

Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Filogonio Juárez Paniagua

N.de control: 05270348

Ing. Eléctrica

*Monje y puesta en servicio de un interruptor de potencia de 400kv
con accionamiento neumático.*

Asesor interno:

Ing. Abraham Ocampo Solórzano

Asesor externo:

Ing. Julio Cesar Morales Santiago

Fecha de inicio:

10 de agosto del 2009

Fecha de terminación:

27 de Noviembre del 2009

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Diciembre del 2009

Capitulo I	6
Introducción	6
Objetivo general	7
Objetivo específico	7
Justificación	7
Descripción de actividades	7
Localización Geográfica	7
Localización eléctrica.....	10
Capitulo II	11
Introducción	11
Principio de operación.....	12
Proceso de cierre.....	14
Proceso de apertura	15
Principales características nominales.....	16
CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN	17
CARACTERÍSTICAS NOMINALES.....	18
Tensión nominal y tensión máxima de diseño	18
Factor de rango de tensión nominal (k)	19
Corriente nominal	20
Frecuencia nominal	20
Presión nominal de operación del gas para maniobra e interrupción.....	21
Capacidad interruptiva nominal.....	21
Capacidad de cierre o de conexión nominal	28
Corriente nominal de tiempo corto	28

Secuencia de operación nominal	29
Tensión Transitoria de Restablecimiento (TTR) nominal por falla en terminales	30
Retardo	31
Corriente capacitiva nominal de interrupción	33
Nivel Básico de Aislamiento al Impulso (NBAI)	35
Tensión de soporte con onda cortada.....	38
Soporte con impulso de maniobra	38
Niveles de contaminación	39
TIPOS DE INTERRUPTORES	40
Introducción	40
Clasificación de interruptores	41
Interruptores por lugar de instalación	41
Interruptores por características externas de diseño	42
Interruptores por método y tipo de medio de interrupción.....	43
INTERRUPTORES EN SF6.....	43
TERCERA GENERACIÓN DE INTERRUPTORES EN SF6	43
MECANISMO DE OPERACIÓN	47
Mecanismo de resortes.....	48
Mecanismo neumático.....	50
TEORÍA SOBRE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO A INTERRUPTORES.....	52
INTRODUCCIÓN	52
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	53
FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.....	57
PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS AL SF6.....	60

PRUEBA DE TIEMPOS DE OPERACIÓN	63
RESISTENCIA DE CONTACTOS	68
Capitulo III	73
Montaje y puesta en servicio de un interruptor de potencia de 400kv marca ENERGOMEX	73
Obra civil y nivelación de las bases de los polos	73
Montaje de los polos y gabinete tripolar.	76
Cableado.....	81
Montaje de la cámara de extinción.....	84
Vacío de los polos y llenado con gas SF6.....	92
Pruebas preoperativas	93
Prueba de punto de rocío.....	94
Prueba de resistencia de contactos	95
Prueba de tiempos de operación	98
Resistencia de aislamiento	103
Prueba de factor de potencia.....	104
Puesta en servicio.....	106
Conclusión	107
Anexos	108
Diagrama unifilar	111
Para ver el diagrama unifilar de clip aquí.....	111
Bibliografía.....	112

Capítulo I

Introducción

El sistema hidroeléctrico del Río Grijalva, está constituido por 4 presas y sus correspondientes plantas hidroeléctricas. Estas presas son, partiendo de aguas arriba, La Angostura (1974), Chicoasén (1980), Netzqualcoyotl (1964) y Peñitas (1986). La potencia total instalada es del orden de 5 millones de KW.

La Comisión Federal de Electricidad inició en diciembre de 1974, la constitución del proyecto hidroeléctrico Chicoasén, cuya cortina de tiene enrocamiento tiene una altura de 245 metros y un volumen total de 15 millones m³.

Esta cortina, por sus características ocupa el 6° lugar entre las más altas del mundo, siendo así mismo la más alta de las construídas en América Latina. La presa Manuel Moreno Torres (Chicoasén), constituye la tercera etapa del plan integral del Grijalva.

Chicoasén cuenta con 8 unidades turbo generadoras de 300 MW cada una, para una capacidad instalada total de 2,400 MW. Cada una de las unidades de operación, están conformadas por una turbina Francis del eje vertical de 416,000 KV de potencia y un alternador de 315,790KVA de capacidad.

Esta planta hidroeléctrica tiene como principal objetivo cubrir la demanda de energía de picos en el sistema interconectado nacional. La subestación Manuel Moreno Torres se encuentra localizado en el municipio de Osumacinta al noreste de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, estado de Chiapas, aproximadamente a 42 Km. de distancia.

La región de transmisión sureste mantiene la disponibilidad, confiabilidad, continuidad y modernización de la red de transmisión de energía eléctrica en el ámbito geográfico de los estados de Chiapas, Oaxaca, Tabasco y parte de Veracruz.

Objetivo general

Realizar el montaje y puesta en servicio de un interruptor de potencia de 400kv marca ENERGOMEX, en la subestación Manuel Moreno Torres, ubicada en el municipio de Osumacinta para mayor seguridad y confiabilidad en el sistema eléctrico nacional

Objetivo específico

Sustituir interruptor MMT-A8880 marca SIEMENS tipo 3AS2 por un interruptor nuevo marca ENERGOMEX, para elevar el índice de seguridad en las líneas de 400kv

Justificación

Los interruptores de potencia son dispositivos electromecánicos de conexión y desconexión, que conducen permanentemente e interrumpen corrientes en condiciones normales de operación, y que también realizan estas funciones en condiciones anormales o de falla en un sistema eléctrico.

Considerando la dinámica del sistema eléctrico nacional que enfrenta la comisión federal de electricidad por el constante crecimiento de la red, los fenómenos antes descritos toman mayor relevancia con lo que surge la necesidad de instalar nuevas tecnologías tanto en el diseño como en su fabricación, a fin de que el sistema sea más eficiente.

Descripción de actividades

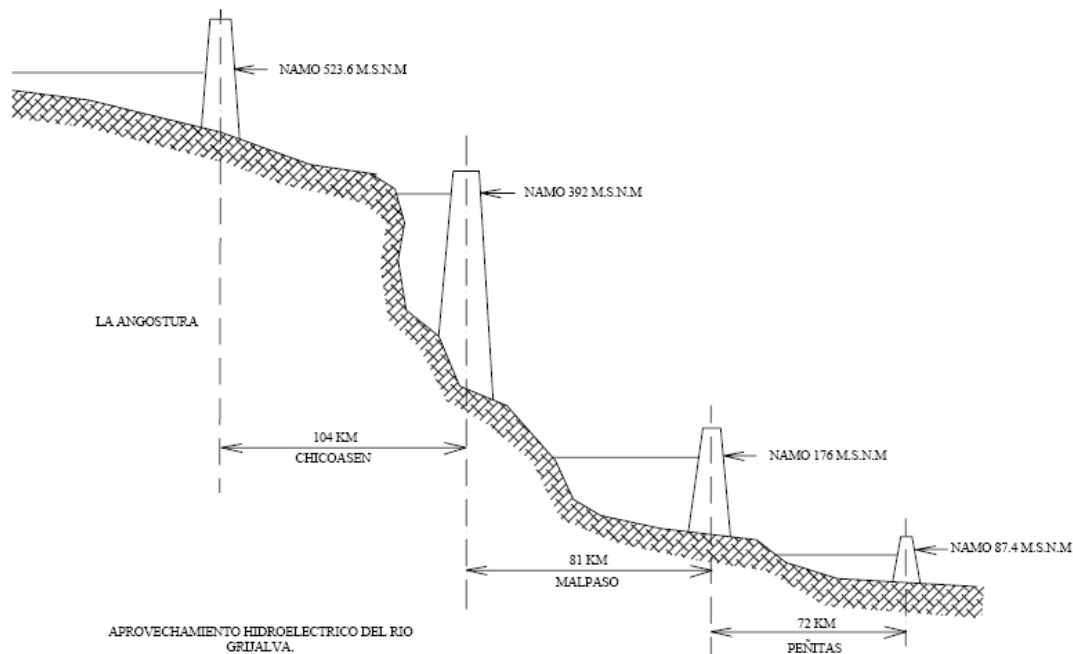
Se realizara la sustitución de un interruptor de potencia de 400kv con tecnología obsoleta por uno con nueva tecnología tanto en diseño como en fabricación.

Se hará el montaje del tableros junto con cada uno de sus dispositivos internos además se realizaran las conexione de cables de interconexión y conexiones de cables de control y fuerza, se verificaran las alarmas, se efectuaran las pruebas preoperativas y pruebas eléctricas, además de instalación de sistema de tierra, se energizar el interruptor y se pondrá en servicio.

Localización Geográfica.

La región de generación hidroeléctrica Grijalva aprovecha de manera principal, las aguas del Río Grijalva para generar la energía eléctrica; cuenta para ello, con las centrales hidroeléctricas Belisario Domínguez (Angostura), Manuel Moreno Torres (Chicoasén), Malpaso (Malpaso I y II), Ángel Albino Corzo (Peñitas).

En la figura se puede apreciar como se logra aprovechar el agua del Río Grijalva, sucesivamente en las centrales hidroeléctricas ya mencionadas.



La energía generada es transportada a través de 13 líneas de transmisión: 7 de 400 KV y 7 de 115 KV. La mayoría de las líneas de alta tensión en 400 KV envían el fluido eléctrico hacia la Ciudad de Veracruz, y el área central del país, con un enlace a la Central Hidroeléctrica La Angostura, en el municipio de Venustiano Carranza, Chiapas.

En el área de 400 KV, tres de las líneas A3040, A3140 y A3T90 van desde la Subestación Chicoasén a la Subestación Julie y tiene una longitud aproximada de 243, 243 y 241.80 Km. respectivamente. Las dos líneas A3050 y A3051 de Chicoasén a Malpaso, son de 80 y 67 Km. respectivamente; mientras que la línea A3030 va de Chicoasén a la Angostura y es de 88 Km. aproximadamente; y la línea A3130 va de Chicoasén a el Sabino 31.75 Km. aproximadamente.

Del área de 115 KV, dos líneas 73350 y 73650 van hacia Tuxtla Gutiérrez, 37 y 38 Km. respectivamente; la línea 73660 va a San Cristóbal las Casas con una longitud de 60 Km.; otra línea 73800 hacia el Sabino, con una longitud de 25.40 Km.; la línea 73500 a Ocozacoautla con una longitud de 60 Km.; la línea 73940 hacia Malpaso con una longitud de 70 Km., y la línea 73400 que es la de servicios propios.

En ciertas condiciones de carga, Angostura y Chicoasén enviarán su energía a la SE. Del Julie, esa energía seguirá del Julie a Temascal, Tejali, Topilejo, Distrito Federal y a los lugares del sistema eléctrico nacional requiera.

En estas condiciones, Chicoasén, Angostura, Malpaso y Peñitas, enviarán su energía por las líneas a Minatitlán, Temascal, Puebla, Texcoco, además de satisfacer la demanda regional junto con el resto de las centrales de la Región Grijalva.

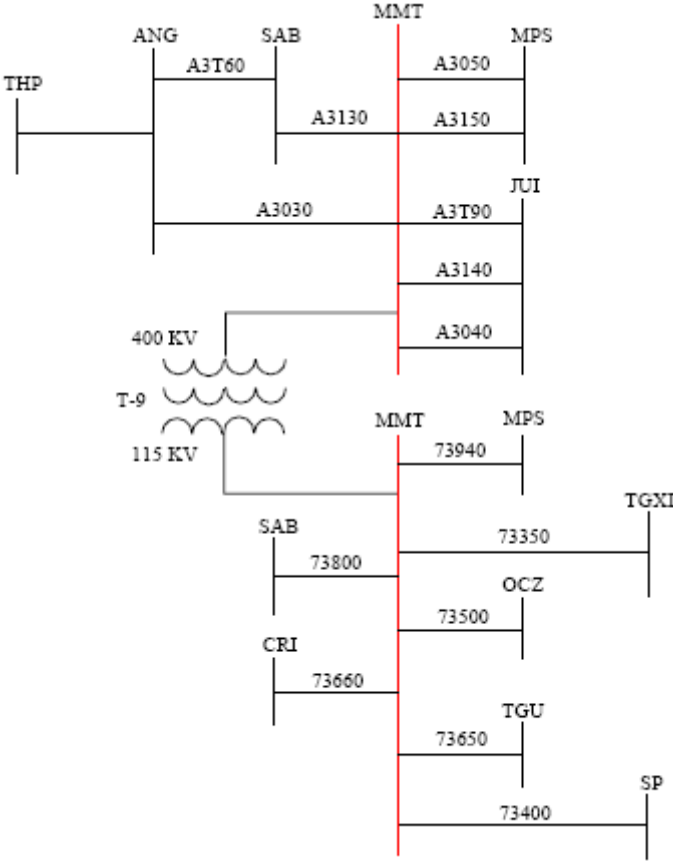
En el siguiente diagrama se ilustra la ubicación de las centrales que integran a la región de generación hidroeléctrica Grijalva y son las siguientes:

CENTRAL	TIPO	UNIDADES	CAPACIDAD EN KW.		EN SERVICIO.
			POR UNIDAD	TOTAL	
ANGOSTURA	H	5	180,000	900,000	1975
CHICOASEN	H	8	300,000	2'400,000	1980
MALPASO	H	6	180,000	1'080,000	1969
PEÑITAS	H	4	105,000	420,000	1985
SCHPOINA	H	1 2	1040 800	2240	1954
BOMBANA	H	2 2	1300 1320	5240	1951
JOSE CECILIO DEL VALLE	H	3	7000	21,000	1967

Aún cuando el diagrama no pretende ser detallado, si contiene a todas las centrales de la región actualmente en operación.

Es importante hacer notar que la región de generación hidroeléctrica Grijalva, aporta su energía al Sistema Eléctrico Nacional.

Localización eléctrica



Capítulo II

Introducción

Desde que se empezó a utilizar la energía eléctrica, surgió la necesidad de inventar equipos de conexión y desconexión capaces de establecer e interrumpir el flujo. De esta forma, surgieron los primeros diseños de interruptores, los cuales fueron muy rudimentarios y estaban basados en conocimientos empíricos. Estos diseños fueron mejorando en función del crecimiento de los sistemas eléctricos, obligándolo a los diseñadores a incluir el uso de herramientas sofisticadas con el propósito de lograr interruptores más confiables y con mayor capacidad.

El interruptor es un dispositivo, cuya función es asegurar el flujo continuo de corriente en una red eléctrica bajo condiciones normales de operación e interrumpirlo cuando se presenten condiciones anormales o fallas. Se utiliza para controlar el flujo de corriente y como medio de protección para el personal y el equipo. Se conecta en serie con el circuito que se va a proteger y entre otras cosas es capaz de:

- Interrumpir: cualquier nivel de corriente que circule por sus contactos, desde unos cuantos amperes, hasta su capacidad de corto circuito, ambas simétricas y asimétricas, a las tensiones especificadas en la norma IEC-62271-100 y hasta el 25% de su capacidad de corto circuito al doble de su tensión nominal entre fases.
- Cerrar con la corriente máxima de corto circuito a la tensión nominal entre fases y al 25% de la corriente máxima de corto circuito al doble de su tensión nominal entre fases.
- Conectar y desconectar corrientes inductivas, capacitivas (línea, cable y banco de capacitores) y corriente de reactores sin generar sobretensiones excesivas que sobre-esfuerzen las capacidades dieléctricas del sistema de transmisión o distribución.
- Efectuar operaciones de cierre apertura cuando sea requerido y
- Conducir su corriente nominal sin sobrecalentar sus componentes

Para realizar con éxito las funciones anteriores, es necesario que el interruptor tenga un buen diseño mecánico para cumplir los requerimientos de apertura y cierre de sus contactos y un buen diseño eléctrico para asegurar que el interruptor soporte los esfuerzos eléctricos y térmicos a los que se somete durante su operación.

El interruptor se vuelve más complejo conforme se incrementan las corrientes de cortocircuito y las tensiones y, al mismo tiempo, cuando se reducen los tiempos de

liberación de fallas. Este último requerimiento es con el propósito de mantener una estabilidad adecuada en el sistema eléctrico.

Un interruptor tiene cuatro componentes principales:

- 1.- medio interruptivo (que puede ser gas SF6, vacío, aire o aceite)
- 2.- cámara interruptiva
- 3.- aisladores
- 4.- mecanismo de operación

Por otra parte, en los últimos años ha habido un desarrollo muy importante en la tecnología de interruptores de potencia, donde el uso de programas de computadora ha permitido clarificar el comportamiento del arco eléctrico durante la interrupción. Esto mediante el desarrollo de modelos precisos de arcos elaborados utilizando combinaciones de diferentes áreas de la ciencia, como la dinámica de fluidos y la termodinámica. Para propósito de diseño, se está aplicando ampliamente el diseño asistido por computadora (CAE) en el análisis de campos eléctricos, análisis de distribución de presión y análisis mecánico (incluyendo fuerza de operación y respuesta sísmica) para lograr diseños optimizados de interruptores.

Adicionalmente, hay un mercado con un crecimiento constante en la demanda de interruptores, con una mayor capacidad interruptiva y tensión nominal para enfrentar la creciente demanda de los sistemas de potencia. Para cumplir con esas tendencias se están desarrollando generaciones nuevas de interruptores con altas capacidades interruptivas, ayudados por el uso de computadoras y técnicas de monitoreo y diagnóstico que cumple una amplia gama de análisis, diseño, medición y pruebas.

Principio de operación

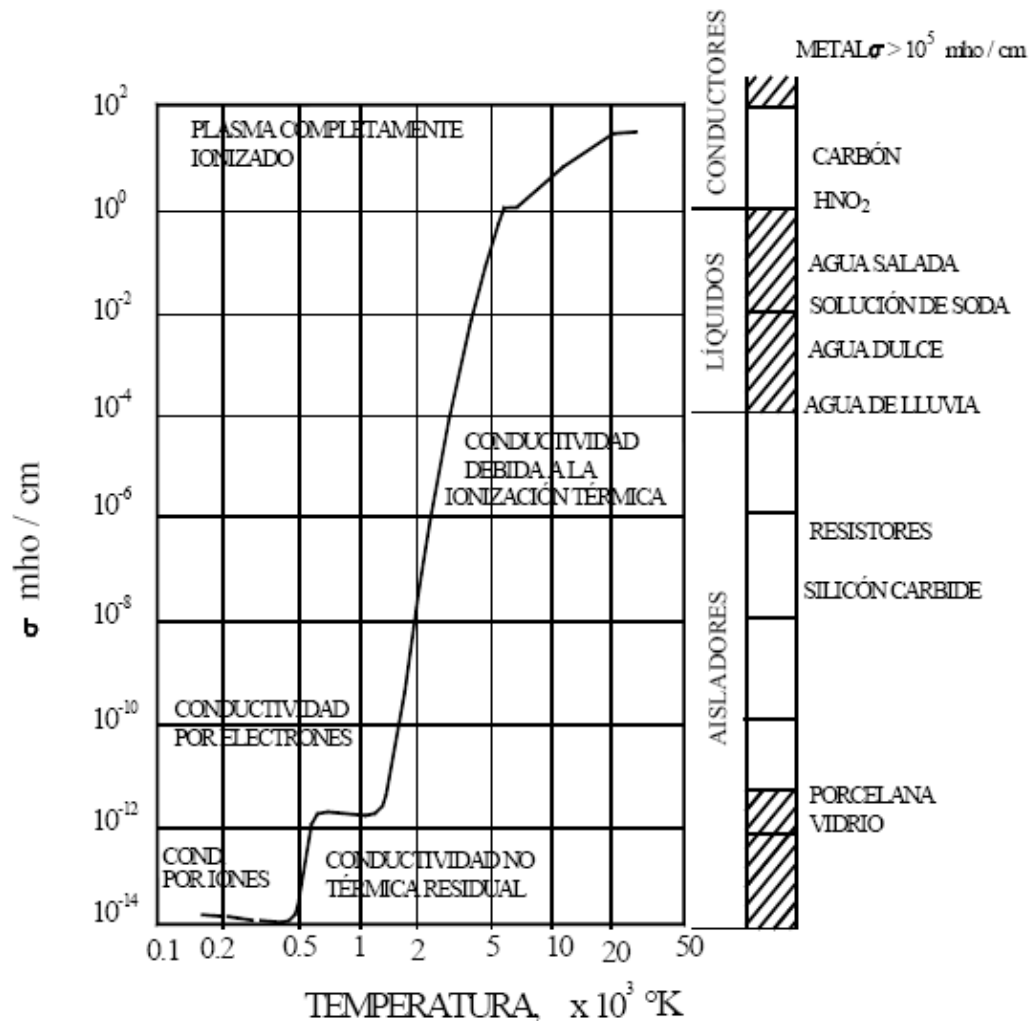
La operación de los contactos de un interruptor se realiza por medios mecánicos. Cuando los contactos se separan se forma un entrehierro entre ellos, constituido de un medio dieléctrico e interruptivo (aire, gas, SF6, vacío, aceite). En este medio se forma el arco eléctrico, a través del cual la corriente fluye de un contacto a otro. En este entrehierro es donde el circuito es vulnerable a ser interrumpido, ya que la corriente abandona su trayectoria original (contactos) para formar un arco en el medio aislante e interruptivo, cuando se logra disminuir la conductividad de esta trayectoria hasta extinguir el arco, la corriente deja de fluir.

Por lo tanto, la interrupción de un circuito eléctrico comprende dos pasos consecutivos:

En el primero se consigue intercalar un entrehierro a la trayectoria original, y el segundo, consiste en eliminar la conductividad del entrehierro. El principio fundamental

de este proceso es la velocidad de restablecimiento del medio dieléctrico en el entrehierro.

Para un entrehierro con un medio aislante gaseoso, el gas es semiconductor a altas temperaturas y en función de su enfriamiento se vuelve aislante. Por ejemplo, el aire cambia de un buen conductor (10 mho/cm), a un aislador confiable (10-12 mho/cm), solamente con variar la temperatura de 10,000 a 1,000 °K, véase la Figura siguientes:

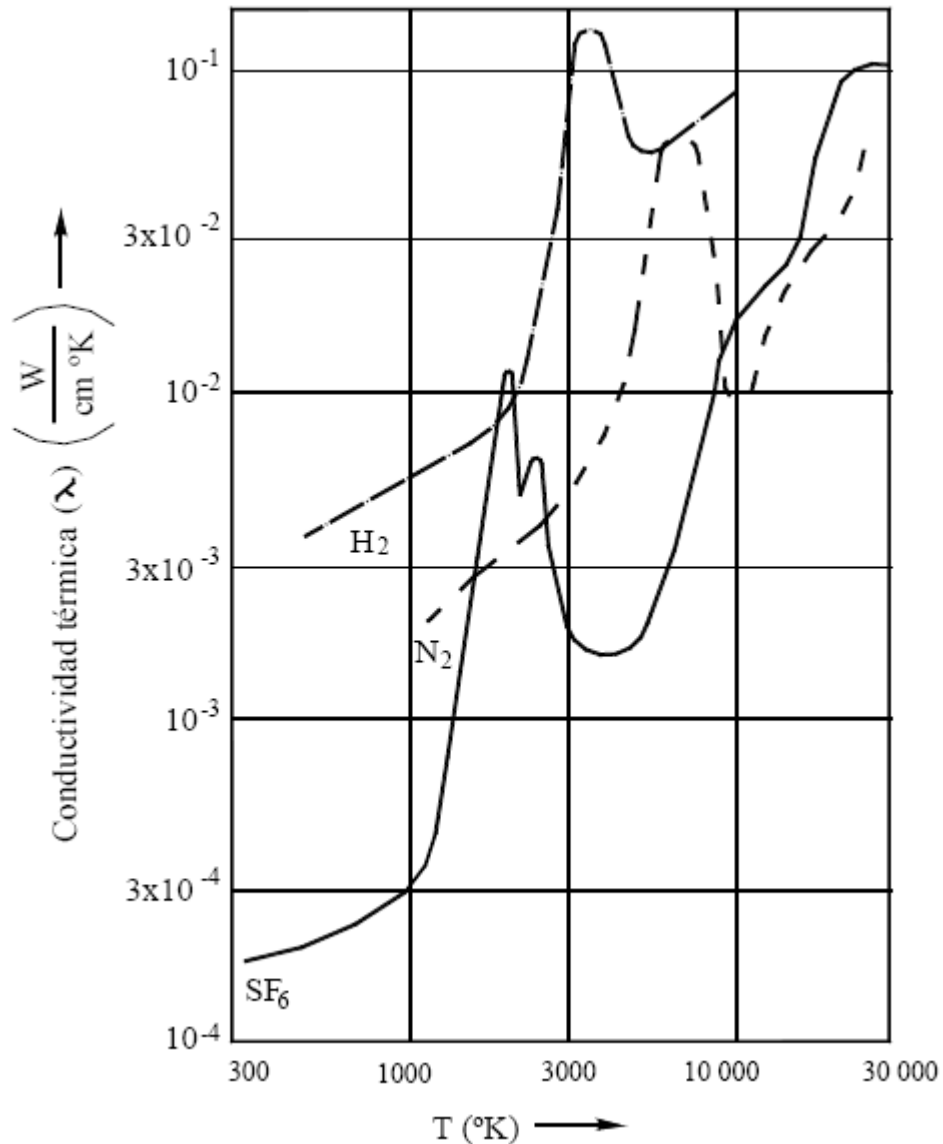


Conductividad eléctrica (σ) vs. Temperatura del aire a presión atmosférica.

Exceptuando los sistemas que utilizan materiales semiconductores de sople magnético y vacío, todos los interruptores trabajan bajo el principio de la descarga de alguna clase de gas.

La siguiente figura muestra la conductividad térmica de los gases SF₆, nitrógeno e hidrógeno en función de la temperatura; se puede ver que el SF₆ y el hidrógeno no tienen conductividades térmicas mayores a la del nitrógeno hasta los 1,500 °K. El SF₆ y el

hidrógeno poseen mejores conductividades térmicas que el aire y el nitrógeno a altas temperaturas, lo que los hacen mejores medios de extinción.



Comportamiento de la conductividad térmica (λ) en función de la temperatura del medio gaseoso, T ($^\circ K$).

Proceso de cierre

Los interruptores deben cerrar e interrumpir los circuitos, esto puede ocasionar ciertos problemas, particularmente, si el interruptor cierra en condiciones de falla.

Cuando el interruptor está abierto, la tensión en sus terminales es la tensión del sistema, a esta tensión se le denomina "tensión de cierre". Al valor máximo de la corriente

que fluye al cerrar el interruptor se le llama “corriente de cierre”. La “potencia de cierre” es el producto de la tensión de cierre por la corriente de cierre.

El tiempo de cierre de un interruptor es el que transcurre desde el momento de energizar la bobina de cierre hasta la conexión física de los contactos principales.

Durante el cierre, existen esfuerzos eléctricos entre los contactos a medida que éstos se acercan, estableciéndose arcos de preencendido que ocasionan desgaste adicional de los contactos.

El caso más crítico se presenta cuando el interruptor cierra en condiciones de falla de máxima asimetría.

Proceso de apertura

Si estando cerrado el interruptor se desea interrumpir el circuito, se libera el mecanismo de apertura el cual permite que los contactos principales se separen. La separación de los contactos genera el arco eléctrico.

En la apertura, el arco cumple con funciones de gran importancia durante la interrupción, dependiendo del tipo de medio de extinción usado.

La potencia de corto circuito que el interruptor es capaz de interrumpir, está dada por el producto de la corriente de corto circuito simétrica y la tensión de restablecimiento, un ciclo después de la interrupción.

Generalmente se expresan los kA de corriente interruptiva nominal simétrica para indicar la capacidad de corto circuito del interruptor.

El tiempo de interrupción está dado desde el momento en que se energiza la bobina de apertura hasta la extinción del arco eléctrico. Este tiempo consta de 2 partes: el tiempo propio desde la energización de la bobina de apertura hasta la separación física de contactos y el tiempo de arco y se expresa en milisegundos o en ciclos.

Debido a que el interruptor interacciona con el sistema eléctrico, está sometido a una amplia gama de corrientes con características capacitivas, inductivas, resistivas o combinaciones de éstas.

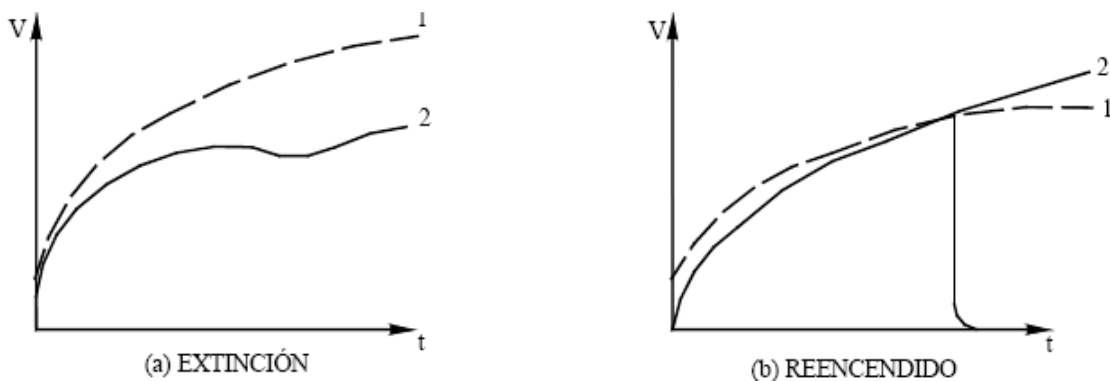
El fabricante de interruptores debe tomar en cuenta los efectos de las corrientes de falla para un diseño adecuado del interruptor.

La interrupción de la corriente consiste en convertir un espacio altamente ionizado en el entrehierro en un buen aislante con el objeto de que la corriente no fluya a través de él.

A medida que la corriente senoidal se aproxima al cruce por cero, el medio aislante ionizado pierde rápidamente temperatura con lo que recupera sus condiciones aislantes. En esta última condición aparece la tensión del sistema en las terminales del interruptor. La velocidad de transición del medio aislante depende de los parámetros eléctricos de la red.

El periodo de transición varía desde algunos milisegundos hasta algunas décimas de segundo, dependiendo de la corriente, el medio y sistema de extinción del arco, la longitud del arco, etc.

Al interrumpirse la corriente, la razón de crecimiento de la TTR y la rigidez dieléctrica varían. Si la TTR tiene una razón de crecimiento mayor a la recuperación de la rigidez dieléctrica, se presenta un "reencendido" del arco. Si la recuperación dieléctrica es más rápida que la razón de crecimiento de la TTR, se tendrá una interrupción exitosa.



1 RIGIDEZ DIELECTRICA
2 TENSION TRANSITORIA DE RESTABLECIMIENTO

Proceso de interrupción de la corriente: (a) Extinción; (b) Reencendido.

Se tienen básicamente dos posibilidades para evitar el reencendido del arco:

- Disminuir la razón de crecimiento de la TTR.
- Acelerar la regeneración dieléctrica del entrehierro.

Principales características nominales

Las características nominales de un interruptor de potencia están establecidas en las normas nacionales e internacionales aplicables. Estos parámetros nominales se consideran los límites mínimos de funcionamiento que el dispositivo debe cumplir. Tales límites se aplican solamente dentro de condiciones de operación específicas.

Las normas nacionales e internacionales contienen diferentes tablas que listan los valores nominales preferidos. Esos valores nominales son sólo “preferidos” porque son los comúnmente especificados por los usuarios y son los que, por conveniencia, han sido seleccionados por las normas. El hecho de que existan tablas o listas con valores preferidos, no excluye la posibilidad de ofrecer otros valores nominales específicos conforme sea requerido, siempre y cuando se cumpla con las normas vigentes y se establezcan de común acuerdo entre fabricante y usuarios.

Para esta parte se consideraron las características nominales más importantes contenidas en las especificaciones CFE-V5000-01, que están inscritas en la placa de datos de los interruptores de potencia y otras características, de valor conceptual importante, mencionadas en las normas IEC, ANSI y en las Normas NMX. Estas características, básicamente son los parámetros de tensión y corriente, aunque también se incluyen requerimientos adicionales que son derivados, principalmente, de estos dos parámetros básicos.

CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN

Las normas ANSI consideran como condiciones normales o usuales de operación cuando la temperatura ambiente no excede los +40 °C y que no esté por debajo de los –30°C. La altitud normal de operación es aquélla que no excede los 3,000 ft o los 1,000 m.s.n.m. No hace ninguna diferencia entre condiciones de operación para aplicaciones en interior o en intemperie.

La IEC sí marca diferencia entre aplicaciones para interior e intemperie. Esta norma especifica un límite de altitud de 1,000 m.s.n.m. a una temperatura ambiente máxima de +40 °C para ambas aplicaciones; sin embargo, adicionalmente especifica que el promedio de temperatura máxima en un periodo de 24 h no debe exceder los +35 °C.

En cuanto a los límites inferiores de temperatura, existen dos opciones para cada aplicación. Para interiores los límites son –5°C y –25°C. Para aplicaciones tipo intemperie, los límites son –25 °C y –40 °C. Adicionalmente, la norma IEC establece límites para la temperatura de congelación y para la velocidad del viento.

Por lo que respecta a la Norma NMX-J-IP-1997-ANCE y a la Especificación CFE V5000-01 consideran que los interruptores de potencia, incluyendo el mecanismo de operación y los dispositivos auxiliares, deben diseñarse para operar en sistemas conectados sólidamente a tierra, a una temperatura ambiente máxima de +40 °C y un promedio, medido en un periodo de 24 h, de +35 °C y una temperatura ambiente mínima de –25 °C.

CARACTERÍSTICAS NOMINALES

Como se comentó en los incisos anteriores, las condiciones de operación de los interruptores de potencia están definidas por un cierto número de valores característicos, designados como “características nominales” o “valores preferidos”, porque son las que sirven para denominarlos y comúnmente están inscritas en la placa de datos del interruptor.

Las características nominales más importantes de un interruptor son las siguientes:

- a) Tensión nominal y tensión máxima de diseño.
- b) Corriente nominal
- c) Frecuencia nominal.
- d) Presión nominal de operación del gas para maniobra e interrupción.
- e) Capacidad interruptiva nominal.
- f) Capacidad de cierre o de conexión nominal.
- g) Corriente nominal de tiempo cortó.
- h) Secuencia de operación nominal.

Asimismo, existen otros parámetros de importancia que pueden ser tomados como nominales para cada equipo. Entre estos parámetros se tienen:

- a) Tensión transitoria de restablecimiento (TTR) nominal por falla en terminales.
- b) Corriente capacitiva nominal de interrupción.
- c) Nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI).
- d) Niveles de contaminación.

A continuación se definen brevemente las características y parámetros mencionados:

Tensión nominal y tensión máxima de diseño

A esta característica nominal, ANSI le llama tensión máxima de operación e IEC la designa como tensión nominal. Esta característica establece el límite superior de la

tensión del sistema para el cual está diseñado el interruptor. En condiciones normales de operación, la tensión del sistema no es constante en ningún momento, por lo que el interruptor debe de garantizar su correcta operación a la tensión nominal máxima y a la tensión máxima de diseño, que por lo general es mayor que la tensión nominal de operación del sistema.

La tensión máxima de diseño de un interruptor es el valor eficaz máximo (*rms*) de la tensión entre fases, para la que el interruptor está diseñado y representa el límite superior de tensión del sistema, al cual el interruptor puede operar en forma continua.

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) recomienda los niveles de tensión expresados en la Tabla, que son los comúnmente usados en México.

TENSIÓN NOMINAL DE OPERACIÓN (kV)	TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO ANSI (kV)	TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO IEC (kV)
2.2	--	3.6
4.16	4.76	7.2
13.8	15.5	17.5
23.0	25.8	24.0
34.5	38	36.0
69.0	72.5	72.5
115.0	121	123.0
138.0	145	145.0
230.0	242	245.0
400.0	--	420.0

Tensiones nominal y máxima de diseño.

Factor de rango de tensión nominal (*k*)

El factor de rango de tensión nominal (*k*) está definido por ANSI como la relación entre la tensión máxima y el límite inferior del rango de tensiones de operación, en él, las capacidades interruptivas simétricas y asimétricas requeridas varían en proporción inversa a la tensión de operación. Este factor de rango fue utilizado sólo por ANSI, principalmente en interruptores con tecnologías antiguas tales como interruptores en aceite y de soplo magnético en aire, donde una reducción en la tensión da como resultado un incremento

en la capacidad interruptiva. Con las tecnologías modernas, vacío y SF6, este factor ya no es aplicable.

Corriente nominal

La corriente nominal es la característica que establece los límites de elevación de temperatura del interruptor. La corriente nominal de un interruptor, es el valor eficaz (*rms*) de la corriente, expresada en amperes, para el que está diseñado y que tiene la capacidad de conducir continuamente a la frecuencia nominal, sin exceder los límites de elevación de temperatura de los elementos de conducción del interruptor. Los límites de temperatura están dados en términos de la temperatura total y de la elevación de la temperatura sobre la temperatura máxima de operación. Se establece el valor de elevación de temperatura para simplificar las pruebas del interruptor siempre y cuando la temperatura ambiente esté en el rango de 10°C a 40°C para no aplicar factores de corrección.

Los valores de corriente nominal establecidos por IEC son: 630 A, 800 A, 1 250 A, 1600 A, 2000 A, 3150 A y 4000 A. Los valores correspondientes especificados por ANSI son: 600 A, 1200 A, 1600 A y 2000 A.

La selección de la corriente nominal debe estar asociada al límite máximo de temperatura permisible que se establezca. Esos límites de temperatura, están especificados en las normas y se muestran en la Tabla 4.2.

Frecuencia nominal

Este parámetro relaciona sólo la frecuencia del sistema de corriente alterna y tiene una influencia significativa cuando se relaciona con otras características de los interruptores. La frecuencia nominal es un factor relevante durante la interrupción de la corriente, debido a que en muchos tipos de interruptores, la razón de cambio de la corriente en el cruce por cero es un parámetro más significativo que el valor de la corriente *rms* o el valor pico.

La frecuencia nominal de un interruptor es la frecuencia de la red para la que el interruptor fue diseñado y a la que corresponden las otras características nominales.

Alrededor del mundo se utilizan frecuencias de 50 Hz ó 60 Hz según la norma IEC-62271-100. En nuestro país se tenían dos sistemas, uno operando a 50 Hz, en la región central del país y otro a 60 Hz. Sin embargo, a partir de 1976 se unificó la frecuencia a 60 Hz, valor que continúa vigente.

Presión nominal de operación del gas para maniobra e interrupción

Las normas han establecido los valores de 0.5, 1, 1.6, 2, 3 y 4 MPa para la presión nominal de operación del gas; sin embargo, pueden emplearse otros valores, que se eligen de común acuerdo entre fabricante y usuario.

El dispositivo de operación neumática debe ser capaz de abrir y cerrar el interruptor cuando la presión del gas comprimido esté comprendida entre 85 y 110% de la presión nominal de alimentación. Valores diferentes deberán acordarse entre fabricante y usuario.

Capacidad interruptiva nominal

La capacidad interruptiva nominal de un interruptor se define como la máxima intensidad de corriente, medida en el instante en que se separan los contactos, que puede ser interrumpida por el interruptor con una tensión de recuperación de frecuencia fundamental. La tensión de recuperación es el valor eficaz de la onda fundamental, a la frecuencia del sistema, de la tensión entre fases que aparece en el circuito después de que se han extinguido los arcos en todos los polos del interruptor.

De acuerdo con la norma IEC-62271-100 la capacidad interruptiva queda definida por dos valores:

- **La capacidad interruptiva simétrica**, expresada por el valor eficaz (*rms*) de la componente de corriente alterna de la corriente total interrumpida por el interruptor. En la Fig. 4.1, I_{ca} representa el valor de la cresta de la componente de corriente alterna. Por lo tanto, la capacidad interruptiva simétrica I_S está dada por:

$$I_S = \frac{I_{ca}}{\sqrt{2}} \text{ Amperes (valor eficaz)}$$

- **La capacidad interruptiva asimétrica o total**, expresada por el valor eficaz (*rms*) de la corriente total, que comprende las componentes de corriente alterna y corriente directa, interrumpida por el interruptor.

En la Fig. I_{cd} representa el valor de la componente de corriente directa en el instante de la separación de los contactos. Por lo tanto, la capacidad interruptiva asimétrica I_{AS} está dada por:

$$I_{AS} = \left(\frac{I_{ca}}{\sqrt{2}} \right)^2 + I_{cd}^2 \quad \text{Amperes (valor eficaz)}$$

Donde (ver Fig.):

- AA' Envolvente superior de la onda de corriente.
- BB' Envolvente inferior de la onda de corriente.
- BX Línea cero normal.
- CC' Desplazamiento de la línea cero para la onda de corriente en cualquier instante.
- DD' Valor *rms* de la componente de directa en cualquier instante, medido de CC'.
- EE' Instante de la separación de contactos (inicio del arco).
- IMC Corriente sostenida.
- Ica Valor pico de la componente alterna de corriente al instante EE'.
- Ica/√2 Valor eficaz de la componente alterna de corriente al instante EE'.
- Icd Componente de corriente directa de la corriente al instante EE' y es e valor en por ciento de la componente de corriente directa.

$$\frac{I_{cd}}{I_{ca}} \cdot 100 = \frac{\overline{ON} - \overline{OM}}{\overline{MN}} \cdot 100$$

COMPONENTE		TEMPERATURA MÁXIMA	
CONTACTOS		Temperatura total (°C)	Elevación de temperatura con temperatura ambiente menor a 40°C (°C)
Cobre sin recubrimiento	En aire	75	35
	En SF ₆	105	65
	En aceite	80	40
De plata, niquelados o plateados	En aire (notas 1, 2)	105	65
	En SF ₆	105	65
	En aceite (nota 2)	90	50
Estañado	En aire	90	50
	En SF ₆	90	50
	En aceite	90	50
CONEXIONES			
Cobre	En aire	90	50
	En SF ₆	115	75
	En aceite	100	60
De plata, niquelados o plateados	En aire (nota 3)	115	75
	En SF ₆	115	75
	En aceite	100	60
Estañado	En aire	105	65
	En SF ₆	105	65
	En aceite	100	60
TERMINALES EXTERNAS A CONDUCTORES			
Sin recubrimiento		90	50
Plata, níquel o estañadas		105	65
PARTES METÁLICAS QUE ACTÚAN COMO RESORTE		Ver nota 4	Ver nota 4
MATERIALES AISLANTES (nota 5)			
Clase Y (materiales no impregnados)		90	50
Clase A (materiales impregnados o sumergidos en aceite)		105	65
Clase E		120	80
Clase B		130	90
Clase F		155	115
Clase H		180	140
Esmalte	Base aceite	100	60
	Sintético en aire	120	80
	Sintético en aceite	100	60
METAL O MATERIAL AISLANTE EN CONTACTO CON ACEITE, EXCEPTO CONTACTOS		100	60
ACEITE AISLANTE PARA INTERRUPTORES		90	50

Límites de elevación de temperatura de las partes de un interruptor.

NOTAS DE LA TABLA

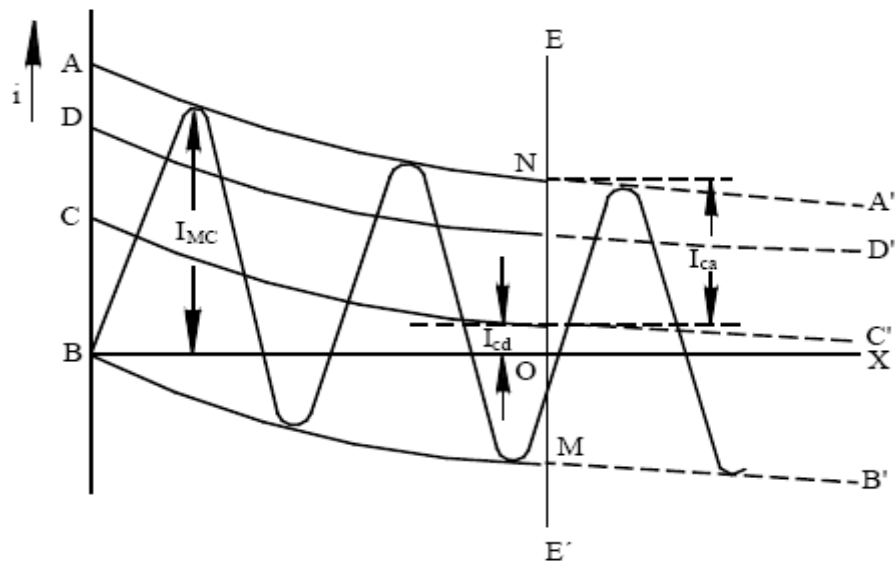
- 1) Cuando se aplica una elevación de temperatura de 65°C se debe asegurar que no se ha causado daño a los materiales aislantes adyacentes.
- 2) La calidad de la cubierta de plata será de tal clase que después de las pruebas de cortocircuito y mecánicas, todavía tenga una capa de plata en los puntos de contacto y debe considerarse como "NO CUBIERTO DE PLATA".
- 3) Los valores de temperatura y de elevación de temperatura son válidos para conductores con o sin recubrimiento.
- 4) La temperatura no debe alcanzar un valor donde se afecte la elasticidad del material (reblandecimiento). Para cobre puro el límite de temperatura es de 75°C.
- 5) Se utilizan las siguientes clases de materiales aislantes:
 CLASE "Y" (90 °C) Algodón, seda y papel sin impregnación.
 CLASE "A" (105 °C) Algodón, seda y papel impregnados, cubiertos o sumergidos en un líquido dieléctrico como el aceite.

CLASE "E" (120 °C) Barnices de terminación e impregnación, compuestos de poliuretano, compuestos epóxicos y resinas.

CLASE "B" (130 °C) Mica, fibra de vidrio, asbesto, etc., o combinación de ellos, construidos con varias sustancias orgánicas.

CLASE "F" (155 °C) Mica, fibra de vidrio construido con varias sustancias de otros materiales no necesariamente inorgánicos.

CLASE "H" (180 °C) Nomex, Mylar laminado, mica, fibra de vidrio, barniz, resilam, DMD 180, Kapton, Pyromid, Pyroglas y Pyrolam.



Componente de C.D. en el instante del cierre de contactos de un interruptor.

Un interruptor normal responde a las siguientes características:

Para tensiones inferiores a la tensión nominal, el interruptor debe ser capaz de interrumpir su valor de cortocircuito nominal.

Para tensiones superiores a la tensión nominal, no se puede garantizar ninguna corriente interruptiva de cortocircuito.

El valor eficaz de la componente alterna de la corriente de interrupción de cortocircuito debe elegirse entre los valores siguientes:

6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80 y 100 kA

El valor en por ciento de componente directa se determina como sigue:

Para un interruptor que puede ser disparado por la intensidad de cortocircuito sin ayuda de ningún tipo de energía auxiliar, el porcentaje de la componente directa debe

corresponder a un intervalo de tiempo τ igual al tiempo de apertura mínimo del interruptor.

Para un interruptor que no puede ser disparado más que con algún tipo de energía auxiliar, el porcentaje de la componente directa debe corresponder a un intervalo de tiempo τ igual al tiempo de apertura mínimo del interruptor, al que se sumará un semiciclo de la frecuencia nominal.

El tiempo mínimo de apertura mencionado anteriormente es el menor tiempo de apertura del interruptor que se puede lograr en cualquier condición de servicio, tanto en maniobra de interrupción, como en ciclo de cierre-apertura

El valor de la componente directa, evaluado en porcentaje, depende del intervalo de tiempo τ . Los valores normales de τ se grafican en la Fig. 4.2. Para la determinación de las componentes alterna y directa, se debe utilizar esta figura y la expresión siguiente:

$$\% cd = 100e^{-\frac{I_{op}+I_r}{\tau}}$$

Donde:

I_{op} = Tiempo de operación del primer polo del interruptor.

I_r = Tiempo de operación de los relevadores.

τ = Constante de tiempo estándar (45 ms).

La componente de corriente directa se considera despreciable cuando su valor es igual o menor que el 20% del valor de cresta de la componente simétrica de corriente alterna. Por lo tanto, de acuerdo con la Fig. 4.2, para interruptores cuyo tiempo de operación es de 60 ms (≈ 3.5 ciclos) o mayor, se debe especificar únicamente la capacidad interruptiva simétrica. Para determinar el tiempo que transcurre desde que se establece el cortocircuito hasta que se separan los contactos del interruptor, se agregan 10 ms al tiempo de operación del interruptor. Estos 10 ms corresponden al tiempo de operación de los relevadores de protección. En la gráfica de la Fig. 4.2 puede verse que para un tiempo de $60 + 10 = 70$ ms y un $\tau = 45$ ms, la componente de corriente directa se reduce al 20% del valor de cresta de la componente de corriente alterna.

Los valores de las crestas positivas de la onda asimétrica en función del valor de cresta de la onda simétrica son (ver Fig. 4.3):

$$I_1 = 1.80I$$

$$I_3 = 1.51I$$

$$I_5 = 1.33I$$

$$I_7 = 1.21I$$

$$I_9 = 1.13I$$

$$I_{11} = 1.09I$$

Frecuentemente se expresa la relación entre las corrientes simétricas y la asimétrica de cortocircuito por medio de un factor de asimetría.

$$I_{AS} = KI_s$$

K=Factor de simetría

Este factor K depende de la relación entre la reactancia inductiva y la resistencia del circuito (X/R) en donde se instalará el interruptor.

$$K = f\left(\frac{X}{R}\right) \text{ Se obtiene de tablas}$$

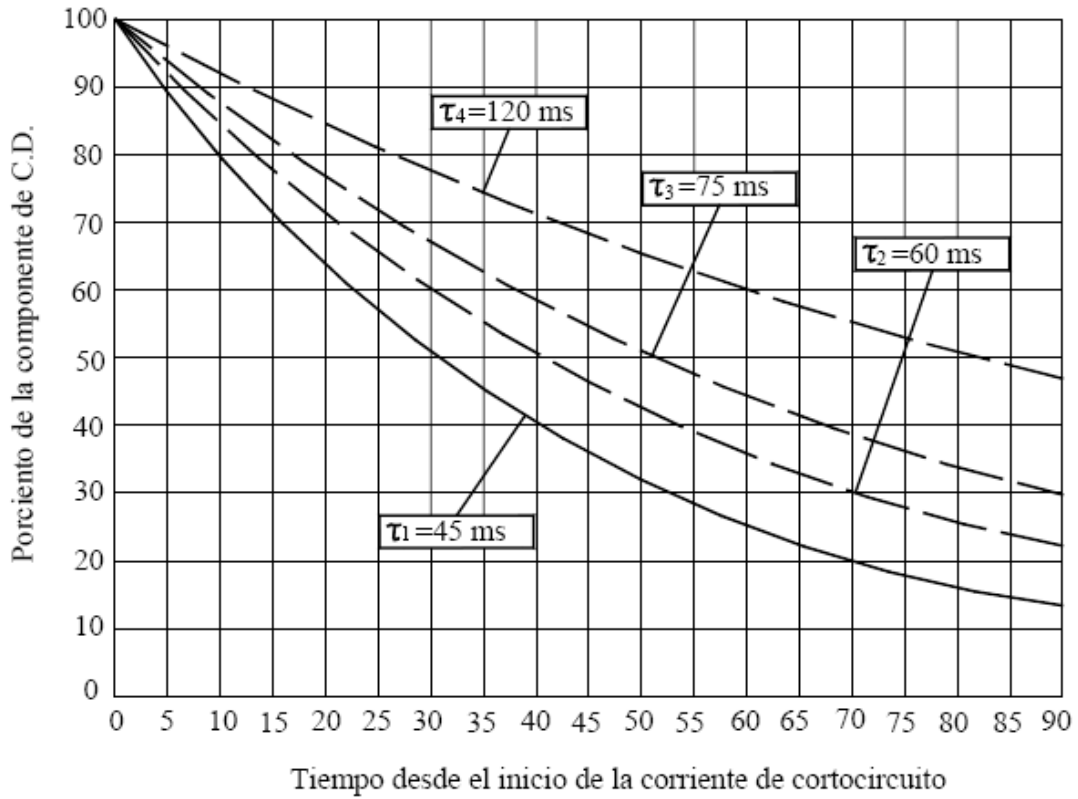
La capacidad interruptiva puede expresarse también en MVA y se calcula como $\sqrt{3}$ veces la tensión de recuperación de frecuencia fundamental por la corriente simétrica o asimétrica, según sea el caso.

$$\begin{aligned} P_{ccS} &= \sqrt{3}KVI_s \\ P_{ccAS} &= \sqrt{3}KVI_{AS} \quad \text{o bien :} \\ P_{ccAS} &= KP_{ccS} \end{aligned}$$

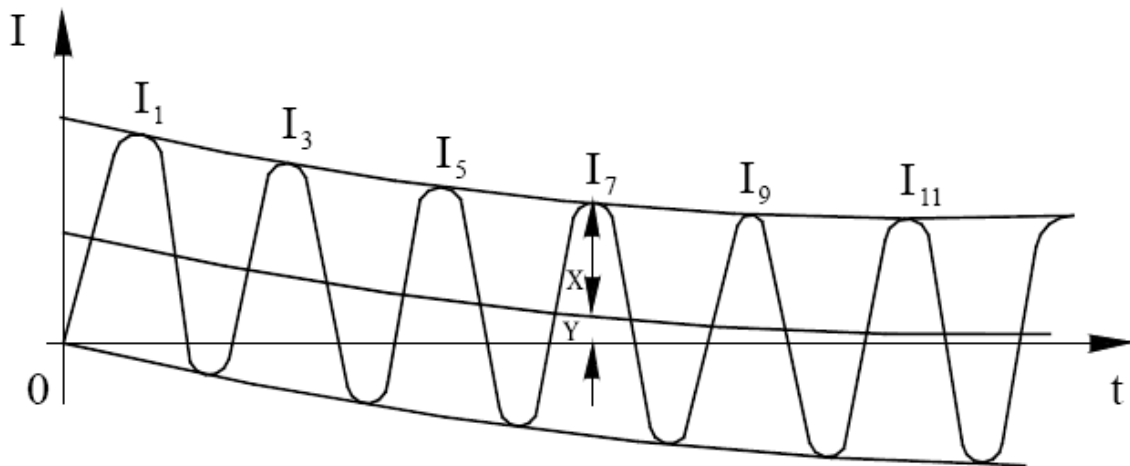
Donde:

P_{ccS} = Potencia de cortocircuito simétrica.

P_{ccAS} = Potencia de cortocircuito asimétrica. CFE/CTT



Porcentaje de la componente de corriente directa en relación con el intervalo de tiempo ($T_{op}+T_r$) para la constante de tiempo estándar τ_1 y para las constantes especiales de tiempo τ_2 , τ_3 y τ_4 .



Onda normalizada de corriente asimétrica.

Capacidad de cierre o de conexión nominal

La capacidad de cierre o de conexión nominal de un interruptor se define como la intensidad de corriente máxima que el interruptor puede establecer con una tensión dada.

El caso más severo para el interruptor se presenta cuando éste cierra contra un corto circuito en el instante del cruce por cero de la tensión, de manera que la corriente total de cortocircuito alcanza su valor máximo, como se muestra en la Fig. 4.1. La capacidad de cierre está dada por el valor de la primera cresta de la onda de corriente IMC.

De acuerdo con la norma IEC-62271-100, la primera cresta de la onda de corriente puede alcanzar un máximo de 1.8 veces el valor de cresta I_{ca} de la onda de corriente simétrica, por lo que la capacidad de cierre en amperes eficaces (valor de cresta) I_{MC} es igual a:

$$I_{MC} = 1.8\sqrt{2}I_S$$
$$I_{MC} = 2.55I_S$$

Corriente nominal de tiempo corto

El propósito de este requerimiento es asegurar que no se rebase la capacidad térmica de tiempo corto de las partes conductoras.

Por definición, la corriente nominal de tiempo corto es el valor *rms* de la corriente que el interruptor puede conducir en la posición de cerrado, sin sufrir daño, para un intervalo de tiempo especificado. A la corriente nominal de tiempo corto también se le denomina “corriente sostenida de corta duración”.

La magnitud de esta corriente es igual a la corriente simétrica de cortocircuito nominal que se asigna para un interruptor en particular y que normalmente se expresa en kA para un período de 1 segundo (IEC) ó 3 segundos (ANSI). La IEC, también recomienda un valor de 3 segundos si se requieren periodos mayores a 1 segundo. También se le conoce como capacidad nominal a 1 segundo y como capacidad nominal a 3 segundos, respectivamente.

A pesar de que ANSI requiere un aguante de 3 segundos, el máximo retraso del disparo establecido es de dos segundos para interruptores tipo interior y equipos para intemperie a 72.5 kV o menores, y para interruptores a 121 kV o mayores el requerimiento de tiempo es de 1 segundo. La duración de la corriente de tiempo corto no

tiene que ser mayor que el retraso de tiempo máximo permitido en un sistema, por lo que ANSI está en el proceso de adoptar requerimientos de tiempo menores.

Secuencia de operación nominal

El ciclo de trabajo de un interruptor de potencia consiste en una serie de operaciones de apertura (desconexión) y cierre (conexión) o ambas a la vez. Los tiempos asociados a las maniobras son de gran importancia, tanto desde el punto de vista de la estabilidad del sistema, como de la demanda térmica. Mientras más se tarde el interruptor en eliminar la corriente de falla, mayor será el daño que ésta causará al sistema.

El ciclo de operación nominal de un interruptor es el número prescrito de operaciones unitarias a intervalos de tiempo establecidos. De acuerdo con las recomendaciones de IEC para el servicio nominal de la operación de interruptores, cuya utilización no está especificada para *auto-recierre*, se puede expresar como sigue:

$$O - t - CO - t' - CO$$

Si los intervalos de tiempo no son especificados, entonces $t=0.3$ s y $t'=3$ minutos.

$$O - t'' - CO$$

$$t'' = 15 \text{ s}$$

Donde:

O = Operación de apertura.

C = Operación de cierre.

CO = Operación de cierre seguida de una apertura.

t, t', t'' = Intervalos de tiempo.

t y t' = Expresados en minutos o en segundos.

t'' = Expresados en segundos.

El ciclo de operación para los interruptores con autocierre es el siguiente:

$$O - "0" - CO$$

"0" = (Cero) representa el tiempo muerto del interruptor en ciclos.

Los diversos componentes del tiempo de operación del interruptor aparecen ilustrados en la gráfica de la Fig. 4.4.

Tensión Transitoria de Restablecimiento (TTR) nominal por falla en terminales

Es el límite de la TTR prevista de los circuitos que el interruptor debe poder interrumpir en caso de un cortocircuito en sus terminales. La forma de onda de las TTR varía de acuerdo con la configuración de los circuitos.

En ciertos casos, particularmente en las redes de tensión superior a 100 kV y para corrientes de cortocircuito relativamente pequeñas, comparadas con la corriente de cortocircuito máxima en el punto considerado, la TTR comprende un periodo inicial en el que la velocidad de crecimiento es elevada, y un periodo posterior durante el cual la velocidad de crecimiento es más reducida. Esta forma de onda queda suficientemente bien definida por una envolvente formada por tres segmentos de recta definidos por cuatro parámetros.

En otros casos, particularmente en las redes de tensión inferiores a 100 kV o bien en las redes de tensión superiores a 100 kV para corrientes de cortocircuito relativamente pequeñas respecto a la corriente de cortocircuito máxima, la TTR tiene una forma semejante a la de una oscilación amortiguada de una sola frecuencia.

Esta oscilación queda bien definida por una envolvente formada por dos segmentos de recta definidos por dos parámetros.

La capacitancia del lado de la fuente en el punto de instalación del interruptor, reduce la velocidad de crecimiento de la tensión durante los primeros microsegundos de la TTR. Para representar las TTR's nominales se utilizan los parámetros siguientes:

Representación por cuatro parámetros

U_1 = Primera tensión de referencia en kV.

t_1 = Tiempo en alcanzar U_1 en μs .

U_c = Segunda tensión de referencia.

t_2 = Tiempo en alcanzar U_c , en μs .

U' = Tensión de referencia en kV.

t_d = Retraso de tiempo, en μs .

t' = Tiempo para alcanzar U' , en μs .

Representación por dos parámetros

U_c = Tensión de referencia (valor de cresta de la TTR) en kV.

t_3 = Tiempo en alcanzar U_c en μs .

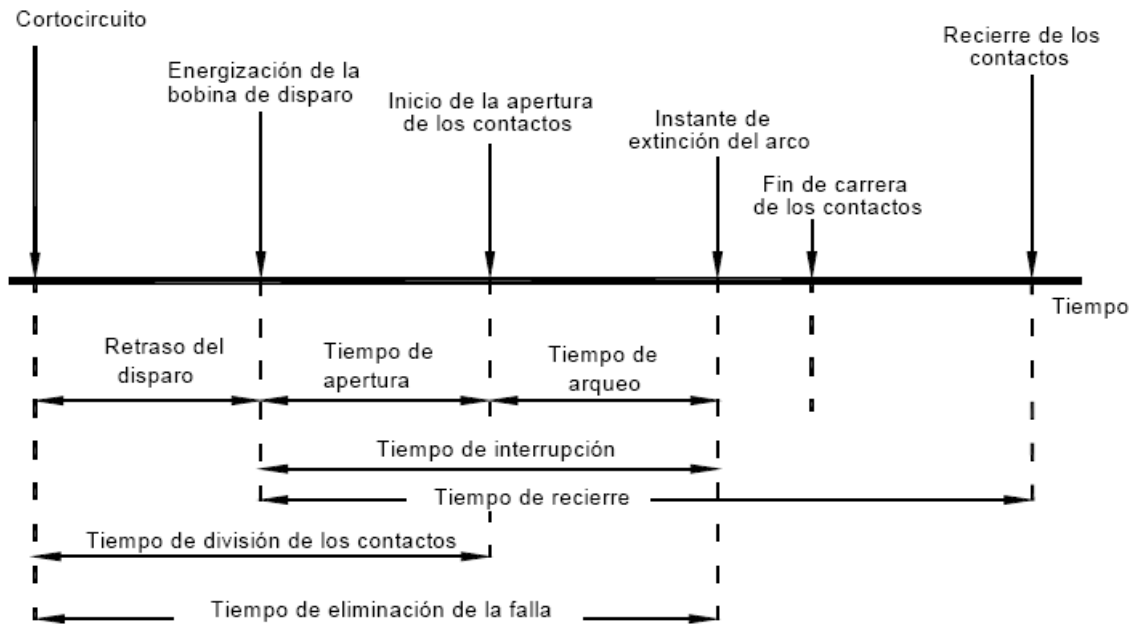
U' = Tensión de referencia en kV.

t_d = Retraso de tiempo, en μs .

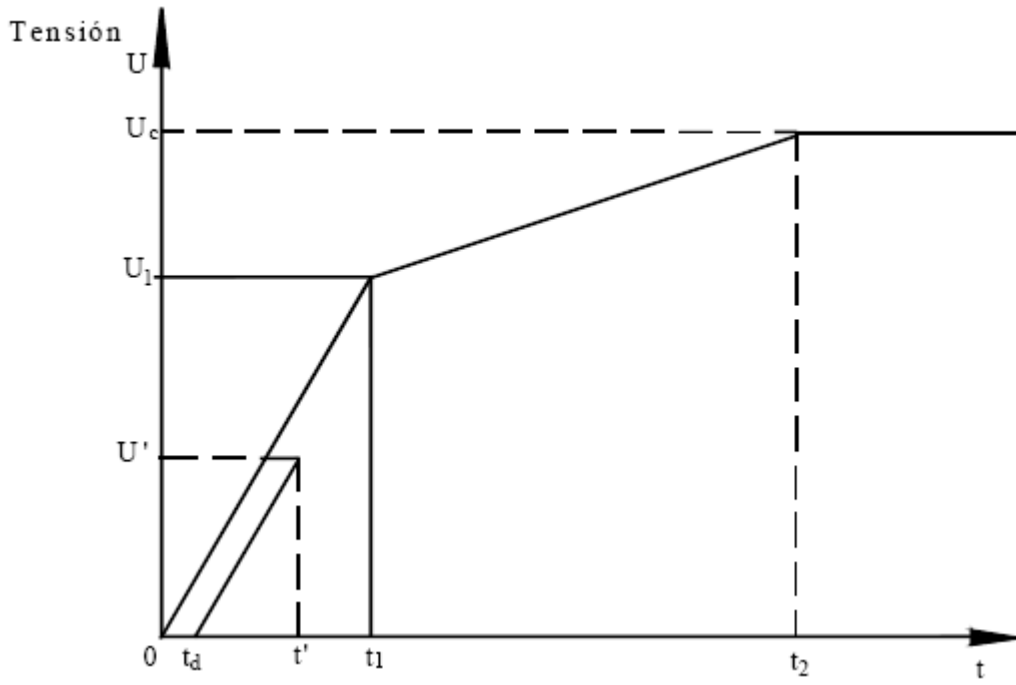
t' = Tiempo para alcanzar U' , en μs .

Retardo

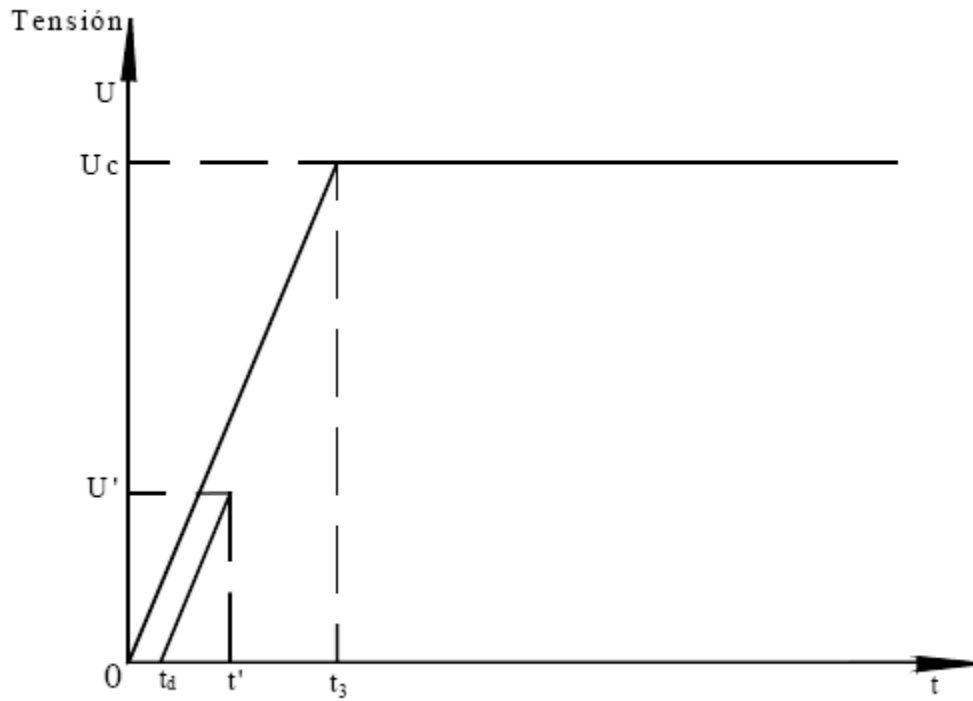
A un interruptor se le asocia un retardo nominal t_d (μs). El interruptor debe poder interrumpir en cualquier circuito en el que la TTR atraviesa una vez el segmento de retardo y no lo vuelve a cruzar. El segmento de retardo arranca del eje de tiempo con el retardo nominal t_d , corre paralelo al primero de los segmentos de la TTR y termina a la tensión especificada U' con un tiempo asociado t' .



Componentes del tiempo de operación de un interruptor.



Representación de una TTR especificada por cuatro parámetros.



Representación de una TTR especificada por dos parámetros.

Corriente capacitiva nominal de interrupción

La interrupción de corrientes capacitivas es la tarea de mayor responsabilidad operativa de un interruptor. La especificación de un interruptor que se utilizará para la interrupción de corrientes capacitivas deberá incluir, entre otras, las siguientes características:

- Corriente nominal de carga de la línea aérea.
- Corriente nominal de carga de cable subterráneo.
- Corriente nominal de interrupción de banco de capacitores sencillo.
- Corriente nominal de interrupción de bancos de capacitores conectados en oposición (*back-to-back*).
- Corriente nominal de *inrush* para conexión de banco sencillo de capacitores.
- Corriente nominal de *inrush* para conexión de bancos de capacitores conectados en oposición (*back to back*).

Las tensiones de recuperación relacionadas con la interrupción de cargas capacitivas dependen de:

- La puesta a tierra del sistema.
- La puesta a tierra de la carga capacitiva, por ejemplo la pantalla de los cables subterráneos, los bancos de capacitores y las líneas de transmisión.
- Acoplamiento mutuo de fases adyacentes de la carga capacitiva, por ejemplo líneas aéreas abiertas.
- La influencia mutua de sistemas adyacentes de líneas aéreas en la misma ruta.
- La presencia de fallas monofásicas y bifásicas a tierra.

La corriente nominal de carga de la línea, es la corriente máxima de carga de la línea que el interruptor es capaz de interrumpir, a su tensión nominal, bajo condiciones normales de operación. La especificación de este parámetro es obligatoria para interruptores de tensiones nominales de 72.5 kV y mayores.

La corriente nominal de carga de cable, es la corriente máxima de carga del cable que el interruptor es capaz de interrumpir, a su tensión nominal, bajo condiciones normales de operación. La especificación de este parámetro es obligatoria para interruptores de 52 kV y menores.

La corriente nominal de interrupción de banco sencillo de capacitores, es la corriente capacitiva máxima que el interruptor es capaz de interrumpir a su tensión nominal bajo condiciones normales de operación. Este tipo de corriente se presenta en la interrupción de corrientes de bancos de capacitores conectados en derivación (*shunt*), y también se aplica donde no hay capacitores en derivación en el lado fuente del interruptor.

La corriente nominal de interrupción de bancos de capacitores en oposición (*back to back*), es la corriente máxima capacitiva que el interruptor es capaz de interrumpir a su tensión nominal bajo condiciones normales de operación. Esta corriente se refiere a la energización y desenergización de bancos de capacitores en derivación, donde uno o más bancos de capacitores en derivación se conectan en el lado de la fuente del interruptor, dando una corriente de *inrush* igual a la corriente nominal de *inrush* para bancos de capacitores *back to back*.

La corriente nominal *inrush* para banco de capacitores sencillo, es el valor pico de la corriente que el interruptor es capaz de soportar a su tensión nominal y con una frecuencia de la corriente de *inrush* apropiada para las condiciones de operación. No se establecen valores preferidos ni para la corriente de *inrush* ni para su frecuencia. Para aplicaciones comunes, la corriente *inrush* de banco sencillo de capacitores está en el rango de 5 a 10 kA.

Se puede estimar de manera aproximada utilizando la expresión extraída de la norma ANSI/IEEE C37.012:

$$i_{pico\ max} \approx \sqrt{2kI_{sh}I_{sb}}$$

Donde:

$i_{pico\ max}$ = Corriente pico *inrush*.

I_{sh} = Corriente de corto circuito en la ubicación del banco de capacitores en valor eficaz.

I_{sb} = Corriente eficaz de banco sencillo de capacitores.

$k = 1.15$, que es un multiplicador para cubrir tolerancias y posibles sobretensiones.

La frecuencia de la corriente de *inrush* está en el rango de 200 a 1000 Hz. Puede ser estimada de manera aproximada utilizando la siguiente fórmula:

$$f_{inrush} \approx f_r \sqrt{I_{sh}/I_{sb}}$$

Donde f_r es la frecuencia nominal y f_{inrush} es la frecuencia de la corriente de *inrush*.

En la Tabla 4.3 se presentan los valores preferidos de corrientes capacitivas nominales establecidos por la IEC-62271-100. En la Tabla 4.4 se presentan las corrientes nominales de operación y corrientes de interrupción que se establecen en la especificación CFE V5000-01.

Nivel Básico de Aislamiento al Impulso (NBAI)

Este requerimiento está basado en el hecho de que las sobretensiones producidas por rayos son una de las causas principales de salidas del sistema y de fallas en el equipo de potencia. La magnitud y la forma de la onda del impulso dependen del nivel de aislamiento de la línea y de la distancia entre el punto de origen del impulso y el punto de la línea que está bajo consideración.

Debido a lo anterior, es difícil establecer un límite superior para estas sobretensiones y, por lo tanto, es impráctico esperar que los interruptores se diseñen para soportar los límites superiores de las sobretensiones.

El objetivo de especificar un nivel de soporte al impulso, es definir la capacidad máxima de un interruptor y el nivel de coordinación de tensión que debe proveer.

El nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI) que se especifica, en realidad sólo refleja las prácticas de coordinación de aislamiento utilizadas en el diseño de sistemas eléctricos, el cual está influenciado por los límites de aislamiento y los requerimientos de protección de transformadores de potencia y otros equipos del sistema.

ANSI especifica únicamente un valor de NBAI para cada clase o nivel de tensión de interruptores, con la excepción de interruptores de 25.8 y 38 kV donde especifica dos valores.

El valor más bajo es propuesto para aplicaciones en sistemas de distribución con estrella aterrizada y equipados con apartarrayos. IEC, en contraste, especifica dos valores de NBAI para todas las clases de tensión, excepto para las clases 52 y 72.5 kV donde sólo se especifica un valor, y para 245 kV donde se proporcionan tres valores.

Los valores de NBAI que especifican las normas ANSI e IEC, para interruptores de clase 72.5 kV y superiores se dan en la Tabla.

Tensión nominal (kV)	Linea en vacío	Cable en vacío	Banco sencillo de capacitores	Banco de capacitores en oposición (<i>back to back</i>)		
	Corriente nominal de carga de la línea I_l (A <i>rms</i>)	Corriente nominal de carga del cable I_c (A <i>rms</i>)	Corriente nominal de interrupción I_{sb} (A <i>rms</i>)	Corriente nominal de interrupción I_{bb} (A <i>rms</i>)	Corriente nominal <i>inrush</i> I_{bi} (kA <i>pico</i>)	Frecuencia de la corriente <i>inrush</i> f_{bi} (Hz)
3.6	10	10	400	400	20	4,250
7.2	10	10	400	400	20	4,250
17.5	10	31.5	400	400	20	4,250
24	10	31.5	400	400	20	4,250
36	10	50	400	400	20	4,250
72.5	10	125	400	400	20	4,250
123	31.5	140	400	400	20	4,250
145	50	160	400	400	20	4,250
170	63	160	400	400	20	4,250
245	125	250	400	400	20	4,250
300	200	315	400	400	20	4,250
420	400	400	400	400	20	4,250
550	500	500	400	400	20	4,250

Nota 1: Los valores dados en esta tabla son seleccionados para propósitos de normalización.
Nota 2: Si se realizan pruebas de *switched* de capacitores conectados en oposición, las pruebas para *switched* de banco sencillo no se requieren.
Nota 3: El pico de la corriente de *inrush* y la frecuencia de esta corriente puede ser más alta o menor que los valores establecidos en esta tabla dependiendo de las condiciones del sistema, por ejemplo, si se usan o no reactores limitadores de corriente.

Valores preferidos de corrientes de *switched* capacitivo nominales establecidos por la IEC-62271-100.

Tensión nominal del interruptor (kV)	Corriente nominal (A)	Corriente de interrupción de cortocircuito (kA)	Corriente de interrupción en cables cargados (cable en vacío) (A)	Corriente de interrupción con línea cargada (línea en vacío) (A)
123	1250	25	140	31,5
	1600	31,5		
	1600 2000	40		
145	1250	31,5	160	50
	1600			
	2000			
	1600	40		
	2000 3150	50		
170	1250	31,5	160	63
	1600			
	2000			
	1600	40		
245	2000	50	250	125
	1600	40		
	2000	31,5		
	1600	31,5		
	1250	31,5		
300	1250	31,5	315	200
	1600			
	2000			
	3150	50		
	1600			
	2000			
420	1600	31,5	400	400
	2000	40		
	1600	40		
	2000	50		
550	2000	40	500	500

NOTA: En caso de requerirse una corriente de interrupción de cortocircuito de 63 kA debe indicarse en las Características Particulares.

Corrientes nominales de operación y corrientes de interrupción establecidos en la especificación CFE V5000-01.

Tensión de soporte con onda cortada

Este requerimiento dieléctrico sólo lo especifica ANSI y fue incluido debido al hecho de que la tensión en las terminales de un apartarrayos tiene una característica plana, sin embargo, a cierta distancia de este, la tensión es ligeramente mayor. Esta característica se consideró en las normas de transformadores donde se especificó una onda que se corta a los 3 μ s.

Una razón adicional para establecer este requerimiento fue eliminar, por razones económicas, el uso de apartarrayos en el lado de línea del interruptor y permitir el uso de explosores de varillas. El valor de tensión pico a 3 μ s está dado como 1.15 veces el NBAI correspondiente.

ANSI					IEC	
Tensión nominal (kV)	Tensión nominal (P.U.)	NBAI (kV)	Onda cortada a 2 μ s (kV)	Onda cortada a 3 μ s (kV)	NBAI (kV)	Tensión nominal (kV)
72.5	4.8	350	452	402	325	72.5
121	4.55	550	710	632	550 450	123
145	4.5	650	838	748	650 550	145
169	4.45	750	968	862	750 650	170
242	3.7	900	1160	1040	1050 950 850	245
362	3.58	1300	1680	1500	1175 1050	362
550	3.26	1800	2320	2070	1550 1425	550

Comparación del NBAI entre los requerimientos de ANSI e IEC.

Soporte con impulso de maniobra

Este requerimiento se aplica a interruptores de clase 362 kV o superiores (ANSI) y de 300kV o superiores (IEC). La razón de que sólo se especifiquen estos requerimientos a estas tensiones, es debido a que a valores más bajos de tensión, el valor pico de la tensión de soporte excede el valor de 3 p.u. Este es el valor que ha sido seleccionado como el máximo impulso de maniobra no controlado que puede encontrarse en un sistema.

En la especificación CFE V5000-01 a esta tensión se le nombra “Tensión de aguante nominal a impulso de maniobra”. En la Tabla 4.6 se presentan los valores que establece la especificación CFE V5000-01 para las tensiones de aguante nominal a la frecuencia del sistema, a impulso de rayo e impulso de maniobra.

Tensión nominal (kV) valor eficaz	Tensión de aguante nominal a la frecuencia del sistema (kV) valor eficaz (1 min.) seco (s) húmedo (h)		Tensión de aguante nominal a impulso de rayo (kV) valor pico seco (s)		Tensión de aguante nominal a impulso de maniobra (kV) valor pico seco (s) húmedo (h)		
	De fase a tierra y a través del interruptor cerrado	De fase a tierra y a través del interruptor abierto	De fase a tierra y a través del interruptor cerrado	De fase a tierra y a través del interruptor abierto	De fase a tierra	Entre fases para interruptor de tanque muerto	A través de las terminales del interruptor abierto
1	2	3	4	5	6	7	8
123	230 (s/h)		550		NA	NA	NA
145 ⁽²⁾⁽³⁾	275 (s/h)		650		NA	NA	NA
170 ⁽⁴⁾	325 (s/h)		750		NA	NA	NA
245	460 (s/h)		1050		NA	NA	NA
300 ⁽²⁾	380 (s/h)	435 (s/h)	1050	1050 (+170)	850	1275	700 (+245)
420	520 (s/h)	610 (s/h)	1425	1425 (+240)	1050	1575	900 (+345)
550 ⁽²⁾	620 (s/h)	800 (s/h)	1550	1550(+315)	1175	1760	900 (+450)

Notas:

(1) Los valores de prueba indicados en esta tabla están referidos a las condiciones normalizadas de 101,3 kPa de presión, 20 °C de temperatura y humedad absoluta de 11 g/m³.

(2) Exclusivamente para los casos de extra alta contaminación y altitudes mayores a 2,500 m.s.n.m.

(3) Exclusivamente para los casos en que se requiera corrientes de interrupción de 50 kA o mayores.

(4) Tensión restringida del sistema de 161 kV.

(5) Los valores especificados en la tabla están basados en un estudio de coordinación de aislamiento realizado por el LAPEM, con los siguientes parámetros principales: Índice de falla del equipo 1/400; Tensión nominal del apartarrayos 210 kV para tensión nominal del sistema de 245 kV; Tensión nominal del apartarrayos de 330 kV para tensión nominal del sistema de 420 kV.

Tensiones nominales y valores de pruebas dieléctricas establecidas en la especificación CFE V5000-01(1)(5).

Niveles de contaminación

La distancia de fuga de fase a tierra se calcula tomando en cuenta la distancia de fuga específica y la tensión nominal de fase a fase del interruptor, conforme lo indicado en la norma IEC 60815, debiendo aplicarse la Tabla 4.7, de acuerdo al nivel de contaminación (medio, alto o extra alto) del sitio de instalación del interruptor. Esta distancia, se debe indicar en las **Características Particulares**, ver Anexo 4 “Cuestionario de características particulares de interruptores de potencia”.

Nivel de contaminación	Distancia específica mínima de fuga (mm/kV _{f-f}) IEC 60815
Medio	20
Alto	25
Extra alto	(*)
Nota: (*) En caso de requerirse equipo para un nivel de contaminación extra alto se debe realizar un estudio, el cual debe ser avalado por el LAPEM. Para tal caso, véase nota (2) de la Tabla 4.6 de tensiones nominales y valores de pruebas dieléctricas.	

Distancia específica mínima de fuga y nivel de contaminación.

TIPOS DE INTERRUPTORES

Introducción

El interruptor es un dispositivo de desconexión el cual, de acuerdo con las normas, está definido como un dispositivo capaz de conectar, conducir e interrumpir corrientes bajo condiciones normales y también conectar y conducir corrientes por tiempo determinado e interrumpirlas bajo condiciones anormales, tales como corrientes de corto circuito.

Conforme se han incrementado las tensiones de operación y las capacidades de corto circuito de los sistemas de potencia, los interruptores de potencia en alta tensión han jugado un papel muy importante en dicho crecimiento. Se han desarrollado diferentes tecnologías, algunas que involucran el uso de medios de interrupción avanzados y continúan siendo estudiadas para lograr equipos más eficientes.

Para efectuar la interrupción de corriente, algunos de los primeros diseños de interruptores, simplemente alargaban el arco a través de un par de contactos en aire; posteriormente se incorporaron estructuras de arco, incluyendo algunas con bobinas de sople magnético, mientras que otros dispositivos usaron como medio de interrupción líquidos tales como aceite.

Algunos de esos primeros diseños han sido significativamente mejorados y algunas variaciones de este tipo de interruptores están todavía en uso, especialmente en aplicaciones de baja tensión, donde actualmente los interruptores de aire son el tipo dominante de interruptores.

Para aplicaciones de interiores en tensiones de 5 a 38 kV, los interruptores en sople de aire magnético fueron los interruptores de elección en los Estados Unidos de Norteamérica en los años setenta, mientras que en Europa y México los interruptores de pequeño volumen fueron muy populares. Por otra parte, para aplicaciones intemperie, para tensiones de 15 a 230 kV fueron muy usados los interruptores de gran volumen y los de sople de aire.

Con la llegada de las tecnologías de vacío y hexafluoruro de azufre, los diseños antiguos de interruptores han sido rápidamente sustituidos y en la actualidad son considerados como tecnologías obsoletas.

Clasificación de interruptores

Los interruptores se pueden clasificar de acuerdo al: nivel de tensión, lugar de instalación, características externas de diseño y método y medio usado para la interrupción de la corriente

Tipos de interruptores por nivel de tensión

El nivel de tensión en el cual se van a usar los interruptores es una clasificación muy amplia que divide a los interruptores en:

- a) Interruptores de baja tensión, son los diseñados para usarse en tensiones de hasta 1000 volts.
- b) Interruptores de alta tensión, son los diseñados para usarse en tensiones superiores a 1000 volts.

Cada uno de esos grupos puede subdividirse. Para el caso de los interruptores de alta tensión estos se subdividen en interruptores de 123 kV y mayores e interruptores de 72.5 kV y menores. Frecuentemente, estos dos grupos son relacionados como interruptores para transmisión e interruptores de distribución respectivamente.

Esta clasificación de los interruptores de alta tensión es la que comúnmente es usada por las normas internacionales ANSI e IEC.

Interruptores por lugar de instalación

Los interruptores de alta tensión pueden ser usados en instalaciones tipo interior y tipo exterior o intemperie. Los interruptores tipo interior son aquellos diseñados para usarse sólo en el interior de edificios o en envolventes resistentes a la intemperie.

Para media tensión en el rango de 4.76 kV a 34.5 kV estos son del tipo interior y están diseñados para usarse en el interior de tableros o cubículos metal clad. La única

diferencia entre los interruptores tipo interior y tipo exterior es la envolvente externa o gabinete. Las partes internas tales como los contactos, las cámaras de interrupción y el mecanismo, en la mayoría de los casos, son los mismos para los dos tipos, siempre y cuando las características nominales de corriente y tensión sean las mismas y que utilicen la misma tecnología para la interrupción de corriente.

Interruptores por características externas de diseño

Desde el punto de vista de su diseño físico estructural, los interruptores para intemperie pueden ser clasificados como interruptores de tanque muerto e interruptores de tanque vivo.

Los interruptores de tanque muerto están definidos por las normas ANSI como un dispositivo de desconexión en el cual la envolvente o tanque está sólidamente aterrizada y aloja las cámaras interruptivas y el medio aislante.

El interruptor de tanque vivo está definido como un dispositivo de desconexión, en el cual las cámaras interruptivas se encuentran soportadas en columnas aislantes y éstas quedan aislando la parte energizada del potencial a tierra.

Los interruptores de tanque muerto presentan ciertas ventajas sobre los interruptores de tanque vivo, entre las cuales se tienen:

- a) Se pueden instalar transformadores de corriente tipo boquilla, tanto en el lado de línea, como en el lado de la carga del interruptor.
- b) Su construcción ofrece una capacidad de soporte sísmico mayor.
- c) Se embarcan ya ensamblados y ajustados desde la fábrica.
- d) Tienen una mejor estética.

Por otra parte, los interruptores de tanque vivo comparados con los de tanque muerto, ofrecen las siguientes ventajas:

- a) Costo menor, ya que no incluye los transformadores de corriente.
- b) Utilizan menor cantidad de fluido para interrupción.
- c) Requiere de menor espacio para su instalación.

Interrupidores por método y tipo de medio de interrupción

En el proceso de desarrollo de las tecnologías para interruptores, los factores principales que han influido en los parámetros de diseño son, el medio aislante y el de interrupción y los métodos para efectuar la extinción del arco eléctrico.

Los medios de interrupción que se utilizaron a principio de siglo fueron el aire y el aceite, siendo notable su funcionalidad y confiabilidad. Posteriormente, al final de la década de los cincuenta, aparecieron dos tecnologías como medios interruptivos, la de vacío y la de gas hexafluoruro de azufre (SF_6). En la actualidad estas dos últimas tecnologías son las líderes en la interrupción del arco eléctrico.

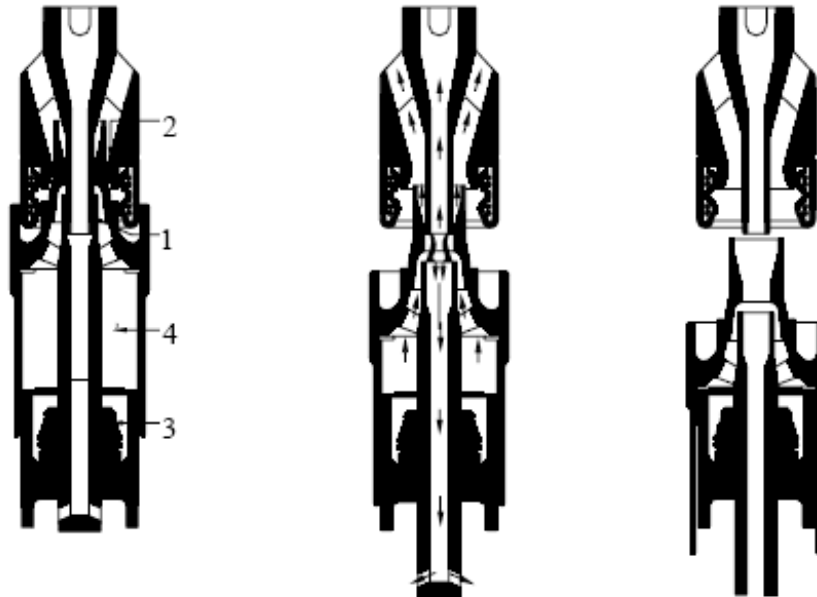
Muchos de los requerimientos especificados en las normas están basados en las características de operación de esos interruptores.

INTERRUPTORES EN SF_6

TERCERA GENERACIÓN DE INTERRUPTORES EN SF_6

Los interruptores de soplo requieren del mecanismo para proporcionar energía para mover el cilindro de la cámara a velocidades en el rango de 6 a 9 $m \cdot s^{-1}$. El movimiento del cilindro comprime el gas SF_6 generando un incremento de presión en la tobera, debido a la compresión y al calentamiento del gas por el arco, que extingue los arcos asociados a las diferentes tipos de fallas. Este proceso tiene como resultado la generación de impulsos complejos y poderosos, los cuales aplican grandes fuerzas de reacción en amortiguadores, sellos, juntas, estructuras y bases afectando la confiabilidad y costo de un interruptor. Las experiencias en este rubro a nivel mundial en las últimas dos décadas dictan que la mayoría de las fallas en interruptores son de origen mecánico. Debido a esto, los fabricantes de interruptores han dirigido sus esfuerzos a producir interruptores simples con mecanismos confiables y económicos. Para lograr esto, han atacado el problema fundamental de reducir las fuerzas en el mecanismo durante la apertura. Este trabajo ha conducido al desarrollo de la tercera generación de interruptores, los cuales son básicamente los mismos interruptores que la segunda generación, con las siguientes mejoras al diseño las cuales son más económicas comparadas con las dos generaciones anteriores de interruptores.

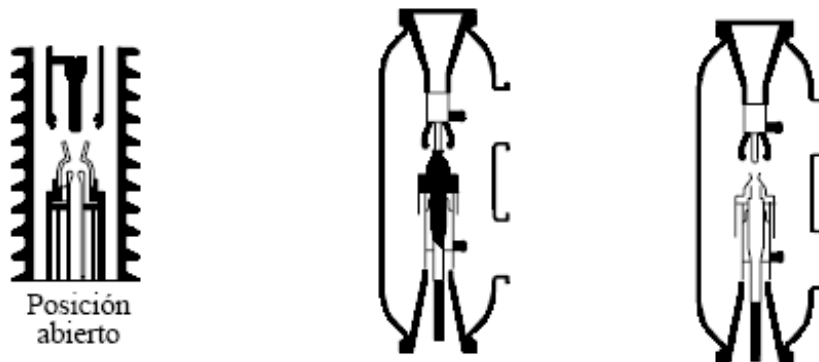
Cámara de un interruptor



En "Posición cerrado" "Durante operación de disparo" En "Posición abierto"

1.- Contacto de arco
2.- Contacto principal

3.- Contacto deslizante
4.- Cámara de compresión



Secciones transversales de las cámaras interruptivas usadas en la primera y segunda generación de interruptores de SF₆.

- Se ha logrado una reducción del 10 al 20% en la energía requerida mediante la optimización del diseño de la cámara interruptiva, la cual asegura que la duración máxima para la corriente más alta no exceda a 21 ms.
- Se ha logrado una reducción del 50 al 60% en la energía mecánica mediante el uso del arco para calentar el gas SF₆, generando suficiente presión para extinguirlo y ayudar al mecanismo durante la apertura.

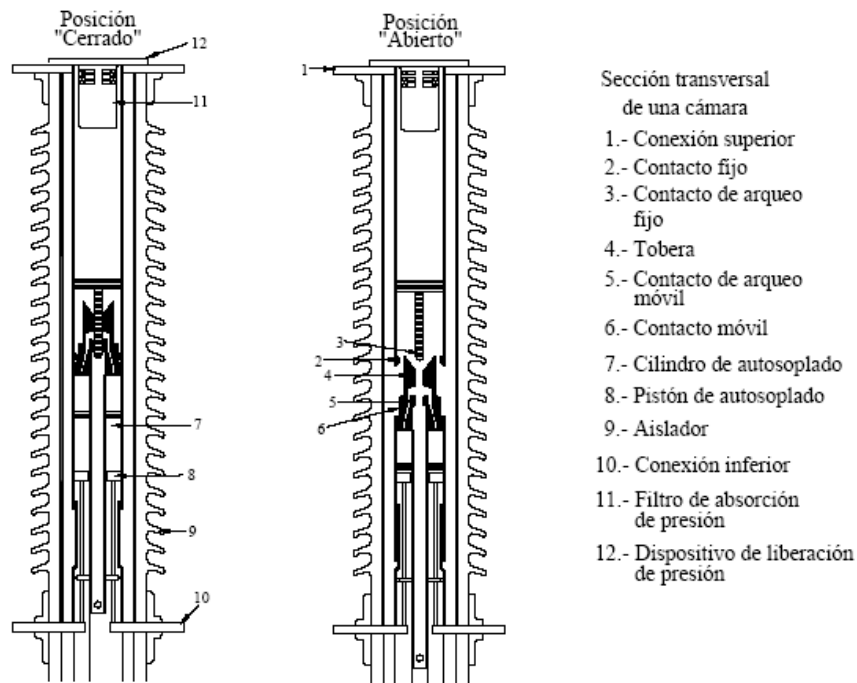
Al menos dos fabricantes han usado exitosamente este principio para producir interruptores de baja energía, como se ilustra en la Figura siguiente. El criterio de diseño depende de la optimización de los volúmenes de las dos cámaras.

- a) La cámara de expansión que proporciona la presión de extinción necesaria a través del calentamiento del gas con la energía del arco.
- b) La cámara de soplo que proporciona presión de gas suficiente para extinguir las pequeñas corrientes inductivas, capacitivas y corrientes de carga.

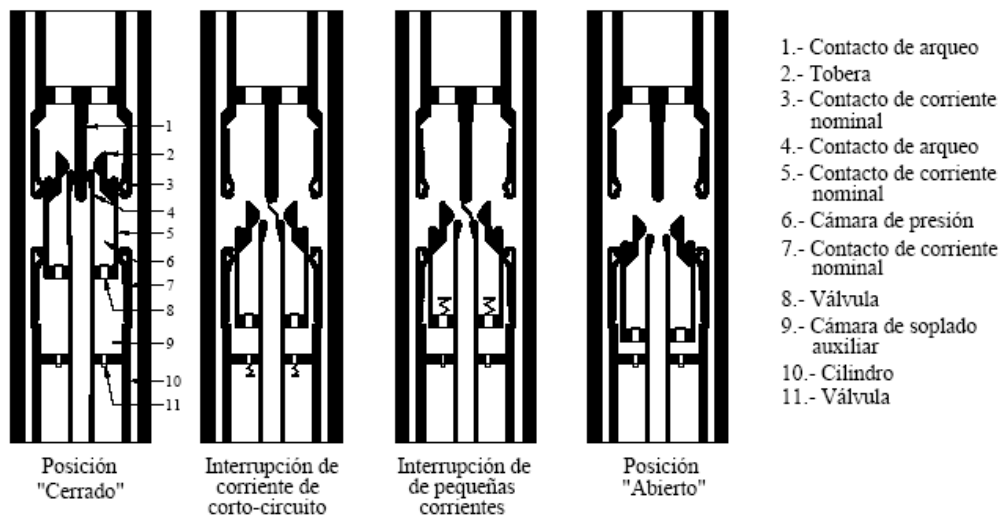
Los tamaños óptimos para esas dos cámaras son determinados por estudios computacionales muy completos, donde se consideran variables tales como las características del arco, energías, perfiles de temperatura, flujos de gas, presiones de extinción y presiones totales.

Las principales ventajas del diseño de los interruptores de la tercera generación son:

- a) Interrupción más suave, que produce sobretensiones bajas en la interrupción de pequeñas corrientes inductivas y capacitivas.
- b) Requiere mecanismos de baja energía, partes móviles más ligeras, dispositivos de amortiguamiento más simples y cargas menores en bases y otros componentes del equipo.
- c) Vida útil mayor, al menos para realizar 10,000 operaciones.
- d) Mayor confiabilidad y menor costo de los interruptores.



1) Cámara de arqueo con principio de extinción optimizado marca ABB



2) Diagrama esquemático de una operación de desconexión, cámara marca AEG

Sección transversal de cámaras interruptivas usadas en los interruptores de la tercera generación.

MECANISMO DE OPERACIÓN

El mecanismo de operación es un componente muy importante en los interruptores. Su función principal es proporcionar los medios para abrir y cerrar los contactos del interruptor. En principio esta función se ve muy sencilla, pero si se considera que cuando los interruptores se ponen en servicio, permanecen en posición de cerrado por largos periodos de tiempo y que cuando se requiere que abran y cierren, deben de ser muy confiables, sin retrasos o lentitud.

Una falla en el mecanismo puede tener consecuencias muy serias. Debido a esto, el mecanismo debe ser extremadamente confiable y consistente para cualquier condición de operación.

Existen tres tipos básicos de mecanismos que son de resorte, neumáticos e hidráulicos o una combinación de ellos, pero lo que es común en ellos, es que todos almacenan energía potencial en algún medio elástico, el cual es cargado por medio de una fuente de baja potencia por un periodo de tiempo. Los mecanismos de resorte dominan las aplicaciones en baja potencia debido a su bajo costo y a su confiabilidad, no requieren dispositivos de supervisión, que es resultado de la simplicidad en el diseño. Los interruptores de soplo requieren de mecanismos más poderosos, por lo que los mecanismos hidráulicos y neumáticos predominan para este tipo de interruptor. Esto no significa que algunos fabricantes usen el mecanismo de resortes para esta aplicación.

Los mecanismos de los interruptores usados por los diferentes fabricantes se agrupan de la siguiente manera:

Neumático-Cierre y Neumático-Apertura

Hidráulico-Cierre y Hidráulico-Apertura

**Resortes-Cierre y Resortes -Apertura
(Cargados por motor)**

Hidráulico-Cierre y Resortes -Apertura

Neumático-Cierre y Resortes -Apertura

El número de secuencias de operación y la consistencia de las características de apertura y cierre determinan el funcionamiento del mecanismo. Aunque las normas establecen que en las pruebas prototipo los interruptores requieren sólo 2000 operaciones satisfactorias para probar su funcionamiento, la tendencia actual es cumplir con 5000 operaciones para demostrar la compatibilidad de estos mecanismos con los interruptores en SF6, los cuales prácticamente son libres de mantenimiento.

La meta de los interruptores de la tercera generación, los cuales están diseñados con mecanismos de baja energía y partes móviles ligeras, es efectuar satisfactoriamente 10,000 operaciones sin causar desgastes excesivos ni rupturas en partes móviles ni fijas del interruptor.

Mecanismo de resortes

El accionamiento de un interruptor basado en resorte contiene los siguientes elementos principales:

- Fuente de energía a través de motor eléctrico en sistema reductor de velocidad formado por corona y tornillo sinfín.
- Acumulador de energía basado en resortes.
- Dos mecanismos, uno de cierre y otro de apertura, que retienen automáticamente la energía proporcionada por los resortes y la liberan a voluntad, por control local manual o bien a distancia, eléctricamente mediante solenoides.
- Elemento amortiguador, generalmente hidráulico, que absorbe la energía sobrante de las maniobras del interruptor, producto de la inercia de los resortes.
- Elemento de protección y control mecánico que impide maniobras falsas, tales como maniobra de cierre durante el periodo de carga de los resortes de mando, límites de carrera de carga de los resortes, inversión de giro de la manivela cuando se desea cargar el resorte manualmente.
- Elementos que automáticamente obligan de nuevo a la carga del resorte (por motor) inmediatamente después del cierre del interruptor, dejando el mando dispuesto en pocos segundos para realizar una maniobra de cierre.
- Elementos de señalización ópticos de la posición del interruptor y los resortes.

Los mecanismos operados por resortes se han usado por muchos años en la aplicación de interruptores. La energía de este tipo de mecanismo, es almacenada en resortes de cierre. Esta energía es utilizada para cerrar el interruptor por medio de una señal que libera un trinquete de cierre. Básicamente, consiste de un motor de carga y una rueda dentada de carga, una leva de cierre, resortes de cierre, resortes de apertura y un varillaje. El motor y la rueda dentada cargan automáticamente los resortes de cierre, lo cual genera la secuencia de cierre de contactos. Los resortes cargados son mantenidos en esa posición por un trinquete que evita rotación de la leva de cierre. Para liberar la energía de los resortes se opera una bobina o solenoide de cierre o una palanca de cierre manual.

Después de la activación de la bobina de cierre se libera un seguro de cierre secundario, mientras que el seguro primario gira hacia abajo debido a la fuerza ejercida por los resortes de cierre cargados, permitiendo la rotación de la leva de cierre que está conectada a las varillas de operación. Conforme la leva gira, acciona el varillaje que a su vez gira la flecha principal de operación provocando el movimiento de los contactos que están conectados a la flecha por medio de barras aislantes. El movimiento del varillaje carga el trinquete de disparo. Este trinquete mantiene al interruptor en posición cerrado. Además de cerrar los contactos, los resortes de cierre proporcionan energía suficiente para cargar los resortes de apertura.

La apertura de los contactos se realiza en forma eléctrica o manual, sin embargo, la apertura manual se utiliza sólo para propósitos de mantenimiento. Cuando se envía una señal de disparo, el seguro de disparo libera el mecanismo de leva. La fuerza producida por el varillaje hace girar el mecanismo de leva liberando los resortes de apertura, los cuales están conectados a la flecha principal de operación, proporcionando la energía necesaria para abrir los contactos del interruptor.

Existen diferentes diseños de mecanismos basados en resortes; por ejemplo, para un interruptor de soplo en SF6 de 31.5 kA de capacidad interruptiva, 36 kV, se requieren resortes de disparo que entreguen una energía de sólo 250 joules. Sin embargo, para un interruptor de 50 kA de capacidad interruptiva y para tensiones mayores a 123 kV, las fuerzas de soplo y las energías se incrementan considerablemente hasta 25 kN y 3 kJ respectivamente, por lo que se requieren mecanismos muy potentes

Una característica importante de este mecanismo es el uso de un resorte de cierre en espiral. Esto simplifica el sistema de acoplamiento, en el cual la salida del resorte y la carga son en sentido de las manecillas del reloj, de modo que el motor está siempre engranado. Con el interruptor abierto, se cargan los resortes de cierre al liberarse un trinquete cerrando el interruptor y simultáneamente carga los resortes de disparo.

El aseguramiento del mecanismo de operación en la posición cerrado, causa cargas simultáneas de los resortes de cierre mediante el motor, permitiendo que el interruptor realice un ciclo de apertura-cierre-apertura. Pudiendo el interruptor ser cerrado bajo falla, éste puede, obviamente abrir inmediatamente.

Para interruptores de 123 a 245 kV se usa una cámara interruptiva por fase acoplada a un mecanismo de cierre común, pero cada cámara interruptiva tiene su resorte de disparo. Para recierre monofásico, necesita un mecanismo de cierre en cada fase. Para

420 kV cada fase consiste de dos cámaras interruptivas montadas sobre una columna equipada con un mecanismo de cierre y un resorte de disparo.



Mecanismo de resorte para un interruptor de gran volumen de aceite, marca General Electric, clase 15.5 kV, 1200 A, 36 kA de capacidad interruptiva.

Mecanismo neumático

Las partes principales de un sistema de accionamiento neumático son las siguientes:

- Fuente de energía formada por un grupo de motor-compresor.
- Tanque para almacenamiento de aire comprimido.
- Conjunto principal de accionamiento: Válvulas de accionamiento, válvulas de conexión, válvulas de desconexión, émbolo de accionamiento, etcétera.
- Solenoides de conexión y desconexión.
- Elementos de control y protección.

- Elementos para señalización de posición del interruptor.

Los mecanismos neumáticos son los usados comúnmente en interruptores de sople de aire, debido a que usan aire comprimido como medio aislante e interruptivo. Esto no significa que este tipo de mecanismos se usen sólo en este tipo de interruptores, ya que también se usan para operar interruptores en aceite y en SF6.

Esos mecanismos generalmente abren y cierran neumáticamente y en algunos casos hay solamente una conexión neumática entre mecanismos y contactos en lugar de conexiones sólidas. Estos mecanismos tienen un tanque para almacenar aire a alta presión que es utilizado para realizar al menos 5 operaciones sin necesidad de recargarlo entre operaciones.

Para el cierre de contactos se aplica aire a alta presión en el pistón a través de una válvula de tres vías. El pistón se mueve hacia arriba transmitiendo la fuerza de cierre a través del varillaje del mecanismo, el cual está conectado a los contactos a través de una varilla aislante.

Aparte de lograr el cierre de los contactos, el mecanismo carga un juego de resortes de apertura y una vez que los contactos están cerrados, un trinquete de disparo es enclavado para mantener el interruptor en la posición de cerrado.

La apertura del interruptor se realiza a través de la energización de un solenoide de disparo que libera el trinquete de disparo provocando la descarga de los resortes de apertura que hacen que los contactos se abran.

Una de las variaciones de los mecanismos neumáticos es usar la fuerza del aire comprimido para realizar, tanto la operación de cierre, como la de apertura.



Mecanismo neumático para un interruptor de SF6, clase 125 kV.

TEORÍA SOBRE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO A INTERRUPTORES

INTRODUCCIÓN

Para asegurar un funcionamiento correcto de un interruptor se deben conocer las condiciones de su medio aislante, de sus mecanismos de operación y de sus contactos, entre otras.

El aislante más importante en un interruptor es el medio donde se extingue el arco. Actualmente, los medios más comunes para extinción del arco eléctrico son el aceite, el aire y el SF6, las boquillas también son parte importante del sistema de aislamiento del interruptor. Para conocer las condiciones del sistema aislante se aplican las pruebas de resistencia de aislamiento y de factor de potencia. De igual forma, para conocer mejor las condiciones del aislamiento, cuando el medio de extinción del arco es aceite se aplican pruebas físico-químicas a éste.

Cuando el medio de extinción del arco es el SF6, para conocer sus condiciones se aplican pruebas físico-químicas, de detección de humedad, de rigidez dieléctrica y de subproductos de descomposición. Por la importancia de las boquillas en el sistema de aislamiento, éstas se evalúan mediante la prueba de capacitancia y factor de potencia.

Por otro lado, la condición de los mecanismos de operación se determina conociendo los tiempos de operación de apertura y cierre de los contactos y por la simultaneidad entre ellos.

En el caso de los contactos, su principal característica es la resistencia, la cual se mide mediante la prueba de resistencia de contacto. A su vez, la corriente volumétrica está compuesta por las corrientes capacitivas, de absorción y de conducción.

Las pruebas de análisis de vibración, de contaminación y de sismicidad también se aplican a los interruptores.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La resistencia de aislamiento es un indicador de la condición del aislamiento de los equipos eléctricos. Por lo tanto, la medición de este parámetro es muy importante en equipos tales como transformadores, interruptores, generadores, etc. Para el caso particular de los interruptores, la resistencia de aislamiento indica las condiciones de humedad y contaminación de sus elementos aislantes, como la porcelana, el medio aislante e interruptivo y demás componentes aislantes (barra de operación, soportes, etcétera).

En teoría, un material aislante debe tener una resistencia infinita y por lo tanto no debe permitir el flujo de corriente a través de él. Sin embargo, cuando se le aplica una tensión de corriente directa (C.D.) a un material aislante, éste deja pasar un flujo de corriente pequeño conocido como corriente de aislamiento. Este flujo de corriente indica que la resistencia del aislamiento tiene un valor finito. A este valor de resistencia se le conoce como resistencia de aislamiento.

Para medir la resistencia de aislamiento en un aislante, se aplica a éste una tensión de C.D. que genera la corriente de aislamiento. Esta corriente de aislamiento está formada por la corriente que circula por el volumen del material, denominada corriente volumétrica y por la corriente que fluye por la superficie denominada corriente de fuga.

A su vez, la corriente volumétrica está compuesta por las corrientes capacitivas, de absorción y de conducción.

La corriente capacitiva o de capacitancia geométrica se genera debido a que el interruptor, al aplicarle una tensión de C.D., forma un capacitor entre sus partes conductoras, materiales aislantes y partes aterrizadas. Al aplicarle la tensión de C.D. al interruptor, éste se carga con una corriente denominada corriente capacitiva. Inicialmente esta corriente tiene un valor grande que disminuye rápidamente con el tiempo. En equipos con mucho volumen de aislamiento y geometría complicada,

como los transformadores de potencia, la corriente capacitiva alcanza un valor despreciable en aproximadamente 15 segundos, pero en el caso de los interruptores, los cuales tienen menor volumen de aislamiento y donde su geometría es más sencilla, la corriente capacitiva alcanza un valor despreciable en aproximadamente 2 segundos. Los tiempos, donde la corriente alcanza un valor despreciable, serían los tiempos de carga del capacitor formado, ya sea por el transformador de potencia o por el interruptor.

La corriente de absorción se genera por la polarización que se presenta en el aislamiento.

La polarización es la orientación de cargas positivas y negativas, debido al campo eléctrico formado por la aplicación de la tensión al aislante. Este proceso de orientación de cargas requiere del consumo de energía proporcionada por una corriente denominada corriente de absorción.

La magnitud de esta corriente decrece exponencialmente desde un valor alto a un valor cercano a cero. Dependiendo del tipo y volumen del aislamiento, esta corriente tarda desde unos cuantos minutos hasta varias horas en alcanzar un valor mínimo. Para cuestiones prácticas en la medición de resistencia de aislamiento en equipos como transformadores de potencia y generadores, esta corriente se considera despreciable después de 10 minutos. En interruptores, se alcanza un valor despreciable en aproximadamente 1 minuto.

La corriente de conducción es la que fluye por el volumen del aislamiento. Esta corriente, es la componente más pequeña de la corriente volumétrica. Esta corriente, a diferencia de las dos anteriores, permanece constante. Representa las pérdidas que se manifiestan en el aislamiento en forma de calor.

Las corrientes de conducción y de fuga, por permanecer constantes en función del tiempo, son las que se utilizan principalmente para conocer la condición del aislamiento de los interruptores.

El comportamiento normal del valor de resistencia de aislamiento en un equipo se inicia con un valor bajo, que tiende a incrementarse en función del tiempo para después permanecer constante. Este incremento se debe a que las corrientes capacitiva y de absorción tienden a cero.

Cuando se tienen aislamientos contaminados y/o degradados, estos se cargan y se polarizan rápidamente, por lo que la magnitud de las corrientes de fuga y de conducción se incrementa. Además, las condiciones ambientales, como humedad y contaminación, ocasionan que la magnitud de la resistencia de aislamiento disminuya.

Con los valores obtenidos de la medición de la resistencia de aislamiento, se obtienen la curva de absorción y los índices de absorción y de polarización del equipo. La curva de absorción se obtiene graficando los valores obtenidos de resistencia en función del tiempo. El parámetro principal de esta curva es su pendiente, conocido como índice de absorción y se calcula como la razón de la magnitud de resistencia a un minuto entre la magnitud de resistencia a 30 segundos.

Asimismo, el índice de polarización se calcula por la razón de la magnitud de la resistencia a 10 minutos entre la magnitud de resistencia a 1 minuto. La siguiente fórmula se emplea para calcular el índice de polarización:

$$\text{Índice de polarización} = \frac{\text{resistencia a 10 min}}{\text{resistencia a 1 min}}$$

Entre más alto sea el índice de polarización mejor será la condición del aislamiento. Valores mayores a 2.0 se consideran buenos, valores entre 1.25 y 2.0 se consideran aceptables y valores menores a 1.25 se consideran malos para aislamientos en operación. Sin embargo, es posible llegar a obtener valores de índice de polarización cercanos a 5.0.

El método más común para medir la resistencia de aislamiento es utilizando un Ohmetro (*Megger*). La prueba con este equipo consiste básicamente en aplicar una tensión de C.D. al aislamiento y registrar los valores de la resistencia de aislamiento a determinados intervalos de tiempo. En la Figura se muestra el diagrama eléctrico de un Megger. En la Figura siguiente se muestra la fotografía de un *Megger* marca AVO, que puede aplicar una tensión máxima de hasta 5 kV de C.D. La prueba de resistencia de aislamiento con este equipo se debe realizar con mucho cuidado y habilidad, ya que de lo contrario, los resultados presentarán fluctuaciones importantes provocadas por factores que afectan la medición.

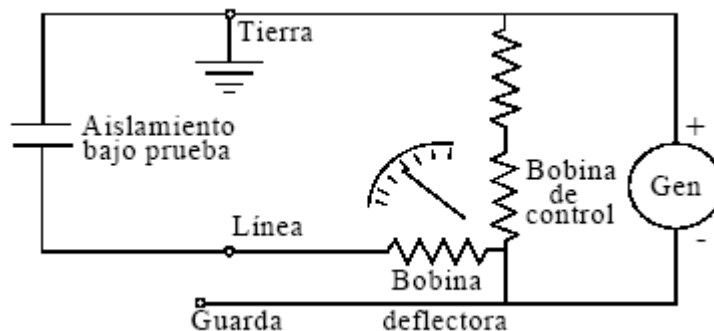


Diagrama eléctrico de un *Megger*.



Megger marca AVO.

Cada uno de estos factores puede causar grandes errores en la medición de la resistencia de aislamiento, los cuales no deben considerarse como problemas del equipo de medición. El error más común al realizar la medición de la resistencia de aislamiento es permitir que los cables de conexión del Megger toquen el tanque del equipo. Al cometer este error se evalúa la resistencia del aislamiento de los cables del Megger en paralelo con el aislamiento del interruptor. Por lo tanto, al realizar la prueba siempre se debe tratar de mantener los cables del Megger lo más separado posible entre ellos y del tanque del equipo bajo prueba. También es recomendable revisar que los cables de pruebas se encuentren en buenas condiciones y que cuenten con las terminales adecuadas para garantizar un buen contacto.

Los factores que más afectan la medición de la resistencia de aislamiento son:

- Humedad.
- Temperatura.
- Contaminación superficial.
- Carga residual.

Aplicación de la prueba a interruptores

Para efectuar esta prueba, se requieren realizar diferentes arreglos para medir la resistencia de aislamiento en un interruptor trifásico.

Dependiendo del tipo de arreglo, se evalúan los diferentes elementos del sistema aislante de los interruptores. Se puede evaluar la porcelana y su medio aislante, el medio aislante e interruptivo de la cámara de extinción, aislamiento entre

fases, aislamiento a tierra, etc. Los procedimientos detallados para efectuar los arreglos para realizar esta medición se presentan en los Anexo

FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

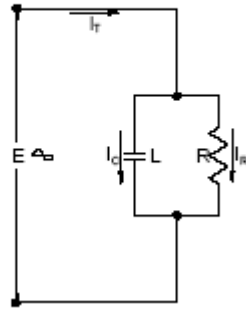
El factor de potencia en un aislamiento se define como el coseno del ángulo entre la tensión aplicada y la corriente total que circula por el aislamiento bajo prueba. El valor del factor de potencia se obtiene directamente a través de la medición de los volt-amperes de carga y las pérdidas en Watts del aislamiento bajo prueba. El circuito de la

El objetivo de la prueba es verificar el grado de humedad o deterioro de los aislamientos mediante la medición de la disipación de energía (pérdidas dieléctricas). La prueba de factor de potencia es muy sensible a pequeños cambios en el aislamiento, causados por degradación, envejecimiento y contaminación, es decir, un pequeño cambio en el estado del aislamiento provoca una variación grande en los resultados de la prueba. Por esta razón, esta prueba se considera más reveladora que la prueba de resistencia de aislamiento. Debido a su sensibilidad, se recomienda que la prueba se aplique desde la puesta en servicio de los equipos. De esta forma, se puede establecer un historial con tendencias que ayude a la detección de fallas incipientes en el sistema aislante de los equipos. Por consiguiente, esta es la prueba de mayor aplicación para evaluar aislamientos con tensión de C.A.

Básicamente, la prueba consiste en medir las pérdidas del aislamiento al aplicar una tensión de C.A. A estas pérdidas se le conoce como pérdidas dieléctricas y se manifiestan como calor. Las pérdidas dieléctricas también pueden ser evaluadas calculando la $\tan \delta$, tangente de pérdidas o factor de disipación. El ángulo δ también se puede observar en la Figura.

Cuando el aislamiento se encuentra en buenas condiciones, las pérdidas son muy pequeñas y por consiguiente el factor de potencia ($\cos \theta$) y la tangente de pérdidas ($\tan \delta$) muy bajos. Como se puede observar en la Figura, es claro que el factor de potencia ($\cos \theta$) es:

$$\text{FACTOR DE POTENCIA (FP)} = \cos \theta = \frac{I_R}{I_T}$$



Circuito equivalente de un aislamiento bajo prueba de factor de potencia.

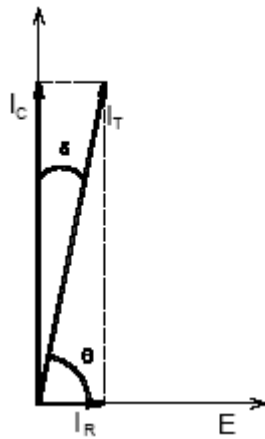


Diagrama fasorial del circuito equivalente.

Mientras que la tangente de pérdidas ($\tan \delta$) es igual a la razón de las corrientes resistiva y capacitiva.

$$\text{TANGENTE DE PÉRDIDAS (TAN } \delta) = \frac{I_R}{I_C}$$

Donde:

I_C = Corriente capacitiva

I_R = Corriente resistiva

I_T = Corriente total

E = Tensión aplicada

Sin embargo, como se puede observar en la Fig. 7.5, para ángulos mayores a 81.5° la corriente IT es aproximadamente igual a la corriente IC . Por lo que en la práctica, se considera que el factor de potencia ($\cos \theta$) es igual a la tangente de pérdidas ($\tan \delta$).

La respuesta de un dieléctrico a la aplicación de una tensión de C.A. está en función de la magnitud y la frecuencia de la tensión, la temperatura, del tipo del dieléctrico, del volumen y de la geometría del dieléctrico bajo prueba. Por lo tanto, las mediciones de factor de potencia y de tangente de pérdidas, deben realizarse en condiciones similares a las que trabajará el aislamiento. De esta manera se obtendrán valores más cercanos a los que se presentan cuando el equipo está operando.

Estas pruebas son una medición de la calidad de un aislamiento y como dependen del tipo, volumen y geometría del aislante, se pueden realizar comparaciones de mediciones realizadas en equipos similares. Para poder hacer la comparación, las pruebas se deben realizar bajo las mismas condiciones. Es decir, aplicando el mismo nivel de tensión, frecuencia y temperatura. La magnitud y la frecuencia de la tensión se controlan con el equipo de prueba. Sin embargo, la temperatura es muy difícil de controlarse, por lo que se requiere hacer la corrección a la temperatura base de 20°C .

Un incremento de las pérdidas es síntoma de degradación en el dieléctrico. Éste puede ser originado por ataques químicos, esfuerzos eléctricos y mecánicos, contaminación superficial y humedad en el aislamiento. Esto provoca que el aislamiento trabaje a una temperatura mayor; lo que acelera la degradación del aislamiento incrementando nuevamente la temperatura, formando así un círculo creciente que degrada el aislamiento.

Debido a lo anterior, es importante aplicar al aislamiento pruebas que detecten cambios pequeños en su condición, como lo son las pruebas de factor de potencia y de tangente de pérdidas.

En la CFE, generalmente la prueba de factor de potencia se aplica a los interruptores de potencia con un equipo de la marca Doble Engineering, aplicando una tensión de prueba de 10 kV de C.A.

En los interruptores de potencia, para realizar la prueba, se conecta el cable de alta tensión a la terminal de la boquilla y se aplica potencial.

Al aplicar la tensión, se establece un campo eléctrico entre el conductor central y las partes aterrizadas del interruptor. Al existir dieléctricos inmersos en un

campo eléctrico se generan pérdidas, que dependen del gradiente de potencial (tensión por unidad de longitud), y de la localización del aislamiento en el campo.

La mayoría de los interruptores de potencia cuentan con seis boquillas idénticas, tres del lado fuente y tres del lado carga. Cuando se aplica la prueba de factor de potencia al interruptor, se energiza y se mide en cada una de las boquillas con el interruptor en la posición abierto. Con el interruptor en posición de abierto se tiene una medición de las condiciones del aislamiento de las boquillas y del medio dieléctrico que éstas contengan.

Además de las mediciones anteriores, se realizan otras tres mediciones con el interruptor en posición de cerrado, aplicando la tensión de forma simultánea a las dos boquillas de la misma fase, es decir, la boquilla del lado fuente y la boquilla del lado carga. Con estas mediciones se obtiene información del estado del medio aislante entre fases o cámaras, los aislamientos de sujeción de las cámaras y de la barra de actuación.

Cuando se mide con el interruptor en la posición de cerrado en interruptores de gran volumen de aceite, las pérdidas dieléctricas de cada fase deben ser iguales a la suma de las pérdidas de la boquilla lado fuente, más las pérdidas de la boquilla lado carga, medidas con el interruptor en la posición de abierto. Cuando la igualdad no se cumple, a la diferencia se le llama índice de tanque. Esta diferencia revela problemas de la barra de accionamiento, en los aislamientos soporte o en el aceite del interruptor.

Una gran ventaja que ofrece esta prueba al aplicarse en interruptores, es que se puede hacer comparación entre las seis boquillas y entre las tres fases. Es decir, el factor de potencia de cada una de las boquillas debe ser muy similar. De igual forma, el factor de potencia entre fases debe ser muy similar. Se recomienda tener cuidado en los interruptores en SF₆, porque en ocasiones estos, cuentan con capacitores de fase a tierra. Estos pueden estar instalados en el lado fuente o en el lado carga y pueden afectar los resultados de la prueba.

PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS AL SF₆

Una de las partes que determinan la vida útil de los interruptores en SF₆ es su medio aislante e interruptivo, además de sus aislamientos sólidos. Debido a esto, es muy importante evaluar la degradación del gas SF₆ respecto al tiempo y a sus condiciones de trabajo para determinar la regeneración o sustitución antes de que dañe al equipo de interrupción.

Las pruebas para controlar la calidad del SF₆ en servicio se realizan con la finalidad de detectar principalmente la presencia de humedad, ácidos, aire y productos de descomposición, que pueden tener efectos adversos en el equipo de

interrupción. Para esto, se requiere considerar que en el SF6 nuevo se encuentran presentes algunas impurezas como resultado del proceso de fabricación. También se requiere considerar que en operación se forman otras impurezas debido a la interacción del SF6 con las descargas eléctricas.

En la actualidad no existen límites máximos aceptables de impurezas en el SF6 en servicio, ya que su formación depende del diseño y localización del equipo: distancias de flameo y de fuga, existencia de arcos dentro del equipo, naturaleza de los materiales que están en contacto con el gas, filtros, imperfecciones en la fabricación, etc. Sin embargo, la experiencia nos dará los límites promedio máximos aceptables para decidir en un momento dado, si es necesario regenerar o reemplazar el gas SF6.

Desde el punto de vista de investigación existen muchas pruebas que podrían realizarse para el control del SF6 en servicio, pero esto por lo general no es práctico.

Con respecto a la frecuencia de realización de las pruebas para el control de calidad del gas SF6 en servicio, se recomienda utilizar el siguiente criterio:

- Cada tres meses durante el primer año de servicio.
- Cada seis meses durante el segundo año de servicio.
- Posteriormente deben realizarse anualmente.

Las pruebas que se consideran adecuadas para evaluar las características del SF6 en servicio son:

- Punto de rocío.
- Rigidez dieléctrica.
- Acidez.
- Contenido de oxígeno.
- Fluoruros hidrolizables.
- Subproductos de descomposición.

Punto de rocío

En general, la mayor cantidad de material condensable en SF₆ nuevo es agua. Para verificar el contenido de agua en el SF₆ existen varios métodos, entre los que están: el método de gravimetría, el método electrolítico y el método temperatura de condensación o de punto de rocío.

Para el conocimiento rutinario del contenido de agua es conveniente usar las técnicas; electrolíticas o de punto de rocío. Estas pruebas se pueden realizar rápidamente en una muestra de gas.

La técnica de punto de rocío consiste en hacer pasar una muestra de gas a través de una celda cerrada, que es expuesta a una superficie enfriada artificialmente (usando generalmente CO₂) y de forma controlada. Cuando la temperatura de la superficie es lo suficientemente baja, se condensan en la superficie impurezas en el gas, como agua o agua más otras sustancias, formando una risa, un rocío visible o una escarcha cristalina.

La temperatura de la superficie a la cual esta condensación permanece estable, es decir, ni crece ni disminuye con el tiempo, es el punto de rocío del gas.

Aunque no existe un valor límite del contenido de humedad en un equipo eléctrico en operación, se recomienda mantener el contenido de humedad debajo de 300 ppm de agua por volumen a una presión de 1 atmósfera (1.033 kgcm⁻²), lo que equivale a un punto de rocío de -25 °C.

Rigidez dieléctrica del SF₆

La resistencia dieléctrica puede ser medida utilizando una celda equipada con una distancia disruptiva que se alimenta de un generador de alta tensión.

Acidez

La acidez en el gas SF₆ es la concentración de ácidos permanentes en partes por millón (ppm) por peso y calculada como ácido fluorhídrico (HF).

Cuando el gas SF₆ se degrada en presencia de descargas eléctricas, humedad u otros materiales, se forman ácidos, que afectan a los materiales que constituyen el equipo eléctrico.

Es necesario realizar esta prueba, no obstante que no existe un valor normalizado para SF₆ en servicio.

Contenido de oxígeno

El contenido de oxígeno debe mantenerse en niveles bajos para evitar la recombinación de los productos de descomposición y en esta forma evitar la corrosión de las partes metálicas del interruptor. El oxígeno puede introducirse accidentalmente durante el proceso de llenado al equipo eléctrico o por procedimientos inadecuados de mantenimiento. De ahí la importancia de esta prueba. En la actualidad no existe un valor normalizado sobre el límite máximo aceptable para que el equipo continúe en servicio sin que sufra daños.

Fluoruro hidrolizable

La cantidad de fluoruros hidrolizables en el gas SF₆ se expresa en partes por millón (ppm) por peso de ácido fluorhídrico (HF). Estos fluoruros se forman durante el proceso de descomposición del gas SF₆. No existe un valor normalizado, por lo que se requiere utilizar la experiencia para definir valores estadísticos y así obtener criterios adecuados.

Subproductos de descomposición

Cuando un arco eléctrico ocurre en un interruptor de SF₆ debido a una falla ó a una operación normal, se generan simultáneamente diferentes productos de descomposición del SF₆. Algunos de estos productos son químicamente estables y otros son inestables.

La generación de humedad y de productos de descomposición del SF₆ dentro de interruptores en servicio puede ser reducida a niveles aceptables por absorción. Materiales como: alúmina, cal-sosa, tamiz molecular o mezclas de ellas están disponibles para este propósito. Estos materiales absorben productos de la acidez gaseosa muy efectivamente y prácticamente de forma irreversible, que al mismo tiempo aseguran que el gas mantenga una baja temperatura de punto de condensación. En muchos equipos eléctricos, se usan filtros estáticos, pero en algunas circunstancias, tales como en los interruptores donde el arco eléctrico puede generar altas concentraciones de productos de descomposición, el gas puede ser circulado por un filtro a través de una bomba.

PRUEBA DE TIEMPOS DE OPERACIÓN

El mecanismo de operación es una parte esencial de los interruptores de potencia. El mecanismo debe estar en condiciones de operar en el momento de recibir una señal de apertura o cierre.

Una operación no adecuada del mecanismo de operación de los interruptores puede ocasionar daños físicos en el mismo interruptor y en otros equipos como

transformadores, generadores, reactores, etc. En este caso, los costos de la reparación de los daños causados por este tipo de fallas es muy caro y puede tomar varios meses. Es por esto muy importante verificar en forma periódica la operación correcta del mecanismo de los interruptores. Esto se verifica con la prueba de tiempos de operación y simultaneidad de contactos.

El objetivo de estas pruebas es analizar el desempeño del interruptor en función de los tiempos de operación, en sus diferentes formas de maniobra, así como la verificación del sincronismo de sus tres fases y de los contactos de una misma fase. Las comprobaciones deben efectuarse en forma periódica en todos los interruptores de potencia, de acuerdo con lo establecido en los manuales del fabricante y en el Manual de Mantenimiento de Subestaciones por sistemas de créditos. Cuando un interruptor no cumple con los tiempos especificados por el fabricante, debe sacarse de operación y someterlo a mantenimiento para tratar de recuperar sus tiempos de operación originales.

Para explicar el principio de esta prueba, primero entenderemos los sucesos en un interruptor al presentarse una falla, analizando la Fig. (Sucesos en un interruptor al presentarse una falla de cortocircuito), en la que se representan los eventos en el interruptor, durante la interrupción de una falla de cortocircuito. En esta figura la línea horizontal central indica el transcurso del tiempo. Las acciones se suceden en el orden siguiente:

- Inicio del cortocircuito.
- Energización de la bobina de disparo.
- Inicio de separación de los contactos.
- Extinción del arco.
- Terminación de la carrera de los contactos.

En esta operación existen tiempos muy importantes que son:

- Retraso del disparo (*Tripping delay*). Este es el tiempo que transcurre desde que se inicia el corto circuito hasta que se energiza la bobina de disparo.
- Tiempo de apertura (*Opening time*). Este es el tiempo que transcurre desde que se energiza la bobina de disparo, hasta que se inicia la separación de los contactos.
- Tiempo de arqueo (*Arcing time*). Es el tiempo que transcurre desde que se presenta el arco eléctrico al separarse los contactos, hasta que se extingue.

- Tiempo de interrupción (*Break time* o *interrupting time*). Es el tiempo que transcurre desde la energización de la bobina de disparo, hasta la extinción del arco eléctrico.
- Tiempo de recierre (*Reclosing time*). Es el tiempo que transcurre desde que se energiza la bobina de disparo, hasta que los contactos hacen contacto nuevamente en la operación de recierre.
- Tiempo de división de los contactos (*Contact parting time*). Es el tiempo que transcurre desde que se presenta la falla, hasta que se inicia la apertura de los contactos.
- Tiempo de eliminación de la falla (*Clearing time*). Es el tiempo que transcurre desde que se inicia la falla, hasta que se extingue el arco eléctrico.

Cada una de las operaciones, apertura y cierre, tiene distintas características. Estas características se describen en los párrafos siguientes. También, se describe la importancia de la simultaneidad en la operación de los contactos.

Operación de apertura

La operación de apertura de un interruptor se compone de dos características; la velocidad de apertura y la distancia total de recorrido del contacto móvil.

La velocidad de apertura está determinada por la rapidez con que se inicia la separación de los contactos. Esto para minimizar la erosión de los contactos por el arco eléctrico y para controlar la duración total de la falla.

La distancia total de recorrido de contactos no es la distancia necesaria para interrumpir la corriente, sino que es el espacio necesario para que el dieléctrico pueda soportar los esfuerzos eléctricos que se presentan durante el proceso de interrupción.

En condiciones sin carga, la velocidad de apertura del interruptor es constante como se muestra en la Fig. (Velocidad de apertura). Para interruptores en vacío, la velocidad de apertura está en el rango de 1 a 2 ms⁻¹. Para interruptores en SF₆ la velocidad de apertura está en el rango de 3 a 6 ms⁻¹.

Operación de cierre

Durante la operación de cierre y conforme los contactos se aproximan, se alcanza un punto en el cual la separación es igual a la distancia mínima de ruptura iniciándose un arco eléctrico. Conforme la distancia entre contactos disminuye, el arco eléctrico se acorta hasta extinguirse, en el momento que los contactos se cierran.

De acuerdo con lo anterior, el arco eléctrico ocurre, tanto en la apertura, como en el cierre de los contactos.

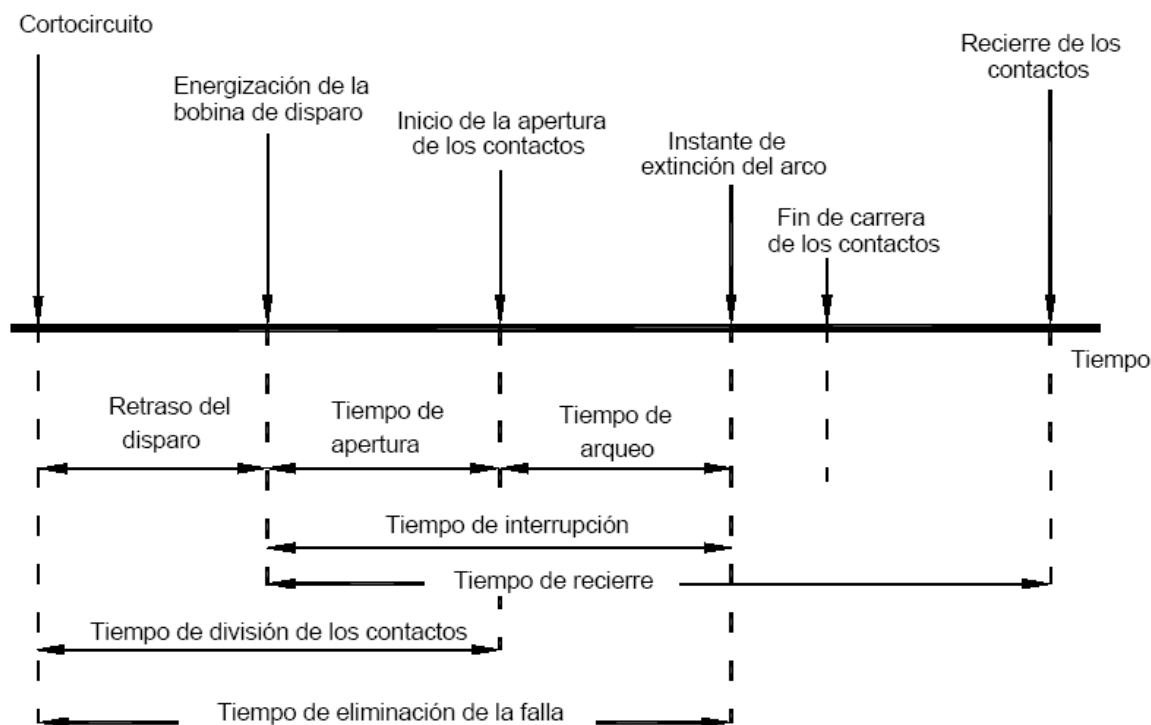
Debido a lo anterior, se requiere que la operación de cierre, también sea rápida.

En condiciones sin carga la velocidad de cierre del interruptor es constante como se muestra en la Fig. (Velocidad de cierre).

Simultaneidad de los contactos

Si los contactos de un interruptor no abren o cierran simultáneamente cuando ocurre una operación de apertura o cierre, la carga sigue demandando la misma potencia al sistema eléctrico, aunque sea en una fase. Esto hace que en la fase más lenta se presente un arco eléctrico muy fuerte que degrada los contactos. Debido a esto, es importante que las operaciones de las fases de un interruptor ocurran simultáneamente.

La simultaneidad adquiere mayor importancia en el caso de interruptores multicámara, con mecanismos de operación independientes por fase, con o sin resistencias de preinserción, debido a que es más probable la pérdida de simultaneidad en la operación entre fases o entre los contactos de una misma fase.



Sucesos en un interruptor al presentarse una falla de cortocircuito.

Pruebas normales

Las pruebas o mediciones para la apertura, cierre y simultaneidad de contactos, se indican en el procedimiento de prueba de sincronismo y tiempos de operación de interruptores SGP-A002-S. Estas mediciones se deben efectuar de preferencia a los valores nominales del interruptor, es decir, presiones de operación de sus cámaras, mecanismos y tensiones de control para cierre y apertura.

Valores de prueba

No existen valores normalizados para los tiempos de operación y de simultaneidad de contactos para todos los tipos de interruptores.

El criterio para determinar si los mecanismos de operación de un interruptor están en buenas condiciones, requiere tomar como referencia los tiempos proporcionados por el fabricante.

El tiempo proporcionado por el fabricante está en función de las normas sobre las que fue fabricado el interruptor y sobre la especificación del pedido de compra. Sin embargo, existen valores generalizados para los tiempos de operación. En el

procedimiento SGP-A002-S se indican los tiempos máximos para la operación de apertura, cierre y simultaneidad para interruptores de 123 a 400 kV.

En la Fig. (Determinación del tiempo de apertura) se presenta la forma en que se determina el tiempo de apertura y en la Fig. (Determinación del tiempo de cierre) se presenta la forma en que se determina el tiempo de cierre.

RESISTENCIA DE CONTACTOS

Los contactos eléctricos son elementos esenciales de los interruptores. Generalmente, un interruptor se compone de un contacto fijo y un contacto móvil, que al estar en posición de cerrado, permiten el flujo de la corriente a través del interruptor. La corriente debe fluir sin sobrecalentarlos, ya que esto puede soldar o degradar su superficie por oxidación.

La forma habitual en que opera un interruptor, abierto o cerrado, puede afectar la resistencia de contacto. Evidentemente, la resistencia de contactos varía por distintas causas, debido a que el interruptor permaneció cerrado por períodos largos o debido a operaciones frecuentes de apertura y cierre.

Los contactos que permanecen cerrados por largos períodos están sujetos a procesos de oxidación que incrementan su resistencia de contacto. En interruptores en SF6 la oxidación se presenta al reaccionar el gas con el material del contacto, formando una capa aislante que reduce el área de contacto e incrementa su resistencia.

Los contactos que operan frecuentemente son afectados por la erosión y por la temperatura del arco, además del desgaste y deslizamiento entre ellos.

La resistencia de los contactos se compone de la resistencia entre ambos contactos (conductores) y de la resistencia de la interfaz entre ellos. La resistencia de los conductores depende de la sección transversal, de la longitud y de las propiedades físicas del material y varía con la temperatura. Por otro lado, la resistencia de la interfaz entre contactos depende y varía con el área efectiva de contacto y de la carga mecánica.

Resistencia de contacto y temperatura del contacto

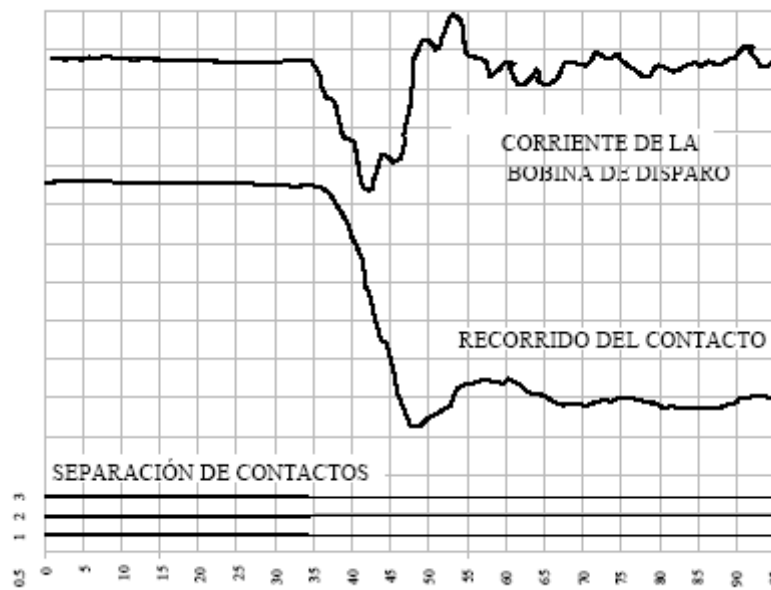
En un arreglo de contactos fijo-móvil de un interruptor, los puntos de contacto entre sus superficies (interfaz), a través de los que fluye la corriente eléctrica, son muy pequeños en relación con su superficie total.

La potencia térmica P desarrollada en el contacto, depende de la intensidad de corriente dada I , y de la resistencia de contacto R_C . Por consiguiente, también depende de la caída de tensión V en el contacto.

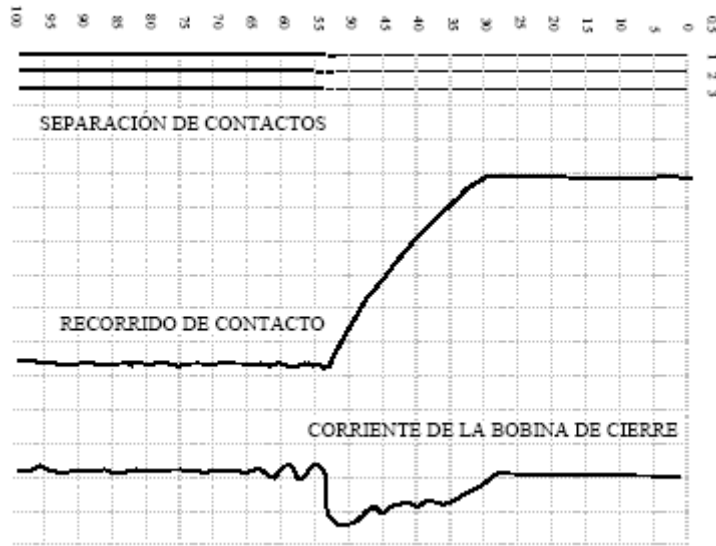
$$P = VI = I^2 R_C$$

A simple vista parece que la calidad de un sistema de contactos depende principalmente de la magnitud del área total de contacto. Sin embargo, los resultados de análisis físicos han demostrado que la calidad de un contacto no depende sólo de su superficie de contacto, sino primordialmente de la carga mecánica y de las propiedades del material con que están fabricados.

La medición de resistencia de contactos nos indica el estado que guardan los contactos. Para realizar esta prueba se emplea un óhmetro de baja resistencia o *Ducter*. Este equipo debe de tener una fuente de alta corriente de 100 A, con el propósito de obtener resultados confiables.



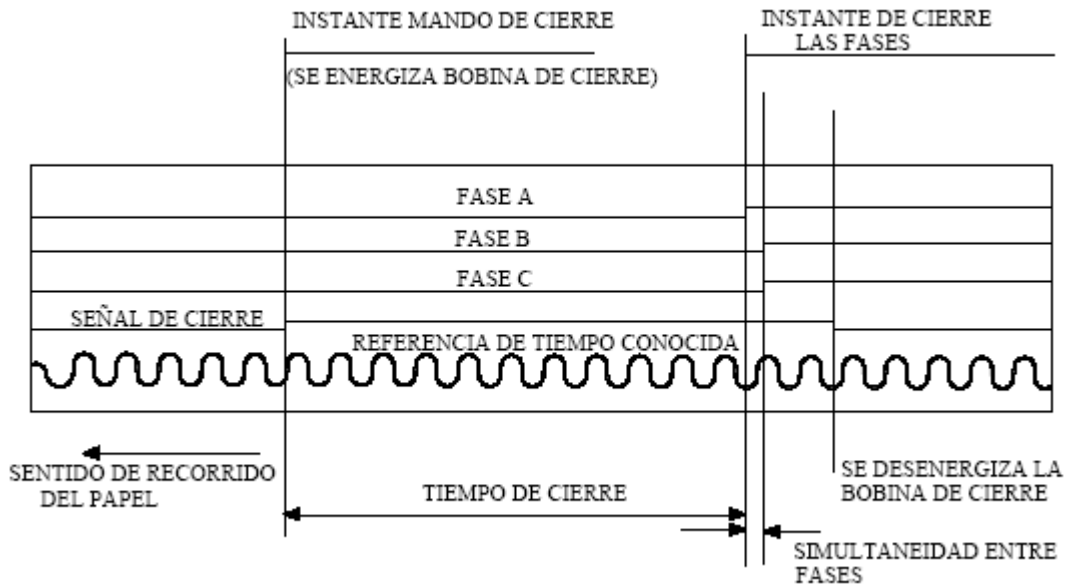
Velocidad de apertura



Velocidad de cierre



Determinación del tiempo de apertura.

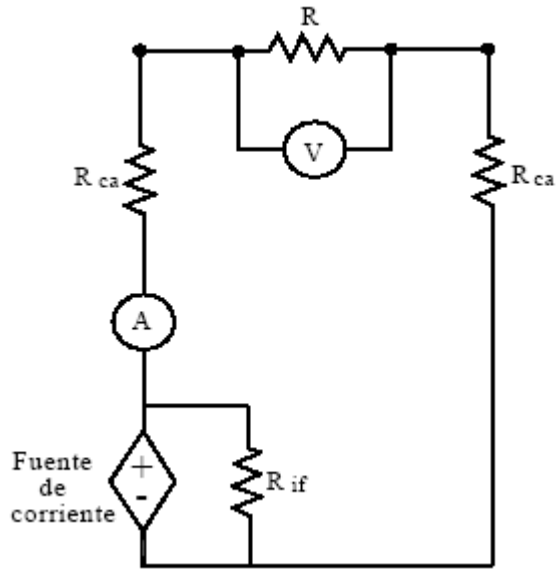


Determinación del tiempo de cierre.

En la Figura siguiente se muestra el circuito eléctrico del *Ducter*. En este circuito se observa que la resistencia bajo prueba R está determinada por:

$$R = \frac{V}{I}$$

Donde; la tensión V se mide directamente en los bornes del equipo bajo prueba, eliminando de esta forma la resistencia (R_{ca}) de los cables con que se aplica la corriente. La corriente I por su parte se mide directamente en la salida de la fuente.



Circuito eléctrico simplificado de un *Ducter*.

La resistencia medida en pruebas de rutina de un interruptor, debe ser comparada con los valores obtenidos en las pruebas prototipo del interruptor o de otros interruptores del mismo modelo. El valor de prueba no deberá exceder en 20 %.

El procedimiento detallado para realizar esta medición se presenta en el anexo. En ese procedimiento, también se proporcionan valores típicos de resistencia de contacto para las diferentes marcas y tipos de interruptores de potencia instalados en las subestaciones de la CFE.

Capitulo III

Montaje y puesta en servicio de un interruptor de potencia de 400kv marca ENERGOMEX

Obra civil y nivelación de las bases de los polos

Para iniciar con el montaje del nuevo interruptor fue necesario derivar los capiteles (bases de concreto) que antes pertenecían al interruptor siemens para eso se contrato a un contratista para que efectuara la obra civil, continuación se muestran imágenes de cómo fue evolucionando la obra civil.



Tras el desmontaje del interruptor siemens los capiteles quedaron como se muestra



Una retroexcavadora poco a poco fue derribando los capiteles



En la imagen se aprecia como se realizan las excavaciones para el lugar que ocupara las trincheras



De esta forma la obra civil va concluyendo

El la obra civil también incluye la nivelación de las bases del interruptor, para poner las bases en el lugar que les corresponde fue necesario la ayuda de una grúa la cual servirá también para el levantamiento de polos y cámara interruptiva.



En la imagen se aprecia como la grúa se encarga de poner la base donde ira montado el polo.

Las bases deben quedar perfectamente niveladas ya que es necesario para que cada polo del interruptor este perfectamente equilibrado en caso de no estarlo se podría llegar a tener un accidente ya que el equipo es de un gran peso.

Montaje de los polos y gabinete tripolar.

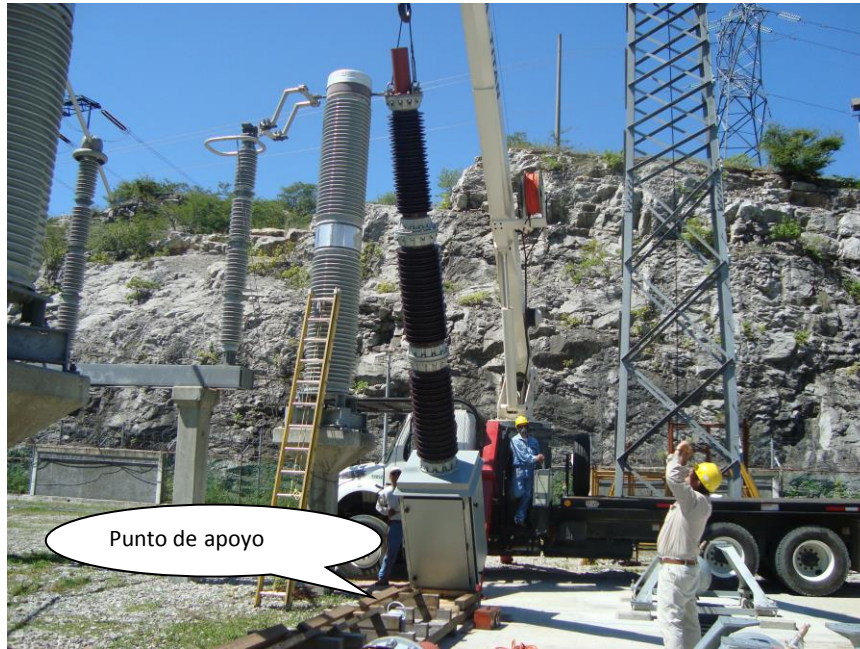
Para el montaje de los polos fue necesario utilizar estorbos a demás es necesario aflojar las patas de las bases para facilitar la unión de base a polo.

El estrobo se asegura en la parte superior del polo y con ayuda de la grúa poco a poco se va levantando.



La imagen muestra la forma correcta de instalar el estrobo.

Para levantar los polos se deben apoyar en la base con la que es transportada para que no sufra daños en la maniobra. En la figura siguiente se muestra la forma en que se debe levantar el polo.



El punto de apoyo es para que no se sobre esfuerce el polo al momento de ser levantado

Una vez levantado el polo se mueve hacia el lugar que le corresponde con mucho cuidado ya que el polo tiene partes delicadas como la porcelana. Ya estando sobre la base le alinea perfectamente para colocar la tortillería adecuada.



Transporte del polo a la base que le corresponde.



Alineación del polo

Nota: todos los trabajos se deben realizar con extrema precaución ya que el equipo que se instala tiene partes frágiles y tiene un peso muy elevado.



Se asegura toda la tortillería

Ya asegurado la tortillería de todo el polo se libera de la grúa y con ayuda de una escalera se quitan los estrobos de maniobra y se prosigue hasta que estén instalados los tres polos.



La figura muestra el polo 1 y polo 2

Una vez instalados los tres polos se continua con la instalación del gabinete tripolar el cual es donde ira concentrado los cables que comunican a los polos y los cables de automatización



Instalación de la base para el gabinete tripolar.

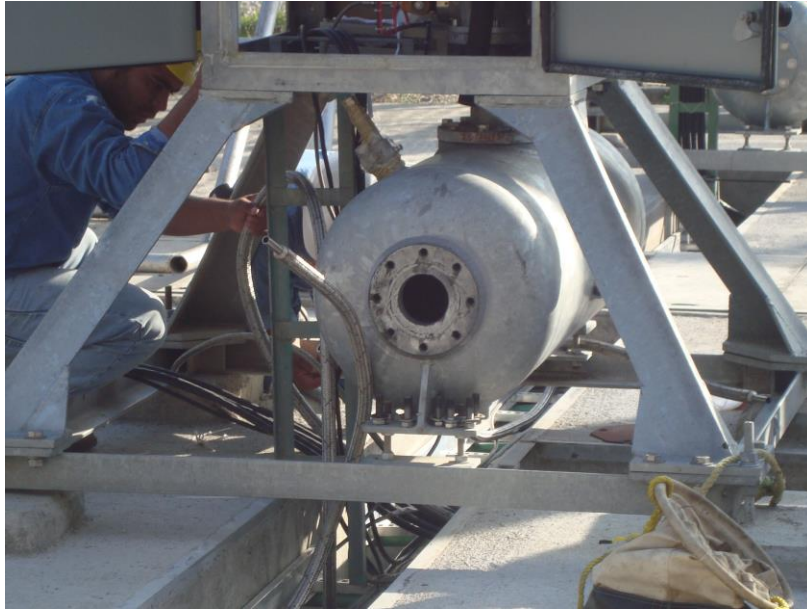
La siguiente actividad a realizar fue la alinear los tanques de aire para poder poner la tobera que une el tanque de aire con el mecanismo del interruptor, además se puso los ductos que alimentaran los tres tanques de aire ya que los tanques deben estar interconectados.



Tobera de conexión



Instalación de tobera



Instalación de ductos y válvulas del sistema de aire.

Cableado

El cableado es una de las partes que hay que tener mucho cuidado ya que si algo está mal conectado se puede tener un corto circuito para, eso la empresa ENERCOMEX brindó a CFE un diagrama de conexión, el cual se encuentra en la sección de anexos

Del diagrama se realizó una lista de cables, la lista se refiere al número de cables y el calibre de cables. Además de marcar en qué terminal debe ir conectado cada uno de los cables, también debe ser etiquetado para facilitar las conexiones.

Cada cable debe ser peinado y colocado de forma correcta en cada polo utilizando zapatas además de proteger con cinta vulcanizable y cinta de aislar las partes donde termina el forro de protección.



Colocación de cinta vulcanizable

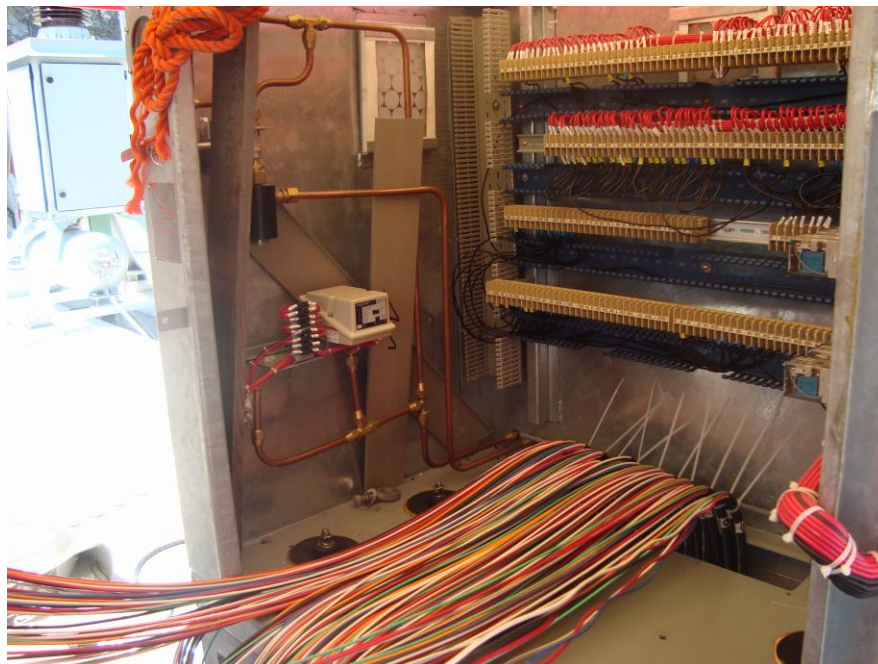


Conexiones el los polos



Conexiones en el polo

En el gabinete tripolar se conectan los cables que comunican a los tres polos con ayuda de la lista que se obtiene del diagrama unifilar.



Gabinete tripolar.



Gabinete ya con las conexiones avanzadas.

Montaje de la cámara de extinción

Para el montaje de la cámara de extinción es necesaria la presencia de técnicos de la empresa ENERCOMEX, la presencia de los técnicos es para que se haga válida la garantía que entregan, los técnicos de ENERCOMEX se encargan del montaje de las cámaras y hacer pruebas al interruptor y ajustar lo para que cumplan con las normas.

Los técnicos de ENERCOMEX en conjunto con trabajadores de CFE preparan las cámaras para que sean instalados, limpian las cámaras y ponen los soportes que mantendrán unidos a la cámara y el capacitor.



Soporte para capacitor

El montaje del capacitor se hace con ayuda de una grúa, la cámara de extinción se le montó dos capacitores y dos conectores para cables. Una vez montados los capacitores y conectores se le ponen los aros equipotenciales los cuales servirán para eliminar el efecto corola y el ruido.



Montaje de los capacitores.



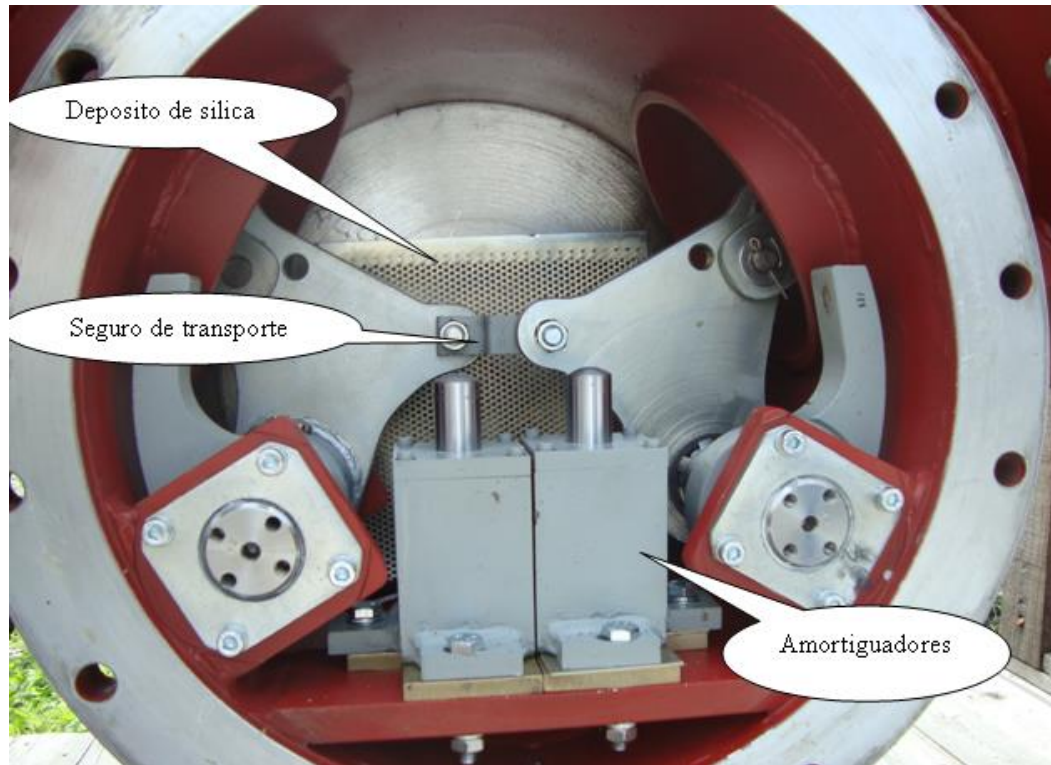
Conectores y aros equipotenciales.

En la parte inferior del interruptor existe una válvula la cual se abre para expulsar el nitrógeno que trae la cámara, la cámara utiliza el nitrógeno solo para transporte.

Después de liberar el nitrógeno se quita la tapa de la parte del centro del interruptor para quitar un seguro que lo utiliza solo para transporte.



Tapa central del interruptor



Parte interna de la cámara de extinción

La cámara de extinción se prepara para ser instalada en el polo esto se hace quitando la tapa de la parte inferior y una vez afuera se eleva con la grúa y se pone un aro equipotencial.



Desmontaje de la tapa inferior



Montaje del aro equipotencial de la parte inferior de la cámara de extinción

En el montaje de cámara de extinción al polo se quita la protección que tiene el polo y se verifica la barras que van conectados a los brazos.



Protección de barras



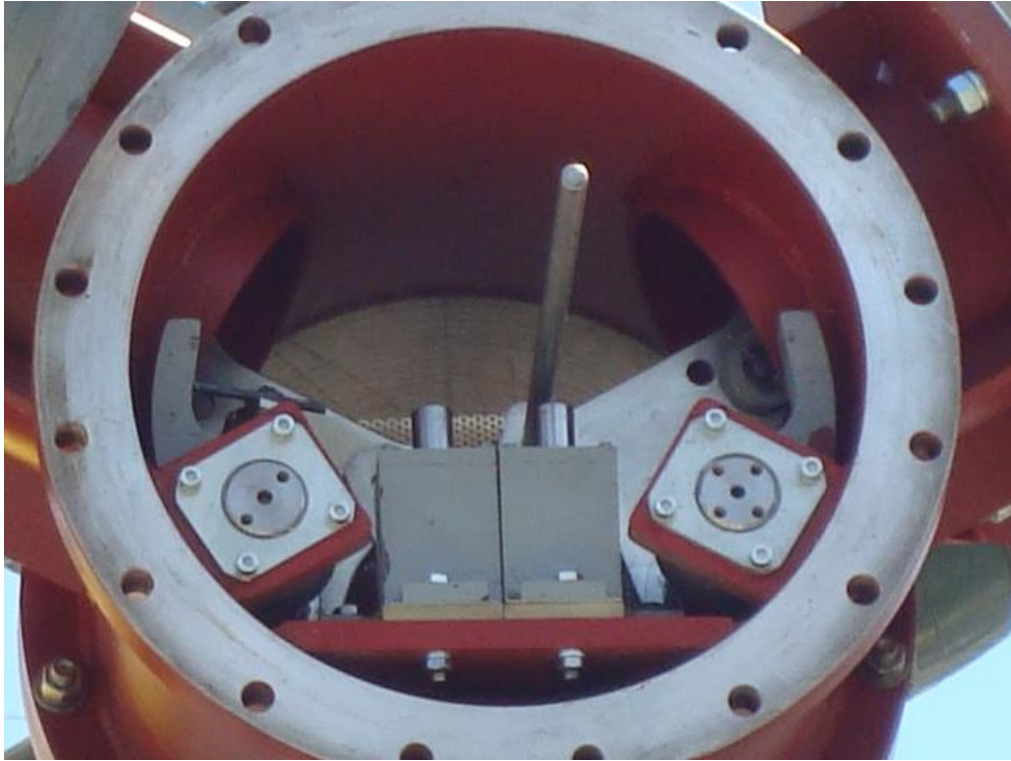
Montaje de cámara de extinción

En el trabajo de montaje se necesita de una gran precisión para alinear por eso es necesario un operador de grúa con experiencia por que el equipo no debe ser sometido a sobreesfuerzos.



Se alinea perfectamente

Una vez en su lugar se atornilla bien a una y en la parte interior se colocan las barras en cada brazo y se ponen los pernos, posteriormente se sube la tapa y asegura con esto se concluye la maniobra de poner una cámara de extinción, el mismo paso se lleva a cabo para la instalación de las siguientes dos cámaras.



Maniobra para poner la barra en el brazo de la cámara de extinción



Colocación de la tapa

Vacío de los polos y llenado con gas SF6

Una vez concluido la maniobra de montaje de las cámaras se prosigue a hacerle el vacío a los polos con ayuda de la máquina Dilo.

La máquina Dilo es una regeneradora de gas SF6, la cual es capaz de hacer el vacío, limpieza al gas.

El vacío se realiza por una hora por cada polo



Máquina Dilo



Vació al polo 2

Una vez concluido el vació se le inyecta gas sf6 a una presión de 5.2 bar. Y se deja reposar para que el gas se reacomode ya que las lecturas en las pruebas podrían dar erróneas si se miden en el mismo momento que se inyecta el gas. Además se verifica que no exista ninguna fuga.

Pruebas preoperativas

Una vez que se le dio tiempo al gas SF6 del interruptor para que recuperara sus propiedades químicas se inicia con la inspección para verificar que no existan fugas, tras no encontrar anomalías se procede a iniciar con las pruebas las cuales son:

- Punto de rocío
- Resistencia de contactos
- Tiempos de operación
- Resistencia de aislamiento
- Factor de potencia

Prueba de punto de rocío

La prueba se llevó acabo con el equipo de la marca Dilo perteneciente a los fabricantes de ENERGOMEX en los cuales los resultados son los siguientes:

En el polo de la fase A: -63.3°C

En el polo de la fase B: -62.9°C

En el polo de la fase C: -51.7°C



Polo de la fase A



Polo de la fase B



Polo de la fase C

Los valores que arrojaron las pruebas fueron positivos ya que los valores aceptados de esta prueba deben ser menores a -20°C por lo cual se comprobó que el gas SF₆ se encuentra en buenas condiciones.

Prueba de resistencia de contactos

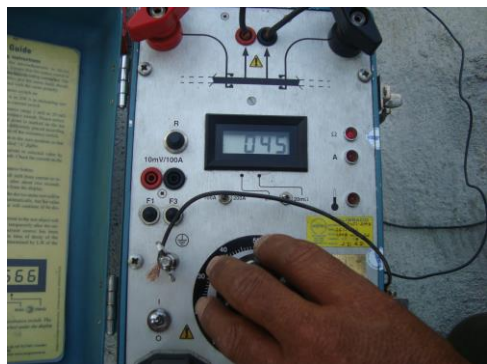
Para realizar la prueba se utilizó el equipo de los fabricantes, la prueba consistió en conectar cámara por cámara y otra uniéndolas las dos cámaras del polo por lo cual en cada polo se obtenían 3 valores además se inyectaba una corriente de 100 A. y los resultados eran en microhm. Las lecturas se hicieron en el siguiente orden:

Polo de la fase A:

Cámara 1: $45\text{ m}\Omega$

Cámara 2: $43\text{ m}\Omega$

Total: $101\text{ m}\Omega$



Cámara 1



cámara 2



Total

Polo de la fase B:

Cámara 3: 42 mΩ

Cámara 4: 45 mΩ

Total: 104 mΩ



Cámara 3



cámara 5



Total

Polo de la fase C:

Cámara 5: 45 mΩ

Cámara 6: 45 mΩ

Total: 101 mΩ



Camara5



Cámara 6



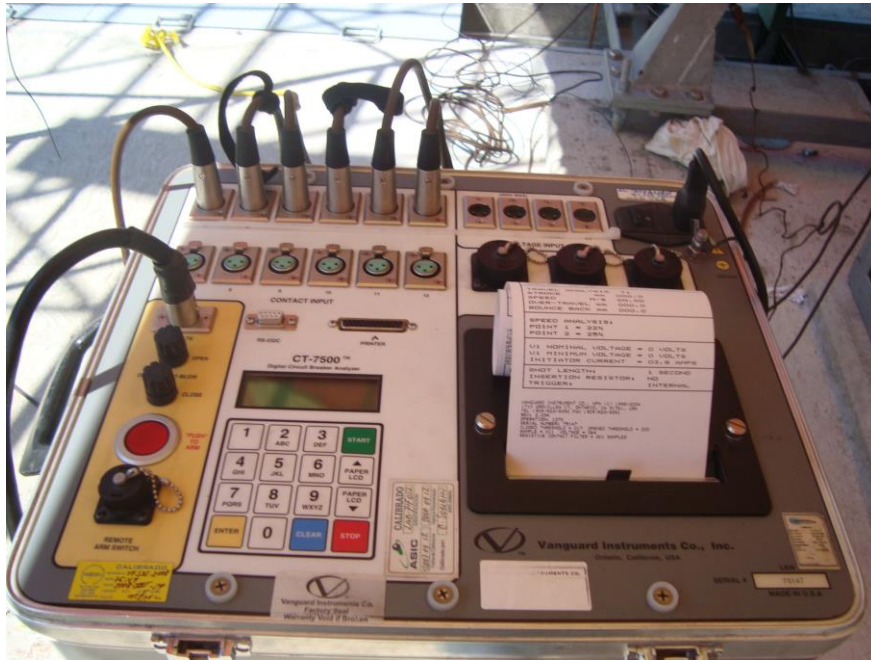
Total

Prueba de tiempos de operación

En las pruebas de tiempo de operación se realizaron las siguientes:

- Disparo 1
- Disparo 2
- Cierre
- Simultaneidad de contactos

Se utilizó el equipo Vanguard instruments y se comprobó con el TDR9000 de la marca DOBLE, gracias a estas pruebas se detectaron que al disparo 1 los polos no cubrían las necesidades para cumplir la norma, por lo cual se verificó la parte electromecánica y se detectó que una electroválvula no estaba realizando su trabajo de forma eficiente por lo tanto el fabricante solicitó un repuesto a su empresa con esto se sincronizaron de forma perfecta.



Equipo vanguard para pruebas de tiempo de operación



Equipo TDR9000



Cambio de electroválvulas

Los resultados que imprimió el equipo son la siguiente en los cuales señala cuales son los valores aceptados y los valore erróneos.

BREAKER TIMING RESULTS - 60 Hz

SHOT NUMBER: 0079
 DATE: 10/20/09 TIME: 12:37:07

COMPANY: SUBAREA CHICDASEN
 STATION: CHICDASEN
 CIRCUIT: 20 145
 MFR: ENERGO MEX
 MODEL: SFE 16 2
 S/N: 20 141
 OPERATOR: MAR

TEST: OPEN I

CH	TIME	CYCLE	BOUNCE	WIPE
	<ms>		<ms>	<mm>
1	028.90	01.73	000.20	000.0
2	029.00	01.74	000.20	000.0
3	030.20	01.81	000.20	000.0
4	030.10	01.81	000.10	000.0
5	030.60	01.84	000.90	000.0
6	030.40	01.82	000.20	000.0

DELTA TIME <ms>: 001.70

CT CHANNEL ANALYSIS
 TIME CYCLE
 <ms>
 000.00 00.00

TRAVEL ANALYSIS T1
 STROKE mm 000.0
 SPEED M/S 00.00
 OVER-TRAVEL mm 000.0
 BOUNCE BACK mm 000.0

SPEED ANALYSIS:
 POINT 1 = 22%
 POINT 2 = 25%

U1 NOMINAL VOLTAGE = 0 VOLTS
 U1 MINIMUM VOLTAGE = 0 VOLTS
 INITIATOR CURRENT = 03.9 AMPS

SHOT LENGTH: 1 SECOND
 INSERTION RESISTOR: NO
 TRIGGER: INTERNAL

Disparo 1

BREAKER TIMING RESULTS - 60 Hz

SHOT NUMBER: 0079
 DATE: 10/20/09 TIME: 12:50:11

COMPANY: SUBAREA CHICDASEN
 STATION: CHICDASEN
 CIRCUIT: 20 145
 MFR: ENERGO MEX
 MODEL: SFE 16 2
 S/N: 20 141
 OPERATOR: MAR

TEST: OPEN II

CH	TIME	CYCLE	BOUNCE	WIPE
	<ms>		<ms>	<mm>
1	030.70	01.84	000.20	000.0
2	030.80	01.85	000.10	000.0
3	031.20	01.87	000.10	000.0
4	031.10	01.87	000.10	000.0
5	032.50	01.95	000.90	000.0
6	032.30	01.94	000.10	000.0

DELTA TIME <ms>: 001.80

CT CHANNEL ANALYSIS
 TIME CYCLE
 <ms>
 000.00 00.00

TRAVEL ANALYSIS T1
 STROKE mm 000.0
 SPEED M/S 00.00
 OVER-TRAVEL mm 000.0
 BOUNCE BACK mm 000.0

SPEED ANALYSIS:
 POINT 1 = 22%
 POINT 2 = 25%

U1 NOMINAL VOLTAGE = 0 VOLTS
 U1 MINIMUM VOLTAGE = 0 VOLTS
 INITIATOR CURRENT = 03.9 AMPS

SHOT LENGTH: 1 SECOND
 INSERTION RESISTOR: NO
 TRIGGER: INTERNAL

UNGUARD INSTRUMENT CO., HPN (C) 1998-2004
 1710 GREVILLE CT., ONTARIO, CA 91761, USA
 TEL (909)923-9390 FAX (909)923-9391
 REV: 2.034
 OPERATION: 1262
 SERIAL NUMBER: 75147


Disparo 2

BREAKER TIMING RESULTS - 60 Hz				
SHOT NUMBER: 0079				
DATE: 10/20/09 TIME: 14:16:04				
COMPANY: SUBAREA CHICDASEN				
STATION: CHICDASEN				
CIRCUIT: 20 145				
MFR: ENERGO MEX				
MODEL: SFE 16 2				
S/N: 20 141				
OPERATOR: MAR				
TEST: CLOSE				
CONTACT TIME				
CH	TIME	CYCLE	BOUNCE	WIPE
	<ms>		<ms>	<mm>
1	112.10	06.73	000.30	000.0
2	111.90	06.71	000.50	000.0
3	111.50	06.69	000.30	000.0
4	111.70	06.70	000.50	000.0
5	112.40	06.74	001.50	000.0
6	113.30	06.80	000.30	000.0
DELTA TIME <ms>: 001.80				
CT CHANNEL ANALYSIS				
TIME	CYCLE			
<ms>				
000.00	00.00			
TRAVEL ANALYSIS T1				
STROKE	mm	000.0		
SPEED	M/S	00.00		
OVER-TRAVEL	mm	000.0		
BOUNCE BACK	mm	000.0		
SPEED ANALYSIS:				
POINT 1 = 22%				
POINT 2 = 25%				
U1 NOMINAL VOLTAGE = 0 VOLTS				
U1 MINIMUM VOLTAGE = 0 VOLTS				
INITIATOR CURRENT = 03.8 AMPS				
SHOT LENGTH: 1 SECOND				
INSERTION RESISTOR: NO				
TRIGGER: INTERNAL				

Cierre

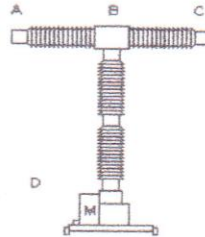
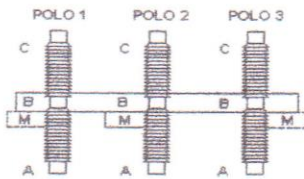
Resistencia de aislamiento

Esta prueba se realizó con un equipo perteneciente a CFE de la marca Vanguard, los datos obtenidos se vaciaron en el formato de la siguiente imagen. Dichos datos están dentro de los valores permisibles para que el equipo tenga un correcto funcionamiento.

 <small>Comisión Federal de Electricidad</small>	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD SUBDIRECCIÓN DE TRANSMISIÓN GERENCIA REGIONAL DE TRANSMISIÓN SURESTE FORMATO DE PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO PARA INTERRUPTORES DE DOS CÁMARAS	HOJA 1 DE 2 CLAVE: R-SES-15-05 REVISIÓN: 5 FECHA DE ELABORACIÓN 28/05/2004
--	---	--

ANEXO N° 5 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A INTERRUPTORES DE DOS CÁMARAS

ZONA <u>TUXTLA</u>	S.E. <u>400 KV. MMT</u>	INTERRUPTOR No. <u>A 8880</u>	FECHA <u>21/06/09</u>
MARCA <u>ENERGOMEA</u>	TIPO _____	No. DE SERIE <u>20-141</u>	MECANISMO <u>NEUMÁTICO CON RESORTE</u>
KV NOM. <u>400</u>	AMP. NOM. <u>2500 (3150A)</u>	CAPACIDAD INT. _____	MEDIO EXT. <u>SF6</u>
TEMP. AMB. <u>32</u> °C % HR _____	FECHA PUESTA EN SERVICIO _____	FECHA ÚLTIMA PRUEBA _____	
No. DE OPERACIONES : ANTERIOR _____	ACTUAL _____	DIFERENCIA _____	OP. DESDE ÚLTIMO MANTTO. COMPLETO _____
EQUIPO DE PRUEBA: MARCA <u>VANGUARD</u>	TIPO _____	No. DE SERIE _____	



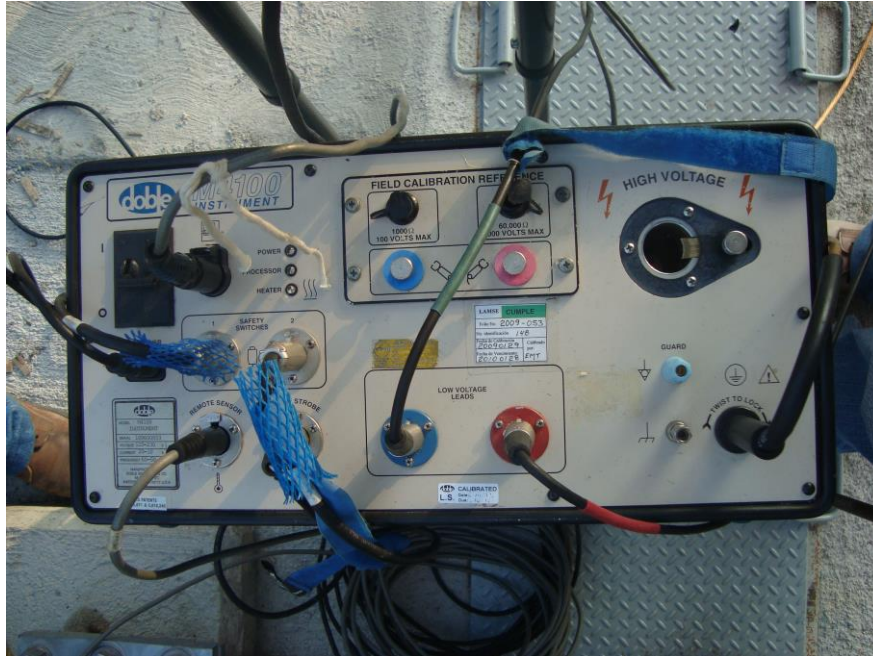
PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DE INTERRUPTOR ABIERTO

	M	I	D	E	L	G	T	LECTURA	MULT.	M	
										ANTERIOR	ACTUAL
POLO 1	BA	B	CD	A				2.8436 T			
	BC	B	AD	C				2.1573 T			
	BD	B	AC	D				2.3098 T			
POLO 2	BA	B	CD	A				1.4186 T			
	BC	B	AD	C				3.0816 T			
	BD	B	AC	D				169.33 G			
POLO 3	BA	B	CD	A				4.1392 T			
	BC	B	AD	C				2.4081 T			
	BD	B	AC	D				1.1456 T			

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS _____	OBSERVACIONES _____
VALORES MÍNIMOS ACEPTABLES : 40,000 MEGAOHMS	
REALIZÓ: <u>JOSE A JIMENEZ LACANA</u>	REVISÓ: _____
ELABORÓ JLD	REVISÓ AAV
	APROBÓ CVC

Prueba de factor de potencia

La prueba se realizó con el equipo doble modelo M4100 el cual pertenece a CFE. Para hacer la prueba el equipo inyecta un voltaje de 10 KV. Además, se mide la temperatura ambiente, el porcentaje de humedad y se ingresa al equipo para que la prueba tome en cuenta las condiciones ambientales en que se encuentra.



M4100

Las pruebas se realizan polo por polo los resultados los envía a una computadora la cual es conectada por puerto serial, los resultados son los siguientes:

Dato de Placa

Fecha (DD/MM/AA)	14/10/09	Hora	10:58 AM
Compañía	CFE		
Localización	S E DE400 Kv M M T		
Equipo	INT. A 8880 NUEVO ENERGO MEX		
Número de Serie	20.141		
Fabricante	ENERGOMEX		
Identificación especial	A8880		
Designación de circuito	A8880		

Información Administrativa

Verificado por	Omar Ocampo	Probado por	Jose A Jimenez
Controlador Número	109600853	Hoja Número	1/1
Instrumento Número	lap top		

Condiciones de Prueba

Clima	Soleado	Temperatura de Aire	33 °C
Humedad	34 %	Temperatura de Aceite	

Resultados de Prueba

No	ID Prueba	C	Desc.	L	Circ.	kV	mA	Watts	Med.	Corr.	Corr.	Cap./	R	T
									%FP	Fctr	%FP	Ind.		
1	FA A8881	A	UST-R			10.00	7.531	0.124	0.165	1.00	0.165	1997.71 pF		
2	FA A8882	A	UST-A			10.00	7.545	0.129	0.171	1.00	0.171	2001.39 pF		
3	FA SUMA DE CAMARAS	A	UST-RA			10.00	15.079	0.255	0.169	1.00	0.169	3999.67 pF		
4	FA COLUCNA	A	GUARDA-RA			10.00	0.262	0.012	0.445	1.00	0.445	69.54 pF		
5	FA TOTAL	A	TIERRA-RA			10.00	15.341	0.270	0.176	1.00	0.176	4069.22 pF		
6	FA CERRADO	A	TIERRA-RA			10.00	0.586	0.014	0.238	1.00	0.238	155.33 pF		
7	FB A8881	A	UST-R			10.00	7.525	0.135	0.180	1.00	0.180	1996.12 pF		
8	FB A8882	A	UST-A			10.00	7.541	0.117	0.155	1.00	0.155	2000.34 pF		
9	FB SUMA DE CAMARAS	A	UST-RA			10.00	15.069	0.256	0.170	1.00	0.170	3997.06 pF		
10	FB COLUMNA	A	GUARDA-RA			10.00	0.219	0.010	0.471	1.00	0.471	58.14 pF		
11	FB TOTAL	A	TIERRA-RA			10.00	15.287	0.263	0.172	1.00	0.172	4055.05 pF		
12	FB CERRADO	A	TIERRA-RA			10.00	0.935	0.255	2.731	1.00	2.731	247.79 pF		
13	FC A8881	A	UST-R			10.00	7.499	0.121	0.161	1.00	0.161	1989.23 pF		
14	FC A8882	A	UST-A			10.00	7.503	0.093	0.123	1.00	0.123	1990.34 pF		
15	FC SUMA DE CAMARAS	A	UST-RA			10.00	15.005	0.214	0.143	1.00	0.143	3980.23 pF		
16	FC COLUMNA	A	GUARDA-RA			10.00	0.257	0.011	0.431	1.00	0.431	68.28 pF		
17	FC TOTAL	A	TIERRA-RA			10.00	15.259	0.227	0.149	1.00	0.149	4047.56 pF		
18	FC CERRADO	A	TIERRA-RA			10.00	0.588	0.012	0.195	1.00	0.195	156.09 pF		

Parámetros de CL (Configuración de Línea):

- A = Ref. a 10 kV, Modulación de Frecuencia de línea, 60 Hz
- B = Ref. a 10 kV, Modulación de Frecuencia de línea, 50 Hz
- C = Ref. a 10 kV, Inversión de Sincronización de línea
- D = Valores actuales, Modulación de Frecuencia de línea, 60 Hz
- E = Valores actuales, Modulación de Frecuencia de línea, 50 Hz
- F = Valores actuales, Inversión de Sincronización de línea

Temperatura y Humedad del Aire

Número de Prueba	Fecha de Prueba	Hora de Prueba	Temp. de Aire	Humedad
1	21/10/09	10:05 AM	31 °C	41 %
2	21/10/09	10:05 AM	30 °C	42 %
3	21/10/09	10:06 AM	30 °C	42 %
4	21/10/09	10:07 AM	31 °C	41 %
5	21/10/09	10:08 AM	32 °C	39 %
6	21/10/09	10:27 AM	31 °C	38 %
7	14/10/09	11:54 AM	35 °C	42 %
8	14/10/09	11:55 AM	35 °C	42 %
9	14/10/09	11:56 AM	35 °C	42 %
10	14/10/09	11:57 AM	35 °C	43 %
11	14/10/09	11:58 AM	35 °C	43 %
12	14/10/09	11:26 AM	32 °C	48 %

Puesta en servicio

Para la puesta en servicio fue necesario poner los puentes los cuales fueron hechos a la medida con cable de aluminio con alma de acero, estos puentes son los que se encargaran de que el voltaje pase a través de interruptor.



Puentes

Además debe ser moldeada perfectamente para que tenga una buena presentación.

Posteriormente se verifica las alarmas de:

- Baja presión de gas o aire
- Bloqueo

A los cuales se les regula para que trabajen de forma correcta. Con ayuda del departamento de protecciones se realizan las pruebas de:

- Prueba de disparo por protección de sobre corriente de fase
- Prueba de disparo por protección de sobre corriente de neutro
- Prueba de diferencial de transformador a la fase y al neutro

Los cuales funcionan de manera adecuada y se toma la decisión de entregar el equipo para que se encuentre a disposición del sistema.

Por último para concluir se realiza una minuta con la cual se inicia el historial del equipo. En los anexos se presenta una copia de dicha minuta.

Conclusión


De acuerdo al programa de modernización en la subestación Manuel Moreno Torres los trabajos de montaje y puesta en servicio del interruptor MMT-A8880 marca ENERGOMEX tipo SFE 16-2 de 400Kv, fue satisfactorio ya que gracias a al montaje aprendí y practique muchos de los conocimiento que se me enseñaron en la institución.

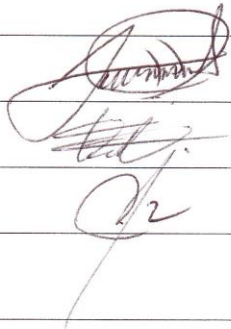
Además gracias a la pruebas que se realizaron se encontró que el equipo necesitaba ajustes los cuales fueron corregidos y al momento de ponerse aprueba con carga el equipo funciono de forma adecuada, dejando a cada trabajador que estuvo en el montaje una satisfacción de haber hecho bien el trabajo cumpliendo con las fechas programadas

Otro punto importante que se a de señalar es la de gracias a las pruebas de que se le realizaron se garantiza que el equipo trabaje de forma adecuada cumpliendo con cada una de las normas que lo rigen, y en caso de falla de la línea el equipo sea capas de autoprotgerse para que el equipo no sufra daños.


De esta forma se da una mayor seguridad a la subestación y al sistema eléctrico nacional.

Anexos

	AREA: TRANSMISION SURESTE TITULO: MONTAJE Y PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL INTERRUPTOR MMT-A8880.	MINUTA No. 04 FECHA: 20 de OCTUBRE de 2009.
	REUNION CONVOCADA POR: CFE TRANSMISION	
	MINUTA No. <input type="text" value="04"/>	FECHA <input type="text" value="20 de OCTUBRE del 2009"/>
	PROXIMA REUNIÓN <input type="text" value="-----"/>	
LUGAR Y MOTIVO DE LA REUNIÓN: MINUTA CELEBRADA EN LAS OFICINAS DE LA SUBESTACION MANUEL MORENO TORRES, CON MOTIVO DE LOS TRABAJOS DE MONTAJE Y PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL INTERRUPTOR MMT-A8880, POR PARTE DEL PROVEEDOR ENERGOMEX		

No.	ASISTENTES		FIRMAS
	NOMBRE	AREA	
1.	ING. JESUS EDMUNDO DIAZ TREJO.	CFE-SATTTX-S.E MMT	
2.	ING. FILOGONIO JUAREZ PANIAGUA	RESIDENTE-S.E MMT	
3.	ING. MARIO RESINAS LOPEZ	CIA. ENERGOMEX	
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			

No.	ACUERDOS, COMPROMISOS Y COMENTARIOS	ATENCIÓN	
		RESPONSABLE	FECHA COMPROMISO
	DE ACUERDO AL COMPROMISO ENTRE ENERGOMEX Y CFE SE PRESENTA EL PERSONAL TÉCNICO DE ENERGOMEX PARA DAR SEGUIMIENTO AL MONTAJE Y PRUEBAS DEL INTERRUPTOR TIPO SFE 16-2 400KV		
1	SE PRESENTA EL PERSONAL TÉCNICO EL DÍA 12 DE OCTUBRE DE 2009 PARA DAR INICIO AL MONTAJE DEL INTERRUPTOR A8880 CON NUMERO DE SERIE20/141 DEBIDO A LA FALTA DE SOPORTES PARA LOS CAPACITORES NO SE PUEDE REALIZAR EL MONTAJE DE LAS CÁMARAS INTERRUPTIVAS		
2.	SE REALIZA LA SUPERVISIÓN DE LAS PARTES DEL CIRCUITO NEUMÁTICO: MANGUERAS Y FILTROS		
3	SE SUSPENDEN LAS LABORES POR EL DÍA DEPARTE DE ENERGOMEX		
4	EL DÍA 13 DE OCTUBRE DEL 2009 SE CONTINUA CON LAS LABORES DE MONTAJE COLOCANDO LOS SOPORTES Y CAPACITORES EN LAS CÁMARAS INTERRUPTIVAS ASÍ COMO LOS ANILLOS EQUIPOTENCIALES DESPUÉS DE ESTA ACTIVIDAD SE COLOCA LAS CÁMARAS INTERRUPTIVAS DE LA FASE B		
5	SE REALIZA EL VACÍO DE LA FASE B CON AYUDA DE LA MAQUINA DILO PROPIEDAD DE CFE, EL VACÍO SE SOSTIENE POR UNA HORA AL TERMINO DEL CUAL SE PRESURIZA CON GAS SF6 HASTA ALCANZAR LA PRESIÓN DE 5.2 BAR.		
6	POR FALTA DE SOPORTES PARA CAPACITOR SE SUSPENDEN LAS ACTIVIDADES DE MONTAJE HASTA QUE LOS SOPORTES SEAN MANDADOS POR LA COMPAÑÍA ENERGOMEX		
7	SE PRESENTA EL PERSONAL DE ENERGOMEX PARA CONTINUAR CON EL MONTAJE DE LAS CÁMARAS INTERRUPTIVAS EL DÍA LUNES 19 DE OCTUBRE DE 2009		
8	SE COLOCARON LOS SOPORTES, CAPACITORES Y LOS ANILLOS EQUIPOTENCIALES EN LAS CÁMARAS INTERRUPTIVAS DE LAS FASES "A" Y "C". SE COLOCAN LAS CÁMARAS INTERRUPTIVAS DE LAS FASES "A" Y "C".		
9	SE LES REALIZA VACÍO DURANTE UN PERIODO DE UNA HORA POSTERIORMENTE SE PRESURIZA CON GAS SF6 A UNA PRESIÓN DE 5.2 BAR.		
10	CON ESTO SE CONCLUYEN LAS ACTIVIDADES DEL DÍA SIENDO LAS 17:00 HRS.		
11	SE PRESENTA EL PERSONAL DE ENERGOMEX PARA CONTINUAR CON EL MONTAJE DE LAS CÁMARAS INTERRUPTIVAS EL DÍA MARTES 20 DE OCTUBRE DE 2009		
12	SE FINALIZAN LAS ACTIVIDADES DEL MONTAJE DEL CIRCUITO NEUMÁTICO APRETANDO Y SELLANDO LAS CONEXIONES Y MANGUERAS PARA DESPUÉS DE ESTO PRESURIZARSE CON AIRE PARA COMPROBAR SU HERMETICIDAD CON ESPUMA DE JABÓN.		
13	SE REALIZO LA PRUEBA DE PUNTO DE ROCÍO CON AYUDA DEL EQUIPO MARCA DILO PROPIEDAD DE ENERGOMEX OBTENIÉNDOSE LOS SIGUIENTES VALORES: POLO 1 (ØA)=-62.9°C POLO 2 (ØB)=-52.0°C POLO 3 (ØC)=- 49.5 °C		
14	SE REALIZAN LAS PRUEBAS DE APERTURA Y CIERRE PARA OPTENER LOS VALORES DE TIEMPO Y SINCRONISMO, SE ANEXAN EL RESULTADO DE DICHAS PRUEBAS.		

	AREA: TRANSMISION SURESTE	MINUTA No. 04
	TITULO: MONTAJE Y PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL INTERRUPTOR MMT-A8880.	FECHA: 20 de OCTUBRE de 2009.

No.	ACUERDOS, COMPROMISOS Y COMENTARIOS	ATENCIÓN	
		RESPONSABLE	FECHA COMPROMISO
15	SE REALIZA LA PRUEBA DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE CONTACTOS OBTENIÉNDOSE LOS SIGUIENTES VALORES: POLO 1 (ØA)= CÁMARA IZQ. 45MΩ CÁMARA DER. 43MΩ, TOTAL=101MΩ POLO 2 (ØB)= CÁMARA IZQ. 42MΩ CÁMARA DER. 45MΩ TOTAL= 104MΩ POLO 3 (ØC)= CÁMARA IZQ. 45MΩ CAMARA DER. 45MΩ, TOTAL=101MΩ		
16	SE COMPROBÓ LA OPERACIÓN DE DISPARO DE EMERGENCIA.		
17	SE CONCLUYE EL MONTAJE Y LAS PRUEBAS DEL INTERRUPTOR A8880 POR PARTE DE ENERGOMEX EL DÍA 20 DE OCTUBRE DE 2009 SIENDO LAS 17:00HRS		
18	CFE SOLICITA LA REPOSICIÓN DE UN COMPRESOR DAÑADO DURANTE SU PUESTA EN SERVICIO.		
19	ENERGOMEX SOLICITA SE DEN LOS DATOS DEL COMPRESOR PARA DARLE SEGUIMIENTO A LA GARANTÍA DE DICHA PIEZA.		
20	SE REALIZA ENTREGA DE DOS VÁLVULAS DE SOBRE PRESIÓN Y DOS CALCULAS DE ESFERA COMO REPOSICIÓN DE LAS DAÑADAS DURANTE EL MONTAJE Y PRUEVAS DEL INTERRUPTOR A8220.		
	NO HABIENDO OTRO TEMA QUE TRATAR SE CIERRA LA PRESENTE MINUTA A LAS 18:00HRS DEL DÍA 20 DE OCTUBRE DEL 2009. FIRMANDO AL CALCE LOS PARTICIPANTES.		



Diagrama unifilar

[*Para ver el diagrama unifilar de clip aquí*](#)

Bibliografía

Manual de interruptores de potencia, México marzo 2003, comisión federal de electricidad

Manual de instalación ENERGOMEX SFE 16-2