede la del relevador convencional equivalente.

Los relevadores estáticos están diseñados también con las tres curvas básicas de corriente - tiempo, o sea curvas de tiempo inverso, muy inverso y extremadamente inverso, que se acostumbran en los convencionales. Son más resistentes a los impactos y sacudidas, la menor carga provoca que los transformadores de potencial y de corriente sean más baratos.

Son de mayor precisión, debido a la mayor resolución en sus derivaciones. Como tienen menor sobrecarrera, debido a que no tienen la masa del disco, los márgenes de coordinación pueden ser menores, y el tiempo de libramiento de una falla se reduce. Tienen poca inercia debido a número mínimo de partes móviles. (fig. 2.3.5)



Fig. 2.3.5. Relevador de sobrecorriente
tipo estado sólido.
Cortesía de ABB Power T&D Ltd.

El tiempo de operaciones de mantenimiento excede el de ya de por sí largo tiempo de los relevadores electromagnéticos. El costo es mayor que el de los convencionales, por eso su uso depende del análisis técnico y económico más adecuado.

4. Microprocesados

El constante desarrollo en la electrónica de potencia y del control numérico ha llevado al desarrollo de unidades integradas de medición, control y protección que operan a través de microprocesadores, con lo cual se ha reducido el espacio requerido para los relevadores, equipos de medición, control, etc.

Desde el punto de vista de un sistema eléctrico de potencia, los relés microprocesados o numéricos no son diferentes a los electromecánicos, de estado sólido o relés digitales. Corrientes y voltajes pueden medirse y compararse con un grupo de puntos o entre sí y deben actuar o iniciar.

Pero los relevadores numéricos pueden trabajar dentro de una sola unidad de tamaño y peso reducido dentro de un panel o tablero, se realizan muestreos de datos a cada momento, por ejemplo corrientes que no son tratadas continuamente, y que estas pueden ser mostradas a cada momento que lo desee el usuario, estos datos se pueden almacenar y manejar en cualquier forma.

El microprocesador tiene o nos proporciona protección y remarcada capacidad de muestreo de corrientes y voltajes a muy alta velocidad, logrando el manejo de datos en forma remota, medición de sobrecorrientes, retención de información cuando ocurra una falla y función de autoverificación.

Con múltiples dispositivos electromecánicos o de estado sólido que operen a la vez, no tendríamos problemas en el tiempo de coincidencia y con el microprocesador literalmente solo se puede realizar una tarea a la vez, los multiplexores muestran una cantidad solamente a un tiempo en que los voltajes y corrientes no coinciden. Pero la grandeza de las tareas realizadas por el microprocesador consiste en acomodar estas en forma ordenada y realizar una comparación basada en los datos correctos de voltajes y corrientes sin asociar el error con los datos de disturbio.

Los datos de disturbio son cargados (almacenados) por la comparación de las cantidades no simultáneas, esto permite fijar algunas cantidades que rápidamente sufren cambios, la muestra y el circuito de retención se usa continuamente en relés numéricos. Un ejemplo de esto se puede apreciar en la fig. 2.3.6.

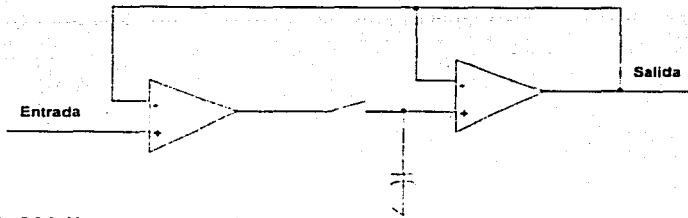


Fig. 2.3.6- Muestra típica y retención.

Desde una simple función de interrupción requerida, hasta entradas múltiples, se pueden leer usando multiplexores. Este es un dispositivo que permite a todas las cantidades de entrada ser muestreadas o leídas a un mismo tiempo.

El microprocesador requiere de la información presentada en forma digital, usualmente en palabras de 8 o 16 bits. El proceso de la conversión de la señal a digital es realizado por un convertidor A/D. Algunas variaciones y mejoras se han tenido con estos dispositivos a través de los años. El rango y la muestra requerida dicta la selección del diseño especial para los relés de protección.

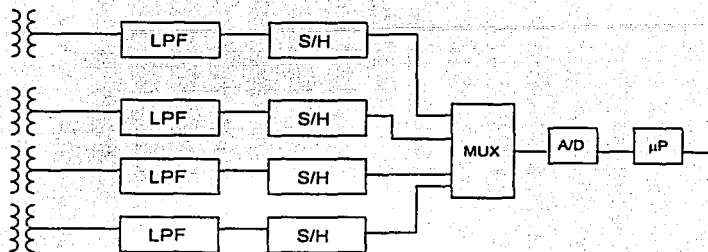
El micro acepta la muestra de datos y los almacena en RAM (memoria de acceso aleatorio) y los almacena para ser usados en el futuro. Los datos actúan como algoritmos o comparaciones definidos por la memoria del programa, y son almacenados en ROM (memoria de sólo lectura) o en EPROM (memoria programable de sólo lectura imborrable). El programa almacenado en ROM o EPROM es no volátil.

Otro elemento vital requerido en la arquitectura para la aplicación de los relés microprocesados es el NOVRAM (no volátil RAM) o el EEPROM (memoria de sólo lectura programable eléctricamente imborrable). Los datos almacenados en este tipo de memorias no se pierden cuando la fuente de alimentación es removida del relevador. Datos fijados o esperados son usualmente almacenados en este tipo de memoria.

El microprocesador basado típicamente en algoritmos requiere de muestreo de coincidencia de tiempos en la salida de cantidades. Ingeniosamente se direcciona este en un proceso de tiempo real, particularmente en aplicaciones de relevo donde depende mucho de la relación de tiempo entre cantidades.

Se tienen básicamente dos métodos de muestreo de datos, los cuales ambos usan un circuito de fijación o congelación de muestras. Un ejemplo de estos métodos es el mostrado en la fig. 2.3.7. Aquí se separan para cada entrada la muestra y el circuito de congelación. El microprocesador directamente congela cada punto de muestreo.

El S/H congela el valor de la muestra hasta que el microprocesador pueda leer cada valor a través del multiplexor y del convertidor A/D. Entonces el microprocesador resume directamente en el circuito S/H el proceso de muestreo hasta la siguiente congelación de la señal.



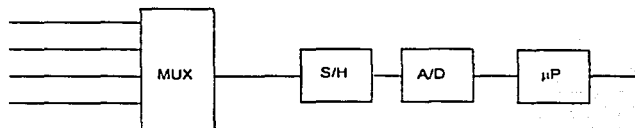
Filtro paso

Fig. 2.3.7 Relevador microprocesado con muestra/retención individual

Un método alternativo el cual es más costoso es usado en circuitos S/H simples para todas las entradas. Esto es mostrado en la fig. 2.3.8. un factor de corrección de tiempo es aplicado a cada muestra después del primero, en un grupo.

Así se sabe precisamente que diferencia existe en los tiempos muestreados y por lo tanto todas las muestras en una secuencia de tiempo multiplexadas, pueden ser convertidas con muestras coincidentes o similares aplicando un ángulo de corrección. Aunque también se pueden aplicar otros métodos.

Existen otras tareas que en una unidad microprocesada se pueden realizar tales como: mediciones de parámetros eléctricos (voltaje, corriente, factor de potencia, etc.), protecciones (diferencial, de sobrecorriente, temperatura, sobretensión, etc.), control de datos y almacenamiento de los mismos, detección de fallas y otras, pero dos puntos importantes a tratar son el principio de medición y la detección de fallas.



MUX: Multiplexor

S/H: muestra y retención

A/D: Convertir analógico/Digital

μP : ferwe

Fig. 2.3.8. Construcción básica de un relevador microprocesado

El principio de medición

Con los relés electromecánicos se tienen pocas alternativas en cuanto a la interpretación de cantidades eléctrica en términos de valor pico, valor promedio, valor rms, o fundamentalmente valor de frecuencia. Con el microprocesador podemos aplicar cualquier técnica para realizar una medición.

Cálculo de valor rms.

La determinación digital de valores de raíz media cuadrada en forma de curva es muy similar a los métodos de convención analítica. Las ecuaciones 1 y 2 muestran este proceso

Sacando la raíz de la magnitud de cada muestra (In) sobre un ciclo y sumándose con otros cuadrados además dividiendo la suma por el número de muestras y sacando raíz cuadrada, un valor rms puede ser obtenido para formas de curva complejas.

$$\text{Analog rms} = \sqrt{1/2\pi \int_0^{2\pi} I^2 n \sin^2 \text{ wtdt}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Digital rms} = \sqrt{1/8 \sum_{n=1}^8 I^2 n} \dots\dots\dots (2)$$

Dispositivos de sobrecorriente de tiempo que son coordinados con otros aparatos que experimentan efectos de calentamiento I²R (tales como fusibles, conductores y transformadores) han sido desarrollados con respuesta rms.

Para aplicaciones en que los efectos de los armónicos son generados por aparatos tales como rectificadores de 6 pulsos, es probable que los armónicos sean ignorados.

Relevadores que han usado técnicas de diseño basándose en microprocesador solo responden a la componente de frecuencia en la salida de la forma de la curva.

Detección de fallas

La detección de fallas provee un nivel de seguridad en la aplicación de las protecciones. Tenemos tradicionalmente variación de sobrecorriente en n fase con adición frecuente de soorecorriente a tierra.

Cuando el valor de la falla de corriente corriente/carga es pequeña, se compromete a registrar una refinada detección de falla.

ΔI, cambio de corriente de fase y ΔV, cambio de voltaje de fase a tierra, puede ser fácil de implementar, usando comparaciones de muestras en puntos similares en ciclos adyacentes como los mostrados en la fig. 2.3.9.

Estos cambios en la corriente de secuencia cero, proveen una indicación clara de la necesidad de una unidad direccional o de distancia, que realice una decisión y por lo tanto, que ellas usen los cambios de los sistemas de protección en modo de falla.

Usando ΔI (fase o cambio de corriente), el sistema de protección puede distinguir (discriminar) entre pérdidas de voltaje causadas por una falla y la causada por problemas en el circuito de potencia. ΔI es presentada entonces por fallas y no por pérdidas de potencial.

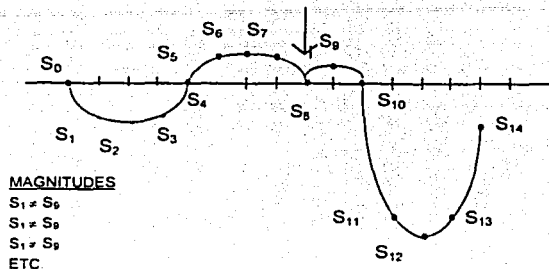


Fig. 2.3.9. Detector de falla AI

Conclusión

La introducción de la tecnología del microprocesador en relés de protección ha permitido anexas nuevas funciones y realizar cuantas revisiones se deseen en una misma estructura. Al mismo tiempo, esto ha causado una reevaluación de prácticas establecidas, resultando el aprovechamiento de técnicas antiguas, tanto que se han usado para innovar métodos en la protección y medición de los sistemas eléctricos de potencia.

El microprocesador ha establecido un lugar importante en los relés de protección y ocupa actualmente una posición predominante en el diseño de protecciones de alta, media y baja tensión.

2.3.4 Relevadores más usados en subestaciones

Las protecciones más utilizadas en las subestaciones están basadas en los siguientes relevadores.

Relevadores de sobrecorriente.

Son los más utilizados en subestaciones y en instalaciones eléctricas industriales, suelen tener disparo instantáneo y disparo temporizado con bobinas de corriente de 4 a 16 amperes para los de fase y de 0.5 a 2 amperes para los de tierra.

En las protecciones de sobrecorrientes, se acostumbra usar dos relevadores con bobinas de 4 a 16 amperes para la protección de fallas entre fases, y un tercero de mayor sensibilidad, con bobina de 0.5 a 2 amperes, para la protección de fallas a tierra.

Estos relevadores se calibran para que operen con señales de corriente por encima del valor máximo de la corriente nominal del circuito protegido. En condiciones de cortocircuito máximo, deben proporcionar una buena coordinación de la secuencia de disparo de los interruptores que controlan los diferentes tramos de la línea de distribución.

Relevadores diferenciales

Están formados por tres bobinas, dos de restricción y una de operación, trabajan por diferencia de corrientes entrantes con las salientes del área protegida. La operación se produce cuando existe una diferencia entre estas corrientes, la cual indica que dentro del equipo protegido existe una fuga de corriente.

El relevador diferencial comúnmente usado es el relevador diferencial de porcentaje, que está formado por tres bobinas, la bobina O de operación y las dos bobinas R de restricción.

En este relevador la corriente resultante en la bobina de operación es proporcional a:

$$I_1 - I_2$$

y la corriente en cualquiera de las bobinas de restricción es proporcional a:

$$\frac{I_1 + I_2}{2}$$

La relación entre la corriente diferencial de operación y el promedio de la corriente de restricción se conoce como la "pendiente del relevador" en por ciento, o sea:

$$\text{Pendiente} = K = \frac{I_1 - I_2}{\frac{I_1 + I_2}{2}}$$

Los relevadores tienen diferente por ciento de pendiente. Esta característica se utiliza para evitar falsas operaciones del relevador por desequilibrios en las corrientes de los transformadores de corriente (T.C.) cuando ocurren fallas externas. Estos desequilibrios pueden ocurrir por:

- a) operar el cambiador de derivaciones.
- b) falta de correspondencia entre la relación de los T.C. y las derivaciones del relevador
- c) Diferencia de error entre los T.C. de alta y baja tensión.

Para ajustar con cierta precisión las corrientes que entran y que salen de la zona protegida, se considera un banco de transformadores, se necesita compensar la corriente de excitación, para lo cual los relevadores tienen una serie de derivaciones, mediante las cuales se ajusta la corriente que circula por la bobina de operación, para que en condiciones normales de operación esta corriente sea prácticamente cero.

Relevadores de distancia

Se basan en la comparación de la corriente de falla, vista por el relevador, contra la tensión proporcionada por un transformador de potencial, con lo cual se hace posible medir la impedancia de la línea al punto de la falla. El elemento de medición del relevador es de alta velocidad o con un retardo que suministra un elemento de tiempo. Normalmente la impedancia es la medida eléctrica de la distancia a lo largo de una línea de transmisión, desde la Subestación hasta el lugar donde ocurre la falla.

La característica direccional de un relevador de distancia puede ser propia, o se incluye, acoplándole un relevador direccional.

Estos relevadores tienen gran aplicación en protección de líneas, en donde se requiere la operación selectiva de interruptores en cascada, y también, en los casos en que las corrientes de carga puedan ser mayores que las de cortocircuito.

Los relevadores de distancia más utilizados son los siguientes:

Tipo impedancia. Se utilizan para proteger fallas entre fases, en líneas de longitud media. Por sí solo no es direccional. Necesita incluir un relevador direccional para medir la impedancia en una sola dirección.

Tipo admitancia (Mho). Es una combinación de relevador de impedancia y direccional, se utiliza para proteger fallas entre fases o pérdidas de excitación en generadores o en grandes motores síncronos.

Relevador direccional

Es un relevador que se energiza por medio de dos fuentes independientes. Tiene la habilidad de comparar magnitudes o ángulos de fase y distinguir el sentido de los flujos de corrientes. Según las características del par de operación se reconocen tres tipos de relevadores.

1. Relevador corriente - corriente. El accionamiento se produce por la comparación de dos señales de corriente de diferentes alimentaciones.
2. Relevadores corriente - tensión. El accionamiento se produce por la comparación de una señal de corriente con otra de tensión.
3. Relevador tensión - tensión. El accionamiento se produce por la comparación de dos tensiones de diferentes alimentaciones. Este tipo de relevadores es sensible al desequilibrio de corrientes bajo consideraciones de altas intensidades, que es cuando los errores de los transformadores de corrientes son máximos. Su operación se basa en el uso de un elemento direccional, con dos corrientes: la de armadura u operación y la de polarización.

La magnitud de la corriente de polarización es la diferencia vectorial de dos corrientes y la magnitud de la corriente de operación es la suma vectorial de dos corrientes, de tal manera que el par generado en el relevador, considerando las dos corrientes en fase, y sin tomar en cuenta la acción del resorte, es

$$I = K_r (I_1 - I_2)(I_1 + I_2)$$

Donde I_1 e I_2 son los valores efectivos de las corrientes. Cuando las dos corrientes están en fase y son iguales en magnitud, el par vale cero. En cambio, si las magnitudes de las corrientes son diferentes se produce un par, cuyo sentido viene dado por el sentido de la corriente de mayor magnitud. Si las dos corrientes están 180 grados fuera de fase, el sentido del par es el mismo que si estuvieran en fase.

La fuerza para mover la armadura está dada por la fórmula:

$$F = K_1 I_p I_a - K_2$$

donde:

F = fuerza neta
 I_a = corriente de armadura
 I_p = corriente de polarización
 K_1 y K_2 = constantes

Como se observa en la figura 2.3.10 la fuerza que mueve la armadura depende de las direcciones de I_a y de I_p . Si se cambia el sentido de cualquiera de las dos corrientes, cambia el sentido de la fuerza. De aquí viene el nombre de relevador, por su característica de poder distinguir las direcciones de las corrientes en un circuito.

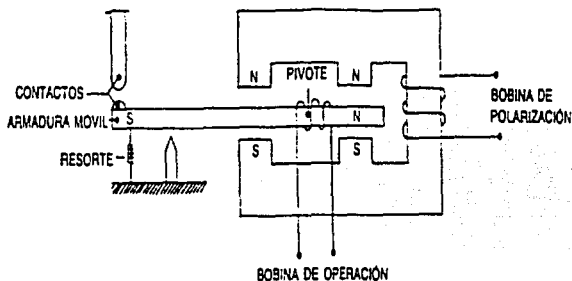


Fig. 2.3.10. Relevador direccional de corriente

En este caso se dice que es un relevador de corriente polarizado por corriente. Cada una de estas dos corrientes viene de dos juegos diferentes de transformadores de corriente. La corriente de polarización sirve como referencia para comparar respecto a ella, el ángulo de fase de la operación (armadura). El ángulo de fase en I_p es fijo, mientras que el de I_a es variable.

Relevador de hilopiloto

Es, en sí, un relevador de protección diferencial, adaptado para el caso en que los transformadores extremos de corriente se encuentren muy alejados. En estos relevadores se comparan las corrientes entrantes y salientes de una línea de transmisión y cuando la diferencia es apreciable, la protección envía orden de apertura a los dos interruptores extremos de la línea.

Los relevadores pueden ser de corriente alterna o directa, el sistema de alterna es inmune a variaciones de carga o pérdida de sincronismo, de ahí su mayor utilización en sistemas eléctricos.

Estos relevadores se utilizan como proteccion primaria de lineas con longitudes inferiores a 20 km; si la linea es de mayor longitud, se acostumbra utilizar el sistema de onda portadora que maneja señales de baja tensión y alta frecuencia, que se transmiten a lo largo de los conductores de la línea de transmisión, por medio de dos sistemas de acoplamiento instalados en los extremos.

Tiempo de operación de los relevadores

Desde el punto de vista de rapidez de operación los relevadores se pueden agrupar en los siguientes tipos: 2.3.11

- Tipo instantáneo. Se consideran dentro de este tipo a los relevadores que operan en tiempos menores de 0.1 s.
- Tipo de alta velocidad. Son los que operan en menos de 0.05 s.
- Tipo con retraso en el tiempo. Son los que tienen mecanismo de tiempo de ajuste variable. Dentro de este tipo están los de inducción, que mediante un imán permanente producen un freno en el giro del rotor. Respecto a la curva de corriente - tiempo estos relevadores se dividen en:

Tiempo inverso.
Tiempo muy inverso.
Tiempo extremadamente inverso.

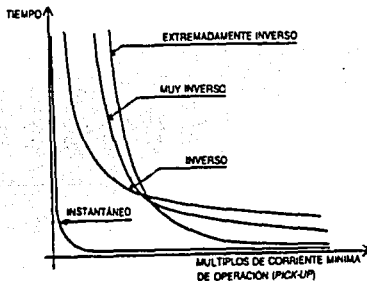


Fig. 2.3.11. Características tiempo : corriente

Los de tiempo inverso se usan en sistemas con amplias variaciones en las corrientes de cortocircuito. es decir en sistemas donde hay variacion en el número de fuentes de alimentacion.

La curva de tiempo - corriente es relativamente lineal, lo que se traduce en una operación relativamente rapida, ya sea con una o varias fuentes de alimentacion simultáneas. Se utilizan donde el valor de la corriente de cortocircuito depende principalmente de la capacidad del sistema

Los de tiempo muy inverso tienen una curva con pendiente, muy pronunciada, lo cual los hace lentos para corrientes bajas y rápidos para corrientes altas. Se utilizan donde el valor de la corriente de cortocircuito depende de la posición relativa al lugar de la falla y no a la cercanía del sistema de generación.

Los de tiempo extremadamente inversos, tienen una pendiente aún más pronunciada que los anteriores. Se utilizan en circuitos de distribución primaria, que permiten altas corrientes iniciales producidas por los recierres y, no obstante ello suministran una operación rápida cuando se necesita la operación de cortocircuito.

2.3.5 Unidad de medición, control y protección integrada (UMPI)

Este equipo se ha diseñado para aplicarlo a los sistemas de distribución de potencia, trabajan con transformadores de corriente de 5 o 1 ampers, y transformadores de voltaje de 69, 120 o 208 V. fig. 2.3.12.

La gran ventaja de trabajar con este equipo es que utiliza un microprocesador y algoritmos que proporcionan las siguientes protecciones y funciones de monitoreo en una sola estructura.

- Protección contra corrientes trifásicas (tiempo e instantáneo): 51P, 50P1, 50P2, 50P3
- Protección contra sobrecorrientes a tierra (tiempo e instantáneo): 51N, 51N-1, 51N-2, 51N-3
- Protección contra sobrecorrientes de secuencia negativa: 46
- Relevador de recierre AC: 79M
- Relevador direccional de sobrepotencia y sobrecorriente: 67P/67N.
- Dispositivo de frecuencia: 81
- Relevador de bajo voltaje y relevador de sobrevoltaje: 27/59
- Distancia de fallas en millas.
- Medidores de corriente, voltaje, watt, var, kw/h, kvarh, factor de potencia y frecuencia.
- Pico de corriente demandada, Watt's, Var's, con tiempo de muestreo.
- Resumen de fallas con detalle de las últimas fallas.
- Record de operaciones: las últimas operaciones.
- Autopruebas continuas.
- Tablas de programación seleccionables.
- Contactos de entrada y contactos de salida.
- Contadores sobrecorrientes, operaciones de los interruptores, recierres.
- Continuo chequeo de la alimentación de voltaje, elementos de memoria y procesamiento de las señales digitales.
- Interruptor para detección de fallas ajustables de 5 a 60 ciclos.
- Cuenta con una pantalla al frente del panel que proporciona en tiempo real valores de voltaje y corriente.
- Contactos de salidas programables y contactos de entradas programables.
- Puerto para comunicación que permite la adquisición de datos localmente o a control remoto y verificación del estado en que se encuentran programados los relevadores.
- Un modo de prueba que nos muestran las funciones de la secuencia de recierre y simulación de los interruptores.
- Curvas características de sobrecorrientes.
- Curvas características.

PANEL PRINCIPAL

Este dispositivo puede contar con un display de cuatro líneas por veinte caracteres y seis teclas en operación normal la pantalla muestra cuatro magnitudes de corrientes y tres magnitudes de voltajes. Cuando una falla se presenta en el sistema, la pantalla nos muestra la distancia en la cual se presentó la falla y el tiempo que dura antes de ser eliminada. Se pueden programar los relevadores, medidores, resumen de operaciones y fallas, un modo de prueba puede ser realizado directamente desde el lugar o a control remoto por medio de un puerto de comunicación por ejemplo el RS 232 o RS485 (nomenclatura internacional).

MEDIDORES

Este equipo puede contar con varias funciones de medición que nos permite conocer los siguientes parámetros eléctricos en sistemas conectados en forma de delta o estrella.

- Corriente de fases Ia, Ib e Ic: Amperes y grados.
- Corriente a tierra In: Amperes y grados.
- Voltaje de fase a neutro kVan, kVbn, kVcn.
- Voltaje entre fases kVab, kVbc, kVca.
- Kilowatts por fase.
- Kilovars por fase.
- Factor de potencia
- Picos de corriente por fase
- Tiempo de muestreo del pico de corriente.
- Picos de demanda de potencia
- Tiempo de muestreo en los picos de demanda de potencia.

PUERTO DE COMUNICACION

Los modernos dispositivos cuentan con un puerto de comunicación serial RS 232 o RS485 con lo cual nos permite una comunicación remota si así se desea, la transmisión se puede realizar a una velocidad de 300, 1200, 2400, 4800, y 9600 Baud.

RESUMEN DE FALLAS.

Permite obtener un resumen de las últimas 16 o en algunos otros de avanzada tecnología de hasta 32 fallas. Este reporte incluye el número de fallas, número de secuencia de recierres, fecha y hora.



Fig. 2.3.12 Equipos de medición, control y protección DPU-2000 y DPU-2000R, marca ABB

2.3.6 Cálculo y estudio de cortocircuito

Causas, naturaleza y efectos de los cortocircuitos

Se agrupan bajo el nombre de cortocircuitos todos los defectos provocados por un contacto, bien entre un conductor de tierra o cualquier pieza metálica unida a ella o bien entre conductores. En la totalidad de los casos, este contacto tiene lugar por intermedio de un arco, al menos en lo que respecta a las instalaciones de alta tensión.

Los cortocircuitos tienen múltiples causas. Estas pueden ser:

1. De origen eléctrico. Ejemplo, por alteración de un aislante que resulta incapaz de soportar la tensión.
2. De origen mecánico. Son debidos, en estas condiciones, a una rotura de conductores o aisladores, a la caída de un cuerpo extraño tal como la rama de un árbol sobre una línea aérea, un golpe de pico en un cable subterráneo, etc.
3. De origen atmosférico. Estos son originados, por un rayo que alcanza los conductores una línea o bien por una tempestad, niebla o hielo que producen efectos mecánicos, tales como aproximación de conductores, o eléctricos (alternación de las superficies de los aisladores), etc.
4. Por último, puede ser debido a falsas maniobras (por ejemplo, la apertura en carga de un seccionador).

Estos contactos accidentales no afectan, normalmente, a todos los conductores de una manera simultánea. En el caso de las redes trifásicas, cuya tensión de servicio sea igual o superior a 60 kV, la experiencia demuestra que del 70% al 80% de los cortocircuitos se producen, o al menos empiezan, entre una fase y tierra si el defecto no se elimina con suficiente rapidez, el arco puede alcanzar la segunda e incluso la tercera fase.

Las fallas entre las tres fases (cortocircuitos simétricos), o defectos trifásicos que afectan a las líneas aéreas son debido a

1. Fenómenos mecánicos susceptibles de producir un contacto entre ellas o de poner a tierra simultáneamente los tres conductores (destrucción de una torre, caída de un avión sobre una línea, etc.).
2. La caída directa de un rayo en cuyo caso, si la resistencia de la toma de tierra de las torres tiene un valor excesivo, puede resultar un potencial a tierra suficientemente alto para que simultáneamente, se produzca el aumento sobre las tres fases.
3. Causa de una falsa maniobra tal como la apertura en carga de un seccionador en una Subestación en que las fases no están separadas.

Los defectos trifásicos sobre las redes de cables subterráneos son muy poco frecuentes y son debidos, en general, a causas mecánicas, excepto para las redes de tensión relativamente bajas en las que el empleo de canales tripolares aumenta el riesgo de cortocircuitos trifásicos.

Por fin, los cortocircuitos entre dos fases, sin defecto a tierra, aparecen excepcionalmente y son debidos, casi únicamente, a causas mecánicas

En general, la presencia de un cortocircuito sobre una red provoca sobreintensidades, caídas de tensiones y corrientes de las tres fases. Estos fenómenos, cuya importancia depende de la constitución de la red, da como resultado una serie de consecuencias a las que vamos a repasar rápidamente

1. **Calentamiento debidos a las corrientes de cortocircuito y averías originadas por los arcos.** Los calentamientos producidos por las corrientes de cortocircuitos son de temer, particularmente, en los cables subterráneos de media tensión que no poseen una tolerancia calorífica considerable. Sea un cable de sección 50 mm^2 formando parte de una red de 10 kV , unida por transformadores T y T' con potencia total de 30 MVA , a una red de alta tensión (fig.2.3.13) que agrupa centrales cuya potencia de generadores sobrepasa 300 MVA . En caso de cortocircuito trifásico sobre el cable en el punto P , situado en la proximidad de los transformadores, la corriente del defecto en el cable puede sobrepasar 15 kA . En estas condiciones, el cable resultará fuertemente averiado, e incluso destruido, ya que se demuestra que aún si el cable se desengancha al cabo de $0,2$ segundos, esta duración del paso de la corriente de cortocircuito sería suficiente para llevarle a más de 200°C .

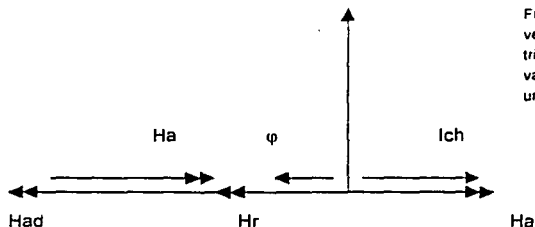


Fig 2.3.13 Diagrama vectorial de un generador trifásico funcionando en vacío, que se cierra sobre un cortocircuito.

Los arcos producen frecuentemente, desperfectos importantes. Los que contornean las cadenas de aisladores pueden causar la destrucción de estos; por eso se prevén estas cadenas frecuentemente con cuernos o anillos de protección que separan el arco de los aisladores. Los arcos originados como consecuencia de la perforación de un cable subterráneo, pueden producir la fusión del cobre y del plomo del cable sobre longitudes de varios decímetros, si el defecto no queda eliminado rápidamente.

- 2 **Accidentes de interruptores.**- Los interruptores y fusibles deben tener una capacidad de ruptura adecuada para que durante un cortocircuito puedan funcionar y cumplir su cometido sin sufrir avería ni representar peligro para el personal y el equipo eléctrico. Además de la suficiente capacidad de ruptura, para eliminar la avería con rapidez y seguridad, el interruptor o fusible debe tener también una capacidad instantánea suficiente para resistir los efectos de los valores máximos de las corrientes de cortocircuito.

Por lo tanto, para elegir adecuadamente un interruptor es necesario calcular tanto el valor de la corriente de cortocircuito en el momento en que se produce la interrupción del circuito, como el valor máximo de dicha corriente en los momentos iniciales.

Son de temer accidentes en los aparatos ya antiguos instalados sobre redes de media tensión unidas a redes de gran potencia, a causa del aumento que de ello resulta para las corrientes de cortocircuito. La alimentación de las redes de media tensión por las grandes redes modernas ha necesitado precauciones especiales para evitar los accidentes de interruptores siendo una de las mayores dificultades encontradas en la interconexión de redes.

3. *Esfuerzos electrodinámicos anormales.*- El paso de las corrientes muy intensas va acompañado de esfuerzos electrodinámicos muy importantes que pueden producir deformaciones de barras y de conexiones, roturas de aisladores soportes e incluso, a veces, averías considerables sobre los arrollamientos de las bobinas de reactancia y de los transformadores, si éstos no tienen la rigidez mecánica suficiente.
4. *Caidas de tensión elevadas.*- Las corrientes de cortocircuito, al atravesar los diferentes elementos de las redes provocan caídas de tensión que ocasiona el desenganche de las máquinas síncronas o asíncronas y ponen en peligro la estabilidad de las redes.

Estudio de la corriente de cortocircuito

A continuación estudiaremos las características de las corrientes producidas en el caso de un cortocircuito tripolar, que es el más sencillo de analizar, el cual se produce simultáneamente en las tres fases de un sistema trifásico.

Supongamos un generador trifásico funcionando en vacío, que se cierra sobre un cortocircuito tripolar; en la fig. 2.3.13 se representa el diagrama vectorial de las condiciones de funcionamiento en este caso. La fuerza electromotriz existente E es producida por un flujo φ desfasado 90° en avance que, a su vez, es producido por un campo magnético H .

Como el circuito que se ha cerrado en cortocircuito, tiene un carácter predominantemente inductivo, y que la resistencia en vacío del generador es muy pequeña comparada con su reactancia, la corriente de cortocircuito que se produce, retrasa casi 90° con respecto a la fuerza electromotriz E .

Esta corriente I_{ch} engendra el campo magnético H_a en fase con ella, que tiende a neutralizar al campo magnético H , que está en oposición de fase con H_a y que produce el flujo de excitación φ , pero este flujo no puede desaparecer repentinamente ya que una disminución del mismo, por la ley de Lenz, provoca la aparición de corrientes inductivas que tienden a mantenerlo invariable.

Estas corrientes circulan en parte por el arrollamiento de excitación o por el de amortiguación, y en parte por las partes del hierro macizo posiblemente existentes. El campo magnético H_{ed} así formado, que en los primeros momentos compensa al campo magnético H_a , desaparece poco a poco. Con ello, también va desapareciendo el flujo magnético φ hasta llegar a un valor que corresponde a la fuerza electromotriz del estado de cortocircuito permanente.

Como al comienzo del cortocircuito se mantiene prácticamente el flujo φ y, por lo tanto, también el valor de la fuerza electromotriz del estado normal, se obtiene en los primeros instantes una elevada corriente de cortocircuito de choque. Efectivamente, al haber desaparecido prácticamente las resistencias del circuito por efecto del cortocircuito, la única oposición al paso de la corriente está en la reactancia de dispersión X_1 del generador, y la fuerza electromotriz vale

$$E = I X_1$$

Como X_1 es muy pequeña y E , como hemos dicho, tiene casi un valor nominal, el valor de I será muy grande.

Dadas las características inductivas del circuito, la forma de la corriente de cortocircuito será distinta, según sea el valor de la fuerza electromotriz alterna en el momento del cortocircuito. Nosotros expondremos los dos casos extremos es decir cuando

$$E = E_{\max}$$

y cuando

$$E = 0$$

Cuando la fuerza electromotriz pasa por su valor máximo, la corriente de cortocircuito producida es simétrica, tal como se expresa en la fig. 2.3.14, es decir, que las amplitudes negativas de las ondas de corriente son iguales a las positivas. Estas amplitudes decrecen gradualmente debido, como hemos visto, a la fuerte reacción desmagnetizante de la corriente de cortocircuito que es muy reactiva y hace disminuir el flujo inductor ϕ y, por lo tanto, la fuerza electromotriz E .

La intensidad inicial I_{ch} de la corriente de cortocircuito está limitada prácticamente por la reactancia de dispersión de la máquina X_1 , ya que el flujo de dispersión, por cerrarse casi exclusivamente a través de aire y de partes laminadas, se establece instantáneamente. El valor eficaz inicial de esta corriente vale

$$I_{cc} \approx \frac{E}{X_1}$$

A este valor inicial de la corriente de cortocircuito se le llama corriente eficaz de cortocircuito de choque; al valor de cresta de esta corriente, es decir, al valor

$$I_{ch} \approx \sqrt{2} I_{cc}$$

se le llama corriente máxima de cortocircuito de choque.

Como hemos dicho, el valor de la corriente de cortocircuito de choque va disminuyendo hasta que, pasados varios periodos, se alcanza el valor correspondiente a la corriente de cortocircuito permanente, cuya intensidad depende de la reactancia total del generador, suma de la reactancia de dispersión y de la sincrónica (está última debida al campo giratorio sincrónico de la reacción de inducido)

Si el cortocircuito ocurre en el instante en que la fuerza electromotriz pasa por el valor cero, la corriente de cortocircuito adopta la forma representada en la fig. 2.3.15. Se sabe que si una inductancia se pone repentinamente bajo tensión, la corriente que se forma consta, además de la componente unidireccional de corriente continua, de magnitud igual a la amplitud de la corriente alterna, en el caso en que la inductancia se conecte en el momento en que la tensión pasa por su valor nulo. El valor de esta componente unidireccional de corriente alterna, en el caso en que la inductancia se conecte en el momento en que la tensión pasa por su valor nulo.

El valor de esta componente unidireccional sería constante si la resistencia del circuito fuese absolutamente nula, pero como esta resistencia, aunque pequeña, tiene cierto valor, el valor de la componente unidireccional se amortigua rápidamente, hasta desaparecer al cabo de varios períodos.

Como el valor de la componente de corriente continua es igual a la amplitud de la corriente alterna, tendríamos que el valor de la corriente máxima de cortocircuito sería

$$I_{ch} \approx \sqrt{2} I_{cc} + \sqrt{2} I_{cc} = 2\sqrt{2} I_{cc}$$

Es decir, un valor doble que en el caso estudiado anteriormente, cuando se supuso que la tensión pasada por su valor máximo.

Este valor es solamente teórico pues, como hemos dicho, hay que tener en cuenta el amortiguamiento del circuito; en la práctica, y según resultados experimentales, se toma $I_{ch} \approx 1,88 \sqrt{2} I_{cc}$ o, expresado de otra forma $I_{ch} \approx 2,55 I_{cc}$.

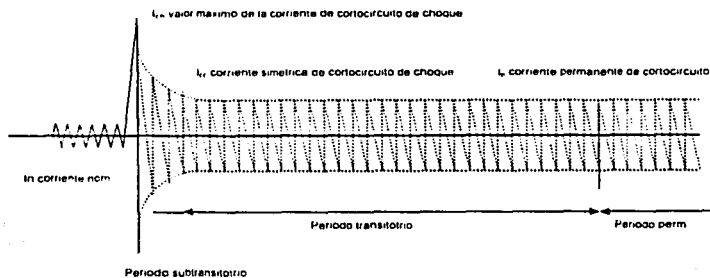


Fig. 2.3.14. Expresión gráfica de la corriente de cortocircuito cuando la fuerza electromotriz pasa por su valor máximo.

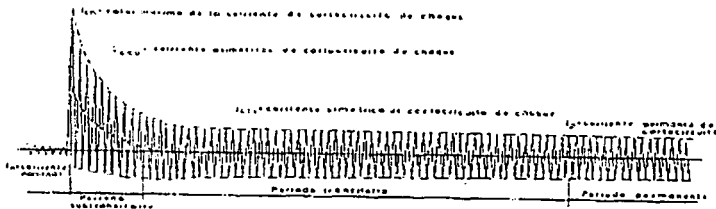


Fig. 2.3.15. Expresión gráfica de la corriente de cortocircuito cuando la fuerza electromotriz pasa por su valor nulo.

La componente unidireccional es prácticamente nula al cabo de 0.25 segundos; a partir de aquí, la corriente de cortocircuito de choque, se hace simétrica y se va amortizando hasta alcanzar el valor de la corriente de cortocircuito permanente.

Naturalmente, si el cortocircuito se produce cuando la fuerza electromotriz tiene un valor intermedio a los dos que hemos estudiado, existirá siempre una componente unidireccional, aunque su valor será inferior al que resulta cuando la fuerza electromotriz es nula en el momento de producirse el cortocircuito.

Téngase en cuenta que, para corrientes trifásicas, cuando se produce un cortocircuito tripolar y en una de las fases, la fuerza electromotriz pasa por su valor nulo, en las otras dos fases, la fuerza electromotriz tiene cierto valor no nulo, por lo que las corrientes de cortocircuito en estas fases serán inferiores a la de la fase afectada por el valor nulo de la fuerza electromotriz.

Claro está que como, previamente, no podemos conocer el momento en que se producirá un cortocircuito, para el cálculo y proyecto de los aparatos de protección de las redes y maquinas se habrán de tener en cuenta las condiciones mas desfavorables y, por lo tanto, suponer que el cortocircuito se producirá cuando la fuerza electromotriz pase por su valor cero.

Volviendo a las figuras 2.3.14.y 2.3.15, observaremos que el tiempo que dura el cortocircuito se puede dividir en tres:

1. Período subtransitorio. Durante este periodo inicial, la corriente de cortocircuito de choque baja rapidamente de valor, dura, según los casos, de 1 a 10 periodos. Si la tensión pasa por su valor máximo, la corriente de cortocircuito durante este periodo es simétrica, o sea, que son iguales las semiondas positiva y negativa. Se tratará, por lo tanto, de una corriente simétrica de cortocircuito que, por establecerse durante este periodo recibe también el nombre de corriente subtransitoria de cortocircuito. Si la tensión pasa por su valor nulo y, tal como hemos dicho anteriormente, la corriente de subtransitoria de cortocircuito esta caracterizada por el hecho de que las semiondas positivas no tienen el mismo valor que las semiondas negativas, o sea que se trata de una corriente asimétrica de cortocircuito.
2. Período transitorio. Durante este tiempo, la corriente de cortocircuito va disminuyendo lentamente de valor hasta alcanzar el valor de la corriente permanente de cortocircuito. Este periodo dura de 50 a 100 periodos, es decir, de 1 a 2 segundos, si se trata de corriente industrial a 50 Hz. Tanto si la iniciación de cortocircuito se ha producido cuando la tensión pasa por su valor máximo o por su valor nulo, la corriente transitoria de cortocircuito es simétrica, o sea que las semiondas positivas y negativas son iguales.
3. Período permanente. La corriente de cortocircuito alcanza su valor permanente I_p y continua sin apenas variación en este valor mientras dura la causa que ha provocado el cortocircuito. Durante el periodo subtransitorio se producen intensos esfuerzos electrodinámicos en los elementos sometidos al cortocircuito, que pueden provocar su destrucción. Dando el tiempo de desconexión propio de los interruptores y relés de protección, los interruptores desconectan la parte del circuito afectada por el cortocircuito, durante el periodo transitorio, por lo que las maquinas y aparatos deben proyectarse para soportar durante el tiempo que dura el periodo subtransitorio, la corriente de choque producida.

Las corrientes de cortocircuito transitoria y permanente provocan, sobre todo, un intenso calentamiento en las máquinas y aparatos sometidos al cortocircuito, por lo que éstos deberán proyectarse para resistir el calentamiento producido por la corriente transitoria hasta que los aparatos de protección hayan realizado su función protectora.

En resumen podemos decir que, para el cálculo de las corrientes de cortocircuito, se habrá de tener en cuenta:

1. Período subtransitorio. Esfuerzos electrodinámicos en máquinas y aparatos.
2. Período transitorio. Funcionamiento de los interruptores automáticos. Esfuerzos térmicos en máquinas y aparatos.
3. Período permanente. Esfuerzos térmicos en máquinas y aparatos.

Definición de algunos conceptos importantes

A continuación, definiremos algunos conceptos relacionados con los aparatos de corte o interruptores

Se denomina capacidad de ruptura o, también poder de desconexión, al valor eficaz de la corriente que, como máximo, puede cortar un interruptor con toda seguridad y con sólo ligero deterioro de sus contactos, cuando se le emplea en un circuito cuya tensión de servicio es igual o muy próxima a la tensión nominal de servicio asignada al interruptor. Muchas veces se expresa directamente la capacidad de ruptura en kiloampers (kA) pero, generalmente se expresa en kilovoltampers (kVA) cuya expresión es, para sistemas trifásicos:

$$P_r = \sqrt{3} U_b I_d$$

P_r = potencia de ruptura en kVA

U_b = tensión de servicio en V

I_d = corriente de ruptura o de desconexión en kA

Cuando se cierra un interruptor sobre un circuito que tiene un defecto franco, la corriente de cortocircuito de choque, se establece ya un momento antes de cerrarse los contactos produciéndose un arco entre éstos, y apareciendo fuerzas electrodinámicas de repulsión que pueden ser tan elevadas que impidan el cierre del aparato. A cada interruptor se le asigna un poder de conexión sobre cortocircuito, que es el valor instantáneo que, como máximo, puede alcanzar la corriente de choque, de forma que el aparato se cierre con seguridad.

A veces se denomina también capacidad de conexión. Por lo general, el poder de conexión es igual o muy próximo a la corriente máxima prevista de cortocircuito de choque.

La corriente de ruptura o de desconexión I_d de un interruptor, se expresa por:

$$I_d = \mu I_{cc}$$

siendo μ un factor que depende de la relación

$$\frac{I_{cc}}{I_n}$$

y que se expresa en la fig. 2.3.16 para diferentes valores de retardo en la interrupción. La curva A corresponde a un retardo de 0 segundos, por ejemplo, cuando el aparato que interrumpe la corriente es un fusible; la curva B corresponde a un retardo aproximado de 0,1 segundos y, finalmente, la curva C corresponde a un retardo igual o mayor de 0,25 segundos. En todos los casos, I_n es la corriente nominal que, procedente de las centrales, afluye al punto cortocircuitado y debe referirse a la tensión de régimen en dicho punto.

Para hallar, en cada caso determinado, la relación

$$\frac{I_{cc}}{I_n}$$

recordando que:

$$I_{cc} \approx \frac{E}{X_1}$$

y, por lo tanto

$$\frac{I_{cc}}{I_n} = \frac{E}{X_1 I_n}$$

más adelante analizaremos otras expresiones de esta relación.

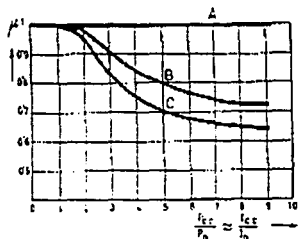


Fig. 2.3.16. Valores del coeficiente μ para diferentes retardos en la interrupción de los aparatos de corte:

A - valores de μ para retardo de 0 segundos (fusibles).

B - Valores de μ para un retardo de 0,1 segundos (interruptores rápidos).

C - Valores de μ para un retardo de 0,25 segundos (interruptores normales)

Fórmulas para el cálculo de la potencia de cortocircuito

Para un generador, la potencia de cortocircuito tripolar viene expresada por:

$$P_{cc} \approx \frac{P_n}{U_d} \cdot 100 = \frac{E^2}{X_1}$$

y la corriente de cortocircuito

$$I_{cc} \approx \frac{P_{cc}}{\sqrt{3}E} = \frac{I_n}{U_d} \cdot 100$$

donde:

P_n = potencia nominal del generador
 E = fuerza electromotriz del generador
 U_d = tensión de dispersión en tanto por ciento
 X_1 = reactancia de dispersión
 I_n = corriente nominal del generador

En el caso de un transformador, la potencia de cortocircuito tripolar vale:

$$P_{cc} \approx \frac{P_n}{U_d} \cdot 100 = \frac{U_b^2}{X_1}$$

y la corriente de cortocircuito

$$I_{cc} \approx \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} U_b} = \frac{I_n}{U_d}$$

donde:

P_n = potencia nominal del transformador
 U_b = tensión en los bornes del transformador
 U_d = tensión de dispersión en tanto por ciento
 X_1 = reactancia de dispersión
 I_n = corriente nominal del transformador

Para los generadores y transformadores de alta tensión, como la resistencia óhmica es muy pequeña en comparación con la reactancia, puede tomarse la tensión de dispersión U_d .

La potencia de desconexión del interruptor valdrá

$$P_d = \sqrt{3} E I_d \quad (\text{para el generador})$$

$$P_d = \sqrt{3} U_b I_d \quad (\text{para el transformador})$$

de forma aproximada se puede aceptar que:

$$\frac{P_{cc}}{P_n} \approx \frac{I_{cc}}{I_n}$$

y, por lo tanto, de acuerdo con las curvas de la fig. 2.3.16:

$$P_d = \mu P_c$$

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Valores de la corriente de cortocircuito admitidos en generadores

En los generadores, la corriente máxima admisible, no debe ser superior 15 veces la corriente nominal máxima de la máquina. Este valor corresponderá, por lo tanto, a la corriente de choque, es decir que:

$$I_{ch} \leq 15\sqrt{2} I_n$$

y, por otro lado, tenemos que

$$I_{ch} = 1,8\sqrt{2} I_{cc}$$

o sea que

$$1,8\sqrt{2} I_{cc} \leq 15\sqrt{2} I_n$$

es decir, que

$$I_{cc} \leq \frac{15\sqrt{2}}{1,8\sqrt{2}} I_n$$

$$I_{cc} \leq \frac{15}{1,8} I_n$$

$$I_{cc} \leq 8,33 I_n$$

Por otra parte, tenemos que

$$U_d = \frac{I_n}{I_c} \cdot 100 = \frac{I_n}{8,33 I_n} \cdot 100 \approx 12\%$$

Lo que indica que la tensión de dispersión transitoria de los generadores ha de ser menor de 12%. Como se construyen generadores con valores mas pequeños de tensión de dispersión (sobre todo en los turbogeneradores), para el cálculo de las corrientes de cortocircuito, es necesario conocer, con exactitud, el valor de la tensión de dispersión, dato que ha de proporcionar el fabricante del generador.

Valores de la corriente de cortocircuito admitidos en transformadores

Los valores máximos de corriente que deben poder soportar los transformadores, son los siguientes:

Para transformadores de potencia nominal hasta de 1600 kVA, con devanados de cobre:

$$I_{ch} \leq 75\sqrt{2} I_n$$

Para transformadores de potencia nominal superior a 1600 kVA, con devanados de cobre:

$$I_{ch} \leq 50\sqrt{2} I_n$$

Para transformadores de cualquier potencia, con devanados de aluminio:

$$I_{ch} \leq 50\sqrt{2} I_n$$

Las tensiones de cortocircuito oscilan entre 1,7% y 16%, correspondiendo el valor menor a los transformadores de pequeña potencia. Como:

$$U_c = \frac{I_n}{I_{cc}} 100$$

tendremos que:

$$I_{cc} = \frac{I_n}{U_c} 100$$

Por ejemplo, un transformador con una tensión de cortocircuito de 3,3% podrá soportar una corriente de cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{I_n}{U_c} 100 = \frac{I_n}{3,3} 100 \cong 30 I_n$$

y una corriente máxima de choque

$$I_{cc} = 1,8 \sqrt{2} I_{cc} = 2,55 I_{cc} \approx 75 I_n$$

Con una tensión de cortocircuito de 5% resultará:

$$I_{cc} = \frac{I_n}{U_c} 100 = \frac{I_n}{5} 100 \cong 20 I_n$$

$$I_{ch} = 1,8 \sqrt{2} I_{cc} = 2,55 I_{cc} \approx 50 I_n$$

Datos para el cálculo de corrientes de cortocircuito

La impedancia propia de los elementos que constituyen un circuito eléctrico, es la característica que limita el valor de la corriente que puede circular por dicho circuito; lo que, naturalmente, también es válido para el caso de las corrientes de cortocircuito. Como sabemos, la impedancia tiene dos componentes: la resistencia y la reactancia.

Cuando una de estas componentes es, por lo menos, 3 veces mayor que la otra, esta última puede despreciarse en los cálculos, tomándose entonces como valor de la impedancia, el valor de la componente mayor.

En los circuitos de corriente alterna con tensiones nominales superiores a 600 V, puede despreciarse la resistencia y utilizarse solamente la reactancia como valor total de la impedancia; pero este criterio no es aplicable cuando la tensión nominal del sistema es inferior al valor anteriormente citado, como veremos más adelante.

Dado que estudiamos corrientes de cortocircuito para sistemas de alta tensión, despreciaremos la resistencia óhmica, utilizando exclusivamente los valores de la reactancia correspondiente.

Normalmente, en los cálculos de corrientes de cortocircuito, se emplean valores de la reactancia expresados en tanto por ciento, que es como se especifican en las placas de características de las máquinas.

La reactancia en tanto por ciento o reactancia porcentual, se refiere a la intensidad nominal a plena carga y a la fuerza electromotriz nominal (o, en su caso, a la tensión nominal).

Por ejemplo, la reactancia sincrónica porcentual de un generador será el valor de su tensión de reactancia sincrónica a plena carga, expresada en tanto por ciento de la fuerza electromotriz de generador, o sea.

$$X_1 \% = \frac{X_g I_d}{E} 100$$

De la misma forma, la reactancia sincrónica porcentual de un transformador será el valor de su tensión de cortocircuito, expresado en tanto por ciento de la tensión en bornes, o sea

$$X \% = \frac{U_{cc}}{U_b} 100$$

En una línea, la reactancia porcentual es su tensión de reactancia bajo la corriente que circula por la línea, en tanto por ciento de la tensión aplicada a su origen, es decir

$$X \% = \frac{X I}{U} 100$$

O sea, que una reactancia de 12 % referida a la corriente nominal, quiere decir que al circular dicha corriente, se produce en el elemento del circuito considerando una caída de tensión igual al 12% de la tensión nominal

Muchas veces, sobre todo en los cálculos, resulta preferible recurrir al valor "por unidad" (abreviadamente p.u.), que resulta de dividir entre 100 el valor porcentual correspondiente. Así, una reactancia porcentual de 15 entre 100, equivale a 0.15 expresada por unidad.

El valor de la reactancia, bien sea porcentual o por unidad de un elemento de circuito se da siempre tomando como referencia la potencia aparente nominal del elemento en consideración. Naturalmente, dado el valor de una reactancia a una potencia determinada, su valor será distinto si se refiere a otra potencia.

Por lo tanto, antes de operar con los valores de las reactancias de los distintos elementos de un sistema eléctrico es necesario referir todos estos valores a una referencia o base común. Como valor de referencia puede elegirse cualquiera, pero normalmente se elige como base la potencia aparente de una de las máquinas o bien la potencia aparente total del sistema o de una parte de este

Para convertir el valor de una reactancia referida a una potencia aparente dada, el correspondiente a la potencia aparente que se toma como base, bastara multiplicar aquel valor por la relacion entre la nueva base y la antigua. Por ejemplo, una máquina de 10 MVA con una reactancia porcentual de 16%, a la potencia de 15 MVA, tomada como base común de todo el sistema, equivale a una máquina cuya reactancia porcentual es de:

$$16 \frac{15}{10} = 24\%$$

de la misma se puede operar con las reactancias por unidad.

En muchas ocasiones, sobre todo si se trata de líneas, la reactancia viene expresada directamente en ohms y para convertir éstos al valor en tanto por ciento, se emplea la fórmula siguiente:

$$X \% = \frac{(kVA \text{ base} \times \text{ohms})}{10 (kV)^2}$$

Por ejemplo, una línea de transporte a 220 kV, referida a una potencia de 50000 kVA tiene una reactancia de 4,5 ohms. El valor de la reactancia porcentual será

$$X \% = \frac{5000 \times 4,5}{10 (220)^2} = 0,47\%$$

De forma análoga operaríamos si se desea reducir una reactancia expresada en ohms en su valor equivalente en por unidad. En este caso, la fórmula aplicable sería:

$$X \text{ p.u.} = \frac{(kVA \text{ base}) \times \text{ohms}}{1000 (kV)^2}$$

Veamos ahora que valores de la reactancia deben considerarse para los distintos elementos que pueden constituir un sistema eléctrico.

Generadores

En los generadores resulta muy difícil el cálculo exacto de la reactancia de dispersión, ya que las condiciones de funcionamiento varían durante el tiempo que dura el cortocircuito. En su lugar, y a propuesta de los técnicos norteamericanos, se distinguen las siguientes reactancias:

Reactancia subtransitoria X''_d . Es igual a la reactancia de dispersión del estator más la reactancia debida al flujo del inducido que, atravesando el entrehierro, penetra en el rotor, en la medida que permite el arrollamiento amortiguador en una máquina con polos laminados, o la superficie amortiguadora de los polos de un generador que los tenga macizos. La reactancia subtransitoria es la que se toma como dato para el cálculo de la corriente de cortocircuito de choque.

Reactancia transitoria X'_d . Esta reactancia es la que rige las características de la máquina durante el periodo transitorio del cortocircuito, es decir, durante el intervalo en que han disminuido las corrientes amortiguadoras en la superficie del rotor o en el arrollamiento amortiguador, pero antes de que hayan desaparecido las corrientes amortiguadoras en el arrollamiento inductor. O sea que la reactancia transitoria es igual a la reactancia de dispersión del estator mas la reactancia provocada por el flujo del estator que penetra en el rotor hasta el arrollamiento inductor.

Reactancia sincrónica X_d . Es la reactancia en régimen permanente, después de haber desaparecido todas las corrientes amortiguadoras en el arrollamiento inductor. Por lo tanto, se habrá de tomar de la corriente de cortocircuito permanente.

Es decir que, para nuestro propósito, la más importante es la reactancia subtransitoria X''_d , que es la que tomaremos como base para el cálculo de las corrientes de cortocircuito de choque. Generalmente, el valor de esta reactancia es proporcionado por los constructores de los generadores. Su valor es muy variable y depende de la potencia nominal de los generadores, de que si estos están construidos por centrales hidráulicas o se trata de turbogeneradores, etc. En la tabla 2.3.1 se dan valores típicos de reactancias subtransitorias para diferentes generadores, con la advertencia de que dichos valores deben tomarse solamente como datos de orientación ya que, en todos los casos, es preferible solicitar este dato al fabricante.

Los valores de esta tabla están referidos a la potencia nominal de la máquina.

Tipo de máquina		Reactancia subtransitoria en tanto por ciento		
		Del orden de	Valor medio	
Turbogeneradores	1500 r.p.m.	10 a 17	13	
	Potencia inferior a 125 MW	7 a 13	10	
	Potencia superior a 125 MW	20 a 25	22	
Generadores de polos salientes	para turbinas hidráulicas	20 a 35	25	
	Con devanado amortiguadores	para motores Diesel	15 a 30	20
		para turbinas hidráulicas	30 a 45	35
	Sin devanados amortiguadores	para motores Diesel	25 a 35	30

Tabla 2.3.1. Valores de las reactancias subtransitorias de generadores trifásicos con tensiones nominales superiores a 2300 V

Transformadores

El valor de la corriente de cortocircuito de choque en los transformadores, se calcula a partir de la impedancia de cortocircuito porcentual, que equivale a la tensión de cortocircuito porcentual. Tratándose de sistemas de alta tensión, se puede sustituir el valor de la impedancia por el de la reactancia, ya que en estos casos

$$X_{cc} \approx Z_{cc}$$

En la tabla 2.3.2. se expresan los valores de la reactancia de cortocircuito para distintos tipos de transformadores

Tensión en el devanado de alta KV	Potencia aparente kVA	Reactancia subtransitoria en tanto por ciento de cortocircuito
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION		
Monofásicos		
De 2,4 a 4,8	menor de 100	1,7 a 3,4
	de 150 a 500	3,3 a 4,4
De 2,4 a 4,8	menor de 100	1,7 a 4,8
	de 150 a 500	4,0 a 4,9
de 22 a 33	igual o menor que 500	4,1 a 5,5
de 44 a 66	igual o menor que 500	5,5 a 7,5
TRANSFORMADORES DE POTENCIA		
Monofásicos o trifásicos		
De 2,4 a 15	Superior a 500	4,5 a 7
De 15 a 25		5,5 a 8
De 25 a 37		6,0 a 8
De 37 a 50		6,5 a 9
De 50 a 73		7 a 10
De 73 a 92		7,5 a 10,5
De 92 a 115		8 a 12
De 115 a 138		8,5 a 13
De 138 a 161		9 a 14
De 161 a 196		10 a 15
De 196 a 230	10 a 16	

Tabla 2.3.2 Valores de las reactancias de cortocircuito de transformadores

Observaciones a la tabla.2.3.2:

1. Los valores de la tabla estan referidos a la potencia nominal de la máquina.
2. Si se trata de transformadores trifásicos de distribución, se tomara el valor correspondiente a un transformador monofásico de una potencia igual a 1/3 de la potencia del trifásico.

Lineas

Por lo general, la impedancia de las lineas está expresada directamente en ohms pero resulta fácil reducirla al valor porcentual referido a la potencia base, mediante la fórmula:

$$Z \% = Z \frac{P_b}{10 U^2}$$

Z = impedancia de una fase expresada en ohms

P_b = potencia base en kVA

U = tensión entre fases en kV

Otros elementos de los circuitos

Además de los generadores, transformadores y líneas, en los sistemas eléctricos intervienen también otros elementos, cuando se calculan las corrientes de cortocircuito. En la tabla 2.3.3 se expresan los valores de las reactancias que se deben tener en cuenta en los compensadores síncronos y en los motores eléctricos referidos a la potencia nominal de la máquina correspondiente.

Hay que tener en cuenta que, cuando ocurre un cortocircuito, los motores, tanto síncronos como asíncronos, que están conectados a la red, suministran también corriente al cortocircuito, lo mismo que sucede con los generadores, siendo su aportación de un valor igual a

$$I_{cc} = \frac{I_n}{X''_d \%} 100$$

donde:

X''_d % reactancia subtransitoria porcentual

Sin embargo, conviene señalar que la influencia de los motores asíncronos dura un tiempo muy corto

Entre los fabricantes de motores existe la costumbre global, de dar la corriente de arranque a tensión plena expresada en " tantas veces la corriente nominal, la cual tiene un valor igual a la inversa de la reactancia subtransitoria expresada en por unidad ". Es decir, que para un motor cuya corriente de arranque es de 5 veces la nominal, la reactancia subtransitoria vale

$$X''_d = \frac{1}{I_a} = \frac{1}{5} = 0.2$$

Tipo de maquina	Reactancia subtransitoria en tanto por ciento		Reactancia transitoria en tanto por ciento	
	Del orden de	Valor medio	Del orden De	Valor medio
Compensadores síncronos	20 a 35	30	-----	-----
Motores síncronos				
De 600 r.p.m. o mas	10 a 20	17	15 a 35	25
De 500 r.p.m. o menos	20 a 35	30	20 a 50	40
Motores asíncronos	15 a 25	25	-----	-----

Tabla 2.3.3 Reactancias de compensadores síncronos y motores eléctricos de tensiones superiores a 2300 V

Conceptos básicos para el cálculo de potencias y corrientes de cortocircuito

Sabemos que las potencias y las corrientes de cortocircuito están relacionadas entre sí por la siguiente expresión.

$$\frac{P_{cc}}{P_n} \approx \frac{I_{cc}}{I_n}$$

Se tiene por otro lado, que en los generadores

$$\frac{I_{cc}}{I_n} = \frac{100}{X_{cc}\%}$$

resultará que, para los generadores

$$\frac{P_{cc}}{P_n} \approx \frac{100}{X_d''\%}$$

de donde

$$P_{cc} \approx P_n \frac{100}{X_d''\%}$$

y para los transformadores

$$\frac{P_{cc}}{P_n} \approx \frac{100}{X_{cc}\%}$$

de donde

$$P_{cc} \approx P_n \frac{100}{X_{cc}\%}$$

Como, por otro lado, muchas veces resulta más fácil operar con las potencias de cortocircuito que con las correspondientes corrientes, nosotros utilizaremos con bastante frecuencia el cálculo de potencias de cortocircuito. Para hallar la corriente de cortocircuito I_{cc} , recordaremos que, para generadores

$$P_{cc} = \sqrt{3} E I_{cc}$$

de donde

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} E}$$

donde,

E = fuerza electromotriz del generador

y para transformadores

$$P_{cc} = \sqrt{3} U_b I_{cc}$$

de donde

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} U_b}$$

donde:

U_b = tensión en bornes en el lado de alta tensión.

A continuación exponemos algunos casos típicos que se pueden presentar, según el tipo de acoplamiento de generadores y transformadores.

Generadores acoplados en paralelo.

Cuando dos o más generadores están acoplados en paralelo, siendo de diferentes potencias pero con igual reactancia subtransitoria (o, lo que es lo mismo, con igual tensión de dispersión, los generadores (fig.2.3.17) pueden sustituirse por un generador equivalente, cuya potencia es la suma de la potencia de cada generador y cuya reactancia subtransitoria es igual a la reactancia subtransitoria común.

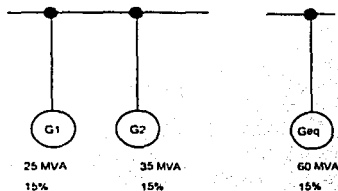


Fig. 2.3.17 Generador equivalente a dos generadores acoplados en paralelo y que tienen distinta potencia y la misma reactancia subtransitoria.

En el caso de la fig. anterior tenemos que:

$$P_1 = 25 \text{ MVA}$$

$$P_2 = 35 \text{ MVA}$$

$$X''_{d1} = 15 \%$$

$$X''_{d2} = 15 \%$$

$$P_{eq} = P_1 + P_2 = 25 + 35 = 60 \text{ MVA} \quad X''_d = 15 \%$$

Por lo tanto, la potencia de cortocircuito conjunta vale

$$P_{cc} = \frac{P_{eq}}{X''_d} = \frac{60}{15} = 400 \text{ MVA}$$

Si los generadores son de diferente potencia y de diferente reactancia subtransitoria (fig.2.3.18) se calculará la potencia equivalente de cada uno de ellos con respecto a una reactancia subtransitoria común a todos y entonces se procederá como en el caso anterior.

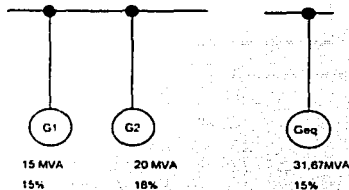


Fig. 2.3.18. Generador equivalente a dos generadores acoplados en paralelo y que tienen distinta potencia y distinta reactancia subtransitoria.

Por ejemplo en el caso de la fig. anterior tenemos que:

$$P_1 = 15 \text{ MVA}$$

$$P_2 = 20 \text{ MVA}$$

$$X''_{d1} = 15 \%$$

$$X''_{d2} = 18 \%$$

Referiremos las potencias a la reactancia subtransitoria de uno de ellos, por ejemplo

$$X''_{d1} = 15 \%$$

entonces obtendremos:

$$P'_1 = 15 \text{ MVA}$$

$$X''_{d1} = 15 \%$$

$$P'_2 = P_2 \frac{X''_{d1}}{X''_{d2}} = 20 \frac{15}{18} = 16,67 \text{ MVA}$$

$$X''_{d2} = 15 \%$$

Ahora, se procederá como en el caso anterior

$$P'_1 = 15 \text{ MVA}$$

$$X''_{d1} = 15 \%$$

$$P'_2 = 16,67 \text{ MVA}$$

$$X''_{d2} = 15 \%$$

$$P_{eq} = P'_1 + P'_2 = 15 + 16,67 = 31,67 \text{ MVA}$$

$$X''_d = 15 \%$$

Es decir, que el generador equivalente tiene una potencia de 31,67 MVA con una reactancia subtransitoria de 15%. La potencia de cortocircuito es

$$P_{cc} = \frac{P_{eq}}{X''_d} 100 = \frac{31,67}{15} 100 = 211 \text{ MVA}$$

Transformadores acoplados en paralelo

En el caso de transformadores acoplados en paralelo, se opera de forma análoga, teniendo en cuenta la reactancia de cortocircuito de los transformadores o, lo que es lo mismo, la tensión de cortocircuito. Como por ejemplo:

En la fig. 2.3.19 se representa el caso de dos transformadores de distinta potencia pero con la misma reactancia de cortocircuito. El transformador equivalente tiene una potencia que es la suma de la correspondiente a ambos transformadores y la misma reactancia de cortocircuito.

$$P_1 = 20 \text{ MVA} \qquad X_{cc1} = 6 \%$$

$$P_2 = 10 \text{ MVA} \qquad X_{cc2} = 6 \%$$

$$P_{eq} = P_1 + P_2 = 20 + 10 = 30 \text{ MVA} \qquad X_{cc} = 6 \%$$

o sea, que la potencia de cortocircuito vale

$$P_{cc} = \frac{P_{eq}}{X_{cc}} \cdot 100 = \frac{30}{6} \cdot 100 = 500 \text{ MVA}$$

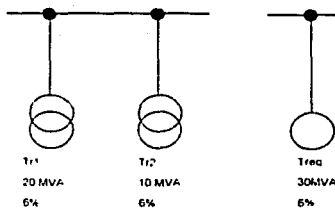


Fig. 2.3.19. Transformador equivalente a dos transformadores acoplados en paralelo y que tienen distinta potencia y la misma reactancia de cortocircuito

En la fig. 2.3.20 se representa el caso de tres transformadores acoplados en paralelo, con la misma potencia nominal pero distinta reactancia de cortocircuito. En este caso, se debe referir la potencia de cada uno de los transformadores, a la de uno de ellos, tomando como base para los cálculos, que supondremos será Tr_1 , cuya reactancia de cortocircuito es de 5%.

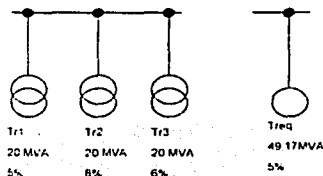


Fig. 2.3.20. Transformador equivalente a tres transformadores acoplados en paralelo y que tienen la misma potencia pero distinta reactancia de cortocircuito.

Tendremos por lo tanto:

$$P'_1 = 20 \text{ MVA} \quad X_{cc1} = 5 \%$$

$$P'_2 = P_2 \frac{X_{cc1}}{X_{cc2}} = 20 \frac{5}{8} = 12,5 \text{ MVA} \quad X_{cc2} = 5 \%$$

$$P'_3 = P_3 \frac{X_{cc1}}{X_{cc3}} = 20 \frac{5}{6} = 16,67 \text{ MVA} \quad X_{cc3} = 5 \%$$

$$P_{eq} = P'_1 + P'_2 + P'_3 = 20 + 12,5 + 16,67 = 49,17 \text{ MVA} \quad X_{cc} = 5 \%$$

es decir, que para efectos de cálculo de potencias y corrientes de cortocircuito, los tres transformadores acoplados en paralelo equivalen a un transformador de potencia de 49,17 MVA y reactancia de cortocircuito 5%. La potencia de cortocircuito será:

$$P_{cc} = \frac{P_{eq}}{X_{cc}} = 100 \frac{49,17}{5} = 983,4 \text{ MVA}$$

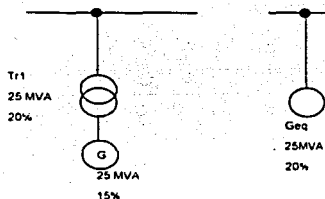


Fig. 2.3.21. Generador equivalente a un generador y un transformador de la misma potencia acoplados en serie.

Generador y transformador acoplados en serie

Un caso que se presenta mucho en la práctica, sobre todo en las modernas instalaciones de producción y distribución de energía eléctrica, es el de un generador acoplado en serie con un transformador de la misma o distinta potencia nominal. Se presentarán, por lo tanto, dos casos.

- a) Generador conectado en serie con un transformador de la misma potencia nominal. En este caso, el conjunto generador transformador equivale a un generador de la misma potencia y cuya reactancia subtransitoria es la suma de la reactancia subtransitoria del generador y de la reactancia de cortocircuito del transformador.

Un ejemplo de aplicación está representado en la fig. 2.3.21. De acuerdo con lo dicho en el párrafo anterior, tendremos

$$\begin{array}{ll}
 P_G = 25 \text{ MVA} & X'_d = 15 \% \\
 P_{Tr} = 25 \text{ MVA} & X_{cc} = 5 \% \\
 \hline
 P_{eo} = 25 \text{ MVA} & X''_{deo} = X'_d + X_{cc} = 15 + 5 = 20 \%
 \end{array}$$

La potencia de cortocircuito vale

$$P_{cc} = \frac{P_{eq}}{X''_{deq}} 100 = \frac{25}{20} 100 = 125 \text{ MVA}$$

- b) Generador conectado en serie con un transformador de distinta potencia nominal. Ahora, se opera de forma semejante, pero reduciendo la reactancia de cortocircuito del transformador a la potencia del generador.

Por ejemplo, en el caso de la fig. 2.3.22 tendremos: Reactancia de cortocircuito del transformador, reducida a la potencia del generador:

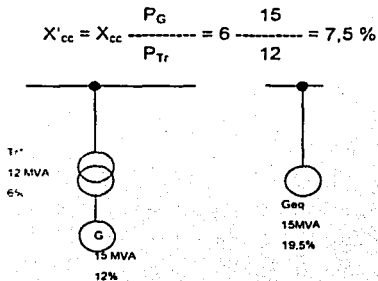


Fig. 2.3.22. Generador equivalente a un generador y un transformador de distinta potencia acoplados en serie.

Por lo tanto, el generador equivalente, tendrá las siguientes características.

$$P_{eq} = P_G = 15 \text{ MVA}$$

$$X''_{deq} = X''_d + X'_{cc} = 12 + 7,5 = 19,5 \%$$

La potencia de cortocircuito en barras es

$$P_{cc} = \frac{P_{eq}}{X''_{deq}} 100 = \frac{15}{19,5} 100 = 76,9 \%$$

Generador equivalente de una línea eléctrica

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito, y como se expresa en la fig. 2.3.23 la reactancia de un conductor puede sustituirse por un generador que de la misma potencia de cortocircuito que resulta de conectar la reactancia X a la tensión U_n .

La tensión de dispersión U_d , del generador equivalente se calcula a partir de

$$P_{cc} = \frac{U_n^2}{X}$$

en donde U_n es la tensión en el punto A (ver fig. 2.3.23) la cual es, generalmente, un 5% superior a la tensión U de servicio de la red. Por otro lado, P_n es la potencia del generador o transformador al que está conectado el conductor en el punto A.

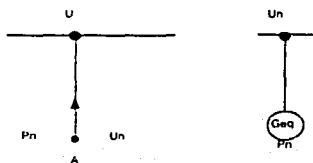


Fig. 2.3.23. Generador equivalente de una línea eléctrica

Por lo tanto, tendremos:

$$U_d = \frac{P_n}{P_{cc}} \cdot 100$$

y teniendo en cuenta que

$$P_{cc} = \frac{U_n^2}{X}$$

obtendremos que

$$U_d = \frac{P_n \cdot X}{U_n^2} \cdot 100$$

Por ejemplo, si tenemos una línea aérea de tensión de servicio 110 kV y 20 km de longitud y $X = 0,4 \text{ ohm/km}$, tendremos

$$U_n = U + \frac{5 \cdot U}{100} \cdot 110 + \frac{5 \times 110}{109} = 115,5 \text{ kV}$$

$$X = 0,4 \times 20 = 8 \text{ ohm}$$

$$P_{cc} = \frac{115,5^2}{8} = 1660 \text{ MVA}$$

Supongamos que la potencia del generador o del transformador que alimenta la línea sea

$$P_n = 30 \text{ MVA}$$

la tensión de dispersión del generador equivalente es

$$U_d = \frac{30 \times 8}{115,5^2} \cdot 100 \cong 1,8 \%$$

o también

$$U_d = \frac{P_n}{P_{cc}} \cdot 100 = \frac{30}{1660} \cdot 100 \approx 1,8\%$$

Elementos para el cálculo de corrientes de cortocircuito

Con los conceptos anteriores, disponemos de elementos de juicio para calcular las corrientes de cortocircuito en cualquier sistema eléctrico. Los elementos serán los siguientes:

1. Determinación de la reactancia porcentual o en por unidad de la trayectoria por fase afectada por el cortocircuito, componiéndola a base de las reactancias parciales que se encuentran en dicha trayectoria y refiriendo estas reactancias parciales a un valor base.
2. Determinación de la corriente eficaz de cortocircuito de choque I_{cc}
3. Una vez determinada I_{cc} y, a partir de este valor:
 - a) Determinar la corriente máxima de cortocircuito de choque I_{ch}
 - b) Determinar la corriente transitoria de cortocircuito y la capacidad de ruptura de los aparatos de corte.
 - c) Determinar la corriente permanente de cortocircuito.

Con los valores de las corrientes de cortocircuito de choque, podremos determinar los esfuerzos electrodinámicos de cortocircuito.

Con los valores de las corrientes transitorias de cortocircuito, podremos determinar las características de funcionamiento que habrán de cumplir los interruptores y demás aparatos de corte

Finalmente, con los valores de la corriente permanente de cortocircuito, podremos determinar los esfuerzos térmicos sobre máquinas y aparatos.

Cuando a la red están conectados motores síncronos y motores de inducción, se tendrán en cuenta las siguientes normas

Para calcular el valor de la corriente máxima de cortocircuito de choque I_{ch} , se tendrán en cuenta los valores de las reactancias sub-transitorias de estos motores.

Para calcular el valor de los aparatos de corte, se tendrán en cuenta, únicamente, los valores de las reactancias transitorias de los motores síncronos. Como hemos dicho anteriormente; la influencia de los motores asíncronos sobre la corriente de cortocircuito es nula cuando han transcurrido algunos periodos, por lo que, para el cálculo de la capacidad de ruptura, no se ha de tener en cuenta la existencia de este tipo de motores.

El valor de la corriente permanente de cortocircuito puede deducirse del valor eficaz de la corriente de cortocircuito de choque, por medio de la fórmula.

$$I_p = \mu_p I_c$$

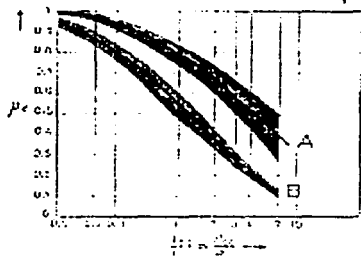


Fig. 2.3.24. Valores del coeficiente μ_p para distintas condiciones de funcionamiento. A — Funcionamiento con excitación a plena carga y $\cos \rho = 0.8$. B—

Siendo μ_p un factor que se obtiene de la fig. 2.3.24. Para conocer los esfuerzos térmicos provocados por la corriente permanente de cortocircuito se aplica el valor de μ_p que corresponde a la curva de excitación a plena carga y $\cos \rho = 0.8$, es decir, a la curva A de la fig. 2.3.24. La curva de vacío, es decir la curva B de la fig. 2.3.24, sirve para el cálculo de comprobación del comportamiento de los dispositivos de protección en momentos de poca carga, con escasa potencia de generadores conectados a la red (por ejemplo, durante el servicio nocturno).

3. DISEÑO MECANICO Y ELECTRICO

3.1 DESCRIPCION GENERAL

El diseño mecánico y eléctrico del tablero toma como referencia las necesidades del lugar donde será instalado y los equipos que se requieren proteger. Algunos tableros son diseñados para servicio interior, exterior y/o en climas extremos, dependiendo la ubicación del lugar donde operara el equipo, por tal motivo las características principales del tablero se basan en las dimensiones de la cubierta y del equipo eléctrico de las partes interiores.

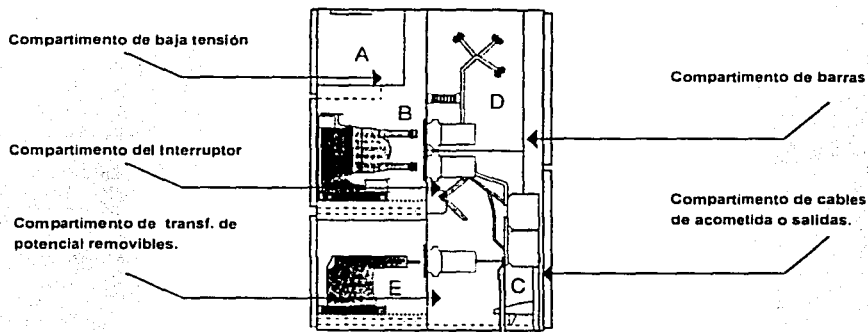


Fig. 3.1 Compartimentos principales de un tablero Metal-Ciudad

3.2 CELDA BASICA

El tablero debe estar compartimentado, para dar protección y rigidez a cada uno de los elementos contenidos y, para un mejor entendimiento hemos separado cada uno de estos compartimentos explicando detalladamente sus partes y equipos contenidos. (fig. 3.1)

Los tableros blindados (metal-ciudad) deben ser diseñados con barreras metálicas entre las secciones primarias verticales adyacentes y entre secciones primarias principales de cada circuito

En donde existan barras conductoras que atraviesen barreras, deben utilizarse pasamuros u otro aislamiento. Las secciones primarias son: compartimento de barras, compartimento de alimentación primaria, compartimento del elemento desconectador, compartimento de transformadores de tensión y de control. Las barreras entre secciones primarias no deben tener aberturas intencionales

3.2.1 Compartimento de barras

Este compartimento esta aislado de los otros y su acceso debe ser únicamente removiendo los tornillos de los paneles posteriores ver fig. 3.2

El arreglo de fases y conexiones primarias en sistemas trifásicos vistas del lado del mecanismo de operación del equipo principal de interrupción será 1,2,3 de frente hacia atrás, de arriba hacia a abajo, o de izquierda a derecha. Ciertos tipos de equipos pueden requerir otro arreglo de fases y un conductor neutro en estos casos el arreglo debe ser indicado.

El bus principal puede instalarse en la parte inferior y a todo lo largo de cada sección del tablero metal clad.



Fig 3.2 Compartimento de barras

Secuencia de fases.

La secuencia de fases en diagrama de conexiones debe ser tal que, cuando se consideren tensiones a neutro o en sistema polifásico con respecto al elemento de tiempo, la tensión de la fase 1 alcanzara un maximo adelanto de la tensión de la fase 2,3 etc., esta secuencia será designada como secuencia de fase en el sentido 1,2,3, etc.

El bus sera de aluminio o cobre y será de un tamaño y calibre adecuado al voltaje y corriente del sistema y conservándose una temperatura nominal adecuada dentro de este compartimento.

Cada conector sera aislado con material epoxy y aislamiento retardante a la flama. Cada unión de bus sera plateada para asegurar un adecuado contacto electrico y baja resistencia a la unión

El bus principal extendido a lo largo del tablero requiere de aisladores soportes entre unidades que dan protección y soporte completo, estos pueden ser de material aislante o de porcelana y estan sujetos para prever penetración de gas entre compartimentos. Deben estar compuestos por tres piezas individuales, montados verticalmente y asegurados con tornillos sobre los paneles de acero de este compartimento. Cada uno de estos soportes debe fabricarse para evitar corrientes de fuga en sus superficies. La superficie de los aisladores debe montarse con una conexión a tierra y estar libre de contaminación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En un tablero metal clad debe existir la posibilidad de montar secciones adicionales y la conexión de los buses debe ser fácil y sin herramienta especial, en sus extremos serán plateadas y con tornillos especiales.

3.2.2 Compartimento de baja tensión

Todo el equipo de baja tensión para control y monitoreo debe estar de acuerdo a las diferentes configuraciones, de cada uno de los casos individuales del diseño del tablero. La instalación de todos los dispositivos de conexión y protección deben ser accesibles todo el tiempo por la puerta frontal del gabinete. Las entradas y terminales de disparo para la acometida, salida de los cables de control y el alambrado, están localizados en esta sección. fig. 3.3

El alambrado de control debe realizarse de acuerdo con la norma ANSI C3711 - 1979 y se deben tener las siguientes consideraciones.

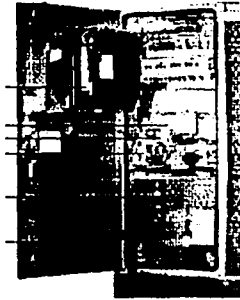


Fig. 3.3. Compartimento de baja tensión

Circuitos y dispositivos de control secundarios.

Todos los circuitos de tensión para control, medición y protección estarán protegidos dentro del tablero de acuerdo a lo siguiente:

1. Todos los circuitos alimentados desde fuentes externas (A.C. o D.C.), deben tener protección contra corto circuito dentro del tablero.
2. Todos los circuitos alimentados desde fuentes internas (A.C. o D.C.) tendrán protección contra corto circuito dentro de la misma sección de la Fuente alimentadora. Si estos circuitos son alimentados por transformadores de control, su protección podrá ser solamente en el circuito primario.

Adicionalmente a la protección requerida, pueden ser suministradas protecciones contra sobre corriente en los circuitos de tensión.

Los circuitos alimentadores de cargas, tales como calentadores, receptáculos o lámparas deben tener protección contra sobre carga y corto circuito.

No debe suministrarse protección contra sobrecorriente en los secundarios de los transformadores de corriente.

Cables secundarios y de control.

Cable de cobre, para 600 V resistente a la flama con una sección transversal no menor que el No. 14 AWG trenzado (4110 cmil) se debe utilizar en alambrados pequeños entre componentes o partes de dispositivos de ensambles del tablero. Donde se conecten cables a través de articulaciones debe utilizarse cable flexible (41 o más hilos). El aislamiento de los cables debe ser del tipo THW o algún equivalente.

Para alambrado desde dispositivos anunciadores y supervisores hasta las tablillas terminales, se podrán utilizar cables de menor calibre previendo que los soportes adecuados existan y que los requerimientos de tensión y corriente se cumplan.

Estos cables deben estar separados de otros alambrados de control y circuitos secundarios.

Pasamuros, ojales para cables, u otras protecciones mecánicas deben proveerse para los alambrados secundarios y de control en donde los cables traspasen láminas metálicas, barreras o canales para cables.

El alambrado interno de los dispositivos debe estar de acuerdo con las normas industriales aplicables.

Terminales para el alambrado secundario.

Los cables de control tendrán terminales no soldables en donde el cuerpo de la terminal es comprimido o indentada sobre el conductor, o donde el cable, en forma de ojillo es confinado en una tablilla terminal o ciema. Para equipos que tengan integradas terminales con conectores a presión no se requerirán las terminales no soldables. Los cables podrán soldarse directamente a las terminales, o donde sea recomendable, directamente a los dispositivos, tales como contactos de desconectores secundarios o a terminales soldables en los equipos anunciadores y de supervisión.

Tablillas terminales.

Las tablillas terminales que incorporen tornillos o terminales con perno y tuerca deben aceptar las terminales de los cables o dispositivos similares adheridos a los mismos. Los tornillos o terminales tipo perno y tuerca propuestos, para utilizarse con cables serán tales que todos los hilos del conductor sean confinados.

Las tablillas terminales con conectores a presión no deben dañar los alambres del cable y, cuando los cables tengan terminales todos los hilos deben quedar confinados dentro del conector.

Las tablillas terminales para conexiones externas serán convenientes para aceptar cable AWG No. 10 (10380 cmil). La utilización de alambre sólido no es recomendable.

Límites de tensión de los instrumentos y circuitos de control.

Se usarán transformadores de tensión y corriente para los instrumentos de medición, relevadores u otros conectados a circuitos de corriente alterna de mas de 240 V. a fin de reducir la tensión en los instrumentos alambrados que deban estar estrictamente agrupados.

Si existen instrumentos de medición, relevadores u otros dispositivos de C.D. aterrizados, estos podrán ser conectados en circuitos de hasta 250 volts.

3.2.3 Módulo de transformadores de potencial

Cuando sean requeridos transformadores de potencial (TP) para instrumentación, protección y medición estos deben ser removibles ver fig. 3.4

Transformadores de potencial y fusibles primarios.

Los transformadores de tensión y fusibles primarios deben ser montados en tal forma que puedan ser desconectados del circuito primario antes de tener acceso a ellos.

La sección debe contar con elementos para la desconexión o la puesta a tierra automática del circuito secundario del transformador de potencial cuando el circuito primario es desconectado y también debe contar con elementos para la puesta a tierra momentánea del embobinado primario durante la operación de desconexión.

Fusibles para los transformadores de potencial.

Los circuitos primarios de los transformadores de potencial deben incluir fusibles limitadores de corriente.

Los circuitos secundarios de los transformadores de potencial deben incluir fusibles o algo equivalente.

Excepción: Los fusibles en los circuitos secundarios de los transformadores de potencial podran omitirse solo si la carga del secundario incluye reguladores de tensión, relevadores de proteccion u otros dispositivos considerados suficientemente esenciales para la operación de la instalacion; prefiriendo incurrir en peligros asociados con la posible destruccion del transformador de potencial por mantener una corriente de corto circuito en el secundario en lugar de interrumpir la tensión de alimentacion a tales equipos, como resultado de una corriente momentánea de corto circuito en el secundario

Los fusibles de los TP deben ser montados sobre la parte removible, cuando la puerta de los TP, esta completamente abierta, los TP son automaticamente aterrizados. Cuando la puerta este cerrada, los contactos primarios insertados en el clip de contactos fijos estara completamente energizados. Cada TP estara protegido con un fusible que protege cualquier falla interna en el transformador.

El ensamble de los TP puede fijarse en un compartimento auxiliar en la linea superior del tablero metal clad o en una estructura fijada en la parte inferior.

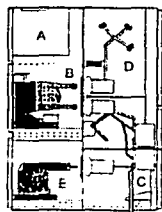


Fig. 3.4 Compartimento de transformadores de potencial

Estos TP son coordinados con el diseño de los tableros metal clad, de acuerdo al nivel básico de impulso y cuenta en resumen con los siguientes elementos.

1. Estructura.
2. Monobloques aislantes con terminales de conexión.
3. Pantallas automáticas de segregación de los contactos de media tensión con dispositivo "fail safe" que impide la apertura manual de las mismas pantallas.
4. Puerta con acoplamiento para la maniobra del carro de TP con puerta cerrada.
5. Contacto de arrastre de toma a tierra.
6. Contactos de seccionamiento del circuito secundario de los transformadores de tensión.
7. Bloqueo anti - introducción para carros TP diferentes.
8. Etiquetas con las características en el idioma del país donde se instala el equipo.

Adicionalmente se podrán integrar elementos de bloqueo o herramientas especiales para el manejo y maniobra de los T.P. y sus demás elementos tales como:

Manija para puerta con bloqueo a llave.

Este es un dispositivo con bloqueo a llave que, al accionarse, impide la apertura de la puerta del contenedor. La llave se puede extraer con el bloqueo accionado.

Interbloqueo eléctrico para puerta.

Está formado por un contacto eléctrico accionado por la manija de la puerta de la celda (con o sin bloqueo a llave).

Se puede utilizar para impedir la traslación en el contenedor del carro TP dotado con un imán de bloqueo en el carro cuando la puerta está abierta.

Carros para los transformadores de potencial.

Este es un soporte para la instalación de los transformadores de tensión, dotado con ruedas y contactos de seccionamiento para facilitar la introducción y el seccionamiento de los transformadores de tensión. Estará dotado con un bloqueo anti introducción y un dispositivo de toma de tierra.

Rampa de señalización del carro introducido.

Es un dispositivo mecánico que señala la correcta introducción del carro de la celda TP.

Imán de bloqueo

Es un dispositivo electro mecánico que permite la introducción y extracción del carro TP en la celda, sólo con el electroimán excitado.

Manivela

Permite la introducción y extracción del carro TP en la celda.

Carro de elevación

Este consiste en un carro de elevación hidráulico que facilita las operaciones de elevación del carro. Para introducir los TP en el contenedor es conveniente acoplar la placa de transporte para el carro, este puede ser de 2 diferentes alturas.

Carro con 600 mm. de altura

Carro con 750 mm. de altura

Transformadores de corriente en tableros Metal-Clad

Características mecánicas

Las características mecánicas de los transformadores de corriente deben ser tales que puedan soportar la corriente momentánea de corta duración para la que, los dispositivos de interrupción de los circuitos asociados, son aplicados.

Cuando el circuito primario es protegido por fusibles limitadores de corriente, los transformadores de corriente deben soportar la corriente mínima de interrupción de los fusibles. A menos que sea especificado de otra manera por equipo de protección asociado, la duración del corto circuito debe ser considerada de 10 ciclos

Características térmicas

Las características térmicas de los transformadores de corriente deben ser tal que puedan soportar la corriente de corto circuito para la que, los dispositivos de interrupción de los circuitos asociados, son aplicados.

Cuando el circuito primario es protegido por fusibles, los transformadores de corriente deben soportar el valor máximo de I^2t de los fusibles. A menos que sea especificado de otra manera por equipo de protección asociado, la duración de corto circuito debe ser considerada de 1 s.

Temperatura ambiente

La temperatura de operación de los transformadores de corriente dentro de los tableros de media tensión debe considerarse de por lo menos 55° C.

Precisión

Los valores de precisión mostrados en la tabla 3.1, deben ser considerados como los valores mínimos. Debe existir comunicación entre el fabricante y el usuario si se requiere de mayores precisiones. Debe reconocerse que los transformadores de corriente de mayor exactitud que la mencionada en la tabla puede no cumplir con los párrafos de características mecánicas y térmicas de los mismos, por lo cual hay que adecuarlos a normas internacionales.

Para tensiones hasta 15 kV, se usan transformadores de corriente tipo boquilla debido a sus bajos costos de manufactura. El transformador consta de un núcleo de forma anular con arrollamiento secundario, el núcleo rodea una boquilla de aislamiento a través de la cual pasa el conductor de potencia.

Para tensiones superiores de 15 kV se emplean transformadores tipo soporte y con precisiones y corrientes térmicas de acuerdo a las normas internacionales aplicables para cada tensión.

EXACTITUD DE MEDICION. 60 HZ BURDENS STANDARD						
Relacion	B0 1	B0 2	B0 5	B1 0	B2 0	Exactitud del relevador
50/5	1.20	2.40				C o T 10
75/5	1.20	2.40				C o T 10
100/5	1.20	2.40				C o T 10
150/5	0.6	1.20	2.40			C o T 20
200/5	0.6	1.20	2.40			C o T 20
300/5	0.6	1.20	2.40			C o T 20
				2.40		
400/5	0.3	0.6	1.20		2.40	C o T 50
				1.20		
600/5	0.3	0.3	0.3		2.40	C o T 50
				1.20		
800/5	0.3	0.3	0.3	0.6	1.20	C o T 50
1200/5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	C 100
1500/5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	C 100
2000/5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	C 100
3000/5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	C 100
4000/5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	C 100

Tabla 3.1

3.2.4 Compartimento de interruptor

Este compartimento aloja al equipo principal siendo este el interruptor de potencia SF₆ (hexafluoruro de azufre), por lo cual debe tener la capacidad suficiente de manejar y operar eficientemente en condiciones normales de operación o bajo alguna falla, particularmente en corto circuito y de acuerdo a sus características técnicas de manufactura.

El interruptor actúa con un mecanismo de operación basado en resortes, y debe estar libre de mantenimiento por largo tiempo, además sus mecanismos tienen un bajo requerimiento del mismo, la estructura básica del compartimento se indica en la siguiente. fig.3.5

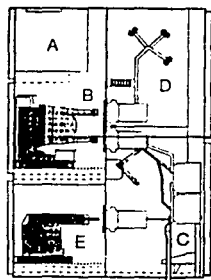


Fig. 3.5
Compartimento de Interruptor
de potencia en SF₆.

Interruptor de potencia (SF₆)

El interruptor es el elemento más importante en el tablero metal clad, y en si de todo el sistema eléctrico, ya que es el encargado de extinguir el arco eléctrico en caso de una falla de cualquier índole, por lo tanto deben ser de una manufactura que cumpla con las características y estándares internacionales. A continuación se listan los elementos necesarios para la correcta operación del sistema y del mismo.

Relé de apertura, el cual es un dispositivo electromecánico que, después de la excitación de un electroimán, acciona la palanca de disparo del mando y provoca la apertura del interruptor.

Relé de apertura suplementario, este dispositivo se combina con el relé descrito anteriormente y con el relé de mínima tensión, ya que realiza la misma función, pero opera en caso de falla de los otros dos

Relé de tensión mínima, es un dispositivo electromecánico que, provoca la apertura del interruptor en caso de disminución o falta de correspondiente tensión de alimentación.

Contacto de señalización del relé de mínima tensión energizado/desenergizado, es un contacto de final de carrera accionado directamente por el electroimán del relé de tensión mínima. Introducido en un circuito eléctrico indica el estado energizado/desenergizado

Retardador para relé de tensión mínima, este dispositivo permite retrasar la apertura del interruptor en caso de disminución o falta de la tensión de alimentación del relé de mínima tensión o del dispositivo electrónico de retraso. Este se puede encontrar en dos versiones, una llamada retardador neumático, formado por una brida en el interior de la cual se encuentra una membrana de goma que, debido al efecto neumático, contrarresta el movimiento del equipo móvil del relé. El otro tipo llamado retardo electrónico, esta formado por un dispositivo exterior de alimentación del relé de mínima tensión.

Bloqueo mecánico para relé de mínima tensión, este dispositivo, excluye la acción mecánica del relé de tensión mínima y permite el cierre del interruptor con el relé de mínima tensión desenergizado. Debe estar integrado por una serie de contactos para la señalización del relé de tensión mínima.

Relé de cierre, es el dispositivo electromagnético, que después de la excitación de un electroimán, acciona la palanca de disparo del mando y provoca el cierre del interruptor.

Motor de carga del resorte con señalización eléctrica de resorte cargado. Este dispositivo ayuda a la carga automática de los resortes de mando tras un cierre. La señalización eléctrica esta formada por un contacto de cierre de final de carrera. El motor debe operar con un voltaje nominal de 220 o 440 VCA, una corriente de 1, 5 o 10A y una potencia desde 250 o 400 VA.

Interruptor termomagnético de protección del motor, éste protege el motor para la carga de los muelles contra sobrecargas

Contacto de señalización abierto/cerrado del interruptor de protección del motor, señala el estado del interruptor de protección del motor de carga de resorte, e indica abierto o cerrado.

Contacto de señalización de resorte cargado o descargado, éste indica el estado del resorte del mecanismo de operación

Contacto transitorio con cierre de momentaneo durante la apertura del interruptor, este dispositivo se cierra de manera transitoria cuando se pasa de la posición de cerrado a la posición de abierto del interruptor (o viceversa) cualesquiera que sea la causa de la apertura. Se utiliza como contacto detector para el conteo de maniobras y conectado a un dispositivo exterior eléctrico o electrónico.

Contactos auxiliares montados en la parte fija utilizados para indicar la posición conectada del elemento removible tendrán el sufijo TOC (contacto operado por el elemento removible). La posición del elemento removible en la cual los contactos son abiertos o cerrados se deben identificar, por ejemplo:

52 T OC
a Abierto. Cuando el interruptor de potencia no esté en la posición conectada.

52 T OC
b Cerrado. Cuando el interruptor de potencia no esté en la posición conectada.

Los contactos auxiliares montados en la parte fija operados por el interruptor de potencia para indicar la posición abierto o cerrado del interruptor de potencia tendrán el sufijo MOC (contacto operado por el mecanismo del interruptor de potencia).

La posición abierto - cerrado del interruptor de potencia se designará en los contactos por ejemplo:

52 MOC
a Abierto. Cuando el interruptor de potencia es abierto.

52 MOC
b Cerrado. Cuando el interruptor de potencia es cerrado.

Si son varios los contactos e interruptores auxiliares presentes en algún equipo, y cuando sea necesario se les designará un número 1,2,3, etc.

En todo tipo de diagramas los contactos e interruptores se mostrarán en la posición desenergizado del equipo.

Electroimán de bloqueo en el mando, es un dispositivo electromecánico que, desenergizado, impide el cierre manual o eléctrico del interruptor.

Contacto de posición del carro extraíble, es un contacto disponible que se instala en el circuito de alimentación del electroimán de bloqueo, situado en el mando, para impedir el cierre eléctrico y manual del interruptor desde la posición de conectado hasta la posición de desconectado o viceversa

Contacto de señalización conectado/desconectado, estos son contactos disponibles solamente para interruptores extraíbles (tres para conectado y tres para desconectado). Se utilizan para efectuar el esquema eléctrico normalizado requerido.

Dispositivo de control de presión del gas SF₆, se tienen varias alternativas para los dispositivos del control del gas, respecto a la básica la cual se usa en un primer nivel de intervención para presión del gas baja, con contacto a disposición, con este dispositivo se pueden tener las siguientes variantes.

- Señalización en la parte frontal del interruptor con dos lámparas, verde, presión normal, amarilla, presión baja.
- Intervención del segundo nivel del presostato con apertura del interruptor mediante el relé de apertura suplementario y bloqueo del cierre mediante el electroimán de bloqueo accionado mediante un contacto auxiliar del relé del presostato
- Igual a la configuración anterior pero integrando señalización en la parte frontal con tres lámparas, verde, presión normal, amarilla, presión baja, roja, presión insuficiente

Bloqueo con llave al aire libre, este dispositivo permite bloquear el cierre manual y eléctrico del interruptor

El bloqueo con llave al aire libre no se puede utilizar si no se prevé el esquema eléctrico que predispone el bloqueo del interruptor en el estado en que se encuentra (abierto o cerrado) para la intervención del segundo nivel del presostato (presión SF₆ insuficiente). Se pueden realizar las siguientes variantes de acuerdo a lo solicitado por un usuario:

- Bloqueo con llave al aire libre (llave diferente para cada interruptor)
- Bloqueo con llave al aire libre entre dos o más interruptores (llave igual para grupos de interruptores)

Bloqueo con candado al aire libre, este permite bloquear el cierre manual y eléctrico del interruptor mediante la introducción de un candado.

Este bloqueo no se recomienda utilizar si no se preve el esquema eléctrico que predispone el interruptor en el estado que se encuentra (abierto - cerrado) para la intervención del segundo nivel del presostato (presión SF₆ insuficiente)

Interbloqueo

Obturadores.

Los interruptores de potencia en SF₆ cuentan con obturadores o mamparas automáticas para prevenir contactos accidentales con partes vivas del circuito primario cuando el elemento removible este en la posición de prueba, desconectado o ha sido removido.

Bloqueo.

Bloqueos mecánicos se suministran en los tableros metal clad (para mayor seguridad) de la siguiente forma

1. Para impedir movimientos del elemento removible de la posición conectado cuando el dispositivo de interrupción este en la posición cerrado.
2. Para impedir el cierre del dispositivo de interrupción con las barras a menos que el primario del dispositivo del mismo este completamente conectado o que, en la posición de prueba este a una distancia segura.
3. El dispositivo de interrupción debe estar asegurado con las barras a menos que el primario del mismo este completamente conectado o en la posición de prueba debe estar a una distancia segura
4. Los interruptores de potencia equipados con mecanismos de energía almacenada serán diseñados de tal manera que eviten la descarga de la energía almacenada a menos que los mecanismos estén completamente cargados. Los operadores y personal de servicio serán protegidos de los efectos de una descarga accidental de la energía almacenada y se tomarán las siguientes medidas:
 - a) Los bloqueos suministrados en la sección evitaran el completo retiro del interruptor de potencia de la misma cuando la energía almacenada de los mecanismos este cargada
 - b) Se suministrara un dispositivo conveniente para evitar el completo retiro del interruptor de potencia hasta que la función de cierre este bloqueada
 - c) Se suministrarán mecanismos de operación con carga automática de la energía almacenada antes o durante el proceso de retiro del interruptor de potencia.

3.2.4.1 Contenedor o cuna del interruptor.

Todos los elementos removibles del mismo tipo y características en un tablero son física y eléctricamente intercambiables. Los elementos removibles de diferentes tipos y características no son intercambiables

Las partes de los tres polos están montados en una estructura común encapsulada, y localizados a espaldas del mecanismo de operación. El número permitido de operaciones para estos interruptores está de acuerdo con estándares internacionales.

Las dimensiones para este compartimento están diseñados de acuerdo al voltaje, la capacidad y la corriente de los interruptores. (tabla 1.1)

En este compartimento están contenidas barreras aislantes accionadas automáticamente por el desplazamiento del interruptor.

Monoblocks aislantes ya preparado, tipo tulipan para la rápida conexión al circuito de potencia esta contenidos en esta sección.

Se hacen preparaciones para el montaje de todos los accesorios mecánicos y eléctricos de los mandos y señalización.

El acceso a estos compartimentos será desde la parte frontal y deberá proveerse de bloqueos y candados para la protección y seguridad del personal.

El numero de funciones de los dispositivos, estará de acuerdo con ANSI/IEEE C37.2-1979.

Dispositivos secundarios de desconexión.

Las conexiones del alambrado de control entre la estructura fija y el elemento removible seran con contactos autoacoplados o contactos manuales y receptáculo.

El conector de control manual será bloqueado o inaccesible para evitar la conexión o desconexión del circuito de control cuando el elemento removible esté en la posición conectado y este no deberá ser instalado en la posición conectado a menos que el conector de control manual este conectado

Con el arreglo manual, todas las conexiones serán simultáneamente conectadas en grupo con los contactos macho en la parte móvil y los contactos hembra en el receptáculo de la estructura fija

NOTA El propósito de estos requisitos es el de asegurar que las conexiones de control del interruptor de potencia sean siempre hechas y se mantengan cuando el interruptor de potencia este en la posición conectado.

Un juego de puentes de prueba o su equivalente deben ser suministrados para cada instalación para llenar todas las conexiones secundarias para prueba en la posición fuera del elemento removible.

Los contenedores constituyen la parte fija de los interruptores en SF₆ extraíbles. Gracias a su uso, se pueden diseñar tableros con mayor facilidad y flexibilidad.

Las partes que componen el contenedor o cuna son.

- Los monobloques aislantes están preparados para su rápida conexión al circuito de potencia.

- Las pantallas metálicas están accionadas automáticamente por el desplazamiento del interruptor.
- El seccionador de tierra, este se activa por la parte frontal y se anti-bloquea con el interruptor. (cuando e aplica)
- Los contactos accionados por especiales cinematismos indican la posición del interruptor.
- Desde la parte frontal del contenedor se accede a todos los mandos y se encuentran visibles todas las señalizaciones

Mecanismo de operación (energía almacenada)

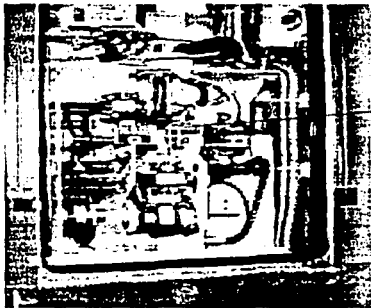


Fig 3.6 Mecanismo de energía almacenada de un interruptor en SF6

3.2.6.1 Contenedor

Los contenedores deben estar fabricados de acuerdo a las normas internacionales IEC o ANSI y se encuentran disponibles para tensiones nominales hasta 36 kV, corrientes nominales hasta 3150 A, corrientes admisibles nominales de breve duración hasta 50 kA (1s), grados de protección con puertas cerradas y con puertas abiertas de acuerdo a las normas NEMA o IEC equivalentes (Tablas 1.8 y 1.9)

Todos los elementos de los contenedores deben ser estudiados y realizados para proporcionar la máxima seguridad al usuario y un uso práctico. Los contenedores se pueden equipar con una gama de accesorios completa y funcional para adaptar el tablero a las características de la instalación.

La composición básica de los contenedores se debe prever siempre con grado de protección IPX3 o NEMA equivalente y se componen de la siguiente manera:

- Estructura.
- Monobloques aislantes con terminales de conexión.
- Pantallas automáticas de segregación de los contactos de media tensión con dispositivo 'fail safe' que impide la apertura manual de las pantallas externas.
- Puerta con mirilla y acoplamiento para la maniobra del interruptor con puerta cerrada
- Contacto deslizante de puesta a tierra
- Conector con bloqueo

- Predisposición para maniobra del seccionador de tierra. El dispositivo posee también un enclavamiento a la inserción del interruptor con la puerta de la celda inferior (si se ha previsto).
- Bloque anti - introducción para interruptores con corriente nominal diferente.
- Placa con las características en el idioma del país.

Accesorios para los contenedores

Seccionador de tierra con poder de cierre. (a solicitud del usuario)

Es un dispositivo mecánico que permite la puesta a tierra de la línea de media tensión conectada a los terminales inferiores del monobloque del contenedor.

El seccionador de tierra posee contactos fijos. Los contactos fijos están eléctricamente aislados de los terminales inferiores del contenedor para permitir la conexión al transformador de corriente. Si no se ha provisto el transformador de corriente, hay que conectar los contactos de tierra fijos a los terminales del contenedor.

Palanca de maniobra para seccionador de tierra

Permite accionar el seccionador de tierra directamente desde la parte frontal de contenedor.

Contactos auxiliares abierto/cerrado para seccionador de tierra

Colocados en un circuito eléctrico adecuado se encargan de señalar el estado del seccionador de tierra (abierto/cerrado). Es posible predisponerlos, mediante una simple operación que puede efectuar el cliente, como contactos de cierre o apertura.

- Grupos de cinco contactos de señalización.
- Grupos de diez contactos de señalización.

Bloqueo a llave para seccionador a tierra

Es un bloqueo a la maniobra del seccionador a tierra. Se tienen 3 opciones:

1. Bloqueo a llave en posición de abierto, se puede activar con el seccionador de tierra abierto e impide el cierre del mismo, en esta situación es posible quitar la llave.
2. Bloqueo a llave en posición de cerrado, se puede activar con el seccionador de tierra cerrado e impide la apertura del mismo, en esta situación es posible retirar la llave.
3. Bloqueo de llave en posición abierto/cerrado, esta formado por el conjunto de los bloques A y B con las correspondientes funciones.

Manija para puerta del contenedor con bloqueo a llave

Esta predispuesta con bloqueo a llave que, si se acciona, impide la apertura de la puerta del contenedor. La llave se puede extraer con la manija cerrada.

Interbloqueo mecánico para puerta

Es un dispositivo de bloqueo que permite la apertura de la puerta del contenedor sólo con el interruptor en posición de abierto.

Interbloqueo eléctrico para puerta

Está formado por un contacto eléctrico que se acciona mediante la manija de la puerta de la celda (con o sin bloqueo a llave). Se puede utilizar para impedir la transición en el contenedor del carro interruptor dotado con imán de bloqueo del carro, cuando la puerta está abierta.

Bloque anti - introducción a llave

Es un dispositivo de bloqueo que si se activa, impide la introducción del interruptor en el contenedor. La llave sólo se puede extraer con el bloque activado.

Carro de elevación de los interruptores

Es un carro de elevación hidráulico que facilita las operaciones de elevación del interruptor y de la correspondiente introducción en el contenedor.

Para la introducción del interruptor en el contenedor, se aconseja acoplar la placa, para ello se cuentan con tres diferentes alturas.

600 mm.

750 mm.

1000 mm.

Placa de transporte

Dispositivo que si se acopla al carro de elevación de los interruptores, facilita las operaciones de introducción y extracción del interruptor del contenedor.

Bloqueo de la puerta posterior con seccionador de tierra

Es un dispositivo que impide la apertura de la puerta posterior del cuadro si el seccionador de tierra esta abierto. Dispositivo con dos posibilidades:

Bloqueo de la puerta para tablero de simple piso

Bloqueo de la puerta para tablero de doble piso.

3.2.5 Puertas, cubiertas y otros accesorios

Terminales para cables.

Los tableros proveeran espacios para utilizar dispositivos de conexión mecánica y eléctrica para cables de acometida o salida fig. 3.7. En cada punto de conexión de terminales para cable se realizaran barrenos de acuerdo a normas internacionales.

Pasamuros, conectores u otras terminales.

En los tableros se deben proveer espacios para montar estos dispositivos cuando sea requerido.

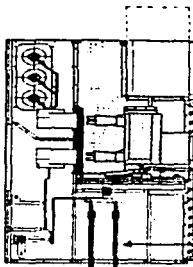


Fig. 3.7 Compartimiento especial de cables de acometida o salida. los conectores y tipos de terminales serán de acuerdo a las tensiones y corrientes especificadas en el sistema..

Aterrizamiento.

Debe incluirse una barra de tierra que conectará eléctricamente la estructura del tablero en el cual se encuentran montados el equipo primario y otros dispositivos.

Debe asegurarse un buen contacto eléctrico entre la barra de tierra y el ensamble del tablero, de tal manera que, cualquier recubrimiento no conductor tal como pintura debe ser removido o traspasado.

La barra de tierra para cada grupo de secciones verticales debe tener la facilidad para conectarse al sistema de tierra de la Subestación por medio del conductor conveniente.

Las conexiones de los equipos a la barra de tierra deben estar hecha de tal manera que no sea necesario abrir la barra de tierra para remover alguna conexión a la barra.

Deben suministrarse conexiones a tierra para todos los elementos removibles para asegurar que estos están aterrizados hasta que el circuito primario sea desconectado y el elemento removible sea desplazado hasta una distancia segura.

Cuando se monten en la estructura del tablero, gabinetes de instrumentos, transformadores de instrumentos, dispositivos de medición, relevadores y equipos similares, se consideraran correctamente aterrizados cuando se aseguren a la estructura por medio de dispositivos metalicos con las provisiones adecuadas para traspasar la capa de pintura.

La barra de tierra debe ser capaz de conducir la corriente sostenida de corta duración del tablero por 2 s. En caso de ser de cobre, la densidad de 200 A/mm², en condiciones de falla a tierra especificada, no debe ser excedida.

Aislamiento.

Instrumentos, medidores, relevadores ú otros dispositivos secundarios de control y sus alambrados se aislarán con barreras metálicas aterrizadas de los elementos de los circuitos primarios con excepción de trayectos cortos de cables tales como las terminales de equipos secundarios y transformadores de instrumentos.

Misceláneos.

Placas de características.

Las placas de características de los tableros deben tener como mínimo la siguiente información:

- Marca, Nombre y dirección de fabricante.
- Referencia para identificación del fabricante.
- Tensión Nominal
- Corriente Nominal
- Frecuencia (donde sea aplicable).
- País de origen
- Sello o número de autorización del organismo que certifica.

3.2.6 Diagramas de alambrado y lógica de control

Alambrado de dispositivos.

Los dispositivos de iluminación en tableros de media tensión serán del tipo y estarán colocados de tal manera que las lamparas sean reemplazadas fácilmente sin desenergizar el equipo primario. Los toma corrientes deben ser dos polos, tres hilos aterrizada y protegidos por un interruptor de falla a tierra.

Alambrado de control.

El alambrado de control del interruptor de potencia será de acuerdo con la norma ANSI C37 11-1979.

Dispositivos de maniobra.

Debe suministrarse uno de cada tamaño de los dispositivos de maniobra requeridos para retirar el elemento removible del tablero blindado

Gabinete de prueba.

Cuando se suministre un gabinete de prueba, este debe tener conexiones a los contactos secundarios en el control eléctrico del elemento removible, permitiendo la operación y prueba cuando éste es retirado de su compartimento.

Acceso y ventilación en tableros blindados tipo metal-clad de servicio interior.

Los dispositivos de servicio interior deben ser contenidos en tableros para propósitos generales ventilados y equipados con paneles frontales articulados con sujetadores manuales y cubiertas traseras atornillables. Aoemas deben tener ductos o rejillas para ventilación y descarga de gases de tal manera que prevengan la entrada de materiales ajenos al interruptor de potencia

Acceso y ventilación en tableros metal-clad de servicio intemperie.

Las cubiertas (ventiladas) para aplicaciones en tableros metal clad de servicio intemperie seran de alguno de los siguientes tipos:

1. Cubiertas de servicio intemperie sin pasillo de mantenimiento y operacion que suministre una cubierta para desconectadores y auxiliares solamente. Las puertas serán equipadas con pestillos y topes para detener la puerta en la posición abierta, y tendrán provisiones para candados. Deben suministrarse calentadores u otras medidas efectivas con el fin de minimizar la condensación.
2. Cubiertas de servicio intemperie con pasillo para mantenimiento y operación que tenga una cubierta para los desconectadores y auxiliares y que además tenga un pasillo encerrado para mantenimiento y operación. El pasillo debe ser del tamaño suficiente para permitir el intercambio de elementos removibles. El pasillo de operación y mantenimiento debe tener puertas de accesos equipadas con pestillos de seguridad que permitan abrir desde adentro bajo todas las condiciones.
 - a) Deben suministrarse topes que permitan detener las puertas en la posición abierta, así como provisiones para candados.
 - b) Deben suministrarse calentadores para minimizar la condensación en compartimentos que contengan dispositivos y aparatos del circuito primario.

Pintura

El espesor de la pintura requierdo se determina de la siguiente manera:

Color gris ANSI 49 debe tener un espesor de 0.0035" milésimas de pulgada \pm 0.0005 de acuerdo a la NORMA C.F.E. D85000-001 y/o D85000-003 Sistemas 10 y 26.

Color Verde Tierno debe tener un espesor de 0.0065" milésimas de pulgada \pm 0.0005 de acuerdo a la NORMA PEMEX 4132.01 Sistemas RP-2/RA-20 ó RP-3/RA-21.

Cualquier otro color que sea utilizado, diferente a los antes mencionados debe tener el espesor que se indica en las normas internacionales o en su defecto en el caso de algún requerimiento especial, este debe venir acordado entre usuario - fabricante.

3. 3 Pruebas

Esta seccion establece condiciones físicas y eléctricas para pruebas y métodos para determinar temperaturas y valores de prueba aplicables a los tableros metal-clad.

Las pruebas son clasificadas de la siguiente manera:

- A. De diseño
- B. De producción
- C. De campo

Con excepción del dispositivo principal de switcheo o de interrupción, otros dispositivos tales como transformadores de voltaje que son montados dentro del tablero, pueden desconectarse durante la prueba dieléctrica. Tales dispositivos serán probados individualmente de acuerdo a los estándares que les sean aplicables.

Pruebas de diseño o prototipo

Las pruebas de diseño aplicables deberán ser hechas de acuerdo a lo indicado en A.1. a A.9.

A.1. Pruebas dieléctricas

Las pruebas soportables de baja frecuencia y de impulso deben realizarse en los tableros para demostrar la capacidad del sistema de aislamiento para soportar las tensiones. Adicionalmente, las pruebas dieléctricas deberán ser hechas sobre el aislamiento de las barras del bus

Las pruebas sobre los sistemas de aislamiento deberán ser hechas bajo las condiciones de temperatura y humedad normalmente obtenidas bajo condiciones de prueba comerciales, con factores de corrección apropiados para densidad de aire y humedad relativos, aplicados como se indica en la norma de coordinación de aislamiento. El equipo deberá estar limpio y en buenas condiciones

Los voltajes de prueba deberán ser aplicados entre los circuitos primarios y tierra en la siguiente manera:

- a) Para equipo con dispositivos fijos y para equipo con dispositivos removibles con los elementos removibles en la posición de conectado.
 - Con los contactos del dispositivo de desconexión cerrados; entre cada fase del tablero con la estructura y todas las otras fases puestas a tierra
 - Con los contactos del dispositivo de desconexión abiertos; entre cada terminal del tablero con la estructura y otras terminales puestas a tierra
- b) Para equipo con dispositivos removibles con los elementos removibles en la posición de prueba y los dispositivos de desconexión principales en la posición cerrada aplicar voltaje de prueba a los circuitos primarios.
 - Simultáneamente todas las terminales de acometida del tablero con la estructura y terminales de salida puestas a tierra. Repetir las pruebas aplicando el voltaje de prueba a las terminales de salida con la estructura y las terminales de acometida puestas a tierra.
 - Simultáneamente entre todas las terminales de acometida y de salida del tablero. La prueba deberá ser realizada con un valor de voltaje 10% mayor que el especificado en la tabla 1.1.

Algunas observaciones son importantes tales como:

1. Para la prueba a través de la distancia abierta a 10% por arriba del voltaje, un punto intermedio de la fuente de voltaje puede si resulta práctico, ser conectado a tierra y a la estructura del tablero, para que el voltaje entre cualquier parte viva y la estructura no exceda a la especificada en la tabla 1.1. Si esto no resulta práctico, la estructura puede ser aislada de tierra.
2. La terminación exitosa de estas pruebas no necesariamente proporciona seguridad con el interruptor en la posición de prueba, éste siempre arqueará a tierra en lugar de a través de la distancia entre línea y las terminales de carga. El aislamiento del tablero no proporciona protección contra sobretensiones para la distancia abierta. Donde protección contra sobretensiones sea requerida, deberán aplicarse dispositivos de protección adecuados.

Las pruebas de soporte a baja frecuencia, de impulso y donde aplique de aislamiento de barras y de humedad en bushings de entrada, deberán realizarse como sigue:

A.1.1. Pruebas de soporte a baja frecuencia

El voltaje de corriente alterna deberá tener un valor de cresta igual a 1-414 veces al valor RMS especificado en la tabla 1. La forma de onda deberá ser esencialmente sinusoidal. La frecuencia deberá estar dentro del $\pm 20\%$ de la frecuencia nominal. El potencial de prueba será incrementado gradualmente desde cero hasta alcanzar el valor de prueba requerido dentro de 30 a 60 seg. Y deba ser sostenido a ese valor por un minuto.

A.1.2. Pruebas de soporte al impulso.

El impulso estandar es un impulso completo de un tiempo de frente virtual de 1.2 μ s y un tiempo virtual a valor medio de 50 μ s del valor especificado en la tabla 1.1. Esta se describe como una onda de prueba de impulso de 1.2 / 50 μ s. En estas pruebas, tres voltajes de impulso positivo y tres negativos deberán aplicarse a cada punto sin causar daño o arqueo. Si ocurre un arqueo en alguna de las pruebas durante cualquier grupo de tres pruebas consecutivas, deberán realizarse tres pruebas más de la misma polaridad que la falla. Si el equipo soporta exitosamente todas las tres del segundo grupo, el arqueo en el primer grupo deberá ser considerado como un arqueo aietorio y el equipo debe considerarse como aprobado

Algunos materiales aislantes retienen carga después de una prueba de impulso y para estos casos deba tenerse cuidado cuando se revierta la polaridad. Para permitir la descarga de materiales aislantes, se recomienda el uso de métodos apropiados, tal como la aplicación de impulsos de polaridad contraria a tensiones menores antes de las pruebas.

A.1.3. Pruebas para el aislamiento de barras conductoras.

La muestra de la barra conductora debe tener aplicado una tensión de baja frecuencia desde el conductor hasta un electrodo cubriendo efectivamente la superficie exterior del aislamiento. La tensión de prueba de corriente alterna debe tener un valor no menor a la tensión máxima como se muestra en la tabla 1.1.

La tensión de prueba de corriente alterna debe tener un valor de cresta igual a 1.414 veces el valor eficaz y la forma de onda deberá ser esencialmente sinusoidal. La tensión de prueba debe ser aplicada durante un minuto sin que ocurra una perforación en el aislamiento. La muestra de la barra conductora debe tener una construcción que sea típica de las barras conductora, codos y uniones.

Electrodos externos sugeridos son pintura conductiva, papel metálico o equivalente.

Esta prueba es requerida en sólo una muestra para prueba de aislamiento de la barra conductora para cada tensión nominal.

A.1.4. Pruebas de humedad en pasamuros.

Deberan ser conducidas de acuerdo con la norma NMX-J-271 u otra especificada a nivel internacional.

A.2 Pruebas de corriente nominal continua

Para determinar el cumplimiento con las capacidades de corriente nominal permanente, es necesario determinar que las temperaturas de los diferentes componentes del tablero están dentro de los límites establecidos en el capítulo 1.4. Las mediciones de temperatura deberán hacerse de acuerdo con los puntos A.2.1. a A.2.6.

A.2.1. Condiciones del área de prueba

Las pruebas de temperatura deben realizarse al interior en un área de prueba que esté libre de corrientes de aire.

A.2.2. Límites de temperatura ambiente.

Las pruebas pueden realizarse a cualquier temperatura ambiente entre 10°C y 40°C.

A.2.3. Medición de la temperatura ambiente

Las temperaturas ambiente en interiores deberán ser determinadas tomando el promedio de las lecturas de tres dispositivos de medición de temperatura tales como termómetros o termopares, colocados de la siguiente manera:

1. Uno a nivel con la parte superior de la estructura
2. Uno a 305 mm arriba de la parte inferior de la estructura.
3. Uno a la mitad entre las dos posiciones anteriores.

Todos los dispositivos de medición de temperatura deben ser colocados a 305 mm de la estructura, no enfrente de ventiladores, y en locales no afectados por corrientes de aire causadas por la estructura o radiación apreciable del equipo. Cuando la temperatura ambiente esté sujeta a variaciones que puedan resultar en errores en la medición del incremento de temperatura, los dispositivos de medición deben sumergirse en algún líquido adecuado tal como aceite en un depósito o adherido confiablemente a una masa metálica.

Una forma conveniente de tal recipiente consiste de un cilindro metálico con un orificio barrenado parcialmente en él. Este es llenado con líquido y el dispositivo de medición de temperatura es colocado allí. Una botella de vidrio puede también usarse como depósito. El tamaño del depósito deberá ser de al menos 25.4 mm de diámetro y 50.8 mm de altura.

A.2.4. Métodos de medición de temperatura

Deben usarse termopares para medir la temperatura en los lugares requeridos en el arreglo para pruebas del tablero. Cuando se usen los termopares para medición de temperatura de aislamiento, deben localizarse sobre el miembro conductor de corriente u otra parte metálica.

Los termopares usados para medir la temperatura de los contactos primarios separables del interruptor deben estar localizados aproximadamente a 13 mm de los contactos del miembro conductor de corriente. Para terminaciones de cables, los termopares deben localizarse en la unión del conductor y su aislamiento.

Los termopares deben permanecer en íntimo contacto con la superficie del conductor mediante métodos como soldadura, barrenado o por medio de adhesivos.

Los termopares en una prueba de prototipo deben localizarse de tal manera que se mida el punto más caliente, a pesar que pueda dar lugar a barrenados que destruyan algunas partes.

Los termopares no pueden estar localizados en las superficies de contacto real sin destruir la efectividad de los mismos.

Las mediciones deben ser hechas en los puntos de unión del aislamiento y partes conductoras para asegurarse el no exceder los límites de temperatura del aislamiento.

A.2.5. Duración de las pruebas

La prueba de corriente deberá hacerse durante un periodo de tiempo tal que la elevación de temperatura de cualquier punto monitoreado en el ensamble no se ha incrementado más de 1.0 grados C durante cada uno de dos intervalos de 30 min. Sucesivos como lo indicado por tres lecturas consecutivas. Si la elevación de temperatura al final del segundo intervalo es igual a los límites establecidos y si dicha elevación se ha incrementado a partir de la lectura previa, la prueba deberá continuarse hasta que la elevación de temperatura sea constante.

A.2.6. Frecuencia de la prueba de corriente

La frecuencia de la prueba de corriente no debe ser menor de la frecuencia nominal del tablero bajo prueba. Se recomienda una forma de onda senoidal. La prueba deberá realizarse con corriente alterna que tenga un valor de cresta igual a 1.41 veces el valor eficaz de la corriente de prueba.

A.2.7. Conductores de cobre para uso en pruebas de corriente

Barras de cobre como las especificadas en la tabla 3.2 deben utilizarse para conexión a las barras principales del tablero.

Conductores de cobre para uso en pruebas de corriente

Capacidad del bus Principal	Bus por terminal cantidad *	Tamaño mm (plg)
1200	1	6.35 x 101.6 (1/4x4)
2000	2	9.52 x 101.6 (3/8 x4)
3000	3	9.52 x 127.0 (3/8x5)

Tabla 3.2.

* Donde se usen barras de bus múltiples, estas deberán estar espaciadas 9.52 mm (3/8 plg.). Configuración vertical u horizontal deberá ser a opción del fabricante

Conductores de cobre para uso en pruebas de corriente

Capacidad del bus principal	Circular mil de conductor de cobre	Bus cantidad	Por terminal* Tamaño, mm (plg)
1200	4-500 KCM		9.52 X 101.6 (3/8X4)
2000		2	9.52 X 127.0 (3.8X5)

Tabla 3.3

*Donde se usen barras de bus múltiples, estas deberán estar espaciadas 9.52 mm (3/8 plg.) Configuración vertical u horizontal deberá ser a opción del fabricante

Pruebas basadas en el área de sección transversal, no - clasificación del aislamiento del cable

Cables o barras como las especificadas en la tabla 3.3 deberían ser utilizadas para conexión a las terminales de salida del interruptor. Si los tamaños de buses internos del arreglo de pruebas o configuraciones difieren de las tablas 3.2 y 3.3, tamaños de bus externos o configuraciones iguales a barras de bus interno pueden ser sustituidas a opción del fabricante.

Los conductores deberán tener una longitud externa mínima de 1.2 m (4 ft) y deberán estar aislados para la tensión nominal adecuada de acuerdo con la práctica del fabricante.

A.3. Pruebas de corriente sostenida de corta duración

Las pruebas de soporte de corriente de tiempo corto deberán hacerse para demostrar la adecuación eléctrica de buses y conexiones en tableros para soportar la corriente de tiempo corto nominal por un periodo de 2 seg Sin daño físico.

Esta prueba puede ser monofásica a cualquier valor de voltaje conveniente. Si la corriente de prueba cumple los requerimientos indicados en A 4., esta prueba puede combinarse con la de la corriente momentánea

A.4. Pruebas de corriente momentánea

Pruebas de corriente momentánea trifásica deberán realizarse para demostrar la adecuación mecánica de la estructura, buses y conexiones en tableros para soportar la corriente momentánea del tablero con.

1. Ninguna deformación permanente de las barras del bus, o
2. Alguna deformación que sea insuficiente para evitar que los requerimientos dieléctricos sean cumplidos.

La corriente deberá ser el valor rms, incluyendo la componente de corriente directa, durante el ciclo máximo según se determine a partir de la envolvente de la onda de corriente durante un periodo de prueba de al menos 10 ciclos. Esta prueba puede realizarse a cualquier voltaje conveniente.

Las pruebas conducidas en A.3. y en A.4. son para demostrar la capacidad térmica y mecánica del bus principal y sus conexiones. Las conexiones en las terminales de salida de los dispositivos de protección pueden limitarse a valores de tiempo y corriente de paso más reducidos mediante los dispositivos de protección.

A.5 Pruebas de resistencia mecánica

Las pruebas de resistencia mecánica deberán efectuarse como sigue:

Para tableros tipo metal clad deberán efectuarse por lo menos 100 ciclos de prueba de resistencia mecánica entre posiciones de prueba y conectado, utilizando cada tamaño de celta y tipo de dispositivo de switcheo y de interrupción para demostrar una operación secuencial adecuada y para establecer un funcionamiento satisfactorio de los siguientes elementos (Toda la energía primaria debería desconectarse durante las pruebas mecánicas):

- a) Contactor primarios separables.
- b) Contactos de control separables.
- c) Bloqueos de posición del elemento removible del interruptor (cada décima operación en la posición de extraído)
- d) Bloqueos del mecanismo de energía almacenada, según aplique (cada décima operación en la posición de extraído).
- e) Blocks de contactos auxiliares montados en la estructura estacionaria (cada décima operación).
- f) Blocks de contactos de posición montados en nichos.
- g) Cortinas.

A.6. Hoja, materiales aislantes encapsulados o moldeados para soporte de buses primarios y conexiones.

Hoja, materiales aislantes encapsulados o moldeados usados para el soporte de conductores primarios deberán ser probados contra resistencia a la flama y resistencia a la descarga superficial como sigue:

Mientras que estas pruebas de resistencia a la flama y a la descarga superficial del aislamiento no son pruebas de diseño aplicadas a tableros ensamblados, se incluyen aquí debido a la amplia variedad de materiales aislantes usados en tableros así como la relativa importancia de estas propiedades.

La única intención que es que tales materiales aislantes deberán cumplir los requerimientos de los procedimientos de prueba especificados. Cuando el diseño del aislamiento utilizado incluye bordes cortados en la trayectoria de descarga, estos bordes no deberán degradar la resistencia a la descarga por debajo de lo requerido como estándar.

Estas son algunas otras pruebas que se pueden realizar al tablero pero dependen de la construcción del mismo y de acuerdo a las necesidades del sistema:

A.6.1 Pruebas de resistencia a la flama

Prueba de resistencia al flameo. Hojas, moldes, o pruebas de materiales de aislamiento primario usados en subestaciones deberán tener un tiempo mínimo de ignición promedio de 60 segundos y un tiempo máximo de quemado de 100 segundos cuando se prueben, de acuerdo con la norma ASTM D229-82, método II.

A.6.2. Pruebas de resistencia de trayectorias

1. Ensamblajes de subestaciones de voltajes máximos de 4.76 kV o menores. El material deberá ser probado de acuerdo con las normas ASTM D2303-85 y bajo condiciones A (Ver norma NEMA LI 1-1983, 7.03) con muestras de 1/4 de pulgada de espesor deberá tener un tiempo mínimo de rastreo con una marca de 20 minutos con 2500 Volts aplicados
2. Ensamble de subestaciones con voltajes máximos de 8.25 kV y mayores. El material deberá ser probado de acuerdo con la norma ASTM D2303-85 y bajo condiciones A (ver norma NEMA LI 1-1983, 7.03) con muestras de 1/4 de pulgada de espesor deberá tener un tiempo mínimo de rastreo con una marca de 300 minutos con 2500 Volts aplicados

A.7 Prueba de resistencia al flameo con aislamiento aplicado

Aislamiento aplicado, tal como un sistema de cama fluida, sistema de grabado, y del tipo de encogimiento de tubería deberá ser probado como sigue:

A.7.1. Aparatos de prueba

Los aparatos de prueba deberán consistir de (ver fig. 3.8).

1. Prueba de la cámara de lámina de 12 pulgadas (305 mm) de ancho, 14 pulgadas (356 mm) de profundidad, y 24 pulgadas (610 mm) de altura, esta es provista en la parte superior con medios para sujetar la muestra en la parte superior final y probarla sosteniendo esta en una posición vertical.
2. Medios para ajustar la muestra de prueba

3. Quemador mechero con un piloto encendido adjunto y montado sobre un bloque con un ángulo de 20°. El quemador deberá tener una perforación de 3/8 de pulgada (9.5 mm) y una longitud aproximada de 4 pulgadas (102 mm) arriba de las entradas de aire primarias.
4. Un ángulo de acero ajustable (instalado) colocado en la parte inferior de la cámara para asegurar la correcta colocación del quemador con relación de la muestra de prueba.
5. Un suministro ordinario de gas natural o un equivalente con suministro a presión normal.
6. Un cronómetro indicadores de flama consistentes en tiras de papel kraft engomado con un espesor nominal de 1.0 mm (5 mil) y un ancho de 1/2 pulgada (13.0 mm).

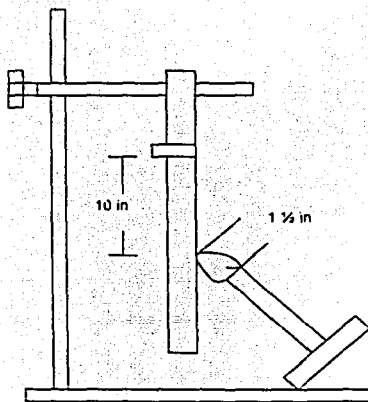


Fig. 3.8 Aparato de Prueba

A.7.2 Preparación de la muestra

Hay que preparar una varilla de cobre de aproximadamente $\frac{3}{8}$ in (19 mm) de diámetro, 22 in (560 mm) de largo, con la cubierta necesaria para probar, esta deberá ser de aproximadamente 60 mil 125 mil (1.5 mm a 3.0 mm).

A.7.3. Procedimiento

La prueba debe realizarse en un cuarto que este libre de impurezas de aire, además con una campana de ventilación que quizá se use para quitar corrientes de aire que puedan afectar la flama.

Una de las muestras probadas de aproximadamente 22 in (560mm) de largo, deberá ser fijada en la parte superior de la cámara. El papel indicador debe aplicarse a la muestra que está en la orilla inferior, la cual es de 10 in (250mm) cerca del punto al cual el cono de interior azul de la prueba de flameo es aplicada. El indicador debe cubrirse una vez alrededor de la muestra con goma en la orilla respecto del conductor.

Las orillas deben empalmarse eventualmente juntas y proyectadas $\frac{3}{4}$ in (9mm) desde la muestra sobre el lado opuesto del mismo al cual se les esta aplicando la flama. La etiqueta del papel deberá contaminarse únicamente lo necesario para permitir su apropiada adhesión. Lo alto de la flama con el quemador en forma vertical deberá ajustarse a 5 in (127 mm), con el cono de interior azul a 1 $\frac{1}{2}$ in (38 mm) de alto.

El quemador, con solamente lo largo del piloto, deberá permanecer enfrente de la muestra tal que el plano vertical a través del pie del quemador incluya el eje de la muestra. El ángulo del bloque debe descansar cerca de las gijas, el cual debe ajustarse a una distancia de 1 $\frac{1}{2}$ in (38 mm) a través del eje del pie del quemador entre la punta del pie y la superficie de la muestra

La válvula de gas suministrada en el mismo quemador debe por lo tanto abrirse y aplicarse automáticamente la flama a la muestra. Esta válvula deberá permanecer abierta por 15 s y después cerrarse 15 s. este proceso debere repetirse cuatro veces. Durante cada aplicación de la flama, la muestra deberá ajustarse si es necesario por lo tanto la parte superior del cono interior azul tocará la superficie de la muestra.

A.7.4 Análisis

Si más del 25% de la porción extendida en el indicador esta quemada después de 5 aplicaciones de la flama, la muestra es considerada que tiene resistencia a la flama. La duración del flameo de la muestra después de cinco aplicaciones de la flama deberá anotarse y cualquier muestra que continúe quemandose por más de un minuto debere considerarse que ha fallado la prueba.

A.8. Calificación de prueba de pintura.

La prueba de pintura aplica a todas las envolventes que incorporan partes externas ferrosas Envolventes no ferrosas con partes externas ferrosas no externas no requieren de ser probadas

La prueba de calificación deberá llevarse a cabo para seguir la adecuada aplicación de acabados durante la construcción y erección de partes metálicas usadas en las envolventes.

Los métodos usados son lo siguientes:

A.8.1 Prueba a una muestra

Prueba representativa y realizada a paneles o secciones de 3 pulgadas a 6 pulgadas como tamaño mínimo, que puedan acomodarse en la cámara de prueba.

Cada especie o muestra deberá procesarse uniformemente el sistema de pintura y acabado de la producción estándar.

Los últimos cuatro paneles deben ser seleccionados para la prueba. Todas las muestras probadas deben cumplir con los estándares de medición de metales ferrosos usados para envolventes. La muestra deberá tener por lo menos siete días de edad antes de comenzar la prueba.

A.8.2 Aparatos de prueba

La prueba con aparatos consiste en una cámara de niebla, cubrir con una solución de sal, suministrar aire comprimido, provisiones para calentamiento y algo de control.

Las condiciones en la cámara de rocío de sal incluyendo el posicionamiento de las muestras, contiene la solución de sal, la temperatura y presión deben mantenerse, como se define en la norma ASTM B117.85.

A.8.3. Preparación de la muestra de prueba

Dos de los paneles de prueba deben convenientemente identificarse para probarse de acuerdo con la norma ASTM D1654-79a.

A.8.4. Exposición de las muestras de prueba.

Todas las muestras a probarse deberán probarse en la cámara de rocío de sal por un periodo de 200 h continuas, excepto para interrupciones cortas durante el día y para inspeccionar la muestra probada o retirar la solución.

A.8.5. Procedimiento

Después de completar el periodo de exposición, las muestras identificadas deben procesarse de acuerdo con la norma ASTM D1654-79a, por cualquiera de los métodos, método A (encintado) o método B (raspado).

A.8.6. Evaluación

Las muestras deben por lo tanto ser evaluadas para distinguir desde la marca identificada de acuerdo con ASTM D1654-79a, programa de rango y número que describe a la muestra evaluada de acuerdo con el grado de raspadura o deterioro, además debe cumplir con la norma ASTM D714-80.

A.8.7. Resultados

Las muestras tomadas deben ser consideradas que han cumplido los requerimientos de la prueba si el número de aciertos es 5 o mayor, determinado por ASTM D1654-79a. Las muestras no identificadas deben ser consideradas que cumplen con los requerimientos de la prueba si el tamaño de la deformación es 6 o mayor y la frecuencia de designación es F o M como lo determinan en ASTM D71480.

A.9. Prueba de lluvia para tableros de servicio exterior.

La envolvente debiera ser probada completamente equipada con todos los accesorios y equipos que lo integran en un area con precipitación artificial. Para unidades múltiples se deben usar muestras de dos secciones

La precipitación artificial deberá con un número de boquillas suficiente para producir un rocío uniforme sobre la superficie o superficies bajo prueba.

Después de que la prueba se haya completado e inspeccionado se debiera determinar si la envolvente cumple con los requerimientos de servicio exterior.

Esto se determinará fácilmente si cumple con las siguientes pruebas de inspección:

1. Que no exista agua en el aislamiento primario y secundario
2. Que no exista agua sobre cualquier componente eléctrico o mecanismo del ensamble.
3. Acumulación no significativa de agua retenida por la estructura o otra parte no aislada (para minimizar la corrosión).

B. Pruebas en fábrica

Las pruebas en fábrica para tableros metal clad deben ser a pruebas dieléctricas baja frecuencia, pruebas mecánicas, aterrizamiento de transformadores de instrumentos, operación eléctrica y prueba de alambrado de control. Para estas pruebas los elementos removibles no necesitan ser probados ensamblados, estos pueden ser probados de manera separada.

B.1. Pruebas dieléctrica

Esta prueba deberá ser realizada sobre el tablero metal clad de acuerdo con los requerimientos del punto A.2. con excepción de la prueba de vacío, la cual no se requiere. La prueba debe ser realizada entre cada fase y tierra con las otras fases aterrizadas.

B.2. Pruebas mecánicas de operación

Estas pruebas darán como resultado el aseguramiento de buen funcionamiento de las mamparas, bloqueos mecánicos, etc. Estas pruebas deben asegurar la intercambiabilidad de los elementos removibles diseñados para ello.

B.3. Pruebas de puesta a tierra de la caja de los transformadores de instrumento

Esta prueba asegura la efectividad de que la carcasa o caja que contiene los transformadores de instrumento estén aterrizados adecuadamente, esto debe ser checado a través de una fuente de bajo potencial como de 10 V o menos, usando cinturones o lámparas. Esta prueba se requiere solo cuando los transformadores de instrumento están en una caja de metal.

B.4. Pruebas de operación eléctrica y alambrado de control

B.4.1. Continuidad en el alambrado de control

Para verificar la correcta instalación del alambrado de control en el tablero se deben tomar en cuenta lo siguiente:

1. La correcta operación de los componentes y dispositivos de control
2. Checar la continuidad individual del circuito eléctrico de prueba.

B.4.2. Prueba de aislamiento en el alambrado de control

Para esta prueba se debe aplicar un voltaje a 60 Hz de 1500 V a tierra, durante un minuto, después de que todos los circuitos se han puesto a tierra y se chequea si han tenido discontinuidad, esto se debe realizar con todos los circuitos de alambrado juntos y los cables desnudos se cortocircuitan con los devanados. La duración de esta prueba será de 1 s si el voltaje aplicado es de 180 V.

Esto se determinará fácilmente si cumple con las siguientes pruebas de inspección:

1. Que no exista agua en el aislamiento primario y secundario
2. Que no exista agua sobre cualquier componente eléctrico o mecanismo del ensamble.
3. Acumulación no significativa de agua retenida por la estructura o otra parte no aislada (para minimizar la corrosión).

B. Pruebas en fábrica

Las pruebas en fábrica para tableros metal clad deben ser a pruebas dieléctricas baja frecuencia, pruebas mecánicas, aterrizamiento de transformadores de instrumentos, operación eléctrica y prueba de alambrado de control. Para estas pruebas los elementos removibles no necesitan ser probados ensamblados, estos pueden ser probados de manera separada

B.1. Pruebas dieléctrica

Esta prueba deberá ser realizada sobre el tablero metal clad de acuerdo con los requerimientos del punto A.2. con excepción de la prueba de vacío, la cual no se requiere. La prueba debe ser realizada entre cada fase y tierra con las otras fases aterrizadas.

B.2. Pruebas mecánicas de operación

Estas pruebas darán como resultado el aseguramiento de buen funcionamiento de las mamparas, bloqueos mecánicos, etc. Estas pruebas deben asegurar la intercambiabilidad de los elementos removibles diseñados para ello.

B.3. Pruebas de puesta a tierra de la caja de los transformadores de instrumento

Esta prueba asegura la efectividad de que la carcasa o caja que contiene los transformadores de instrumento estén aterrizados adecuadamente, esto debe ser checado a través de una fuente de bajo potencial como de 10 V o menos, usando cinturones o lámparas. Esta prueba se requiere solo cuando los transformadores de instrumento están en una caja de metal.

B.4. Pruebas de operación eléctrica y alambrado de control

B.4.1. Continuidad en el alambrado de control

Para verificar la correcta instalación del alambrado de control en el tablero se deben tomar en cuenta lo siguiente:

- 1 La correcta operación de los componentes y dispositivos de control
- 2 Checar la continuidad individual del circuito eléctrico de prueba.

B.4.2. Prueba de aislamiento en el alambrado de control

Para esta prueba se debe aplicar un voltaje a 60 Hz de 1500 V a tierra, durante un minuto, después de que todos los circuitos se han puesto a tierra y se checa si han tenido discontinuidad, esto se debe realizar con todos los circuitos de alambrado juntos y los cables desnudos se cortocircuitan con los devanados. La duración de esta prueba será de 1 s si el voltaje aplicado es de 180 V

B.4.3. Verificación de polaridad

Está prueba asegura que la conexión entre los transformadores de instrumento y medidores o reles sean correctas y que cumplan con las polaridades adecuadas. Los instrumentos deben ser probados, asegurando que los indicadores o agujas se muevan en la dirección adecuada. Estos no requieren de prueba de voltaje y corriente en el primario.

B.4.4. Prueba de secuencia

La prueba de secuencia de los tableros metal clad debe asegurar que los dispositivos están de acuerdo con la función de secuencia y en el orden especificado. Esta prueba de secuencia no necesita incluir equipo remoto controlado desde el tablero, este equipo será simulado cuando sea necesario.

C. Pruebas de campo

Cuando las pruebas dieléctricas a baja frecuencia se han aplicado a un tablero metal clad en fábrica, las pruebas a realizarse en campo no deben ser mayor al 75% de los valores de pruebas dadas en la tabla 1.1.

3. 3 Algunas consideraciones de corto circuito.

Exposición a humos dañinos, vapor, sal y vapores de aceites

El equipo expuesto a estos ambientes, trátase de equipo para servicio interior o intemperie, deberá tener las siguientes modificaciones:

- a) Mínimo dos capas de pintura, una de las cuales será un primario resistente a la corrosión, en todas las partes estructurales.
- b) Todas las partes de aceros que no estén pintadas o plateadas deberán ser cubiertas por grasa protectora.
- c) Todas las juntas conductoras deberán estar cubiertas de grasa no oxidable.
- d) Todas las bobinas deberán ser encapsuladas con material aislante y recubiertas adecuadamente.
- e) Resistencias calefactoras deberán proveerse para eliminar condensación.

Exposición a polvos

El tablero será completamente cerrado y sin ventilación y la corriente nominal tendrá que ser ajustada al 70% del valor de corriente nominal de un tablero ventilado. Bajo estas circunstancias la condensación puede ser un problema y tendrá que ser evaluada.

Para tableros de servicio intemperie, gabinetes con ventilación pueden usarse con filtros para polvo en las ventilas. Los requerimientos de estos filtros varían en una gama muy amplia, por lo que especificar estándares no es práctico.

Existen filtros del tipo lavable y desechable. Donde los filtros sean utilizados, estos deberán ser lavados o cambiados con frecuencia, que dependerá de la cantidad de polvo en el ambiente, el no hacerlo puede causar temperatura excesiva y/o condensación.

El tipo de filtro a utilizar dependerá del tamaño de las partículas de polvo en el ambiente y de la cantidad de polvo que no deba pasar al tablero. Donde existan partículas muy pequeñas de polvo que no deban entrar al tablero, filtros impregnados de aceite son recomendados.

Puede ser necesario instalar ventilación forzada dependiendo de la cantidad de aire requerida para ventilación de los equipos y de la severidad del ambiente. Cuando sea necesario instalar ventilación forzada y filtros, estos deberán estar en la entrada para evitar el acarreo de partículas de polvo a través de los equipos instalados dentro de los tableros

Exposición a Climas Húmedos y Cálidos

Los tableros para servicio interior e intemperie sujetos a estos ambientes, tendrán que ser construidos tomando en cuenta lo siguiente:

- a) Deberán proveerse resistencias calefactoras suficientes para minimizar la condensación en todos los compartimentos.
- b) El alambrado de control que no sea resistente a la formación de hongos, deberá ser cubierto con una capa resistente a la formación de hongos.
- c) Todas las bobinas impregnadas deberán ser tratadas con capas resistentes a la formación de hongos
- d) Pinturas como alkyd enamels, con propiedades de resistencias a los hongos y a la corrosión deberán ser usadas

En general, todos los aislamientos deberán ser resistentes a la formación de hongos.

Las capas aplicadas para resistir la formación de hongos no deberán interferir con la operación adecuada de los aparatos y no podrán reducir las propiedades de resistencia a la flama. Los materiales resistentes a la formación de hongos deberán estar de acuerdo a lo especificados en la norma ASTM g21-70.

Exposición a ambientes explosivos

La aplicación de tableros en media tensión en estos ambientes no es recomendada.

Exposición a vibraciones anormales

Debido a que estas condiciones pueden variar ampliamente, es recomendado que el usuario consulte caso por caso con el fabricante.

Exposición a Temblores

Debido a la importancia de un adecuado funcionamiento del equipo cuando es aplicado como Clase 1e en plantas generadoras nucleares fue desarrollado el standard ANSI/IEEE Std 344-1975

4.- GENERALIDADES PARA RECEPCION, ALMACENAJE, INSTALACION Y MANTENIMIENTO

4.1- EMPAQUE Y EMBARQUE

Previo al embarque del tablero, este debe empacarse y transportarse de manera adecuada, cumpliendo normas y especificaciones internacionales.

El tablero debe dividirse en grupos de embarque formados por varias secciones que deben ser inspeccionadas por el fabricante.

Deben suministrarse vigas de acero estructural, con perforaciones adecuadas, montadas en la parte superior de las secciones del grupo de embarque para transporte y maniobra.

Cada marco removible del cubículo de transformadores de potencial debe ser extraído e insertado en su celda 3 veces como mínimo, para verificar su operación y que tanto el lado de alta, como el de baja tensión queden firmemente conectador a tierra al extraer el marco. Se debe probar el mecanismo de puertas, marcos, cuchillas, etc.

Se debe verificar la puesta a tierra de carcasas de transformadores de instrumentos.

Debe verificarse, la puesta a tierra efectiva de carcasas, tanques y otras partes de los cubículos de transformadores de instrumento que deban estar puestos a tierra.

Pruebas de operación eléctrica y del alambrado de control

Verificar la continuidad de los circuitos de control.

El alambrado de control debe ser verificado por cualquiera de los siguientes métodos

- Operación eléctrica de los dispositivos de control que componen el tablero.
- Verificación de la continuidad de los circuitos individuales, con probador.

Prueba de aislamiento del alambrado de control: esta prueba debe efectuarse, aplicando una tensión de 1500 VCA, 60 Hz, a tierra durante un minuto.

Prueba de polaridad: se debe verificar que las conexiones entre transformadores de instrumentos y relevadores o instrumentos de medición estén conectados Correctamente, con respecto a su polaridad relativa.

Verificación de secuencias.

Todos los equipos o dispositivos del tablero que deban operar siguiendo una secuencia, deberán ser probados para verificar que la secuencia establecida se cumpla satisfactoriamente.

Otras pruebas

Adicionalmente a las pruebas indicadas para el tablero en su conjunto, aquellos equipos que lo integran como son apartarrayos, transformadores de instrumento, cuchillas, interruptores, etc., deberán pasar previamente en forma individual las pruebas de rutina que se indican en sus respectivas normas internacionales, presentando los protocolos o aviso de prueba aprobados por un laboratorio reconocido.

Las pruebas de rutina para que sea aceptado un tablero son las siguientes

- Potencial aplicado al circuito principal.
- Potencial aplicado a circuitos auxiliares
- Pruebas de operación mecánica
- Verificación del alambrado con relación a los dibujos aprobados por el cliente.
- Pruebas de operación eléctrica.

Pruebas prototipo

El fabricante debe incluir copias de las pruebas prototipo que se hayan efectuado a los diferentes elementos del tablero en forma individual y de conjunto, realizadas en laboratorios reconocidos. Estas pruebas se deben hacer a prototipos y efectuarse conforme a normas estándar.

Condiciones de envío

Las secciones del tablero ensamblado en la fábrica se debe checar y probar completo. Las secciones se deben inspeccionar como un todo antes de ser embarcadas y así mismo realizar las pruebas de rutina verificando el perfecto funcionamiento de la estructura completa.

Los equipos principales, partes removibles y accesorios deben empacarse por separado. Los compartimentos de las barras deberan ser sellados con cubiertas temporales durante el transporte con proteccion contra agentes contmainantes del ambiente.

Cada celda debe proveerse con una bolsa de plástico como agente contra la humedad durante el transporte y en caso de largos periodos de almacenaje.

Las secciones del tablero deben ser empacadas de acuerdo a cada caso que se presente por ejemplo, si va ha ser transportado, via terrestre, marítima o por aire.

Para el caso particular de transporte por mar (incluyendo embarque en contenedor) todas las secciones deben cubrirse con cubiertas plásticas y cantidad suficiente de bolsas contra la humedad, además se debe contar con las protecciones adecuadas contra cualquier daño físico para lo cual como mínimo se debe realizar una cobertura con madera (enuhuacalado).

4.2 RECEPCION Y MANEJO

Antes del embarque de un tablero, este se debe someter a una cuidadosa inspección en fábrica, cada sección debe plenamente identificarse en lugares convenientes con su número y posición. Cuando el tamaño o alguna otra razón haga necesaria la división del tablero para su transporte, el número de la unidad del equipo en particular se debe etiquetar la sección vertical.

Los interruptores se pueden embarcar en cajas o bases individuales. Inmediatamente después de la recepción del tablero se debe examinar el embarque en búsqueda de evidencia de daño o pérdida durante la transportación. Se debe comparar el contenido contra la lista de empaque antes de deshacerse de cualquier material de embarque. Si existe cualquier discrepancia, se debe notificar al fabricante y al transportista de inmediato. Si el daño al equipo indica mal manejo, se debe proceder al reclamo por daños con el transportista y el fabricante debe ser notificado.

Descarga

Se deben evitar aplicar fuerzas concentradas directamente a los gabinetes del tablero, siempre hay que aplicar fuerzas a las bases de embarque o a otros dispositivos de distribución de carga. Cuando sea absolutamente necesario aplicar fuerzas directamente a los gabinetes, se debe hacer con extrema precaución para evitar daños. De no procederse así se puede comprometer el desempeño del equipo.

Siempre se debe cerciorar de que todas las puertas y paneles de acceso están en su lugar antes de intentar mover el equipo. Las puertas y paneles proporcionan soporte estructural crítico a los gabinetes. De no proceder así se puede causar daños al equipo.

Las secciones verticales del tablero metal-clad deben embarcarse en secciones de una a cuatro unidades. Cada sección de embarque se debe montar en bases de embarque de acero. El tablero debe ser cargado tan cerca como sea posible al lugar de instalación final.

Para descargar y manejar los tableros existen algunos métodos como los siguientes:

Arrastre

Aquí se usan cadenas con un factor de carga que permite el manejo seguro del tablero. Se enganchan las cadenas a los agujeros en los extremos de cada una de las bases de embarque (ver fig. 4 1b), y se aseguran al equipo de arrastre. Hay que verificar que el nivel de la cama del camión y el nivel de la plataforma de embarque sea el mismo o se puede utilizar una placa de acero de uso rudo como puente entre ambos. Se debe asegurar que la fuerza de arrastre se aplique de manera uniforme para prevenir movimientos bruscos del tablero.

Se debe jalar lentamente el equipo hasta que las bases de embarque descansen completamente en la plataforma.

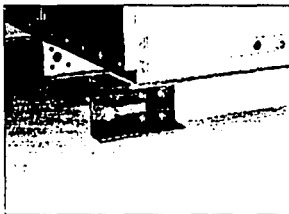


Fig 4.1a. Extensión opcional de las bases de embarque utilizada para arrastre o izaje

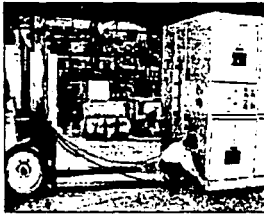


Fig 4.1b enganche de cadenas para arrastre

Izaje

En los casos donde el tablero deba izarse por medio de un dispositivo localizado en la parte superior, se tienen que utilizar correas de nylon. La fig. 4.2 ilustra un metodo para fijar las correas a la base por medio de grillete. Cuando se empleen dispositivos de izaje se recomienda utilizar separadores entre la correa o tirante y el gabinete.

Cuando se utilicen tirantes de acero en lugar de correas de nylon, se deben colocar tablas de madera de 4" x 4" entre la parte lateral del tablero y los tirantes.

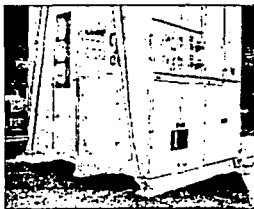


Fig. 4.2 Correas de nylon en el equipo

Utilización de gato hidraulico

No se debe aplicar fuerzas para arrastre, izaje o levantamiento con gato hidráulico directamente a los gabinetes del tablero. Los movimientos inadecuados pueden causar daños que comprometen el desempeño del equipo.

Cuando se utilice gatos hidráulicos para levantar el equipo, nunca se debe realizar directamente en el gabinete. se debe hacer en las bases de embarque. (Fig. 4.1a), o con una placa de distribución de carga.

Para deslizar el equipo en la dirección de las bases de embarque

Después de levantar uniformemente un extremo del equipo, se puede colocar un tubo en el piso, perpendicular a, y a lo largo de las bases de embarque. Se bajan los gatos hidráulicos hasta que las bases descansen en el tubo. Hay que repetir la operación en el extremo opuesto.

Se colocará un tercer tubo delante del equipo, a lo largo del camino, y posesionado de manera que las bases se apoyen sobre él antes de que se dejen de apoyar en el que se encuentra en la parte posterior. Mientras que el personal empuja el equipo hacia la posición final, una persona debe tomar cuidadosamente el tubo liberado en la parte posterior para colocarlo al frente del equipo, de manera similar a la descrita hasta dejar el equipo en la posición deseada. (Fig 4.3)

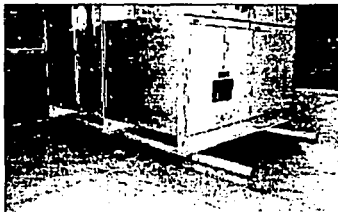


Fig 4.3. Colocacion de los tubos para mover el tablero en la direccion de las bases de embarque

Para deslizar el equipo en la dirección perpendicular a las bases de embarque

Después de levantar de manera uniforme uno de los extremos del equipo, se puede colocar los tubos en el piso de forma paralela y ligeramente adentro de las bases de embarque

Con el equipo todavía levantado, se coloca un canal rígido de acero perpendicular a, y entre las bases de embarque y los tubos. Se debe bajar los gatos hidráulicos hasta que las bases descansen en el canal, esto se debe repetir para el lado opuesto. Un tercer tubo deberá ponerse adelante del equipo, a lo largo del camino, y posesionado de manera que las bases de embarque se soporten sobre él, antes de que se dejen de apoyar en el que se encuentra en la parte posterior.

Mientras que el personal empuja el equipo en la dirección de la posición final, una persona debe tomar cuidadosamente el tubo liberado en la parte trasera y colocarlo delante del equipo, de manera similar a la descrita en la parte superior, hasta que el tablero se encuentre en la posición deseada. (Fig 4.4.).



Fig 4 4 Colocación de los tubos y canales para mover el tablero de forma perpendicular a las bases

Retiro de las bases de embarque

Se deben abrir las puertas del tablero y remover los pernos que aseguran las bases del tablero. Hay que verificar que todas las puertas y paneles estén cerrados y asegurados antes de continuar. Cuidadosamente se debe levantar uniformemente el tablero, con un gato hidráulico por ambos lados hasta una altura a la cual las bases puedan ser removidas (fig. 4.5). Se debe usar una placa de distribución de carga para evitar daños al equipo. Es necesario que se empleen cuatro gatos hidráulicos como mínimo en esta operación y que el levantamiento se haga de manera que se mantenga el equipo nivelado, evitando cualquier sobre esfuerzo en el equipo. Hay que remover la base y seleccionar cuatro piezas de madera de grosor suficiente para permitir que el gato hidráulico sea removido después de bajar el tablero, después hay que colocar un pedazo de madera en cada esquina, y bajar lentamente de modo que la unidad descansa completamente en las cuatro piezas de madera. Cuidadosamente se debe utilizar una barra y un trozo de madera para elevar la sección vertical lo suficiente como para remover la pieza de madera en la esquina, y lentamente hay que bajar la sección vertical hasta que toque el piso, este paso se debe repetir en las tres esquinas restantes.



Fig 4.5 Remoción de las bases de embarque

Si el tablero es de más de una sección, será necesario colocar cada sección junto a las otras. Se debe disponer de una sección precisamente en su lugar, mover la siguiente sección tan cerca como sea posible usando la técnica de deslizamiento con tubos. Se puede engrasar el piso antes de bajar el tablero para facilitar el posicionamiento de las secciones.

Almacenaje

Las secciones del tablero de uso interior deben ser embarcadas envueltas con cubierta de plástico para proteger al equipo contra polvo, tierra y contra el clima solamente durante su transporte. Esta cubierta plástica debe ser removida después de que el equipo ha sido colocado en almacenaje en el sitio de la obra. Se debe dejar cada sección vertical del tablero en su base de embarque hasta su instalación final. Hay que remover los interruptores a los accesorios de las cajas o bases, verificando que el material este completo y en buenas condiciones.

Hay que almacenar el equipo en un área limpia, seca y bien ventilada. Se debe cubrir el tablero con un papel pesado para envolver o algún otro material permeable para mantener el polvo y la humedad fuera de él. Las ventilas con filtro no deben ser cubierta para permitir ventilación libre. No se recomiendan los materiales para envoltura con cubierta plástica ya que estos tienden a retener humedad debido a la condensación.

Si el tablero tiene que ser almacenado durante un periodo largo, o si se guarda en un lugar donde se presente humedad, se deben utilizar los calefactores de espacio para mantener el tablero seco hasta ser puesto en servicio. Cuando un tablero metal-clad esta equipado con resistencias calefactoras, la fuente o energía para ellas debe ser traída hasta las terminales de

carga (fig. 4.6) del interruptor del circuito de calefacción. El interruptor debe permanecer abierto cuando se utilice una fuente de energía separada.

En áreas de gran humedad, los calefactores de espacio deben permanecer energizados todo el tiempo durante almacenaje y servicio cuando se tenga conectada una carga menor que la normal.

El almacén debe estar construido de tal manera que no se presenten inundaciones y su piso debe estar pavimentado y drenado adecuadamente. La temperatura ambiente del almacén debe ser aproximadamente de 15 °C y con 50% de humedad.

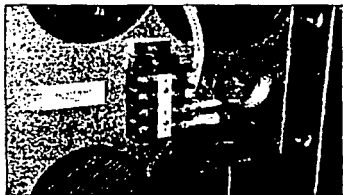


Fig. 4.6. Terminales de carga de los calefactores

4.3 INSTALACION

Generales

La correcta instalación de un tablero es de vital importancia, el manual de instrucciones proporcionado por el fabricante del tablero deberá ser leído con anterioridad además de seguir paso a paso cada uno de los pasos indicados.

Los dibujos finales como vista frontal, corte del tablero, esquemas de funcionalidad y esquemas topográficos deberán ser recibidos con anterioridad para poder realizar una adecuada preparación del cuarto donde será instalado el tablero.

Condiciones Normales de instalación.

Temperatura máxima del ambiente + 40°C

Temperatura mínima del ambiente - 5°C

Para condiciones especiales de instalación se deberá consultar a un asesor del fabricante.

Instalación en el cuarto.

La posición de un tablero metal-clad dentro de un cuarto, se debe considerar un espacio libre mínimo en la parte posterior y en los lados del tablero con relación a las paredes y a cualquier obstáculo que presente el cuarto.

El espacio mínimo recomendado se debe indicar en el layout del tablero y con la documentación técnica. Un ejemplo de este dibujo se expone en la fig. 4.7. El espacio hacia el frente de ser suficiente para permitir la apertura de la puerta, la extracción e inserción del interruptor. El espacio posterior debe ser tal que permita la instalación de los cables de acometida, la inspección y el mantenimiento adecuado de las barras.

Las distancias están dadas en la tabla 4.1 las cuales no toman en cuenta el uso de herramientas especiales y de transporte.

Tensión (kV)	A(mm)	B(mm)	C(mm)
4.16	1500	1550	1100
13.8	1500	1550	1100
23.0	2000	1900	1200
34.5	2500	2100	1500

Tabla 4.1

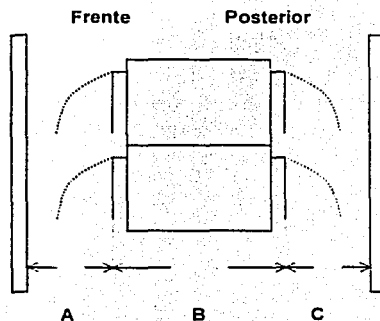


Fig. 4.7 Distancia mínima hacia la pared

Cimentación y fijación

La cimentación del piso debe ser lo suficientemente robusta para soportar el peso del tablero (completo con todo el equipo) sin permitir flexiones.

La cimentación debe ser fabricada con el debido tiempo previo a la instalación del tablero, siguiendo las instrucciones que se dan en la documentación del diseño.

Las tolerancias y los ajustes permitidos deben reducirse al mínimo, el tablero debe ser instalado en una superficie lisa y nivelada.

Todos los compartimentos del tablero contarán con cuatro perforaciones en la base para la fijación al piso (ver fig. 4.8) detalle 1.

Las operaciones normales para la nivelación del piso son las siguientes.

- Limpieza del área de instalación
- Sobre la loza del piso, de un modo visible, trazar el perímetro de todo el tablero con todos sus compartimentos, teniendo en cuenta las distancias mínimas libres respecto a las paredes y obstáculos en consideración.

- A) Área para el paso de los cables del Circuito auxiliar.
 B) Área para cables de potencia
 1 Perforaciones en el pavimento
 2 Candado de expansión tipo JB 12
 3 Relleno
 4 Losa

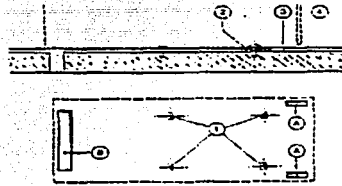


Fig. 4.8 detalle 1. Ejemplo de preparación del piso para fijación del tablero.

De acuerdo al tipo de cimentación, es necesario seguir las siguientes instrucciones:

- a) Se debe asegurar la base a la pavimentación sobre el piso de ladrillos. (Figs. 4.8, 4.9 y 4.10).
- Se debe nivelar el piso en longitudinal y transversalmente con una tolerancia aproximada de 2%.
 - Perforar el piso de acuerdo al punto previsto de fijación, haciendo referencia a los dibujos del diseño del fabricante. El ejemplo de la fig. 4.11. muestra los métodos de preparación del piso. Para las perforaciones, use un taladro con broca de $\phi = 15$ mm. La profundidad del agujero debe ser al menos de 55 mm. fig. 4.9.
 - Se debe insertar los taquetes de expansion en las perforaciones
 - Se debe provocar la expansión de los taquetes en el piso con un martillo especial de mármol (fig. 4.10) de adecuado diámetro.

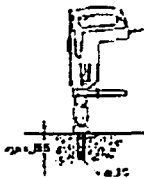


Fig. 4.9. Perforación para taquetes expansivos.

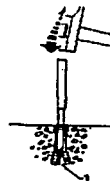


Fig. 4.10. Expansión de taquetes

- b) Fijación con bases de acero o pisos pavimentados

La base acero la cual se muestra en la fig. 4.12 puede ser instalada en la losa antes de finalizar el piso:

- Se deberá descansar y alinear el acero sobre el piso de modo que resulte paralelo y espaciado como lo previsto en los dibujos del diseño.
- Se nivelará la estructura de acero en forma longitudinal y transversal con una tolerancia aproximada de 2% respecto al plano de referencia.
- Se debe fijar en la base de acero en tal posición para la expansión de los taquetes. usando perforaciones especiales en el acero.

- Se debe completar la cimentación de modo que la base de acero se extienda de 1 a 2 mm respecto al plano finito de la cimentación.

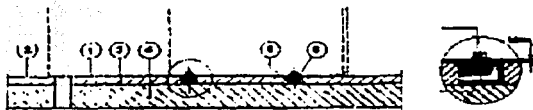


Fig. 4.11 Preparación de la cimentación para fijación del tablero con base de acero

- A Sección de cables de los circuitos auxiliares
 B área de l cable de potencia
 1 Lámina de la base del tablero
 2 Plano de la cimentación finito
 3 Relleno
 4 Losa
 5 Base de acero
 6 Bloque
 7 Tornillo para la fijación del tablero.
 Perforación para la expansión del tornillo ($\phi = 15$ mm y profundidad mayor a 55 mm).

8
9

c) Fijación controlada sobre pisos de acero.

- Construcción de la estructura de acero como se muestra en la fig 4.12
- Fijar adecuadamente al piso o la estructura de acero, cuidando que se tenga una superficie plana con una tolerancia alrededor del 2%.

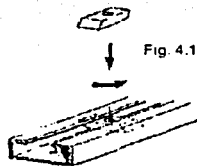


Fig. 4.12. Base de acero

Instalación de las secciones del tablero Metal-Clad

Generales.

La correcta instalación de los tableros debe satisfacer las siguientes condiciones.

- Los compartimentos deben estar correctamente alineados.
- El tablero debe estar fijado de forma segura al piso.
- El frente de los paneles debe estar en una línea recta.
- Las secciones del tablero deben estar acopladas, las barras, el bus de tierra y las interconexiones auxiliares deben ser completas.
- La conexión de la barra de tierra del tablero debe ser conectada a la planta de tierra.
- Las conexiones de potencia usada y las conexiones auxiliares de los circuitos de control están realizadas

Para obtener una correcta alineación de las secciones, se debe trazar una línea recta sobre el piso, unos cuantos centímetros sobre el frente, paralelo a la posición final del tablero. Cuando la posición y fijación al piso, se debe asegurar que la distancia del tablero a la línea sea constante.

Después de que el primer grupo de cubículos están posicionados, el siguiente grupo deberá alinearse a un lado del precedente y fijado como se describe a continuación.

La fijación al piso de la varias secciones debe venir partiendo de la sección central o del compartimiento central del tablero. Para facilitar el movimiento y fijación al piso y las operaciones de acoplamiento, es preferible que esta maniobra sea realizada sin las partes móviles (interruptor, transformador de voltaje, contactores, etc.) poniendo estos en un lugar seguro

El torque adecuado que se debe dar a tornillos y tuercas para la fijación y acoplamiento de los tableros y buses se muestra en la siguiente tabla.

Tolerancia -0% + 20%						
Tornillo	M6	M8	M10	M12	M14	M16
Torque (Nm)	7.5	19	33	62	98	150

Tabla 4.2. Valores de apriete para tornillos y tuercas

Para elementos diferentes a los indicados, se debe aplicar el apriete correspondiente a la clase de resistencia del elemento de conexión usado.

Fijación de las celdas

- Fijar el grupo de celdas y posicionarlas sobre el plano de la cimentación
- Fijar el grupo central del tablero sobre el plano de la cimentación.
- Checar que los grupos laterales del tablero estén del lado correcto y acoplar correctamente al grupo central, finalmente fijar mecánicamente a la cimentación.

Fijación del tablero

- Fijar al piso con taquetes de expansión (fig. 4.13)
- Aplicar placas en las ranuras y fijar ambos usando tornillos y rondanas.

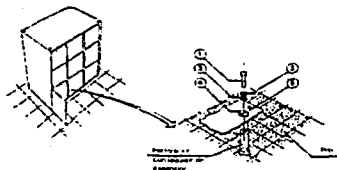


Fig 4.13. Fijación al piso con taquetes expansivos.

- Fijar al piso con bases de acero o estructuras metálicas (figs. 4.12 y 4.14)
- Insertar bloques en la base de acero a través de las ranuras
- Colocar placas en las ranuras y fijar ambas con tornillos y rondanas.

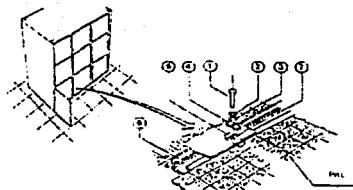


Fig 4.14. Fijación al piso con taquetes expansivos.

- Acoplamiento de las celdas fig. 4.15
- Sujetar las hojas externas a los puntos marcados con (*) con tornillos (1) y tuercas (2) para encontrar la posición exacta de los puntos de fijación, referirse a la posición de los tornillos en la celda.

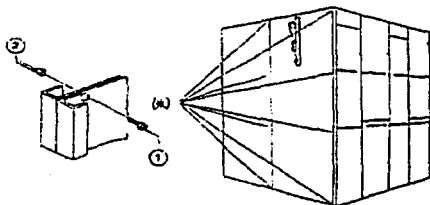


Fig 4.15. Acoplamiento de celdas

- Instalación de conexión de barras entre compartimentos de secciones de embarque distintas.

Las barras de cada sección vertical serán ensambladas completamente en la fábrica, terminando en las conexiones localizadas en cualquier extremo de la sección de embarque. Se suministran secciones del bus principal para la conexión entre secciones de embarque en campo

Todas las superficies de contacto en las uniones del bus están plateadas. Estas superficies de contacto deben ser limpiadas antes de ser atornilladas (ver fig. 4.16). La conductividad de una unión atornillada depende del par de apriete aplicado. Las superficies de contacto pueden ser limpiadas con un paño mojado con un solvente.

El cliente debe tener cuidado de no remover el plateado, el uso de solventes deberá limitarse a la remoción de grasa y contaminantes de conductores y aislamientos.

Se debe usar solventes aprobados por la OSHA, evitando la exposición prolongada a vapores solventes y su uso debe hacerse en zonas ventiladas.

Se recomienda un solvente de hidrocarburo no clorado y no flamable con un valor límite de umbral de 300 PPM o mayor. Se requiere tornillería adecuada para asegurar un buen contacto eléctrico.

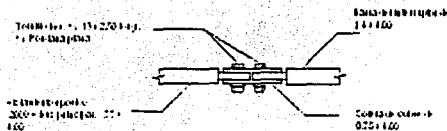


Fig 4.16 Unión de las superficies de contacto

Después de atornillar las secciones del bus principal en las uniones de las secciones de embarque, separe la conexión con cinta aislante o con las cubiertas moldeadas sobre las uniones o juntas. Si se utiliza soporte de bus principal de porcelana, llene los espacios entre las barras y la porcelana en los soportes de bus principal usando un sellador dieléctrico.

- Instalacion de las cubiertas moldeadas sobre las uniones de barra

Todas las cubiertas aislantes que cubren las uniones o conexiones deben ser reinstaladas adecuadamente antes de energizar el equipo. De no hacerse así, se pueden causar daños o lesiones al personal

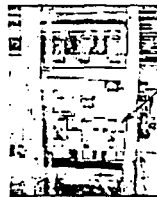


Fig 4 17 Instalacion de cubiertas moldeadas

Las barras estan cubiertas con un aislante retardador de flama que tiene suficiente grosor para soportar la tension completa de la linea para la capacidad nominal del tablero. Las uniones rectas así como las conexiones a componentes comunes estan protegidas por una cubierta moldeada. (fig 4 17)

Despues de que el bus ha sido reensamblado en el punto de unión de secciones de embarque, la cubierta, que es flexible, debe ser separada, deslizada sobre la union y los bordes asegurados de la misma manera que aquellos previamente instalados en la planta. Con estas cubiertas no es requerido el engrapado o aigun compuesto de relleno, ya que queda justa sobre el aislamiento

- **Conexión de los cables primarios**

Todas las conexiones primarias deben ser aisladas. Con el tablero se pueden proveer cubiertas moldeadas opcionales para las conexiones de las terminales de cable como se especifica en las hojas de datos del proyecto. Se pueden utilizar otros materiales aislantes pero estos deberán ser proporcionados por terceros. La aplicación del material aislante debe ser de acuerdo a las instrucciones del proveedor de tal material.

- **Instalación de la barra de tierra.**

Las barras de tierra se atornillan a los gabinetes en fabrica antes de embarcarse. Cuando las secciones verticales se embarcan separadamente, es necesario reconectar la barra de tierra en el punto de separación usando la junta suministrada. Las barras de tierra deben estar sólida y permanentemente conectadas a la red de tierra a través de un conductor de sección transversal no menor a 0.5 plg². El cable o barra de tierra no debe ir dentro de un conducto, y debe tomar el camino a tierra más directo posible.

- **Conexión de los circuitos auxiliares**

Para la conexión de circuitos auxiliares, se debe referir a los diagramas de alambrado de cada celda. Cada una de estas esta provista de una caja de terminales, que reciban el alambrado de conexion que viene de la parte externa del tablero (ver fig. 4.18).

El tablero puede tener la entrada de cables tanto por la parte inferior como por la parte superior con un ducto de alambrado para cables auxiliares.

Para cables auxiliares con ingreso desde la parte inferior se deben realizar las siguientes maniobras.

- 1 Abrir la puerta de la sección.
- 2 Remover las cubiertas de separación (2) y (3) de la fig 4.18a.
- 3 Retirar y perforar el ducto (4) y pasar el cable a través de éste.
- 4 Pasar el cable a través del ducto (4) y acostar a todo lo largo el cable hasta la caja de terminales (1) y hasta el compartimiento de instrumentos.
- 5 Preparar las terminales y conectar los cables con las tuercas como lo muestra la figura
- 6 Montar nuevamnete las cubierta (2) y (3).
- 7 Cerrar la puerta

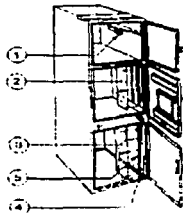


Fig 4.18a. Entrada de cables auxiliares por la parte interior

Para cables auxiliares con ingreso desde la parte superior se deben realizar las siguientes maniobras.

- 1 Abrir las puertas del compartimento de instrumentos
- 2 Remover la cubierta superior (6) del ducto de albrado (fig. 4.18b)
- 3 Insertar los cables auxiliares (5) hasta la caja de terminales (1) en el compartimento de instrumentos pasando a través de los ductos especiales para albrado
- 4 Cerrar los ductos plásticos de albrado, poner y fijar el ducto a la cubierta y cerrar las puertas.

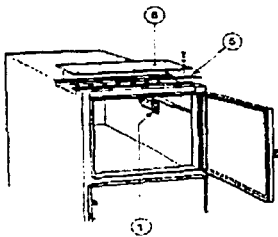


Fig 4.18b. Entrada de cables auxiliares por la parte superior.

- Montaje del equipo auxiliar

El equipo auxiliar de mayor delicadesa (relevadores de control y protección, instrumentos de registro y de medición), en algunos casos se pueden desmontar y transportar de manera separada del tablero para prevenir daños en el trayecto.

Este equipo deberá ser revisado al momento de la recepción, almacenado en su empaque original hasta el momento de su instalación.

Para la correcta instalación, se debe referir a la documentación del fabricante de cada uno de los equipos.

- Protección contra agentes contaminantes.

Cuando el tablero sea instalado en ambientes con agentes contaminantes, es necesario aplicar una capa de grasa especial de silicona sobre las partes vivas.

Durante la etapa de instalación, esta operación puede resultar necesaria sólo si la aplicación que se dio en la fábrica ha sido insuficiente. Los puntos de aplicación de la grasa son indicados en un manual de mantenimiento.

- Pintura

Cualquier daño a la parte externa del tablero, endiuradas o raspaduras realizadas durante la instalación o el transporte, pueden ser reparadas usando barniz especial para retoque, siendo del mismo color y textura.

4.4 PUESTA EN SERVICIO

Antes de poner en servicio un tablero Metal-Clad, se debe asegurar de verificar los siguientes aspectos:

Para cada sección del Tablero:

Checar visualmente tanto por la parte interior como exterior cada sección del tablero, asegurando que no haya evidencia de daños que pudieron sufrir durante el transporte; retirar cualquier cuerpo o material ajeno, como herramientas, conexiones de prueba, las cuales pudieron ser olvidadas durante la instalación.

Se debe limpiar cuidadosamente las partes aisladas, removiendo cualquier vestigio de humedad, así como el polvo o basura proveniente de los ductos de ventilación.

En cuanto al circuito de potencia, se debe verificar el cableado del circuito y la continuidad del mismo.

El bus de tierra y conexiones relacionadas se deben checar ya que estas deben cumplir con los estándares para prevención de accidentes.

En cuanto al aislamiento se debe medir con un megger de 2500V o 5000V la resistencia de aislamiento del circuito de potencia (Fase-Fase y Fase-Tierra) y con un megger de 1000V la resistencia de aislamiento del circuito auxiliar. El valor obtenido debe resultar al menos de una cuantas décimas de $M\Omega$ para el circuito auxiliar. La resistencia de aislamiento debe quedarse constante en el tiempo, después de cualquier prueba de voltaje.

Se debe realizar un control de la presencia del dispositivo de maniobra y de los accesorios previstos para el funcionamiento normal del interruptor. Hay que insertar el equipo sus respectivos compartimentos y anexar los plugs del circuito auxiliar. Se deben cerrar las puertas del compartimento y poner el equipo en posición de conectado, habrá que realizar algunas operaciones de apertura y cierre. La llave de acceso de cada bloqueo mecánico debe ponerse en un lugar inaccesible para el personal de operación.

Para los servicios y circuitos auxiliares, en base al esquema funcional del tablero, se debe verificar la funcionalidad y la secuencia del servicio de manera automática, así como de todos los relevadores auxiliares. Antes de operar el control, se debe checar los ajustes de los diferentes relevadores instalados en cada sección. En caso de que exista una configuración particular, las pruebas deben venir en una tabla, conteniendo los datos técnicos para la instalación.

Habría que verificar que el devanado del secundario de los transformadores de potencial este aterrizado y conectar el respectivo circuito de protección y medición, eliminando con esto cualquier cortocircuito en la conexión.

En caso que el devanado secundario de los transformadores de potencial tenga que ser conectado al equipo exterior del tablero, se debe tener la certeza de seguir las siguientes instrucciones para prevenir sobrecargas o cortocircuitos sobre los mismos.

- Checar que el autoconsumo total del equipo suministrado no es superior al del transformador de potencial.
- Verificar que no haya conexiones incorrectas en el circuito de medición.
- Se tiene que asegurar que solamente una fase del devanado secundario del transformador de potencial este aterrizado. Esta verificación es particularmente importante en el lado de la alimentación del equipo interconectado

Al término de las pruebas preliminares, se debe asegurar de realizar las siguientes operaciones:

- Abrir y aislar todos los carros de los interruptores (Cunas o contenedores)
- Eliminar cualquier conexión de prueba.

4.5 INSPECCION Y MANTENIMIENTO

Una inspección general regular a intervalos frecuentes debe ser establecida para obtener el mejor servicio y confiabilidad del tablero. Las operaciones de planta y las condiciones locales dictaran la frecuencia de inspección requerida.

Se deben tomar pasos proactivos para remediar cualquier deficiencia identificada durante la inspección. Antes de la inspección se debe desenergizar todos los circuitos. Enfatizando en los siguientes puntos.

1. Inspeccionar el apriete de todas las conexiones
2. Abrir las puertas y remover todos los paneles de acceso.
3. Inspeccionar todos los cables para asegurar conexiones apretadas y adecuado soporte.
4. Inspeccionar el alambrado de control para señales de desgaste o daño. Reemplace cables donde se tenga duda.
5. Examine resistores y otros dispositivos expuestos a sobrecalentamiento.
6. Limpiar a conciencia todo el aislamiento
7. Remover todos los componentes extraíbles y limpiarlos
8. Limpiar la parte fija del tablero con trapo limpio. se puede hacer uso de aire comprimido para áreas de difícil acceso.
9. Remover las cubiertas de todos los dispositivos montados en los paneles si resulta practico. revisen las conexiones en el alambrado, limpiar los contactos en relevadores e interruptores donde sea necesario y regresar las cubiertas a su lugar
10. Poner en su lugar todos los paneles y componentes. Todos la tornillería de puertas y paneles de acceso deben estar en su lugar y completamente asentadas

El acabado usado en las partes de los gabinetes de los tableros metal - clad son tratados con fosfatos y pintados con pintura recocida, epóxica, resistente a la corrosión, para retocar el acabado de pintura. después de la erección final, use la pintura de retoque suministrada por el fabricante

4.6 PARTES DE REPUESTO Y ACCESORIOS ADICIONALES

Durante la fase de pruebas y puesta en servicio, así como posterior a estas actividades, es necesario contar con una serie de accesorios adicionales y partes de repuesto para que en caso de alguna contingencia se cuente con los materiales adecuados para resolver una falla o imperfección en el tablero.

A continuación se dará una serie de listas para cada etapa y una recomendación de partes de repuesto necesarias para la etapa de operación del tablero.

Las partes de repuesto deberán ser ordenadas al fabricante, la cantidad de partes de repuesto deben ser almacenadas y dependerán de la instalación es decir, la cantidad de secciones verticales en servicio. Se debe especificar la cantidad, número de referencia, información completa de las partes y datos de placa del dispositivo que requiere tales partes. La tornillería debe ser adquirida de preferencia localmente.

Para la etapa de pruebas y puesta en servicio se recomienda el suministro de los siguientes partes de repuesto y materiales

- Tornillería completa para acoplar las diversas secciones del tablero.
- Tornillos y tuercas para fijar el tablero al piso
- Ménsulas soporte para las manivelas y palancas
- Palanca de operación para conexión de aterrizamiento
- Palanca para cargar el resorte del mecanismo de operación del interruptor
- Carro para asegurar el perfecto desplazamiento al exterior del interruptor y del carro de los transformadores de potencial.
- Palanca para extraer el interruptor y los transformadores de potencial.
- Llave para cada tipo de candado usado en el tablero.
- Esquemas y dibujos
- Manual de instrucción, servicio y mantenimiento del tablero.

Algunos otros accesorios adicionales

- Base de acero para descansar el tablero (cuando se requiera o lo amerite).
- Carro de pruebas y aterrizamiento.
- Carro de puesta a tierra
- Gabinete de pruebas
- Extensión para probar el interruptor fuera del tablero.

Accesorios especiales en caso de que se requiera o la instalación lo demande.

- Base de acero o bloques de fijación
- Ductos de cableado para los cables auxiliares
- Barreras antiflama para cables de potencia
- Puertas

Compartimiento del interruptor	Con llaves iguales
Compartimiento de instrumentos	Con llaves diferentes
Frontal	
Compartimiento del transformador de voltaje.	

- Candados electromecánicos
- Interruptor de puesta a tierra
- Contactos auxiliares
- Candado para prevenir la operación del interruptor.
- Aisladores soporte
- Transformadores de corriente
- Resistencia calefactora
- Lámpara para iluminación interna del compartimiento de instrumentos
- Reles de protección, reles auxiliares, indicadores d eposición, fusibles, caja de terminales, etc.

Es importante cuando se ordenen partes de repuesto, indicar el número de proyecto de cada tablero o los datos de placa de la parte a reponer.

Para transformadores de corriente, se debe indicar la relación de transformación y los valores de placa del mismo.

- Candados electromecánicos
- Interruptor de puesta a tierra
- Contactos auxiliares
- Candado para prevenir la operación del interruptor.
- Aisladores soporte
- Transformadores de corriente
- Resistencia calefactora
- Lámpara para iluminación interna del compartimiento de instrumentos
- Reles de protección, reles auxiliares, indicadores de posición, fusibles, caja de terminales, etc.

Es importante cuando se ordenen partes de repuesto, indicar el número de proyecto de cada tablero o los datos de placa de la parte a reponer.

Para transformadores de corriente, se debe indicar la relación de transformación y los valores de placa del mismo.

5. SEGURIDAD

Es de vital importancia leer cuidadosamente antes de intentar instalar, dar mantenimiento, operar o poner en servicio el tablero metal-clad. El no seguir adecuadamente las instrucciones puede causar lesiones graves, muerte o daños a la propiedad.

Se debe mantener un instructivo disponible para aquellos responsables de la instalación, mantenimiento y servicio del tablero. La seguridad involucra dos condiciones:

- Lesiones al personal
- Daño del equipo o a la propiedad.

El tablero, así como el cuarto donde se aloja debe contar con notas de seguridad destinadas a alertar al personal sobre posibles lesiones, muerte o daño a la propiedad, para ello se define cuatro niveles de intensidad las cuales se enuncian a continuación.

- **Peligro**.- es usado para indicar una condición de riesgo que tiene una alta probabilidad de muerte o lesión severa y daño sustancial a la propiedad.
- **Advertencia**.- es usado para indicar una situación de riesgo que tiene alguna probabilidad de muerte o lesión seria y daño a la propiedad.
- **Precaución** - es usado para indicar una situación de riesgo que puede resultar en una lesión o daño a la propiedad menor o moderada.
- **Notificación** - se usa para indicar una declaración de la política del fabricante en lo que se refiere directamente con la seguridad del personal y protección de la propiedad.

El tablero debe ser instalado, operado y se le debe de dar servicio solamente por personal autorizado y competente, familiarizado con prácticas sanas de seguridad. Estas notas de seguridad están destinadas como sustituto para un adecuado entrenamiento y experiencia en el uso de este equipo. De requerirse aclaraciones o mayor información, o si surgen problemas que no están cubiertos suficientemente para el propósito del usuario, se debe comunicar con el fabricante indicando todos los datos de placa.

Adicionalmente, todos los procedimientos de seguridad aplicables tales como los requerimientos de OSHA () requerimientos locales de seguridad, prácticas de trabajo seguro comúnmente aceptadas, y buen juicio, deben ser empleados por el personal que instala, opera y da servicio al equipo cubierto por el instructivo proporcionado por el fabricante.

Existe el riesgo de choque eléctrico o quemadura siempre que se trabaje dentro o cerca de equipo eléctrico. El suministro de energía debe ser interrumpido antes de trabajar dentro del tablero. Cortar el suministro de energía antes de llevar a cabo operaciones de mantenimiento.

Revisar la línea de acometida para asegurarse de que el equipo está totalmente desenergizado, siempre se debe verificar que no existen condiciones de retroalimentación en los circuitos de salida. Para mayor seguridad, utilizar un dispositivo de puesta a tierra y prueba. De no proceder así se puede causar alguna lesión grave, muerte o daño a la propiedad.

Antes de energizar el tablero este debe estar limpio y libre de objetos extraños como polvo o desperdicios, existe el riesgo de choque eléctrico o quemadura siempre que se trabaje dentro o cerca de equipo eléctrico. Tanto la tensión primaria como la de control, deben ser interrumpidas antes de trabajar dentro del equipo. Cuando se lleve a cabo una inspección minuciosa o se requiera trabajar en el interruptor, éste debe ser removido de su módulo. Las barras deben ser desenergizadas y aterrizadas cuando se requiera trabajar en el tablero.

Antes de energizar el tablero se debe observar que:

1. El tablero esta ensamblado con todas sus barreras en posición, todas las uniones de media tensión están cubiertas y que todos los materiales extraños y las herramientas han sido removidos.
2. Se han realizado pruebas de potencial para determinar que todo el aislamiento esta en buenas condiciones.
3. Todos los cables de salida estan perfectamente conectados o cuidadosamente aislados de manera que no causen fallas, especialmente en los circuitos lejos del tablero.
4. Los circuitos secundarios de los transformadores de corriente energizados nunca deben estar en circuito abierto.
5. Los secundarios de los circuitos de corriente sean cortocircuitados cuando se emparquen en la planta. Antes de abrir el dispositivo de corto circuito, todos los circuitos de corriente mas allá de los bloques de terminales deben estar completos Asegúrese de que los relevadores están ajustados adecuadamente y listos para operar.
6. Todos los circuitos están conectados a la fase correcta.
7. Se debe contar con un interruptor en el circuito que alimenta al tablero que están en condición de operacion y ajustado para operar en caso de que alguna falla ocurra.

5.1 SEGURIDAD DEL GABINETE

Para mantener el desempeño de resistencia al arco de este equipo, es esencial que se mantenga en buen estado, que todas las puertas y paneles de accesos sean instalados adecuadamente, y que todos los tornillos usados para asegurar las puertas y paneles estén completamente roscados. De no hacerse así se puede causar lesión grave, muerte o daño sustancial a la propiedad

Antes de energizar el tablero se debe verificar lo siguiente:

- Que el equipo se encuentra en buen estado y no se observa daño o distorsión a los gabinetes del tablero.
- Las puertas y paneles de acceso cierran adecuadamente y ajustan con los marcos de los gabinetes.
- Que todos los tornillos usados para asegurar las puertas y paneles de acceso estan apretados hasta estar completamente asentados.
- Que todos los procedimientos de inspección y prueba han sido completamente exitosamente.

6.- CONTROL DE CALIDAD

Actualmente existe un gran número de fabricantes, éstos tienen un sin número de productos, los cuales en ocasiones cumplen con las exigencias mínimas requeridas en los sistemas eléctricos de potencia. El costo de fabricación e inversión inicial, así como un análisis de los gastos de operación y mantenimiento deben ser bien establecidos para tomar una decisión que producto es el conveniente para nuestro sistema, es decir, si se compra un equipo con un costo inicial bajo, hay que analizar el porque y tomar en cuenta también la vida útil de este, ya que se puede pensar en adquirir un equipo inicialmente económico pero a lo largo del tiempo este requerirá de refacciones, mantenimiento, ajustes, etc

Expuesto lo anterior debemos realizar un estudio económico y de calidad al momento de la fabricación de un tablero metal-clad, ya que existen en el mercado, para el caso específico de los interruptores un sin número de modelos, con características y funciones extras que hacen al tablero mas costoso, pero también asegurar su funcionalidad a largo plazo, reduciendose con esto los costos de operación y mantenimiento.

Se debe implantar una política de calidad al momento de la fabricación de un tablero metal-clad, definiendose y documentando esta política de calidad de acuerdo a los estandares nacionales e internacionales y manteneria en vigor a todos los niveles de la organización, es decir a todos los departamentos que intervienen en el proceso de diseño y fabricación.

La autoridad y responsabilidad para le establecimiento, aplicacion y control del sistema de calidad debe estar claramente definida para todas aquellas personas responsables en le desarrollo de los trabajos o actividades que intervienen dentro del sistema de calidad.

Se debe contar con un departamento encargado de realizar las funciones de verificación de calidad o del sistema de calidad y estas deben tener la libertad, autoridad y capacidad para:

- a) Iniciar acciones para prevenir la ocurrencia de una inconformidad o deficiencia
- b) Identificar y registrar cualquier problema de calidad.
- c) Iniciar, recomendar o proveer soluciones a través de procedimientos seleccionados.
- d) Verificar la aplicacion de soluciones
- e) Limitar, detener o controlar el desarrollo de un proceso, de un embarque o de una instalación hasta que sea corregida la falla existente.

Las actividades de verificación deben incluir la inspección, las pruebas y supervision a todas y cada una de las fases del proceso. Estas actividades deben estar realizadas por personal independiente de aquél que tenga responsabilidad directa en la ejecución del trabajo.

6.1 PLANEACIÓN DEL DISEÑO

- Se deben realizar planes y programas que identifiquen las responsabilidades para cada actividad de diseño, así como la verificación y la secuencia de estas.
- Hay que definir la organización y los elementos de esta.
- Las actividades de diseño y verificación deben ser planeadas y asignadas a personal calificado que tenga acceso a la información y recursos para desarrollar la actividad en el tiempo requerido

- **Interfases.** La coordinación organizacional y técnica entre diferentes grupos del diseño debe identificarse; hay que definir las fronteras de cada actividad y establecerse los métodos de comunicación para la transmisión de la información técnica.

6.2 ENTRADAS DE DISEÑO

Los requisitos de las entradas de diseño relacionadas con el alcance de los trabajos, deben identificarse, documentarse y revisarse. Estas entradas pueden ser las siguientes, aunque no están limitadas a ser extendidas en caso de cambios en los requerimientos del usuario.

- a) Requisitos de funcionamiento y características.
- b) Resultado de estudios conceptuales.
- c) Condiciones ambientales.
- d) Requisitos legales.
- e) Normas y códigos aplicables.

6.3 RESULTADOS DE DISEÑO

Los resultados de diseño serán documentados y expresados en términos de dibujos, especificaciones, instructivos, programas y archivos de computador, cálculo o análisis, los cuales deben ser enviados al usuario para su revisión, cuando se requieran.

Estos resultados deben cumplir de preferencia con lo siguiente:

- a) Cumplir con los requisitos especificados en las entradas de diseño.
- b) Contener la definición de criterios de aceptación que incluyan tolerancias para inspección, exámenes o pruebas que se requieren para verificar las características especificadas en el diseño.
- c) Cumplir con los requisitos legales y reguladores, independientes, que estén o no, contenidos en las entradas de diseño.
- d) Identificar aquellas características del diseño que son cruciales a la seguridad y al propio funcionamiento del equipo.

6.4 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO

El contratista debe identificar, describir y aplicar la verificación, en diferentes etapas del diseño, incluyendo las entradas y resultados de diseño, las técnicas y procedimientos de verificación. Se deben planear, documentar y establecerse las verificaciones de diseño, cumpliendo alguna o algunas de las técnicas siguientes:

- a) Revisión del diseño.
- b) Cálculos o análisis alternos o simplificados.
- c) Verificación de materiales y dimensiones.
- d) Pruebas de calificaciones o demostraciones.
- e) Evaluación de diferencias significativas con otros diseños similares, si están disponibles.
- f) Modelado.

Se debe establecer y mantener en uso procedimientos para la identificación, documentación, revisión a aprobación de todos los cambios y modificaciones en el diseño. Estos cambios deben justificarse y sujetarse a las mismas medidas de control que fueron aplicadas al diseño original.

6.5 CONTROL DE DOCUMENTOS

Se debe establecer un control sobre documentos que incluyen su desarrollo, revisión y verificación, aprobación, emisión y resguardo.

La documentación de un sistema de calidad para el diseño y fabricación de tableros metal-clad incluye como mínimo lo siguiente:

- a) Manual de calidad
- b) Procedimientos de aseguramiento de calidad

CONCLUSIONES

Se han dado los elementos básicos para entender el uso de las herramientas adecuadas dentro de un sistema eléctrico. La simbología es una herramienta de uso constante dentro del ambiente y por lo tanto se debe contar con una identificación clara de cada uno de los símbolos y números usados en el mundo de la ingeniería mecánica - eléctrica. En esta parte se abordó también los detalles y pormenores del gas hexafluoruro de azufre, este estudio es de vital importancia para entender la parte medular de la tesis (Interruptores en SF6), ya que, es una tecnología que ha sido rechazada por neófitos y ecologistas, pero este es un gas noble y no peligroso, que ayuda a tener instalaciones mas limpias y versátiles en un tablero de distribución metal-clad.

Se analizó las tecnologías con que se han contado a través de la historia, lo cual nos amplia las ventajas de los interruptores en SF6, lo compacto, sus propiedades en cuanto al corte del arco interno y la no-peligrosidad de este gas, fundan las bases de la nueva tecnología de este interruptor que ha tenido una enorme aceptación en Europa y Asia, lo cual despierta la curiosidad de nosotros para realizar un estudio detallado de sus componentes y aplicarlo a nuestros esquemas y normas eléctricos que imperan en nuestro país (CFE: LYFC, PEMEX, etc.).

Se ha realizado con detalle y desglose la composición de un tablero Metla-Clad con interruptores en SF6, esto ayudo a entender la importancia que tiene la fabricación de una elemento tan importante dentro de un sistema eléctrico como lo es el tablero de distribución, esté ademas de proteger al sistema, aísla cualquier falla con la ayuda de los nuevos equipos de medición y protección con una nueva composición tecnológica a través de microprocesadores, estos equipos son la vanguardia dentro de la protección y medición de parámetros como son: voltaje, corriente, factor de potencia, protección diferencial, de sobrecorriente y otros que ayudan a mantener en perfecta operación o que ayudan a prever fallas en el sistema.

Después de aplicar las normas y reglas de embarque, manejo, seguridad, mantenimiento y pruebas que se deben realizar a un tablero. Todos los puntos mencionados anteriormente se deben tomar en cuenta de manera detallada y al pie de la letra ya que de eso depende el buen funcionamiento del tablero y por subsecuente el del sistema eléctrico completo.

La importancia de tener elementos como el hexafluoruro de Azufre, hace que la vida útil de un sistema eléctrico se prolongue, ademas que, el grado de confiabilidad y protección del mismo aumente considerablemente, evitando actualmente tener accidentes graves dentro de una instalación que por lo general causa anualmente en todo el mundo desastres de dimensiones considerables

Por último queremos mencionar que cuando se tiene un sistema eléctrico protegido con equipos confiables y de tecnología probada, lleva al usuario de éste, a un estado de confianza tal que, puede estar tranquilo realizando alguna otra actividad importante.