

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INTERRUPTORES DE POTENCIA

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR:

MANUEL ANTONIO MEDINA SALDAÑA

**PROMOCIÓN
1979- II**

**LIMA – PERÚ
2010**

**METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LAS
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INTERRUPTORES DE
POTENCIA**

SUMARIO

Este Informe de Suficiencia trata sobre las especificaciones Técnicas de Interruptores de Potencia, elemento de suma importancia en una red eléctrica pues permite fluir e interrumpir las corrientes eléctricas en condiciones normales y de falla; en este último caso, protegiendo a los equipos y al sistema eléctrico al aislar los circuitos fallados.

Con este trabajo se describe el procedimiento y/o metodología para la elaboración de las distintas especificaciones técnicas de los interruptores de potencia, con énfasis al marco teórico para otorgar una mejor posibilidad de entendimiento, en lo referente a los diferentes parámetros y magnitudes que intervienen.

En ese sentido, el Informe señala primero y se recalca los aspectos y funciones que dan importancia a los Interruptores de Potencia en un Sistema Eléctrico, luego se describen las solicitudes a las que están sometidos dichos equipos durante su vida útil, enseguida se presentan las partes y el contenido del documento propiamente dicho de las Especificaciones Técnicas y finalmente se muestra en detalle un caso como ejemplo para ilustrar el procedimiento y/o metodología.

ÍNDICE

PROLOGO	1
CAPÍTULO I	2
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Funciones de un interruptor de potencia	2
1.2 La especificación del interruptor.....	2
1.3 Objetivo.....	3
1.4 Alcances	3
1.5 Requerimientos Generales.....	3
1.6 Desarrollo del Informe de Suficiencia	4
1.7 Estándares Internacionales.....	4
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Definición	6
2.2 Función Principal.....	6
2.3 Arco Eléctrico.....	6
2.4 Partes principales del Interruptor de Potencia	7
2.4.1 Cámara de interrupción.....	7
2.4.2 Mecanismo de operación.	7
2.4.3 Sistema de control.	7
2.5 Tipos de Interruptores	8
2.5.1 Según el medio de extinción del arco.....	8
2.5.2 Según el tipo de mecanismo de operación.....	10
2.5.3 Según la ubicación de las cámaras de extinción.	12
CAPITULO III	14
ASPECTOS RELEVANTES DE UN INTERRUPTOR.....	14
3.1 Importancia de un Interruptor de potencia.....	14
3.1.1 Elemento de interconexión.....	14
3.1.2 Elemento de protección.....	14
3.2 Características eléctricas de los interruptores	14
CAPÍTULO IV.....	20
DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	20

4.1	Definición y determinación de los valores nominales	21
4.1.1	Tensión Nominal	21
4.1.2	Nivel de Aislamiento Nominal.....	21
4.1.3	Frecuencia Nominal.	23
4.1.4	Corriente Nominal en Servicio Continuo.....	23
4.1.5	Corriente de Ruptura Nominal en Cortocircuito.	24
4.1.6	Tensión Transitoria de Restablecimiento para Fallas Terminales (TTR).	25
4.1.7	Corriente de Cierre y Ruptura Nominal en Discordancia de Fases.....	30
4.1.8	Corriente Nominal de Cierre en Cortocircuito.	31
4.1.9	Secuencia de Operación Asignada.	33
4.1.10	Duración Nominal de Cortocircuito.....	33
4.1.11	Clasificación para la soportabilidad Eléctrica (Clases E1 o E2).	34
4.1.12	Corriente Soportada Nominal de Corta Duración.	34
4.1.13	Corriente Pico Nominal Soportada.....	34
4.1.14	Voltaje Nominal de alimentación a los dispositivos de cierre y apertura y a los circuitos de control y auxiliares.	35
4.1.15	Frecuencia Nominal de la alimentación a los dispositivos de cierre y apertura y a los circuitos de control y auxiliares.	35
4.1.16	Presiones Nominales de suministro de gas comprimido para aislamiento, operación y/o interrupción.....	36
4.1.17	Características para fallas en líneas cortas.....	36
4.1.18	Rendimiento al reencendido durante la operación (apertura o cierre) de corrientes capacitivas (Clases C1 o C2).....	36
4.1.19	Número de operaciones mecánicas (Clase M1 o Clase M2).....	38
4.1.20	Condiciones climáticas y atmosféricas.....	38
4.1.21	Altura sobre el nivel del mar de instalación.	39
4.1.22	Tiempo de apertura.....	40
4.1.23	Corriente de ruptura de pequeñas corrientes inductivas.....	40
4.2	Condiciones normales de servicio.....	41
4.2.1	Para instalaciones al interior	41
4.2.2	Para instalaciones al exterior	42
	CAPÍTULO V.....	43
	ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	43
5.1	Información contenida en el documento de Especificaciones Técnicas.....	43
5.1.1	Introducción	43
5.1.2	Objeto	43

5.1.3 Alcances	43
5.1.4 Normas técnicas	43
5.1.5 Condiciones de operación	44
5.1.6 Condiciones ambientales	44
5.1.7 Características generales del Interruptor de Potencia	44
5.1.8 Características Técnicas del interruptor de Potencia.....	44
5.1.9 Controles y pruebas requeridas	44
5.1.10 Características del embalaje	44
5.1.11 Hojas de Datos Técnicos Garantizados	44
5.2 Caso de Aplicación	45
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	46
ANEXOS	47
ANEXO A: FORMATO DE TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS	48
ANEXO B: CASO EJEMPLO	51
BIBLIOGRAFÍA.....	70

PROLOGO

El propósito de este trabajo es tener un procedimiento y/o metodología que sea útil para la elaboración del Documento de Especificaciones Técnicas para un Interruptor de Potencia, con fines de diseño, cotización y compra.

En este Informe se pretende mostrar la definición y el marco teórico que sustentan a las diferentes magnitudes y parámetros que intervienen en la determinación de las Especificaciones Técnicas de los Interruptores de Potencia.

Solamente se ha tratado el caso de interruptores para alta y media tensión destinados a aplicaciones normales. Limitándose a tener como referencia normativa, las recomendaciones de la International Electrotechnical Commission (IEC).

En el Capítulo 1 se presenta el contexto en el que se origina este informe, así como su objetivo y alcance.

En el Capítulo 2 se muestra en forma resumida el marco teórico del Interruptor de Potencia.

El Capítulo 3 está dedicado a mostrar los aspectos relevantes de un Interruptor de Potencia.

El Capítulo 4 trata de la determinación de las Especificaciones Técnicas mediante la definición de los parámetros y magnitudes que caracterizan al interruptor de potencia.

El Capítulo 5 es la parte en la que se define la estructura del documento de las Especificaciones Técnicas, complementándose con un caso como ejemplo, cuyo desarrollo se muestra en el Anexo B.

Luego de los capítulos mencionados se dan las conclusiones y comentarios de este trabajo.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Funciones de un interruptor de potencia

El interruptor de potencia es un dispositivo electromecánico cuya función principal es la de conectar y desconectar circuitos eléctricos bajo condiciones normales y de falla; es decir, establecer e interrumpir una corriente eléctrica, sea esta la corriente normal del circuito eléctrico o una corriente de defecto en el mismo.

Adicionalmente, cuando se lo requiera, el interruptor de potencia debe tener la capacidad para efectuar la reconexión automática rápida del circuito eléctrico a fin de restituir de inmediato el servicio eléctrico cuando se produjo su apertura debido a una falla fugaz.

Debido a estas características muy propias de los interruptores de potencia, su aplicación es generalizada en un sistema eléctrico, cumpliendo el rol de enlazar las diferentes partes de los sistemas eléctricos. Así tenemos que conectan a las centrales de generación con los sistemas de transmisión de potencia; son elementos de conexión entre el sistema de transmisión con las redes de distribución primaria, sirviendo también de conexión entre éstas con las las redes de utilización de energía eléctrica, encontrándolos también enlazando el sistema de utilización con las cargas individuales.

Para la conexión y enlace de las diferentes partes de los sistemas eléctricos se utilizan otros elementos de corte y seccionamiento, tales como fusibles, conmutadores o seccionadores; sin embargo, la aplicación de estos elementos está restringida a operar en ausencia de corrientes eléctricas o a lo más con corrientes de carga normal (seccionadores y conmutadores) o con relativamente bajas potencias de ruptura, como en el caso de los fusibles.

El comportamiento de un interruptor en un sistema eléctrico de potencia, sea en condiciones normales o en caso de falla, es de suma importancia; por lo que se requiere que sea adecuadamente seleccionado para el cabal cumplimiento de sus funciones

1.2 La especificación del interruptor

El interruptor de potencia debe estar diseñado y construido de manera tal que pueda soportar las sollicitaciones extremas, tanto eléctricas, térmicas y/o mecánicas, a las que se ve sometido en el cumplimiento de sus funciones; por tal motivo, debe ser

adecuadamente especificado a fin de que se suministre el interruptor apropiado para cada aplicación.

Las especificaciones técnicas de un interruptor son un conjunto de valores de parámetros y magnitudes características que limitan las condiciones máximas de operación del interruptor de potencia.

A medida que se incrementan los niveles de tensión en un sistema eléctrico, las solicitudes son mayores debido a los altos niveles de potencia y tensión involucrados; así también los interruptores de baja tensión (menores o iguales a los 1000 V) tienen características constructivas y de operación diferentes a los interruptores de media y alta tensión. Por tanto, las especificaciones técnicas varían según la aplicación del interruptor y de acuerdo a las solicitudes a las que se verán sometidos durante su operación.

1.3 Objetivo

El objetivo de este Informe de Suficiencia es establecer una guía para determinar las Especificaciones Técnicas de Interruptores de Potencia, teniendo en consideración los criterios utilizados y la base teórica que los sustenten.

1.4 Alcances

Los alcances de este trabajo abarcan lo siguiente:

- a. Las especificaciones técnicas de interruptores de potencia de media y alta tensión.
- b. Definición de las especificaciones técnicas para la aplicación de interruptores de potencia, con la finalidad de presentarlos a los proveedores para la compra del interruptor.
- c. Comprende interruptores de potencia para aplicaciones comunes; es decir, no considera interruptores de potencia para aplicaciones especiales.
- d. Trata de interruptores de potencia, con la cámara de interrupción construidas con la tecnología reciente; por ser los que predominan en el mercado actualmente.

1.5 Requerimientos Generales

Para elaborar las especificaciones técnicas de interruptores de potencia se debe tener en cuenta los siguientes requerimientos generales[1, Pag. 220]:

- a. Cada instalación es un caso diferente, por lo que para cada interruptor se deben desarrollar sus especificaciones técnicas detalladas.
- b. Antes que describir los detalles de diseño y construcción se debe dar la especificación funcional describiendo las características técnicas nominales del interruptor, las características del sistema de control, las características del sistema eléctrico y cualquier otro requerimiento especial.
- c. Las personas responsables de la preparación de las especificaciones técnicas de los interruptores de potencia deben familiarizarse previamente con los siguientes

aspectos: Las normas técnicas correspondientes, la aplicación específica del interruptor y de las instalaciones en las que será instalado y los diversos equipos que existen en el mercado.

- d. La definición y selección de un interruptor de potencia debe estar precedido por los estudios del sistema eléctrico, tales como flujo de carga, cálculos de cortocircuito, definición del aislamiento y de los esquemas de protección.

1.6 Desarrollo del Informe de Suficiencia

El desarrollo del Informe de Suficiencia abarcará las partes que se indican a continuación:

a. Marco Teórico del Interruptor de Potencia

En este paso se dará la definición de un interruptor de potencia, su función dentro del sistema eléctrico, sus características y sus principales partes.

b. Aspectos relevantes en la definición y selección de un interruptor

Se resaltaré el rol que desempeña el interruptor de en un sistema eléctrico, así como su importancia. Se tratará de identificar los elementos relevantes que deben tenerse en cuenta cuando se tenga que seleccionar un interruptor de potencia.

c. Solicitaciones a las que estará sometido un interruptor

En este paso se identificarán todas aquellas solicitudes, tanto en condiciones normales como en régimen transitorio del sistema eléctrico, que incidirán en el correcto funcionamiento de un interruptor. Se hará un análisis teórico de cada uno de ellos.

d. Determinación de la magnitud de las solicitudes

Se tratará la forma de determinar la magnitud de cada una de las solicitudes a las que estará sometido un interruptor, para tomarlo en consideración en el momento de elaborar el documento de las Especificaciones Técnicas.

e. Estructura del Documento de Especificaciones Técnicas

Se presenta la estructura del Documento de Especificaciones Técnicas de un Interruptor de Potencia; tal como será presentado a un proveedor con fines de cotización y/o compra.

f. Ejemplo de Aplicación

Se muestra un ejemplo de la elaboración del Documento de Especificaciones Técnicas para la adquisición de interruptores de potencia.

1.7 Estándares Internacionales

En el diseño, construcción y pruebas de los interruptores de potencia, y en la elaboración de sus especificaciones, se toman en consideración las recomendaciones de las normas técnicas internacionales, las cuales son documentos que contienen especificaciones técnicas basadas en la experiencia y el desarrollo tecnológico,

reflejando el acuerdo entre los fabricantes y compradores sobre los características de diseño, construcción y pruebas de estos equipos.

Las normas técnicas internacionales a las que mayormente se hace referencia en el Perú, son aquellas emitidas por la American National Standards Institute (ANSI) y de la International Electrotechnical Commission (IEC); entre las principales publicaciones de estas instituciones, referidas a interruptores de potencia, se tienen las siguientes:

- ANSI C37.03: Definitions for AC High-Voltage Circuit Breakers.
- ANSI C37.04: Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers.
- ANSI C37.06: Preferred Ratings and Related Required Capabilities for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.
- ANSI C37.07: Interrupting Capability Factors of Reclosing Service for AC High-Voltage circuit Breakers.
- ANSI C37.09: Test Procedure for AC High-Voltage circuit Breakers.
- IEC 62271-100: AC High-Voltage Switchgear and Controlgear – Part 100: High-Voltage Alternating-Current Circuit-Breakers.
- IEC 60694: Common Specifications for High-Voltage Switchgear and Controlgear.

En este trabajo se hará mayor referencia a las normas técnicas de la IEC.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Definición

Un Interruptor de Potencia es un dispositivo de operación mecánica capaz de establecer, conducir e interrumpir una corriente eléctrica bajo condiciones normales del circuito; así como establecer, conducir por un tiempo especificado y/o interrumpir corrientes bajo condiciones anormales del circuito, como aquellas debido a cortocircuitos [2, Pag. 430].

El interruptor debe ser capaz de interrumpir corrientes de diferentes intensidades y factores de potencia, desde corrientes capacitivas hasta corrientes inductiva, pasando por corrientes resistivas.

2.2 Función Principal

El interruptor de potencia es un equipo eléctrico que permite interrumpir y restablecer la corriente eléctrica, tanto en condiciones normales o de falla eléctrica. Siendo la más importante la función de interrumpir las corrientes de falla en un circuito, en el menor tiempo posible.

Para cumplir con esta función, el interruptor de potencia debe estar instalado con los relés de protección correspondientes; estos tienen la función de detectar una condición de falla eléctrica y enviar las señales de mando a los relés auxiliares que activan los circuitos de disparo para la apertura del interruptor [3, Pag. 455].

2.3 Arco Eléctrico

El proceso de la interrupción de una corriente eléctrica, normal o de falla, implica el establecimiento y extinción del arco eléctrico.

El arco eléctrico es un fenómeno que ocurre cuando se separan dos terminales de un circuito que conduce una determinada corriente de carga, sobrecarga o de falla. Puede ser definido como un canal conductor formado en un medio fuertemente ionizado, provocando un inmenso brillo y elevando considerablemente la temperatura del medio en el que se desarrolla [3, Pag. 456]. Inicialmente, cuando el interruptor está cerrado, circula por sus polos una determinada corriente eléctrica; en esta condición existe una pequeña pérdida por efecto Joule por la resistencia de contactos del interruptor.

En el momento inicial del contacto móvil la presión entre contactos disminuye,

aumentando la resistencia de contacto; esto lleva como consecuencia grandes pérdidas óhmicas, elevando considerablemente la temperatura de las superficies conductoras.

Inmediatamente después de la separación de los contactos, la corriente continúa pasando a través del medio fuertemente ionizado (debido a la elevación de la temperatura y al campo eléctrico que se origina entre el contacto fijo y el contacto móvil). Al ocurrir la separación completa de los contactos, se observa la formación del arco eléctrico, el cual debe ser extinguido lo más pronto posible a fin de evitar la fusión y consecuente destrucción de los contactos.

Como principio básico para la extinción del arco eléctrico es necesario que, además de que la corriente eléctrica pase por cero dentro del ciclo de la corriente alterna, se produzcan las siguientes acciones: a) Se provoque el alargamiento del arco por medios artificiales, b) Disminuir la temperatura del medio entre contactos y c) se sustituya el medio ionizado entre los contactos por un medio aislante eficiente. Si la corriente es reducida bruscamente a cero, surgen sobretensiones en el circuito, como resultado la liberación de la energía almacenada en el momento de la interrupción; estas sobretensiones podrían ocasionar el daño del interruptor o de otros equipos del sistema eléctrico [3, Pag. 458 y 459].

El medio aislante entre los contactos del interruptor permite clasificar el material extintor y, consecuentemente, las características constructivas del interruptor de potencia.

2.4 Partes principales del Interruptor de Potencia

En un interruptor de potencia se pueden distinguir tres partes principales [4]: La cámara de interrupción, el mecanismo de operación y el sistema de control.

2.4.1 Cámara de interrupción.

Es el compartimiento donde ocurre la conducción, la interrupción de la corriente y la extinción del arco en el circuito de potencia; es un volumen cerrado que contiene los contactos fijo y móvil para el cierre y la apertura (make – break) y un medio de interrupción, que puede ser aceite aislante, aire comprimido, gas SF₆, vacío, para asegurar el aislamiento y la extinción del arco eléctrico.

2.4.2 Mecanismo de operación.

Es la parte en donde se almacena la energía para efectuar las operaciones de apertura y cierre del interruptor, así como para la extinción del arco eléctrico.

2.4.3 Sistema de control.

Conformado por los dispositivos de control adecuadamente cableados para monitorear el estado del interruptor (abierto o cerrado, señalizaciones referidas al medio aislante, estado del mecanismo de operación, etc.) y en donde se generan las órdenes para operar al interruptor.

2.5 Tipos de Interruptores

Por lo general, los interruptores de potencia se clasifican por el medio de extinción del arco eléctrico, por el tipo de mecanismo y por la ubicación de las cámaras de extinción. A continuación se definirán sus aplicaciones, así como las ventajas y desventajas de cada tipo.

2.5.1 Según el medio de extinción del arco

a) En aire comprimido

La energía del arco eléctrico se disipa inyectándole una fuerte presión de aire comprimido. Estos interruptores deben contar con un tanque de aire sobre una presión del orden de los 200 kg/cm² y que debe estar comunicado con la cámara de extinción, la cual contiene aire comprimido a una presión aproximada de 20 kg/cm² a fin de que el medio sea aislante.

Para este tipo de interruptores, en el proceso de extinción del arco eléctrico, la posibilidad de reignición después de que la onda de corriente pasa por el cero natural, es prácticamente nula debido a que el chorro de aire a alta presión retira totalmente de entre los contactos el medio ionizado y lo reemplaza por aire comprimido.

- **Ventajas.**

No existe peligro de explosión ni de incendio.

Su operación es muy rápida; son adecuados para el cierre rápido.

Tiene altas capacidades de interrupción.

No presenta dificultad para la desconexión de líneas de transmisión en vacío o de sistemas altamente capacitivos.

Se tiene fácil acceso a sus contactos.

- **Desventajas.**

Requiere de potentes compresores y su operación es bastante ruidosa.

Requiere de un sistema completo de aire comprimido, el cual necesita de mantenimiento en forma regular. El aire debe mantenerse seco y libre de humedad.

Su construcción es de mayor complejidad y requiere de personal especialmente adiestrado para su mantenimiento.

En zonas urbanas debe tener un sistema silenciador debido al fuerte ruido que produce su operación.

Su costo es elevado, resultando manejable para grandes subestaciones (varios interruptores compartiendo el mismo sistema de aire comprimido) y para niveles de tensión de 245 kV o mayores.

b) En aceite.

Los contactos del interruptor de potencia se encuentran sumergidos en aceite. Al

momento de presentarse el arco eléctrico, el aceite en contacto con los polos se gasifica (principalmente en hidrógeno) debido a la gran elevación de la temperatura. Estos gases producen el alargamiento del arco, el enfriamiento del medio y, al ir hacia la parte superior, permite que aceite aislante ocupe su lugar entre los contactos del interruptor.

Se fabrican interruptores en aceite hasta los 245 kV, actualmente en pequeño volumen de aceite y antiguamente en gran volumen de aceite, siendo el tiempo de extinción del arco del orden de los 6 ciclos.

- **Ventajas.**

Durante la producción del arco, el aceite se convierte en productor de hidrógeno, gas que ayuda a enfriar y extinguir el arco.

Provee el aislamiento de las partes vivas contra masa y tierra.

Proporciona aislamiento entre los contactos una vez que el arco se ha extinguido.

- **Desventajas.**

El aceite es inflamable a altas temperaturas, habiendo la posibilidad de que en contacto con el aire forme una mezcla explosiva.

A causa de la descomposición del aceite en contacto con el arco se producen partículas de carbón, disminuyendo su resistencia dieléctrica.

Requiere regenerarse o cambiarse periódicamente, lo que eleva los costos de mantenimiento.

c) En gas SF₆.

Estos interruptores utilizan el gas denominado hexafluoruro de azufre (SF₆) para la extinción del arco eléctrico. El SF₆ ha demostrado ser un excelente aislamiento y, debido a que el SF₆ es un gas electronegativo, es un medio excelente para el enfriamiento del arco eléctrico.

El SF₆ es un compuesto muy estable e inerte hasta los 500 °C, no inflamable, no es tóxico, incoloro y carente de olor. No reacciona con el agua y no ataca ningún elemento cuando está a temperaturas por debajo de los 500 °C.

Para la extinción del arco utilizando SF₆ se han desarrollado varias técnicas, tales como el interruptor en doble presión de SF₆, de autocompresión y de arco giratorio.

Se fabrican interruptores en SF₆ hasta los 800 kV, siendo el tiempo de extinción del arco del orden de los 2 ciclos. Se requieren espacios moderados para su instalación.

- **Ventajas.**

El SF₆ es un excelente aislante, aún a presiones relativamente bajas (0.5 MPa).

Muy bajo mantenimiento, limpieza de funcionamiento, no requiere compresión externa y produce poco ruido.

- **Desventajas.**

A bajas temperaturas puede dar falsas señales de fuga de gas debido a variación de la presión con la temperatura.

d) En vacío.

Son aquellos interruptores que utilizan una cámara de vacío, en cuyo interior la presión negativa es del orden de 10^{-7} kg/m², como elemento de extinción del arco eléctrico. Está constituido de tres polos individualmente conectados a través de aisladores soporte a la caja de mando, la cual está dotada del mecanismo para la operación del interruptor.

La cámara de vacío presenta un funcionamiento bastante peculiar: Cuando se separan los contactos, entre ellos surge un arco eléctrico de gran intensidad acompañado de vapor metálico resultante de la descomposición de una pequeña parte de los contactos, lo que forma un plasma. Cuando la corriente pasa por su cero natural el arco se extingue, en este momento el vapor metálico se deposita sobre los contactos y el arco se extingue y se restablece la rigidez dieléctrica entre los contactos.

Los interruptores en vacío son extremadamente eficientes para interrumpir corrientes en media tensión.

- **Ventajas.**

Son apropiados para ser usados en instalaciones en donde la frecuencia de maniobra es intensa.

Son compactos, tienen larga vida de operación y prácticamente no requieren mantenimiento.

Tiene una tasa de recuperación dieléctrica elevada por lo que puede interrumpir fallas severas.

No se ve afectado en su funcionamiento por variaciones bruscas en la intensidad de la corriente, por lo que puede utilizarse para la desconexión de bancos de condensadores.

- **Desventajas.**

Pueden producirse sobretensiones severas cuando interrumpen corrientes de pequeña magnitud, pues el arco se puede extinguir antes de que la corriente pase por su cero natural. Se han conseguido mejoras por medio de la construcción de contactos constituidos por aleaciones especiales.

2.5.2 Según el tipo de mecanismo de operación

Existen muchos tipos de accionamientos y combinación de ellos, siendo más comunes los siguientes:

a) Por resortes [3, Pag. 484].

Consiste de un resorte o conjunto de resortes, de cierre y de apertura, que se

encuentran tensados y, generalmente, mantenidos en esta posición por medio de un trinquete. Al ser liberado este pestillo, el resorte se suelta proporcionando toda su energía mecánica almacenada para efectuar el desplazamiento de la varilla que está acoplada al contacto móvil del interruptor. Este accionamiento puede ser hecho individualmente para cada polo (accionamiento monopolar) o para los tres polos en simultáneo (accionamiento tripolar).

El tensado del resorte de cierre puede realizarse en forma manual y/o motorizada empleando un motor del tipo universal. Al final de la carrera del mecanismo de accionamiento de tensado del resorte, éste queda comprimido por medio de un trinquete que al ser accionado, generalmente por un electroimán, libera el resorte produciéndose dos efectos: el cierre del interruptor y el tensado del resorte de apertura (quedando en esta posición por su respectivo trinquete), dejándolo listo para la apertura del interruptor cuando sea requerido.

Los interruptores de potencia tienen, asociado a su mecanismo de accionamiento, el sistema de control el cual permite accionar el trinquete de los resortes para la apertura o cierre del interruptor.

- **Ventajas.**

Presenta gran simplicidad de operación y bajo costo.

Puede ser accionado en forma manual o motorizada.

- **Desventajas.**

No presenta desventajas diferenciadas con respecto a otros tipos de accionamiento.

b) Neumático [5, Pag. 244 y 245].

Utiliza la energía de aire comprimido para producir el cierre del interruptor; por lo general, la operación de apertura se lleva a cabo por resorte.

Este tipo de accionamiento está conformado por un cilindro y un pistón, así como de una compresora y un tanque de aire comprimido; el pase del aire comprimido del tanque al cilindro está regulado por medio de una válvula de paso.

Para efectuar la operación de cierre del interruptor, desde el sistema de control se acciona un electroimán que provoca la apertura de la válvula de paso, permitiendo el ingreso del aire comprimido al cilindro y empujando al pistón el cual produce el desplazamiento de la varilla que está acoplada a los contactos móviles del interruptor, así como el tensado del resorte de apertura.

- **Ventajas.**

Alta velocidad de accionamiento.

Requiere del aire del ambiente para su operación.

- **Desventajas.**

Requiere mantenimiento periódico para evitar fugas de aire.

Requiere de mayor energía de servicios auxiliares que para el caso del accionamiento a resortes.

Si no hay aire comprimido es muy difícil efectuar el cierre del interruptor.

Produce ruido al momento de la operación.

c) Hidráulico [6, Pag. 41 y 42].

Se emplea una combinación de aceite y de hidrógeno para la operación de cierre del interruptor de potencia; la operación de apertura se lleva a cabo por medio de resortes.

Se utiliza el aceite para comprimir el gas nitrógeno, el cual almacena la energía que, cuando se acciona el electromán de cierre, empuja el pistón, por medio del aceite que se encuentra en las tuberías y depósitos del sistema hidráulico, que desplaza la varilla que se acopla a los contactos móviles del interruptor.

- **Ventajas.**

Alta velocidad de accionamiento.

- **Desventajas.**

Requiere de mantenimiento periódico para prevenir la fuga de aceite y gas.

Cuando falla el sistema hidráulico, es muy difícil efectuar el cierre del interruptor.

Requiere de mayor energía de servicios auxiliares que para el caso del accionamiento a resortes.

2.5.3 Según la ubicación de las cámaras de extinción.

a) Tanque muerto

Tanque muerto significa que el tanque del interruptor de potencia y todos sus accesorios son mantenidos al potencial de tierra y que las conexiones al lado fuente y al lado de carga se realizan por medio de pasatapas convencionales [1, Pag. 221].

- **Ventajas.**

Los transformadores de corriente pueden ser incorporados en los aisladores pasatapas.

Resistentes a los sismos debido a su diseño compacto y bajo centro de gravedad.

- **Desventajas.**

Requiere de mayores espacios para su instalación.

b) Tanque vivo.

Tanque vivo significa que la parte metálica así como el compartimiento de porcelana que contiene la cámara de extinción es montada sobre un aislador soporte, estando por tanto al potencial de la línea.

El aislador soporte cumple dos funciones: es el soporte aislante y para alojar las

varillas y/o ductos del mecanismo de operación [1, Pag. 221].

- Ventajas.

Requieren de menores espacios para su instalación.

No puede haber corriente de falla entre los contactos y el compartimento que los aloja, lo cual hace necesario sólo un juego de transformadores de corriente por polo.

- Desventajas.

No permiten la instalación de transformadores de corriente, incorporados en el interruptor de potencia.

CAPITULO III

ASPECTOS RELEVANTES DE UN INTERRUPTOR

3.1 Importancia de un Interruptor de potencia

El Interruptor de potencia es un equipo común a todos los sistemas eléctricos, sea con energía renovable o no; en alta, media o baja tensión; en corriente alterna o corriente continua; en generación transmisión o distribución. Es utilizado para cumplir dos funciones: como elemento de interconexión y como elemento de protección.

3.1.1 Elemento de interconexión

En esta función, el interruptor de potencia interrumpe o restablece la corriente eléctrica en un circuito por condiciones de servicio para conectar cualquier tipo de equipo o una línea de transmisión. En este caso el interruptor opera con corrientes de carga normales.

3.1.2 Elemento de protección

En esta función, el interruptor de potencia forma parte, juntamente con los transformadores de medida y los relés de protección, el sistema de protección de la red eléctrica. En este caso, la función del interruptor de potencia es de suma importancia pues interrumpe las corrientes de falla que se presentan en un determinado circuito, con los siguientes beneficios para el sistema eléctrico de potencia:

- Interrumpe una corriente de falla en un tiempo relativamente corto.
- Aísla la parte con defecto del sistema eléctrico, permitiendo que la parte del sistema sin defecto continúe operando.
- Evita el daño de los elementos sin defecto por los cuales circula la corriente de falla y minimiza los daños en el equipo defectuoso.
- Al eliminar la falla rápidamente, contribuye a mantener la estabilidad del sistema.

3.2 Características eléctricas de los interruptores

El estudio de los interruptores de potencia está dirigido, en gran parte, para las condiciones transitorias que ocurren en los sistemas durante el proceso de su operación [3, Pag. 492].

Un transitorio eléctrico es la manifestación externa de un súbito cambio en las condiciones de un circuito, como cuando un interruptor abre o cierra o cuando ocurre una falla en ese circuito. El periodo transitorio es usualmente de muy corta duración; no

obstante, este periodo es extremadamente importante, debido a que es en este momento que los componentes del circuito están sometidos a las más grandes solicitaciones de corrientes y sobretensiones excesivas [7, Pag. 1], las cuales pueden dañar al interruptor que los originó o a cualquier equipo del sistema eléctrico.

El examen de un circuito eléctrico muestra que está compuesto de tres clases de parámetros: Resistencia (R), Inductancia (L) y Capacitancia (C); es decir, todos los componentes de un sistema eléctrico poseen, en mayor o menor grado, cada uno de estos componentes; la R es un disipador de energía y los parámetros L y C almacenan e intercambian energía: L en el campo magnético y C en el campo eléctrico del circuito; la energía almacenada en estos elementos es función de la corriente y tensión en el circuito, según las siguientes expresiones:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \quad (3.1)$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \quad (3.2)$$

En contraste, el parámetro R es sólo un disipador de energía, según la expresión que se indica a continuación:

$$E = R \cdot I^2 \quad (3.3)$$

En un circuito de corriente alterna, bajo condiciones de estado estable, la energía almacenada está siendo transferida cíclicamente entre las capacitancias e inductancias del circuito a medida que la corriente y el voltaje crecen y decrecen a la frecuencia del sistema eléctrico. Este proceso está acompañado por una cierta cantidad de pérdidas, la cual depende de la R del sistema. Las pérdidas son suministradas por las fuentes del circuito.

Cuando en el circuito ocurre algún súbito cambio, generalmente hay una redistribución de la energía almacenada de manera que se adecue a las nuevas condiciones del circuito eléctrico.

Esta redistribución de energía no puede ocurrir en forma instantánea debido a dos razones: 1) el cambio del campo magnético requiere un cambio en la corriente, pero al cambio de corriente en un inductor se opone la fuerza electromagnética (fem) $L \cdot di/dt$; un cambio instantáneo del campo magnético implica una fem infinita, lo cual no es posible en sistemas reales y 2) un cambio en el campo eléctrico requiere un cambio en la tensión a través del capacitor $dV/dt = I/C$ de manera que un cambio instantáneo de la tensión requiere una corriente instantánea, lo cual tampoco es posible en la práctica.

Por lo tanto, la redistribución de energía se produce en tiempo finito (periodo transitorio) y es un proceso que está gobernado por el principio de conservación de la energía; es decir, que ésta no se crea ni se destruye, sólo se transforma.

Para ilustrar acerca de las sollicitaciones a las que están sometidos los interruptores, se presentan – en forma simplificada – los casos cuando se cierra el interruptor para energizar una carga inductiva y cuando se abre el interruptor para aislar un cortocircuito.

a. Transitorio al cierre de un circuito

Para ilustrar este caso, se considerará el siguiente circuito.

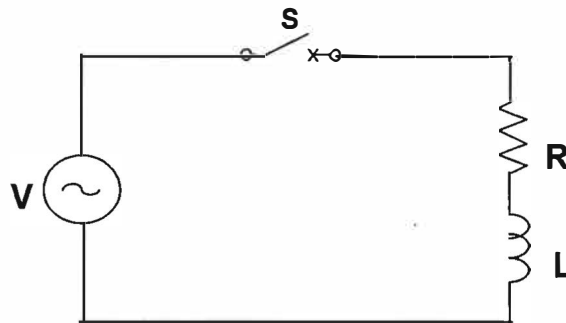


Fig. 3.1: Cierre del interruptor en un circuito RL

En el momento que cierra el interruptor S, la corriente que circula en el circuito, y por tanto a través de los contactos del interruptor, está dada por la siguiente expresión:

$$R.i + L.\frac{di}{dt} = v = V_m \cdot \text{Sen}(wt + \theta) \quad (3.4)$$

La solución a esta ecuación diferencial es la siguiente:

$$i = \frac{V_m}{\sqrt{(R^2 + w^2 \cdot L^2)}} \left[\text{Sen}(wt + \theta - \varphi) - \text{Sen}(wt - \varphi) \cdot e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} \right] \quad (3.5)$$

El primer término de esta expresión es la corriente en estado permanente; en cambio, el segundo término es la corriente transitoria. En forma gráfica, la corriente y sus componentes permanente y transitoria, son como se muestran en la Fig. 3.2.

En el instante $t = 0$, el término transitorio es igual y opuesto al término permanente, por lo que la corriente arranca de cero; lo cual está de acuerdo con el fenómeno físico; por otro lado, en un tiempo t relativamente largo, el término transitorio se convierte en insignificante y predomina el valor en estado permanente, lo cual también está en concordancia con el fenómeno real.

Un caso especial ocurre cuando en $t = 0$, el interruptor cierra en el momento en que $(\theta - \varphi)$ es igual a $\pm 90^\circ$; en esta condición tanto el término transitorio como el permanente alcanzarán sus máximos valores, de manera que el primer pico de la corriente resultante será casi dos veces el valor máximo. Este caso nos permite comprender dos sollicitaciones a los que se ven sometidos los interruptores durante su operación:

- Cuando en $t = 0$, el interruptor cierra un circuito en cortocircuito, con $(\theta - \varphi)$ igual a \pm

90°, la corriente pico será de una gran magnitud (mayor a dos veces la corriente de cortocircuito rms simétrica). De manera que el interruptor debe ser adecuadamente especificado a fin de que las fuerzas electromagnéticas producidas por tales corrientes no afecten la eficacia del interruptor ni deformen sus partes.

- Cuando un interruptor está cerrado y se produce un súbito cortocircuito, circularán por los contactos cerrados del interruptor una corriente momentánea asimétrica de similares características; la cual, debido a la energía disipada por la resistencia de los contactos y la vibración de éstos por las fuerzas electromagnéticas, pueden producir algún o algunos puntos de soldadura en los contactos. Un interruptor adecuadamente especificado estará en concordancia con un equipo diseñado para que en estos casos no pierda su eficacia.

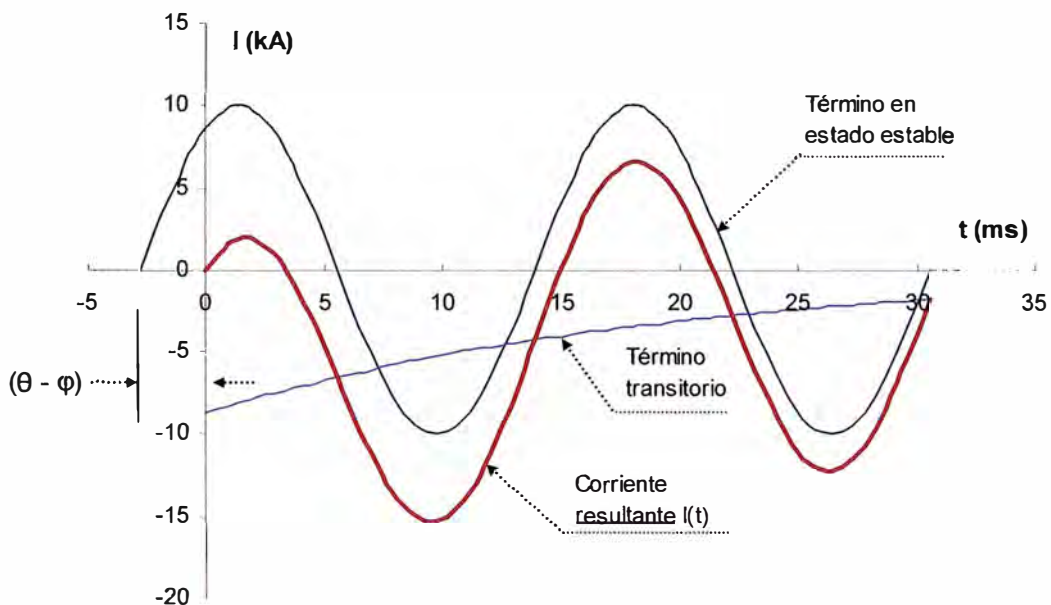


Fig. 3.2: Corriente al cerrar un circuito R-L y sus componentes

b. Transitorio al aislar un cortocircuito

El esquema simplificado para una situación de este tipo se presenta en la Fig. 3.3.

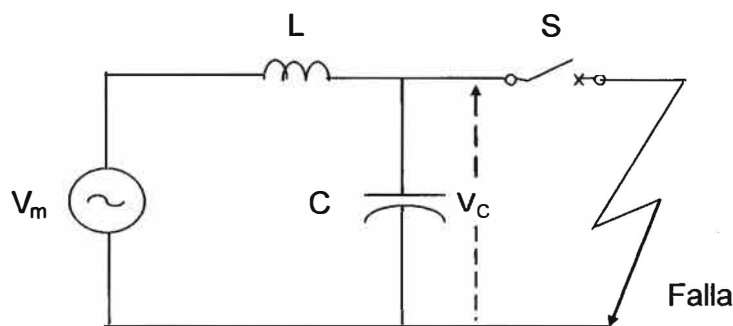


Fig. 3.3: Apertura de un circuito en cortocircuito.

La tensión a través del capacitor responde a la ecuación que se presenta a continuación:

$$\frac{d^2V_C}{dt^2} + \frac{V_C}{L.C} = \frac{V_m}{L.C} \cdot \text{Cos}(wt) \quad (3.6)$$

La solución de esta ecuación, tomando en consideración el efecto resistivo del circuito es la siguiente [7, Pag. 40]:

$$V_C = V_m \cdot \left[\text{Cos}(wt) - \text{Cos}(w_0t) \cdot \varepsilon^{-t/R.C} \right] \quad (3.7)$$

La expresión (3.8) a continuación expresa la frecuencia natural de oscilación del circuito LC.

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{L.C}} \quad (3.8)$$

La frecuencia natural es la frecuencia a la que oscila un circuito constituido por una inductancia y una capacitancia (circuito L-C) cuando es excitado; esto se traduce en un intercambio de energía entre el inductor y el capacitor. En ausencia de un elemento resistivo en el circuito la oscilación se prolongaría en forma indefinida; sin embargo, en los sistemas reales el elemento disipador de energía siempre está presente, por lo que la oscilación a la frecuencia natural se amortigua hasta extinguirse.

Para el periodo en el que persiste la señal a la frecuencia natural, la expresión (3.7) puede simplificarse según la relación (3.9) que se presenta a continuación [8, Pag. 15]:

$$V_C = V_m \cdot \left[1 - \text{Cos}(w_0t) \cdot \varepsilon^{-t/R.C} \right] \quad (3.9)$$

En la relación (3.7), que al igual que las relaciones (3.6) y (3.9) expresan la tensión a través del condensador, también se tienen dos términos: el primero que es la tensión en estado permanente y la segunda que es la componente periódica. En $t = 0$, la tensión en el condensador es cero y luego del transitorio será $V_m \text{Cos}(wt)$, la tensión de la fuente.

El término transitorio representa a una onda oscilante, a la frecuencia natural del circuito, que se amortigua debido a las pérdidas óhmicas en el circuito; tal como se muestra en la Fig. 3.4.

La Fig. 3.4 y la expresión (3.9) nos permiten visualizar y comprender las solicitaciones a los que se ve sometido el interruptor de potencia cuando abre sus contactos para aislar una falla.

- Al momento de separar los contactos aparece entre ellos una tensión transitoria que aumenta su magnitud muy rápidamente, pudiendo llegar a ser de dos veces la tensión de estado estacionario. Si las condiciones térmicas y dieléctricas del medio entre los contactos no se recuperan más rápidamente que el transitorio, el arco eléctrico será

reencendido.

- En circuitos trifásicos, al aislar una falla trifásica, la sobretensión que se produce en el interruptor será mayor en el primer polo del interruptor, pudiendo llegar a ser hasta 1.5 veces mayor, dependiendo del tipo de conexión a tierra; siendo de mayor severidad cuando el sistema es con neutro aislado de tierra.

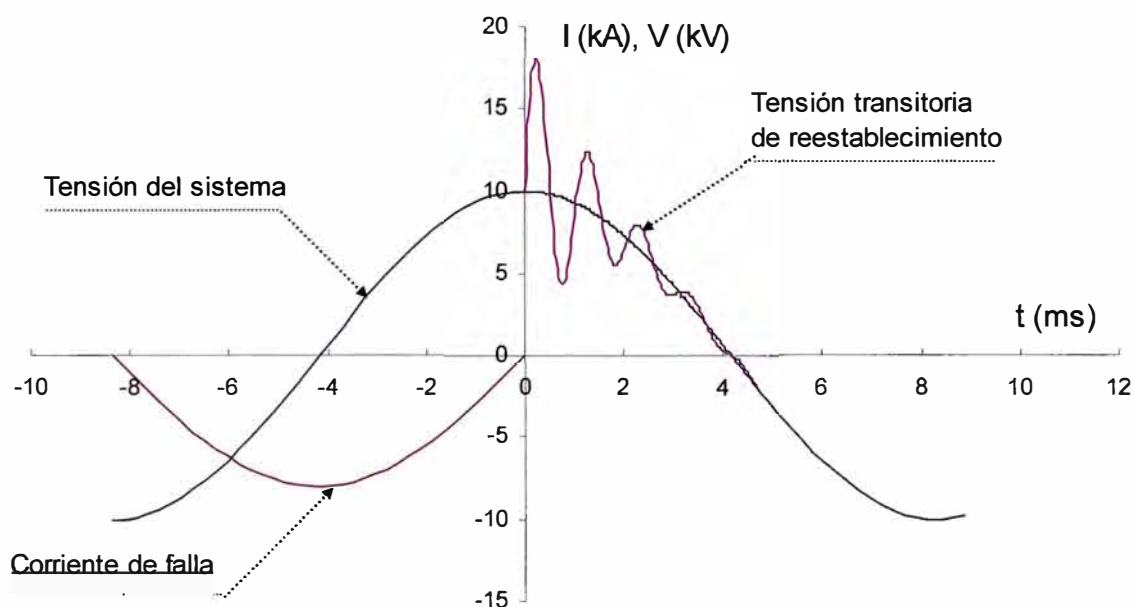


Fig. 3.4: Transitorio de tensión al interrumpir una corriente de falla.

CAPÍTULO IV

DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La regla fundamental para la selección del interruptor de potencia apropiado es que los valores asignados y las capacidades relacionadas sean iguales o superiores a cada uno de los requerimientos de trabajo especificados y/o calculados [9, Pag. 3-2].

Antes que describir los detalles de diseño y construcción se debe dar la especificación funcional describiendo las características técnicas asignadas del interruptor de potencia [1, Pag. 220]; o como lo estipula la norma técnica correspondiente, la mejor selección de un interruptor de potencia, para una determinada aplicación, se lleva a cabo considerando los valores asignados individuales, requeridos para las condiciones normales y en caso de falla en el circuito eléctrico del que forma parte [10, Pag. 289].

Por lo tanto, para la selección del interruptor de potencia se seguirán las recomendaciones del capítulo 8 de la norma IEC 62271-100 "Guide to the selection of circuit breakers for service". En este sentido, los valores asignados que se tomarán en cuenta son los siguientes:

a. Características Principales

Tensión Nominal.

Nivel de Aislamiento Nominal.

Frecuencia Nominal.

Corriente Nominal en Servicio Continuo.

Corriente de Ruptura Nominal en Cortocircuito.

Tensión Transitoria de Restablecimiento para Fallas Terminales.

Corriente de Cierre y Ruptura Nominal en Discordancia de Fases.

Corriente de Cierre Nominal en Cortocircuito.

Secuencia de Operación Asignada.

Duración Nominal de Cortocircuito.

Clasificación para soportabilidad eléctrica (Clases E1 o E2), donde sea aplicable.

b. Características Complementarias

Corriente Nominal de Corta Duración.

Corriente Pico Nominal Soportada

Voltaje Nominal de alimentación a los dispositivos de cierre y apertura y a los circuitos de control y auxiliares.

Frecuencia Nominal de alimentación a los dispositivos y circuitos auxiliares.

Presiones Nominales de Alimentación en Gas Comprimido para aislamiento, operación y/o interrupción.

Características para fallas en líneas cortas.

Rendimiento al reencendido durante la operación (apertura o cierre) de corrientes capacitivas (Clases C1 o C2).

Número de operaciones mecánicas (Clase M1 o Clase M2).

c. Otras Características

Condiciones climáticas y atmosféricas.

Altura sobre el nivel del mar de instalación.

Tiempo de apertura.

Corriente de Ruptura de pequeñas corrientes inductivas.

4.1 Definición y determinación de los valores nominales

Las definiciones de los valores nominales que se emplearán para especificar un interruptor de potencia, según IEC [10, Chapter 4], son las siguientes:

4.1.1 Tensión Nominal

a. Definición

La tensión nominal indica el límite superior de la más alta tensión del sistema para el cual el interruptor de potencia ha sido diseñado. Es el valor eficaz de la tensión para la cual el interruptor es designado y al cual son referidos los demás valores asignados. Las normas técnicas han establecido valores estandarizados para la tensión nominal de los interruptores.

b. Determinación

La tensión nominal de un interruptor debe ser por lo menos igual a la más alta tensión del sistema en el punto en donde el interruptor será instalado; de acuerdo con los valores estandarizados en las normas técnicas.

4.1.2 Nivel de Aislamiento Nominal.

a. Definición

Es el conjunto de valores de tensiones soportadas asignadas que caracterizan el aislamiento de un interruptor en relación a su capacidad para soportar los esfuerzos dieléctricos. Para fines de aislamiento, la CEI agrupa a los equipos eléctricos en dos rangos [11, Pag. 91]: Rango I, aquellos con tensiones nominales iguales o menores a los 245 kV y Rango II; solamente dos valores estandarizados son suficientes para definir el nivel de aislamiento [13, Pag.29], según como se indica a continuación:

- Para interruptores de potencia del Rango I:
Voltaje soportado a la frecuencia industrial (60 Hz).
Voltaje soportado al impulso tipo rayo.
- Para interruptores de potencia del Rango II:
Voltaje soportado al impulso de maniobra.
Voltaje soportado al impulso tipo rayo

Los valores normalizados para el nivel de aislamiento de los interruptores de potencia pueden ser seleccionados de la TABLA N° 4.3 y de la TABLA N° 4.4 que se indican a continuación, las cuales han sido reproducidas de la Norma IEC 60694 [12, Pags. 59 a 63] (Tabla 1a y Tabla 2a).

TABLA N° 4.1: Niveles de aislamiento Nominal – Rango I

Tensión nominal (kV _{rms})	Tensión soportada nominal de corta duración a frecuencia industrial (kV _{rms})		Tensión soportada nominal de impulso tipo rayo (kV _{PICO})	
	Valor común	A través de las distancias de aislamiento	Valor común	A través de las distancias de aislamiento
3.6	10	12	20	23
			40	46
7.2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17.5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195
52	95	110	250	290
72.5	140	160	325	375
100	150	175	380	440
	185	210	450	520
123	185	210	450	520
	230	265	550	630
145	230	265	550	630
	275	315	650	750
170	275	315	650	750
	325	375	750	860
245	360	415	850	950
	395	460	950	1050
	460	530	1050	1200

b. Determinación

Como resultado del Estudio de Coordinación de Aislamiento, se deben determinar las sobretensiones soportadas requeridas en la localización del interruptor.

Luego se determinarán, teniendo en consideración los valores estandarizados por la norma técnica correspondiente, los valores que caracterizarán el nivel de aislamiento de los interruptores.

TABLA N° 4.2: Niveles de aislamiento nominal – Rango II

Tensión nominal (kV _{rms})	Tensión soportada nominal de corta duración a frecuencia industrial (kV _{rms})		Tensión soportada nominal al impulso tipo maniobra (kV _{PICO})			Tensión soportada nominal de impulso tipo rayo (kV _{PICO})	
	Fase a tierra y entre fases	A través de los contactos abiertos y/o las distancias de aislamiento	Fase a tierra y a través de los contactos abiertos	Entre fases	A través de las distancias de aislamiento	Fase a tierra y entre fases	A través de las distancias de aislamiento
300	380	435	750	1125	700 (+245)	950	950 (+170)
			850	1275			
362	450	520	850	1275	800 (+295)	1050	1050 (+205)
			950	1425			
420	520	610	950	1425	900 (+345)	1300	1300 (+240)
			1050	1575			
550	620	800	1050	1680	900 (+450)	1425	1425 (+315)
			1175	1760			
800	830	1150	1300	2210	1100 (+650)	1800	1800 (+455)
			1425	2420			

4.1.3 Frecuencia Nominal.

a. Definición

Las frecuencias nominales normalizadas son 16.67, 25, 50 y 60 Hz.

b. Determinación

Se debe seleccionar la frecuencia del sistema eléctrico en el que deberá operar el interruptor de potencia. Para el Perú la frecuencia del sistema eléctrico es 60 Hz.

4.1.4 Corriente Nominal en Servicio Continuo.

a. Definición

Es el valor eficaz de corriente en régimen continuo que el interruptor debe ser capaz de conducir indefinidamente sin que la elevación de temperatura de sus diferentes partes exceda los valores determinados en las condiciones especificados en las normas respectivas. Los valores de las corrientes nominales en servicio continuo se encuentran normalizadas.

b. Determinación

Como referencia para definir la corriente nominal en servicio continuo es el valor de corriente obtenida de los flujos de potencia, con el sistema eléctrico proyectado para la vida útil del interruptor o con el sistema actual y estimando un incremento de carga para el futuro.

Se escogerá el valor estandarizado que sea igual o el más próximo que se acerque por exceso al valor definido de corriente en el párrafo anterior.

En caso de que se prevea que el interruptor estará sometido a frecuentes

sobrecargas, debe indicarse este hecho en las Especificaciones Técnicas para que el fabricante lo tenga en cuenta en el diseño y fabricación del interruptor.

4.1.5 Corriente de Ruptura Nominal en Cortocircuito.

a. Definición

Es la corriente en un polo del interruptor, en el inicio del arco eléctrico, durante una operación de apertura.

La corriente de cortocircuito, al momento de producirse, tiene una componente alterna de valor rms y una componente de corriente directa cuyo valor depende del valor de la tensión en el momento que se produce el cortocircuito, que puede llegar a ser de la misma magnitud que el valor pico de la componente AC, y se va amortiguando con el tiempo [10, Pag. 345], tal como se muestra en la Fig. 4.1 que aparece a continuación:

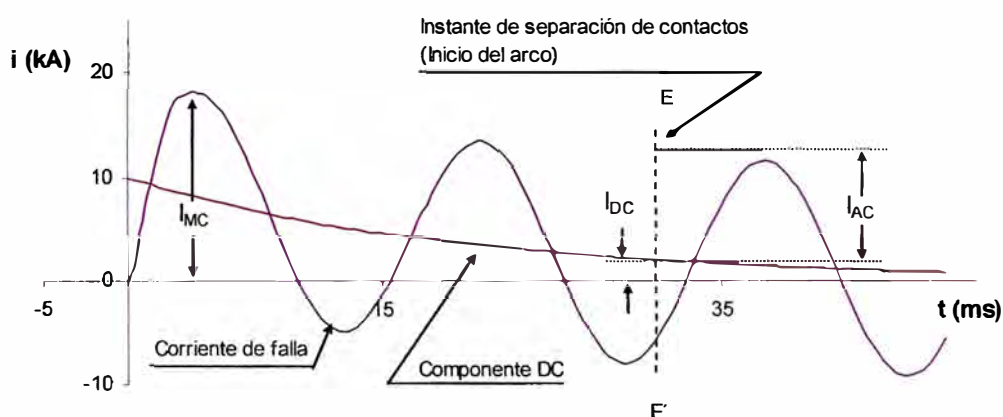


Fig. 4.1: Corriente de cierre e interrupción en cortocircuito

En la Fig. 4.1, el instante E-E' es el momento en que se separan los contactos del interruptor y se inicia el arco eléctrico; las corrientes en esta figura significan lo siguiente:

I_{AC} Valor pico de la componente AC en el momento E-E'.

I_{DC} Componente DC de la corriente en el momento E-E'.

I_{MC} Corriente de cierre en cortocircuito.

De manera que la corriente de ruptura de un interruptor también tiene dos componentes; la componente en corriente alterna que es la corriente permanente mientras dura el cortocircuito y la componente en corriente directa, cuyo valor depende del momento en que se abren los contactos del interruptor

b. Determinación

Con los resultados de las simulaciones de cortocircuito se calcula la corriente de cortocircuito (actual y proyectada para el circuito correspondiente) en la localización del interruptor.

Se determinará el tiempo de inicio de la separación de los contactos del

interruptor, que comprende los tiempos de operación de los relés de protección y de los relés auxiliares.

Luego utilizando la curva de la Fig. 4.2 [10, Pag. 347], se determina la componente DC de la corriente de ruptura utilizando la constante de tiempo recomendada de 45 ms.

Finalmente, las especificaciones técnicas considerarán los valores normalizados iguales o inmediatos mayores a los valores calculados.

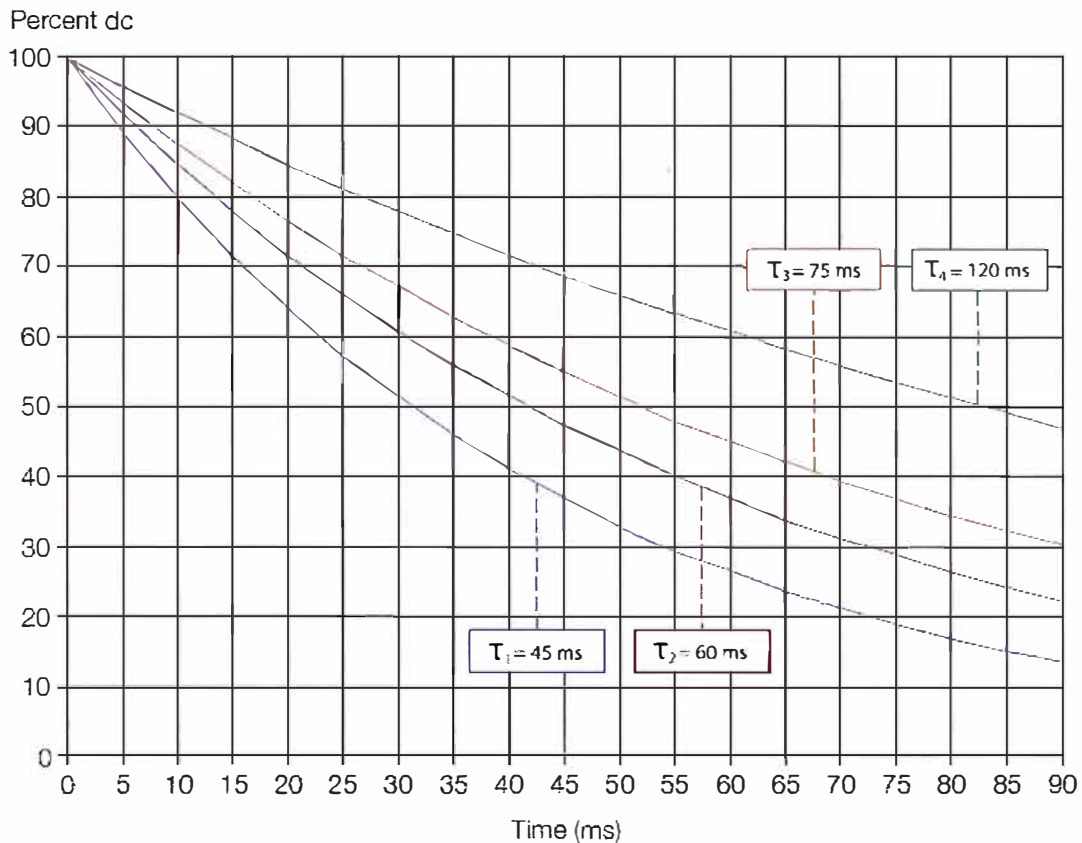


Fig. 4.2: Componente DC (%) de la corriente de establecimiento o interrupción en cortocircuito.

4.1.6 Tensión Transitoria de Restablecimiento para Fallas Terminales (TTR).

a. Definición

Es la tensión de restablecimiento en el intervalo de tiempo en el que tiene una característica transitoria apreciable. Es decir, es la tensión que aparece entre los contactos de un polo del interruptor, inmediatamente después de la interrupción de la corriente, en el intervalo de tiempo que caracteriza al periodo transitorio, antes del amortiguamiento de las oscilaciones. La TTR más desfavorable para el interruptor es aquella correspondiente a fallas trifásicas que ocurren en los terminales del interruptor.

La tensión transitoria de restablecimiento es representada por una envolvente cuya forma de construcción está descrita en el Anexo E de la norma técnica IEC 62271-100; según la cual, hay dos formas de representación [10, Pags. 71 a 77]:

i. Línea de referencia de cuatro parámetros

Para sistemas en que la tensión nominal es igual o mayor a 100 kV y para altos valores de corriente de cortocircuito, la tensión transitoria de recuperación por lo general es una onda transitoria de más de una frecuencia, siendo adecuadamente representada por medio de la Fig. 4.3

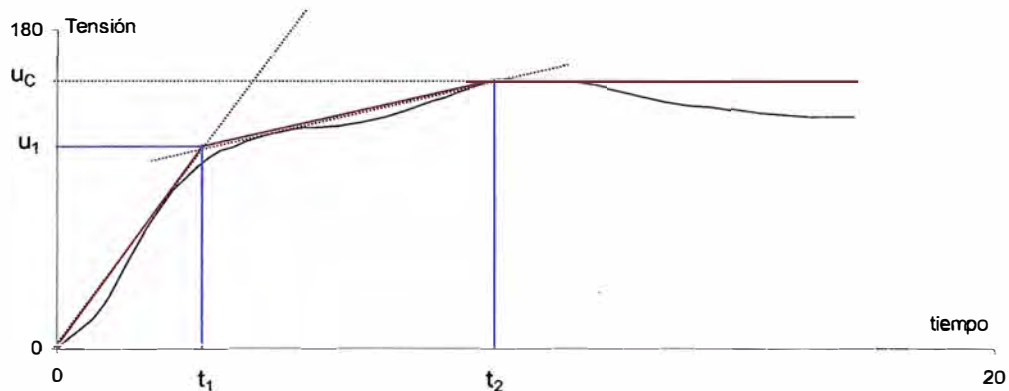


Fig. 4.3: Representación de la TTR por cuatro parámetros

Los cuatro parámetros que representa a la TTR son u_1 , t_1 y u_c , t_2 , la tensión u_c es la tensión transitoria pico, depende del factor del primer polo, del factor de amplitud y de la tensión nominal de fase a neutro.

ii. Línea de referencia de dos parámetros

En sistemas con tensiones asignadas menores a los 100 kV o en sistemas con tensiones iguales o mayores a los 100 kV, pero con bajas corrientes de cortocircuito, generalmente la TTR es una oscilación amortiguada de una sola frecuencia, es adecuadamente representada de la forma que se indica en la Fig. 4.4.

Para esta línea envolvente, que puede considerarse un caso especial de la representación de cuatro parámetros, los representativos son u_c y t_3 . El parámetro u_c tiene el mismo significado de la representación de cuatro parámetros.

De esta manera, al igual que en el caso de la representación por medio de cuatro parámetros, se trata de especificar los parámetros que definan la capacidad del interruptor de soportar los esfuerzos dieléctricos que se producen al momento de interrumpir el arco eléctrico.

iii. Variaciones al inicio de la tensión transitoria de restablecimiento

En adición, se tienen variantes a la representación de la TTR por dos o cuatro parámetros que reflejan la influencia, en los primeros instantes de producida la TTR, que algunas partes o componentes del circuito tienen en la capacidad de interrupción de los interruptores de potencia, estas variantes son las siguientes:

- Línea de retardo del voltaje transitorio de recuperación

Se debe a la influencia de la capacitancia local en el lado fuente del interruptor de

potencia, la cual – en los primeros instantes de la TTR – hace un tanto más lenta la tasa de crecimiento de la TTR; se lo toma en cuenta introduciendo un retardo de tiempo t según se muestra en las figuras Fig. 4.5 y Fig. 4.6

- La parte inicial del voltaje transitorio de recuperación (ITRT)

Para algunos interruptores es de importancia la influencia de la bahía de línea y de las barras de la subestación. Normalmente se desprecia esta influencia para interruptores de tensiones nominales menores a los 100 kV y para cualquier interruptor con corrientes nominales de interrupción de cortocircuitos menores a los 25 kA.

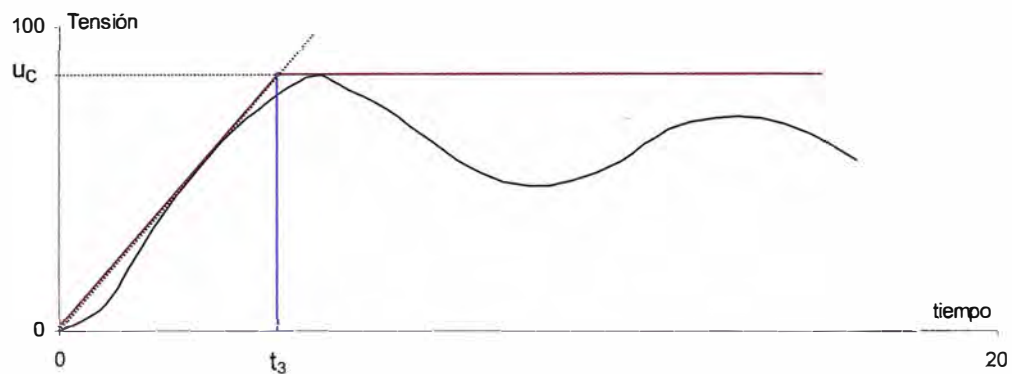


Fig. 4.4: Representación de la TTR por dos parámetros

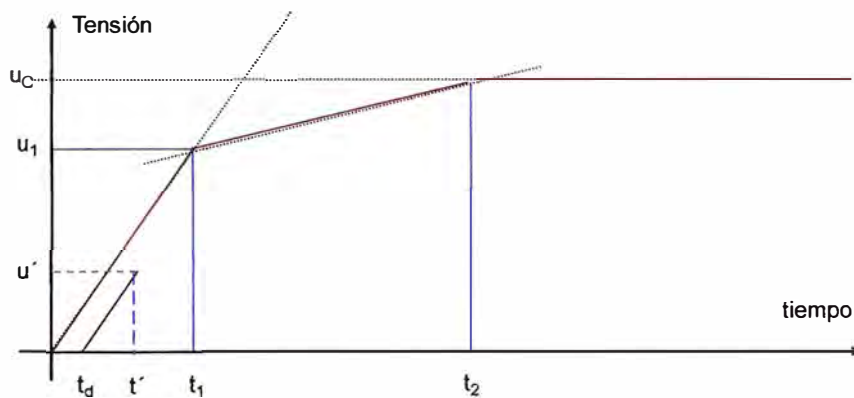


Fig. 4.5: Retardo por efecto capacitivo en la representación de la TTR por cuatro parámetros

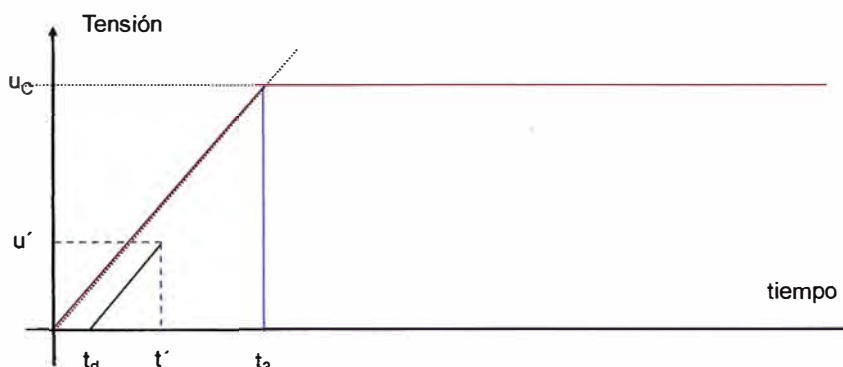


Fig. 4.6: Retardo por efecto capacitivo en la representación de la TTR por dos parámetros

iv. Factor del primer polo y factor de amplitud

Los parámetros que influyen en la tensión u_c son el factor del primer polo y el factor de amplitud, los cuales se definen de la siguiente manera:

- Factor del primer polo (k_{pp}): para una falla trifásica, es la relación entre la tensión en el primer polo que extingue el arco, a la tensión nominal.
- Factor de amplitud (k_{af}): Es la relación de la tensión pico de la tensión transitoria de restablecimiento a la tensión nominal.

b. Determinación

Como paso previo a la determinación de la representación de la TTR, se fija el factor del primer polo (k_{pp}) y el factor de amplitud (k_{af}); para lo cual se selecciona uno de los valores recomendados que figuran en la TABLA N° 4.3 para el caso del k_{pp} , dependiendo del sistema de puesta a tierra de la instalación y de la TABLA N° 4.4 para el k_{af} , dependiendo del tipo de falla.

TABLA N° 4.3: Valores recomendados para el factor del primer polo (k_{pp})

	Factor del primer polo (k_{pp})		
	Ur < 100 kV	100 kV ≤ Ur y Ur ≤ 170 kV	170 kV < Ur y Ur ≤ 800 kV
Sistemas con neutro aislado	1.5	1.5	1.3
Sistemas con neutro sólidamente a tierra	1.5		1.3
Sistemas con conexión resonante a tierra	1.5	1.5	1.3

TABLA N° 4.4: Valores recomendados para el factor de amplitud (k_{af})

	Factor de amplitud (k_{af})
Fallas terminales	1.4
Fallas de línea corta	1.4
Condiciones fuera de fase	1.25

Luego, los parámetros para la representación del TTR serán determinados teniendo en cuenta los siguientes puntos:

i. Representación mediante cuatro parámetros.

La determinación de los parámetros para representar la TTR es como sigue:

- Tensión u_1

$$u_1 = 0,75 \cdot k_{pp} \cdot U_r \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (4.1)$$

- Tiempo t_1

El valor de t_1 es obtenido del valor de u_1 y de la tasa de elevación de la tensión de recuperación (RRRV) especificada, según la siguiente relación:

$$t_1 = \frac{u_1}{RRRV} \quad (4.2)$$

- Tensión u_c

$$u_c = k_{af} \cdot k_{pp} \cdot U_r \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (4.3)$$

- Tiempo t_2

Según sea el caso, el tiempo adopta los siguientes valores:

Para fallas terminales $t_2 = 4.t_1$

Para fallas de línea corta $t_2 = 4.t_1$ (4.4)

Para condiciones fuera de fase $4.t_1 \leq t_2 \leq 8.t_1$

ii. Representación mediante dos parámetros.

De manera similar, las expresiones para los dos parámetros son las siguientes:

- Tensión u_c

$$u_c = k_{af} \cdot k_{pp} \cdot U_r \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (4.5)$$

- Tiempo t_3

El valor de t_3 es obtenido del valor de u_c y de la tasa de elevación de la tensión de recuperación (RRRV) especificada, según la siguiente relación:

$$t_3 = \frac{u_1}{RRRV} \quad (4.6)$$

iii. Línea de retardo de la TTR.

El tiempo de retardo y la tensión de referencia adoptan los siguientes valores:

- Tiempo de retardo t_d

Para U_r menores a 52,5 kV $t_d = 0,15.t_3$

Para $52.5 < U_r \leq 72.5$ kV $t_d = 0,05.t_3$

Para $U_r > 72.5$ kV y falla terminal $t_d = 2\mu s$ (4.7)

Para $U_r > 72.5$ kV y falla de línea corta, lado fuente $t_d = 2\mu s$

Para $U_r > 72.5$ kV y condición fuera de fase $t_d = 2\mu s$

- Tensión de referencia u'

Para U_r menores a 52,5 kV $u' = \frac{u_c}{3}$

Para $52.5 < U_r \leq 72.5$ kV $u' = \frac{u_c}{3}$ (4.8)

Para $U_r > 72.5$ kV y falla terminal $u' = \frac{u_1}{2}$

- Tiempo t' para alcanzar u'

Para todos los casos, según la siguiente expresión:

$$t' = t_d + \left(\frac{u'}{RRRV} \right) \quad (4.9)$$

En las tablas Nros. 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 se reproducen las tablas 1a, 1b, 1c y 1d, respectivamente, de la norma IEC [10, Pags. 73 a 85]; presentan los valores normalizados de los parámetros de representación del TTR, los cuales cubren la mayoría de los casos prácticos [10, Pag. 301].

Por tanto, de una manera práctica, solamente será necesario seleccionar adecuadamente los valores de los diferentes parámetros en las mencionadas tablas.

TABLA N° 4.5: Valores normalizados para la representación por dos parámetros de la TTR; voltajes nominales menores a 100 kV.

Tensión nominal U_r kV	Tipo de prueba	Factor del primer polo k_{pp} p.u.	Factor de amplitud k_{af} p.u.	Valor pico de la TTR u_c kV	Tiempo t_3 μs	Tiempo de retardo t_d μs	Tensión u' kV	Tiempo t' μs	RRRV u_c/t_3 kV/ μs
3.6	Falla terminal	1.5	1.4	6.2	41	6	2.1	20	0.15
	Fuera de fase	2.5	1.25	9.2	77	12	3.1	38	0.12
4.76	Falla terminal	1.5	1.4	8.2	51	8	2.7	24	0.16
	Fuera de fase	2.5	1.25	12.1	101	15	4	48	0.12
7.2	Falla terminal	1.5	1.4	12.3	51	8	4.1	25	0.24
	Fuera de fase	2.5	1.25	18.4	102	15	6.1	49	0.18
8.25	Falla terminal	1.5	1.4	14.1	59	9	4.7	29	0.24
	Fuera de fase	2.5	1.25	21	117	18	7	57	0.18
12	Falla terminal	1.5	1.4	20.6	61	9	6.9	29	0.34
	Fuera de fase	2.5	1.25	30.6	116	18	10	56	0.26
15	Falla terminal	1.5	1.4	25.7	76	11	8.6	36	0.34
	Fuera de fase	2.5	1.25	38.3	147	22	13	72	0.26
17.5	Falla terminal	1.5	1.4	30	71	11	10	35	0.42
	Fuera de fase	2.5	1.25	45	145	22	15	70	0.31
24	Falla terminal	1.5	1.4	41	87	13	14	43	0.47
	Fuera de fase	2.5	1.25	61	174	26	20	83	0.35
25.8	Falla terminal	1.5	1.4	44	105	16	15	52	0.42
	Fuera de fase	2.5	1.25	66	213	32	22	103	0.31
36	Falla terminal	1.5	1.4	62	109	16	21	53	0.57
	Fuera de fase	2.5	1.25	92	214	32	31	104	0.43
38	Falla terminal	1.5	1.4	65	125	19	22	61	0.52
	Fuera de fase	2.5	1.25	97	249	37	32	119	0.39
48.3	Falla terminal	1.5	1.4	83	122	6	27	47	0.68
	Fuera de fase	2.5	1.25	123	262	39	41	126	0.47
52	Falla terminal	1.5	1.4	89	131	7	30	51	0.68
	Falla de línea corta	1	1.4	59	131	7	20	51	0.45
	Fuera de fase	2.5	1.25	133	266	40	44	128	0.5
72.5	Falla terminal	1.5	1.4	124	165	8	41	63	0.75
	Falla de línea corta	1	1.4	83	166	8	28	64	0.5
	Fuera de fase	2.5	1.25	185	336	50	62	163	0.55

4.1.7 Corriente de Cierre y Ruptura Nominal en Discordancia de Fases.

a. Definición

Es la corriente que el interruptor tiene que cortar y que se produce cuando las partes del sistema que se encuentran a ambos lados del interruptor pierden sincronismo o cuando una fuente de generación ha sido conectada con el ángulo de fase diferente al

de la red.

b. Determinación

En los sistemas eléctricos se implementan sistemas para evitar la conexión en condiciones fuera de paso; por tal motivo es una situación poco probable que un interruptor sea cerrado en condiciones de falta de sincronismo.

Además, el diseño de un interruptor de potencia para cerrar en condiciones fuera de paso resulta antieconómico.

Por lo cual, en la selección de un interruptor de potencia, no se indican especificaciones técnicas para condiciones de fuera de paso [10, Pag. 303].

TABLA N° 4.6: Valores normalizados para la representación por cuatro parámetros de la TRT; voltajes nominales entre 100 kV a 170 kV. Sistemas solidamente a tierra.

Tensión nominal Ur kV	Tipo de prueba	Factor del primer polo k_{pp} p.u.	Factor de amplitud k_{ar} p.u.	Primera tensión de referencia u_1 kV	Tiempo t_1 μs	Valor pico de la TTR u_c kV	Tiempo t_2 μs	Tiempo de retardo t_d μs	Tensión u' kV	Tiempo t' μs	RRRV u_c/t_1 kV/ μs
100	Falla terminal	1.3	1.4	80	40	149	160	2	40	22	2
	Falla de línea corta	1	1.4	61	31	114	124	2	31	17	2
	Fuera de fase	2	1.25	122	80	204	160-320	2-8	61	48	1.54
123	Falla terminal	1.3	1.4	96	49	183	196	2	49	26	2
	Falla de línea corta	1	1.4	75	38	141	152	2	38	21	2
	Fuera de fase	2	1.25	151	98	251	196-392	2-10	75	59	1.54
145	Falla terminal	1.3	1.4	115	58	215	232	2	58	31	2
	Falla de línea corta	1	1.4	89	44	166	176	2	44	24	2
	Fuera de fase	2	1.25	178	116	296	232-464	2-12	89	70	1.54
170	Falla terminal	1.3	1.4	135	68	253	272	2	68	36	2
	Falla de línea corta	1	1.4	104	52	194	208	2	52	28	2
	Fuera de fase	2	1.25	208	136	347	272-544	2-14	104	81	1.54

TABLA N° 4.7: Valores normalizados para la representación por cuatro parámetros de la TRT; voltajes nominales entre 100 kV a 170 kV. Sistemas aislados.

Tensión nominal Ur kV	Tipo de prueba	Factor del primer polo k_{pp} p.u.	Factor de amplitud k_{ar} p.u.	Primera tensión de referencia u_1 kV	Tiempo t_1 μs	Valor pico de la TTR u_c kV	Tiempo t_2 μs	Tiempo de retardo t_d μs	Tensión u' kV	Tiempo t' μs	RRRV u_c/t_1 kV/ μs
100	Falla terminal	1.5	1.4	92	46	171	184	2	46	25	2
	Falla de línea corta	1	1.4	61	31	114	124	2	31	17	2
	Fuera de fase	2.5	1.25	153	92	255	184-368	2-9	77	55	1.67
123	Falla terminal	1.5	1.4	113	56	211	224	2	56	30	2
	Falla de línea corta	1	1.4	75	38	141	152	2	38	21	2
	Fuera de fase	2.5	1.25	188	112	314	224-448	2-11	94	67	1.67
145	Falla terminal	1.5	1.4	133	67	249	268	2	67	35	2
	Falla de línea corta	1	1.4	89	44	166	176	2	44	24	2
	Fuera de fase	2.5	1.25	222	134	370	268-536	2-13	111	79	1.67
170	Falla terminal	1.5	1.4	156	78	291	312	2	78	41	2
	Falla de línea corta	1	1.4	104	52	194	208	2	52	28	2
	Fuera de fase	2.5	1.25	260	156	434	312-624	2-16	130	94	1.67

4.1.8 Corriente Nominal de Cierre en Cortocircuito.

a. Definición

Es el valor de cresta de la primera onda de corriente en un determinado polo de un interruptor, durante el periodo transitorio que sigue al instante de establecimiento de la corriente, en una operación de cierre de un circuito en cortocircuito, tal como se muestra en la Fig. 4.1 (Corriente I_{MC}).

b. Determinación

Según las recomendaciones de la CEI [10, Pag. 303], la corriente asignada de cierre en cortocircuito ($I_{Cierre \text{ en Cortocircuito}}$) estará referida a la tensión nominal, a la frecuencia nominal y a la constante de tiempo del sistema.

Como la constante de tiempo de los sistemas eléctricos está entre 30 a 60 ms, se adoptó el valor de $\tau = 45$ ms.

Para la tensión asignada, la frecuencia asignada de 60 Hz y la constante de tiempo $\tau = 45$ ms, la corriente asignada de cierre en cortocircuito tendrá el siguiente valor:

$$I_{Cierre \text{ en cortocircuito}} = 2,6 \cdot I_{Interr. \text{ en cortocircuito}} \quad (4.9)$$

Para el caso en que la constante de tiempo del sistema sea del orden de magnitud de 60 ms, 75 ms ó 120 ms, la corriente asignada de cierre en cortocircuito podrá tener el siguiente valor:

$$I_{Cierre \text{ en cortocircuito}} = 2,7 \cdot I_{Interr. \text{ en cortocircuito}} \quad (4.10)$$

La componente DC de la corriente de cierre en cortocircuito, puede también ser definida desde las curvas de la Fig. 4.2.

TABLA N° 4.8: Valores normalizados para la representación por cuatro parámetros de la TRT; voltajes nominales mayores o iguales a 245 kV. Sistemas sólidamente a tierra.

Tensión nominal U_r kV	Tipo de prueba	Factor del primer polo k_{pp} p.u.	Factor de amplitud k_{af} p.u.	Primera tensión de referencia u_1 kV	Tiempo t_1 μ s	Valor pico de la TTR u_c kV	Tiempo t_2 μ s	Tiempo de retardo t_d μ s	Tensión u^* kV	Tiempo t' μ s	RRRV u_c/t_1 kV/ μ s
245	Falla terminal	1.3	1.4	195	98	364	392	2	98	51	2
	Falla de línea corta	1	1.4	150	75	280	300	2	75	40	2
	Fuera de fase	2	1.25	300	196	500	392-784	2-20	150	117	1.54
300	Falla terminal	1.3	1.4	239	119	446	476	2	119	62	2
	Falla de línea corta	1	1.4	184	92	343	368	2	92	48	2
	Fuera de fase	2	1.25	367	238	612	476-952	2-24	184	143	1.54
362	Falla terminal	1.3	1.4	288	144	538	576	2	144	74	2
	Falla de línea corta	1	1.4	222	111	414	444	2	111	57	2
	Fuera de fase	2	1.25	443	288	739	576-1152	2-29	222	173	1.54
420	Falla terminal	1.3	1.4	334	167	624	668	2	167	86	2
	Falla de línea corta	1	1.4	257	129	480	516	2	129	66	2
	Fuera de fase	2	1.25	514	334	657	668-1336	2-33	257	202	1.54
550	Falla terminal	1.3	1.4	438	219	817	876	2	219	111	2
	Falla de línea corta	1	1.4	337	168	629	672	2	168	86	2
	Fuera de fase	2	1.25	674	438	1123	876-1752	2-44	337	263	1.54
800	Falla terminal	1.3	1.4	637	318	1189	1272	2	318	161	2
	Falla de línea corta	1	1.4	490	245	914	980	2	245	124	2
	Fuera de fase	2	1.25	980	636	1633	1272-2544	2-64	490	382	1.54

4.1.9 Secuencia de Operación Asignada.

a. Definición

Es un ciclo de operación normalizado determinado por los fabricantes y al que están referidas las características del interruptor de potencia. Existen dos alternativas:

- Ciclo de operación O – t – CO – t' - CO
- Ciclo de operación CO - t'' - CO

En donde:

C es una operación de cierre.

O es una operación de apertura.

t, t' y t'' son intervalos de tiempo entre operaciones sucesivas.

Los intervalos de tiempo t y t' son expresados en segundos o en minutos, en cambio el intervalo t'' es expresado en segundos.

b. Determinación

Los valores asignados a los diferentes intervalos de tiempo (t, t' y t'') van a depender si el interruptor estará sujeto a operaciones de recierre automático rápido o no está destinado a operaciones de recierre. En tal sentido, se pueden adoptar uno de los siguientes valores para t, t' y t'' mostrados en la TABLA N° 4.9.

TABLA N° 4.9: Valores recomendados para los parámetros del ciclo de operación asignado.

	Con recierre rápido			Sin recierre		
	t	t'	t''	t	t'	t''
O - t - CO - t' - CO	0,3 s	3 min		3 min	3 min	
	0,3 s	1 min				
	0,3 s	15 s				
CO - t'' - CO						15 s

4.1.10 Duración Nominal de Cortocircuito.

a. Definición

Es el intervalo de tiempo que el interruptor puede conducir, en la posición cerrada, una corriente igual a su corriente soportada de corto tiempo. El valor normalizado de duración asignada de cortocircuito es 1 s; pudiéndose especificar valores más altos o más cortos (0.5, 2 ó 3 s).

b. Determinación

El valor normalizado de duración asignada de cortocircuito es 1 s; pudiéndose especificar valores más altos o más cortos (0.5, 2 ó 3 s).

El valor que se seleccione estará relacionado con los tiempos requeridos por los sistemas de protección para aislar la parte del circuito con falla.

Como, por lo general, la continuidad del servicio es un factor importante en la operación de los sistemas eléctricos de potencia, se seleccionará la duración asignada de

cortocircuito de 1 s; tiempos más cortos al indicado implica interruptores de potencia de mayor costo.

4.1.11 Clasificación para la soportabilidad Eléctrica (Clases E1 o E2).

a. Definición

La Soportabilidad Eléctrica (Endurance Electrical) es la clase de mantenimiento que requieren las diferentes partes del interruptor de potencia.

Los interruptores de soportabilidad eléctrica Clase E2 son aquellos que las partes de interrupción del circuito principal no requerirán mantenimiento durante su vida de operación y las otras partes requieren mantenimiento mínimo.

Los interruptores de soportabilidad eléctrica Clase E1 son aquellos que no caen dentro de las características de los interruptores de soportabilidad eléctrica Clase E2

b. Determinación

Se seleccionará interruptores de soportabilidad eléctrica Clase E2, debido a que lo que está predominando son los interruptores con cámara de corte en vacío o en SF₆ para media tensión y en SF₆ para interruptores de alta tensión; por lo que las partes del circuito principal no requieren mantenimiento durante su vida de operación o lo requieren en mínimo grado.

4.1.12 Corriente Soportada Nominal de Corta Duración.

a. Definición

Es el valor eficaz de la corriente que un interruptor puede soportar, en la posición cerrada, durante un corto intervalo de tiempo especificado para determinadas condiciones de empleo y funcionamiento.

El interruptor debe tener la capacidad para soportar los efectos térmicos producidos por esta corriente.

b. Determinación

La corriente seleccionada será igual a la componente AC de la corriente de interrupción (ruptura) en cortocircuito.

4.1.13 Corriente Pico Nominal Soportada.

a. Definición

Es la corriente pico asociada con el mayor valor de la primera onda de la corriente nominal de cierre en cortocircuito que el interruptor debe soportar en posición cerrado (I_{MC} en la Fig. 4.1). La corriente pico soportada nominal está relacionada con la frecuencia nominal del interruptor; para la frecuencia nominal de 60 Hz, la corriente pico soportada nominal es 2.6 veces la corriente soportada de corta duración.

El interruptor debe tener la capacidad para soportar los esfuerzos electrodinámicos producidos por esta corriente.

b. Determinación

Se seleccionará el mismo valor como la establecida en el numeral 4.1.8 de este documento; es decir, el valor para la corriente nominal de cierre en cortocircuito.

4.1.14 Voltaje Nominal de alimentación a los dispositivos de cierre y apertura y a los circuitos de control y auxiliares.

a. Definición

Es el voltaje medido en los terminales de los aparatos durante su operación incluyendo, si fuera necesario, los resistores auxiliares o los accesorios suministrados o requeridos por el fabricante a ser instalados en serie con los mencionados aparatos; no deben incluirse los conductores de conexión a la fuente de suministro. El sistema de suministro, preferiblemente debe ser referenciado a tierra (no completamente aislado) a fin de evitar la acumulación peligrosa de cargas estáticas.

Los valores normalizados de la tensión de alimentación de los servicios auxiliares están dados en la TABLA N° 4.10 que es una reproducción de las tablas 14 y 15 de IEC 60694 [12, Pag. 73].

La tolerancia relativa en servicio normal, tanto en corriente directa como en corriente alterna, medida a la entrada de los equipos auxiliares será de 85% a 110%.

TABLA N° 4.10: Tensiones auxiliares normalizadas.

Tensión en corriente directa	Tensión en corriente alterna		
V_{dc} V	Sistemas trifásicos de tres o cuatro hilos V	Sistemas monofásicos de tres hilos V	Sistemas monofásicos de dos hilos V
24		120/240	120
48	120/208		120
60/110 ó 125	220/380		220
220 ó 250	230/400		230
	240/415		240
	277/480		277
	347/600		347

b. Determinación

Los valores de las tensiones asignadas de los servicios auxiliares, en corriente directa (DC) y en corriente alterna (AC), se seleccionará de los valores normalizados que figuran en las tablas del numeral 4.1.14; de acuerdo con los valores normalizados del usuario y/o de acuerdo con los tensiones de los servicios auxiliares existentes.

4.1.15 Frecuencia Nominal de la alimentación a los dispositivos de cierre y apertura y a los circuitos de control y auxiliares.

a. Definición

La frecuencia del voltaje asignado normalizado para los dispositivos y servicios auxiliares será corriente directa (DC) y, corriente alterna en 50 Hz ó 60 Hz.

b. Determinación

La frecuencia normalizada en el Perú es de 60 Hz; por lo que el valor de la frecuencia para la tensión auxiliar en corriente alterna está definida por este valor.

4.1.16 Presiones Nominales de suministro de gas comprimido para aislamiento, operación y/o interrupción.

a. Definición

Son valores de presiones normalizadas o algunas otras especificadas por los fabricantes.

Los valores normalizados según la norma técnica correspondiente [12, Pag. 75] son 0,5 MPa – 1,0 MPa - 1,6 MPa – 2 MPa – 3 MPa – 4 MPa u otros valores especificados por los fabricantes.

b. Determinación

Se adoptan las presiones que los fabricantes asignen a sus equipos.

4.1.17 Características para fallas en líneas cortas.

a. Definición

Los interruptores de tres polos, de tensiones nominales iguales o mayores a 52 kV y con corrientes de ruptura nominales mayores que 12.5 kA, destinados para ser conectados a líneas de transmisión aéreas, deben tener características para desconectar fallas de línea corta. Estas características están relacionadas a la interrupción, por un interruptor tripolar, de corrientes monofásicas falla a tierra en sistemas con neutro puesto a tierra, en donde se considera que el factor de primer polo igual a 1.0

b. Determinación

En las Especificaciones Técnicas del Interruptor de potencia se debe comunicar al fabricante que el interruptor requiere de características para la desconexión de una falla de línea corta; siguiendo las recomendaciones que se indican en el numeral 4.105 de IEC 62271-100, Pag. 91.

4.1.18 Rendimiento al reencendido durante la operación (apertura o cierre) de corrientes capacitivas (Clases C1 o C2).

a. Definición

Comprenden algunas o todas de las corrientes de maniobra capacitivas del trabajo operativo de los interruptores de potencia, tales como la corriente de carga de una línea o cable en vacío o la corriente de carga de un banco de condensadores en conexión shunt. Las corrientes de maniobra nominales capacitivas que se deben incluir, donde sea aplicable, son las siguientes:

- Corriente de Ruptura Nominal de Línea Cargada. Es la máxima corriente de línea cargada, en vacío, que el interruptor será capaz de interrumpir a la tensión asignada y

condiciones normales. Es mandatorio su especificación para tensiones asignadas mayores o iguales a 72.5 kV.

- Corriente de Ruptura Nominal de Cable Cargado. Es la máxima corriente de cable de energía cargado, en vacío, que el interruptor será capaz de interrumpir a la tensión asignada y condiciones normales. Es mandatorio su especificación para tensiones asignadas menores o iguales a 52 kV
- Corriente de Ruptura Nominal de un Banco de Capacitores Fijo. Se refiere a la máxima corriente de interrupción de un banco de capacitores en conexión shunt, localizado en el lado no fuente del interruptor de potencia.
- Corriente de Ruptura Nominal de Bancos de Capacitores por Etapas.
- Corriente Inrush a la conexión de un Banco de Capacitores Fijo.
- Corriente Inrush a la conexión de un Banco de Capacitores por Etapas.

En la Tabla N° 4.11, que es una reproducción de la Tabla 5 de IEC [10, Pag. 99], se presentan los valores recomendados de corrientes capacitivas a interrumpir sin que se produzca el reencendido.

TABLA N° 4.11: Tensiones recomendadas de corrientes normalizadas de maniobras de cargas capacitivas.

Tensión nominal Ur kV	Corriente de ruptura de línea cargada I_l A_{rms}	Corriente de ruptura de cable cargado I_c A_{rms}	Corriente de ruptura de Capacit. simple I_{ab} A_{rms}	Corriente de ruptura de Capacit. por etapas I_{bb} A_{rms}	Corriente inrush de Capacit. por etapas I_{bl} kA_{rms}	Frecuencia de la corriente inrush f_{bl} Hz
3.6	10	10	400	400	20	4250
4.76	10	10	400	400	20	4250
7.2	10	10	400	400	20	4250
8.25	10	10	400	400	20	4250
12	10	25	400	400	20	4250
15	10	25	400	400	20	4250
17.5	10	31.5	400	400	20	4250
24	10	31.5	400	400	20	4250
25.8	10	31.5	400	400	20	4250
36	10	50	400	400	20	4250
38	10	50	400	400	20	4250
48.3	10	80	400	400	20	4250
52	10	80	400	400	20	4250
72.5	10	125	400	400	20	4250
100	20	125	400	400	20	4250
123	31.5	140	400	400	20	4250
145	50	160	400	400	20	4250
170	63	160	400	400	20	4250
245	125	250	400	400	20	4250
300	200	315	400	400	20	4250
362	315	355	400	400	20	4250
420	400	400	400	400	20	4250
550	500	500	400	400	20	4250
800	900					

El voltaje de recuperación referida a las corrientes de maniobra capacitivas dependen de factores tales como la puesta a tierra del sistema, la puesta a tierra de las cargas capacitivas, la influencia mutua de las fases adyacentes de la carga capacitiva, la influencia mutua de sistemas adyacentes con líneas aéreas en la misma ruta, la presencia de fallas a tierra de una o dos fases.

Se definen dos clases de interruptores de potencia de acuerdo a su rendimiento con el reencendido del arco eléctrico:

Clase C1: Baja probabilidad de reencendido durante la interrupción de corrientes capacitivas.

Clase C2: Muy baja probabilidad de reencendido durante la interrupción de corrientes capacitivas.

b. Determinación

Se procede a determinar las corrientes capacitivas en líneas aéreas cargadas en vacío, cables de energía cargados en vacío y de bancos de condensadores en conexión shunt; luego se seleccionarán las corrientes inmediatamente mayores a los valores establecidos en la TABLA N° 4.11.

Luego, de acuerdo a la importancia del circuito y teniendo en cuenta la inversión razonable en la adquisición del interruptor se seleccionará un interruptor de clase C1 o de clase C2.

4.1.19 Número de operaciones mecánicas (Clase M1 o Clase M2).

a. Definición

Un interruptor de potencia debe ser capaz de realizar el siguiente número de operaciones, tomando en cuenta el programa de mantenimiento especificado por el fabricante.

Clase M1: Interruptores estándares (resistencia mecánica normal); 2000 secuencias de operación.

Clase M2: Interruptores para requerimientos de servicio especial (resistencia mecánica extendida); 10000 secuencias de operación.

b. Determinación

Por lo general, se seleccionan interruptores de potencia para aplicaciones comunes; por tanto, normalmente se especificaran interruptores de Clase M1 (2000 operaciones). Sin embargo, debe hacerse una evaluación de cada aplicación específica para determinar si se requiere especificar un interruptor de Clase M2 (10000 operaciones).

4.1.20 Condiciones climáticas y atmosféricas.

a. Definición

Los interruptores de potencia deben cumplir con la clausula 2 de la norma IEC 62271-100 y por lo tanto con la clausula 2 de la norma IEC 60694.

b. Determinación

Se determinarán las condiciones climáticas y atmosféricas del lugar en el que será instalado el interruptor de potencia. Luego se verificará que se encuentren dentro de los valores especificados en las condiciones normales de servicio indicadas en el numeral 4.2 de este Informe. De encontrarse fuera de alguno de los rangos que allí se indican, se deben aplicar los factores de corrección adecuados o se hará la indicación correspondiente para que el fabricante lo tenga en cuenta.

4.1.21 Altura sobre el nivel del mar de instalación.

a. Definición

Las condiciones nominales de servicio de los interruptores de potencia son para operación a una altitud igual o menor a los 1000 m.s.n.m.

Para instalaciones ubicadas por encima de los 1000 m.s.n.m. el nivel del aislamiento externo, especificado bajo las condiciones atmosféricas de referencia estandarizadas, debe ser corregido multiplicando la tensión de sostenimiento requerida en la localización del interruptor, por un factor de corrección establecido por la norma técnica correspondiente.

b. Determinación

Cuando la instalación del interruptor se ubica por encima de los 1000 metros sobre el nivel del mar (msnm), se deben aplicar los siguientes factores de seguridad:

i. Para coordinación de aislamiento.

Tomando la recomendación de IEC 60071-2, el factor de corrección por altura se obtendrá de la siguiente expresión:

$$k_a = \varepsilon^{\frac{m(H-1000)}{8150}} \quad (4.11)$$

En donde:

k_a Es el factor de corrección por altura.

ε Es la función exponencial neperiana.

H: Altura sobre el nivel del mar del lugar de emplazamiento del interruptor (m).

m: Factor que depende del tipo de la onda de tensión; siendo:

$m = 1.0$, para ondas de frecuencia industrial, impulsos tipo rayo e impulso de maniobra fase – fase.

$m = 0.9$, para aislamiento longitudinal para el caso de ondas de impulso de maniobra.

$m = 0.75$, para tensiones de impulso por maniobra, fase a tierra.

ii. Para distancias de aislamiento.

Por cada 305 m por encima de los 1000 msnm, debe incrementarse en un 3% las distancias de aislamiento [2, Pag. 114].

iii. Para la corriente nominal en régimen continuo.

Los factores de corrección para la corriente asignada permanente estarán dados por la siguiente expresión [14, expresión derivada por ensayo error]:

$$k_{ai} = \varepsilon^{0,16 \cdot \left(\frac{H-1000}{8150} \right)} \quad (4.12)$$

En donde:

k_{ai} Factor de corrección por la altura de instalación.

ε Es la función exponencial neperiana.

H Es la altura sobre el nivel del mar (msnm)

4.1.22 Tiempo de apertura.

a. Definición

Es el máximo intervalo de tiempo desde el instante en que es energizada la bobina de disparo del interruptor hasta el momento en que se extingue el arco eléctrico.

El tiempo de apertura es un parámetro importante pues mientras más corto, la corriente de cortocircuito producirá menos daño en los equipos y será más probable que se mantenga la estabilidad del sistema eléctrico.

b. Determinación

En el pedido de cotización se debe solicitar el tiempo de operación ofrecido por el fabricante a fin de comparar valores y seleccionar aquel que resulte más conveniente.

4.1.23 Corriente de ruptura de pequeñas corrientes inductivas.

a. Definición

Para el caso de pequeñas corrientes inductivas, hay cierta inestabilidad del arco eléctrico cuando la corriente a ser interrumpida se acerca a su cero natural, ocasionando un corte prematuro (antes de que la corriente pase por su cero natural), lo que resulta en sobretensiones que se propagan al sistema.

La interrupción prematura de la corriente por el interruptor de potencia es conocida como corriente de corte o de Chopping. La determinación de esta corriente es una tarea difícil pues intervienen varios parámetros, algunos de ellos no disponibles por los usuarios.

Para ilustración de este caso se muestra la Fig. 4.6 que es una reproducción de la figura 3.1 de la publicación "Low-Current Behaviour and Current Chopping of Vacuum Arcs" de Rene Meter Paul Smeets, Pag. 26.

b. Determinación

No se especifican valores para este caso; sin embargo, en el pedido de cotización, de ser el caso, se debe hacer la indicación de que el interruptor estará destinado a interrumpir pequeñas corrientes inductivas a fin de que el fabricante lo tome en cuenta.

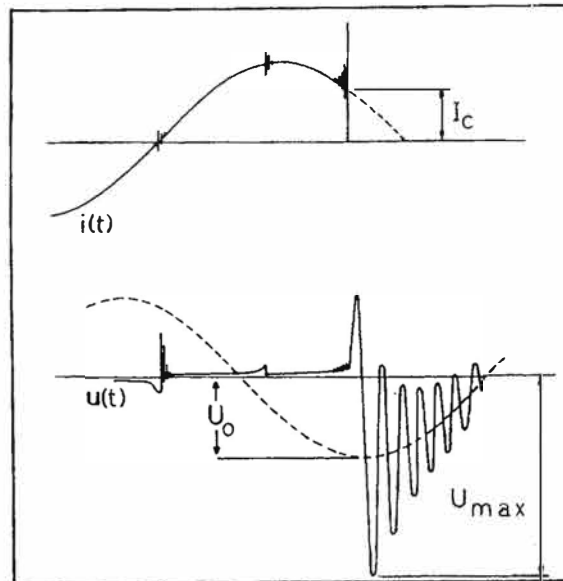


Fig. 4.7: Corriente Chopping por la desconexión de una pequeña corriente inductiva

4.2 Condiciones normales de servicio

En la definición de las especificaciones técnicas de los interruptores de potencia deben tenerse en cuenta las condiciones normales de servicio mencionadas en el numeral 4.1.20 de este documento y listadas en la Cláusula 2 de la norma técnica IEC 60694; a las cuales se hace referencia cuando se designan los diferentes valores nominales de los interruptores de potencia, a menos que se especifiquen alguna o algunas condiciones de servicio diferentes.

En forma resumida, las condiciones normales principales de servicio son las siguientes [12, Pags. 23 a 27]:

4.2.1 Para instalaciones al interior

Para interruptores instalados en instalaciones cubiertas, protegidas de las condiciones presentes a la intemperie, las condiciones normales de servicio son las siguientes:

- La temperatura ambiente no debe ser mayor a los 40° C y su promedio diario, menor o igual a 35° C. La temperatura mínima puede ser de -5° C, -10° C ó -15° C.
- La altitud de instalación no debe ser mayor a los 1000 m.s.n.m.
- El aire del ambiente no debe ser significativamente contaminado por polvo, humos, gases corrosivos o inflamables, vapores o sales.
- Las condiciones de humedad serán las siguientes:
Humedad relativa media diaria, menor o igual a 95%.

El valor medio diario de la presión de vapor de agua, igual o menor a 2.2 kPa.

Humedad relativa media mensual, menor o igual a 90%.

El valor medio mensual de la presión de vapor de agua, igual o menor a 1.8 kPa.

- e. La influencia de radiación solar, así como las vibraciones y temblores externos se consideran de poca influencia, por lo que no se los toma en cuenta.

4.2.2 Para instalaciones al exterior

Para interruptores instalados en instalaciones a la intemperie, las condiciones normales de servicio son las siguientes:

- a. La temperatura ambiente no debe ser mayor a los 40° C y su promedio diario, menor o igual a 35° C. La temperatura mínima puede ser de -10° C, -20° C ó -40° C.
- b. La altitud de instalación no debe ser mayor a los 1000 m.s.n.m.
- c. La radiación solar al mediodía de un día claro puede ser hasta de 1000 W/m².
- d. El nivel de contaminación del medio ambiente no debe exceder el nivel Medio, según IEC 60815.
- e. La capa de hielo no debe exceder 1 mm, 10 mm ó 20 mm, según sea la clase que se especifique.
- f. La velocidad del viento no excederá los 34 m/s.
- g. Debe tenerse en cuenta la presencia de precipitación pluvial o condensaciones de la humedad.
- h. La influencia de radiación solar, así como las vibraciones y temblores externos se consideran de poca influencia, por lo que no se los toma en cuenta.

Cuando las condiciones de servicio se encuentran fuera de los valores indicados en 4.2.1 y 4.2.2, deben aplicarse los factores de corrección correspondientes o debe ser indicado claramente en el documento de las especificaciones técnicas de los interruptores para que el fabricante lo tenga en consideración.

CAPÍTULO V

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En esta parte se hace una descripción de la metodología o procedimiento para definir las Especificaciones Técnicas de Interruptores de Potencia con la finalidad de solicitar cotizaciones e iniciar el proceso de adquisición de este equipamiento.

En este proceso de determinación de las Especificaciones Técnicas de los Interruptores de Potencia adoptamos como premisa que es más conveniente proporcionar las especificaciones funcionales de los interruptores, describiendo sus características técnicas nominales o asignadas, antes describir los detalles de diseño y construcción [1, Pag. 220].

Con esta idea, el procedimiento o metodología para definir las especificaciones de los interruptores de potencia, toma como base las recomendaciones de las normas técnicas IEC 62271-100 de interruptores de potencia [10, Pag. 307].

5.1 Información contenida en el documento de Especificaciones Técnicas

El documento de Especificaciones Técnicas que se ha adoptado en este trabajo, tiene la estructura y los requerimientos de información técnica que se indica a continuación:

5.1.1 Introducción

Describe el contexto en el que se origina la necesidad de contar con el interruptor de potencia que va a especificar.

5.1.2 Objeto

Indica lo que se quiere conseguir con el documento de las Especificaciones Técnicas.

5.1.3 Alcances

Se describen las condiciones que abarca el documento de las especificaciones técnicas. En esta parte se indicará la aplicación a la que estará destinado el interruptor de potencia y si estará sometido a alguna condición especial.

5.1.4 Normas técnicas

Se indicarán las normas técnicas que el fabricante tomará como referencia para el diseño, construcción y pruebas del interruptor de potencia que se está especificando.

5.1.5 Condiciones de operación

Indican el contexto del sistema de potencia, la ubicación del interruptor requerido, el régimen del neutro y la forma de conexión a tierra, el nivel isoceráunico, el grado de contaminación del ambiente, velocidades del viento y ráfagas, temperaturas del ambiente, humedad absoluta y relativa.

5.1.6 Condiciones ambientales

Es necesario indicar las condiciones ambientales del lugar de instalación y operación del interruptor de potencia para que el fabricante lo tome en consideración.

5.1.7 Características generales del Interruptor de Potencia

Se dará una breve descripción de las características relevantes de diseño y de fabricación del interruptor de potencia que se está especificando.

5.1.8 Características Técnicas del interruptor de Potencia.

Se hará el listado general de los valores nominales que describen las características técnicas del interruptor de potencia. Los valores y características referidos a este listado serán especificados en las Hojas de Datos Técnicos Garantizados.

5.1.9 Controles y pruebas requeridas

En esta parte se señalarán las pruebas a las que debe ser sometido el interruptor de potencia en fábrica y durante el proceso de recepción; serán de las siguientes clases:

a. Pruebas Tipo

Aquellas que se han realizado a prototipos o a interruptores de potencia similares a los que se están especificando. Prueban el diseño del Interruptor.

b. Pruebas de Rutina

Aquellos que se realizan al interruptor que se está adquiriendo. Prueban que los materiales y la mano de obra cumplen con los requisitos mínimos de calidad requeridos.

c. Pruebas de Recepción

Las que se realizan en el momento de la entrega del interruptor al propietario, a fin de asegurar que el interruptor no ha sufrido daños cuando ha sido manipulado y durante su transporte,

5.1.10 Características del embalaje

Dado que es un factor muy importante en el transporte de los interruptores, es necesario definir las condiciones y características del embalaje para almacenamiento y transporte de los interruptores de potencia.

5.1.11 Hojas de Datos Técnicos Garantizados

Finalmente, el documento de las Especificaciones Técnicas deberá tener un cuadro resumen en el que se presentan las características técnicas requeridas, los valores requeridos, si es que se necesita consignar estos valores y una columna en la

que el fabricante debe indicar clara y obligatoriamente los valores que garantiza para el interruptor de potencia que está ofertando y/o suministrando. En el Anexo A se muestra el formato de la Hoja de Datos Técnicos Garantizados, la que está referida al caso ejemplo del Anexo B.

5.2 Caso de Aplicación

Para ilustrar el procedimiento o metodología empleada, en el Anexo B, se presenta un caso como ejemplo.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

1. La determinación de las Especificaciones de un Interruptor de Potencia es un tema bastante amplio y especializado, dependiendo de muchos factores, tales como el tipo de instalación, las condiciones ambientales, la aplicación a la que estará destinado el interruptor, etc
2. Las características básicas del desempeño propio del interruptor son determinadas por su ubicación dentro del sistema de potencia, ya sea en relación a los parámetros reactivos o a los parámetros ambientales, de modo que muchas veces se deben instalar interruptores cuya tensión nominal es superior a la del sistema.
3. En este trabajo se trata de mostrar el procedimiento o metodología para determinar las Especificaciones Técnicas de un Interruptor de Potencia, mostrando los aspectos teóricos que los sustentan.
4. Este trabajo ha merecido el examen de las recomendaciones internacionales vigentes y de información especializada; es, así mismo, un esfuerzo por lograr una afirmación y mejora en el contenido de los documentos técnicos propios de las Especificaciones Técnicas de los Interruptores de Potencia que deben ser alcanzados al proveedor.
5. Para el autor del trabajo, el presente informe significa un primer paso en la adquisición complementaria de los conocimientos de la Ingeniería Eléctrica y en la elaboración de documentos de este tipo para Interruptores de Potencia, donde el manejo de los requerimientos de un suministro especial está supeditado a las técnicas de evaluación de los alcances según recomendaciones estandarizadas.

ANEXOS

ANEXO A- FORMATO DE TABLA DE DATOS TECNICOS GARANTIZADOS

TABLA DE DATOS TECNICOS GARANTIZADOS
Interruptor de Potencia – 220 kV

Hoja 1 de 3

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
1.0	DATOS GENERALES			
1.1	Fabricante	--		
1.2	Marca, modelo	--		
1.3	País de origen	--		
2.0	CARACTERÍSTICAS GENERALES			
2.1	Tipo de interruptor			
	- Por el medio de extinción del arco			
	- Por la ubicación de la cámara de Interrupción			
	- Por la configuración			
2.2	Condiciones del lugar de instalación			
	- Temperatura máxima promedio	°C		
	- Temperatura mínimo promedio	°C		
	- Temperatura promedio anual	°C		
	- Humedad absoluta	g/m ³		
	- Humedad relativa	%		
	- Precipitación anual	mm		
	- Condición sísmica			
	- Grado de contaminación ambiental			
2.3	Altitud de operación	msnm		
2.4	Instalación			
3.0	CARACTERISTICAS PRINCIPALES			
3.1	Tensión de operación a 3,200 m.s.n.m	kV		
3.2	Tensión máxima de equipo	kV		
3.3	Nivel de Aislamiento			
	- Tensión de corta duración a 60 Hz, 1 min	kV		
	- Tensión de Impulso tipo Rayo	kV _{PICO}		
3.4	Frecuencia nominal	Hz		
3.5	Corriente nominal permanente	A		
3.6	Corriente nominal de Interrupción en cortocircuito			
	- Componente simétrica	kA _{PICO}		
	- Componente en DC	%		
3.7	Tensión transitoria de restablecimiento			
	- Factor del primer polo k_{pp}	pu		
	- Factor de amplitud k_{af}	pu		
	- Primera tensión de referencia u_1	kV		
	- Tiempo t_1	µs		
	- Tensión pico u_c	kV		
	- Tiempo de tensión pico t_2	µs		
3.8	Corriente nominal de cierre en cortocircuito	kA _{PICO}		
3.9	Secuencia de operación asignada			

TABLA DE DATOS TECNICOS GARANTIZADOS
Interruptor de Potencia – 220 kV

Hoja 2 de 3

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
3.10	- Para IN01 e IN02: O - 0.3s -CO - 3min - CO - Para IN03: O - 3 min – CO - 3 min – CO	s		
3.11	- Recierre monofásico - Recierre trifásico Duración nominal en cortocircuito Soportabilidad eléctrica			
4.0	CARACTERÍSTICAS COMPLEMENTARIAS			
4.1	Corriente soportada nominal de corta duración	kA _{PICO}		
4.2	Corriente pico nominal soportada	kA _{PICO}		
4.3	Presiones del medio extintor (gas SF6)			
	- Presión nominal a 20 °C	bar		
	- Presión de señal de alarma	bar		
	- Presión de señales de disparo y bloqueo	bar		
4.4	Características para falla en línea corta			
	- Interruptores IN 01 e IN 02			
	- Interruptor IN 03			
4.5	Performance al reencendido con corrientes capacitivas.	A		
	- Interrupción de corrientes capacitivas – línea cargada ; Interruptores IN 01 e IN 02			
	- Clase; Interruptores IN 01 e IN 02			
	- Interruptores IN 03			
4.6	Número de operaciones mecánicas.			
4.7	Corriente de ruptura de pequeñas corrientes inductivas.			
	- Interruptores IN 03			
	- Interruptores IN 01 e IN 02			
4.8	Tiempos de operación			
	- Tiempo nominal de apertura	ms		
	- Tiempo nominal de cierre	ms		
5.0	DISPOSITIVO DE MANDO			
5.1	Marca			
5.2	Modelo			
5.3	Accionamiento			
5.4	Apertura			
5.5	Cierre			
5.6	Carga del mecanismo			
5.7	Capacidad de recierre			
6.0	CIRCUITOS AUXILIARES			
6.1	Bobina de disparo:			
	- Número de bobinas	--		
	- Tensión de alimentación	V _{cc}		
	- Consumo de potencia	W		
	- Corriente absorbida durante la energización	A		

TABLA DE DATOS TECNICOS GARANTIZADOS
Interruptor de Potencia – 220 kV

Hoja 3 de 3

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
6.2	Bobina de cierre			
	- Tensión de alimentación	Vcc		
	- Consumo de potencia	W		
	- Corriente absorbida durante la energización	A		
6.3	Motor de accionamiento			
	- Tensión de alimentación	Vcc		
	- Consumo de potencia	W		
	- Corriente de arranque	A		
	- Tiempo de tensado	seg.		
6.4	Contactos auxiliares			
	- Número de contactos (NA / NC)	--		
	- Capacidad de los contactos a 110 Vcc	A		
6.5	Resistencia de calefacción			
	- Tensión de alimentación a 60 Hz.	Vac		
	- Potencia	W		
	- Control por termostato	°C		
6.6	Dispositivos de señalización y protección			
	- Interbloqueo de cierre	--		
	- Interbloqueo de apertura	--		
	- Baja presión de gas	--		
	- Falla de dispositivo de mando	--		
	- Indicador mecánico de posición	--		
	- Contador de maniobras	--		
7.0	AISLADORES			
7.1	Línea de fuga:			
	- Fase – Tierra	mm		
	- A lo largo de la cámara de corte	mm		
7.2	Distancia de arco en el aire			
	- Fase – Tierra	mm		
	- A lo largo de la cámara de corte	mm		
7.3	Esfuerzo admisible por el borne			
	- Longitudinal	kN		
	- Transversal	kN		
7.4	Distancia entre polos más cercanos	m		
8.0	ACCESORIOS			
	- Estructura metálica de soporte	--		
	- Dotación de gas SF6	--		
	- Herramientas	--		

ANEXO B: CASO EJEMPLO

B.1 Datos Técnicos de la Instalación

B.1.1 Diagrama Unifilar

La Fig. B.1, es el diagrama unifilar de la subestación a la que se hace referencia en el caso ejemplo; en este diagrama se muestra la localización de los interruptores de potencia IN 01, IN 02 e IN 03

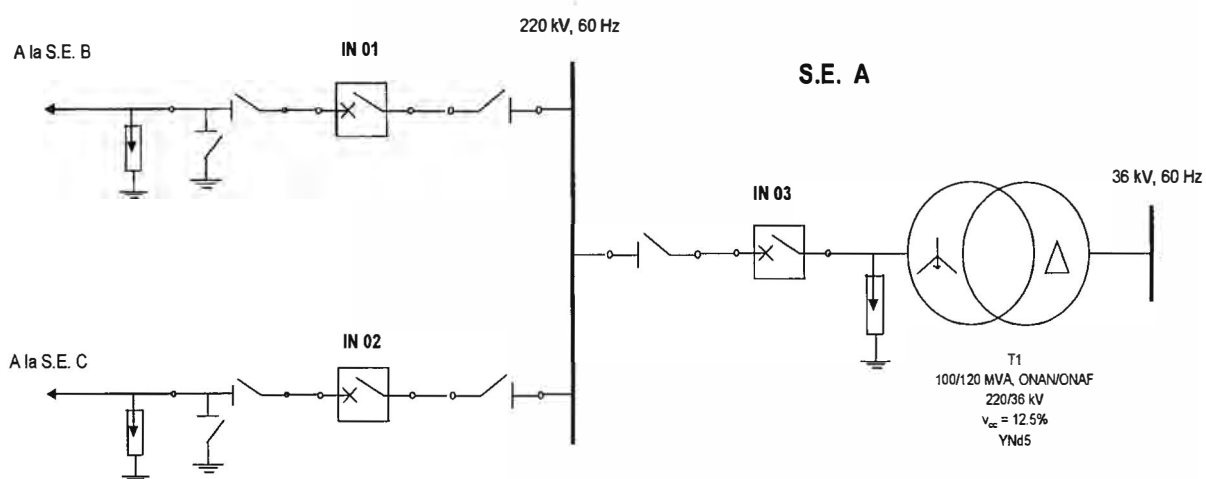


Fig. B.1 Diagrama Unifilar

B.1.2 Datos Técnicos

a. Generales

La empresa minera Neptuno S.A. es una empresa minera polimetálica que desarrolla sus operaciones mineras (extracción y concentrado de minerales) en la sierra Centro del Perú a 3200 msnm, en un ambiente de alta contaminación ambiental.

Minera Neptuno necesita implementar los interruptores en alta tensión (220 kV) de su subestación A; para lo cual requiere las especificaciones técnicas para la compra de los mencionados interruptores de potencia.

b. Condiciones ambientales

De acuerdo con los reportes de la empresa local de meteorología e hidrología, las condiciones ambientales del lugar en donde se ubica la subestación, son las siguientes:

- Temperatura máxima promedio : 16.8 °C

- Temperatura mínima promedio : - 18 °C
- Temperatura media anual : 6.3 °C
- Precipitación total anual : 900 mm
- Meses de lluvia : De octubre a abril.
- Altitud : 3200 msnm
- Condición sísmica : Zona 2
- Grado de contaminación : Alta

c. Datos del Sistema Eléctrico

De acuerdo a los cálculos de cortocircuito se han determinado los siguientes niveles de corrientes de cortocircuito:

- Cortocircuito trifásico en barras de 220 kV : 6.86 kA
- Cortocircuito monofásico en barras de 220 kV : 5.70 kA

Las simulaciones de flujo de potencia han arrojado los flujos de potencia en las líneas y transformadores de la subestación A que se muestran en la Tabla N° B.1

TABLA N° B.1: Flujo de Potencia en Líneas y Transformadores

Envío	Recepción	Máxima Avenida		Mínima Avenida		Máxima Estiaje		Mínima Estiaje	
		P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
S.E. A	S.E. B	-125	12	-92	-3	-48	-8	-21	-6
S.E. A	S.E. C	105	-20	22	-5	7	3	-56	7
S.E. A 220	S.E. A 36	22	8	70	8	42	5	77	-1

Positivo () : Saliendo de la barra de envío.

Negativo (-) entrando a la barra de envío.

De las simulaciones del flujo de potencia se ha determinado también que la máxima tensión en la barra de la S.E. A es la siguiente:

$$V_{Max(A)} = 239.5 \text{ kV}$$

Del estudio de coordinación de aislamiento se han determinado las tensiones soportadas requeridas de la TABLA N° B.2. En esta tabla se presentan las tensiones soportadas requeridas para las diferentes clases de sobre tensiones a las que se verá sometido el interruptor en su operación, durante su vida útil. En la mencionada tabla figuran las sobretensiones de corta duración a frecuencia industrial, las sobretensiones de frente rápido y las sobretensiones de frente lento. Como para interruptores del rango I (Tensiones nominales iguales y menores a los 245 kV) se designan con valores estándares para las dos primeras, se han convertido las sobretensiones de frente lento a sobretensiones de frente rápido equivalentes, para efectuar la evaluación correspondiente.

B.2 Definición de Características

B.2.1 Características Generales

Las características generales de los interruptores de potencia serán las siguientes:

a. Tipo de Interruptor

- Por el medio de extinción del arco; serán interruptores en SF6 por ser la tecnología que en la actualidad está ofreciendo los mejores beneficios.
- Por la ubicación de la cámara de extinción; serán de tanque vivo, por ser más compactos.
- Por el tipo de accionamiento; serán de accionamiento a resortes Este tipo de accionamiento ha mostrado ser eficiente, con menores requerimientos de mantenimiento y poca necesidad de energía para ser cargados.
- Por la configuración de los polos; serán interruptores tripolares, con polos independientes, de accionamiento uni – tripolar: Esta configuración da mayor flexibilidad para fines de aislamiento.

TABLA N° B.2 Tensiones Soportadas Requeridas en la Subestación A

		Aislamiento Externo				Aislamiento Interno	
		Equipo en el lado de la línea		Otros Equipos			
		Ur _w (s)	Ur _w ©	Ur _w (s)	Ur _w ©	Ur _w (s)	Ur _w ©
Corta duración a frec. Ind.	Fase a tierra	251		251		223	
	Fase a fase	435		435		386	
Impulso de maniobra	Fase a tierra	662		620		458	
	Fase a fase	1233		998		720	
Impulso de rayo	Fase a tierra	1026	860	1026	805	718	504
	Fase a fase	1026	1464	1026	1158	718	792

b. Línea de fuga

Para determinar la línea de fuga del aislador de la cámara de extinción y del aislador soporte del interruptor de potencia, seguimos la recomendación de la Norma IEC 60071-2 “Insulation Coordination – Part 2: Application Guide”, Tabla 1 Pag. 71; en la cual recomienda que para un ambiente de alta contaminación, se seleccione una distancia de fuga específica de 25 mm/kV.

c. Tensiones auxiliares

Por cuestiones de estandarización con las instalaciones existentes, las tensiones auxiliares serán los siguientes valores:

- Tensión auxiliar en corriente alterna: 380 Vac – 3Ø / 220 Vac - 1Ø, cuatro hilos.
- Tensión auxiliar en corriente directa para control y protección: 110 Vcc.
- Tensión auxiliar en corriente directa para telecomunicaciones: 48 Vcc.

d. Instalación

Los interruptores serán instalados al exterior (a la intemperie) a una altitud de 3200 msnm.

e. Condiciones de operación

Los interruptores de potencia deben operar en forma normal bajo las siguientes condiciones climáticas:

- Temperatura máxima promedio 16.8 °C
- Temperatura mínima promedio : -18 °C
- Temperatura promedio anual : 6.3 °C
- Humedad relativa : 62%
- Precipitación anual : 900 mm
- Contaminación ambiental : Alta
- Condición Sísmica : Zona 2
- Altura de instalación : 3200 msnm

B.2.2 Voltaje Nominal

Del flujo de potencia se determinó que la máxima tensión en las barras de la subestación A, en donde estarán instalados los interruptores, será de 239.5 kV. Por lo que la tensión nominal permanente del interruptor seleccionada será la tensión normalizada igual o inmediata superior a 239.5 kV.

De la tabla 1a de la norma IEC 60694, reproducida en 4.2.2, se selecciona el valor de 245 kV. En la Tabla B.3 se presenta la tensión nominal para los interruptores.

Tabla B.3 Tensión Nominal de los Interruptores

Interruptor	$V_{MaxSist}$ (kV)	V_r (kV)
IN 01	239.5	245
IN 02	239.5	245
IN 03	239.5	245

B.2.3 Nivel de aislamiento

En la Tabla B.2 se mostraron los resultados del estudio de coordinación de aislamiento; allí se muestra lo siguiente:

- a. Sobretensiones de corta duración a la frecuencia industrial: son de 251 kV para fase a tierra y 435 kV para fase a fase.
- b. Sobretensiones tipo rayo: las máximas tensiones soportadas requeridas de frente rápido tienen los valores, para fase – tierra y fase – fase, de 1026 kVpico para aislamiento externo y de 718 kVpico para aislamiento interno.
- c. Sobretensiones tipo maniobra: cuando se trata de aislamiento externo las máximas tensiones soportadas requeridas de frente lento tienen los valores de 860 kVpico para fase – tierra y 1464 kVpico para fase – fase. Si se trata de aislamiento interno las máximas tensiones soportadas requeridas de frente lento tienen los valores de 504 kVpico para fase – tierra y 792 kVpico para fase – fase.

Por tanto, recurriendo nuevamente a la tabla 1a de la Norma IEC 60694, reproducida en 4.2.2, se seleccionarán los valores normalizados inmediatamente superiores; tal como se muestra en las TABLA N° B.4 y TABLA N° B.5.

TABLA N° B.4 Tensiones soportadas requeridas a frecuencia industrial

Interruptor	Tipo	Aislamiento Externo (kV _{rms})	Aislamiento Interno (kV _{rms})	Valor Normalizado (kV _{rms})
IN 01	Fase - Tierra	251	251	460
	Fase - Fase	435	435	
IN 02	Fase - Tierra	251	251	460
	Fase - Fase	435	435	
IN 03	Fase - Tierra	251	251	460
	Fase - Fase	435	435	

En la TABLA N° B.4 se observa que seleccionando una tensión normalizada para tensiones soportadas a frecuencia industrial de 460 kV, el interruptor de potencia estará adecuadamente protegido.

TABLA N° B.5 Tensiones soportadas requeridas tipo rayo.

Interruptor	Tipo	Aislamiento Externo (kV _{PICO})	Aislamiento Interno (kV _{PICO})	Valor Normalizado (kV _{PICO})
IN 01	Fase Tierra	1026	718	1050
	Fase - Fase	1026	718	
IN 02	Fase Tierra	1026	718	1050
	Fase - Fase	1026	718	
IN 03	Fase Tierra	1026	718	1050
	Fase - Fase	1026	718	

En la TABLA N° B.5 se muestra que seleccionando una tensión normalizada para tensiones tipo rayo de 1050 kVpico, el interruptor de potencia estará adecuadamente protegido frente a este tipo de sobretensiones.

TABLA N° B.6 Tensiones soportadas requeridas tipo maniobra.

Interruptor	Tipo	Aislamiento Externo (kV _{PICO})	Aislamiento Interno (kV _{PICO})	Valor Normalizado (kV _{PICO})
IN 01	Fase Tierra	860	504	1050
	Fase - Fase	1464	792	
IN 02	Fase Tierra	860	504	1050
	Fase - Fase	1464	792	
IN 03	Fase Tierra	860	504	1050
	Fase - Fase	1464	792	

(*) Valores convertidos a ondas tipo rayo equivalentes.

En la TABLA N° B.6 se muestra que seleccionando una tensión normalizada para tensiones tipo rayo de 1050 kVpico, el interruptor de potencia estará adecuadamente protegido frente a sobretensiones de maniobra excepto para sobretensiones fase fase en el aire (aislamiento externo). Esta situación es superada separando los polos del interruptor, la distancia requerida para el aislamiento normalizado inmediatamente superior (1550 kVpico).

Recurriendo a la tabla A.1 de la Norma IEC 60071-2 "Insulation Coordination –

Part 2: Application Guide”, Pag. 119; la distancia entre polos de los interruptores de potencia debe ser iguales o mayores a 3.10 m.

B.2.4 Frecuencia Nominal

La frecuencia nominal del sistema es de 60 Hz; por lo que los interruptores seleccionados deben tener esta frecuencia.

B.2.5 Corriente Nominal permanente

En la TABLA N° B.1, se observan que los máximos flujos de potencia en los interruptores son los siguientes:

- a. Interruptor IN 01: P = 125 MW, Q = 12 MVAR; S = 126 MVA

Corriente maxima: 330 A

- b. Interruptor IN 02: P = 105 MW, Q = 20 MVAR; S = 107 MVA

Corriente maxima: 281 A

- c. Interruptor IN 03: P = 77 MW, Q = 1 MVAR; S = 77 MVA

Corriente maxima: 202 A

Considerando; para los interruptores IN 01, IN 02 e IN 03, que podrían conducir la potencia plena del transformador de potencia con una sobrecarga de hasta el 10 %, la corriente permanente en los interruptores será la siguiente:

$$I_r = \frac{1.1 \times 120000}{\sqrt{3} \times 220} \text{ A} \quad \text{Entonces, } I_r = 347 \text{ A}$$

Para este nivel de tensión, los fabricantes han estandarizado la corriente permanente a valores mayores a los 1250 A; por lo que es probable que oferten interruptores con esta capacidad de corriente.

B.2.6 Corriente Nominal de Interrupción en Cortocircuito.

De los cálculos de cortocircuito se ha determinado que la corriente de cortocircuito máxima que tendrá que interrumpir los interruptores es de 6.86 kA.

Asumiendo un crecimiento del 100% en la corriente de cortocircuito durante la vida útil del interruptor, la corriente de cortocircuito en la barra del interruptor será de 13.72 kA.

Para este nivel de tensión los fabricantes han estandarizado a un valor mínimo de 31.5 kA por lo que probablemente oferten interruptores con estos valores de capacidad para la corriente nominal de interrupción en cortocircuito.

La componente en DC de la capacidad de interrupción estará dada por el gráfico del numeral 4.2.5 Asumiendo que el tiempo de extinción de la corriente es del orden de los 60 ms, la componente DC será del 25%.; por lo que especificaremos un valor de 30% de componente DC.

B.2.7 Tensión Transitoria de Restablecimiento.

Como los valores normalizados cubren la mayoría de los casos prácticos, los parámetros que definen a la tensión transitoria de restablecimiento, serán determinados de la tabla 1.d de la norma IEC 60694, que se reproducen en el numeral 4.2.6 de este documento. Para este caso son los siguientes:

- Factor del primer polo (neutro sólidamente aterrado) : 1.3
- Factor de amplitud : 1.4
- Primera tensión de referencia u_1 : 195 kV
- Tiempo t_1 : 98 μ s
- Valor pico de la TTR, u_c : 364 kV
- Tiempo del valor pico de la TTR, t_2 : 392 μ s

B.2.8 Corriente Nominal de Cierre y Apertura en Discordancia de Fases.

Por las razones expuestas en 4.2.7, no se especifican valores para este parámetro.

B.2.9 Corriente Nominal de Cierre en Cortocircuito.

Conforme a lo descrito en 4.2.8, la corriente nominal de cierre en cortocircuito, la norma técnica recomienda adoptar el siguiente valor:

$$I_{\text{Cierre en Cortocircuito}} = 2,6 \cdot I_{\text{Interr. de Cortocircuito}}$$

Siendo el valor adoptado para la corriente de interrupción de cortocircuito de 13.72 kA, entonces:

$$I_{\text{Cierre en Cortocircuito}} = 35.67 \text{ kA}_{\text{PICO}}$$

Sin embargo, por cuestiones de estandarización, los fabricantes ofrezcan interruptores de 81.9 kA (2.6 x 31.5 kA).

B.2.10 Secuencia de Operación Asignada.

Los interruptores IN 01 e IN 02 están destinados a operar con recierre automático rápido; en cambio el interruptor IN 03 no está proyectado para cumplir esta función. Por tanto, según lo recomendado en el numeral 4.2.2.9, la selección de la secuencia de operación asignada será de la manera que se indica en la Tabla N° B.7

TABLA N° B.7: Ciclo de Operación Asignado

Interruptor	Ciclo de Operación Asignado	t	t'
IN 01	O – t – CO – t' – CO	0.3 s	3 min
IN 02	O – t – CO – t' – CO	0.3 s	3 min
IN 03	O – t – CO – t' – CO	3 min	3 min

B.2.11 Duración Nominal en Cortocircuito.

Como los sistemas de protección estarán ajustados para que aislen las fallas en

instantáneo o en tiempos menores a 1 s, la duración nominal en cortocircuito asignada a los interruptores de potencia será de 1 s.

B.2.12 Clasificación para la Soportabilidad Eléctrica.

Como los interruptores de potencia seleccionados son del tipo de cámara de interrupción en SF₆, las partes principales de conducción de corriente prácticamente son libres de mantenimiento y las demás partes del interruptor requieren mantenimientos rutinarios, los interruptores serán de Clase E2.

B.2.13 Corriente soportada nominal de corta duración.

Esta es la corriente de cortocircuito que pasa a través del circuito principal del interruptor durante el tiempo de duración nominal en cortocircuito.

Tendrá el mismo valor que la componente AC de la corriente de interrupción en cortocircuito; es decir, como en A.2.2.06, 13.7 kA_{PICO}.

B.2.14 Corriente pico nominal soportada

Por definición en 4.1.13 es el valor pico de la primera onda de la corriente de cortocircuito que circula por las partes principales del interruptor de potencia cuando éste se encuentra cerrado. De acuerdo con 4.2.13, el valor de esta corriente tendrá el mismo valor que la corriente de cierre en cortocircuito; es decir, 35.7 kA_{PICO}.

B.2.15 Voltaje Nominal de alimentación a los dispositivos de cierre y apertura y a los circuitos de control y auxiliares.

Tomado los valores normalizados que se indican en 4.1.14 y a los valores estandarizados en las instalaciones existentes, las tensiones nominales adoptadas para la alimentación de los servicios auxiliares, son las siguientes:

- Tensión auxiliar en corriente alterna: 380 Vac – 3Ø / 220 Vac - 1Ø, cuatro hilos.
- Tensión auxiliar en corriente directa para control y protección: 110 Vcc.
- Tensión auxiliar en corriente directa para telecomunicaciones: 48 Vcc.

B.2.16 Frecuencia Nominal de la alimentación a los dispositivos de cierre y apertura y a los circuitos de control y auxiliares.

La frecuencia nominal para la tensión AC de los dispositivos y circuitos auxiliares será de 60 Hz.

B.2.17 Presiones Nominales del SF₆.

Se adoptarán las presiones que el fabricante haya definido para sus equipos; sin embargo deberá indicar el valor de la presión nominal, sus tolerancias, así como los valores de presiones para alarma y disparo-bloqueo de los interruptores.

B.2.18 Características para falla de línea corta.

Para los interruptores IN 01 e IN 02, sus especificaciones deben indicar que requieren tener esta característica a fin de que el fabricante de los interruptores de

potencia lo tenga en cuenta en el diseño y fabricación.

B.2.19 Rendimiento al reencendido durante la operación (apertura o cierre) de corrientes capacitivas (Clase C1 o Clase C2).

Como los interruptores IN 01 e IN 02 irán conectados directamente a líneas aéreas, debe tener la capacidad de interrumpir corrientes capacitivas.

A falta de cálculos de estas corrientes capacitivas se adoptará el valor de corriente capacitiva que se recomienda en la Tabla 5 de IEC 60694, reproducida en 4.1.18. El valor de esta corriente es 125 A. Se considera que un interruptor de Clase C1 (baja probabilidad de reencendido de corrientes capacitivas) será suficiente.

B.2.20 Número de operaciones mecánicas (Clase M1 o Clase M2).

Los interruptores IN 01, IN 02 e IN 03 tendrán una aplicación común; no hay cargas especiales que le demanden exigencias fuera de lo común; por tanto se seleccionarán interruptores de Clase M1 (2000 operaciones).

B.2.21 Tiempos de operación.

No se indicarán tiempos específicos de operación, pero se requerirá que el fabricante señale los valores ofertados.

B.2.22 Corriente de ruptura de pequeñas corrientes inductivas.

Para el interruptor IN 03 que estará conectado directamente al transformador de potencia, se indica en las especificaciones técnicas que debe tener la capacidad para interrumpir pequeñas corrientes inductivas.

B.3 Documento de las Especificaciones Técnicas

EMPRESA MINERA NEPTUNO S.A.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ET – 01

INTERRUPTORES DE POTENCIA

1. INTRODUCCIÓN

MINERA NEPTUNO S.A. (MN) es una empresa minera que opera en la sierra central del Perú. MN actualmente tiene la necesidad de incrementar sus niveles de producción en forma significativa; para lo cual requiere implementar una subestación adicional en 220 kV.

MN tiene en proceso la adquisición del equipamiento electromecánico para la subestación adicional; sin embargo aún no ha efectuado la compra de los interruptores de potencia.

Por tal motivo, requiere contar con las Especificaciones Técnicas correspondientes a fin de solicitar cotizaciones y adquirir los interruptores denominados IN 01, IN 02 e IN 03.

2. OBJETO

Estas especificaciones técnicas tienen por objeto definir las características electromecánicas y demás requerimientos que le permita la compra de los interruptores de potencia designados como IN 01, IN 02 e IN 03.

3. ALCANCE

El alcance de estas especificaciones técnicas comprenden los requerimientos de diseño, fabricación y prueba de los interruptores de potencia que se mencionan en el numeral 1. de este documento. Principalmente se indican las especificaciones técnicas de las características eléctricas y mecánicas de los equipos; dándose las características principales de diseño electromecánico.

4. NORMAS APLICABLES

El conjunto del suministro será previsto de manera que el diseño, la fabricación y el método de pruebas deberán regirse de acuerdo a la última revisión de las siguientes normas IEC:

- Publicación IEC 62271-100 “High-Voltage Switchgear and Controlgear –

Part 100: High – Voltage Alternating – Current
Circuit – Breakers”

- Publicación IEC 60694 “Common Specifications for High – Voltage Switchgear and Controlgear”
- Publicación IEC 60071-1 “Insulation Co-ordination – Part 1: Definitions”
- Publicación IEC 60071-2 “Insulation Co-ordination – Part 2 – Application Guide”

5. CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales del lugar en donde serán instalados los interruptores de potencia son las siguientes:

- Temperatura máxima promedio : 16.8 °C
- Temperatura mínima promedio : -18.0 °C
- Temperatura promedio anual : 6.3 °C
- Precipitación anual : 900 mm
- Humedad relativa : 62 %
- Altitud : 3200 msnm
- Contaminación : Alta

6. CARACTERÍSTICAS DE LOS INTERRUPTORES

a) Tipo

Los interruptores serán unipolares para mando uni tripolar, tanque vivo, para servicio exterior, con cámara de extinción en hexafluoruro de azufre (SF₆) y sistema de mando motorizado con almacenamiento de energía por resorte.

b) Sistema de Mando

Los interruptores serán diseñados con un sistema de mando por cada polo del interruptor, que permita su operación local (desde el panel propio del interruptor) y a distancia (desde el edificio de mando y/o por telemando). El sistema de mando de los interruptores estará diseñado para operar con las tensiones auxiliares indicadas en las tablas de datos técnicos.

c) Requerimientos de diseño y construcción

Los elementos conductores deberán ser capaces de soportar la corriente nominal continuamente a la frecuencia de operación sin necesidad de mantenimientos de tipo especial. Los terminales y conexiones entre los diferentes elementos deberán diseñarse para asegurar, permanentemente, una resistencia de contacto baja.

El interruptor será capaz de romper la continuidad de cualquier corriente, de cero a su capacidad de interrupción nominal, cuando se use en circuitos predominantemente resistivos e inductivos. Los interruptores IN 01 e IN 02 deben tener la capacidad para

interrumpir fallas de línea corta y el interruptor IN 03, capacidad para interrumpir pequeñas corrientes inductivas.

Los aisladores de los interruptores serán de porcelana homogénea libre de cavidades de aire y el acabado será de color marrón, diseñados de manera tal que en caso de descarga, ésta ocurra por la parte externa.

Los interruptores serán del tipo disparo libre, de manera que asegure la apertura del interruptor en el tiempo especificado aún si la señal de disparo es recibida en las posiciones de totalmente o parcialmente cerrado. Se deberá proporcionar un dispositivo para efectuar la apertura manual localmente en caso de emergencia y protegido contra operación accidental

La calidad de fluido extintor deberá mantenerse de modo tal que el poder de ruptura nominal sea garantizado hasta un grado de envejecimiento admisible, correspondiente al número de interrupciones garantizado, sin reemplazo del gas.

Los tiempos de interrupción de la corriente, normal o de falla, no debe ser mayor a los cuatro ciclos y la corriente de cierre no debe ser mayor a cinco ciclos.

Los interruptores IN 01 e IN 02 deben tener la capacidad para ejecutar recierres automáticos rápidos.

Las partes del circuito principal de los interruptores deben ser prácticamente libres de mantenimiento; por lo que deben ser de un soportabilidad eléctrica Clase E2.

Los interruptores IN 01 e IN 02 deberán tener una baja probabilidad de reencendido cuando interrumpen corrientes capacitivas (Clase C1); esta característica no será relevante para el interruptor IN 03 ya que no estará conectado directamente a las líneas de transmisión o a cables de energía.

Los interruptores estarán destinados a aplicaciones comunes por lo que con respecto al número de operaciones serán de Clase M1 (2000 interrupciones).

d) Sistema de Control

El sistema de mando será previsto para ser accionado:

- A distancia o localmente, seleccionable mediante un conmutador de tres posiciones (local-remoto-desconectado) ubicado en la caja de control del interruptor.
- Automáticamente por las órdenes emitidas desde las protecciones y automatismos.
- Dispositivo de disparo de emergencia (local).

La tensión de alimentación del sistema de control del interruptor será en corriente directa, alimentado desde el sistema de servicios auxiliares de la subestación.

Las cajas de control deberán ser a prueba de intemperie y dispondrán de un calefactor eléctrico regulado por termostato para reducir la humedad relativa al nivel tolerado por los equipos. Los solenoides de control, sistema de mando, interruptores

auxiliares, bloques terminales, etc, deberán estar alojados en cajas independiente por polo. Los interruptores termomagnéticos utilizados deberán tener contactos auxiliares para señalización.

e) Planos, diagramas y manuales

El proveedor conjuntamente con el fabricante deberán proporcionar folletos, dibujos y manuales de operación y montaje propios del fabricante, que ilustren ampliamente el diseño y apariencia del equipo que ofrece.

El fabricante deberá suministrar ejemplares de los planos de DIMENSIONES GENERALES que muestren vistas y detalles de los aparatos y de los esquemas y diagramas eléctricos. Esta documentación deberá contener información suficiente para que el propietario desarrolle la Ingeniería de Detalle de la instalación del interruptor y lleve a cabo los trabajos de supervisión de las obras electromecánica civiles correspondientes.

Será por cuenta y riesgo del suministrador cualquier trabajo que ejecute antes de recibir los planos aprobados por el propietario. Esta aprobación no releva al proveedor del cumplimiento de las especificaciones y de lo estipulado en el contrato.

7. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Las características técnicas de los interruptores se muestran en las tablas de datos técnicos.

Principalmente deben especificarse las características técnicas que se indican a continuación:

- Voltaje Nominal.
- Nivel de Aislamiento Nominal.
- Frecuencia Nominal.
- Corriente Nominal en Servicio Continuo.
- Corriente de Interrupción Nominal en Cortocircuito.
- Tensión Transitoria de Recuperación para Fallas Terminales.
- Corriente de Cierre Nominal en Cortocircuito.
- Secuencia de Operación Asignada.
- Duración Nominal de Cortocircuito.
- Clasificación para la soportabilidad eléctrica (Clases E1 o E2), donde sea aplicable.
- Corriente Nominal de Corta Duración.
- Corriente Pico Soportada Nominal.
- Tensión de alimentación nominal a los dispositivos de cierre y apertura y a los circuitos de control y auxiliares.
- Frecuencia Nominal de alimentación a los dispositivos y circuitos auxiliares.

Presiones Nominales de Alimentación en Gas Comprimido para aislamiento, operación y/o interrupción.

Características para fallas en líneas cortas.

Rendimiento al reencendido durante la operación (apertura o cierre) de corrientes capacitivas (Clases C1 o C2).

Número de operaciones mecánicas (Clase M1 o Clase M2).

Condiciones climáticas y atmosféricas.

Altura sobre el nivel del mar de instalación.

Tiempo de apertura.

Corriente de Interrupción de pequeñas corrientes inductivas.

8. CONTROLES Y PRUEBAS

8.1 Generales

- a) Las inspecciones y pruebas se realizarán de acuerdo a lo establecido en las normas indicadas en el numeral 4.
- b) Todas las inspecciones y ensayos requeridos deberán ser presenciados por representantes autorizados del propietario y ningún equipo podrá ser embarcado antes que se reciba el correspondiente permiso del propietario.
- c) Todos los protocolos de pruebas serán entregados por el fabricante con los certificados de inspección y pruebas correspondientes. Los informes detallados y completos incluyendo datos de medidas, diagramas, gráficos, etc., serán entregados por el fabricante inmediatamente después de la realización de las pruebas.
- d) Salvo que se acuerde otra cosa durante la ejecución del contrato, los métodos de prueba, medidas y cálculos relativos a las inspecciones y los ensayos estarán de acuerdo con las normas indicadas en el numeral 4.
- e) Si las pruebas revelasen deficiencias en los interruptores o en sus componentes, el fabricante realizará nuevas pruebas que en opinión del propietario fuesen necesarias para asegurar la conformidad con las exigencias del contrato. Los gastos por dichas pruebas suplementarias serán cubiertos por el fabricante.
- f) La aprobación de las pruebas, la aceptación de los certificados (informes) de ensayos no libera de ninguna manera al fabricante de sus obligaciones contractuales.

8.2 Pruebas Tipo

Al recibir la orden de proceder, el proveedor en coordinación con el fabricante remitirá copias de los protocolos de las pruebas tipo, realizadas en prototipos o en interruptores similares a los que se están suministrando, que garanticen que el diseño de los interruptores permitirá su funcionamiento normal, en las condiciones para las que fueron diseñados.

Como mínimo deben presentarse los protocolos de pruebas tipo, certificados por un organismo independiente y debidamente reconocido, de las siguientes pruebas:

- Pruebas dieléctricas.
 - Prueba de tensión de corta duración a la frecuencia industrial.
 - Prueba de tensión al impulso tipo rayo.
- Medida de la resistencia de los contactos del circuito principal.
- Pruebas de elevación de la temperatura del circuito principal y de los circuitos de control y auxiliares.
- Pruebas de corriente soportada de corto tiempo y de la corriente pico soportada.
- Pruebas mecánicas y de verificación del grado de protección de las cajas de control.
- Pruebas para verificar la estanqueidad de los compartimientos de gas del interruptor.
- Pruebas funcionales del sistema de control del interruptor..

8.3 Pruebas de Rutina

Una vez fabricados, se realizarán – a cada uno de los interruptores - las siguientes pruebas en fábrica a fin de verificar la calidad de los materiales empleados y de la mano de obra utilizada para la fabricación de los interruptores:

- Inspección visual.
- Pruebas dieléctricas.
 - Prueba de tensión de corta duración a la frecuencia industrial.
- Pruebas a los circuitos de control y auxiliares.
 - Inspección de los circuitos de control y conformidad de los diagramas unifilar y de cableado.
 - Pruebas funcionales.
 - Verificación de la protección a contacto eléctrico con el circuito principal.
 - Prueba de tensión de corta duración , a la frecuencia industrial.
- Medida de la resistencia de los contactos del circuito principal.
- Pruebas para verificar la estanqueidad de los compartimientos de gas del interruptor de potencia.

8.4 Pruebas de recepción

Durante la recepción se debe realizar una inspección visual a los interruptores de potencia, abarcando lo siguiente:

- Contraste de los datos de placa con el documento de compra.
- Verificación de que el interruptor no tiene ningún daño visible.
- Verificación de la presión del gas SF6, en caso de que sea pertinente.
- Luego de embalado, verificar el estado del embalaje y si es el apropiado.

9. EMBALAJE

El embalaje y la preparación para el transporte estarán sujetos a la aprobación del representante del propietario, lo cual deberá establecerse de tal manera que se garantice un transporte seguro de todo el material considerando todas las condiciones climatológicas y de transporte al cual estarán sujetas.

Las cajas y los bultos deberán marcarse con el número del pedido y tendrán anexa, una lista de embarque indicando las partes que contienen. En todas, se marcará su peso en kg.

10. HOJAS DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS

A continuación se presentan las Hojas de Datos Técnicos Garantizados para los interruptores IN 01, IN 02 e IN 03.

TABLA DE DATOS TECNICOS GARANTIZADOS
Interruptor de Potencia – 220 kV

Hoja 1 de 3

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
1.0	DATOS GENERALES			
1.1	Fabricante	--	--	
1.2	Marca, modelo	--	--	
1.3	País de origen	--	--	
2.0	CARACTERÍSTICAS GENERALES			
2.1	Tipo de interruptor		En SF6	
	- Por el medio de extinción del arco		Tanque Vivo	
	- Por la ubicación de la cámara de Interrupción			
	- Por la configuración		Tripolar, polos independientes	
2.2	Condiciones del lugar de instalación		16.8	
	- Temperatura máxima promedio	°C	-18.0	
	- Temperatura mínimo promedio	°C	6.3	
	- Temperatura promedio anual	°C		
	- Humedad absoluta		62	
	- Humedad relativa	%	900	
	- Precipitación anual	mm	Zona 2	
	- Condición sísmica		Alta	
	- Contaminación ambiental		3200	
2.3	Altitud de operación	msnm	Al exterior	
2.4	Instalación			
3.0	CARACTERISTICAS PRINCIPALES			
3.1	Tensión de operación a 3,200 m.s.n.m	kV	220	
3.2	Tensión máxima de equipo	kV	245	
3.3	Nivel de Aislamiento		460	
	- Tensión de corta duración a 60 Hz, 1 min	kV	1050	
	- Tensión de Impulso tipo Rayo	kV _{PICO}	60	
3.4	Frecuencia nominal	Hz	≥ 350	
3.5	Corriente nominal permanente	A		
3.6	Corriente nominal de Interrupción en cortocircuito		≥ 13.8	
	- Componente simétrica	kA _{PICO}	≥ 25	
	- Componente en DC	%		
3.7	Tensión transitoria de restablecimiento		1.3	
	- Factor del primer polo k_{pp}	pu	1.4	
	- Factor de amplitud k_{af}	pu	195	
	- Primera tensión de referencia u_1	kV	98	
	- Tiempo t_1	μs	364	
	- Tensión pico u_c	kV	392	
	- Tiempo de tensión pico t_2	μs	≥ 35.7	
3.8	Corriente nominal de cierre en cortocircuito	kA _{PICO}		
3.9	Secuencia de operación asignada		Si	
	- Para IN01 e IN02: O - 0.3s -CO - 3min - CO		Si	
	- Para IN03: O - 3 min – CO - 3 min – CO		Si	
	- Recierre monofásico IN01, IN02			

TABLA DE DATOS TECNICOS GARANTIZADOS
Interruptor de Potencia – 220 kV

Hoja 2 de 3

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
	- Recierre trifásico IN01, IN02		Si	
	- Recierre monofásico IN03		No	
	- Recierre trifásico IN03		No	
3.10	Duración nominal en cortocircuito	s	1	
3.11	Soportabilidad eléctrica		Clase E2	
4.0	CARACTERÍSTICAS COMPLEMENTARIAS			
4.1	Corriente soportada nominal de corta duración	kA _{PICO}	≥ 13.8	
4.2	Corriente pico nominal soportada	kA _{PICO}	≥ 35.7	
4.3	Presiones del medio extintor (gas SF6)			
	- Presión nominal a 20 °C	bar		
	- Presión de señal de alarma	bar		
	- Presión de señales de disparo y bloqueo	bar		
4.4	Características para falla en línea corta			
	- Interruptores IN 01 e IN 02		Si	
	- Interruptor IN 03		Si	
4.5	Performance al reencendido con corrientes capacitivas.			
	- Interrupción de corrientes capacitivas – línea cargada ; Interruptores IN 01 e IN 02	A	125	
	- Clase; Interruptores IN 01 e IN 02		Clase C1	
	- Clase; Interruptor IN 03		Clase C1	
4.6	Número de operaciones mecánicas.		Clase M1	
4.7	Corriente de ruptura de pequeñas corrientes inductivas.			
	- Interruptores IN 03		Si	
	- Interruptores IN 01 e IN 02			
4.8	Tiempos de operación			
	- Tiempo nominal de apertura	ms		
	- Tiempo nominal de cierre	ms		
5.0	DISPOSITIVO DE MANDO			
5.1	Marca		--	
5.2	Modelo		--	
5.3	Accionamiento		Resortes	
5.4	Apertura		Uni - Tripolar	
5.5	Cierre		Tripolar	
5.6	Carga del mecanismo		Motorizado	
5.7	Capacidad de recierre		Si	
6.0	CIRCUITOS AUXILIARES			
6.1	Bobina de disparo:			
	- Número de bobinas	--	1	
	- Tensión de alimentación	V _{cc}	110	
	- Consumo de potencia	W	--	
	- Corriente absorbida durante la energización	A	--	

TABLA DE DATOS TECNICOS GARANTIZADOS
Interruptor de Potencia – 220 kV

Hoja 3 de 3

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
6.2	Bobina de cierre			
	- Tensión de alimentación	Vcc	110	
	- Consumo de potencia	W	--	
	- Corriente absorbida durante la energización	A	--	
6.3	Motor de accionamiento			
	- Tensión de alimentación	Vcc	110	
	- Consumo de potencia	W	--	
	- Corriente de arranque	A	--	
	- Tiempo de tensado	seg.		
6.4	Contactos auxiliares			
	- Número de contactos (NA / NC)	--	6NO+6NC	
	- Capacidad de los contactos a 110 Vcc	A	5	
6.5	Resistencia de calefacción			
	- Tensión de alimentación a 60 Hz.	Vac	220	
	- Potencia	W	--	
	- Control por termostato	°C	Si	
6.6	Dispositivos de señalización y protección			
	- Interbloqueo de cierre	--	Si	
	- Interbloqueo de apertura	--	Si	
	- Baja presión de gas	--	Si	
	- Falla de dispositivo de mando	--	Si	
	- Indicador mecánico de posición	--	Si	
	- Contador de maniobras	--	Si	
7.0	AISLADORES			
7.1	Línea de fuga:			
	- Fase – Tierra	mm	≥ 6125	
	- A lo largo de la cámara de corte	mm	≥ 6125	
7.2	Distancia de arco en el aire			
	- Fase – Tierra	mm	≥ 2100	
	- A lo largo de la cámara de corte	mm	≥ 2100	
7.3	Esfuerzo admisible por el borne			
	- Longitudinal	kN	≥ 0.5	
	- Transversal	kN	≥ 0.5	
7.4	Distancia entre polos más cercanos	m	3.1	
8.0	ACCESORIOS			
	- Estructura metálica de soporte	--	Si	
	- Dotación de gas SF6	--	Si	
	- Herramientas	--	Si	

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Department of Agriculture, "Design Guide for Rural Substations", RUS Bulletin 1724E-300, USA, 2001.
- [2] C. R. Bayliss, "Transmission and Distributions Electrical Engeeniering", UK, 1997.
- [3] Joao Mamede Filio, "Manual de Equipamentos Elétricos", Brasil, 1993.
- [4] Revista, "Electric Energy T&D", Ene. – Feb. 2007.
- [5] E.W. Kimbark, "Power Systems Stability, Vol II, Power Circuit Breakers and Protective Relays", USA.
- [6] Milan Milasch, "Manutencao de Disyuntores de Alta Tensao", Brasil, 1997.
- [7] Allan Greenwood, "Electrical Transients in Power Systems", USA.
- [8] IEC 56-1, "Specifications for Alternating Current Circuit Breakers".
- [9] General Electric, "GE medium Voltage Switchgear – GET 6600F", USA.
- [10] IEC 62271-100, "High Voltage Switchgear and Controlgear, Part 2: High-Voltage Alternating-Current Circuit-Breakers".
- [11] IEC 60071-2, "Insulation Co-ordination, Part 2: Application Guide".
- [12] IEC 60694, "Commun Specifications for High-Voltage Switchgears and Controlgears Standars".
- [13] IEC 60071-1, "Insulation Co-ordination, Part 1: Definitions, Principles and Rules".
- [14] Westinghouse, "Transmission and Distribution", USA.