

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**PRUEBAS ELÉCTRICAS EN INTERRUPTORES DE
ALTA TENSIÓN COMO PARTE DE UN
MANTENIMIENTO**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

**PRESENTADO POR:
MALVIN EMILIANO MILLA VILLAFANA**

PROMOCIÓN
1996-II

**LIMA-PERÚ
2006**

**PRUEBAS ELECTRICAS EN INTERRUPTORES DE
ALTA TENSIÓN COMO PARTE DE UN
MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Quiero agradecer a mis padres: Emilio y Yolanda, a mi esposa Jacqueline y, al fruto de nuestro amor: Alison, quien es el motor que impulsa mi deseo de superación.

SUMARIO

El presente trabajo: “Pruebas Eléctricas en Interruptores de Alta Tensión como parte de un Mantenimiento Predictivo”, comprende los ensayos de campo realizados a interruptores de potencia. Por tratarse de ensayos practicados bajo la concepción de predicción del comportamiento del interruptor, algunos de ellos han sido normalizados por comisiones de electrotecnia internacionales, tales como la IEC, ANSI IEEE.

Las pruebas predictivas en interruptores de potencia buscan asegurar la correcta actuación del equipo cuando ésta se solicite; por este motivo, las empresas concesionarias eléctricas han implementado estas pruebas dentro de sus estrategias de mantenimiento, las mismas que cuentan con la aceptación de las empresas fiscalizadoras estatales.

Para las pruebas que poseen algunas de las normas referidas, se siguen las recomendaciones que allí se señalan y se incluyen otras que han sido obtenidas de la experiencia, las demás pruebas siguen los instructivos técnicos de los diseñadores de analizadores de interruptores y el procedimiento establecido por la empresa propietaria y responsable de los interruptores.

La experiencia demuestra que la vida real de los interruptores es mayor que el estimado por los diseñadores de los mismos, y los equipos en buen estado pueden seguir funcionando en lugar de ser reemplazados.

ÍNDICE

	Página
Prólogo	1
CAPÍTULO I	
DESCRIPCIÓN GENERAL DE INTERRUPTORES DE ALTA TENSIÓN	2
1.1 Generalidades	2
1.1.1 Interruptor como componente del sistema eléctrico de potencia	2
1.1.2 Función del interruptor de potencia	2
1.1.3 Importancia del interruptor de potencia	2
1.2 Definiciones generales	3
1.2.1 Partes del interruptor de potencia	3
1.2.2 Operaciones del interruptor	4
1.2.3 Condiciones ambientales	5
1.2.4 Medios de interrupción de arco del interruptor	6
1.3 Principio de interrupción de arco del interruptor de potencia	8
1.3.1 Interrupción básica	8
1.3.2 Teoría de arco	8
1.3.3 Interrupción de arco	8
1.3.4 Tensión transitoria de restablecimiento (TTR)	8
1.3.5 Tensión de encendido	9
1.3.6 Reencendido de mayor duración	9
1.4 Clasificación de Interruptores de potencia	9
1.4.1 Según el medio de interrupción	9
1.4.2 Según el medio de comando	13
CAPÍTULO II	
PLANIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS	15
2.1 Generalidades	15
2.1.1 Estrategias de mantenimiento	15

2.1.2	Análisis de la condición de los equipos	16
2.2	Planificación de las pruebas eléctricas	16
2.2.1	Periodicidad de las pruebas	16
2.2.2	Consideraciones para la planificación	17
2.3	Requisitos para efectuar las pruebas eléctricas	18
2.3.1	Requisitos para la planificación	18
2.3.2	Requisitos para la ejecución	19
2.4	Secuencia de pruebas eléctricas	20
2.4.1	Relación de pruebas eléctricas	20
2.4.2	Orden en el desarrollo de las pruebas	21
CAPÍTULO III		
DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS		
3.1	Prueba de tiempos de operación	22
3.1.1	Concepto	22
3.1.2	Recursos necesarios	22
3.1.3	Metodología	23
3.1.4	Análisis de resultados	25
3.2	Prueba de la curva de desplazamiento	27
3.2.1	Concepto	27
3.2.2	Recursos necesarios	28
3.2.3	Metodología	28
3.2.4	Análisis de resultados	29
3.3	Medición de corriente de las bobinas	32
3.3.1	Concepto	32
3.3.2	Recursos necesarios	33
3.3.3	Metodología	33
3.3.4	Análisis de resultados	33
3.4	Prueba de resistencia de aislamiento	36
3.4.1	Concepto	36
3.4.2	Recursos necesarios	36
3.4.3	Metodología	36
3.4.4	Análisis de resultados	38
3.5	Prueba de resistencia estática de contactos	39

3.5.1	Concepto	39
3.5.2	Recursos necesarios	39
3.5.3	Metodología	40
3.5.4	Análisis de resultados	41
3.6	Prueba de medida de resistencia dinámica de interruptores	42
3.6.1	Concepto	42
3.6.2	Recursos necesarios	42
3.6.3	Metodología	43
3.6.4	Análisis de resultados	44
CAPÍTULO IV		
DIAGNÓSTICO DE INTERRUPTORES BASADO EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO		
		46
4.1	Generalidades	46
4.2	Estadística de fallas	47
4.2.1	Fuentes internacionales	47
4.2.2	Fuentes nacionales	48
4.3	Diagnóstico de las pruebas eléctricas	48
4.4	Casos prácticos	49
CAPÍTULO V		
EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS		
		54
5.1	Definiciones	54
5.2	Objetivo	55
5.3	Consideraciones generales	55
5.4	Descripción alternativa 1	55
5.5	Descripción alternativa 2	56
5.6	Evaluación	57
5.7	Resultados de la evaluación	57
	Conclusiones	59
	Anexos	61
	Bibliografía	75

PRÓLOGO

El presente estudio: “Pruebas Eléctricas en Interruptores de Alta Tensión”, pretende homogeneizar las pruebas eléctricas a interruptores de alta tensión, planteadas como parte de un mantenimiento predictivo, integrando las normas internacionales que existen actualmente, la experiencia de diseñadores y entidades reconocidas de investigación (Cigre, Doble, etc.); así como experiencia forjada a lo largo de diez años en éste tipo de trabajos.

Este trabajo, comprende los ensayos de interruptores de potencia para corriente alterna, para frecuencias de 60 Hz. y una tensión igual o superior a 30 kV.

Se dan las definiciones predictivas para la comprensión y manejo de los conocimientos que concierne a las pruebas eléctricas de los interruptores.

Se presentan las pruebas, incluyendo los requisitos para el desarrollo de las mismas; condiciones de los equipos para las pruebas, condiciones del personal idóneo y evaluación de resultados. Para lo cual se exponen casos prácticos.

Las pruebas que se tratan dentro del plan de mantenimiento predictivo son:

- Prueba de tiempos de operación.
- Prueba de la curva de desplazamiento.
- Prueba de la corriente de las bobinas.
- Prueba de resistencia de aislamiento.
- Prueba de la resistencia de contactos estática.
- Prueba de la resistencia dinámica.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA

1.1 Generalidades

1.1.1 Interruptor como componente del Sistema Eléctrico de Potencia

La función fundamental de un sistema eléctrico es suministrar la energía eléctrica en forma continua y de buena calidad. Para tal función, cada componente del sistema eléctrico debe operar en condiciones óptimas.

Un componente importante del sistema eléctrico es el interruptor de potencia, el cual se encuentra en puntos del sistema eléctrico debidamente calculados.

1.1.2 Función del interruptor de potencia

El interruptor de potencia está diseñado para operar, fundamentalmente, frente a cualquiera de las dos situaciones:

Durante las maniobras en la red eléctrica, cuando es necesario variar su configuración o topología. Entonces, es necesario efectuar operaciones de conexión y desconexión en la red con corrientes a valor nominal.

Cuando debido a una falla en la red, es necesario cortar la corriente con rapidez y seguridad para reducir los daños al mínimo, soportando las condiciones de falla que se suceden.

En cualquiera de los casos, una falla en la operación del interruptor puede causar serios daños a las instalaciones eléctricas y al personal que labora en ellas.

1.1.3 Importancia del interruptor de Potencia

El interruptor es el equipo activo de la cadena de protección, que permite el corte de la corriente en caso de una falla. Por este motivo, es importante ejercer un seguimiento planificado, del desempeño del interruptor, durante su operación normal a fin de cumplir con el “tiempo de vida” esperado y evitar fallas por descuido de algunos de sus elementos.

1.2 Definiciones Generales

1.2.1 Partes de interruptores de potencia

a) Cámara de interrupción

Es una cámara cerrada que contiene los contactos principales y en la cual ocurren las interrupciones de corriente.

b) Polos

Un polo es una parte del interruptor el cual se encuentra instalado en una fase de la línea. El interruptor instalado en la línea trifásica tiene tres polos. Cada polo incluye por lo menos una cámara de interrupción.

c) Contactos principales

Son los contactos a cargo de establecer o interrumpir el flujo de corriente en los circuitos de energía. El material de los contactos tiene que ser escogido para que tengan una resistencia mínima de pérdidas por el "efecto de joule" cuando se maneja corrientes nominales. El mejor material recomendado para estos casos es el cobre bañado con plata.

d) Contactos de arco

Como el calor extremo producido durante el arco puede causar un deterioro muy rápido del material de los contactos principales, para extender la vida de los contactos principales, los diseñadores de interruptores separan las partes que transportan permanentemente la corriente, llamados "Contactos Principales", de aquellas que soportan el efecto de arco, y que se llama "Contactos de arco". El material que se utiliza de manera más común para los contactos de arco es, en general aleaciones de tungsteno.

e) Contactos auxiliares de indicación

Para controlar los interruptores en el lado de baja tensión, se han creado dos tipos de contactos, (a) contactos normalmente cerrados y (b) contactos normalmente abiertos. Ellos son operados conjuntamente por el interruptor y los contactos principales.

f) Circuito principal

Todas las partes conductoras del interruptor, incluido el circuito en el cual está diseñado para la operación de apertura o cierre.

g) Circuito de control

Todas las partes conductoras del interruptor, diferentes a las partes del circuito principal, usado para el control de la operación de cierre, apertura o ambos.

h) Circuito auxiliar

Todas las partes conductoras del interruptor entendido para ser incluidos en un circuito diferente a los circuitos principal y de control.

i) Bobinas de disparo

Son bobinas que transmiten la señal de control al interruptor, normalmente existe una bobina de apertura y una de cierre.

j) El medio de comando

Se caracterizan por disponer de energía acumulada y ser adecuados al tipo de interruptor, su función principal es accionar los contactos principales del interruptor.

k) Terminal

Parte conductora del interruptor, preparado para las conexiones eléctricas a circuitos exteriores.

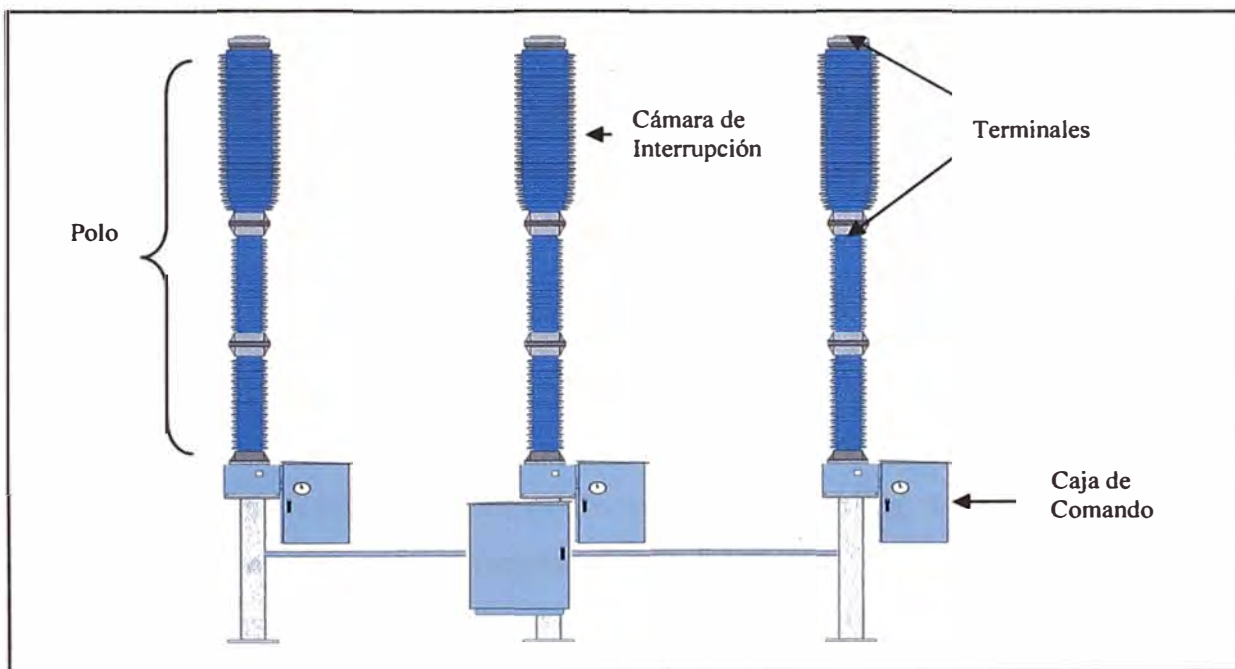


Fig.1.1 Partes de un interruptor de potencia

1.2.2 Operaciones del interruptor:

a) Ciclo de operación

Es una sucesión de operaciones desde una posición a otra y retorno hacia la primera posición a través de todas las otras posiciones.

La secuencia más común es la siguiente: O – T – CO – T' – CO

O: Operación de apertura

CO: Viaje-ciclo Libre

T: Retrasar el tiempo de 0.3 segundos o 3 minutos

T': Retrasar el tiempo en 3 minutos

b) Secuencia de operación

Es una sucesión de operaciones especificadas con intervalos de tiempo especificados.

c) Tiempo de apertura (según IEC 56 3.105.32)

Es el intervalo de tiempo entre el instante de energización del circuito de apertura, el interruptor seguirá en posición cerrada, y el instante cuando los contactos del arco se han separado en todos los polos.

Notas:

1. El tiempo de apertura puede variar significativamente con la interrupción de la corriente.
2. Para los interruptores con más de una unidad de interrupción por polo, en el instante cuando los contactos del arco se han separado en todos los polos se determina como el instante de la separación de los contactos en la primera unidad del último polo.
3. El tiempo de apertura incluye el tiempo de operación de cualquier equipo auxiliar necesario para la apertura de los interruptores y formar una parte integral de los interruptores.

d) Tiempo de cierre (según IEC 56 3.105.35)

El tiempo de intervalo entre la energización del circuito de cierre, el interruptor se encuentra en posición de apertura, y cuando los contactos se tocan en todos los polos.

Nota: El tiempo de cierre incluye el tiempo de operación de cualquier equipo auxiliar necesario para cerrar el interruptor formando una parte integral del interruptor.

e) Duración mínima de apertura (según IEC 56 3.105.44)

El tiempo mínimo que la energía auxiliar puede aplicarse a la apertura para asegurar una apertura completa del interruptor.

f) Duración mínima de cierre (según IEC 56 3.105.45)

El tiempo mínimo que la energía auxiliar tiene que aplicarse al aparato de cierre para asegurar un cierre completo del interruptor.

1.2.3 Condiciones ambientales

a) Condiciones atmosféricas

Las condiciones de temperatura ambiental, humedad y altitud (presión), condicionan las pruebas de un interruptor de potencia.

Las condiciones atmosféricas normales son:

- Altitud: hasta 1000 m.s.n.m.
- Temperatura: 20 °C
- Presión: 101,3 kPa (1013 mbar)
- Humedad absoluta: 11 g/m³

b) Temperatura del aire

La temperatura del aire circundante al interruptor bajo condiciones prescritas determinadas.

c) Factores de corrección (para pruebas dieléctricas)

Según la norma IEC 60, se aplicaran factores de corrección en pruebas dieléctricas cuando su aislamiento externo que está al aire es la principal preocupación. Para otros interruptores que tienen aislamiento externo e interno, los factores de corrección por humedad y densidad no se aplicaran si el factor de corrección está entre 0,95 y 1,05. Si los factores de corrección están fuera de dicho rango, la ejecución de las pruebas dependerá del acuerdo entre el diseñador y el usuario.

Para mayor información acerca del cálculo de factores de corrección, se ha transcrito en el anexo 1 una copia de la referida norma técnica.

1.2.4 Medios de interrupción de arco del interruptor:

a) Aceite mineral

El aceite fue el medio de interrupción de arco más utilizado hasta la década de los ochenta, debido a que tiene una excelente interrupción y calidad del aislamiento, especialmente cuando está muy puro; sin embargo, el contacto del aceite con el arco y la falta de hermeticidad, hacen que el aceite del interruptor se encuentre con cierta cantidad de impurezas, en la forma de humedad y partículas de carbón. Esto disminuye las propiedades de aislamiento significativamente.

El aceite que se emplea es el mismo que se usa para transformadores, según las características prescritas por las normas internacionales IEC.

b) Aire natural

El aire natural a presión, como sustancia dieléctrica, tiene las siguientes ventajas: Buena calidad de aislamiento, libre disponibilidad y costo cero.

La calidad del aislamiento del aire aumenta con su presión, por ello es necesario disponer de un sistema de aire comprimido que mantenga un determinado valor de presión.

El aire comprimido, utilizado primero como medio de operación, más tarde fue utilizado para el aislamiento entre los contactos después que ellos eran abiertos, para lo cual eran colocados dentro de la cámara de aislamiento diseñada para resistir la presión del aire.

Cabe señalar que la excelente calidad del aire es afectada enormemente por la humedad. Por lo tanto, es muy importante que cualquier condensación sea eliminada, o podría ocurrir un daño interno.

c) Hexafluoruro de Azufre (SF₆)

Pertenece a los gases llamados electronegativos, por tener una mejor calidad de aislamiento que el aire. El Hexafluoruro de Azufre (SF₆) tiene propiedades excelentes de aislamiento y propiedades óptimas para la reducción del arco eléctrico.

En su forma pura el hexafluoruro de azufre es cinco veces más pesado que el aire, sin olor, sin color, no inflamable y no es tóxico cuando es nuevo. Bajo condiciones normales, tiene propiedades dieléctricas tres veces más altas que el aire.

Cuando es sometido a un arco eléctrico se descompone parcialmente, formando unas partículas que se impregnan en las paredes de la cámara. Con la presencia de la humedad y las impurezas produce un producto ácido que ataca al metal y los empaques de aislamiento. Un método eficiente para reducir estos productos es con la utilización de alúmina dentro de las cámaras que contienen el gas SF₆.

d) Vacío

Hoy en día, el vacío ha sustituido casi totalmente en muchas aplicaciones de media tensión a otros medios de extinción del arco, tales como el aceite o el gas SF₆; sin embargo, en equipos de alta tensión su incursión aún es limitada.

Los contactos de interruptor se encuentran herméticamente sellados y sometidos a una determinada presión de vacío, según diseño propio de cada fabricante.

Para que funcione la cámara, se requiere una presión estática al menos de 10^{-4} mbar. Al fabricarse la cámara debe tener una presión inicial de mínimo 10^{-9} mbar. A una proporción de caída supuesta de 3×10^{-13} mbar el litro por segundo, a un tamaño de la cámara cambiando de 1 litro una presión se alcanza aprox. al cabo de veinte años se llegara a 10^{-4} mbar que son completamente esencial para que la cámara funcione. Al reducir la tasa de caída en las cámaras se permitirá alargar más la vida del interruptor.

1.3 Principio de interrupción de arco del interruptor de potencia

1.3.1 Interrupción básica

Cuando un interruptor que conduce corriente alterna es abierto, se forma un arco. El arco es un conductor que se produce como consecuencia de la separación de contactos que conducen corriente.

1.3.2 Teoría de arco

La resistencia de contacto de dos partes de un circuito que conducen corriente eléctrica depende del área de las partes que están haciendo contacto y la presión de sostenimiento de los contactos en conjunto.

Cuando se separan los contactos la presión y el área de contacto disminuye. Como resultado de ello se produce una alta densidad de corriente y una alta resistencia, ocasionando un calor extremo.

El calor extremo generado durante la separación de los contactos produce la vaporización del metal y del medio circundante (aire, aceite, SF₆), de tal forma que el espacio que separa los contactos se llena con un gas de vaporización de metal y el medio.

Entonces la corriente que continua circulando durante la separación de los contactos es el arco, y ésta dependerá de cómo este gas actúa como un conductor.

1.3.3 Interrupción del arco

Como evitar la formación de un arco es imposible en un interruptor, se debe prever unos medios para interrumpir el arco una vez que se forma. El problema consiste en aumentar la resistencia del gas conductor a un punto donde la tensión no causará la reforma del arco.

La interrupción del arco se hace combinando los siguientes métodos:

- El alargamiento del arco
- Decrecimiento del área de la sección que atraviesa el arco.
- Enfriamiento del arco.
- Desionización del arco

Dado que en una onda senoidal, la tensión y la corriente cruzan el cero dos veces por ciclo. En estos cruces por cero el arco se extingue y permanecerá extinguido si la rigidez dieléctrica del medio entre los contactos es más grande que la rigidez dieléctrica necesaria para soportar la tensión a través de los contactos.

1.3.4 Tensión transitoria de restablecimiento (TTR)

Es la tensión transitoria que aparece entre los contactos desde el momento de la interrupción del arco.

1.3.5 Tensión de encendido

Tensión requerida para el encendido del arco.

1.3.6 Reencendido de mayor duración

Reaparición de corriente entre los contactos de un interruptor durante una operación de apertura con un intervalo de corriente cero, $\frac{1}{4}$ de ciclo o mayor a la frecuencia industrial.

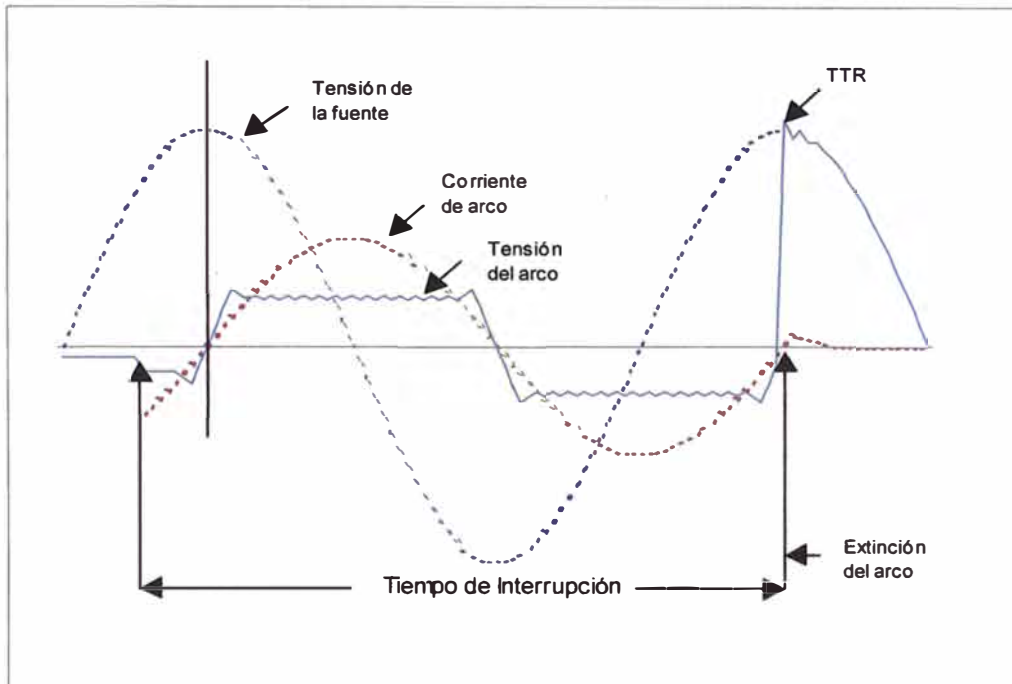


Fig.1.2 Desarrollo de la interrupción de una falla

1.4 Clasificación de interruptores de potencia

1.4.1 Según el medio de interrupción

Existe una enorme cantidad de variantes, las cuales se deben al desarrollo de distintas técnicas; sin embargo, las más conocidas son:

a) Interruptor de gran volumen de aceite o tanque muerto

En este tipo de interruptor las cámaras de extinción del arco están dentro de un tanque de aceite (el aceite no está a presión) el cual está a potencial cero directamente sobre el piso de la subestación; por eso también se denomina interruptor de tanque muerto.

En las cámaras de extinción, el medio extintor (gas de aceite) es producido por el propio arco. Los gases que se producen en el arco son soplados a través de un conducto lleno de aceite hacia la caperuza superior. El soplado (transversal) enfría el arco en toda su

longitud; al pasar la corriente por cero, por la acción del soplado, se desioniza el arco y se establece un elevado nivel de aislamiento entre los contactos.

Un colchón de aire sobre el nivel de aceite sirve como una expansión del volumen para prevenir que se forme presión dentro de la cámara después de la interrupción de la corriente de corto circuito.



Figura 1.3 interruptor de tanque muerto

b) Interruptor con mínimo volumen de aceite

Estos interruptores fueron desarrollados inicialmente para resolver los problemas inherentes a los interruptores de gran volumen de aceite, también para reducir la cantidad de aceite en la instalación del interruptor a cantidades que no puedan causar ningún peligro. Cabe anotar que en los interruptores modernos de pequeño volumen de aceite, el aceite se encuentra a presión para aumentar su capacidad de interrupción.

En estos interruptores, los contactos están dentro de un envase cilíndrico aislado (polo), con conexiones de terminales en cada polo y colocados en un soporte aislado.

Ellos utilizan el aparato de control de arco en la cámara de arco, que físicamente reduce el arco y el tiempo del arco, y por lo tanto se reduce la energía del arco. La forma de extinguir el arco es similar a la descrita para el interruptor de gran volumen de aceite.

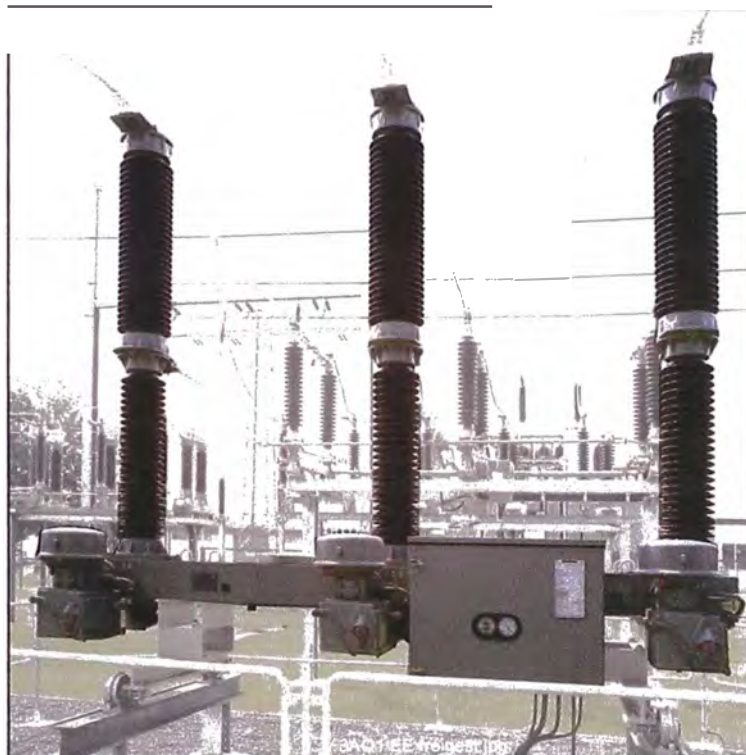


Figura 1.4 Interruptor en mínimo volumen de aceite

c) Interruptor con explosión de aire

El arco eléctrico que se produce al irse separando los contactos es soplado hacia fuera por el aire comprimido (por acción de la presión a la cual está sometido, la rigidez dieléctrica del aire es más elevada que el aislamiento al aire libre), energicamente refrigerado y apagado después del primer o segundo semiperíodo, cuando la corriente pasa por cero; una vez que se ha apagado el arco se suspende el suministro de aire en las cámaras de extinción por la acción de las válvulas que regulan la entrada del aire.

En general, los interruptores de circuito de aire son equipos de alta y robusta tecnología, con gran resistencia mecánica y eléctrica. El desgaste de contacto es bajo debido a la pequeña duración del arco y a los bajos voltajes de arco.

d) Interruptor de hexafluoruro (SF6)

Durante años estos interruptores han desarrollado diferentes técnicas para extinguir el arco, alcanzado un alto grado de confiabilidad, y siendo adecuados para conocer todos los fenómenos de los interruptores.

Al darse la señal de apertura el contacto móvil, que está acoplado a un cilindro, comprime el gas que se encuentra entre el pistón y el cilindro. El gas comprimido sale a través de las boquillas que se encuentran alrededor del contacto móvil, limitando el arco y canalizando al flujo de SF6 para que el arco sea transferido rápidamente a las cámaras de extinción (esta acción minimiza la erosión de las superficies de los contactos), las partículas gaseosas y otras que se producen durante la extinción son absorbidas por los filtros durante la recirculación del SF6. Esta descripción corresponde a interruptores del tipo auto soplado (tipo puffer).

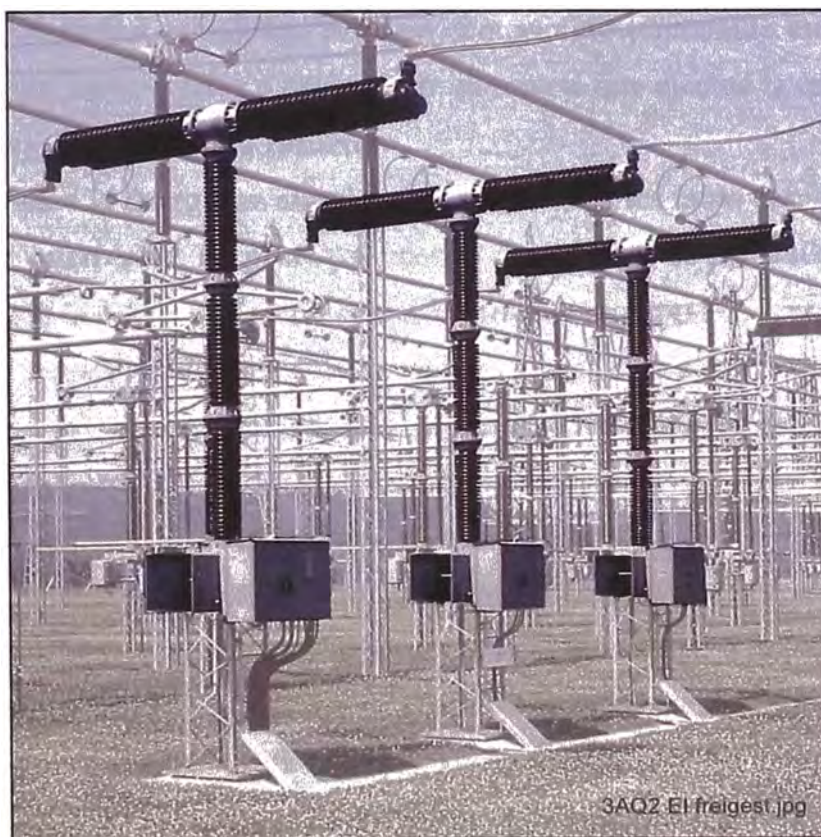


Figura 1.5 Interruptor en SF6 con doble cámara

e) Interruptor de vacío

Los interruptores de vacío se caracterizan por su compacto diseño, la casi no necesidad de mantenimiento, su larga vida útil y su excelente compatibilidad con el medio ambiente.

Un pequeño movimiento de contactos entre los que se vaporiza formando el arco y que se condensa al reducirse la corriente y pasar por cero. Los contactos del interruptor pueden ser de diseño espiral para forzar el arco al desplazamiento por efecto electrodinámico.

Una desventaja de estos interruptores es que en la actualidad sólo se fabrican equipos para tensiones nominales hasta 52 kV.

1.4.2 Según el medio de comando

El medio de comando es el dispositivo que por medio de energía almacenada acciona el interruptor ya sea para abrirlo o cerrarlo. Básicamente existen tres tipos de medio de comando o almacenamiento de energía.

a) Interruptores con comando neumático

En estos mecanismos la energía es almacenada en forma de aire comprimido. Puede ser un sistema centralizado, o una planta de aire para toda la subestación, o bien sistemas individuales para cada interruptor. Este sistema es tal vez el que requiere un mayor mantenimiento. Un pistón es movido por aire comprimido (contenido en un tanque) para mover directamente los contactos o para cargar un resorte que ejecute la maniobra.

b) Interruptores con comando a resortes

En estos mecanismos la energía se almacena cargando resortes tanto para la apertura como para el cierre del interruptor, La principal ventaja de éste tipo de mecanismo de operación es que al efectuarse la operación de cierre del interruptor se cargan los resortes de apertura, asegurándose así siempre el disparo del interruptor.

La principal desventaja consiste en que sólo se alcanzan velocidades de operación hasta de tres ciclos y sólo se puede almacenar energía para un solo ciclo de operación completa.

c) Interruptores con comando hidráulico (aceite a presión)

Este tipo de mecanismo es similar al neumático, pero como su nombre lo indica opera con base a la presión de aceite – tanto en éste caso como el neumático – la presión se mantiene constante por medio de un motor compresor y existen diferentes alarmas de acuerdo con los niveles de presión. Algunos fabricantes combinan el sistema hidráulico con el de resortes en las operaciones de apertura para así hacer el sistema más confiable.

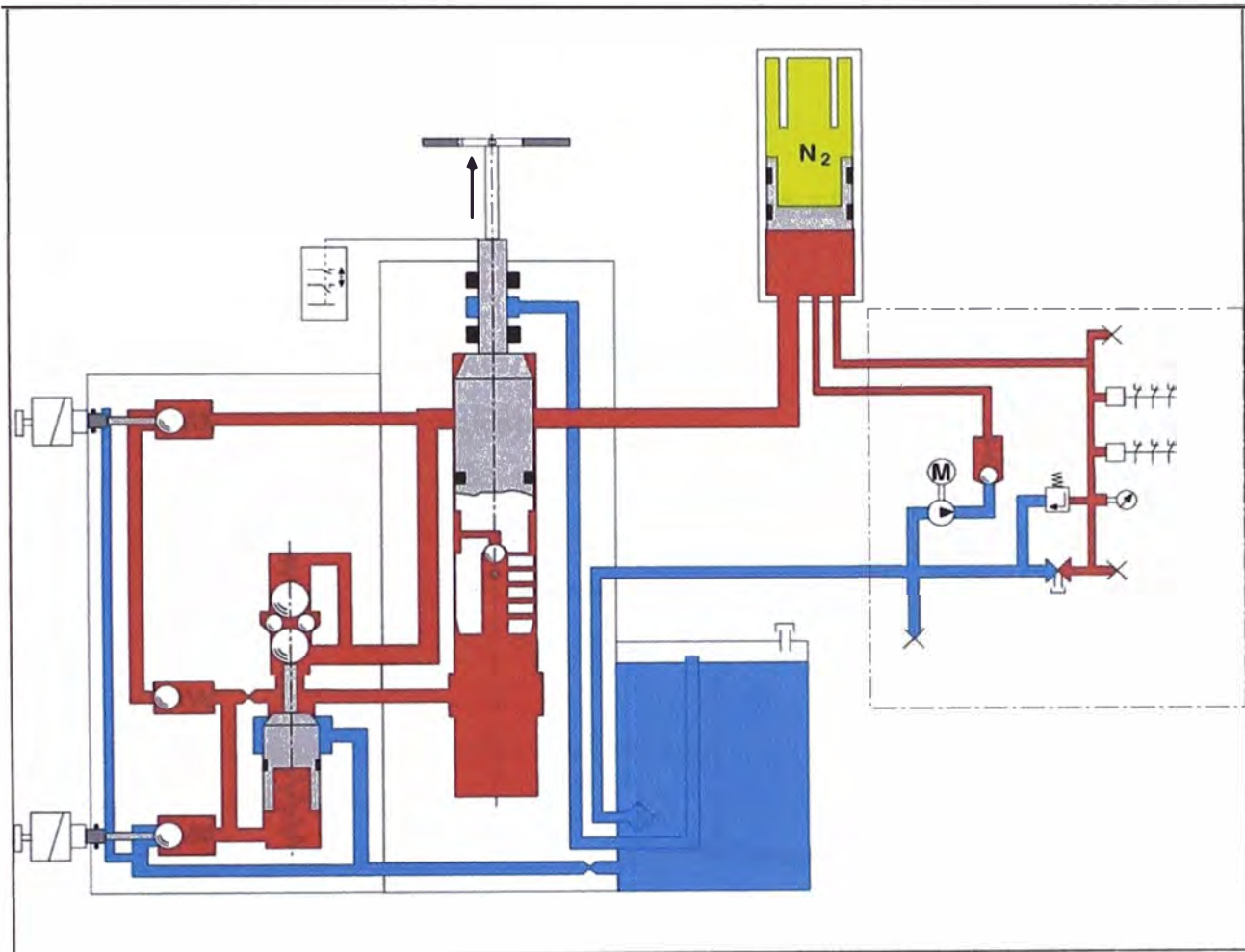


Figura 1.6 Sistema de accionamiento hidráulico

CAPITULO II

PLANIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS

2.1 Generalidades

2.1.1 Estrategias de mantenimiento

El interruptor de alta tensión debe ser lo suficientemente capaz tanto para la operación normal del sistema, como para soportar exigencias en operación anormal, durante fallas o manipuleo de cargas exigentes. Además debe tener una operación confiable; es decir debe cumplir su función de puente para la energía eléctrica, como su función de interrupción adecuadamente.

Las estrategias de mantenimiento más comunes son:

a) Mantenimiento preventivo:

Consiste en una de acciones predeterminadas que se ejecutan periódicamente, basados en tiempos o ciclos de operación, e independientes de la condición de los equipos; su finalidad es prevenir fallas de origen externo.

b) Mantenimiento predictivo:

Tiene como objetivo determinar la condición actual del equipo. Para lo cual, se debe realizar trabajos extensos de pruebas y análisis estadístico, los mismos que se deben realizar periódicamente y basados en la experiencia y la nueva tecnología (computadoras, comunicaciones, monitoreo, etc.); todo ello con la finalidad de determinar intervenciones planificadas.

c) Mantenimiento correctivo:

Consiste en la intervención únicamente después de haberse producido una falla y solamente para corregir y reparar.

Esta estrategia tiene la ventaja de atender solamente el servicio y los repuestos necesarios en tiempo real, evitando de ésta manera gastos innecesarios en mantenimientos periódicos y pruebas.

2.1.2 Análisis de condición de equipos (ACE)

El análisis de la condición de los equipos (ACE) consiste en emplear herramientas que permitan generar señales para la toma estratégica de decisiones que impactan el ciclo de vida de equipos. Esta técnica incorpora la experiencia del personal analista y la traduce en criterios de fácil utilización.

Su implementación es una tarea compleja debido a la gran cantidad de aspectos y variables consideradas.

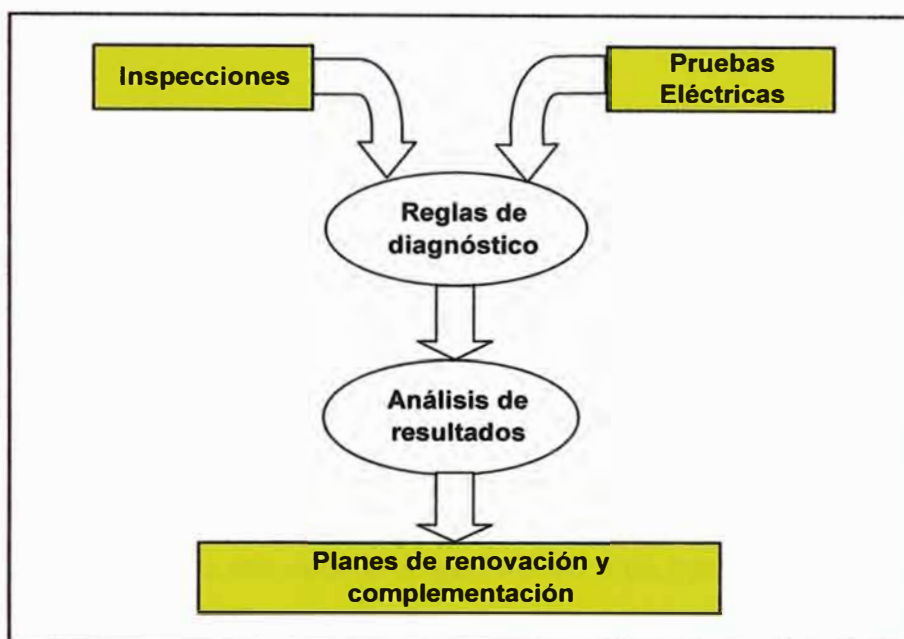


Figura 2.1 Análisis de condición de equipos

2.2 Planificación de las pruebas

2.2.1 Periodicidad de las pruebas eléctricas

Los intervalos entre las pruebas no deben ser tan largos que coloquen en riesgo la confiabilidad en la operación normal del interruptor y no tan cortos que nos lleven a elevar innecesariamente los costos de nuestro mantenimiento predictivo.

Los criterios para establecer los períodos de las pruebas son:

- Por tiempo definido y preestablecido.
- Por el número de operaciones de apertura del interruptor.
- Por el número de amperios acumulados.

Cualquiera de las formas que se adopten para realizar las pruebas, será conforme a lo establecido por el diseñador y la experiencia adquirida por el planificador de las mismas.

El período por el tiempo definido preestablecido es aquel en que el intervalo de las pruebas es dado en meses o años. Los intervalos que dependen del número de maniobra de operación o amperios acumulados, son variables, toda vez que dependen de muchos factores aleatorios.

Para el criterio de los amperios acumulados, es decir la suma de amperios en cada operación de apertura del interruptor y principalmente por corrientes de corto circuito (falla), se necesita un equipo que tenga la capacidad de registrar éstos eventos y almacenarlos.

2.2.2 Consideraciones para la planificación

Además de los criterios señalados en el acápite anterior, la planificación de las pruebas eléctricas tiene otras consideraciones, las cuales contribuyen a veces de manera determinante.

a) Nivel de importancia en la red eléctrica

La ubicación en la red eléctrica que tiene el interruptor es importante, para ello es importante evaluar dos aspectos: primero el nivel de tensión del equipo, a mayor nivel de tensión aumenta su importancia, y segundo la potencia que suministra a la red. Por ejemplo, los interruptores de una central de generación o un banco de transformación en el sistema de muy alta tensión serán los más importantes

b) Antigüedad del interruptor

Los equipos más antiguos tienen un nivel de desgaste en todas su piezas (internas y externas), por tanto merecen un período de pruebas menor, porque es impredecible la ocurrencia de alguna anomalía.

c) Condiciones ambientales del interruptor

El excesivo polvo o suciedad, la alta temperatura ambiente y alta humedad, así como una atmósfera corrosiva son factores adversos que pueden ser determinantes al momento de establecer una frecuencia de mantenimiento predictivo.

2.3 Requisitos para efectuar las pruebas eléctricas de interruptores

2.3.1 Requisitos para la planificación

a) Equipamiento

Existe una variedad de equipos de prueba de interruptores de alta tensión, desde muy baratos hasta muy caros, desde muy simples hasta muy complejos, desde fáciles de utilizar hasta muy complejos de utilizar. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el equipo de prueba apropiado deberá contar como mínimo con lo siguiente:

- Los equipos de prueba deben ser portátiles, robustos y fáciles de transportar.
- Deberán ser diseñados para medir y registrar cierres y aperturas de los contactos principales, así como de los contactos auxiliares. El equipo será capaz de ensayar interruptores de más de una cámara por fase.
- El analizador debe medir también la intensidad de las bobinas de actuación (apertura y cierre) del interruptor.
- El analizador debe ser capaz de transferir datos a una PC externa mediante Software.
- El analizador de interruptores debe de tener incorporado un analizador de desplazamientos, de manera de combinar la facilidad de la lectura de un oscilógrafo con la precisión de los datos computarizados.
- Debe disponer de un control de pulsadores desde el mismo equipo ó también a través de una PC, ambos casos de manera independiente.
- Adicionalmente el analizador debe contar con un software amigable en ambiente Windows de análisis de interruptores, el cual debe permitir la elaboración de informes.
- El analizador deberá medir la resistencia dinámica, para lo cual se debe especificar las unidades de corriente y accesorios necesarios para realizar dicha prueba.

Como en el mercado no existe un solo equipo que realice todas las pruebas que se solicitan, entonces se deben adquirir de la siguiente manera:

- Analizador de interruptores, para efectuar las pruebas de tiempos de operación, curva de desplazamiento, intensidad de corrientes y resistencia dinámica. Con 16 canales de tiempos y sensores longitudinal y circular para la medición del desplazamiento
- Equipo de prueba Microhometro, para medir la resistencia estática de contactos (0-600 A y 0-200 mΩ).
- Equipo de pruebas Megohometro, para medir la resistencia de aislamiento, con tensión de medición ajustable hasta 500 VDC.

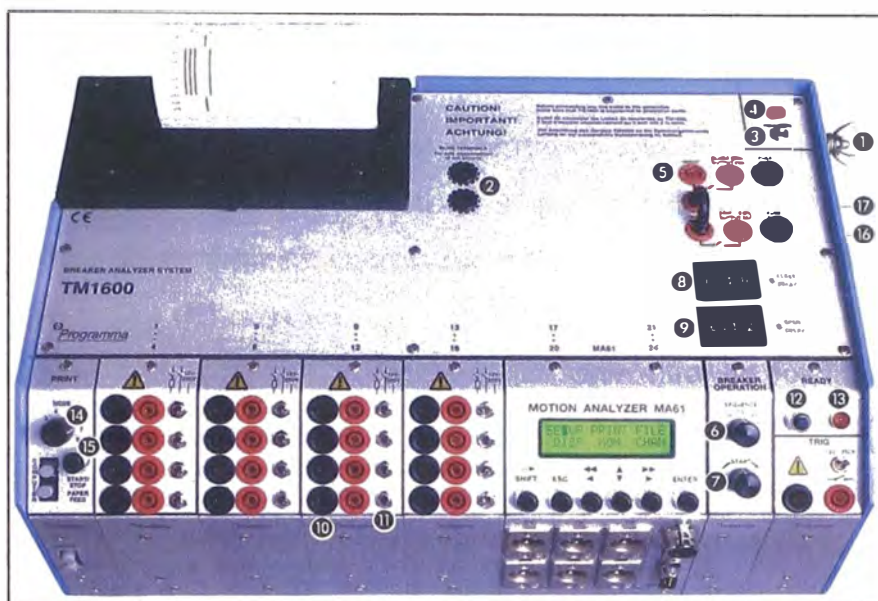


Figura 2.2 Analizador de interruptores (marca Programmata)

b) Personal idóneo

El personal que se encuentran a cargo de las pruebas eléctricas de los interruptores tiene que tener buenos conocimientos tanto de los interruptores que deben ser probados y de los equipos de prueba que se están utilizando. El operador del equipo de prueba debe tener un sentido de desarrollo analítico, acerca de los resultados encontrados.

El personal necesario para las pruebas es:

Interruptor de Potencia 60kV	Un ingeniero especialista en pruebas.
	Un técnico especialista en pruebas
	Un operario electromecánico
Interruptor de Potencia 220kV	Un ingeniero especialista en pruebas.
	Un técnico especialista en pruebas
	Dos operarios electromecánicos

2.3.2 Requisitos para la ejecución

a) Inspección preliminar

Antes de efectuar la prueba, se debe realizar una inspección minuciosa en campo del interruptor, a fin de revisar los siguientes puntos: Ubicación de los equipos de prueba,

punto de alimentación para el suministro de energía eléctrica de los equipos de prueba, toma a tierra para equipos de prueba y la factibilidad para montar los transductores.

b) Condiciones del interruptor antes de las pruebas

Antes de iniciar en ensayo esté seguro que el interruptor está en posición abierta, está desconectado de las fuentes de energía eléctrica y que está alejado de su celda. Los dispositivos de comando deben estar sin energía acumulada y bloquearse mecánicamente.

c) Desconexión y liberación del circuito

- Primero se procede a la desconexión y liberación del interruptor de potencia en los seis terminales (entrada y salida).
- Se aflojan y retiran las mordazas de conexión.
- Se retira el conductor (aldrey, tubo o barra de cobre) a fin que se permita el espacio necesario para realizar las conexiones y desconexiones durante las pruebas.
- Efectuar una limpieza de los terminales del interruptor, utilizando alguna sustancia removedora de óxido e impurezas.

d) Seguridad del personal y las instalaciones

El desarrollo de las pruebas tiene que ejecutarse manteniendo en todo momento las prescripciones de seguridad de los manuales de los equipos de prueba, reglamento interno de seguridad de la empresa y el Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional del Subsector Electricidad (RSHOSSE, publicado en junio 2001)

e) Condiciones climatológicas

Para el caso de la prueba eléctrica de resistencia de aislamiento se debe tener en consideración el límite del contenido de humedad, el cual debe ser menor de 60% (según norma IEC).

2.4 Secuencia de pruebas eléctricas de interruptores

En el capítulo siguiente se describen las diferentes pruebas que se realizan a los interruptores de potencia de alta tensión, sin embargo, aquí queremos enumerarlas y recomendar el orden que éstas deben seguir.

2.4.1 Relación de pruebas eléctricas

La experiencia forjada a lo largo de varios años, nos ha permitido definir los tipos de pruebas que se realizan a interruptores de potencia de alta tensión en servicio, los cuales son:

- Prueba de tiempos de operación
- Prueba de la curva de desplazamiento
- Medición de la intensidad de corriente de las bobinas de disparo
- Prueba de resistencia de aislamiento
- Prueba de resistencia estática de contactos
- Prueba de resistencia dinámica de contactos

2.4.2 Orden en el desarrollo de las pruebas eléctricas

No existe una regla específica que señale el orden a seguir en el desarrollo de las pruebas eléctrica de campo de interruptores, sin embargo, éstas se puede establecer considerando primero aquellas que se realizan en simultaneo y luego las que se realizan individualmente.

a) Pruebas realizadas en simultáneo

Estas pruebas se realizan en simultaneo porque emplean la misma conexión hacia el interruptor, además, las pruebas que se realizan se complementan entre sí.

- Prueba de tiempos de operación
- Prueba de curva de desplazamiento
- Medición de la intensidad de corriente de las bobinas de disparo

b) Pruebas realizadas individualmente

Son pruebas que emplean equipos de prueba diferentes, por tanto tienen que efectuarse cada una por separado.

- Prueba de resistencia estática de contactos
- Prueba de resistencia dinámica de contactos
- Prueba de aislamiento.

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS

A continuación se describen las pruebas eléctricas que se emplean actualmente, señalando claramente para cada ensayo su concepto, recursos necesarios, metodología y análisis de resultados.

3.1 Prueba de Tiempos de operación

3.1.1 Concepto

La prueba de tiempos se hace para determinar el tiempo requerido para que los interruptores operen mecánicamente. Se entiende por operación mecánica, a toda operación o ciclo de operación del interruptor en el cual no interviene la fuerza eléctrica. También sirve para verificar el sincronismo de las cámaras y fases, al medir éstas de manera simultánea.

El tiempo de un interruptor permite evaluar su operación mecánica y verificar su integridad, los cuales pueden permitir una rápida identificación de un problema.

3.1.2 Recursos necesarios

La prueba será realizada por personal altamente calificado, el mismo que deberá estar conformado necesariamente por un ingeniero; también es necesario contar con los equipos y materiales siguientes:

- Analizador de tiempo de interruptores
- Computadora portátil con el Software del equipo analizador.
- Multímetro digital.
- Manual de instrucciones del equipo analizador.
- Manual de operación del interruptor
- Esquemas eléctricos de los mecanismos del control del interruptor y la columna de mando.
- Maleta de herramientas electromecánica completa.
- Torquímetro y juego de dados de varias medidas.
- Escalera de madera ó andamios metálicos.

Otros materiales consumibles (pasta conductora, lija, trapo industrial, etc.).

3.1.3 Metodología

a) Consideraciones generales

- Esta prueba se realiza cuando el interruptor se encuentra totalmente desenergizado y con sus respectivas tierras temporarias colocadas. Por lo tanto, el personal debe cumplir estrictamente lo establecido en los reglamentos de seguridad de la empresa donde se ejecutan los trabajos.
- Cuando el interruptor disponga de bobinas de disparo múltiples, se deben ensayar todas y registrar los tiempos para cada una de ellas.
- Los contactos de cada polo del interruptor tienen que ser verificados separadamente. Para contactos múltiples por fase, cada contacto tiene que tener su propio circuito de verificación.
- Cuando se haga las conexiones hacia las bobinas, se debe tener cuidado de no efectuar un by-pass que perjudique algún mecanismo de protección propio del interruptor, tales como: discordancia de fases o antibombeo, porque ello puede dañar las bobinas.
- Antes de iniciar las pruebas se debe verificar la instalación de los cables de tierra del equipo analizador.

b) Instalación y conexión

- La conexión, principalmente entre el analizador de tiempo y el interruptor, tiene que ser realizado correctamente, observando el manual de instrucciones del equipo analizador de interruptores, para garantizar la correcta medición.
- Realizar la conexión entre el analizador de tiempo y las bobinas responsables del lanzamiento de la orden de operación del interruptor (cierre y apertura).
- Conectar desde los terminales del interruptor (entrada y salida) los cables desde cada fase del Interruptor hacia el Analizador.
- Conectar al analizador los cables de los contactos auxiliares de indicación (a y b) así como el Común (+) traídos con cables desde la caja de bornes del interruptor de potencia.
- Conectar el punto de tierra del analizador a la pletina de línea de tierra existente limpiando y lijando el área de contacto.
- Una vez hechas todas las conexiones se inicializa en la computadora el software de análisis para establecer la comunicación entre el analizador y el interruptor.

- Se introducen los datos del equipo a analizar, luego se selecciona el tipo de prueba a realizar, se crea un archivo de toda la secuencia de pruebas al equipo.
- A continuación se muestra una lista de pruebas disponibles a realizar con el interruptor (Cierre, Apertura, Cierre – Apertura, Apertura – Cierre – Apertura).
- Seleccionar una de ellas, colocar en la posición seleccionada utilizando el selector ubicado en el analizador.
- En la computadora inicializar la acción seleccionada.
- Esperar que en el Analizador encienda una luz roja indicando que el sistema se encuentra listo y dar el mando desde una perilla ubicada al costado del selector.
- El interruptor accionará y se mostrará en la computadora un gráfico donde se describe en unas barras horizontales el tiempo y simultaneidad del accionamiento de los contactos de las tres fases del Interruptor.
- Se muestra en una tabla también la diferencia de tiempos entre fases por cada accionamiento realizado.
- Se recomienda dejar para el último ensayo el accionamiento (Apertura – Cierre – Apertura).

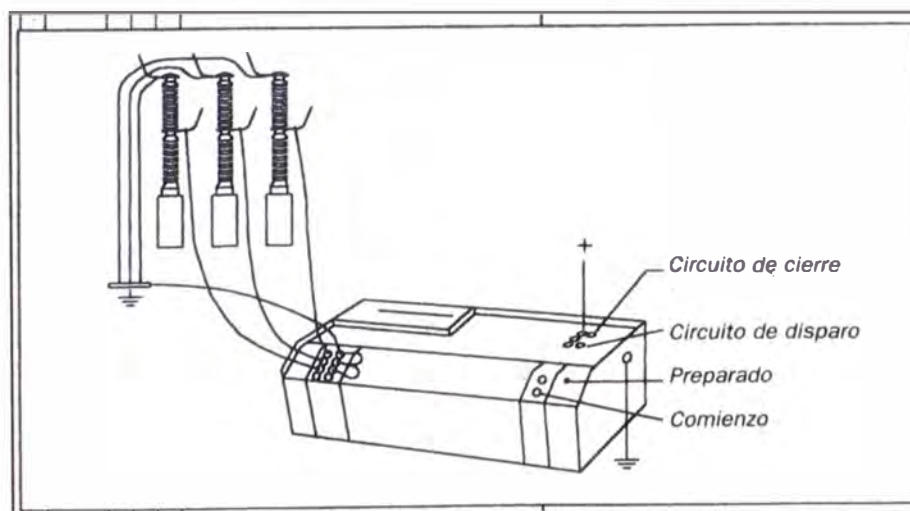


Figura 3.1 Conexión para la prueba de tiempos

3.1.4 Análisis de los resultados

a) Consideraciones generales:

- Se debe disponer de las pruebas anteriores del interruptor y los valores de fabricación.
- Es importante tener pleno conocimiento del equipo analizador, porque la programación incorrecta o también un circuito con falla puede ser la causa de una señal alterada. Además se debe conocer el grado de protección del equipo, contra las interferencias externas.
- Los profesionales a cargo de ésta etapa tienen que tener buenos conocimientos de los interruptores y un sentido de desarrollo analítico, con experiencia y la capacidad de distinguir la importancia de los resultados y las consecuencias de los mismos.

Se recomienda que para efectuar un buen análisis, se considere los niveles de prioridades:

1° Tiempo de apertura

2° Simultaneidad de contactos

3° Tiempo de cierre

b) Análisis del tiempo de apertura

En primer lugar se debe entender que el tiempo de apertura es un requerimiento del diseño que se tiene que respetar y aceptar; por lo tanto, para tiempos más largos o tiempos más cortos se puede causar un riesgo importante en el equipo.

- Tiempo de "Apertura" largo

Las consecuencias pueden ser desde una actuación anormal simple en el disparo del circuito de control a un fallo mayor en el circuito principal de interrupción.

En general e independientemente del tipo de interruptor, una "Apertura" con tiempo largo, puede ocurrir por una velocidad de transición lenta, con lo cual la duración del arco puede ser más extensa y originar el desgaste prematuro de los contactos.

Para corriente de capacitores, los picos de voltaje son más fuertes y pueden causar fallas consecutivas en el sistema eléctrico.

- Tiempo de "Apertura" corto

El interruptor está diseñado para interrumpir adecuadamente cada corriente igual o menor a su capacidad de interrupción, sea la corriente simétrica o asimétrica.

Considerando la curva en la figura 2.2, uno puede notar que los valores asimétricos están en función del tiempo de interrupción. Si es más alto, el tiempo de interrupción es corto.

Como resultado, si el interruptor es demasiado rápido el valor asimétrico puede exceder su capacidad de interrupción, y la interrupción no se puede asegurar más.

En resumen, el tiempo de apertura no deberá nunca ser menor que el valor de referencia, de otra manera el valor asimétrico del corto circuito puede exceder la capacidad de interrupción del interruptor.

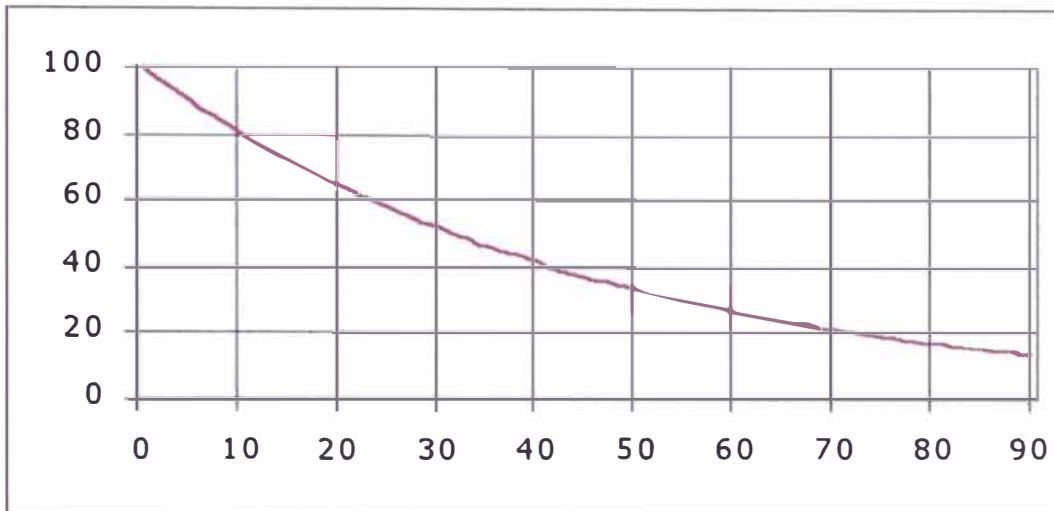


Figura 3.2 Corriente asimétrica

c) Análisis de la simultaneidad de los Contactos

Los interruptores de alta tensión son aparatos de tres fases y tienen por lo menos un contacto por fase, siendo en algunos casos con contactos múltiples en serie por fase.

Es importante saber que para la operación apropiada del interruptor y el sistema, se debe limitar las discrepancias de tiempo entre los contactos.

- Discrepancias de contactos entre polos ó fases

Sobre la apertura:

Según la IEC, la mayor discrepancia medida no deberá exceder el valor máximo establecido por el diseñador, el usuario o según el acuerdo entre ellos. Caso contrario, se debe considerar que la discrepancia máxima permitida es de $1/6$ th de un ciclo (2.77 ms).

La separación de los contactos de los polos tiene que ser simultánea para prevenir el tránsito de altas tensiones, de otra manera se obtendrá el doble de porcentaje de valores en la primera parte del polo.

Sobre el cierre:

Según la IEC, la mayor discrepancia medida no deberá exceder el valor máximo fijado por el diseñador, el usuario o por el acuerdo entre ellos.

Por lo general a la repentina energización de los circuitos siempre sigue a un moderado incremento de tensión; ésta situación encuentra una excepción en el caso de las líneas de

transmisión sin carga, donde al energizar una línea al sistema, la cresta de tensión entra dentro de la línea y cuando se refleja al final de una línea abierta, retorna con el doble de amplitud.

Por lo tanto, cuando los tres polos del interruptor no se cierran simultáneamente se pueden encontrar altas tensiones en las otras fases.

- Discrepancias entre los contactos del mismo polo

Para interruptores de contactores múltiples-por-polo, se instala capacitores mejorados en paralelo con cada contacto para igualar el voltaje cuando los contactos están separados.

En general, los contactos más rápidos tienen el arco más largo de duración y el más alto desgaste por contacto.

En el caso de discrepancias excesivas, los contactos más rápidos en el cierre y los más lentos en el viaje podrían causar lesiones de alto voltaje a los capacitores mejorados, y por lo tanto reduciendo su vida esperada y también la de los contactos.

d) Análisis del tiempo de cierre

Durante el cierre, especialmente en los cortos circuitos, las fuerzas opuestas son considerables. En el caso de contactos de movimiento lento los arcos-previos tienen una larga vida y esto empeora más el deterioro de los contactos.

Si el tiempo de cierre no es respetado, esto comprometerá la garantía relativa a la capacidad de cierre.

3.2 Prueba de la Curva de Desplazamiento

3.2.1 Concepto

Es una medición punto por punto del movimiento de los componentes internos del interruptor, desde el comienzo del movimiento hasta que llega al completo reposo, obteniendo una curva llamada “Curva de Desplazamiento”, la misma que es generalmente dibujada en la unidad de medida (milímetros-mm) en el eje vertical y el tiempo en milisegundos en el eje horizontal.

La prueba permite obtener información sobre el mecanismo de operación, en forma de mapas o gráficos que pueden utilizarse para su evaluación.

Esta prueba se complementa con la prueba de tiempos, y permite apreciar durante la operación de apertura y cierre, tres zonas: comienzo del movimiento, separación o cierre de los contactos y deceleración hasta la posición de reposo.

3.2.2 Recursos necesarios

Esta prueba se realiza sólo si el interruptor permite montar un transductor lineal o rotatorio dentro del mecanismo. Adicionalmente a los recursos para la prueba de tiempos, necesita:

Un analizador que utilizando un transductor de desplazamiento pueda percibir el movimiento del contacto móvil, y enviar señales eléctricas vía cable al equipo analizador, el cual mediante un Software procesa los datos y traza la curva de desplazamiento y ejecuta los varios cálculos de velocidad.

Un transductor de desplazamiento, el cual consiste de una parte fija y otra móvil y se mueve con los contactos, mientras que la parte fija sirve de referencia. Puede ser lineal o rotatorio, según la forma física y como se mueve el sistema móvil del interruptor.

3.2.3 Metodología

En vista que ésta es una prueba que es efectuada en simultaneo a la prueba de tiempos, sólo indicaremos los aspectos adicionales a lo descrito en la prueba de tiempos.

a) Instalación y conexión del transductor

La conexión más importante en ésta prueba es la que se realiza con el transductor de desplazamiento, la cual deberá ser elegida, dependiendo del tipo de interruptor a utilizar. Para evitar cualquier sorpresa inoportuna, deberá observarse el manual de instrucciones del equipo analizador de interruptores y seguir algunas de las reglas que se indican a continuación:

Elegir apropiadamente el tipo de transductor a utilizar, idealmente debería utilizarse un transductor lineal cuando el contacto se mueve a lo largo de un camino recto.

El transductor debe unirse firmemente para eliminar movimientos y alinearse en la misma dirección que el contacto móvil.

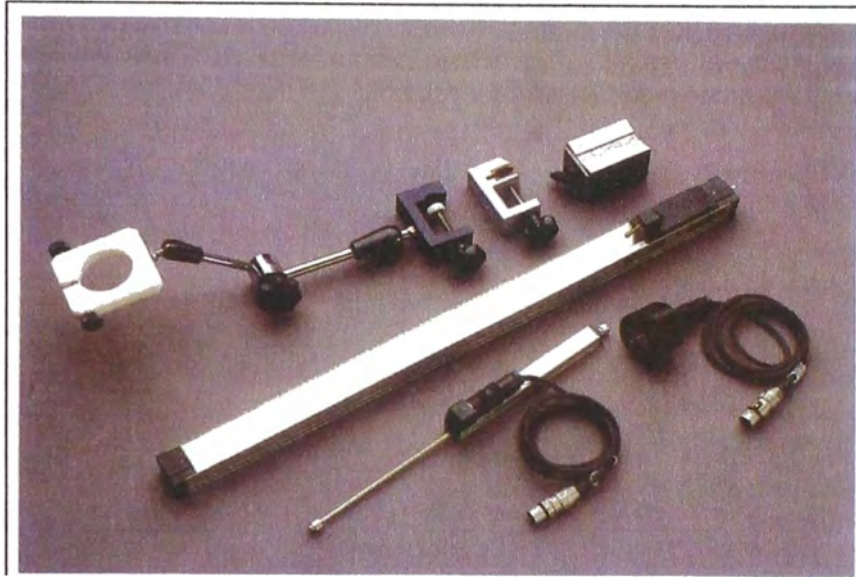
La utilización de un accesorio de fijación del transductor es sin duda el modo más rápido de unir un transductor de desplazamiento.

Es recomendable obtener una herramienta hecha a medida para fijar el transductor en cada tipo de interruptor a probar.

Cuando el transductor es instalado, se debe asegurar que el movimiento medido no exceda la capacidad del transductor o será dañado, y la curva mostrada no representará el verdadero movimiento del interruptor.

Una vez que esté instalado el transductor, calibrar las entradas conectadas, según el manual del equipo analizador y elegir la secuencia de maniobra del interruptor.

Pulsar el botón Ready para que el analizador esté listo para efectuar el registro. Con el botón Star se inicia el registro de la curva de desplazamiento y de tiempos en simultaneo.



Transductores para el MA61

Figura 3.3 Transductores circular y lineal

3.2.4 Análisis de resultados

a) Consideraciones generales

Los resultados de la medida se presentan en forma de gráficos y tablas. La tabla muestra los parámetros del interruptor, tales como: la velocidad, la penetración de los contactos, etc.

Es conveniente disponer de las pruebas anteriores del interruptor.

Es importante tener en consideración que un interruptor de alta tensión se diseña para interrumpir una intensidad de cortocircuito específica, y esto requiere un funcionamiento a una velocidad dada para que el medio de interrupción del arco brinde una refrigeración adecuada.

b) Análisis de la operación de apertura

Para facilitar el análisis una curva de desplazamiento para la operación de apertura es mostrada en la figura 2, allí se han identificado tres zonas que merecen particular atención:

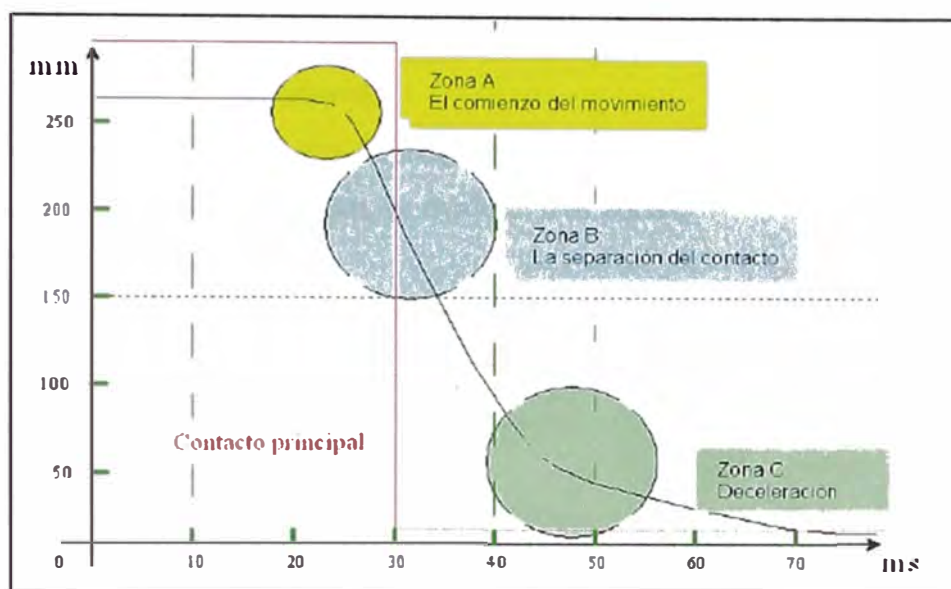


Figura 3.4 Curva de desplazamiento de la apertura

Zona A: El comienzo del movimiento

Se debe verificar si el movimiento ha comenzado en el momento correcto. Un retraso con respecto a la especificación, significa que existe un problema eléctrico, si la bobina no es excitada a tiempo, o un problema mecánico podría existir entre el mecanismo de mando donde el movimiento es puesto en funcionamiento y el contacto móvil del interruptor.

Zona B: Separación de contactos

Aquí es donde los contactos principales se separan uno de otro. En este instante, el arco empieza a formarse y el interruptor implementa sus medidas para extinguirlo. La velocidad de separación se hace un factor importante y primordial a fin de lograr romper el circuito.

Zona C: Desaceleración

En esta etapa es donde el movimiento desacelera hasta que el contacto móvil del interruptor se detiene completamente.

El análisis de esta zona hace posible determinar si los retenes son los óptimos, lo cual significa que el movimiento es detenido gradualmente.

Los Subamortiguamientos, permiten que las partes móviles experimenten choques al final del viaje, lo cual causa un daño severo. De igual forma, un repentino sobreamortiguamiento, donde la energía cinética desarrollada por las partes móviles del interruptor es absorbida en un tiempo muy pequeño, causa daño semejante a Subamortiguamiento.

c) Análisis de la operación de cierre

En la figura 3 se muestra una curva de desplazamiento para una operación de cierre, como en el caso de la operación de apertura, se evalúan tres zonas.

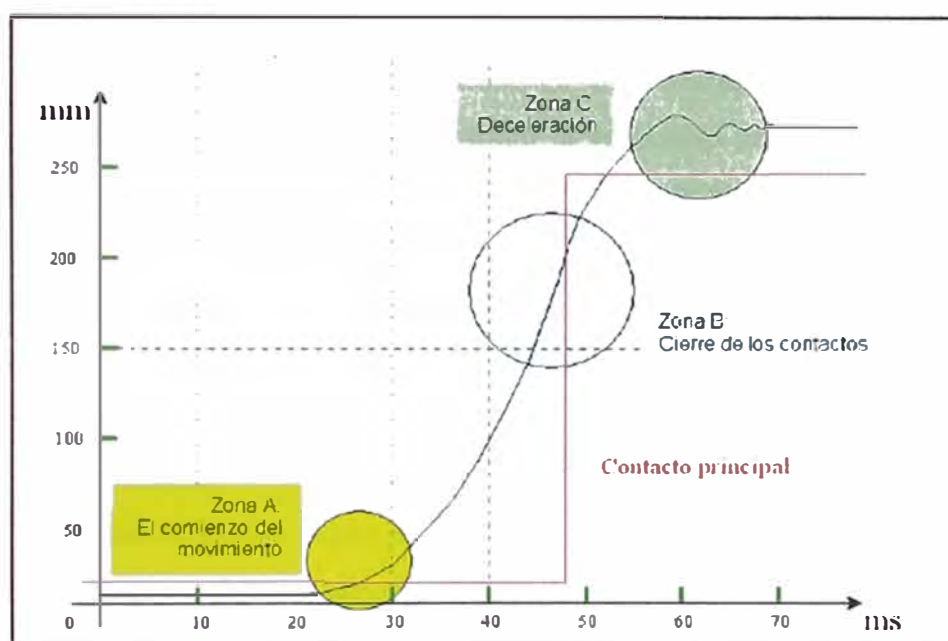


Figura 3.5 Curva de desplazamiento en cierre

Zona A: El comienzo del movimiento

Como en el caso para la curva del desplazamiento de apertura, aquí es donde el movimiento empieza, y es muy importante saber si el movimiento ha iniciado en el lugar correcto.

Zona B: Cierre de los contactos

Aquí es donde los contactos principales entran en contacto. En esta zona, también llamada la zona de pre- arco, como los contactos vienen más cerca uno de otro, el dieléctrico, en función de la distancia de separación, se hace insuficiente y una corriente forma un pre-arco dentro de un arco, la duración de la cual está en función de la velocidad de los contactos.

Zona C: Desaceleración

Aquí es donde el movimiento baja lentamente hasta una parada completa de los contactos móviles del interruptor.

La energía envuelta en el proceso de cierre es menor que la desarrollada en el proceso apertura, pero esta es sin embargo bastante considerable.

El exceso de energía es traducido en un sobrepasar del recorrido lo cual, si excede las tolerancias, podría causar severo daño al dispositivo.

d) Análisis de la velocidad

La velocidad de los contactos en apertura y cierre, es un parámetro importante en la operación de interruptores de alta tensión. La curva de desplazamiento también sirve para el cálculo de la velocidad de los contactos en un momento específico, o velocidad instantánea, o este puede servir para determinar la velocidad promedio en un intervalo de tiempo. La velocidad usualmente buscada es en el momento que el interruptor hace contacto (en cierre) o se abre (en apertura).

Además, se pueden analizar las variaciones del amortiguamiento y de velocidad de los contactos durante el cierre y la apertura en la curva de velocidad obtenida para cada entrada de análisis de desplazamiento.

Los problemas normalmente descubiertos con esta prueba son ajustes defectuosos, resortes acelerados o agotados, partes rotas, etc., Es por ello que es recomendable solicitar esta prueba durante las pruebas de aceptación en fábrica y luego durante las pruebas de mantenimiento, a fin de comparar los resultados.

3.3 Medición de la intensidad de corriente de las bobinas

3.3.1 Concepto

Esta prueba consiste en la medición de la intensidad de la corriente de las bobinas de apertura y cierre de un interruptor. Los analizadores de interruptores, permiten obtener la curva de la corriente en función del tiempo, lo cual permite interpretar su forma.

La prueba permite detectar problemas mecánicos y/o eléctricos en las bobinas de actuación antes que se conviertan en fallas reales. La intensidad máxima de la bobina es una función directa de la resistencia de la bobina y de la tensión de actuación, por tanto con éste ensayo podremos detectar si se ha cortocircuitado o no alguna espira de la bobina.

3.3.2 Recursos necesarios

Esta prueba se realiza en simultáneo con la prueba de tiempos, por tanto, adicionalmente es importante precisar lo siguiente:

Un analizador capaz de graficar la curva de corriente de las bobinas en función del tiempo, que detecte el cambio de estado desde el momento de que se impartió la operación.

Computadora portátil con el software del equipo analizador.

Esquemas eléctricos del interruptor y de la columna de mando.

3.3.3 Metodología

Para obtener el mayor provecho de ésta prueba, es conveniente mantener el mismo esquema de conexión que el empleado en la prueba de tiempos, incorporando otra conexión entre el analizador de tiempo y el mecanismo de bobinas responsable del lanzamiento de la orden de operación.

Las pruebas se realizan a cada una de las bobinas que tiene el interruptor por separado, primero a la bobina de cierre, y segundo a la bobina de apertura. Todo se registra para consultoría y análisis.

3.3.4 Análisis de resultados

a) Consideraciones generales

- Un método para determinar el correcto funcionamiento de la bobina es comparar la forma de corriente de pruebas sucesivas.
- La energía para accionar un interruptor, es la suma de:
 - La energía cinética requerida para acelerar las masas de las partes en movimiento.
 - La energía para superar la fricción del contacto.
 - La energía para superar la fricción del mecanismo, y
 - La energía para superar la fricción impuesta por el medio de interrupción.
- Cuando la bobina es energizada la intensidad de corriente se eleva rápidamente al principio y más gradualmente cuando está en las proximidades del final de su valor.
- La corriente que fluye por las bobinas de accionamiento se incrementa al punto que la fuerza que ejercen es suficiente y supera las fuerzas estática y de fricción que se ejercen.
- Después de energizar la bobina, ésta mueve un elemento actuador y opera el “pestillo ó trinquete” de accionamiento, el cual provoca el movimiento del mecanismo de accionamiento y efectúa el accionamiento de los contactos (apertura o cierre).

El pestillo del accionamiento es uno de los rasgos más importantes del mecanismo del interruptor. La fuerza y energía requerida para accionar el pestillo dependen del número de uniones involucradas en la cadena de mecanismos y el tipo de pestillo utilizado.

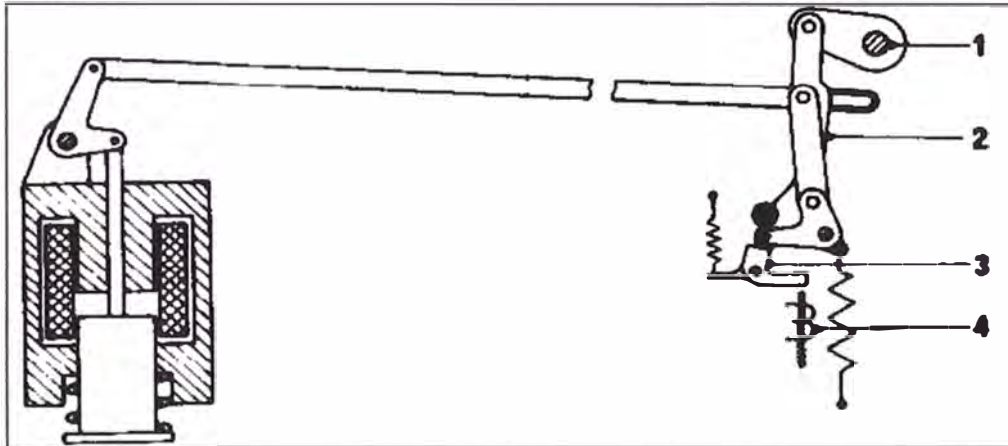


Figura 3.6 Mecanismo de accionamiento del interruptor

Leyenda:

- 1: Sistema de accionamiento del interruptor
- 2: Barra de acople
- 3: Pestillo
- 4: Elemento actuador

b) Descripción de la curva de movimiento

Para analizar los resultados de ésta prueba, se debe conocer el sistema de accionamiento mecánico del interruptor, desde que se acciona la bobina del interruptor hasta que se vuelve a la posición de reposo de la bobina. Para ello, se analizará una curva de corriente típica generada durante el accionamiento del interruptor (figura 3.7):

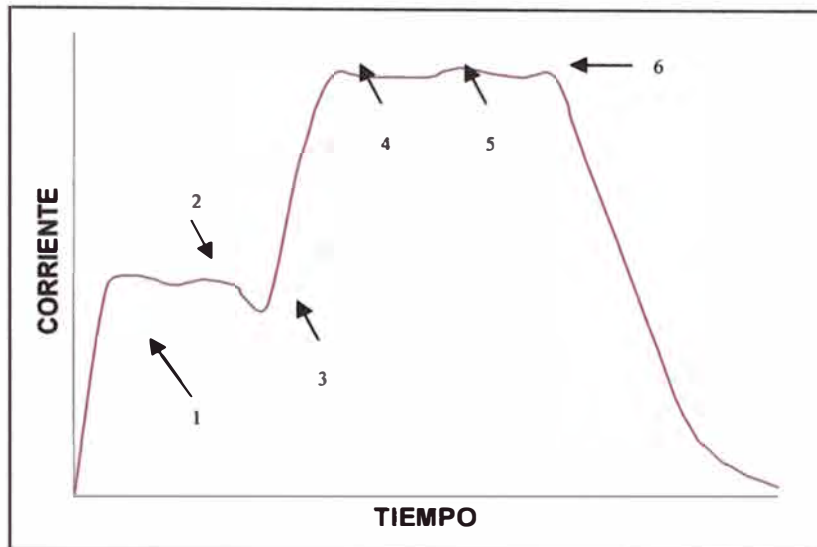


Figura 3.7 Forma típica de la corriente de la bobina

Leyenda:

1. Cuando la bobina de accionamiento es energizada, circula corriente por sus devanados, se induce una fuerza en su armadura. La corriente que fluye por las bobinas se eleva a un punto que la fuerza producida tira el elemento actuador.
2. La armadura opera el pestillo o trinquete que produce el movimiento del mecanismo de accionamiento.
3. Luego existe un punto donde la armadura se detiene por un momento, debido al contacto que hace con las puntas; entonces se requiere más energía para continuar el movimiento y supere la carga adicional de las puntas. Este punto es causado por la falta de lubricación, los cambios de temperatura, la excesiva fuerza de accionamiento o mecanismo de ajuste. La armadura completa éste accionamiento y da un golpe de parada.
4. Después que la armadura ha completado su accionamiento y pegado su parada, hay un cambio en la forma de corriente. El valor del rizado de la corriente depende del cambio de la inductancia de la bobina.
5. La magnitud de la corriente depende de la resistencia DC de la bobina.
6. La apertura del contacto ordena la desenergización de la bobina de accionamiento y decae la corriente a cero.

Cuando se mide la corriente de las bobinas a un interruptor, debemos identificar ciertos valores, tales como la corriente máxima, el tiempo de corriente de interrupción, el tiempo de energización de la bobina, los cuales pueden permitir una rápida identificación de un problema en las bobinas.,

Debido a que en algunos casos el interruptor permanece estático por largos periodos de tiempo, el movimiento inicial tendrá una fricción muy alta y resistente, la misma que se reflejará en la forma de corriente de sus bobinas.

3.4 Prueba de Resistencia de Aislamiento

3.4.1 Concepto

Es la medida de la resistencia obtenida al aplicar con un equipo una tensión continua (V_{cc}) al sistema bajo prueba. Esta tensión provoca una pequeña corriente eléctrica (típicamente del orden de microamperios) que circula a través del elemento aislante.

Los resultados de ésta prueba deben interpretarse sólo para propósitos comparativos. Esto no indica la calidad del sistema de aislamiento primario desde el punto de vista de inestabilidad del dieléctrico.

3.4.2 Recursos necesarios

Para poder realizar mediciones de la resistencia de aislamiento del interruptor, necesitamos contar con lo siguiente:

- Un aparato capaz de aplicar una tensión continua (500 a 5000 Vdc) y determinar la resistencia en mega-ohmios, normalmente denominado como Megohmetro o Megger.
- Medidores de parámetros ambientales (temperatura ambiente y humedad relativa).
- Maleta de herramientas electromecánica completa.
- Torquímetro y juego de dados de varias medidas.
- Escalera de madera ó andamios metálicos.
- Otros materiales consumibles (pasta conductora, lija, trapo industrial, etc.).

3.4.3 Metodología

a) Consideraciones generales

- Este trabajo se debe realizar cuando el interruptor se encuentra totalmente desenergizado y con sus respectivas tierras temporarias colocadas.
- Para la conexión, principalmente entre el Megohmetro y el interruptor, deberá observarse el manual de instrucciones del mismo, tomando en cuenta ciertos factores externos, como por ejemplo, la inducción magnética por efecto de las líneas de alta tensión.
- Otra conexión importante es la del punto de tierra, se debe verificar la conexión correcta al terminal de tierra.
- El método a emplear es conocido como prueba de corto tiempo o puntual y consiste en conectar el instrumento y aplicar la tensión por un periodo de 60 segundos.

b) Instalación y conexión

La prueba de resistencia de aislamiento se realiza considerando los siguientes casos:

- Interruptor en posición abierto

Conecte el lado de alta del polo al terminal positivo (+) y aterrando los demás polos conéctelos al terminal negativo (-) del equipo. Repita para los otros dos polos de igual forma, con los otros dos polos conectados a tierra.

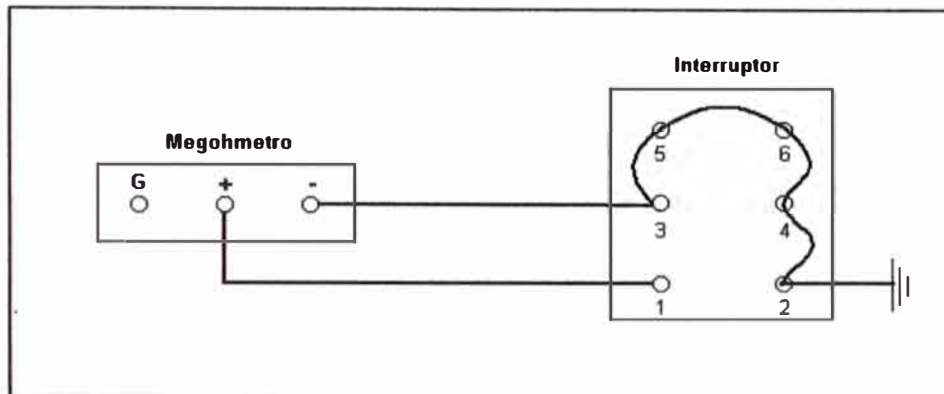


Figura 3.8 Conexión para el interruptor en posición abierto

- Interruptor en posición cerrado

Conecte el terminal “+” del equipo a un polo y aterrando los demás polos conéctelos al terminal “-“. Repita para las otras dos fases del interruptor, con los otros polos a tierra.

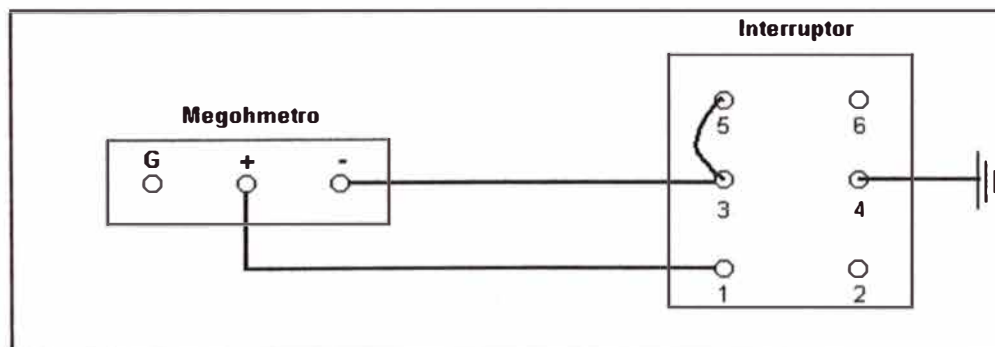


Figura 3.9 Conexión para el interruptor en posición cerrado

Se recomienda llevar un registro de la temperatura ambiente y humedad relativa, en la proximidad del equipo, a fin de evaluar las lecturas y tendencias.



Figura 3.10 Conexión física

3.4.4 Análisis de resultados

a) Consideraciones generales

La adquisición de información dependerá de la tecnología del instrumento de medida que se utilice, dado que existen instrumentos electrónicos y analógicos.

En los instrumentos de medida analógicos, se debe minimizar los errores de observación haciendo que los instrumentos de medición tengan los rangos necesarios como para dar una desviación bastante grande.

Las pruebas periódicas deben ser realizadas de la misma manera cada vez. Es decir, con las mismas conexiones de prueba y con la misma tensión aplicada, también se sugiere que se realice a la misma temperatura ambiente y humedad.

Además, para hacer comparaciones confiables entre lecturas sucesivas, se debe corregir las lecturas a una temperatura base o tomar lecturas a la misma temperatura.

La resistencia obtenida depende de la tensión aplicada, de la capacitancia del sistema, de su temperatura y contenido de humedad.

Es importante tener en consideración que la calidad de aislamiento es una variable que depende de la temperatura, humedad, y otros factores medioambientales. Por consiguiente, todas las lecturas deben corregirse a la temperatura normal, para efectos de una adecuada comparación futura.

b) Interpretación

Debe recordarse que existen varios factores por los cuales ésta prueba puede dar valores bajos de aislamiento, así como también, una degradación del elemento dieléctrico puede dar valores altos de aislamiento. En consecuencia, los resultados de la prueba deben interpretarse solo para los propósitos comparativos. Esta prueba no diagnostica la calidad del sistema de aislamiento primario desde el punto de vista de inestabilidad del dieléctrico. Con respecto a las condiciones normales atmosféricas y los factores de corrección, se debe revisar la norma IEC60-1.

3.5 Prueba de resistencia estática de contactos

3.5.1 Concepto

Es la resistencia obtenida como resultado de aplicar entre los terminales del interruptor (bornes de conexión) una corriente DC y medir la diferencia de tensión, estando cerrados los contactos del interruptor.

Esta prueba permite descubrir ciertas anomalías en el circuito conductor del interruptor, y verificar el grado de corrosión de los contactos, los cuales son sometidos a repetidos arcos. Es importante medir la resistencia estática de cada uno de los contactos, porque si no se mantienen éstos en condiciones adecuadas, su resistencia eléctrica producirá una disminución significativa en la capacidad del contacto de llevar corriente.

3.5.1.1 Recursos necesarios

Para realizar ésta prueba, necesitamos un aparato o aparatos capaces de inyectar elevadas corrientes DC (entre 100 A. y la corriente nominal del equipo) y medir la caída de tensión que se produce entre los contactos.

En la actualidad existen dos métodos de medida de resistencia:

Método del Voltímetro - Amperímetro

Consiste en emplear voltímetros y amperímetros digitales de exactitud apropiada. Al aplicar la corriente continua, se deben tomar lecturas simultáneas de corriente y tensión. La resistencia requerida es calculada mediante la Ley de Ohm.

Método Utilizando un MICROHOMETRO

La denominación de éste aparato se debe a la unidad de medida con que se mide la resistencia. Del aparato salen dos pares de cables que son conectados a los contactos (dos a cada contacto), un par de cables entregan la corriente continua necesaria para efectuar la medición y los otros recogen la diferencia de tensión que se produce,

obteniendo así la resistencia deseada. Dependiendo de la tecnología del aparato éste puede ser digital o analógico e incorporar el sistema de adquisición de la información. Para efectos del presente trabajo, se considera el uso de un equipo Micróhmetro, en cuyo caso es necesario contar con los siguientes recursos:

Micróhmetro (0-600 A., 0-200 m Ω) con cables de pruebas correspondientes.

Manual de instrucciones del equipo de prueba.

Maleta de herramientas electromecánicas completa.

Torquímetro y dado de varias medidas.

Escalera de madera y andamios metálicos.

Extensión de toma eléctrica (monofásica de tres hilos).

Otros materiales consumibles (pasta conductora, lija, trapo industrial, etc.)

3.5.2 Metodología

a) Consideraciones generales

Este trabajo se debe realizar cuando el interruptor se encuentra totalmente desenergizado y con sus respectivas tierras temporarias colocadas.

La ubicación del aparato de prueba tiene que ser realizado tomando en cuenta la inducción magnética de líneas de alta tensión.

Los contactos de cada polo del interruptor tienen que ser probados separadamente.

Como regla general se debe aplicar diferentes niveles de corrientes, antes de obtener el valor exacto de la resistencia.

Los cables que miden la tensión deben ser instalados de tal forma que se encuentren dentro de los cables que inyectan la corriente.

La norma IEC 56 afirma que este tipo de resistencia debe medirse aplicando una corriente entre 50A y la intensidad nominal del interruptor. La norma ANSI C 37.09 especifica una intensidad de ensayo mínima de 100 A.

b) Instalación y conexión

Antes de realizar las conexiones del equipo de prueba al interruptor, verificar la adecuada limpieza de los terminales del interruptor y de los cables a conectar, de lo contrario se puede incrementar el valor de la resistencia a medir.

La conexión, principalmente entre el equipo de prueba y el interruptor, tiene que ser realizado de acuerdo a lo señalado en el manual de instrucciones.

Antes de iniciar las pruebas, verificar que el interruptor está en la posición cerrado.

Conectar los cables que miden la tensión en los terminales o bornes del interruptor, lo más cerca al interruptor para asegurar una buena lectura de la tensión.

Conectar los cables de alimentación de corriente, también en los terminales del interruptor, aunque un poco más alejados del interruptor.

Verificar la conexión del cable de tierra del Micróhmetro.

Se procede a aplicar corriente continua progresivamente desde el Micróhmetro hasta llegar a 100 A DC. Mantener en esta posición por 60 segundos y tomar la lectura de la resistencia.

Repetir el paso anterior, pero aumentar la corriente hasta alcanzar 200 A. DC y volver a tomar la lectura de resistencia.

Efectuar la misma medición para cada una de las fases.

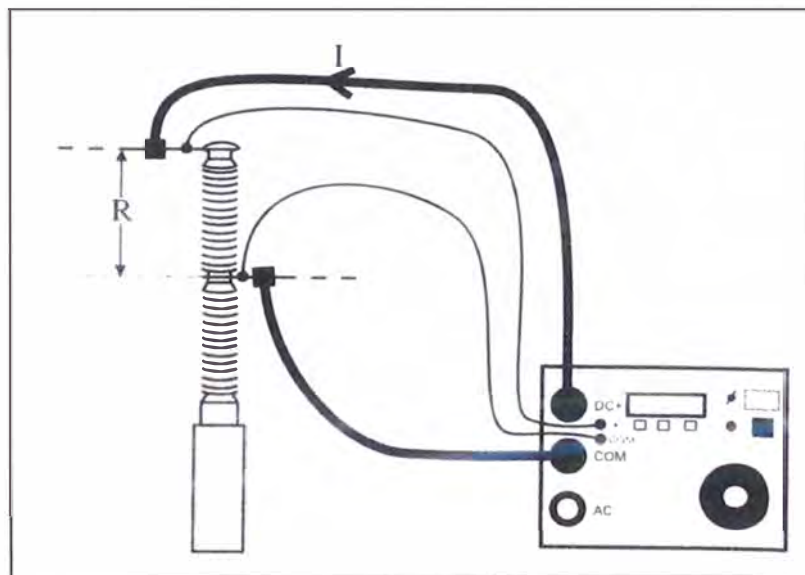


Figura 3.11 Esquema de conexión

3.5.2.1 Análisis de los resultados

a) Consideraciones generales

Es conveniente disponer de las pruebas anteriores del interruptor, así como el historial de sus actuaciones, sobretodo para el caso de fallas de corto circuito.

Es importante saber que la resistencia de contacto de un interruptor está expresado en microhomios y que puede ser alterado por la temperatura ambiente de ese momento, y que por tanto existe un valor de corrección cuando la temperatura este por debajo de $+10^{\circ}\text{C}$ y por encima de $+40^{\circ}\text{C}$.

Los profesionales a cargo de ésta etapa tienen que tener buenos conocimientos tanto de los interruptores que han sido probados como de los equipos empleados para ese fin.

La resistencia de los contactos dependerá entre otras cosas de las características técnicas del interruptor, así como de los materiales de fabricación.

b) Interpretación

Un aumento de la resistencia del circuito principal no puede ser exclusivamente considerado como la evidencia fiable de contactos o las conexiones estén malos o desgastados. En éste caso, la prueba debe repetirse con una corriente más alta, lo más cerca posible a la corriente nominal del equipo.

Resulta importante indicar que ésta prueba debe complementarse con la prueba de resistencia dinámica, antes de tomar alguna acción al respecto.

La comparación con pruebas anteriores es importante porque permite evaluar la tendencia en el tiempo que tiene la resistencia estática del interruptor.

3.6 Prueba de medida de resistencia dinámica

3.6.1 Concepto

Es una prueba utilizada para medir la resistencia del contacto en función del tiempo, durante la operación del interruptor; para esto se inyecta una corriente continua a través del interruptor y se miden la caída de tensión y corriente mientras el interruptor opera. Seguidamente, un analizador de interruptores calcula y dibuja la resistencia en función del tiempo. Si se registra simultáneamente el desplazamiento del contacto, se puede leer la resistencia en cada punto de contacto.

Esta prueba se debe solicitar durante la fabricación del interruptor, dentro de las pruebas de rutina y luego en la operación, para ser implementada en el programa de mantenimiento.

3.6.2 Recursos necesarios

Para la ejecución de las pruebas es necesario contar con los siguientes equipos y materiales:

Analizador de interruptores para prueba de DRM, con una medida de pequeñas variaciones y alta exactitud. Este aparato debe estar diseñado para generar todas las señales necesarias e incorporarlas al sistema de adquisición de información y registro gráfico.

Fuente de energía continua (normalmente es una batería de 12 V, 250 - 1000 A.).

Computadora portátil con el software del equipo analizador.

Multímetro digital.

Manual de instrucciones del equipo analizador.

Esquemas eléctricos de los mecanismos de control y mando del interruptor.

Maleta de herramientas electromecánica completa.

Torquímetro y juego de dados de varias medidas.

Escalera de madera o andamios metálicos.

Otros materiales consumibles (pasta conductora, lija, trapo industrial, etc.).

3.6.3 Metodología

a) Consideraciones generales

Esta medición se realiza durante las operaciones de apertura y cierre del interruptor.

La conexión entre el analizador de tiempo y el interruptor, tiene que ser realizado tomando en cuenta la inducción magnética de líneas de alta tensión.

La prueba se puede ejecutar para las operaciones de apertura y cierre; sin embargo se prefiere emplear sólo la operación de apertura debido a las condiciones de prueba más estables.

La intensidad de corriente más conveniente para esta prueba es extensamente discutida; sin embargo, nuestra experiencia recomienda una alta corriente, porque es más fácil de reproducir la condición real de un interruptor y tiene la ventaja de dar tensiones más altas, valores como 500A ó 600A.

b) Instalación y conexión

La conexión hacía el interruptor es similar a la que se efectúa para medir la resistencia estática de contactos, por tanto, las consideraciones son las mismas. Sin embargo aquí se emplean otros equipos que merecen tener en cuenta lo siguiente:

Antes realizar las conexiones se realizará una limpieza de los contactos principales del interruptor, utilizando alguna sustancia removedora de oxido e impurezas.

Para realizar la correcta conexión en ésta prueba, se debe tomar como referencia lo indicado en el manual del analizador de interruptores. (ver figura 3.7)

Cuando se realice esta prueba se recomienda utilizar un filtro electrónico para limpiar las señales de tensión inducida de las perturbaciones que pudiera tener para obtener una curva de resistencia uniforme y así poder tener claridad en los resultados obtenidos.

Los contactos de cada polo del interruptor tienen que ser verificados separadamente fase por fase, y se debe obtener un valor similar al obtenido en la prueba de resistencia estática.

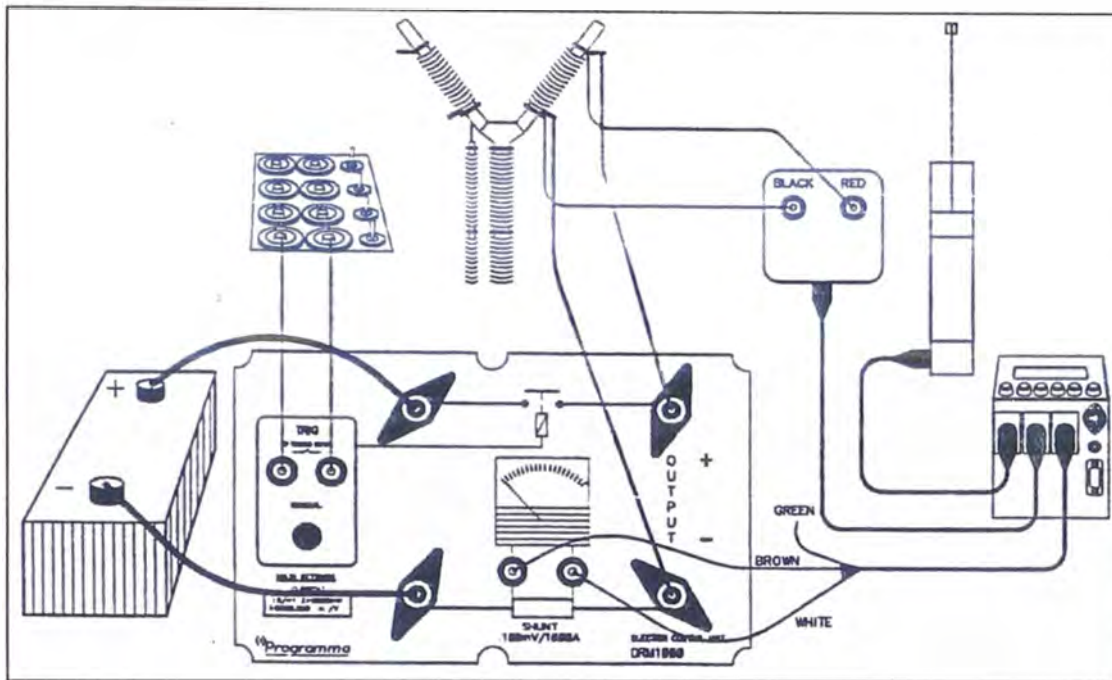


Figura 3.12 Esquema de conexión

3.6.4 Análisis de resultados

a) Consideraciones generales

Agentes externos pueden influenciar durante la recolección de información. Es importante distinguir la información útil y los ruidos externos.

Es conveniente disponer de las pruebas anteriores del interruptor, por ejemplo valores de fabricación.

Cuando se mide la resistencia dinámica a un interruptor, se está buscando los valores de resistencia durante el funcionamiento del interruptor, y si los valores parecen excesivos, se debe repetir la prueba antes de bajar todos los cables.

Los profesionales a cargo de ésta etapa tienen que tener buenos conocimientos, experiencia y tener la capacidad para distinguir entre la importancia de los resultados solicitados y las consecuencias de no-conformidad.

b) Interpretación

La prueba de resistencia dinámica de los contactos, complementa la información obtenida en la medición de resistencia de contactos estática del interruptor, y de estas dos pruebas se obtiene el diagnóstico final de los contactos principales del interruptor.

Es recomendable combinar la prueba de resistencia dinámica con la curva de desplazamiento, para determinar punto a punto el valor de su resistencia. Además esto nos permitirá medir la distancia de operación entre los contactos principales y contacto de arco para verificar el desgaste del contacto y su posición.

Un desgaste excesivo en alguno de los contactos puede generar un sobrecalentamiento que con el tiempo puede ser de consecuencias desastrosas tanto para el equipo como para el personal que labora en su entorno.

CAPITULO IV

DIAGNÓSTICO DE INTERRUPTORES BASADO SU MANTENIMIENTO PREDICTIVO

4.1 Generalidades

Para conseguir un adecuado diagnóstico acerca del estado del interruptor de potencia, es importante tener en cuenta lo siguiente:

A pesar que la información proporcionada por cada prueba es una herramienta importante, debe ser usada en relación con otras herramientas analíticas.

Es recomendable disponer los protocolos de las pruebas de aceptación en fábrica y las pruebas al momento de la puesta en servicio; esto nos permitirá realizar un diagnóstico inmediato por comparación.

Debe recordarse que los valores que se obtienen en algunas pruebas dependen de los factores climatológicos que existen en el momento de la prueba, por lo que siempre es importante aplicar correctamente los factores de corrección para llevar éstos valores a las condiciones estándar. Aquí lo más recomendable es efectuar las pruebas en las condiciones que no sea necesaria ninguna corrección.

Es necesario que el personal que realiza las pruebas y el diagnóstico conozca bien el interruptor, así como disponer de una basta experiencia en estas pruebas.

Es importante disponer del “historial del interruptor”, es decir, la base histórica de todos los eventos que se han venido produciendo en el equipo que es evaluado, tales como: mantenimientos, reporte de anomalías, registro de la cantidad de maniobras, etc.

Existen otras herramientas que pueden servir para efectuar un diagnóstico del interruptor (inspección de termografía, análisis de aceite, etc), las cuales no forman parte de éste trabajo, sin embargo, éstas pueden utilizarse para efectuar el diagnostico.

4.2 Estadística de fallas

4.2.1 Fuentes internacionales

A continuación se indican las causas más comunes de fallas de interruptores, según lo divulgado por IGRE [B 15]. Esta información sirve para asistir en el diagnóstico del interruptor y para supervisar el funcionamiento del interruptor.

Tabla 4.1 Estadística de fallas

Mecanismo de Operación	43 – 44%
Compresores, bombas etc.	13.6 – 18.7 %
Almacenaje de la energía	7.2 – 7.6 %
Control de elementos	9.3 – 11.6 %
Actuadores, dispositivos húmedos	5.1 – 8.9 %
Transmisión mecánica	1.4 – 3.8 %
Circuitos eléctricos de control y auxiliar	20 – 29%
Circuito de disparo / cierre	1.5 – 10 %
Interruptores auxiliares	2.1 – 7.4 %
Contactores, calefactores, etc.	5.4 – 7.6 %
Monitor de la densidad del gas	4.0 – 10.7 %
Componentes de alta tensión	21 – 31%
Elementos de interrupción	9.4 – 14.0 %
Interruptores auxiliares, resistores	0.6 – 1.3 %
Aisladores de tierra	5.7 – 20.9 %
Otras causas	5.4 – 6.8%

Es importante precisar que los datos indicados fueron reportados para interruptores de una sola presión del gas SF 6 colocados en servicio entre 1978 y 1992. Sin embargo, el mismo informe de CIGRE hace referencia a un estudio anterior que incluye todos los tipos de interruptores, en el cual se había divulgado que el 70% de fallas importantes del interruptor eran del origen mecánico -- el 19% del origen eléctrico referente al circuito auxiliar y a los circuitos de control -- y el 11% del origen eléctrico referente al circuito principal.

4.2.2 Fuentes nacionales

Conservando el mismo orden que se tiene en la tabla anterior, la experiencia obtenida a lo largo de diez años (entre 1996 y 2005) en una empresa de distribución eléctrica de Lima, tomado sobre un parque de 172 interruptores (14 de 220kV y 158 de 60kV), arroja el siguiente resultado:

Tabla 4.2 Estadística de fallas

Mecanismo de operación	35 %
Circuitos eléctricos de control y auxiliar	20 %
Componentes de alta tensión	14 %
Otras causas	31 %

4.3 Diagnóstico de las pruebas eléctricas

Con la finalidad de hacer un rápido diagnóstico de la condición del interruptor y para predecir cualquier falla inminente a partir de las pruebas eléctricas que se han descrito, se debe considerar que cada prueba supervisa varias características y funciones del interruptor, con este fin presentamos a continuación la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Evaluación de las pruebas

Prueba eléctrica	Evalúa
Tiempos de operación	Sistema de accionamiento del interruptor (cierre y apertura)
Curva de desplazamiento	Sistema de accionamiento del interruptor (cierre y apertura)
Corriente de las bobinas	Estado de las bobinas de disparo (cierre y apertura)
Resistencia estática de contactos	Estado de los contactos internos (fijo y móvil)
Resistencia dinámica de contactos	Estado de los contactos internos (fijo y móvil)
Resistencia de aislamiento	El aislamiento dieléctrico

También es importante resaltar la importancia de la prueba de tiempos, es por ello que en la tabla 4.4 se han descrito los posibles diagnósticos de los resultados de esta prueba, los cuales pueden servir de ayuda en el diagnóstico.

Tabla 4.4 Diagnóstico de la prueba de tiempos

Tiempo de apertura	Tiempo de cierre	Efecto
Normal	Lento	Cambio en las características del sistema de cierre (mala lubricación)
Lento	Normal	Cambio en las características del sistema de apertura
Lento	Rápido	Funcionamiento defectuoso del sistema de accionamiento de la apertura
Lento	Lento	Aumento de fricción en el sistema de accionamiento (corrosión de las uniones)

4.4 Casos prácticos

A continuación se describen algunos casos prácticos que se han encontrado como experiencia del autor de éste trabajo. Cabe precisar que por razones particulares se está omitiendo alguna información que no es relevante para el análisis.

4.4.1 Caso 1

a) Descripción

En el mes de octubre del año 2002, se hicieron pruebas a un interruptor de 220 kV. marca Magrini Galileo – tipo MHMe 1P – fabricado el año 1987. Se utilizó una maleta de pruebas marca Programma, modelo TM 1600.

La figura 4.1 muestra los resultados de las pruebas durante la operación de cierre de donde se puede observar lo siguiente:

En el gráfico de tiempos, para la fase A, se observa que el interruptor efectúa varios rebotes antes de llegar a su posición final de reposo, registrando un tiempo de 19.3 ms.

En la curva de desplazamiento existe un “sobrerecorrido” respecto a la posición final de reposo, el cual se ha registrado con un valor de 0.9 mm.

b) Análisis

La simultaneidad de eventos, rebote y sobrerecorrido de los contactos, nos indica que existe un problema mecánico en la fase A del interruptor, ocasionado posiblemente por la fatiga de los amortiguadores del interruptor y/o irregularidades en la superficie del contacto.

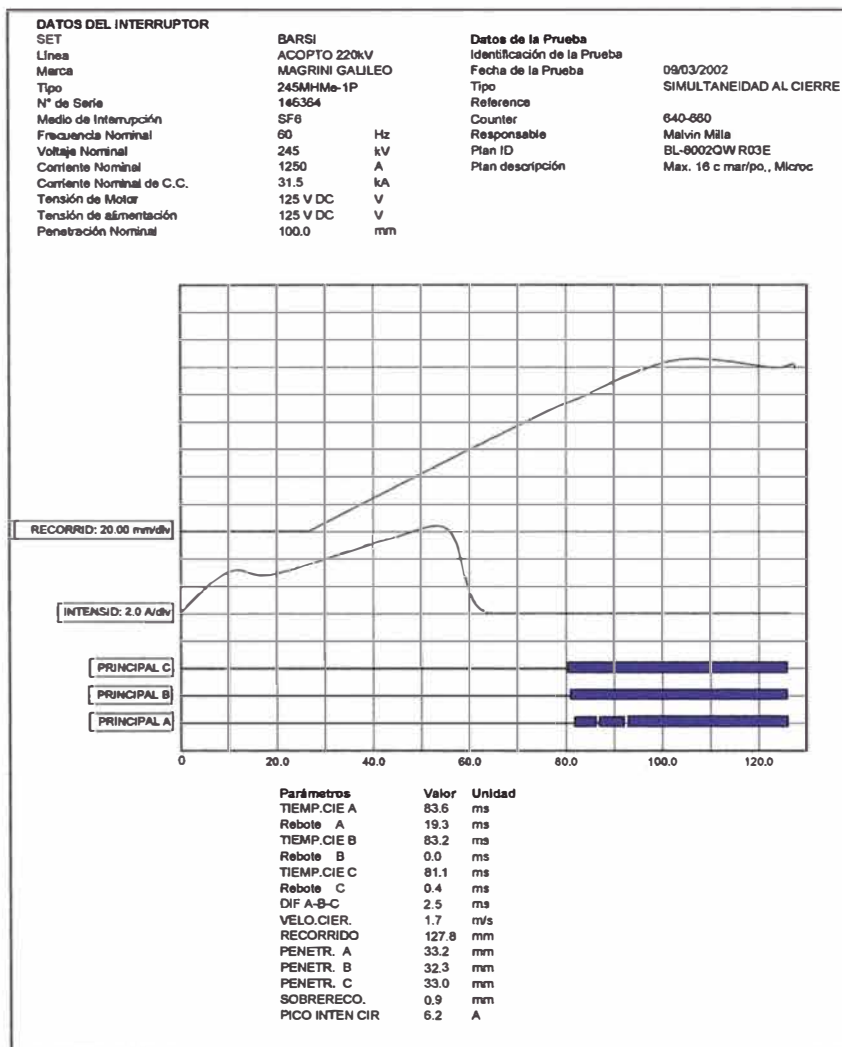


Figura 4.1

c) Acciones Efectuadas

Este interruptor quedó programado para su mantenimiento, sin embargo, antes de que llegue a la fecha prevista, se detectó una pérdida de SF₆ en el mismo polo observado, ello ocasionó que se realizará inmediatamente el cambio del polo dañado por otro de reserva.

Al efectuar la inspección del polo averiado se comprobó que la causa que originaba un rebote significativo era que el mecanismo se movía muy rápido en el momento de golpear la defensa final (final de carrera), la velocidad de desplazamiento de la varilla no disminuía el final de la carrera. Se concluyó que el problema estaba en el amortiguador del interruptor. La figura 2, muestra los resultados de las pruebas después del reemplazo del polo.

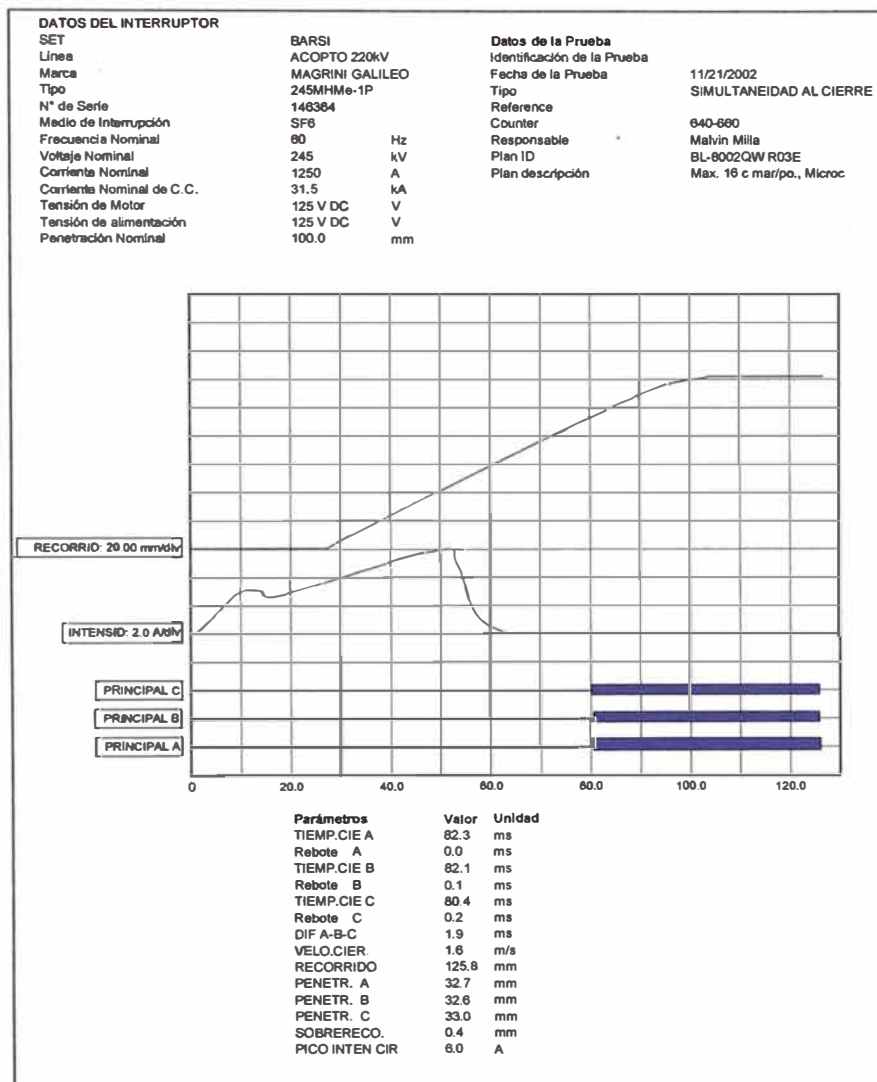


Figura 4.2.

4.4.2 Caso 2

En el mes de febrero del año 2004, se le hicieron pruebas a un interruptor de 60 kV. marca AEG – tipo S1 72.5F1 – fabricado el año 1993. Se utilizó una maleta de pruebas marca Programma, modelo TM 1600, obteniendo los siguientes resultados:

La figura 4.3 muestra los resultados de las pruebas durante la operación de cierre. De donde se puede observar lo siguiente:

Se observa en la curva de desplazamiento que existe un “sobrerecorrido” antes de llegar a la posición final.

El tiempo de discordancia de polos está en su valor marginal (5 ms.)

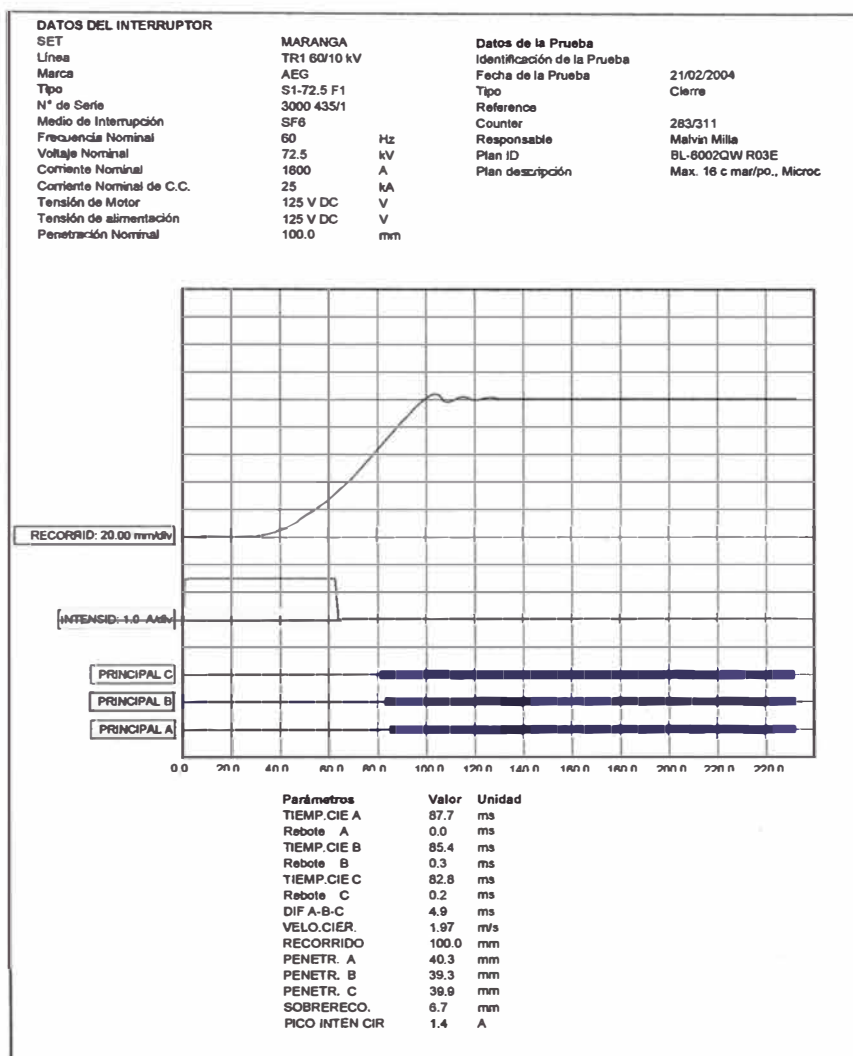


Figura 4.3

a) Análisis

El valor marginal de la discordancia y el sobrecorrido de los contactos, nos indican que existe un problema mecánico en el interruptor, ocasionado posiblemente por la fatiga de los amortiguadores del interruptor y/o una falta de lubricación del sistema móvil del interruptor.

b) Acciones efectuadas

Después de un dos semanas se programó la inspección y mantenimiento del interruptor, encontrando que la grasa que lubricaba el sistema móvil estaba dura y reseca, se procedió a

efectuar un mantenimiento integral de todo el sistema mecánico y se volvió a probar, encontrando valores aceptables, tal como se indican en la figura 4.

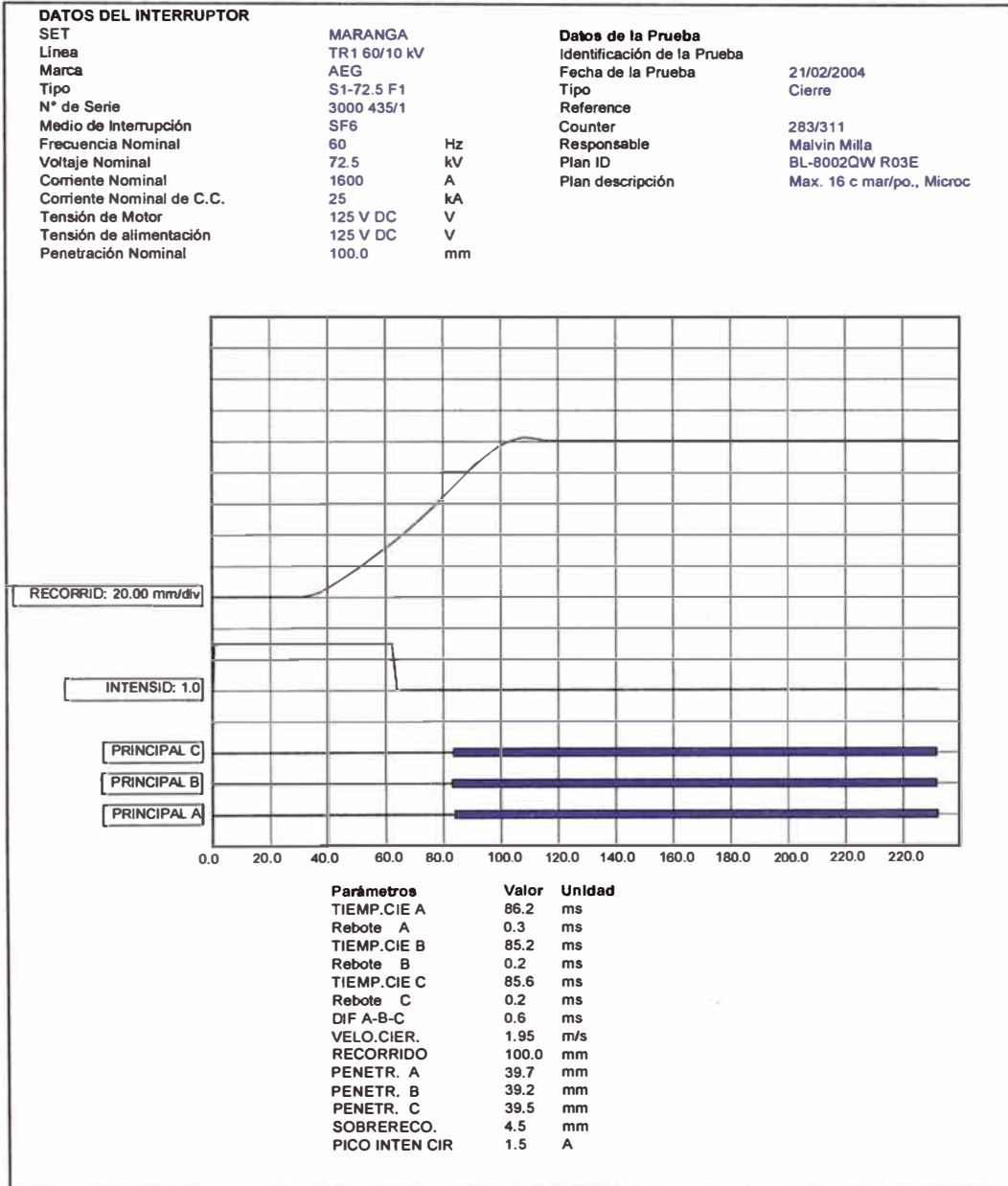


Figura 4.4

CAPITULO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS

5.1 Definiciones

Tasa:

Es el valor del interés que se expresa como porcentaje

Período de aplicación

Frecuencia con la cual se aplica la tasa y se indica normalmente como unidad de tiempo: mensualmente, anualmente, trimestralmente, etc.

El valor actual neto (VAN)

El VAN o beneficio actualizado de un proyecto es igual a la suma algebraica de los ingresos y gastos (inversión y gastos operativos), actualizados del flujo de caja.

Cuando se debe decidir si realizar o no un proyecto, el criterio a seguir es que el VAN sea positivo. Si se trata de comparar proyectos, el criterio será preferir el proyecto que tenga el VAN más elevado.

Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa a la cual el VAN de un proyecto es igual a cero se define como tasa interna de retorno del proyecto. En otras palabras, exactamente a esta tasa se estarían remunerando los capitales invertidos en el proyecto sin que la operación sea negativa.

Para la aprobación de un proyecto, su tasa interna de retorno (TIR) debe ser superior a la tasa de actualización o costos de capital de la empresa. Cuando se trata de escoger entre diferentes proyectos de tasas internas de retorno superiores a la tasa de actualización, se debe escoger aquellos con VAN más elevado.

Valor actualizado de costos (VAC)

Es el VAN a la tasa de actualización de la empresa, Para evaluar los meritos de un proyecto a nivel de pre-factibilidad, bastará con determinar su VAC, la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación de la inversión para cada una de las alternativas que se formulen.

5.2 Objetivo

Consiste en medir y comparar los beneficios que se obtienen al efectuar pruebas eléctricas de interruptores de potencia, se realizará una evaluación económica de dos alternativas ó formas de efectuar el mantenimiento de interruptores de potencia:

Mantenimiento de interruptores con pruebas eléctricas (basado en su mantenimiento predictivo).

Mantenimiento de interruptores sin pruebas eléctricas (basado en el mantenimiento preventivo y correctivo).

5.3 Consideraciones generales

El horizonte de evaluación será el tiempo estimado de vida útil, es decir veinte años.

Se considera como modelo las instalaciones de una empresa eléctrica en la cual están aplicadas las normas técnicas de calidad de energía.

La inversión a considerar para éste análisis, estará dado por el costo que significa la adquisición de los interruptores de potencia y su instalación.

La muestra a considerar, será tomada del parque de interruptores de 60 kV y 220 kV, de una empresa de distribución eléctrica de Lima, la misma que se resume en la tabla 5.1. Para mayor información ver el anexo 2 (base de datos de la muestra).

Tabla 5.1

Descripción	Cantidad
Interruptores de potencia 220kV	14
Interruptores de potencia 60kV	158

5.4 Descripción alternativa 1: Mantenimiento con pruebas eléctricas

Consideraciones

Se asumirá un 100% de eficiencia al mantenimiento predictivo, es decir no existe un costo por mantenimiento correctivo.

Considerando la base de datos, se ha elaborado un programa de pruebas eléctricas para el horizonte en evaluación, para éste caso se ha estimado la frecuencia de las pruebas en cada seis años (ver anexo 3).

El gasto que genera la ejecución de las pruebas eléctricas se indica en la tabla 5.2.

Tabla 5.2

Descripción	Costo (\$)
Prueba eléctrica de interruptor de 220kV	413,96
Prueba eléctrica de interruptor de 60kV	357,66

Se estimará una intervención por mantenimiento menor, realizada como consecuencia del mantenimiento predictivo, la misma que está establecida en 16 veces por año, con un costo promedio por cada intervención de US \$ 2 100,00.

La ejecución del mantenimiento integral a los interruptores, se está considerando cada 25 años; por ello no su gasto no está considerado en la evaluación de costos.

5.5 Descripción alternativa 2: Mantenimiento sin pruebas eléctricas

Consideraciones

Se asume la ejecución estricta del programa de mantenimiento recomendado por el fabricante, el cual queda establecido de la siguiente manera:

Tabla 5.3

Tipo de inspección	Período	Personal ejecutor	Apertura de las cámaras	Salida de servicio
Control visual	Cada 3 años	Personal propio	No	No
Mantenimiento	Cada 8 años	Especialista fábrica	No	Sí
Revisión	Cada 15 años	Especialista fábrica	Sí	Sí

Se estimará la probabilidad de falla, tomando como base la estadística definida en el capítulo 4, la cual establece lo siguiente:

Tabla 5.4

Descripción	Frecuencia
Falla menor de interruptores de potencia	16 fallas por año
Falla mayor de interruptores de potencia	Una falla cada 8 años

Entiéndase como falla mayor a remover un interruptor de su ubicación para reparación o desecho.

Se consideraran costos por resolución de la falla, las multas impuestas por el ente fiscalizador. Sin embargo, no se considera los gastos por la compensación que pudieran aplicarle a la Empresa Distribuidora.

Los costos asumidos para la ejecución de los diferentes tipos de mantenimiento han sido tomados del mercado eléctrico vigente, utilizado por la distribuidora.

5.6 Evaluación

Tomando los considerando señalados para cada caso, se ha realizado una evaluación económica de costos, según lo siguiente:

Se calcularon los costos que representan las diferentes intervenciones en el parque de interruptores, para las dos alternativas.

Se calculó la inversión, representada como el costo de la adquisición de interruptores y el costo de montaje e instalación

Empleando los siguientes parámetros económicos, se realizó la evaluación económica de las alternativas planteadas:

- Depreciación : 20 años lineal
- Tasa de descuento : 15,73 % anual
- Moneda : Dólares (\$.)
- Indicadores económicos : VAC, VAN y TIR

Se trasladaron éstos costos a una tabla para determinar el Valor Actualizado de Costos (VAC) de las dos alternativas.

Luego, de las dos alternativas se eligió la de menor VAC, y a ésta alternativa se ha calculado su VAN y TIR.

El detalle de la evaluación económica se encuentra en el anexo 3.

5.7 Resultados de la evaluación económica

Los resultados de la evaluación económica del mantenimiento predictivo de los interruptores, se muestran en detalle en el anexo 3. Los indicadores económicos obtenidos en la evaluación resultan favorables, tal como se indica en la tabla 5.5.

Tabla 5.5

VAN (i = 15,73%)	TIR
309,23	36,42 %

Los resultados indican que el tipo de mantenimiento proyectado tiene el sustento económico necesario, por tanto se recomienda implementar éste tipo de pruebas dentro de las estrategias de mantenimiento de interruptores.

Los beneficios económicos que reporta la implementación de éste tipo de mantenimiento se pueden listar de la siguiente manera:

Mayores ingresos por disminución de las frecuencias de mantenimiento preventivo y correctivo.

Ahorro en los gastos por reposición de equipos.

Mayores ingresos por disminución de la energía no suministrada.

Mayores ingresos por ahorro de multas impuestas por OSINERG.

CONCLUSIONES

1. Es importante ejercer un seguimiento planificado del desempeño del interruptor, durante su operación normal, ello permitirá cumplir con el tiempo de vida útil esperado y evitar fallas por descuido de alguno de sus elementos.
2. La utilización de un interruptor defectuoso puede tener consecuencias desastrosas y muy costosas, tanto materiales como personales. Sin mencionar las pérdidas por falta de servicio, costos de reparación y los costos que dispone la Norma Técnica de Calidad de Energía.
3. Para efectuar el diagnóstico del interruptor, no basta conocer el equipo de prueba y lo relacionado a la prueba, también es necesario conocer bien el interruptor por sí mismo, los valores referenciales y las características del sistema.
Todo esto respaldado por la experiencia y el buen juicio del personal que realiza las pruebas de medición, permitirá dar un diagnóstico acertado.
4. A pesar que la información proporcionada por cada prueba es una herramienta importante, ésta debe ser usada en relación con las otras pruebas que se realizan; también, se debe realizar un análisis de las tendencias históricas.
5. Las acciones que se realicen sobre el interruptor, luego del diagnóstico, dependerán del nivel de confiabilidad y riesgo asociado que se le desee brindar al equipo, el cual dependerá de otros factores no necesariamente técnicos.
6. Las pruebas eléctricas descritas, empleadas como medio predictivo de fallas, sirven para predecir la ocurrencia de un evento indeseado en nuestro sistema eléctrico y así efectuar una intervención oportuna de mantenimiento correctivo; sin embargo, se debe tener en cuenta que las condiciones particulares de algún tipo de falla que supere la capacidad de diseño del interruptor puede desencadenar el siniestro del interruptor.

7. Un fenómeno que se detecta comúnmente con la curva de desplazamiento es el “rebote” excesivo, el mismo que es confirmado por la tabulación y el gráfico. Una causa común de esto se observa en los amortiguadores del interruptor, los cuales a través de los años sufren un desgaste que reduce su capacidad de amortiguación.
8. La interpretación de la forma de operación de una bobina provee información acerca de la condición del sistema de accionamiento. A pesar que ésta prueba es una herramienta importante, debe ser usada en relación con otras herramientas analíticas, tales como los tiempos de actuación, desplazamiento de los contactos, velocidad o resistencia dinámica.
9. Un aumento de la resistencia estática del circuito principal no puede ser exclusivamente considerado como una evidencia fiable de que los contactos o las conexiones estén malos o desgastados. En éste caso, la prueba debe repetirse con una corriente más alta, lo más cerca posible a la corriente nominal del equipo. Resulta importante indicar que ésta prueba debe complementarse con la prueba de resistencia dinámica, antes de tomar alguna acción al respecto.
10. Los resultados de la prueba de aislamiento deben interpretarse sólo para propósitos comparativos. Esto no indica la calidad del sistema de aislamiento primario desde el punto de vista de inestabilidad del dieléctrico.
11. Los resultados de la evaluación económica efectuada, indican que el mantenimiento predictivo planteado en el presente trabajo tiene sustento económico, por tanto se recomienda implementar éste tipo de pruebas dentro de las estrategias de mantenimiento de interruptores.
12. El presente trabajo puede ser empleado como una guía orientadora para la implementación de las estrategias de mantenimiento de interruptores de alta tensión, sobretodo, para las empresas concesionarias de electricidad.

ANEXO A
FACTORES DE CORRECCIÓN ATMOSFERICOS

La descarga disruptiva de un aislamiento externo depende de las condiciones atmosféricas. Habitualmente la tensión de contorno para un intervalo de aire se incrementa con el aumento de la densidad del aire o de la humedad. Sin embargo cuando la humedad relativa excede el 80%, la tensión de contorno se vuelve irregular, especialmente cuando el contorno se produce a lo largo de una superficie aislante.

Aplicando factores de corrección, la tensión de ensayo medida en ciertas condiciones de temperatura, presión y humedad, se deben referir al valor de tensión que se debe utilizar en condiciones normales: $U = U_o k_1$

Siendo $k_1 = k_1 \cdot k_2$

k_1 : es el factor de corrección de la densidad del aire (altura sobre el nivel del mar)

k_2 : es el factor de corrección de humedad

El factor de corrección de la densidad del aire k_1 depende de la densidad relativa del aire δ y se puede expresar por: $k_1 = \delta^m$

La densidad relativa del aire se obtiene por:
$$\delta = \frac{b \cdot 273 + t_0}{b_0 \cdot 273 + t}$$

Donde t y t_0 están dadas en grados centígrados y la presión atmosférica b y b_0 en kilo pascal o milibar.

El factor de corrección por humedad k_2 se puede expresar por: $k_2 = k^w$

Donde k es un parámetro que depende del tipo de tensión aplicada y se obtiene en función de la relación entre la humedad absoluta h y la densidad relativa δ de la figura 1.1

Los factores de corrección dependen del tipo de descarga y para ello se considera el

parámetro:
$$g = \frac{U_B}{500L\delta \cdot k}$$

Donde: U_B es la tensión de descarga 50% (medida o estimada) para las condiciones atmosféricas reales, en kV, L la distancia mínima de descarga en metros, con los valores reales de densidad de aire δ y de k . En el caso en que no se disponga de la tensión estimada de 50% se puede suponer que U_B es igual a 1,1 veces la tensión de ensayo.

Los valores aproximados de los exponentes m y w se pueden obtener de la figura 1.2.

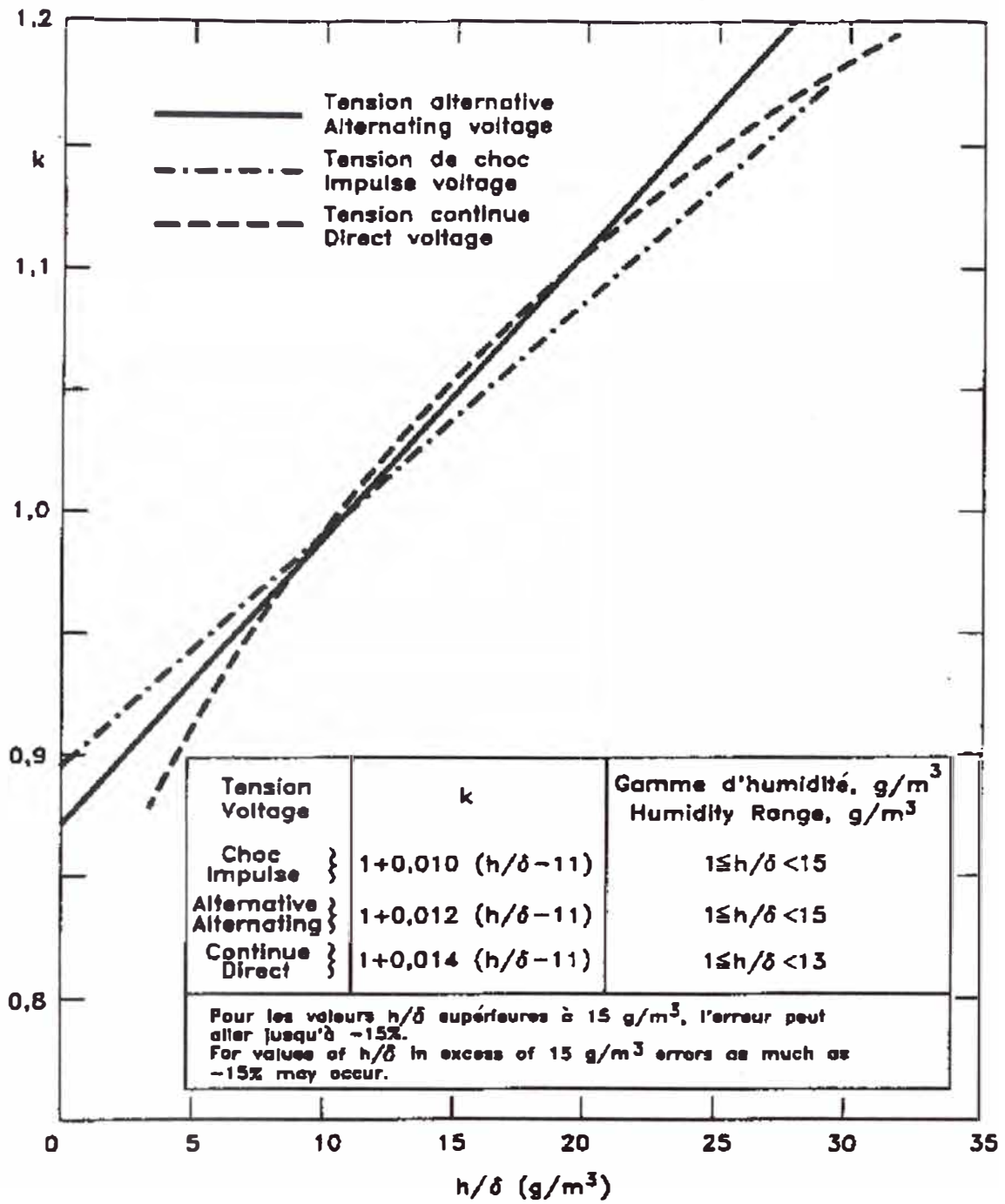


Figura 1.1

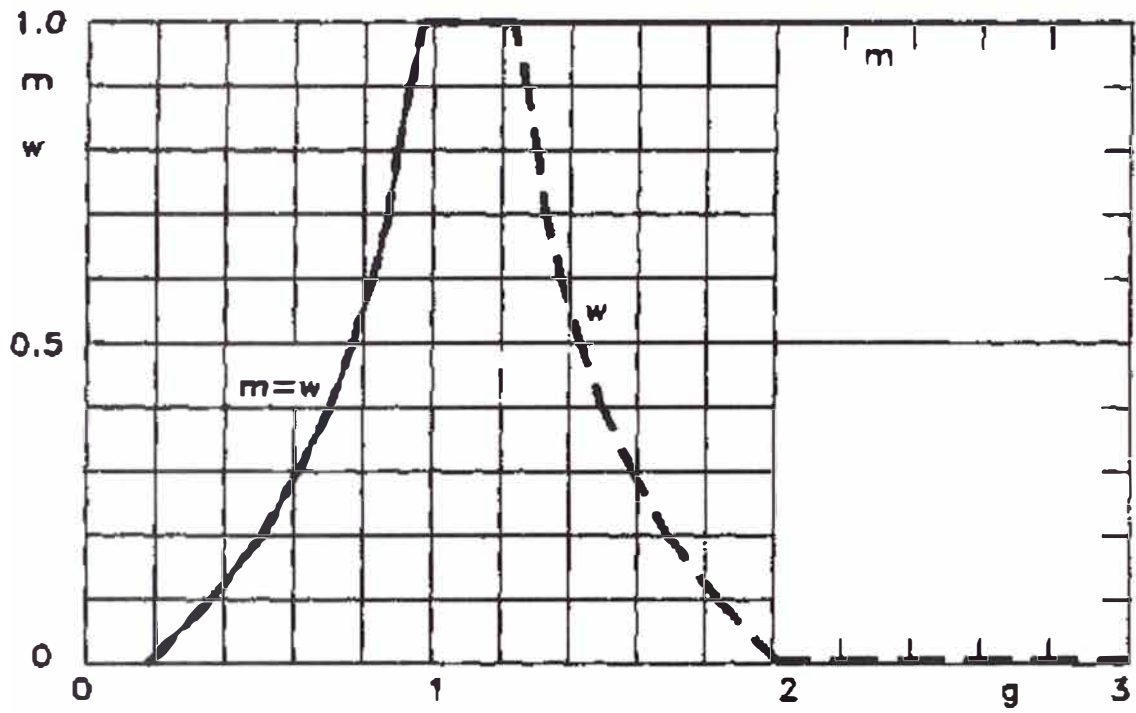


Figura 1.2

ANEXO B
BASE DE DATOS DE LA MUESTRA

ANEXO C
EVALUACIÓN ECONÓMICA

EVALUACIÓN ECONÓMICA

PRUEBAS ELÉCTRICAS PROGRAMADAS PARA EL HORIZONTE DE EVALUACIÓN

SET	KV	CANT.	AÑOS																		
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20
BARSÍ	220	6	3	3						3	3					3	3				
	60	14	14							14						14					
CHAVARRIA	220	5			3	2						3	2					3	2		
	60	17		17							17					17					
STA. ROSA N.	220	2				2							2						2		
	60	8			8							8						8			
ANCÓN	60	4	4							4						4					
CAUDIVILLA	60	4	4							4						4					
CTO GRANDE	60	4	4							4						4					
INDUSTRIAL	60	3	3							3						3					
INFANTAS	60	3	3							3						3					
JICAMARCA	60	4	4							4						4					
LA PAMPILLA	60	4		4							4						4				
MARANGA	60	5		5							5						5				
MIRONES	60	8		8							8						8				
NARANJAL	60	4		4							4						4				
OQUENDO	60	7			7							7						7			
PANDO	60	4			4							4						4			
PERSHING	60	5			5							5						5			
PUENTE PIEDRA	60	4			4							4						4			
STA. MARINA	60	7			7							7						7			
STA. ROSA A.	60	9				9							9						9		
TACNA	60	7				7							7						7		
TOMAS VALLE	60	5				5							5						5		
VENTANILLA	60	4				4							4						4		
ZAPALLAL	60	9				9							9						9		
CHANCA Y	60	4				4							4						4		
HUACHO	60	4	4							4					4						
HUARAL	60	4			4							4						4			
SUPE	60	1				1							1						1		
Costo Total (M\$/.)			16.648	14.833	16.191	16.606	0	0	16.648	14.833	16.191	16.606	0	0	16.648	14.833	16.191	16.606	0	0	0

GASTOS DE LA ALTERNATIVA 1

MANTEIMIENTO MENOR DE INTERRUPTORES

DESCRIPCIÓN	Materiales (MUS \$)	Mano de Obra (MUS \$)	Total (MUS \$)
- Mantenimiento del sistema de accionamiento	0.15	0.35	0.50
- Cambio de la resistencia de calefacción	0.25	0.15	0.40
- Cambio de la bobina de disparo	0.35	0.25	0.60
- Eliminación de pérdidas de SF6	0.25	0.35	0.60
MANTTO MENOR (M\$)			2.10
TOTAL ANUAL POR MANTENIMIENTO MENOR (M\$)			33.60

Estadística de fallas menores: Cantidad / Año
 Fallas menores al año 16

GASTOS DE LA ALTERNATIVA 2

GASTOS POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO

MANTENIMIENTO POR AVERIAS

DESCRIPCIÓN	Materiales (MUS \$)	Mano de Obra (MUS \$)	Total (MUS \$)
- Mantenimiento del sistema de accionamiento	0.15	0.35	0.50
- Cambio de la resistencia de calefacción	0.25	0.15	0.40
- Cambio de la bobina de disparo	0.35	0.25	0.60
- Eliminación de pérdidas de SF6	0.25	0.35	0.60
MANTTO MENOR (M\$)			2.10
TOTAL ANUAL POR MANTENIMIENTO MENOR (M\$)			33.60

INSPECCIÓN VISUAL DE INTERRUPTORES

DESCRIPCIÓN	Materiales (MUS \$)	Mano de Obra (MUS \$)	Total (MUS \$)
- Inspección visual de los interruptores	0.00	0.1	0.10
INSPECCIÓN VISUAL (M\$)			0.10
TOTAL CADA TRES AÑOS POR INSPECCIÓN VISUAL (M\$)			17.20

MANTENIMIENTO MENOR DE INTERRUPTORES

DESCRIPCIÓN	Materiales (MUS \$)	Mano de Obra (MUS \$)	Total (MUS \$)
- Mnatenimiento menor del interruptor	0.25	0.45	0.70
Mantenimiento Menor (M\$)			0.70
TOTAL CADA OCHO AÑOS POR MANTTO MENOR (M\$)			120.40

MANTENIMIENTO INTEGRAL DE INTERRUPTORES

DESCRIPCIÓN	Total 220kV (MUS \$)	Total 60kV (MUS \$)	TOTAL (M\$)
- Compra de repuestos	9.12	1.98	
- Mano de obra especializada	8.50	4.85	
MANTTO INTEGRAL (M\$)	17.62	6.83	0.00
TOTAL CADA 15 AÑOS	246.68	1079.14	1325.82

GASTOS POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Descripción	Unid	Cant.	Unitario (US\$)	Total (US\$)
Cambio de interruptor de potencia 60 kV	Un.	1	32,479.15	32,479.15
Adecuación de barras 60 KV	Un.	3	66.00	198.00
Cambio de aisladores pasamuros 60 kV	Un.	3	2,042.00	6,126.00
Modificación de plancha de fierro	m2	12	70.00	840.00
Adecuación de tubos de cobre 60 kV	m	12	70.00	840.00
			US\$	40,483.15
Subtotal Mano Obra Personal Supervisor				1,200.00
Subtotal Transporte				300.00
	Total		MUS\$	41.98

Estadística de falla mayores

Una cada 8 años

GASTOS POR INVERSIÓN

RESUMEN DE LA INVERSIÓN EN 220KV

ITEM	DESCRIPCIÓN	MUS\$
1	MATERIALES Y EQUIPOS	59.51
2	CONTRATISTAS	11.90
3	GASTOS ADMINISTRATIVOS	3.57
4	HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS	2.14
TOTAL (MUS\$)		77.12
TOTAL INVERSION 220kV - (MUS\$)		1,079.75

RESUMEN DE LA INVERSIÓN EN 60KV

ITEM	DESCRIPCIÓN	MUS\$
1	MATERIALES Y EQUIPOS	32.62
2	CONTRATISTAS	6.52
3	GASTOS ADMINISTRATIVOS	1.96
4	HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS	1.17
TOTAL (MUS\$)		42.28
TOTAL INVERSION 60kV - (MUS\$)		6,679.53

	MUS\$
INVERSION 220kV - (MUS\$)	1,079.75
INVERSION 60kV - (MUS\$)	6,679.53
	7,759.28

EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTO DE INTERRUPTORES

FLUJO DE COSTOS (Miles US \$)

Descripción	Periodo de Evaluación (Años)																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos (I)																					
Ahorro mannto Preventivo		0.00	0.00	17.20	0.00	0.00	17.20	0.00	120.40	17.20	0.00	0.00	17.20	0.00	0.00	1343.02	0.00	0.00	17.20	0.00	0.00
Ahorro mannto Correctivo		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.98	0.00	0.00	0.00	0.00
Multa de Osinerg (Tipo A4)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	942.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	942.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL INGRESOS		0.00	0.00	17.20	0.00	0.00	17.20	0.00	1105.24	17.20	0.00	0.00	17.20	0.00	0.00	1343.02	984.84	0.00	17.20	0.00	0.00
Gastos (G)																					
Mantenimiento predictivo		15.55	14.83	15.19	15.60	0.00	0.00	15.55	14.83	15.19	15.60	0.00	0.00	15.55	14.83	15.19	15.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Operación y Mantenimiento																					
Otros																					
TOTAL GASTOS		15.55	14.83	15.19	15.60	0.00	0.00	15.55	14.83	15.19	15.60	0.00	0.00	15.55	14.83	15.19	15.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Margen	M = I - G	-15.55	-14.83	2.01	-15.60	0.00	17.20	-15.55	1090.41	2.01	-15.60	0.00	17.20	-15.55	-14.83	1327.83	969.24	0.00	17.20	0.00	0.00
Depreciación acelerada	D	77.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad Antes de Participación de los Trabajadores	UAPT = M - D	-92.67	-14.83	2.01	-15.60	0.00	17.20	-15.55	1090.41	2.01	-15.60	0.00	17.20	-15.55	-14.83	1327.83	969.24	0.00	17.20	0.00	0.00
Particip. de Trabaj.	PT = 5% * UAPT	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.86	0.00	54.52	0.10	0.00	0.00	0.86	0.00	0.00	66.39	48.46	0.00	0.86	0.00	0.00
Utilidad desp. de part. trab.	UDPT = UAPT - PT	-92.67	-14.83	1.91	-15.60	0.00	16.34	-15.55	1035.89	1.91	-15.60	0.00	16.34	-15.55	-14.83	1261.44	920.77	0.00	16.34	0.00	0.00
Impuestos	IM = 30% * UDPT	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	4.90	0.00	310.77	0.57	0.00	0.00	4.90	0.00	0.00	378.43	276.23	0.00	4.90	0.00	0.00
Utilidad desp. impuestos	UDI = UDPT - IM	-92.67	-14.83	1.34	-15.60	0.00	11.44	-15.55	725.12	1.34	-15.60	0.00	11.44	-15.55	-14.83	883.01	644.54	0.00	11.44	0.00	0.00
Inversión	Io (anexo N° 2)	77.12																			
Valor residual	VR																				0.00
Ahorro Pago de Imp.	APIM = -0,335 * UAPT	31.05	4.97	0.00	5.23	0.00	0.00	5.21	0.00	0.00	5.23	0.00	0.00	5.21	4.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujo de caja neto	FCN = UDI + D - Io + VR + APIM	-77.12	15.50	-9.86	1.34	-10.38	0.00	11.44	-10.34	725.12	1.34	-10.38	0.00	11.44	-10.34	-9.86	883.01	644.54	0.00	11.44	0.00

Tasa de descuento	12.00%	14.73%	15.73%	16.73%	17.99%	20.00%	TIR
VAN (MUS \$)	480.82	348.07	309.23	274.62	236.23	185.03	36.42%

BIBLIOGRAFIA

1. GEC ALSTHOM FX SF Circuit breakers 6 with Hydraulic Mechanism for Networks from 60 kV to 800 kV. FD 2-2-1 / A/AHT (11/89).
2. M. OHLEN ET AL, "Dynamic Resistance Measurements - A Tool for Circuit breaker Diagnostics", Proceedings of the 1995 IEEE/KTH Stockholm Power Tech Conference
3. Colloquium on High Voltage Apparatus Diagnostics, Doble, USA New York 11/1996
4. W.E. Dueck, "Interpretation of Velocity and Acceleration Curves", Circuit Breaker Test and Maintenance Conference, 1994 & 1996.
5. M. Ohlen, W.E. Dueck and H. Wernli, "Dynamic Resistance Measurements – A Tool for Circuit Breaker Diagnostics", IEEE Symposium, Stockholm, 1996.
6. W.E. Dueck, "Interpretation of Circuit Breaker Operating Coil Signatures", Circuit Breaker Test and Maintenance Conference, 1997.
7. 11. W.E. Dueck, "Principles of Arc Interruption in Bulk Oil Circuit Breakers", Circuit Breaker Test and Maintenance Conference, 1998.
8. H.V. Stephanides et al, "Modern Methods for the Reduction of the Operating Energy for SF6 Circuit Breakers". CIGRE 13-12 1993.
9. H. Aeschbach et al, "Maintenance of SF High Voltage Circuit Breakers". CIGRE 23-105 1990.
10. F. Salamanca, F. Borrás, H. Eggert and W. Teingraber, "Preventive Diagnosis on High Voltage Circuit Breakers", in Proceedings of the 1993 CIGRE meeting in Berlin.
11. Dynamic Resistance Measurement DRM, User's Manual, Programma Electric AB, Sweden, 1993.
12. Programma, Manual de instrucciones para el uso del analizador TM 1600, 1999
13. Paul Gill, Electrical Power Equipment Maintenance and Testing, New York 1998.
14. IEEE Std C37.10 – 1995 (R2002), Guide for Diagnostics and failure Investigation of power Circuit Breakers.