



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA



FACULTAD DE INGENIERIA
Departamento Ingeniería Eléctrica

Proyecto Trabajo Final

Noviembre 2016

BANCO DE ENSAYOS DE DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Autor

Alumno: Marcelo A. Peyrot

Carrera: Ingeniería Electromecánica

Tutor: Ing. Juan Carlos Stecca

Evaluadores: Ing. Claudio Dimenna

Ing. Jose Faggiani



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

*A mis padres Luis y Mary, a Paula, a mi familia y amigos por el apoyo incondicional.
A Juan Carlos Stecca.*

RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño de un equipo que permita ensayar y probar protecciones eléctricas, con corrientes de hasta 2000 A. El conjunto de protecciones estaría formado por: Interruptores Automáticos, Guardamotors, Relés Térmicos e Interruptores Termomagnéticos de uso domiciliario.

En este trabajo, encontraremos el análisis de los elementos que componen el Banco de Ensayos (BE), como así también los planos y gráficos explicativos para su construcción. También se redacta el procedimiento, para que el usuario pueda evaluar si el dispositivo que está siendo ensayado funciona correctamente o no.

Por lo tanto con este BE el técnico será capaz de probar los dispositivos, haciendo circular por ellos la corriente de ajuste, en los casos que los mismos permitan ajustarla, ó la intensidad que su calibre indique, en los casos de interruptores con calibres fijos.

El rango de intensidad a inyectar es de 0 a 2000 A y se pueden probar las protecciones por sobrecarga y cortocircuito, que entren en este margen. Luego se debe cronometrar el tiempo que tarda la protección en abrir o cambiar de estado (cambio de estado para el caso de los relevos térmicos) y contrastarlo con las curvas características, provistas por el fabricante del dispositivo en ensayo. De esta manera, se verifica si la protección ensayada está dentro de los tiempos de actuación establecidos por el fabricante o excede los márgenes y debe ser reemplazada.

Por último, se analizarán en detalle los mecanismos de degradación que intervienen en los contactos principales, ya que estos componen la parte más crítica de un interruptor. El usuario además de verificar los tiempos de actuación de los dispositivos, debe evaluar siempre que sea posible, el estado de los contactos para determinar si el dispositivo es capaz de seguir operando sin problemas o debe ser reemplazado, para evitar posibles fallas que provoquen accidentes a la hora de tener que actuar.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
Sobrecarga	4
Cortocircuito	4
Falla de aislación	5
Protecciones contra sobrecargas y cortocircuito	5
Fusibles	5
Pequeños Interruptores Termomagnéticos	6
Relés Térmicos	7
Guardamotores	9
Interruptores Automáticos	10
Banco de Ensayos de Protecciones Eléctricas	12
CAPITULO 1 : DISEÑO DEL BANCO DE ENSAYOS (BE), OBJETIVOS	15
CAPITULO 2: CALCULO DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL	18
Cálculo del Núcleo	19
Cálculo del Arrollamiento	23
CAPITULO 3: INSTRUMENTOS	32
Imán Permanente y Bobina Móvil, IPBM	32
Hierro Móvil	33
Electrodinámicos	34
Instrumentos Digitales	35
Voltímetro	37
Amperímetro	37
miliVoltímetro	39
CAPITULO 4: COMPONENTES Y ACCESORIOS DEL BE	40
Barras	40
Autotransformador	42
Gabinete	42
CAPITULO 5: PROCEDIMIENTO DE UTILIZACIÓN DEL BE	47
CAPITULO 6: DESGASTE EN CONTACTOS ELÉCTRICOS	50
CONTACTO ELECTRICO	50
CONDICIONES DE TRABAJO Y CAUSAS DE FALLA	51
Carga eléctrica	51
Condiciones ambientales	52
Movimientos de interfase	52
DISEÑO DEL CONTACTO	53
Geometría del contacto y carga normal	53
Materiales utilizados en contactos de potencia	53
Resistencia de contacto	54
MECANISMOS DE DEGRADACION EN CONTACTOS	56
Erosión del arco y transferencia de metal	56
Soldadura	57
Oxidación	58

Corrosión	59
Compuestos intermetálicos	60
Electromigración	60
Relajación por esfuerzo y fluencia fría	61
Fretting	62
MEDIDAS PALIATIVAS	63
Diseño del área de contacto	62
Presión de contacto	64
Lubricación	65
CONCLUSION	67
BIBLIOGRAFIA	67
ANEXO I: ENSAYOS NORMA IRAM 2122	68
ANEXO II: PLANOS UNIFILARES Y FUNCIONALES DEL BE	88

INTRODUCCIÓN

Junto con el nacimiento de las máquinas eléctricas y los elementos que componen un circuito, surge la necesidad de protegerlos ante eventuales fallas que puedan provocar el daño de algún componente o lo que es más grave, el daño a la persona que lo esté manipulando. Debido a esto, desde aquel entonces y hasta la actualidad se han desarrollado diversos tipos de dispositivos para minimizar los daños y proteger de la mejor manera a los sistemas eléctricos y sus usuarios.

Los tipos de fallas más comunes son las sobrecargas, los cortocircuitos, las fallas de aislamientos, el corte de conductores, etc.

Las fallas según su naturaleza y gravedad, se clasifican en:

Sobrecarga

Es una corriente excesiva en relación a la corriente nominal de operación. Son causadas por aumentos temporales de corriente y ocurren cuando los motores arrancan o cuando se energizan los transformadores. Tales corrientes de sobrecarga (o transitorias) son de ocurrencia normal. Debido a su corta duración cualquier aumento de temperatura es trivial y no tiene efecto dañino sobre los componentes del circuito. Es importante que los dispositivos de protección no reaccionen a este tipo de corrientes. Sin embargo existen también las sobrecargas continuas que pueden ser causadas por motores defectuosos, tales como los producidos por el desgaste de rodamientos, equipos sobrecargados o demasiadas cargas a un mismo circuito. Estas sobrecargas son destructivas y deben ser cortadas por los dispositivos de protección antes de que produzcan el calentamiento de los conductores eléctricos o afecten el sistema de cargas.

Cortocircuito

Es la falla de mayor gravedad para una instalación eléctrica. En el cortocircuito el nivel de corriente alcanza valores tan altos, que los conductores eléctricos se funden en los puntos de falla, produciendo calor, chispas e incluso en algunos casos llamas generando un alto riesgo de incendio.

Los cortocircuitos se generan por la unión fortuita de dos líneas eléctricas que han perdido su aislación, entre las cuales existe una diferencia de potencial (fase y fase, fase y neutro o fase y tierra).

Fallas de aislación

Las fallas de aislación, no siempre dan origen a los cortocircuitos. En muchos casos una falla de aislación en algún equipo eléctrico, provoca que la carcasa metálica de dicho equipo se energice, con el consiguiente peligro para la vida de las personas al sufrir una descarga eléctrica.

El origen de las fallas de aislación está en el envejecimiento del mismo, los cortes de algún conductor, uniones mal aisladas, mala ejecución de las reparaciones, etc.

La instalación eléctrica se debe diseñar para que en situaciones de mal funcionamiento, ante una perturbación, sea capaz de soportar una anomalía pasajera y volver a operar correctamente, sin arriesgar la integridad de las personas, los bienes o la propia instalación.

Sin embargo, ya que es posible que ocurran anomalías más extremas, es decir fallas, es necesario incorporar medidas que protejan a las personas y a los bienes frente a los cortocircuitos y sobrecargas, dotando a las instalaciones de un sistema de protecciones destinadas a minimizar los efectos de las fallas, de tal manera que al presentarse alguna, la instalación dañada pueda ser aislada para su posterior reparación.

PROTECCIONES CONTRA SOBRECARGA Y CORTOCIRCUITO

Cualquier instalación eléctrica debe estar provista de protecciones, cuyo objetivo es reducir al máximo los efectos producidos por un cortocircuito o una sobrecarga. Para que esto sea posible, las protecciones deben ser dimensionadas adecuadamente según las características del circuito. Las protecciones más comunes son:

- Fusibles
- Pequeños Interruptores Termomagnéticos
- Relés Térmicos
- Guardamotores
- Interruptores Automáticos

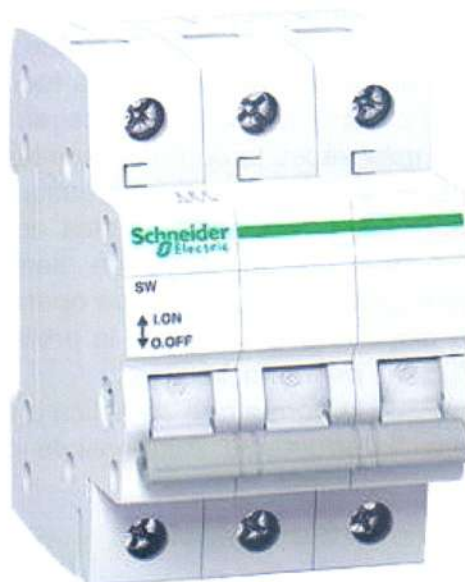
Fusibles

Los fusibles están compuestos por un conductor de bajo punto de fusión, el que se sustenta entre dos cuerpos conductores, en el interior de un envase cerámico o de vidrio, que le da su forma característica al fusible.

Este conductor permite el paso de corriente por el circuito mientras los valores de ésta se mantengan entre los límites aceptables. Si estos límites son excedidos, el conductor se funde, despejando la falla y protegiendo así la instalación de los efectos negativos de este exceso de corriente.

La sección que debe tener un fusible para fundirse a una determinada corriente, se puede establecer recordando la Ley de Joule.

Pequeños interruptores termomagnéticos



Interruptor Termomagnético de uso domiciliario

Los pequeños interruptores termomagnéticos, conocidos comúnmente como pequeños interruptores automáticos (PIA) o simplemente “Térmicas”, son dispositivos de protección que se caracterizan fundamentalmente por:

- Desconectar o conectar un circuito eléctrico en condiciones normales de operación.
- Desconectar un circuito eléctrico en condiciones de falla, ya sea frente a una sobrecarga o frente a un cortocircuito.
- Es posible que pueda ser utilizado nuevamente después del “despeje” de una falla, a diferencia del fusible que sólo sirve una vez.

Este pequeño interruptor termomagnético es capaz de desconectar el circuito en caso de falla y su accionamiento se debe a dos tipos de elementos:

Elemento Térmico: Este dispositivo de la protección está formado por un elemento bimetálico, el cual se dilata con el calor producido por el exceso de corriente, haciendo actuar el mecanismo de apertura del interruptor, que desconecta el circuito.

Todos los materiales cuando aumenta la temperatura, aumentan su longitud. El bimetálico es una pieza formada por dos trozos de distinto metal, los que se dilatan en forma diferente. Al estar unidos, como uno de los metales se alarga en menor proporción que el otro, la pieza se curva.

La curvatura que se origina en el bimetálico es regulada para que sea proporcional a la corriente que circula a través del circuito.

Elemento Magnético: Esta parte de la protección está formada por una bobina, un conductor enrollado con bajo número de vueltas alrededor del núcleo magnético, que al ser recorrido por una corriente eléctrica genera una fuerza magnética. Esta bobina está conectada en serie con el circuito que se va a proteger. Cuando la corriente alcanza un valor muy grande (dos o más veces la corriente nominal del protector), el magnetismo generado atrae un contacto móvil que activa la desconexión del interruptor, mientras que durante ese pequeño tiempo, la parte térmica no alcanza a operar debido a su inercia térmica. Esto ocurre en un lapso de tiempo prácticamente instantáneo (milisegundos), como se muestra en las curvas de operación de estos dispositivos.

Por su gran rapidez de disparo (desconexión), la protección magnética se utiliza para despejar las fallas producidas por cortocircuitos.

Por último cabe destacar que la norma que se aplica a estos interruptores en Argentina es la IRAM 2169, para "Interruptores Automáticos de Sobreintensidad para usos Domésticos y Aplicaciones Similares".

Relés Térmicos



Relé Térmico para protección de motores. Las puntas de la parte superior son para montaje en contactor

Se utilizan para la protección contra sobrecargas en motores eléctricos tanto para corriente alterna como continua.

Al igual que la protección térmica de los interruptores vistos anteriormente, su principio de funcionamiento también se basa en la deformación de ciertos materiales (bimetales) bajo el efecto del calor. Cuando alcanzan una temperatura determinada, accionan el sistema de contactos del Relé, lo que permite gobernar la maniobra del sistema de puesta en marcha de la máquina.

El bimetálico está formado por dos metales de diferente coeficiente de dilatación soldados entre sí. El calor necesario para deflectar la lámina bimetálica, es producido por unas resistencias arrolladas al bimetálico, a través de las cuales circula la corriente que va de la red al motor.

Los elementos bimetálicos empezarán a deformarse cuando la corriente sobrepase el valor nominal para el cual se construyeron las resistencias. Este desplazamiento provoca la conmutación de los contactos auxiliares, y la acción da lugar a la desenergización de la bobina del contactor y a la activación de los elementos de señalización que correspondan.

El tiempo de respuesta de los relés térmicos es inversamente proporcional a la magnitud de la corriente que circule por los arrollados del bimetálico. A mayor intensidad, menor será el tiempo de disparo.

Todos los Relés Térmicos son ajustables. El ajuste debe realizarse a través de una perilla externa, al valor de la corriente nominal de la máquina.

En la mayor parte de los eventos, en caso de disparo, se puede seleccionar el rearme automático de la protección o hacerlo en forma manual. [1]

Guardamotores



Guardamotor. La protección térmica tiene un rango de ajuste mientras que la protección magnética es fija

Como su nombre lo indica, este elemento está diseñado para proteger a los motores eléctricos y a diferencia del relé térmico no sólo tiene protección en caso de una sobrecorriente, sino también en caso de que ocurra un cortocircuito.

Su diseño cuenta con una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobrecorrientes transitorias típicas de los arranques de los motores. El disparo magnético es equivalente al de otros interruptores automáticos pero el disparo térmico se produce con una intensidad de corriente y tiempo mayores. [2]

Cabe destacar que estos poseen una alta capacidad de ruptura. El calibre de la protección térmica se ajusta a la corriente del motor, la cual debe encontrarse dentro del rango de ajuste del Guardamotor mientras que la protección magnética es fija.

La operación de apertura y cierre o conexión y desconexión se realiza de forma manual mediante dos pulsadores ubicados en la parte frontal, posibilitando la inmediata visualización y control del estado del mismo. En algunos modelos los pulsadores son reemplazados por una perilla.

Interruptores Automáticos



Interruptor abierto en aire con protección electrónica por microprocesador

El principio de funcionamiento se asemeja al de los Pequeños Interruptores Termomagnéticos descritos anteriormente, pero la gran diferencia es que estos poseen mayor capacidad y robustez para operar con corrientes nominales más elevadas y la posibilidad de abrir fallas en condiciones más extremas. Todo eso se logra aumentando considerablemente el tamaño del aparato, de sus contactos principales y de su mecanismo de accionamiento.

La norma que contempla a los pequeños interruptores automáticos es la IRAM 2169, para dispositivos con intensidades menores a 63 A, mientras que los interruptores de potencia para intensidades mayores de 63 A están contemplados en la norma IRAM 2122, donde el apartado referido a los ensayos de estos interruptores se encuentra en el Anexo I.

Estos interruptores poseen amplias posibilidades de aplicación en el campo industrial y doméstico. Por lo tanto, se aplican en los tableros de distribución primaria, secundaria y para protección y mando de los motores, generadores y para los servicios finales. Sus prestaciones resultan aún más interesantes cuando se presentan situaciones críticas (corrientes de falla muy elevadas) o cuando se requieren soluciones de instalaciones complejas (exigencias particulares de coordinación o para automatización de las instalaciones). De acuerdo al modelo y características del interruptor se puede lograr

selectividad con los demás dispositivos de protección de las instalaciones. [3]
Existen diferentes tipos de interruptores automáticos:

- Abiertos en Aire
- De caja moldeada
- En Aceite
- Con aire comprimido
- Tripolares
- Tetrapolares, con ó sin protección de neutro
- Limitadores de corriente
- Para protección de motores
- Para maniobra o Seccionadores

Además según la marca y modelo estos pueden contar con accesorios sencillos o más complejos tales como:

- Relé de Apertura
- Relé de Mínima Tensión
- Relé de Máxima Tensión
- Contactos Auxiliares
- Mandos Motorizados
- Comandos a distancia
- Unidades electrónicas de Disparo
- Unidades con medición de parámetros
- Salidas para comunicación y monitorización desde una PC

Se los clasifica en dos grandes grupos:

Termomagnéticos: permiten la protección contra sobrecarga con dispositivo térmico realizado con la técnica del bimetal y la protección contra cortocircuito mediante dispositivo magnético.

Relés electrónicos: estos se basan en la tecnología electrónica compuesta por un microprocesador. Esto permite que las funciones posean una elevada fiabilidad, precisión e insensibilidad al ambiente exterior. La alimentación está suministrada directamente desde los bornes principales o de entrada. También cuentan con la particularidad de que el funcionamiento del relé puede controlarse por medio de un dispositivo de prueba portátil.

BANCO DE ENSAYOS DE PROTECCIONES ELECTRICAS

En función de las protecciones eléctricas antes mencionadas, aparece la necesidad de probar su correcto funcionamiento, en especial cuando el período desde su instalación es bastante prolongado. Más aún, en los casos que la protección hubiere realizado aperturas de intensidades importantes o aperturas sucesivas o, en el peor de los casos, donde vidas humanas dependan de la respuesta ante una falla, de dicha protección.

Por todo ello, es indispensable tener un equipo que nos permita no sólo evaluar la respuesta de la protección ante una falla, sino que además, sea una herramienta que nos ayude a predecir la vida útil del dispositivo de protección.

Esta es la razón por la cual queremos, a través de este proyecto, diseñar y desarrollar un Banco de Ensayos (BE) para todo tipo de protecciones eléctricas, contra sobrecarga y cortocircuito, en baja tensión (hasta 1000 V) y con corrientes de hasta 2000 A como máximo. En la gama de las mismas entrarían todas la protecciones anteriormente descritas: Térmicas (las denominaremos así en adelante, para diferenciarlas de los Interruptores de Potencia), Guardamotores, Relés Térmicos e Interruptores Automáticos.

Cabe destacar que este Equipo no es apto para el ensayo de protecciones diferenciales ya que, el principio de funcionamiento de estas es totalmente diferente al de las protecciones termomagnéticas.

Este BE permitirá inyectar una corriente elevada (corriente de falla) en muy baja tensión (MBT), simulando la eventual corriente que puede soportar el dispositivo objeto de ensayo.

La operación de prueba, se repite para cada uno de los polos de protección, verificándose la operación (respuesta) de cada uno de ellos en forma individual. Por este motivo la salida del BE es monofásica.

La parte principal del BE estará compuesta por un gabinete que incluirá como elemento principal un transformador trifásico/monofásico, con capacidad en el bobinado secundario para soportar 2000 A de corriente de ensayo. Asimismo, incluirá las barras de cobre donde se instalarán los dispositivos a ensayar y en el frente del gabinete estarán alojados los instrumentos de medición: un amperímetro para medir la intensidad aplicada, un milivoltímetro para medir la tensión de contacto y un voltímetro para medir la tensión de red.

El BE se alimentará por medio de un interruptor tetrapolar de la red eléctrica.

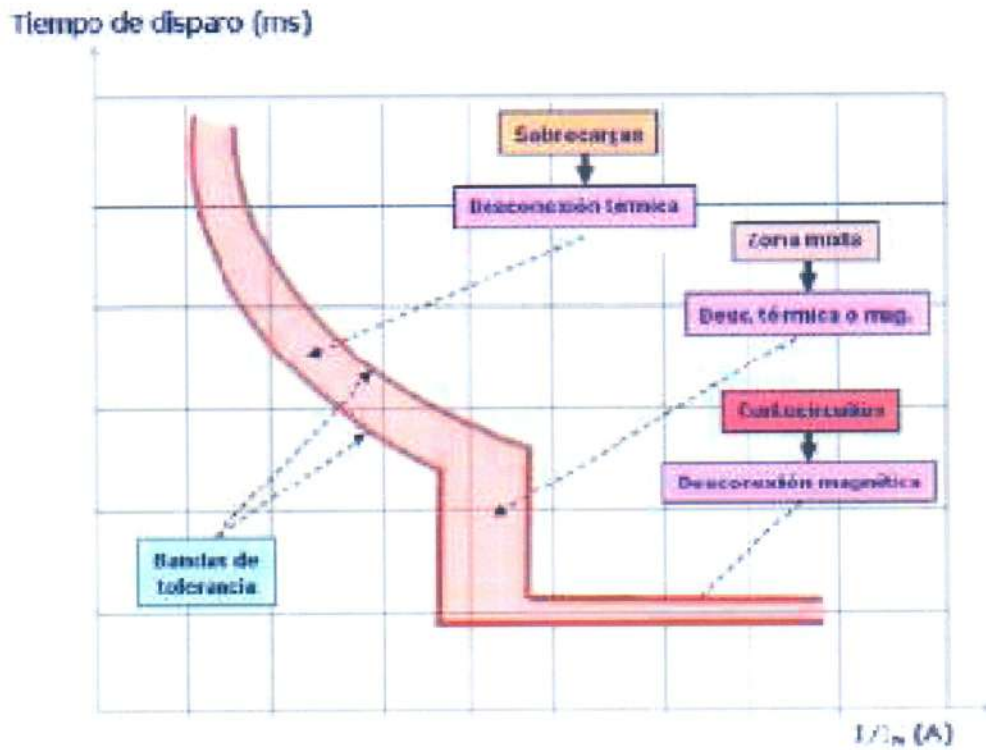
A través de dos botoneras se podrá elegir si la alimentación del transformador principal se realiza desde la red de manera Directa ó desde un autotransformador con salida de 0 a 430 V. Este autotransformador nos permitirá proporcionar de manera progresiva la corriente de ensayo, la cual visualizaremos en el amperímetro. Este método nos dejará inyectar al dispositivo en ensayo una determinada intensidad, múltiplo de la corriente de ajuste ($2I_{aj}$, $3I_{aj}$,...) la cual nos permitirá probar la respuesta de la protección ante una sobrecarga.

En el frente del BE y debajo de los instrumentos de medida, encontraremos bornes

auxiliares con salidas múltiples de tensión. Esto es para el caso de tener que ensayar Interruptores Automáticos que posean Bobina de Mínima Tensión, la cual debe estar alimentada para poder cargar y cerrar los contactos principales. También nos servirán en caso de tener que conectar un Interruptor con Motorización. Las tensiones de salidas de los bornes auxiliares serán: 380 Vca, 220 Vca, 110 Vca, 24 Vca y finalmente 24 y 12 Vcc. Estas son las tensiones normalizadas más utilizadas en los accesorios de los Interruptores y las cuales varían según la marca y procedencia del dispositivo.

El ingeniero o técnico que realice el ensayo, deberá registrar el tiempo que tarda en disparar la protección cuando se le inyecta una corriente de sobrecarga o de cortocircuito, para luego contrastar el tiempo de apertura con las curvas que nos proporcionan los fabricantes de dichos elementos de protección. En función de esto y en base a la experiencia del operador, se deberá determinar si esa protección se encuentra en condiciones de seguir operando o debería ser reemplazada.

Finalmente haremos una descripción de los principales mecanismos de degradación en contactos eléctricos, para que el usuario tenga presente cuales mecanismos están degradando los contactos y cómo realizar un mantenimiento sobre los mismos, tomando medidas paliativas para minimizar los efectos. Esto puede realizarse sólo en algunos Interruptores donde el usuario pueda desarmar la cubierta del interruptor y tenga acceso a los contactos principales. Para dispositivos pequeños el acceso no será posible debido a su blindaje, por lo tanto deberemos limitarnos a realizar la prueba con corriente y evaluaremos sólo el estado exterior del dispositivo.



Curva tipo de un interruptor termomagnético. En ella podemos identificar las diferentes zonas donde actúan las protecciones contra sobrecarga y cortocircuito.

Referencias

- [1] AEG Maresa, "Relés Térmicos de Sobrecarga", AEG.
- [2] AEG Maresa, "Guardamotores Mbs 25", AEG.
- [3] ABB SACE Isomax S, "Catálogo Técnico", ABB SACE S.P.A.

CAPITULO 1: DISEÑO DEL BANCO DE ENSAYOS (BE), OBJETIVOS



Como mencionamos anteriormente surge la necesidad de probar o ensayar el comportamiento de protecciones eléctricas. Estas pueden ser tomadas como muestras de una línea de ensamblaje en fábrica para control de calidad, pueden ser para un ensayo de recepción en caso de una compra, para realizar protocolos eléctricos en caso de que un organismo de seguridad o una Norma lo solicite, o simplemente para estudiar y analizar el comportamiento de la protección en un laboratorio de máquinas eléctricas.

Las protecciones que queremos ensayar, trabajan en baja tensión (menor a 1000 V) y con capacidades de hasta 2000 A de corriente nominal. Las mismas pueden utilizarse para proteger motores, generadores, transformadores y todo tipo de servicios.

Por lo tanto podemos evaluar desde una simple Termomagnética de uso domiciliario hasta un Interruptor Abierto en Aire instalado en el tablero principal de una Industria, un edificio o en un buque.

Para la realización del proyecto tendremos en cuenta las exigencias establecidas en las normas para estos tipos de protecciones, las cuales son:

Norma IRAM 2169: Protecciones de hasta 63 A [1]

Norma IRAM 2122: Protecciones mayores a 63 A [2]

En el Anexo I se transcribe el capítulo 8 de la Norma IRAM 2122, dedicado exclusivamente a los diferentes ensayos a realizar.

Antes de comenzar con el diseño vamos a establecer las premisas y conceptos que nos llevarán a nuestro modelo:

- I. Necesitamos construir un equipo capaz de probar desde un relé térmico de unos pocos amperios para montar con contactor, hasta un interruptor de potencia (de caja moldeada o abierto en aire, por ejemplo) y que debe ser

capaz de interrumpir grandes corrientes de cortocircuito. Con lo cual el equipo debe tener gran flexibilidad.

- II. Sería conveniente que el equipo tuviera todos sus elementos y accesorios alojados dentro de una misma unidad, como podría ser un gabinete o tablero.
- III. Los parámetros y variables de salida del equipo deben poder ser medidos claramente y con la precisión necesaria para ser luego analizados.
- IV. Vamos a probar protecciones contra Sobrecargas y/o Cortocircuito, por lo tanto la intensidad de salida debe poder ser controlada y aplicada con la magnitud y rapidez que el ensayo requiera. Para esto sería útil tener la opción de inyectar corriente a través de un autotransformador externo.
- V. Sería factible que el equipo se encuentre sobre una mesa o banco, de manera que se encuentre estático en un lugar apropiado y que la mesa sirva además para apoyar los dispositivos más voluminosos y pesados, de manera que no queden “colgando” del equipo de ensayos.
- VI. Los estados de entrada y salida, esto es: tensión de entrada, intensidad de ensayo, estado del equipo, deberían estar claramente identificados con señales luminosas.
- VII. Sería conveniente tener acceso a diferentes tensiones, para alimentar fácilmente en caso de ser necesario, a los relés que posean los interruptores más complejos para poder operar y ser ensayados correctamente como así también a las bobinas de mínima tensión y las motorizaciones.
- VIII. Finalmente, las magnitudes de tensión y corriente deben ser medidas con instrumentos de buena precisión ya que estos determinarán los parámetros de los ensayos.

Una representación en diagrama en bloques puede visualizarse en la Figura 1.1.

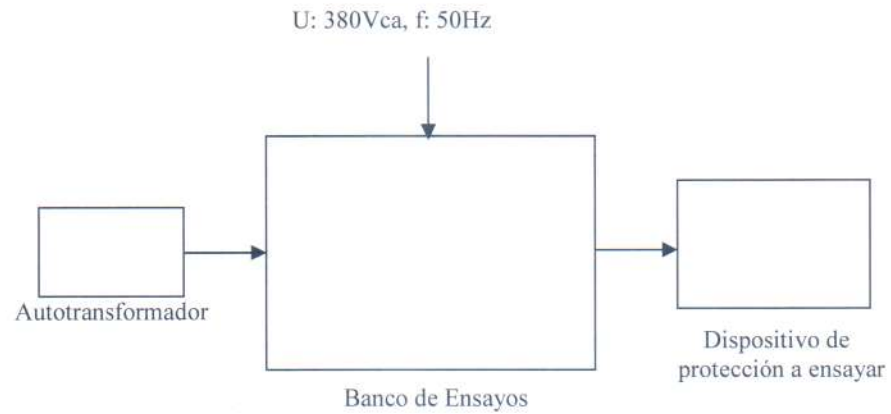


Figura 1.1: Diagrama en bloques del Banco de ensayos

Ahora sí podemos pasar al diseño y desarrollo del equipo. Analizaremos en detalle todos los elementos que lo componen y los cuales son: el Transformador Principal, los Instrumentos de medición, las Barras colectoras de salida, el Autotransformador para ajuste de la intensidad de salida, los Contactores para realizar las maniobras, el gabinete y el resto de los accesorios que complementan el sistema.

CAPITULO 2: CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL

El diseño del Transformador como el de cualquier equipo, es un proceso de cálculo mediante el cual se trata de determinar sus dimensiones geométricas, de modo de obtener un comportamiento pre especificado.

En nuestro caso debido a las solicitaciones eléctricas adoptaremos un transformador Trifásico-Monofásico, donde el bobinado primario o de Alta estará conectado en Estrella y el bobinado secundario o de Baja será Monofásico. Esta configuración nos permitirá tener un transformador de tres columnas con mejores características eléctricas dado que, la corriente secundaria reflejada al primario se repartirá en las tres fases de alimentación y nos facilitará la realización de ensayos unipolares.

Debemos recordar que el BE tiene la posibilidad de trabajar por medio de un Autotransformador o de manera directa. Esto quiere decir que el bobinado primario del transformador principal, puede alimentarse de hasta 431V para el caso en que se utilice en el modo Autotransformador o bien, de los 380V de la red si no utilizamos el Autotransformador.

Basaremos nuestro diseño en las herramientas que nos brinda el libro "Transformadores, su Cálculo y Construcción" [3]

Calculamos primero la potencia que debe desarrollar la máquina. Nuestros datos de partida serán los parámetros del secundario, donde tendríamos nuestra carga (dispositivo a ensayar).

$$U_1 = 3 \times 431 \text{ V (Trifásico en estrella)}$$

$$U_2 = 5 \text{ V (Monofásico)}$$

$$I_2 = 2000 \text{ A}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

La salida será monofásica, con $\cos \phi = 1$

Luego la potencia nominal del transformador se calcula como sigue:

$$S_2 = U_2 \cdot I_2 = 5 \text{ V} \cdot 2000 \text{ A} = 10 \text{ kVA} = S_n$$

Cálculo del Núcleo

Hoy en día la mayor parte de los núcleos se construyen con chapas de hierro al silicio, laminadas en frío de 0,35 mm de espesor y aisladas por tratamiento químico. Por ende nuestro transformador no será la excepción y utilizaremos el mismo material para la construcción del núcleo.

Comenzaremos el dimensionamiento del núcleo de hierro estableciendo los parámetros para el diseño. Estos factores serán calculados de manera analítica y algunos valores orientativos serán extraídos de los gráficos de la bibliografía. En la Figura 2.1, podemos apreciar los valores recomendables de inducción máxima B_{max} , para la chapa de grano orientado.

En función de la curva de inducción, adoptaremos un valor de $B_{m\acute{a}x} = 1,6$ T

En cuanto a la sección de hierro, normalmente se dispone escalonada por paquetes de diferente ancho (escalones) e inscrita en un círculo, para poder dar a las bobinas la forma cilíndrica y tener menor trabajo de construcción, además de ser la más apta para soportar los esfuerzos de cortocircuito [3]. La forma geométrica de la sección se puede obtener de la Figura 2.2, la cual nos brinda el número de escalones en función de la potencia del transformador pero además nos brinda el factor de utilización k_o , el factor que relaciona la sección de la columna de hierro con la sección del diámetro circunscrito. Este factor k_o será quien nos ayude a determinar analíticamente el volumen del hierro de la columna.

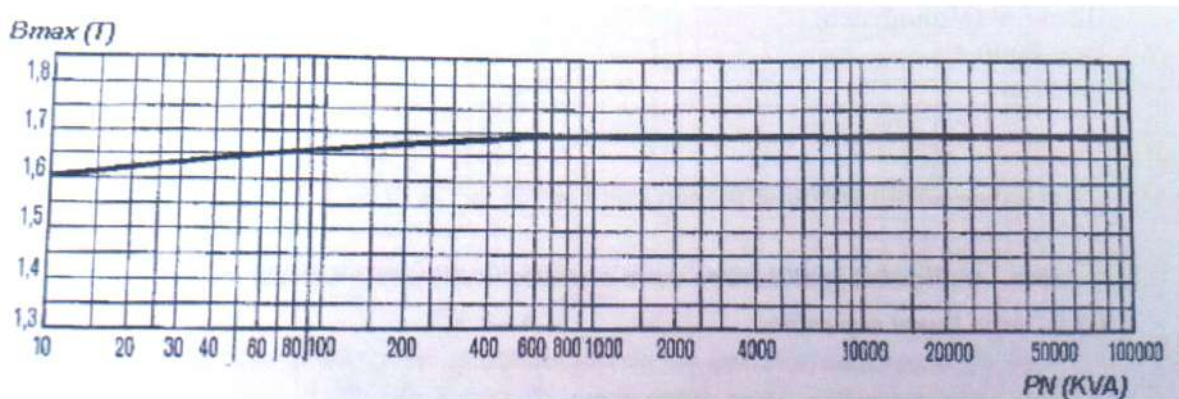


Figura 2.1: Valores de B_{max} recomendados para chapa de grano orientado [3]

Potencia en KVA	1 a 10	10 a 100	100 a 500	500 a 1000	1000 a 1500	1500 a 10000	10000 a 40000	>40000
Escalones recomendados	1	2	3	4	5	6	7	8
Fac. utilización	0.465	0.57	0.61	0.64	0.655	0.67	0.69	0.7

Figura 2.2: Escalones en función de la potencia nominal del transformador [3]

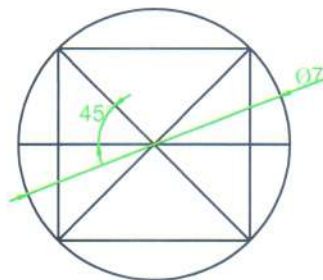
Por ser la potencia de 10 kVA, adoptamos una sección de un escalón. Por ende el factor de utilización sería $k_o = 0,465$.

Para el cálculo del diámetro circunscripto, D, usaremos la expresión:

$$D = 4 \cdot \sqrt[4]{S_n} = 4 \cdot \sqrt[4]{10} = 7,11 \text{ cm} \approx 7 \text{ cm} \quad \text{diámetro circunscripto}$$

Siendo S_n la potencia nominal del transformador. La representación gráfica del diámetro circunscripto D la podemos ver en la Figura 2.3. De allí podemos obtener el lado de la columna utilizando las herramientas trigonométricas.

Para el caso de los Yugos adoptaremos la norma de incrementar en un 10% al valor del diámetro de columna D.



$$\frac{L}{2} = \frac{D}{2} \sin 45^\circ$$

Figura 2.3: Diámetro circunscripto

Lado columna cuadrado.

$$L = 2 \cdot \frac{D}{2} \cdot \sin 45 = D \cdot \sin 45 = 7 \cdot \sin 45 = 4,94 \cong 5 \text{ cm}$$

Por lo tanto los Yugos nos quedarían de 5,5 cm.

La carga lineal específica q se define como: $q = \frac{N \cdot I}{L} \left[\frac{Av}{cm} \right]$

Siempre influye sobre la reactancia de corto circuito del transformador y sobre el calentamiento de los bobinados. Como orientación previa utilizaremos los datos de la Figura 2.4, que se reproducen a continuación:

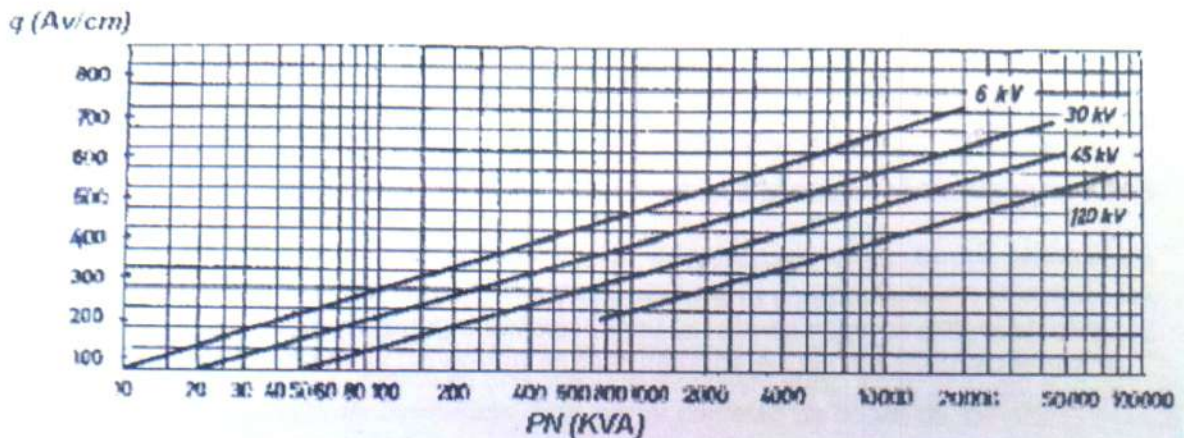


Figura 2.4: Carga específica media en función de la potencia trifásica aparente, para distintas tensiones [3]

De la Figura 2.4 tomamos la aproximación con la recta de 6kV ya que en nuestro caso trabajamos en baja tensión. Para un transformador de 10kVA es de 100 Av/cm.

Calculamos ahora el coeficiente de utilización "C" que nos relaciona los parámetros hasta aquí calculados con el volumen de la columna del núcleo de hierro [3]. El mismo está dado por la siguiente expresión:

$$C = \frac{f \cdot q \cdot B_{max}}{2250} = \frac{\frac{S_n}{m}}{V_{col}} \left[\frac{kVA}{dm^3} \right]$$

$$C = \frac{50.100.1,6}{2250} = 3,55 \left[\frac{kVA}{dm^3} \right]$$

Ahora calculamos el Volumen necesario de la columna utilizando el coeficiente de utilización C.

$$V_{col} = \frac{S_n}{C} = \frac{10}{3,55} = 0,939 \text{ dm}^3$$

Donde S_n es la potencia nominal y m es el número de fases.

Por otro lado, $V_{col} = k_o . D^2 . L \text{ [cm}^3\text{]}$ donde, para columna cuadrada el largo es:

$$L = \frac{V_{col}}{k_o . D^2} \text{ [cm]} = \frac{0,939 \text{ dm}^3 . 1000 \text{ cm}^3 / \text{dm}^3}{0,465 . 7^2 \text{ cm}^2} = 41,2 \text{ cm} \cong \mathbf{41 \text{ cm}}$$

Finalmente con los valores del diámetro D y de la longitud L por columna ya determinados, el ancho de la ventana "a" debe ser tal que permita el alojamiento de los bobinados, guardando las distancias aislantes que las tensiones exijan.

Para calcular el ancho de ventana "a" utilizamos la siguiente expresión:

$$a = 0,32 . L - 0,06 . D = 0,32 . 41\text{cm} - 0,06 . 7\text{cm} = 12,7\text{cm} \cong \mathbf{13 \text{ cm}}$$

En la Figura 2.5 se pueden observar las dimensiones calculadas del núcleo de hierro. Estas medidas iniciales podrán ser modificadas en función de la ocupación de las bobinas.

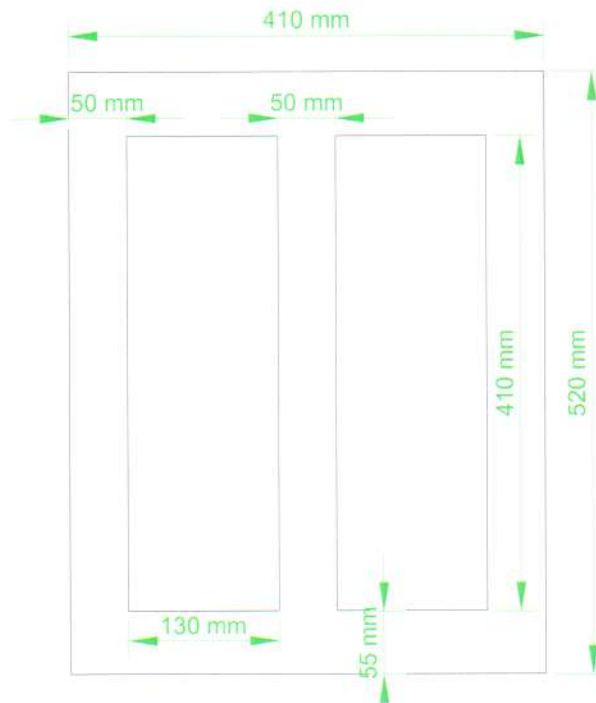


Figura 2.5: Dimensiones del Núcleo de Hierro

Cálculo del Arrollamiento

Previo al inicio de los cálculos necesarios para el diseño de los arrollamientos del transformador, debe contarse con la sección del hierro calculada y con la tensión a la cual estarán sometidas las bobinas del primario y del secundario.

En nuestro caso el bobinado primario o de Alta Tensión, trabajará con una terna trifásica de hasta 431V cuando esté conectado con Autotransformador, estando éste en su regulación máxima de salida de tensión. Para el caso de salida máxima el bobinado secundario o de Baja Tensión, estará sometido a 5V monofásicos, ya que las conexiones serán del tipo triángulo abierto.

La fórmula que nos relaciona la tensión con los parámetros antes calculados es la siguiente:

$$E = N \cdot B_{\max} \cdot k_0 \left[\frac{D}{6,71} \right]^2$$

De acá despejamos para obtener el número de espiras.

$$N1 = \frac{E1}{B_{max} \cdot ko \cdot \left[\frac{D}{6,71}\right]^2} = \frac{248,8}{1,6 \cdot 0,465 \cdot \left[\frac{7}{6,71}\right]^2} = 307 \text{ espiras}$$

Sujeta a modificación por el redondeo de las espiras secundarias.

Si bien el primario se conectará en estrella, el secundario es una sola salida monofásica distribuida en las tres columnas. Cada bobina del arrollamiento secundario debe entregar 2,5V, esto se ve en el diagrama fasorial de la Figura 2.6.

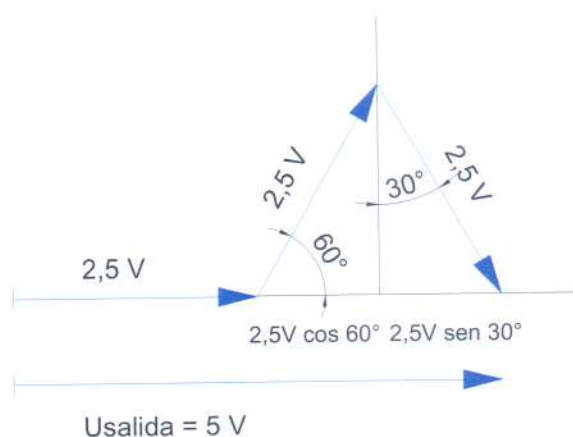


Figura 2.6: Suma vectorial de las tensiones de cada columna

Es decir, la tensión de cada bobina secundaria debe ser 2,5 V.

Entonces:

$$N2 = \frac{E2}{B_{max} \cdot ko \cdot \left[\frac{D}{6,71}\right]^2} = \frac{2,5}{1,6 \cdot 0,465 \cdot \left[\frac{7}{6,71}\right]^2} = 3 \text{ espiras}$$

La relación de transformación nominal por columna es:

$$\frac{E1}{E2} = \frac{\frac{431V}{\sqrt{3}}}{2,5 V} = \frac{248,8 V}{2,5 V} = 99,52 = \frac{N1}{N2}$$

Luego: $N1 = 99,52 \cdot 3 = 298,56 \cong 299$ espiras

Corrientes primarias y secundarias:

$$I_1 = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot E_{1\text{linea}}} = \frac{10 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 431V} = 13,4 \text{ A} = I_{L1} = I_{f1} \quad (\text{primario en estrella})$$

$$I_2 = \frac{S_n}{E_2} = \frac{10 \text{ kVA}}{5V} = 2000 \text{ A} \quad (\text{secundario monofásico})$$

Sección primaria:

La densidad de corriente Δ para transformadores con refrigeración por aire se encuentra alrededor de: 2 A/mm^2 [3]

Pero dado que el transformador no trabaja a régimen constante, adoptamos $\Delta = 3 \text{ A/mm}^2$ para el primario.

$$s_1 = \frac{I_1}{\Delta_1} = \frac{13,4 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 4,46 \text{ mm}^2$$

Para calcular el diámetro del alambre primario:

$$s_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot s_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,46}{\pi}} = 2,38 \text{ mm}$$

Adoptamos por catálogo IMSA:

$$d_1 = 2,4 \text{ mm} \\ s_1 = 4,52 \text{ mm}^2$$

Con lo cual la sección del alambre primario queda de $4,52 \text{ mm}^2$.

La densidad del primario para la nueva sección es:

$$\Delta 1 = \frac{I_1}{s_1} = \frac{13,4 \text{ A}}{4,52 \text{ mm}^2} = 2,96 \text{ A/mm}^2$$

Para el bobinado secundario se adopta como primera aproximación una densidad de corriente muy superior a la del primario, debido a que se trata de barras de cobre y los tiempos de duración de los ensayos requieren unos pocos minutos de trabajo, o sea: $\Delta 2 = 6 \text{ A/mm}^2$

$$s_2 = \frac{I_2}{\Delta 2} = \frac{2000 \text{ A}}{6 \text{ A/mm}^2} = 333 \text{ mm}^2$$

Como el transformador no trabaja a régimen constante adoptamos barra de cobre de: 60 mm de ancho por 5mm de espesor lo que equivale a 300 mm^2 de sección, o sea: **$s_2 = 300 \text{ mm}^2$**

Por lo tanto la densidad de corriente del secundario nos queda:

$$\Delta 2 = \frac{I_2}{s_2} = \frac{2000 \text{ A}}{300 \text{ mm}^2} = 6,66 \text{ A/mm}^2$$

Para estimar el espacio que tenemos para ubicar la bobina secundaria, recurrimos a la carga lineal.

$$q = \frac{N \cdot I}{L}$$

Interpolando para 10 kVA $q \approx 200 \text{ Av/cm}$, entonces:

$$L_2 = \frac{N_2 \cdot I_2}{q} = \frac{3 \cdot 2000 \text{ A}}{200 \text{ Av/cm}} = 30 \text{ cm}$$

Que es menor que el alto de la columna calculado (41 cm).

Por esto se resuelve construir el transformador con bobinados concéntricos, disponiendo la AT contra el núcleo y la BT en el exterior.

Previo a la verificación térmica de los bobinados, dibujamos la configuración de las bobinas adoptada. Debido a la ocupación de las bobinas primaria y secundaria calculadas anteriormente, procedemos a disminuir la altura de las columnas del núcleo de hierro (de 41 cm a 30 cm) y el ancho de la ventana (de 13 cm a 9,6 cm) para mejorar el rendimiento del transformador como así también los costos de los materiales.

Debemos recordar que este método de diseño es el utilizado en los desarrollos de transformadores de potencia para ser utilizados de forma permanente. En nuestro caso, tenemos un transformador para realizar ensayos durante breves períodos de tiempo y por lo tanto las dimensiones y características son atípicas a los transformadores comunes.

En la Figura 2.7 podemos observar la disposición del bobinado primario y secundario, donde los cálculos nos determinaron un total de 299 espiras, las cuales dispondremos en dos capas de 110¹¹⁶ espiras y una de 79⁶⁷ del lado externo.

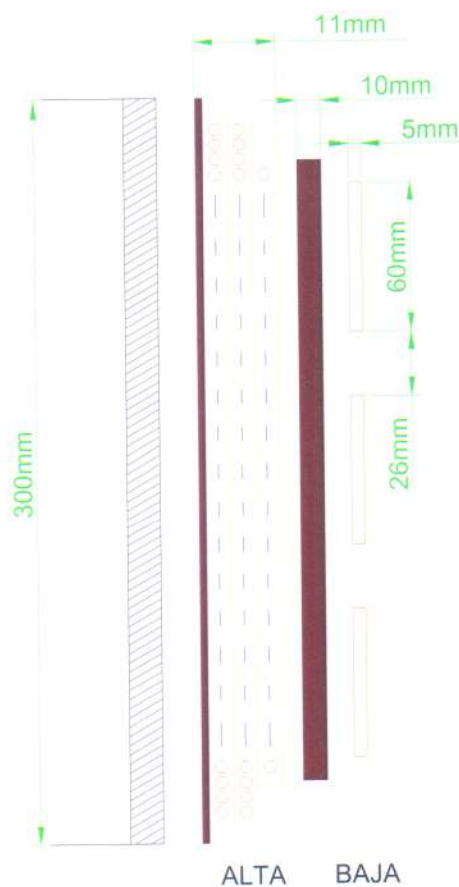


Figura 2.7: Disposición del arrollamiento del bobinado primario y secundario. Se observa la disposición de AT del lado del núcleo y BT del lado externo.

De la Figura 2.8, para arrollamiento completo, con cámara de aire entre AT y BT, la carga admisible será: AT (interior) $300 \text{ A}^2 \text{ v/cm.mm}^2$ y para BT (exterior) $470 \text{ A}^2 \text{ v/cm.mm}^2$.

En nuestro caso, las cargas lineales:

$$q_1 = \frac{N_1 \cdot I_1}{L_1} = \frac{299 \cdot 13,4 \text{ A}}{24 \text{ cm}} = 167 \text{ A.v/cm}$$

$$q_2 = \frac{N_2 \cdot I_2}{L_2} = \frac{3 \cdot 2000 \text{ A}}{300 \text{ cm}} = 200 \text{ A.v/cm}$$

Las cargas admisibles serán:

$$q_1 \cdot \Delta_1 = 167 \left[\frac{\text{A.v}}{\text{cm}} \right] \cdot 3 \left[\frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right] = 501 \left[\frac{\text{A}^2 \cdot \text{v}}{\text{cm mm}^2} \right]$$

$$q_2 \cdot \Delta_2 = 200 \left[\frac{\text{A.v}}{\text{cm}} \right] \cdot 6,6 \left[\frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right] = 1320 \left[\frac{\text{A}^2 \cdot \text{v}}{\text{cm mm}^2} \right]$$

Los datos de carga admisible obtenidos de la Figura 10, son para una sobreelevación de temperatura de 50°C . En nuestro caso:

$$\text{PRIMARIO} \longrightarrow 50 \cdot \frac{501}{300} = 83,5^\circ \text{C}$$

$$\text{SECUNDARIO} \longrightarrow 50 \cdot \frac{1320}{470} = 140^\circ \text{C}$$

Dado que esta máquina trabaja de forma temporaria o intermitente, podrían aceptarse estas sobreelevaciones de temperatura.

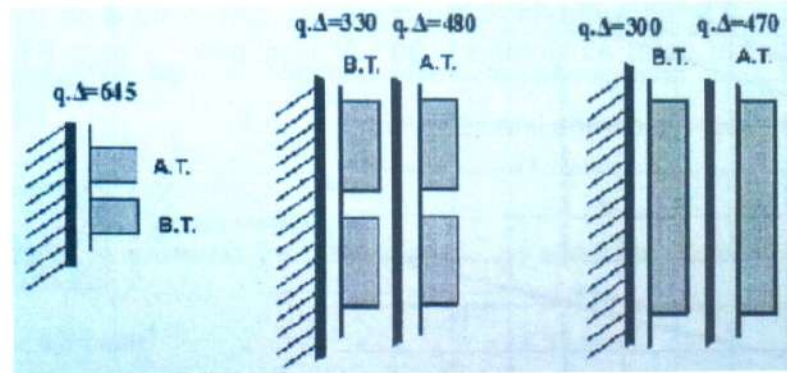


Figura 2.8: Carga admisible para transformadores con refrigeración por aire y sobre elevación de temperatura de 50°C.

En las Figuras 2.9, 2.10 y 2.11 podemos ver las imágenes de cómo quedaría el transformador terminado con sus cotas. Las mismas fueron realizadas con un software de diseño. Los soportes son en hierro ángulo sujetados por varillas roscadas y bulones. Para el caso de las uniones de las barras del bobinado secundario también se utilizaron bulones de acero.

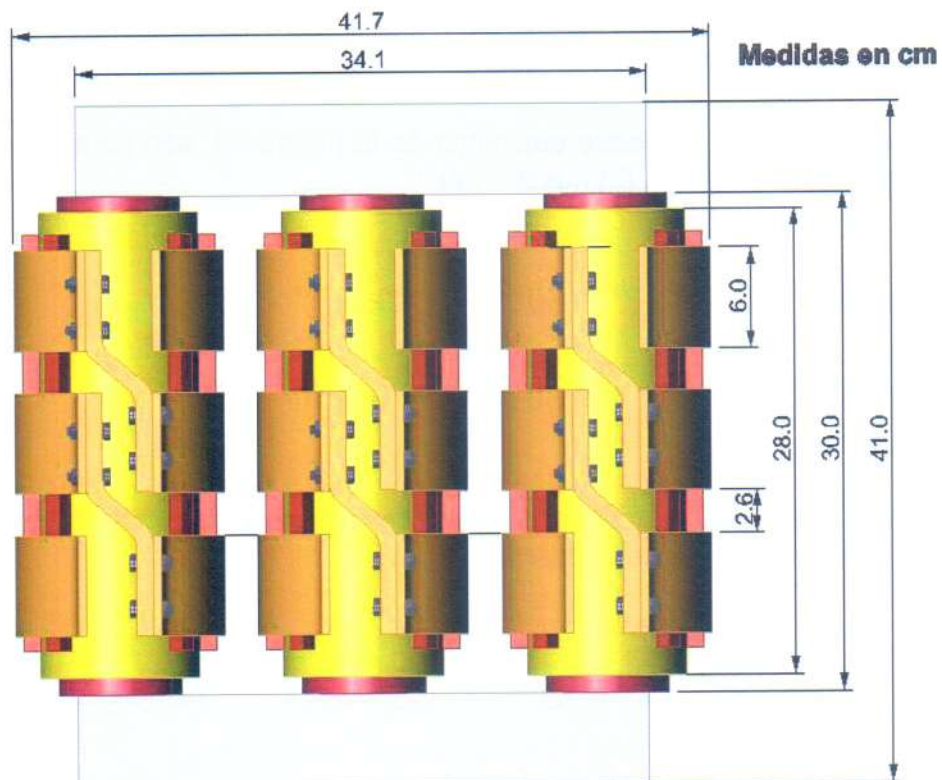


Figura 2.9: Vista frontal del transformador terminado, se puede observar los bobinados primarios en amarillo mientras que los secundarios están en color cobre.

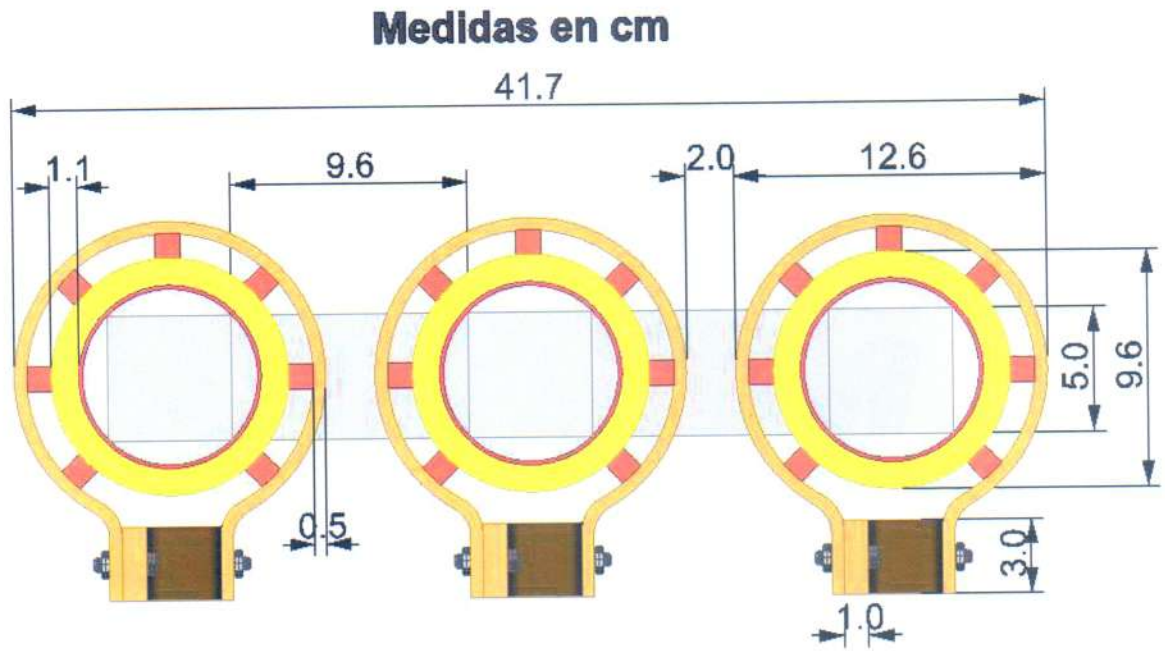


Figura 2.10: Vista superior del transformador con sus cotas.

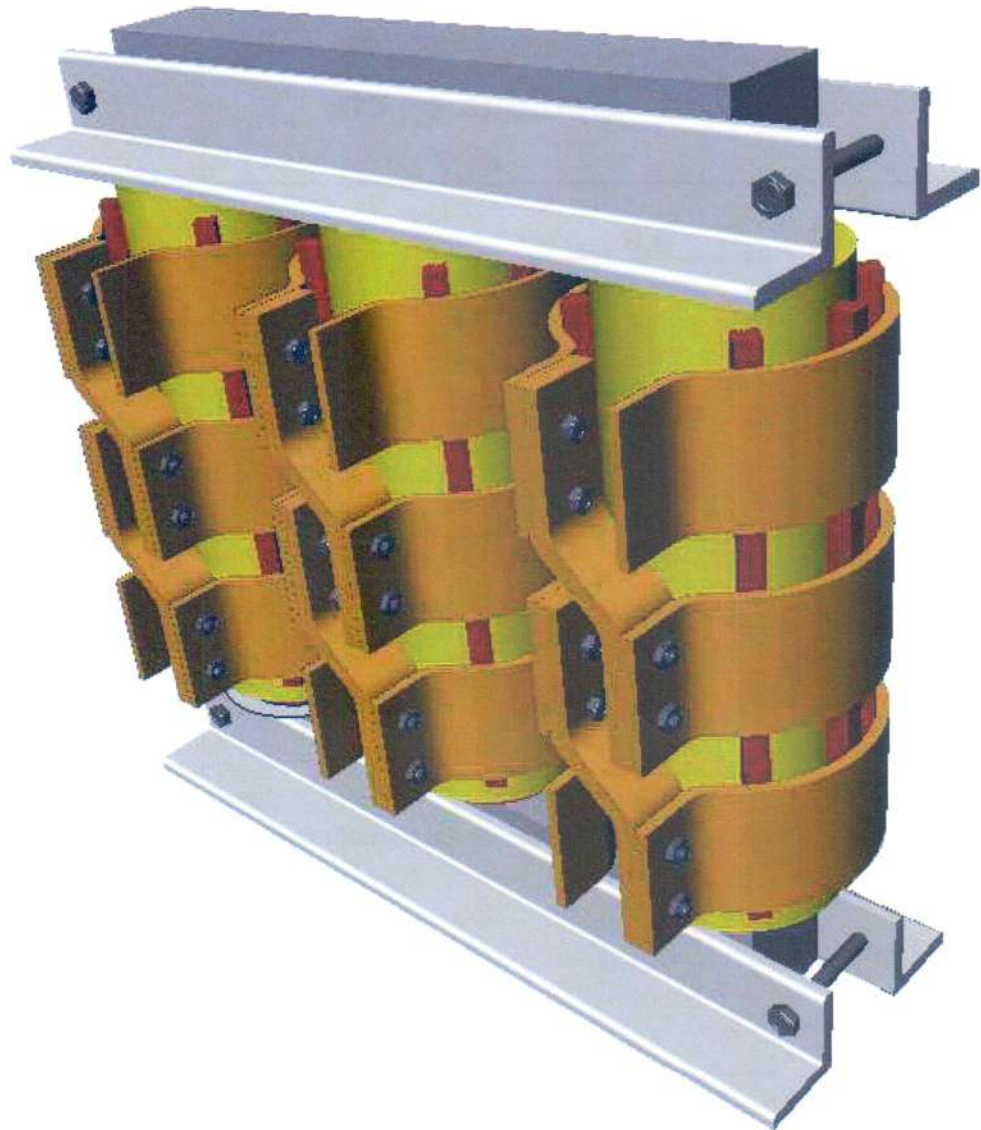


Figura 2.11: Vista en perspectiva del transformador terminado.

Referencias del capítulo

- [1] Norma IRAM 2169. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Octubre 1993. CDU 621.316.57
- [2] Norma IRAM 2122. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Octubre 1981. CDU 621.316.542
- [3] Transformadores, su Cálculo y Construcción. Ing. Juan Carlos Stecca, Ing. Claudio Dimenna. UNMP.

CAPITULO 3: INSTRUMENTOS

La medición de las variables o salidas del BE es una de las partes más importantes del sistema. Gracias a los instrumentos que nos determinan las magnitudes de entrada y salida del equipo, podremos ajustar los valores de ensayo que luego de la prueba podremos asentar en los informes.

En nuestro caso, para seleccionar los instrumentos de medida tendremos en cuenta los siguientes factores:

- Magnitudes a medir: U, I
- La clase o exactitud
- El factor económico
- Disponibilidad en el mercado

Existen distintos tipos de instrumentos de medida y los cuales podemos agrupar en función de su naturaleza en:

- Imán Permanente y Bobina Móvil, IPBM
- Hierro Móvil
- Electrodinámicos
- Digitales

A continuación daremos una breve descripción de cada uno.

Imán Permanente y Bobina Móvil, IPBM

Se basan en la acción motriz ejercida por el campo de un imán permanente sobre la bobina recorrida por una corriente continua.

Básicamente el instrumento está constituido por dos sistemas: uno fijo, el circuito magnético, y otro móvil, el cuadro de la bobina.

El cuadro móvil puede estar sustentado por dos pivotes o hilo tensado. Los resortes de bronce fosforoso sirven para llevar la corriente a la bobina móvil y crear la cupla directriz o antagónica que es proporcional al ángulo de rotación del cuadro.

Como estos instrumentos miden corriente continua, los modelos que miden corriente alterna vienen provistos de un rectificador. En la Figura 3.1 podemos observar un instrumento IPBM con sus partes principales.

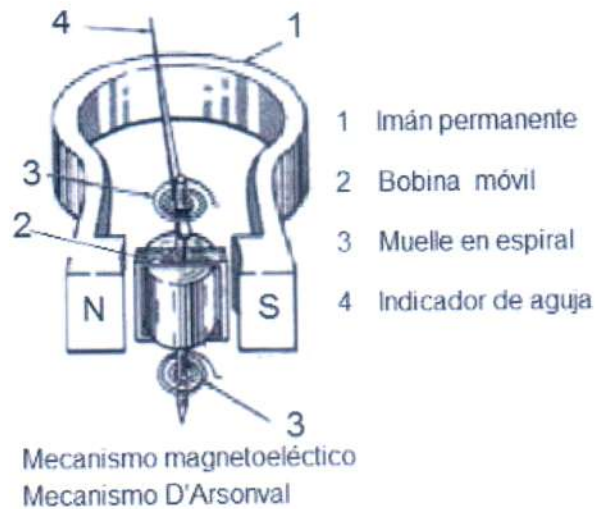


Figura 3.1: Diagrama de instrumento del tipo Imán Permanente y Bobina Móvil [1]

Hierro Móvil

Estos instrumentos deflexionan por la acción tanto de la corriente continua, como de la corriente alterna.

La corriente que se desea medir pasa por la bobina fija que genera un campo magnético. Dentro de dicho campo hay una pieza metálica llamada hierro móvil, sujeta en forma asimétrica al eje de giro. Completan el instrumento un resorte para generar la cupla antagónica, la aguja y la correspondiente escala.

Si se aplica corriente se produce en el interior de la bobina un campo magnético de intensidad H , el hierro sometido a su influencia se magnetiza, es decir, se imana y se comporta como una pequeña brújula.

Dentro de la bobina casi cilíndrica están colocadas las piezas metálicas, una sujeta a la cara interior de la misma y otra sujeta al eje de giro, llamadas respectivamente hierro fijo y hierro móvil.

El campo imana las dos piezas metálicas con polaridades concordantes, estos componentes se rechazan provocándose un giro del eje. Un instrumento de este tipo se describe en la Figura 3.2.

La gran difusión de estos tipos de instrumentos proviene de su simplicidad constructiva, que se traduce en un menor costo, de su solidez y de su gran capacidad de carga. Esto último debido a que los resortes no son recorridos por la corriente, y por lo tanto no están expuestos a recalentamiento o destrucción por una sobrecarga accidental.

Como punto débil, estos instrumentos pueden ser delicados en las cercanías de un conductor con altas corrientes debido al campo magnético externo y por lo tanto se puede reducir esto, empleando blindajes con aleaciones de alta permeabilidad.

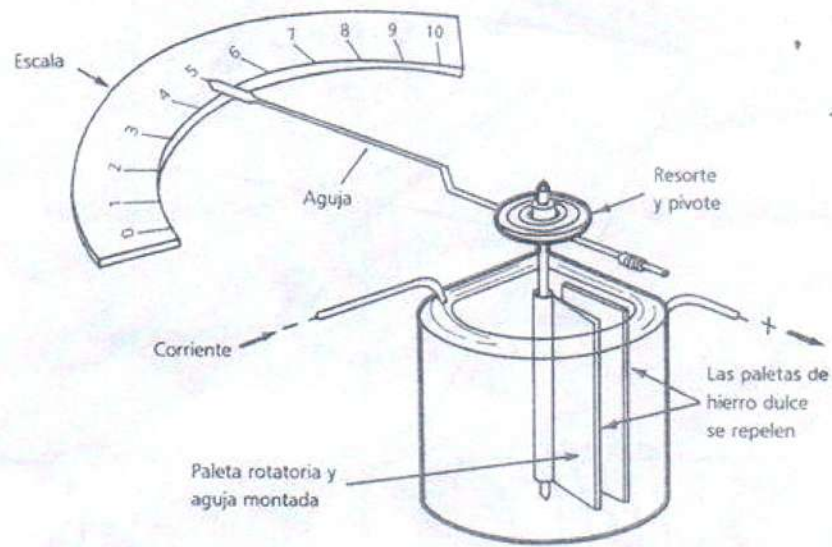


Figura 3.2: Diagrama de instrumento del tipo Hierro Móvil [2]

Electrodinámicos

El instrumento está constituido por dos sistemas uno fijo y otro móvil, cuyo grado de libertad es el de rotación pura y puede visualizarse en la Figura 3.3.

Los dos sistemas están formados por dos arrollamientos de forma geométrica característica, rectangular o circular y de conductores de secciones adecuadas, según el uso que se destine. El sistema móvil es similar al del instrumento de Imán permanente y Bobina Móvil. El par antagónico es de cinta espirales, la cual está compuesta de material conductor y cumple con dos funciones: la de conducir la corriente a la bobina móvil y la de generar una resistencia antagónica a la magnitud que se esté midiendo. La cupla amortiguante es provocada por una paleta o émbolo.

Estos instrumentos son para corriente continua o corriente alterna y se los puede utilizar como Amperímetros y Voltímetros, pero la mayor aplicación es como Watímetros. También encontramos Fasímetros, Cofímetros y Frecuencímetros.

Se los utiliza con blindaje cuando se los somete a campos externos ya que, tienen un campo principal muy débil.

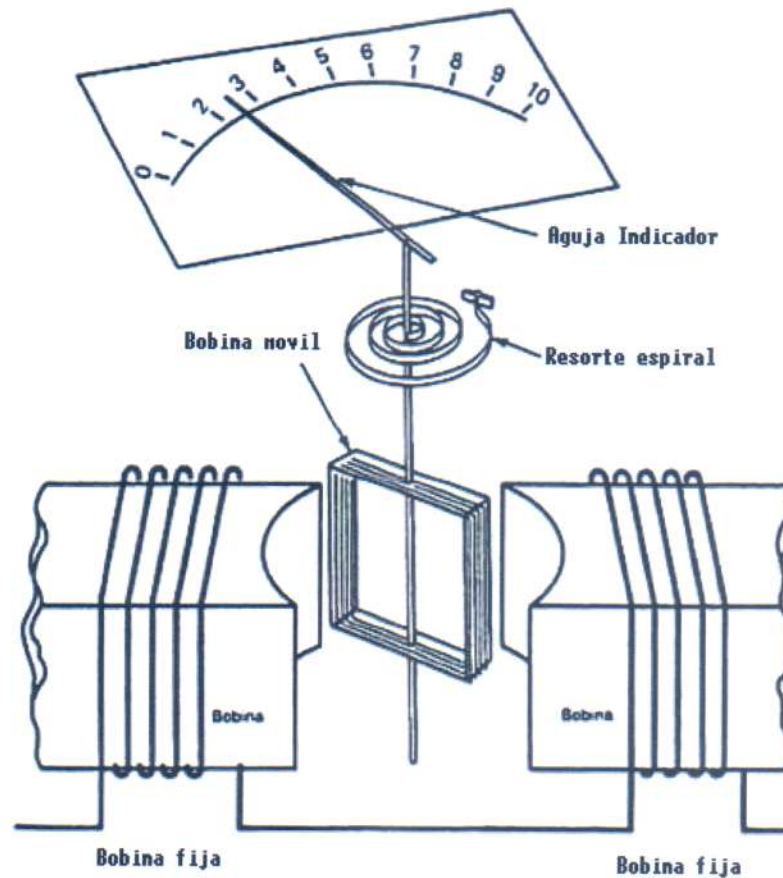


Figura 3.3: Diagrama de instrumento del tipo Electrodinámico [3]

Instrumentos Digitales

En los sistemas analógicos vistos hasta ahora, el resultado de la medición está dado por la posición del índice sobre la escala. En los instrumentos digitales el resultado aparece en un visor con sus cifras enteras, decimales, en caracteres arábigos y con la indicación de la unidad.

La función principal de un instrumento digital es convertir una señal analógica en su equivalente digital. Esta señal puede ser una tensión o corriente, tanto en continua como en alterna.

El proceso para cumplir con este objetivo se puede dividir en cuatro bloques funcionales a efectos de dar una explicación elemental de su funcionamiento.

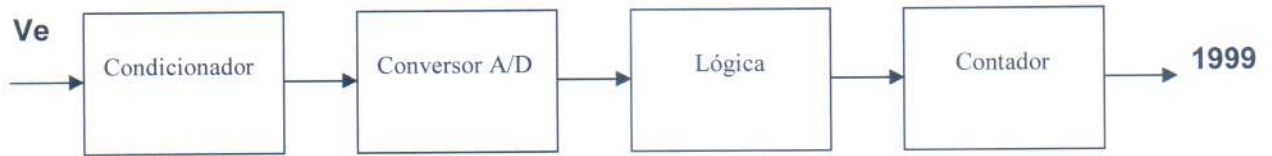


Figura 3.4: Diagrama en bloques del funcionamiento de un instrumento Digital

La señal de entrada debe pasar primero a través de un "condicionador" cuya misión es preajustar la tensión de entrada.

Si la señal de entrada es una tensión de corriente alterna, se utiliza un convertidor para cambiar la señal de corriente alterna a su valor equivalente en corriente continua.

En el funcionamiento como óhmetro, el instrumento se comporta como un generador de corriente constante, la tensión obtenida en bornes de la resistencia desconocida es analizada posteriormente por el conversor analógico-digital.

En todos los casos el "condicionador" es el que se encarga de convertir siempre el parámetro desconocido en una tensión de corriente continua que esté dentro del rango de operación del conversor analógico-digital.

La función de este último es por lo tanto tomar la tensión de corriente continua preajustada por el condicionador y convertirla en una señal digital. Estos son dispositivos electrónicos de c.c. de un solo rango y pueden llegar a administrar como señal máxima de 1 a 10V.

Por esta razón el condicionador de la señal de entrada debe atenuar las tensiones grandes y amplificar las pequeñas para darle al instrumento la selección de rangos adecuados.

Es de hacer notar que la resolución y exactitud de los conversores analógicos-digitales resultan de 10 a 100 veces mayor que los mejores instrumentos analógicos. Esto explica porqué el instrumento digital se ha convertido rápidamente en un instrumento de laboratorio.

El tercer bloque que llamamos "Lógica", es un bloque de comandos que se encarga de manejar el flujo de información en el tiempo adecuado, para asegurar que las funciones internas se lleven a cabo en el orden correcto.

Este bloque actúa como el comunicador con el exterior, manejando el flujo de salida de información digital y aceptando instrucciones de programación de otros dispositivos. Finalmente hay un "display" que es el encargado de comunicar visualmente el resultado de la medición. En la Figura 3.5 se visualiza un instrumento digital.

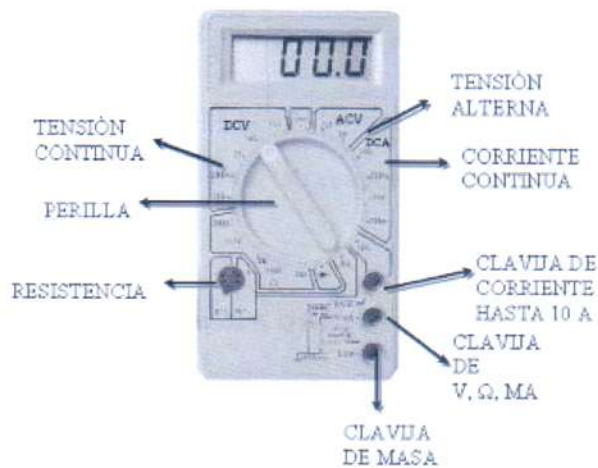


Figura 3.5: Fotografía de un Multímetro Digital

Ahora que dimos una introducción al tema de instrumentos y sus características podemos pasar a seleccionar los que vamos a utilizar en nuestro Banco de Ensayos. Estos se enuncian a continuación.

Voltímetro

Este nos dará lectura de la tensión de entrada o de red. Nos sirve para observar en el caso de que exista alguna anomalía en el servicio y ver por ejemplos si tenemos problemas de sobretensión o de baja tensión.

Como mencionamos anteriormente en función de la clase, disponibilidad en el mercado y costo económico, elegimos el siguiente Voltímetro:

- Hierro Móvil
- Clase 1,5
- Montaje perpendicular en tablero
- Tensión de trabajo 380 Vca
- Dimensiones: 96 x 96 mm

Amperímetro

De todos los instrumentos, el Amperímetro es el que cumple la función más importante. Por medio de él, obtendremos la lectura de la magnitud de corriente de ensayo, o sea, la intensidad que le apliquemos al objeto que queramos probar.

Cuando seleccionamos el modo con Autotransformador, la lectura será continua, es decir, a medida que aumentamos la manivela y por ende la tensión de salida del

Autotransformador, aumenta de manera proporcional la intensidad de corriente de ensayo, esto es, el valor de corriente aumenta de cero a la intensidad de ensayo prevista.

Este método nos permitirá inyectar al dispositivo en ensayo una determinada intensidad, múltiplo de la corriente de ajuste ($2I_{aj}$, $3I_{aj}$) la cual nos permitirá probar la respuesta de la protección ante una sobrecarga.

Debido al gran rango de intensidades de prueba, de 0 a 2000 A, vamos a realizar el montaje de dos amperímetros. Uno será analógico, o sea que veremos como defleca la aguja y el otro será digital. Ambos utilizarán el mismo TI (transformador de intensidad) que será de 2000/5 A.

Con esto se busca aumentar la precisión en las mediciones de muy bajos amperajes, donde el instrumento digital tiene un desenvolvimiento más efectivo gracias a su mayor clase. Ahora bien, para medir valores altos de corrientes en el caso de realizar una prueba de cortocircuito, donde el tiempo de duración es muy breve (instantáneo en algunos casos), suele ser mejor utilizar instrumentos analógicos donde un golpe de corriente hace mover la aguja de manera instantánea.

Al igual que para la selección del Voltímetro, en el caso del Amperímetro se repite el mismo criterio de selección:

En consecuencia elegimos el siguiente Amperímetro a Aguja:

- Hierro Móvil
- Clase 1,5
- Montaje perpendicular en tablero
- Dimensiones: 96 x 96 mm
- Escala: 0 a 2000 A
- Relación: 2000/5

El Amperímetro Digital será:

- Amperímetro Digital
- Clase 1,5
- Montaje perpendicular en tablero
- Dimensiones: 96 x 96 mm
- Escala: 0 a 2000 A
- Relación: 2000/5

Como mencionamos anteriormente ambos trabajarán a través de un transformador de intensidad (TI) de relación 2000/5, conectados en serie.

El TI puede ser del tipo barra pasante o con orificio en el centro y estará alojado a la salida de las barras del transformador principal. El mismo quedaría alojado dentro del gabinete.

miliVoltímetro

Por último incluiremos un milivoltímetro para indicar la tensión de contacto. El mismo irá conectado en paralelo con la carga o sea, a la salida del transformador principal. En caso de que los contactos de la protección posean una alta resistencia de contacto, sobre todo para los interruptores o seccionadores de gran potencia, este instrumento nos ayudará a determinar las características incluso después de realizado un mantenimiento de dichos contactos.

Las características del mismo serán:

- Hierro Móvil
- Clase 1,5
- Montaje perpendicular en tablero
- Tensión de trabajo 0 a 100 mV
- Dimensiones: 96 x 96 mm

Referencias del capítulo

- [1] Laboratorio de instrumentación básica. Laura Sandino Perdomo, Samir Medina Perlaza.
- [2] Curso de Metrología y Normalización. I.T. de Agua Prieta. www.itap.edu.mx
- [3] Fundamentos de la Electricidad. Junio 2014. www.electricidadipl.blogspot.com.ar

CAPITULO 4: COMPONENTES Y ACCESORIOS DEL BE

Habiendo ya calculado el Transformador Principal y elegido los instrumentos a utilizar, procederemos a continuación a seleccionar el resto de los elementos que componen el Banco de Ensayos (BE). Con esto nos estamos refiriendo a: el gabinete, las barras de salida del Transformador Principal donde conectaremos los elementos a ensayar, los contactores encargados de realizar las maniobras de alimentación del Transformador Principal, etc.

Luego de clasificar los componentes más importantes, éstos junto con todos los componentes que conforman el BE, podremos verlos en la lista de materiales al final de este capítulo donde se detallan algunas características más como por ejemplo, marca, modelo, etc. Las conexiones de cada elemento se visualizan claramente en los planos de los circuitos eléctricos que se presentan más adelante.

BARRAS

Son las encargadas de transferir la intensidad del bobinado secundario del Transformador Principal a la carga o elemento de ensayo. Estas serán de cobre (Cu) de dimensiones normalizadas y de amplia variedad en el mercado.

Recordemos que las bobinas del secundario del Transformador Principal son de 500x5 mm, por lo tanto las barras colectoras no pueden ser de menor sección. El Transformador estará alojado en el interior del gabinete, por lo tanto las barras deben salir hacia el exterior con una longitud considerable que permita conectar fácilmente los elementos a probar.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, seleccionamos barras de Cu de 100x10 mm. Esto además de cumplir con las necesidades antes mencionadas, nos dará una buena rigidez mecánica a la hora de tener que hacer conexiones para probar interruptores de gran porte que en algunos casos pueden superar los 50 kg.

Es importante tener en cuenta que al ensayar interruptores grandes debe ser necesario contar con barras de Cu auxiliares ya que rara vez puedan llegar a coincidir los bornes de la llave con los orificios de las barras colectoras.

Para una mejor comprensión en las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3 podemos apreciar el Transformador Principal con las barras de Cu, allí se muestran en los extremos de las barras los orificios donde irían conectados los elementos a ensayar. También vemos como saldrían del gabinete ya que este se esquematizó con un sombreado. Es importante notar que el Transformador junto con las barras ocupan el fondo del gabinete (en cuanto a profundidad), dejando la mitad de adelante para el montaje del resto de los elementos que irían en una bandeja.

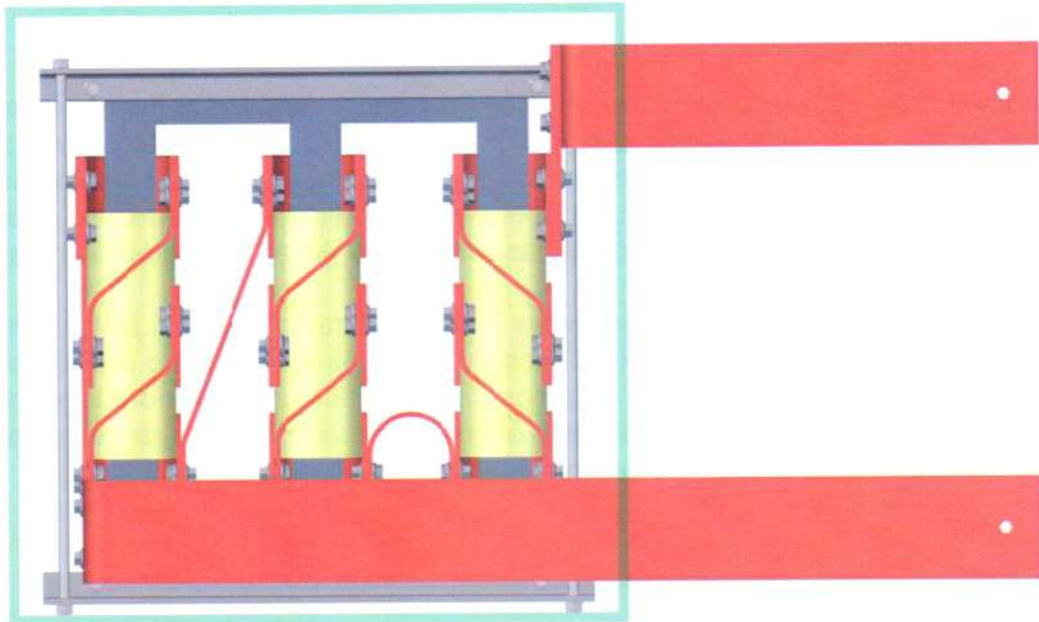


Figura 4.1: Vista frontal del Transformador Principal con las barras, el recuadro exterior sería el gabinete del BE.

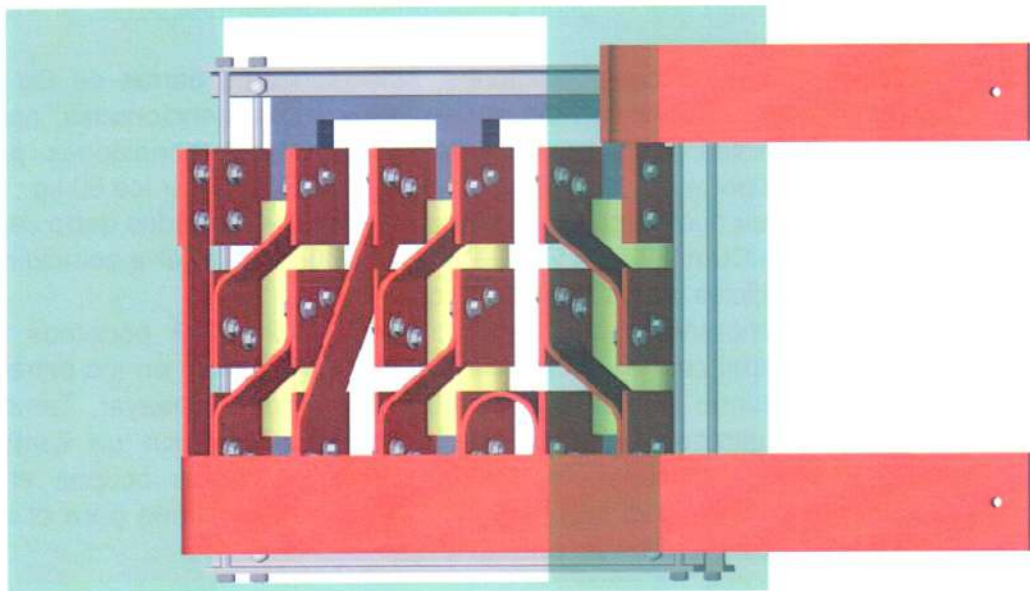


Figura 4.2: Vista en perspectiva del Transformador Principal con las barras, el recuadro exterior sería el gabinete del BE.

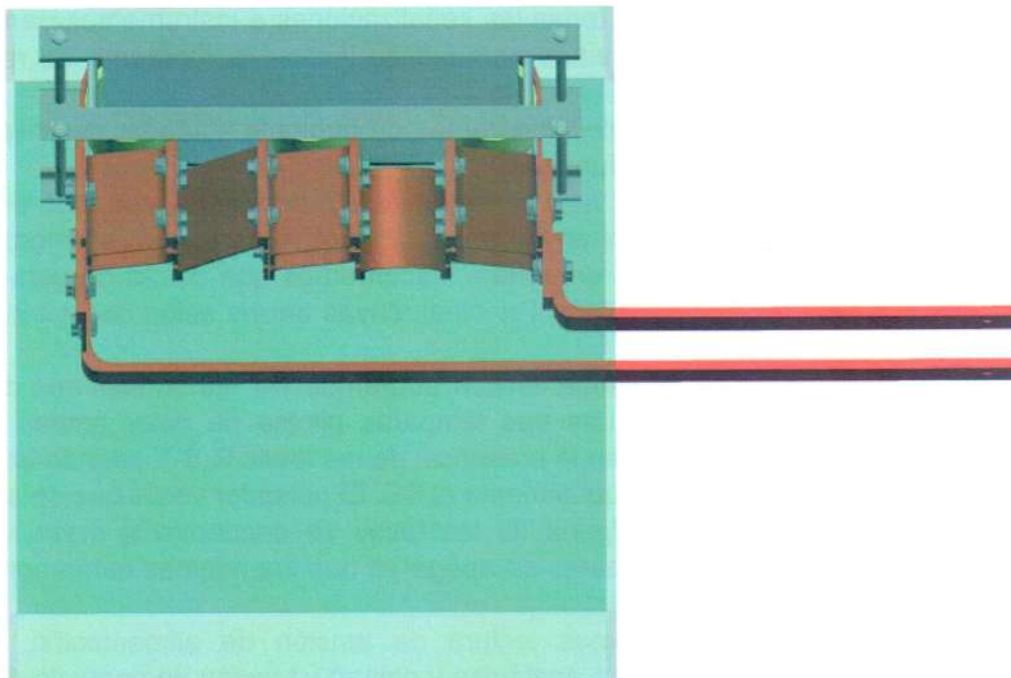


Figura 4.3: Vista superior en perspectiva del Transformador Principal con las barras, aquí se aprecia que el conjunto ocupa el fondo del gabinete

AUTOTRANSFORMADOR

El mismo debe ser trifásico y debe poder entregar los casi 14 A que solicita el bobinado primario del Transformador Principal. Recordemos que el usuario puede elegir por medio de dos botoneras (de puesta en marcha) si desea alimentar de manera directa para pruebas de cortocircuito, o por medio del Autotransformador para pruebas de sobrecarga. Para ello la maniobra la realizaremos con dos contactores trifásicos que alimentarán al Transformador. Los esquemas de conexiones de los mismos se pueden ver en detalle más adelante en los planos.

GABINETE

Ya contando con las dimensiones de los elementos principales que serán parte del equipo, debemos elegir el gabinete que alojará a todos ellos. Por lo tanto la capacidad de éste debe ser tal que permita incluir el Transformador Principal, los contactores de maniobra, la Termomagnética tetrapolar que alimenta al equipo, los portafusibles, etc.,

pero además debemos colocar todas las señalizaciones e instrumentos de medición en la puerta, de manera que podamos apreciar su lectura al momento de realizar cada ensayo.

Dadas estas características, seleccionaremos un gabinete estándar de chapa de 600 x 600 x 600 mm (alto, ancho, profundidad).

En la Figura 4.4 podemos ver la vista de frente del BE terminado, con todo el montaje de los elementos que lo componen y en la Figura 4.5 vemos el montaje de los componentes sobre la bandeja del fondo. Recordemos que detrás de esta bandeja se encuentra alojado el Transformador Principal, cuyas barras salen del gabinete por dos orificios laterales.

En los planos funcionales y esquemáticos podremos ver las conexiones de todos los elementos aquí presentados. Las tres lámparas pilotos de color ámbar en la parte superior de la puerta, nos indican la presencia de las fases R-S-T cuando levantamos la perilla de la Termomagnética que alimenta el BE. El pulsador verde que se aloja debajo, nos indica al presionarlo si alguna de las fases se encuentra a masa, esto ocurre cuando alguna de las tres lámparas se apaga ya que las mismas están conectadas en estrella.

Con los instrumentos tomaremos lectura de tensión de alimentación del equipo, corrientes de ensayo (de manera analógica y digital) y tensión de contacto del elemento a ensayar.

Las botoneras son las encargadas de comandar los contactores de maniobra que nos permitirán alimentar el Transformador Principal, de forma directa o a través del Autotransformador. Y finalmente abajo a la derecha tenemos varias borneras para conectar relés, bobinas o motorizaciones que traen en muchos casos los interruptores, sobre todo los de gran calibre.

En el interior del gabinete vemos la Termomagnética tetrapolar de calibre 4X20 A, que alimenta al BE y a su derecha los portafusibles que protegen a los instrumentos, a las lámparas y a al circuito de maniobra de los contactores. El orden de los mismos respeta la numeración de los planos.

A la derecha de los portafusibles tenemos una Termomagnética tripolar de 3x6 A. Esta es para proteger las borneras de la puerta y el transformador auxiliar. Luego más abajo encontramos a los contactores trifásicos y a su derecha tres borneras para conectar las tres fases del bobinado primario del Transformador Principal.

Por último, abajo derecha se encuentra el transformador auxiliar y debajo de éste tenemos el puente rectificador de 12 Vcc y de 24 Vcc, ambos para alimentar las borneras de corriente continua de la puerta.

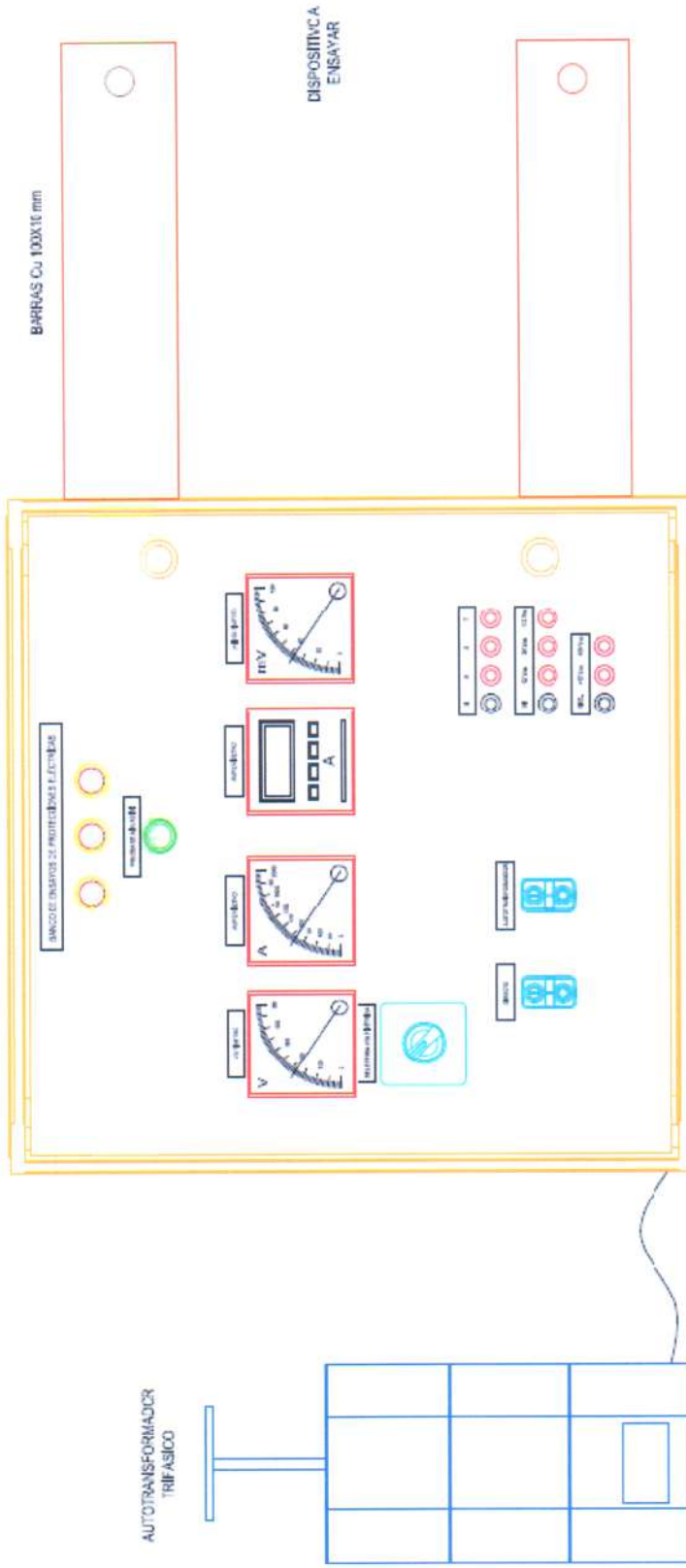


Figura 4.4: Vista frontal del Banco de Ensayos (BE), a la izquierda se aprecia el Autotransformador trifásico y a la derecha se extienden las barras de cobre donde se conectan los dispositivos a ensayar

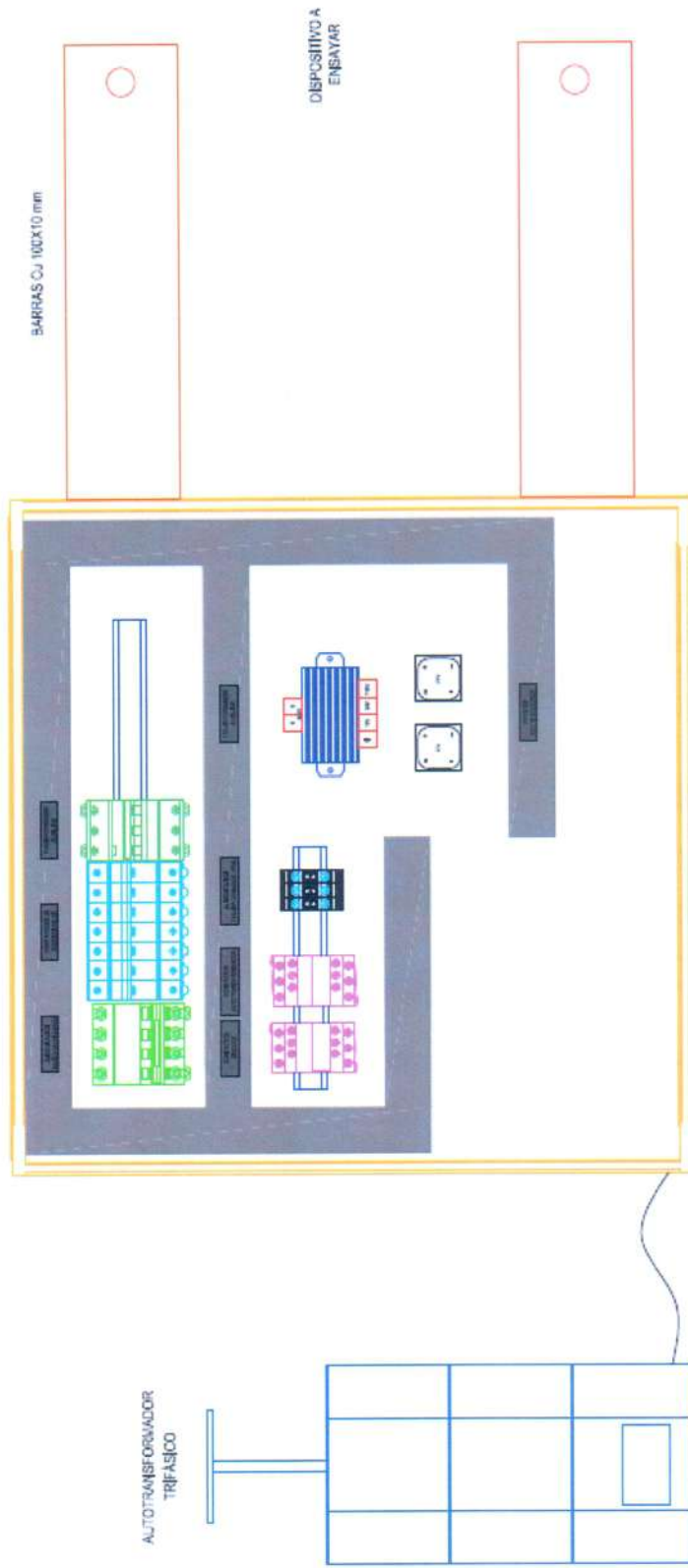


Figura 4.5: Vista frontal del Banco de Ensayos (BE), en este caso vemos el montaje de los componentes del interior del gabinete.

A continuación presentamos la lista completa de materiales con sus principales características, marca, modelo y la cantidad.

NOMBRE	MARCA	MODELO	CANTIDAD
INSTRUMENTOS			
VOLTÍMETRO 0-500 V	96x96	CIRCUTOR	1
AMPERÍMETRO 0-2000A /5A	96x96	CIRCUTOR	1
AMPERÍMETRO DIGITAL /5A	96x96	CIRCUTOR DC72B A	1
miliVOLTÍMETRO 0-100 mV	96x96	CIRCUTOR	1
INTERRUPTORES			
TERMOMAGNETICA TETRAPOLAR	20A	SCHNEIDER C 60N	1
TERMOMAGNETICA TRIPOLAR	6A	SCHNEIDER C 60N	1
CONTACTOR	SCHNEIDER	LC1D18 M7	2
MATERIALES GENERAL			
GABINETE MODULAR	600X600X600 mm	TALEMEC	1
TI SOBRE BARRA	2000 / 5 A	CIRCUTOR TC4	1
SOPORTE PARA TI		CIRCUTOR	1
BOTONERA DOBLE C/LED 220V		SCHNEIDER	2
PULSADOR RASANTE VERDE		SCHNEIDER	1
LUZ PILOTO 220V 22mm AMBAR		SCHNEIDER	3
CONMUTADORA VOLTIMÉTRICA		VEFBEN	1
PORTAFUSIBLE SECCIONABLE		ZOLODA 8x31	7
FUSIBLE CERÁMICA 2A		ZOLODA	7
BORNES PARA PUERTA 10mm		ZOLODA	11
PUENTE DE DIODOS 12Vcc			1
PUENTE DE DIODOS 24Vcc			1
BARRA DE COBRE		100x10 mm	2m
MTR CABLE UNIPOLAR 1 mm ²		PRYSMIAN	40m
MTR CABLE UNIPOLAR 2,5 mm ²		PRYSMIAN	4m
MTR CABLE UNIPOLAR 4 mm ²		PRYSMIAN	10m
MTR CABLECANAL RANURADO 40X70		ZOLODA	3m
MTR RIEL DIN		ZOLODA	1
MTR CINTA HELECOIDAL 1/4			2
MTR CINTA HELECOIDAL 1/2			2
GRAMPA ADHESIVA		ZOLODA	10
PRECINTO ALT Nº1		HELLERMANN	20
PRECINTO ALT Nº2		HELLERMANN	20
TERMINAL PREAISLADO			30
NUMERO DE IDENTIFICACION		ZOLODA	25
BULONERÍA			
TORNILLO AUTOPERFORANTE			25
MTR VARILLA ROSCADA 3/8			1
TUERCA GALV 3/8			20
PLANA GALV 3/8			10
TRANSFORMADOR 10kVA			1
TRANSFORMADOR DE SALIDAS MÚLTIPLES 200VA			1
AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO 0 A 431V			1

CAPITULO 5: PROCEDIMIENTO DE UTILIZACIÓN DEL BE

A continuación, mencionaremos los pasos a seguir para realizar de manera correcta y segura ensayos de cortocircuito, de sobrecarga o ambos según las características del dispositivo a ensayar, utilizando el Banco de Ensayos (BE).

Antes de comenzar debemos aclarar que las barras de salida del BE, trabajan con una tensión como máximo de 5 Vca (imperceptible a la sensibilidad de una persona), además los componentes que conforman el equipo están contruidos bajo estrictas normas de seguridad. Pero en los bornes de tensión de la puerta, como así también en el interior del gabinete donde están alojados los componentes, existen riesgos de electrocución, por lo tanto el equipo debe ser operado por personal idóneo que conozca los riesgos que implica trabajar con corriente eléctrica.

El procedimiento para realizar un ensayo es muy sencillo. Se debe inyectar un múltiplo de la corriente de ajuste o de la corriente nominal, en caso de protecciones con valores fijos, y tomar el tiempo que demora esa protección en cambiar de estado.

Con el valor de la corriente de ensayo y el tiempo que demoró en “actuar” la protección, se debe contrastar con la curva “tiempo vs corriente”, que nos proporciona el fabricante para ese dispositivo.

Si el tiempo que demoró la protección en “actuar”, se encuentra entre los márgenes indicados en la curva, se considera que la protección funciona correctamente. En caso contrario el dispositivo debe ser reemplazado.

Al levantar el interruptor termomagnético tetrapolar del interior del BE, veremos que las tres luces piloto de color ámbar se encienden, indicando que el BE está alimentado.

Las tres lámparas señalan la presencia de R-S y T respectivamente y debajo de ellas encontramos un pulsador verde que al presionarlo podremos verificar el estado de aislación de la entrada trifásica si el operador así lo deseara. De modo que si al pulsar, alguna de las lámparas se apaga, es indicio de que esa fase posee un defecto de aislación en algún punto y se puso a masa, con el riesgo que esto conlleva.

Con la selectora voltimétrica que se encuentra debajo del Voltímetro de la puerta, podremos tomar lectura de las magnitudes de las tensiones de línea que alimentan al BE, las cuales provienen de la red de 3x380V + N.

Una vez alimentado el equipo se procede al montaje del dispositivo a ensayar. Se debe vincular los contactos principales del mismo a las barras de salida del BE por donde circulará la corriente de ensayo.

La vinculación debe realizarse por medio de cables o barras de cobre los cuales se seleccionarán en función de las dimensiones y las características constructivas de los dispositivos. En caso de utilizar cables, estos deben contar con terminales en sus extremos para una correcta fijación.

Las uniones de los terminales de los cables o entre barras se realizarán con la ayuda de bulones con tuercas y arandelas. El tamaño de los mismos aumentará en función del tamaño de los terminales.

En todas las uniones se debe tratar de minimizar la resistencia de contacto, la cual disminuye con el aumento de la tensión de contacto, debido a la presión del tornillo, y con el aumento de la superficie de contacto.

Por lo tanto las superficies deben ser lo suficientemente lisas y estar exentas de pintura, grasas o de cualquier impureza que impida una buena junta. Si la unión no es buena tendremos elevación de temperatura, perdidas y aumento de la resistencia de contacto y eso se traslada a aumento del error en la medición.

Recordemos que el BE tiene la capacidad de entregar corriente en un rango de 0 a 2000 A y en este rango entran una variedad muy amplia de protecciones. Por ende el uso de cables, barras, terminales, borneras, etc., es lo que hace flexible al BE para ensayar desde una simple Térmica de uso domiciliario o un relevo térmico de unos pocos amperios, hasta interruptores industriales de potencia.

Debemos tener en cuenta que los dispositivos pueden ser unipolares, bipolares, tripolares y hasta tetrapolares, pero el ensayo es unipolar. De manera que si el dispositivo es de naturaleza tripolar, se realizará el montaje y prueba para el primer polo, luego para el segundo y por último para el tercero.

Una vez realizado el montaje de la protección se debe contar con un cronómetro para registrar el tiempo de apertura o el cambio de estado para el caso de los relés térmicos. A través de las botoneras dobles indicadas como DIRECTO y AUTOTRANSFORMADOR, tenemos dos formas de inyectar corriente. En el primer caso y como su nombre lo indica estaremos alimentando el transformador principal de manera directa con la red. Por lo tanto tendremos una magnitud de corriente alta que rondará los 1700 A, dependiendo de la resistencia de contacto del dispositivo a ensayar y sin regulación alguna. Esta maniobra está diseñada para realizar ensayos de cortocircuito donde son necesarios altos impulsos de corriente durante un breve período de tiempo.

Si pulsamos la botonera AUTOTRANSFORMADOR estaremos alimentando el transformador principal por medio del autotransformador de salida variable y el cual nos permite regular de manera continua la circulación de corriente por el dispositivo en ensayo. De esta manera podremos ir aumentando la intensidad de manera gradual hasta llegar al valor de corriente deseado, generalmente un múltiplo de la corriente de ajuste de la protección.

Una vez alcanzado el valor de corriente deseado, se debe presionar el cronómetro y comenzar a contar el tiempo que demora la protección en actuar.

Luego que la protección se disparó y detuvimos el cronómetro, debemos pulsar el botón rojo de desconexión de la botonera según, estemos utilizando el modo DIRECTO o AUTOTRANSFORMADOR. Ambas botoneras cuentan con indicación luminosa que señala en qué modo está trabajando y nos permiten operar sobre dos contactores que alimentan al Transformador Principal. Estos se encuentran enclavados entre sí, de manera que si se está operando en un modo y accidentalmente se presiona la otra botonera, no corremos el riesgo de que se dispare la corriente a un valor indeseado.

Finalizado el ensayo de todos los polos de la protección y registradas las magnitudes de corriente inyectadas y los tiempos de apertura de cada polo, se puede dar por culminada la prueba. Ahora solo queda verificar que los datos obtenidos concuerden con las curvas de los catálogos u hojas de datos.

En los casos que no se consigan las curvas para un dispositivo, o por el contrario, que no sean apreciables las características o el modelo del mismo, quedará a criterio del técnico o ingeniero que realice el ensayo la aprobación o no de la prueba. Esto será determinado en base a la experiencia de la persona y el uso que tiene dicha protección.

No debemos olvidar que además de funcionar correctamente los dispositivos deben encontrarse en su total integridad física, limpios y en buen estado para tener una elevada seguridad al operarlos.

CAPITULO 6: DESGASTE EN CONTACTOS ELÉCTRICOS

A continuación haremos una pequeña introducción teórica hacia el Desgaste en Contactos Eléctricos, principalmente para interruptores de gran calibre que son los que a nosotros más nos interesan.

Con esto se busca familiarizar a la persona que opere el Banco de Ensayos (BE) con los distintos mecanismos de degradación que actúan sobre los contactos principales de las protecciones que se ensayan. La idea es que de esta manera el técnico o ingeniero pueda evaluar si los contactos se encuentran en buen estado, si se les debe realizar un mantenimiento, o directamente realizar un cambio del dispositivo.

Como ya hemos mencionado anteriormente, el acceso a los contactos se permite solo en el caso de interruptores o seccionadores generalmente de calibres medios y grandes, por lo tanto, para el caso de Termomagnéticas de uso domiciliario, relevos térmicos o Guardamotors, no será posible realizar mantenimiento sobre los contactos, por ende el técnico deberá evaluar el estado de estos, solo en función del ensayo del BE.

CONTACTO ELÉCTRICO

Un contacto eléctrico confiable, se define como una interfase mecánica entre dos superficies unidas, la cual posee una resistencia de contacto eléctrica baja y estable, durante su vida en servicio. Sin embargo, en muchas aplicaciones esta interfase representa uno de los puntos más débiles en términos de confiabilidad eléctrica y una falla puede tener graves consecuencias.

El diseño de contactos eléctricos incluye una variedad de aplicaciones. Desde pequeñas unidades usadas para comandar bajas corrientes, como en el caso de los relés utilizados en electrónica, hasta grandes contactos que operan en circuitos con altas corrientes para transmisión y distribución de la energía eléctrica.[1]

En este caso, estudiaremos el comportamiento y las causas que generan desgaste en contactos eléctricos de interruptores.

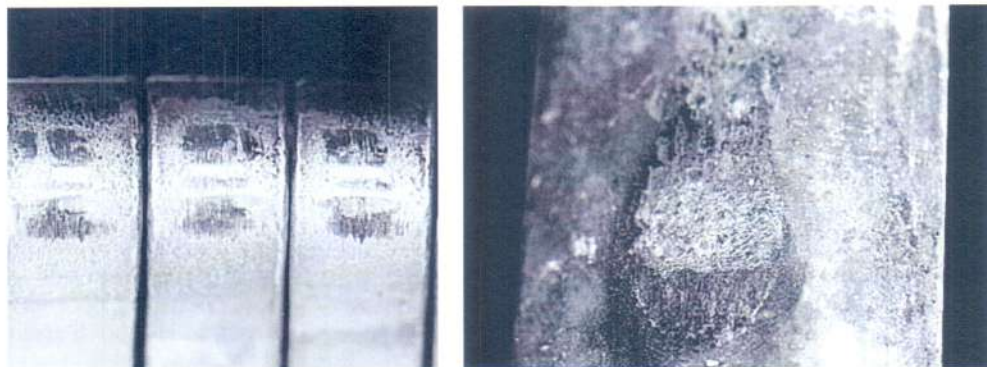


Figura 6.1: Desgaste en contactos principales de un interruptor de 1200 A [1]

La primera función de un contacto de potencia es transmitir energía eléctrica y por lo tanto la resistencia de contacto debe ser lo más baja posible, para minimizar las pérdidas energéticas. Generalmente la resistencia es del orden de los $\mu\Omega$ (microohms).

CONDICIONES DE TRABAJO Y CAUSAS DE FALLAS

El funcionamiento de los contactos depende de la presencia de diferentes mecanismos de desgaste interactuando. Las principales causas que los generan son: la carga eléctrica, las condiciones ambientales y movimientos de interfase.

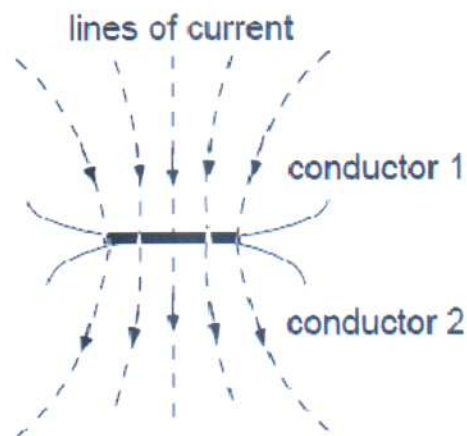


Figura 6.2: Circulación de corriente en la junta de dos contactos [2]

Carga eléctrica

La corriente puede estar caracterizada por su tipo (AC o DC) y su magnitud. Los contactos no deben estar diseñados solamente para soportar la corriente de carga, sino también para soportar corrientes de sobrecarga y corrientes de cortocircuito. La degradación de los contactos eléctricos debido a la corriente, puede estar dividida en mecanismos causados por el transporte de electrones y mecanismos activados térmicamente. Un ejemplo del primer tipo de mecanismo es la electromigración de estado sólido, que ocurre a altas densidades de corriente. Los mecanismos activados térmicamente incluyen difusión y formación de componentes intermetálicos. También la fusión del material en la región de contacto puede ser causada por calentamiento resistivo.

Condiciones ambientales

El ambiente de servicio en el cual se encuentra el contacto está caracterizado por la humedad, temperatura y contenido de gases agresivos. Puede variar de condiciones no corrosivas a severamente corrosivas. Los contactos pueden también encontrarse en atmósferas especiales, como los seccionadores que trabajan en hexafluoruro de azufre (SF_6). Solo bajo condiciones de alto vacío o atmósferas de gases inertes, la influencia química puede no tenerse en cuenta.

La formación de películas aislantes y productos corrosivos lleva a la inestabilidad y finalmente incrementa la resistencia de contacto. Ambos procesos (electroquímico y corrosión seca) son importantes. En los procesos electroquímicos, la capa y su substrato actúan como ánodo y cátodo, respectivamente. Monocapas de moléculas de agua depositadas en la superficie metálica, y contaminantes forman el electrolito. También los procesos de corrosión seca, como la formación de películas debido a la exposición al oxígeno o sulfuros afectan la posibilidad de obtener y mantener una baja resistencia de contacto.

Movimientos de interfase

En la interfase de contacto pueden ocurrir algunos movimientos relativos. La amplitud y frecuencia del movimiento pueden variar en un amplio rango. La corriente alterna de 50 Hz introduce vibraciones de 100 Hz en un rango de μm (micrones). Tensiones térmicas causadas por diferentes expansiones térmicas en diferentes partes del contacto, gradientes de temperatura o cargas cíclicas de corriente, resultan en movimientos en el rango desde los μm a los mm, a veces debido a variaciones de temperatura entre el día y la noche. Al conectar o desconectar un contacto se producen movimientos en el rango de los cm, de uno a cientos de veces durante la vida del contacto. En la práctica, varios movimientos simultáneos de diferentes frecuencias, amplitudes y direcciones toman lugar en la interfase de contacto.

Los movimientos de la interfase pueden causar desgaste y deformación de las áreas de contacto.

El grado de desgaste depende de las tensiones mecánicas, térmicas y químicas aplicadas al sistema, como también de la elección de los materiales de contacto.

DISEÑO DEL CONTACTO

Geometría del contacto y carga normal

El objetivo del diseño del contacto es maximizar el área de conducción del contacto y de este modo promover una resistencia estable a la interfase del contacto. La combinación de las propiedades del material, la carga normal (de contacto) y la geometría determinan el tamaño del área de contacto y la distribución de tensiones en dicha área.

Dado que se necesita una presión crítica para fracturar y penetrar la película de óxido o de corrosión, la fuerza normal y la geometría del contacto deben ser elegidas cuidadosamente. Con superficies planas son necesarias muy altas fuerzas normales para alcanzar la presión de fractura crítica de la película. Esto puede resultar en muy altas fuerzas de unión y separación, y también en un desgaste severo. Con geometrías de contacto agudas (filosas) la presión crítica para la fractura de la película se alcanza a fuerzas normales relativamente bajas, pero el área de contacto resultante sería demasiado pequeña. [3]

Materiales utilizados en contactos de potencia

La región de contacto activa de un contacto eléctrico puede estar dividida en tres partes, el sustrato, la capa cobradora y la superficie. La combinación de los materiales de contacto es crítica para su total integridad y costo.

El material sustrato se selecciona en base a una buena conductividad eléctrica y térmica, buenas propiedades mecánicas y de fabricación por bajo costo. El cobre y sus aleaciones predominan en los sistemas de contactos de interruptores. Es muy extraño encontrar contactos de aluminio, que si bien tiene menor peso y costo, posee muy malas propiedades mecánicas.

Hay básicamente dos razones para utilizar recubrimientos: menor resistencia de contacto y protección a la corrosión. Los materiales en el sistema de la superficie cobradora son seleccionados con una relación de compromiso entre la resistencia al ataque químico, la dureza para resistir el desgaste y la ductilidad para obtener un gran área de contacto. Las propiedades mayormente requeridas son una alta conductividad eléctrica y térmica.

El contacto metálico entre superficies de contactos que se separan es usualmente obtenido usando metales nobles. Los contactos de potencia son generalmente electrodepositados con plata. Los recubrimientos de estaño se usan como una alternativa por su bajo costo y sus buenas propiedades a la corrosión en ambientes con altos niveles de sulfuro. Sin embargo, el estaño es muy sensible a la corrosión por Fretting (el Fretting se define más adelante) y debe ser anulado en contactos sujetos a vibraciones.

Para retardar la difusión entre el sustrato y el recubrimiento, puede ser usada una capa intermedia de níquel. El níquel forma un óxido pasivo en la base de los sitios

porosos en la capa superior. Esta capa puede también incrementar la resistencia al desgaste del contacto.

Resistencia de contacto

Cuando los contactos están cerrados y la corriente está circulando por ellos, las superficies reales que conducen la corriente son sólo una pequeña proporción de la superficie de contacto total, como se ilustra en la Figura 6.3.

Las partes de la superficie en contacto son metálicas y conductoras, pero estas no conducen bien en los casos donde se genera una película superficial aislante o se depositen partículas aislantes sobre los contactos. El área de contacto depende de la fuerza con la que los contactos son presionados simultáneamente. Esta es la causa por la cual la resistencia de contacto de la junta es por lo general mucho mayor que la resistencia del contacto de metal en sí, y por qué la resistencia de contacto es más dependiente de la fuerza entre contactos y del estado de la superficie, que en el tamaño de los contactos.

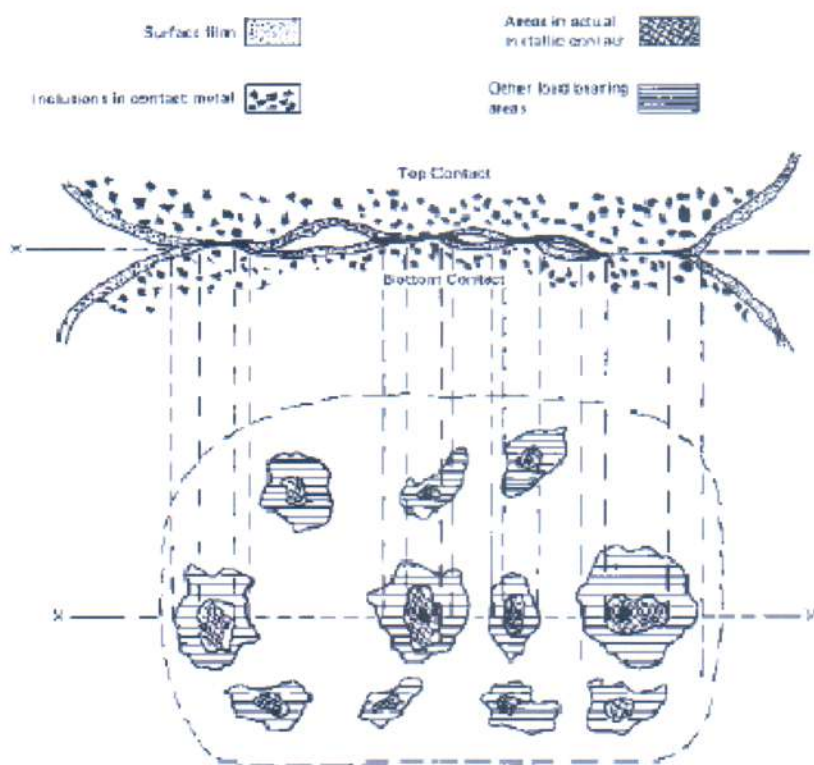


Figura 6.3: Superficie de contacto [4]

Holm [5], en su famoso libro de contactos eléctricos, deriva la relación entre la resistencia de contacto del estrechamiento, dureza del contacto y fuerza de contacto, de la forma general:

$$R = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\pi H}{P}}$$

Donde

R: resistencia de contacto

ρ : resistividad del material

H: dureza del material

P: presión de contacto

Debido al pequeño número de puntos que están en contacto y su reducido tamaño, la densidad de corriente en los puntos es grande en comparación con la corriente que fluye en el circuito, esto influye en el comportamiento de los contactos con respecto al aumento de temperatura, la erosión, la soldadura, así como la resistencia de contacto. El orden de importancia de estas propiedades es diferente para distintos tipos de contactos, como se muestra a continuación y esto determina el uso de diferentes materiales para estas aplicaciones.

Alta resistencia de contacto da lugar a un aumento de temperatura, lo que limita la capacidad de conducir corriente de los contactos.

Si la fuerza de contacto se aumenta para incrementar el área de contacto y a su vez reducir el aumento de temperatura, esto puede traer aparejado un desgaste de contacto mayor. También será necesario un robusto mecanismo de maniobra en el interruptor, lo que aumentará el tamaño y el precio del aparato. Si el dispositivo es un contactor, esto requeriría una bobina más potente, desperdiciando energía eléctrica.

Otra manera de reducir la resistencia de contacto es a través del uso de materiales que producen buen contacto metálico con fuerza de contacto moderada, o el diseño de sistemas de contacto para dar una eficaz acción de limpieza cuando los contactos se unen. Por ejemplo, la menor dureza del cobre y la plata significa que los contactos que se enfrentan con estos materiales necesitan menores fuerzas de contacto.

La baja resistencia de contacto es particularmente importante para los dispositivos donde los contactos pueden permanecer cerrados y atravesados por grandes corrientes durante largos períodos.

Los contactos de cobre tienen la ventaja de que su económico precio les permite ser más grandes, de esta manera pueden ser utilizadas grandes fuerzas de. El aumento de temperatura también es bajo, debido a la alta capacidad térmica y buena conductividad. Las películas de óxido y productos de corrosión en las superficies en contacto reducen el área de contacto real y aumenta la resistencia de contacto. Esto provoca un sobrecalentamiento que a su vez acelera la velocidad de oxidación y el ataque. Los contactos de cobre están cubiertos por las películas de óxido, formadas por el proceso de arco, o por otras causas. Esto puede dar lugar a la oxidación fuera de control, lo que puede muy rápidamente arruinar un par de contactos de cobre y causar una rápida escalada de aumento de temperatura. Como ya mencionamos, una capa de plata por lo general resuelve este problema pero, si es objeto de ataques del medio ambiente se forman compuestos de plata en la superficie. Sin embargo generalmente estos compuestos de plata tienden a descomponerse bajo la acción del propio calentamiento con una resistencia de contacto temporaria alta, y restaurar la resistencia de contacto de nuevo a un nivel bajo.

Los lubricantes de contactos pueden ser utilizados para protegerlos contra los ataques externos, pero deben ser adecuadamente aplicados. En general son eficaces en los contactos que no están obligados a interrumpir con frecuencia en corrientes moderadamente altas. Los efectos ambientales pueden ser peligrosos para los contactos que deben operar de manera confiable en cualquier instante (por ejemplo, señales de ferrocarril) o por largos períodos (contactos inaccesibles), o los que controlan complicados dispositivos automáticos (relés o interruptores de mando).

MECANISMOS DE DEGRADACIÓN EN CONTACTOS

Erosión del arco y transferencia de metal

La corriente debe atravesar la junta entre dos contactos independientes y esta se hace cada vez más concentrada en los puntos o pequeñas áreas de contacto real. En estos puntos la densidad de corriente es suficiente para causar fusiones locales y la formación de un puente fundido a través de los contactos.

En estos puntos se produce una erosión debido al arco y la transferencia de metal se produce debido a la polaridad de los contactos, como se ilustra en la Figura 6.4. Este tipo de daño en el contacto con pérdidas de metal es especialmente importante cuando se trata de dispositivos que realizan un gran número de operaciones de conmutación durante su vida, por ejemplo en el caso de maniobras de arranque de motores o contactos de control.

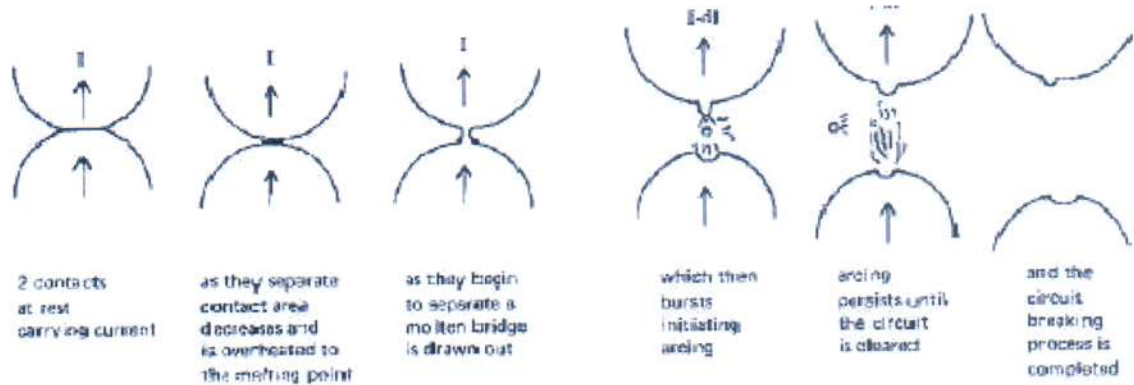


Figura 6.4: Proceso de apertura de contacto con transferencia de metal [4]

Soldadura

La soldadura de los contactos puede surgir de dos maneras. En primer lugar la “soldadura dinámica” puede ocurrir cuando los contactos rebotan, ya que estos cierran bajo carga. El arco así generado produce charcos de metal líquido en los puntos de contacto y por lo tanto estos se unen para formar un área de soldadura cuando estos finalmente se cierran, como se muestra en la Figura 6.5.

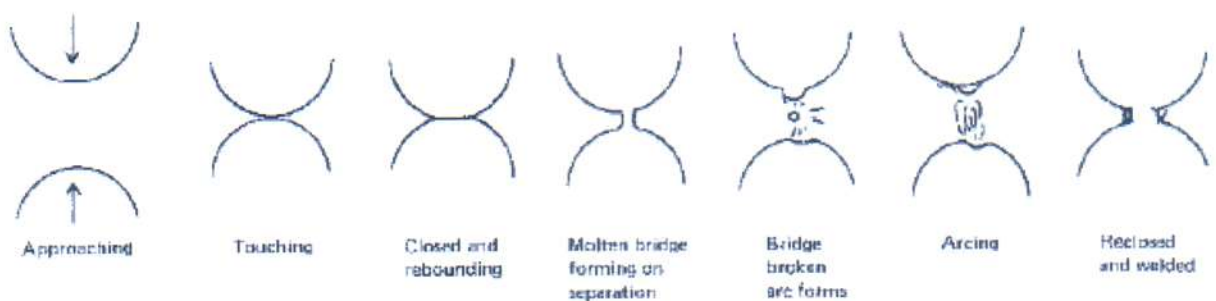


Figura 6.5: Ilustración de los procesos que conducen a la soldadura dinámica debido al rebote de los contactos [4]

En segundo lugar, la “soldadura estática” se produce cuando un breve impulso de una gran corriente pasa a través de un par de contactos cerrados, como puede ser una corriente de cortocircuito. La alta energía concentrada en una pequeña área de contacto provoca fusiones locales la cual puede llegar en algunos casos a la soldadura completa de los contactos. Figura 6.6.

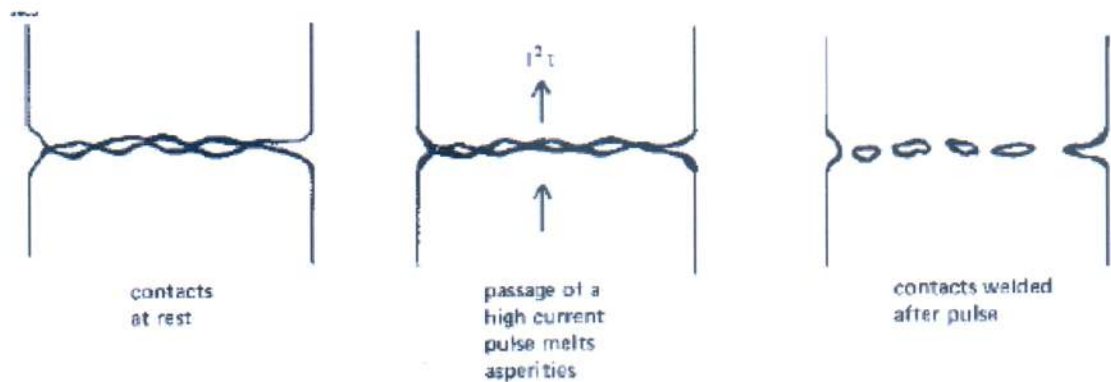


Figura 6.6: Soldadura estática de los contactos cerrados [4]

Oxidación

La oxidación es un proceso químico que aumenta el contenido de oxígeno de un metal base y como resultado la base del metal o radical pierde electrones. La oxidación de los contactos metal-metal dentro de la interfaz de contacto es ampliamente aceptada como el mecanismo de degradación más grave que ocurre en los contactos y conectores mecánicos. En el caso de los contactos de aluminio, en general se considera un mecanismo con menos probabilidades de degradación porque el crecimiento del óxido es limitado y alcanza un espesor de alrededor de 10 nm en un muy corto período de tiempo. Esto es mucho menor que el diámetro de los puntos de contacto. En contactos eléctricos que tienen uno o ambos miembros de aluminio, la corriente se propaga por las áreas donde la capa de óxido se rompe.

En el caso del cobre, se demostró que en la presencia de ambientes que contengan oxígeno, la oxidación continua de los contactos metal-metal puede causar un aumento rápido en la resistencia de contacto a un valor alto, después de haber permanecido relativamente baja durante un período considerable de tiempo. Los óxidos de cobre crecen, se escaman y se fragmentan desde el metal base. Los óxidos de cobre son más blandos en comparación con los óxidos de aluminio y más fácilmente perturbados por la fuerza de contacto aplicada. También son semiconductores y los contactos de cobre con una resistencia inicial alta, causada por ejemplo por la pobre preparación de la superficie, pueden mostrar una disminución constante de la resistencia de contacto con el tiempo como resultado del crecimiento de la capa semiconductora sobre un área grande. En presencia de una atmósfera que contenga azufre, sobre la superficie de cobre normalmente se observa la formación de sulfuro. El crecimiento de la película de sulfuro depende en gran medida de la humedad, pero la capa puede reducirse si

prevalece una concentración de sulfuro baja, o aumentar si la concentración de sulfuro es alta.

Corrosión

La corrosión es una reacción química o electroquímica entre un componente metálico y el ambiente circundante que causa cambios detectables y que llevan a un deterioro del material componente, a sus propiedades y a sus funciones.

Comienza en una superficie expuesta de metal alterando progresivamente la geometría del componente afectado, sin cambiar la composición química del material o su microestructura. La degradación se inicia con la formación de una capa de producto de corrosión y continúa mientras al menos uno de los reactivos pueda difundir a través de la capa manteniendo la reacción. La composición y características de la capa de productos de corrosión influyen significativamente en la velocidad de corrosión. Entre las muchas formas de corrosión que podrían afectar a los componentes metálicos de equipos de potencia, las más comunes son: la atmosférica, localizada, crevice, pitting y galvánica.

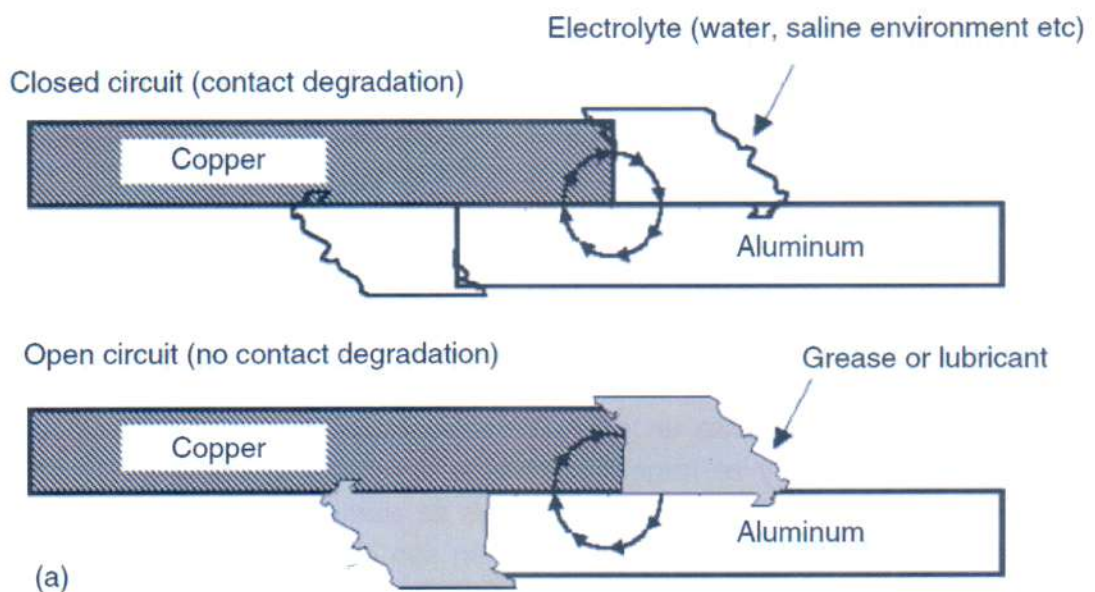


Figura 6.7: Esquema de corrosión galvánica en las juntas de aluminio-cobre [1]

Compuestos intermetálicos

Las soldaduras bimetálicas, en particular de aluminio a cobre se utilizan cada vez más en una gran variedad de aplicaciones eléctricas. Estas uniones mediante soldadura por fricción, soldadura de presión, difusión y unión de rodillo y soldadura flash, se caracterizan por una unión relativamente estable y la insignificante formación de intermetálicos. En el servicio sin embargo, frecuentes picos de corriente en la red pueden generar condiciones favorables para que se produzca interdifusión y por lo tanto la nucleación y crecimiento de intermetálicos en o cerca de la interfaz inicial. Esto puede afectar seriamente la estabilidad eléctrica y la integridad mecánica de las juntas bimetálicas debido a fases intermetálicas que poseen resistencia eléctrica mucho más elevada y resistencia mecánica mucho más baja.

Electromigración

La electromigración se define como el movimiento forzado de los iones de metal bajo la influencia de un campo eléctrico. La migración se produce principalmente a través de fronteras de los granos principales hacia los huecos y protuberancias cerca de los puntos límites.

Como resultado de la electromigración, se forman lomas y huecos que con el tiempo crecen y conducen a una falla. Estos huecos y montículos son formados siempre que se produce un gradiente de temperatura importante, debido a una gran densidad de corriente.

Aunque la mayor parte de la electromigración de contactos no ha sido asociada con el deterioro de los puntos de contacto, la densidad de corriente en los puntos de conducción puede ser sustancial, creando así condiciones favorables para que la electromigración se produzca. Por lo tanto ésta debe ser considerada como uno de los parámetros importantes que afectan a la fiabilidad y la degradación de los contactos eléctricos en general.



Figura 6.8: Imágenes del contacto correspondiente a electromigración de corriente continua (izquierda), corriente alterna rectificada (centro) y corriente alterna (derecha) [1]

Relajación por esfuerzo y fluencia fría

Otro de los inconvenientes presentes en los contactos de aluminio y cobre es su tendencia a moverse hacia la relajación por esfuerzo o creep. El creep o fluencia fría, se puede producir cuando los contactos se encuentran sometidos a grandes esfuerzos durante períodos prolongados. La tasa de fluencia depende de la tensión y de la temperatura y es mayor para el aluminio que para el cobre.

La relajación por esfuerzo también depende del tiempo, de la temperatura y de la presión pero a diferencia de la fluencia fría, no va acompañada de cambios dimensionales. Se presenta en altos niveles de esfuerzo y se manifiesta por una reducción en la presión de contacto debido a los cambios en la estructura metalúrgica. El cambio de deformación elástica a plástica tiene el efecto de reducir significativamente la presión de contacto residual en las juntas, lo que resulta en aumento de la resistencia de contacto, posiblemente hasta el punto de falla.

La pérdida de la presión de contacto inicial, puede ser más acelerada con la influencia de altas temperaturas, lo que llevaría a una pérdida del área de contacto en un tiempo relativamente corto. Por lo tanto, la deformación excesiva del conductor y los altos esfuerzos producidos por ciertos sistemas de contactos causan acelerada relajación de la tensión y la falla eventual de la junta.

Fretting

El término Fretting se refiere a pequeños movimientos oscilatorios entre dos superficies sólidas en contacto. La amplitud del movimiento a menudo se encuentra en el rango de 1 a 100 μm .

Dependiendo de la naturaleza de los factores mecánicos o ambientales, podemos reconocer dos tipos generales de desgaste por Fretting. El término "Fretting fatiga" se utiliza cuando el daño es causado por cargas cíclicas que generan fisuras en las superficies y que eventualmente terminan en una falla catastrófica.

El proceso en el cual las interacciones químicas predominan se denomina "Corrosión por Fretting". Usualmente ambos tipos de desgaste interactúan simultáneamente. En este último caso, los desplazamientos cíclicos dañan la película protectora metálica y el metal expuesto se oxida fácilmente y los productos de oxidación actúan como abrasivo, causando daño a la superficie.

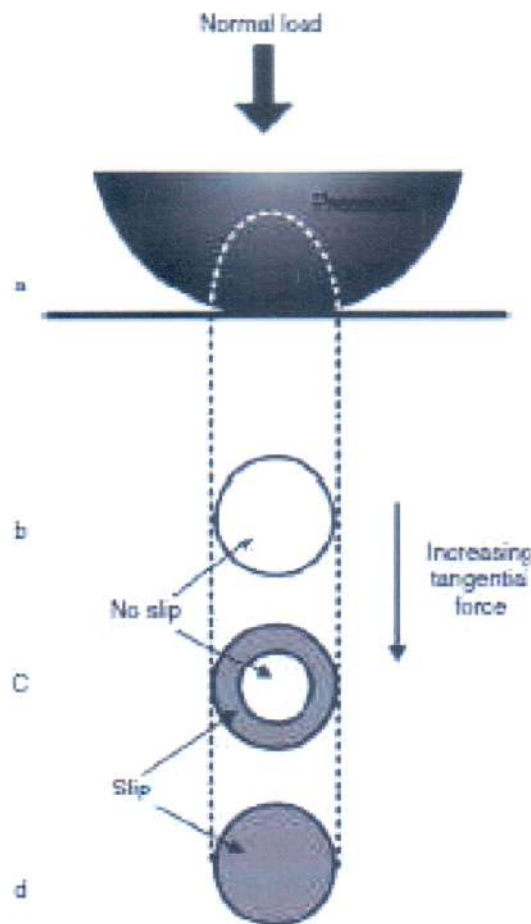


Figura 6.9: Distribución de tensión normal elástica debajo de una esfera presionada contra un plano (a). Vistas del contacto con el aumento de la fuerza tangencial cíclica aplicada se muestran en (b-d). [1]

El contacto de una esfera contra una superficie plana, como se muestra en la figura, se utiliza para describir el Fretting Fatiga. Si el contacto es elástico y se aplica una carga normal, la presión de contacto se distribuye de acuerdo con la ecuación de Hertz con un máximo en el centro del círculo de contacto y con un valor igual a cero en los límites de la circunferencia. Los esfuerzos tangenciales aumentan la tracción de la superficie de contacto, la cual es mínima en el centro del contacto y tiende a infinito en los límites. Como resultado, algún desplazamiento puede ocurrir en las zonas cercanas a los límites.

Por lo tanto, el área de contacto puede considerarse dividida en una región central donde no hay deslizamiento relativo, y una región anular con deslizamiento. Si la carga tangencial aumenta, la región con deslizamiento aumenta su tamaño (c), y puede aumentar tanto como para producir el deslizamiento completo del área de contacto (d). La relación entre las áreas con y sin deslizamiento, depende en primera instancia de los valores de carga normal y tangencial y del coeficiente de fricción.

MEDIDAS PALIATIVAS

El paso ininterrumpido de la corriente a través de la junta o interfaz de contacto está determinado por muchos parámetros tales como, el tamaño y condición de la superficie de contacto, la resistencia de la propia junta de contactos, la presión y la protección contra efectos ambientales adversos. Varias medidas paliativas se utilizan para asegurar el paso ininterrumpido de la corriente, y estos serán analizados a continuación.

Diseño del área de contacto

Es imperativo que tanto los cambios en la temperatura de contacto, como la de caída de tensión en el tiempo de funcionamiento del conector, permanezcan muy pequeños. Estos requisitos se pueden cumplir siempre que, el área de contacto real sea lo suficientemente grande para que a pesar del deterioro inicial y el de largo plazo, todavía haya una reserva de puntos de contacto para garantizar que las condiciones de sobrecalentamiento en los mismos no se alcancen.

En el caso de las uniones atornilladas, el área de contacto se puede aumentar mediante el cambio del diseño de la barra. En otras palabras, el corte de ranuras en la barra como se muestra en la Figura 6.10, la superficie real de una junta puede aumentarse en 1,5 a 1,7 veces al de un conjunto sin ranuras. La resistencia de contacto de una configuración de junta con ranuras (b) es de 30-40% más bajo que la de (a) y es mecánica y eléctricamente más estable cuando se somete a la prueba de ciclismo actual. El efecto beneficioso de seccionar la barra se atribuye a una distribución de presión de contacto más uniforme.

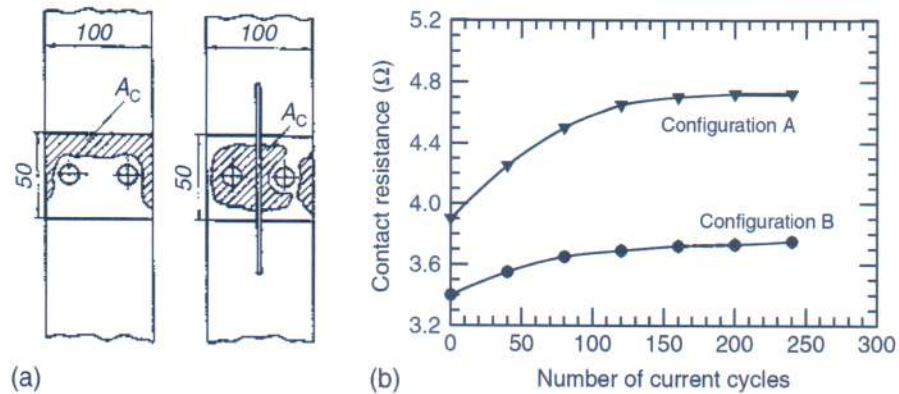


Figura 6.10: Efecto de ciclos de corriente sobre la resistencia de contacto de uniones atornilladas con y sin ranuras. Ver que el área de una junta con ranuras (b) es 1,5 a 1,7 veces más grande sin ranuras (a). [1]

Presión de contacto

Un conector bien diseñado debe tener suficiente resistencia mecánica para mantener su integridad en condiciones normales de funcionamiento y de sobrecarga. También debe tener una presión de contacto suficiente para mantener un área de contacto amplia. Sin embargo, esta presión no debe exceder los límites elásticos de los componentes de la unión, ya que la deformación plástica puede aumentar el estrés y la relajación por fluencia de los miembros en contacto, lo que llevaría a la falla o rotura del contacto.

Los resultados que se muestran en la Figura 6.11, muestran claramente que el aumento de la carga de contacto de 50 a 100 N, prorrogó el inicio del aumento de la resistencia de contacto, es decir, la vida útil del contacto por 5 veces. Por otra parte también se demostró que al aumentar la fuerza de contacto aplicada, la temperatura permitida de los contactos eléctricos también se puede aumentar.

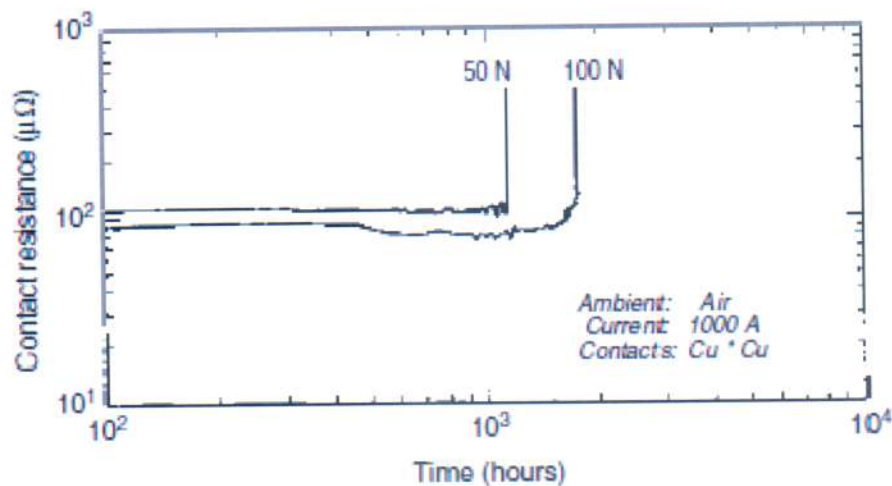


Figura 6.11: El aumento de la presión de contacto de 50 a 100 N prorrogó el inicio de la resistencia de contacto. [1]

El grado de compresión se determina teniendo en cuenta varios factores. Mecánicamente, la fuerza de compresión tiene que ser suficiente para satisfacer las necesidades mecánicas de la conexión. Eléctricamente, la resistencia de la conexión tiene que ser lo suficientemente baja para que el conjunto cumpla con los requisitos eléctricos.

A diferencia de la resistencia eléctrica, que alcanza un estado prácticamente de equilibrio con la deformación progresiva, la fuerza mecánica de una conexión poco a poco disminuye con el aumento de la deformación que a su vez, aumentará la tasa de relajación de la tensión y la fluencia del contacto.

Muy relacionado con esto es el efecto de utilizar partes de contacto de diferentes metales. El calentamiento del conjunto al pasar corriente a través de él, crea una diferencia en el coeficiente de expansión relativo, lo que puede reducir la presión de contacto.

Lubricación

La aplicación de grasa en contactos de cobre con o sin recubrimiento reduce el coeficiente de fricción y la adhesión entre las superficies de contacto. Esto es beneficioso para la maniobra de apertura del contacto y para prolongar su vida útil.

Se utilizan diferentes tipos de grasas lubricantes de contactos. Estas deben ser elegidas con mucho cuidado, ya que los aditivos activados químicamente no deben causar daños a las propiedades del contacto, las grasas no deben desintegrarse a altas temperaturas y no deben contener partículas metálicas que puedan deteriorar las superficies de recubrimiento blandas. Además, se utilizan lubricantes sólidos como el grafito y el disulfuro de molibdeno.

En los contactos eléctricos la lubricación es límite, es decir, la carga es soportada por las protuberancias del contacto.

Al lubricar contactos eléctricos, el área metálica de contacto puede ser reducida, pero la resistencia eléctrica debe mantenerse por debajo de un nivel aceptable. Aunque la mayoría de los lubricantes de contactos tienen muy alta resistividad eléctrica, las pocas protuberancias que hacen contacto proveen una baja resistencia a los contactos. Los valores de resistencia de estos últimos son a menudo indistinguibles de los correspondientes a contactos no lubricados.

En contactos de potencia, el mayor requerimiento es una baja y estable resistencia de contacto. Para lograr esto, se utilizan altas fuerzas de contacto. Como consecuencia, las superficies son severamente deformadas y el substrato de cobre se expone en los contactos recubiertos.

Cuando el cobre se expone al aire ambiente durante el fretting, se forma rápidamente una gruesa capa de óxido aislante debido a la corrosión.

Consecuentemente, la resistencia de contacto aumenta drásticamente.

La grasa protege el área de contacto del aire ambiente y de este modo previene la corrosión por fretting del cobre, en contactos tanto recubiertos como simples. Dado que los contactos de cobre sin corroer presentan la misma resistencia de contacto que los contactos recubiertos, esto indica que el recubrimiento de plata no es necesario, siempre y cuando la grasa ofrezca protección contra la corrosión por fretting. Sin embargo, un recubrimiento de plata protege al contacto de la corrosión antes de que se ponga en uso y se aplique la grasa.

Referencias del capítulo

- [1] Fundamentals of Electrical Contacts. Milenko Braunovic, Valery Konchits, Nikolai Myshkin. CRC Press, 2007.
- [2] Tribology Issues in Electrical Contacts. M.D. Bryant. University of Texas. 78712-1063.
- [3] Critical Aspects of Electrical Connectors Contacts. Piet van Dijk, The Netherlands.
- [4] Cooper in Electrical Contacts. Technical Note 23, 1997.
- [5] Electric Contacts Handbook .Ragnar Holm. 3rd ed. Berlin. Springer-Verlag, 1958

CONCLUSIÓN

Culminando ya con la realización del diseño, los planos y la lista de materiales, se puede proceder al montaje de este Banco de Ensayos. Claro está que al momento de llevar las cosas a la práctica, alguna variable o dimensión podría tener que ser modificada.

El proyecto inicialmente se pensó para ser instalado en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de nuestra Facultad de Ingeniería, pero podría ser muy útil en cualquier empresa dedicada al mantenimiento de instalaciones o de máquinas eléctricas.

Hoy en día, el único organismo del país que exige la realización de ensayos y protocolos de los mismos para protecciones eléctricas es Prefectura Naval Argentina. Por lo tanto, todos los buques de bandera argentina comerciales y del estado, menos los pertenecientes a Armada, estos son: pesqueros, cargueros, de pasajeros, prácticos y de investigación, deben cumplir con los protocolos de ensayos de las protecciones de la planta generadora y de los servicios esenciales para la navegación del buque.

Sería interesante que otros organismos estatales, comenzaran no sólo a solicitar pruebas o ensayos para protecciones de instalaciones eléctricas industriales y domiciliarias, sino que se controlasen además el estado de las mismas. Creo que esto no sería un gasto sino una inversión pensando en la seguridad de las instalaciones y lo que es más importante, de la vida humana.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Transformadores, su Cálculo y Construcción. Ing. Juan Carlos Stecca, Ing. Claudio Dimenna. UNMP.
- [2] Fundamentals of Electrical Contacts. Milenko Braunovic, Valery Konchits, Nikolai Myshkin. CRC Press, 2007.
- [3] Tribology Issues in Electrical Contacts. M.D. Bryant. University of Texas. 78712-1063.
- [4] Critical Aspects of Electrical Connectors Contacts. Piet van Dijk, The Netherlands.
- [5] Electric Contacts Handbook .Ragnar Holm. 3rd ed. Berlin. Springer-Verlag, 1958

ANEXO I

Norma IRAM 2122

8. ENSAYOS

8.1 **VERIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS.** Los ensayos para verificar las características de los dispositivos comprenden:

- Ensayo de tipo
- Ensayo de rutina
- Ensayos especiales

Los ensayos serán llevados a cabo por el fabricante en su fábrica o taller o en cualquier laboratorio adecuado de su elección.

8.1.1 **Ensayos de tipo.** Comprenden los siguientes:

- a) Verificación de los límites de calentamiento.
- b) Verificación de las propiedades dieléctricas.
- c) Verificación de las capacidades de conexión y de interrupción nominales.
- d) Verificación de la capacidad para conducir la corriente nominal de corta duración admisible.
- e) Verificación de la corriente nominal de cortocircuito condicional.
- f) Verificación de la corriente nominal de cortocircuito con fusibles.
- g) Verificación de la capacidad nominal de conexión de cortocircuito.
- h) Verificación de la vida mecánica.
- i) Verificación de la vida eléctrica.

Nota:

- (i) El ensayo de capacidad de conexión y de interrupción es requerido solamente si el fabricante ha indicado la capacidad de conexión y/o de interrupción.
- (ii) El ensayo de capacidad de conexión y de interrupción para los fusibles seccionadores y para seccionadores a fusibles es requerido solamente si el fabricante ha indicado la capacidad de conexión y de interrupción.
- (iii) El ensayo de la corriente nominal de cortocircuito condicional es requerido solamente si este valor nominal está establecido por el fabricante.
- (iv) El ensayo de la corriente nominal de cortocircuito con fusibles es requerido solamente si este valor nominal está establecido por el fabricante.
- (v) El segundo ensayo del párrafo 8.2.7.2 (ensayo de conexión) no es aplicable en el caso de los seccionadores o en el caso de dispositivos combinados con fusibles incluyendo seccionadores.
- (vi) El ensayo de vida eléctrica no es requerido para los fusibles seccionadores ni para los seccionadores a fusibles.

8.1.2 **Ensayos de rutina.** Ellos comprenden:

- a) Ensayos de funcionamiento.
- b) Ensayos dieléctricos.

8.1.3 **Ensayos especiales.** Estos ensayos se realizan según lo que se establezca por convenio previo.

8.2 ENSAYOS DE TIPO

8.2.1 **Generalidades.** El dispositivo a ser ensayado deberá concordar en todos sus detalles con los planos del tipo que él represente.

Salvo especificación en contrario, o salvo indicación en contrario por parte del fabricante, cada ensayo de tipo deberá efectuarse con un dispositivo limpio y nuevo.

Salvo que se especifique otra cosa, los ensayos se efectuarán con la misma clase de corriente y, en caso de corriente alterna, a la misma frecuencia nominal y con el mismo número de fases que el servicio previsto.

Para los ensayos, el dispositivo será montado e instalado según las indicaciones del fabricante. Los detalles de la instalación (tipo y dimensiones de la envoltura, si la hay, secciones de conductores, etc.) deberán formar parte del informe del ensayo.

No se permitirá efectuar mantenimiento o reemplazo de piezas pero, si el fabricante así lo prescribe se autorizará efectuar lubricación y ajuste del dispositivo para cada ensayo de tipo.

Si por la facilidad del ensayo, resultará útil incrementar la severidad del mismo (adoptando por ejemplo una mayor frecuencia de operación a efectos de reducir la duración de la prueba), ello no deberá efectuarse sin el consentimiento del fabricante.

8.2.2. Verificación de los límites de calentamiento

8.2.2.1 **Temperatura ambiente.** La temperatura ambiente deberá medirse durante el último cuarto del período de ensayo por medio de, por lo menos, dos termómetros o termocuplas distribuidos alrededor del dispositivo a aproximadamente la mitad de su altura y a una distancia de aproximadamente 1m del mismo. Los termómetros o termocuplas serán protegidos contra las corrientes de aire, radiaciones de calor y los errores de indicación debidos a cambios bruscos de temperatura.

8.2.2.2 **Ensayo de calentamiento del circuito principal.** El dispositivo deberá montarse aproximadamente como en las condiciones normales de servicio y deberá protegerse contra calentamientos o enfriamientos anormales debido a causas exteriores.

Cuando un dispositivo con envoltura se somete al ensayo de calentamiento no deberá existir ninguna abertura que suministra una ventilación inexistente durante el servicio.

Para un dispositivo sin envoltura pero destinado a ser utilizado con envoltura, el ensayo de la corriente térmica nominal correspondiente a un montaje con envoltura, deberá ser

llevado a cabo en un recinto que el fabricante estimará como equivalente a la más pequeña envoltura que pueda utilizarse en servicio para ese dispositivo.

Se admite, antes de comenzar los ensayos, operar el interruptor o el aparato mecánico de interrupción de la unidad combinada con fusibles un número pequeño de veces, con carga o en vacío o el seccionador, un número pequeño de veces, en vacío.

El ensayo de calentamiento del circuito principal se efectuará a la corriente térmica nominal.

Los dispositivos previstos para corriente continua pueden ser ensayados con corriente alterna, si de ello resulta una mayor facilidad de ensayo, pero con previo acuerdo con el fabricante. Los dispositivos previstos para corriente alterna deben ser ensayados a una frecuencia comprendida entre 45Hz y 62Hz si la frecuencia nominal del dispositivo es de 50 o 60 Hz, para frecuencias nominales menores o mayores se establecerá una discrepancia de $\pm 20\%$ para la determinación de los límites de frecuencia.

Las unidades combinadas con fusibles deberán ser provistas con fusibles de corriente nominal igual a la corriente térmica nominal de las unidades combinadas. Los detalles de los fusibles utilizados en el ensayo, serán por ejemplo: el nombre y las referencias del fabricante, la corriente nominal y la capacidad de ruptura que se indicarán en el informe del ensayo. El ensayo de tipo con los fusibles especificados será considerado como de referencia para el utilizado con cualquier otro tipo de fusible, que tenga a la corriente térmica nominal de la unidad combinada, una pérdida de potencia que no exceda la del fusible utilizado para el ensayo.

El ensayo será realizado en un lapso suficiente para que el calentamiento alcance un valor de régimen estable, pero dicho lapso no excederá de 8hs. En la práctica, esta condición es alcanzada cuando la variación de temperatura no excede de 1°C/h .

Nota: Para abreviar el ensayo, la corriente puede ser aumentada durante la primer parte del ensayo, siendo ella después reducida a la corriente de ensayo especificada. Al final del ensayo el calentamiento del las diferentes partes del circuito principal no deberá exceder de los valores especificados en la tabla V.

TABLA V
Sobrecalentamiento admisible para los diversos
materiales y partes

Tipo de material Descripción de las partes	Sobretemperatura [°C]
Piezas de contacto (principales y auxiliares)	
de cobre Servicio continuo	45
Servicio de 8 horas	65
de plata o plateadas (*)	(1)
de todos los otros metales o metales sinterizados	(2)
Conductores desnudos	(1)
Partes metálicas actuantes como resortes	(3)
Partes metálicas en contacto con materiales aislantes	(4)

Bornes para conexiones aisladas exteriores	70 (5)
Órganos de operación manual (mangos, palancas, etc)	
Piezas metálicas	15
Piezas de material aislante	25

(*) La expresión "plateadas" incluye inserciones de plata sólida así como plata depositada electrolíticamente siempre que, en este último caso, cumplan con los requisitos de calentamiento indicados en 8.2.10.6.

Los contactos revestidos con otros materiales, cuya resistencia de contacto no es significativamente alterada por oxidación, se considerarán como contactos plateados.

- (1) Limitado solamente por la necesidad de no causar ningún daño a las piezas adyacentes.
- (2) A ser especificado de acuerdo con las propiedades de los metales utilizados y limitado por la necesidad de no causar ningún daño a las piezas adyacentes.
- (3) La temperatura resultante no deberá alcanzar un valor tal que la elasticidad del material sea disminuida. Para el cobre puro, esto implica una temperatura que no exceda 75°C.
- (4) Limitado solamente por la necesidad de no causar ningún daño a los materiales aislantes.
- (5) El límite de calentamiento de 70°C es un valor basado en el ensayo convencional indicado en 8.2.2.2. Para dispositivos cuyo tipo, naturaleza y disposición de conexiones no fueran los mismo que los aceptados para el ensayo, donde puede resultar un calentamiento diferente de los bornes, podría ser aceptado o rechazado.

Según el valor de la corriente térmica nominal, se adoptará una de las siguientes modalidades de ensayo:

Para valores de la corriente térmica nominal I_{th} menores o iguales a 400 A:

- a) Las conexiones se efectuarán con cables o con conductores unifilares de cobre, con aislación de PVC, cuyas secciones están indicadas en la tabla VII.
- b) En el caso de un dispositivo multipolar ensayado con corriente alterna los ensayos se llevarán a cabo con corriente monofásica, con todos los polos conectados en serie, pero solamente en la medida en que los errores resultantes de las influencias magnéticas mutuas puedan despreciarse.
- c) Las conexiones estarán al aire libre y separadas entre sí por una distancia no menor a la existente entre los bornes.
- d) La longitud mínima de cada conexión provisoria de borne a borne deberá ser:

1m para las secciones menores o iguales a 10mm^2
2m para las secciones mayores o iguales a 10mm^2

Para los valores de la corriente térmica nominal I_{th} mayores que 400 A y menores que 1600 A:

- a) Las conexiones deberán ser determinadas con barras de cobre negro mate, de las medidas indicadas en la tabla VIII.

- b) En el caso de un dispositivo multipolar, los ensayos serán llevados a cabo con el mismo número de fases que correspondan a dicho dispositivo.
- c) Las conexiones estarán al aire libre y separadas entre sí por una distancia no menor de la existente entre bornes.
- d) La longitud mínima de cada conexión provisoria de borne a borne deberá ser de 2m.

TABLA VII
Secciones normales de los conductores de cobre correspondientes a la corriente térmica nominal

Gama de corriente térmica nominal [A] (1)	0	7,9	15,9	22	30	39	54	72	93	117	147	180	216	250	287	334
	7,9	15,9	22	30	39	54	72	93	117	147	180	216	250	287	334	400
S [mm ²]	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240

(1) El valor de la corriente deberá ser mayor que el indicado en la primera línea y menor o igual al indicado en la segunda línea.

Para valores de la corriente nominal I_{th} mayores de 1600 A:

Deberá llegarse a un convenio previo en todos los ítems particulares del ensayo, tales como tipo de la fuente de alimentación, número de fases y frecuencia (si correspondiera), sección de los conductores de conexión para el ensayo, etc. Estos se indicarán en el protocolo del ensayo.

8.2.2.3 Medición de la temperatura. La temperatura de las diferentes partes deberá ser medida por medio de termocuplas en la posición accesible más próxima al punto más caliente.

Deberá asegurarse una buena conductividad térmica entre la termocupla y la superficie de la parte de ensayo. El conductor y la conexión de la termocupla serán tales que no influyan en el calentamiento de la parte en ensayo.

8.2.2.4 Calentamiento de una parte. El calentamiento de una parte es la diferencia entre la temperatura de esa parte, medida de acuerdo con 8.2.2.3 y la temperatura ambiente, medida de acuerdo con 8.2.2.1.

8.2.2.5 Correcciones. Si la temperatura ambiente durante el ensayo está comprendida entre 10°C y 40°C, no son necesarias correcciones, para tener en cuenta la

temperatura ambiente durante el ensayo y los valores de la tabla V son los valores límites de calentamiento. Si la temperatura ambiente durante el ensayo excede los 40°C o es menor que 10°C, no se aplicará esta norma y se concretará un convenio previo especial.

TABLA VIII
Barras normales para el ensayo con corrientes térmicas nominales mayores que 400 A pero que no excedan de 1600 A (1)

Corriente de Ensayo [A]	Conexiones de ensayo (2) (Barras)	
	Número	Dimensiones(mm)
400 < I ≤ 500	2	30x5
500 < I ≤ 630	2	40x5
630 < I ≤ 800	2	50x5
800 < I ≤ 1000	2	60x5
1000 < I ≤ 1250	2	80x5
1250 < I ≤ 1600	4	50x5

- (1) La distancia entre dos barras paralelas de la misma polaridad deberá ser de aproximadamente 5 mm.
- (2) Si no es posible efectuar la conexión de las barras indicadas a los bornes del dispositivo en ensayo, se podrán utilizar barras que tengan la misma sección transversal para un ancho igual al de los bornes.

8.2.3 Verificación de las propiedades dieléctricas

8.2.3.1 Estado del dispositivo para los ensayos. Los ensayos dieléctricos deberán montarse sobre un dispositivo nuevo montado aproximadamente como en las condiciones habituales de servicio, incluidos sus arrollamientos y conexiones interiores y en estado seco.

Cuando la base del dispositivo es de material aislante, las partes metálicas deberán ubicarse en todos los puntos de fijación de acuerdo con las condiciones normales de instalación y dichas partes deberán ser consideradas como parte del bastidor. Cuando el dispositivo está dentro de una envoltura aislante, esta última debe estar cubierta con una hoja metálica conectada al bastidor. Si la palanca de operación es metálica, estará conectada al bastidor, si es de material aislante, deberá estar cubierta mediante una hoja metálica conectada al bastidor.

Los dispositivos provistos sin envoltura pero destinados a ser utilizados dentro de una envoltura, deberán ser ensayados dentro de una envoltura que el fabricante indicará como la más pequeña utilizable en servicio.

Cuando la rigidez dieléctrica del dispositivo depende de la aislación de los conductores o de la utilización de una aislación especial, tal aislación o aislación especial deberá ser utilizada durante los ensayos.

8.2.3.2 Puntos de aplicación de la tensión de ensayo. Deberá aplicarse la tensión de ensayo durante 1 min. en las condiciones siguientes:

- a) Con los contactos principales cerrados:
 - 1) entre todas las partes bajo tensión de todos los polos conectados entre sí y el bastidor del dispositivo puesto a tierra.
 - 2) Entre cada polo y todos los otros polos conectados al bastidor del dispositivo puesto a tierra.

Nota: En el caso en el cual la base del dispositivo es de material aislante, ver 8.2.3.1, segundo párrafo, a los efectos del significado de la palabra "bastidor".

Para un dispositivo que tenga más de una posición de cierre, el ensayo deberá ser llevado a cabo para cada una de las posiciones de cierre.

- b) Con los contactos principales abiertos:
 - 1) entre todas las partes bajo tensión de todos los polos conectados entre sí y el bastidor del dispositivo a tierra.
 - 2) Entre los bornes de un lado conectados entre sí y los bornes del otro lado conectados entre sí y a tierra.

A los efectos de los ensayos indicados anteriormente, un neutro aislado debe ser considerado como un polo del dispositivo.

Para un dispositivo que tenga más de una posición de apertura, el ensayo deberá llevarse a cabo en cada una de las posiciones de apertura.

8.2.3.3 Valor de la tensión de ensayo. La tensión de ensayo tendrá una forma de onda prácticamente senoidal y una frecuencia comprendida entre 45Hz y 62Hz. El transformador utilizado durante el ensayo debe concebirse de forma que cuando los bornes secundarios sean cortocircuitados, después que la tensión secundaria haya sido ajustada a la tensión de ensayo apropiada la corriente sea por lo menos de 0,5 A.

TABLA IX
Tensión de ensayo

Tensiones nominales de aislación U_i [V]	Tensión de ensayo (corriente alterna) (valor eficaz) [V]
$U_i \leq 60$	1000
$60 \leq U_i \leq 300$	2000
$300 \leq U_i \leq 660$	2500
$660 \leq U_i \leq 800$	3000
$800 \leq U_i \leq 1000$	3500

8.2.4 Verificación de las capacidades de conexión y de interrupción

8.2.4.1 Estado del dispositivo para los ensayos. Para los tipos bajo envoltura, el dispositivo en ensayo deberá estar montado completo dentro de su propia envoltura y todas las aberturas normalmente cerradas en servicio, deberán estar cerradas durante el ensayo. Para los dispositivos provistos sin envoltura, pero destinados a ser utilizados con envoltura, el ensayo deberá ser llevado a cabo con una envoltura que el fabricante indicará como la más pequeña utilizable en servicio. El mecanismo de maniobra del aparato mecánico de conexión deberá ser accionado de manera similar a la indicada por el fabricante como normal.

En el caso de ensayos llevados a cabo con unidades combinadas con fusibles, los fusibles deberán ser reemplazados mediante adecuadas conexiones de cobre.

8.2.4.2 Procedimiento de ensayo. El circuito de ensayo deberá ser el descrito en el punto 8.2.4.3.

El aparato mecánico de conexión será cerrado y abierto cinco veces con un intervalo de aproximadamente 30 segundos entre operaciones.

Nota: Para los aparatos mecánicos de conexión de corriente térmica nominal de 400 A o mayor, el intervalo de tiempo puede ser incrementado por convenio previo.

Para dispositivos de categoría de utilización AC-23, los ensayos para determinar la capacidad de conexión y los ensayos relativos a la capacidad de interrupción podrán llevarse a cabo separadamente sobre el mismo dispositivo.

Durante cada ciclo de operaciones conexión-interrupción, el aparato mecánico de conexión necesita permanecer en la posición de cierre solamente por un período suficientemente largo como para permitir que la operación de conexión sea completa, para posibilitar que se establezca el valor de la corriente y para permitir que las partes móviles del aparato mecánico de conexión vuelvan a su posición de reposo. Después de cada ciclo de operaciones, la tensión de restablecimiento deberá mantenerse, como mínimo, durante 0,1 segundos.

La tensión de ensayo y la carga se aplicarán a los bornes apropiados del dispositivo. Para dispositivos en los cuales un contacto móvil permanece conectado a uno de los bornes cuando el dispositivo está en la posición abierto, este ensayo será repetido con las conexiones de la alimentación y la carga intercambiadas, a menos que los bornes estén específica y claramente marcados para carga y alimentación.

8.2.4.3 Circuito de ensayo para la verificación de las capacidades nominales de conexión y de interrupción. Las figuras 1, 2 y 3, indican respectivamente, los diagramas de los circuitos a ser utilizados para los ensayos.

Los resistores R1 y R2 y los reactores L1 y L2 serán ajustados para satisfacer las condiciones de ensayo especificadas. Los reactores serán a núcleo de aire. Ellos estarán siempre conectados en serie con los resistores y su valor puede ser obtenido mediante el acoplamiento en serie de reactores elementales. Se admite el acoplamiento de reactores en paralelo cuando ellos tienen prácticamente la misma constante de tiempo.

Las cargas del circuito de ensayo R1 y L1 serán conectados sobre el lado de carga del dispositivo.

La corriente presunta de cortocircuito en el punto de conexión a los bornes de alimentación del dispositivo será como mínimo igual al más pequeño de los dos valores siguientes: diez veces el valor de la corriente de ensayo o 50 kA.

Todas las partes del dispositivo normalmente puestas a tierra, incluyendo su envoltura, estarán aisladas de tierra y conectadas al punto indicado en las figuras 1,2 ó 3. Esta conexión incluirá un dispositivo apropiado D (tal como un fusible consistente en un alambre de cobre de 0,1 mm de diámetro y de longitud no menor que 50mm) para la detección de la corriente de falla y, si es necesario, un resistor que limite la corriente de falla a un valor de aproximadamente 100 A.

Todo neutro artificial será prácticamente inductivo y permitirá una corriente de falla presunta de cómo mínimo 100 A.

Los dispositivos tetrapolares serán ensayados como los tripolares, con el neutro o con el polo no utilizado conectado al bastidor. Si todos los polos son idénticos, es suficiente un ensayo sobre tres polos adyacentes, en caso contrario, el ensayo se repetirá sobre todas las combinaciones de tres polos adyacentes.

El circuito de ensayo será puesto a tierra directamente en un punto solamente y la posición de este punto será indicada en el informe de ensayo.

Para los ensayos correspondientes a categorías de utilización, AC-22 y AC-23, la frecuencia de oscilación f y el factor γ de la tensión de restablecimiento transitoria presunta serán ajustadas, por medio de los resistores R_p y/o los capacitores C_p en paralelo con la carga a los valores:

$$f = 2000 I_e^{0,2} U_e^{-0,8} \pm 10\%$$

Siendo:

f : la frecuencia de oscilación, en kilohertz

U_e : la tensión nominal de operación del dispositivo, en Volt

I_e : la corriente de interrupción, en Ampere

γ : $1,1 \pm 0,05$

Nota: La frecuencia y la amplitud de la tensión de restablecimiento transitoria podrán ajustarse y medirse como se describe en el Apéndice D de la publicación IEC 292-1 para arrancadores de motores, pero no es necesario ajustar el factor γ o la frecuencia de oscilación para ensayos relativos a la capacidad de conexión solamente.

Para los ensayos correspondientes a la categoría de utilización AC-21 no es necesario ajustar la frecuencia de oscilación de la tensión de restablecimiento transitoria presunta. Los ensayos correspondientes a la categoría de utilización DC-21, DC-22 y DC-23 están en estudio, sin embargo y a menos que hubiera un convenio previo en contrario, la carga del circuito de ensayo, para las categorías de utilización DC-22 y DC-23, puede ser reemplazada por un motor que produzca los valores especificados de la intensidad de corriente y de la constante de tiempo.

Nota: El caso especial de seccionadores de categorías de utilización AC-20 y DC-20, que tengan una capacidad de conexión y/o de interrupción será objeto de un convenio previo.

8.2.4.4 Magnitudes de ensayo. Los ensayos se realizarán con valores establecidos por el fabricante, de acuerdo con la tabla II de 4.3.11. Los ensayos serán considerados como válidos si los valores indicados en el protocolo de ensayo difieren de los valores especificados solamente dentro de las discrepancias siguientes:

Corriente: $\pm 5 \%$	factor de potencia: $\pm 0,05$
Tensión: $\pm 5 \%$	constante de tiempo: $\pm 15 \%$

Para corriente alterna, los ensayos serán efectuados a la frecuencia nominal del dispositivo, siempre que el laboratorio de ensayos lo permita. Si no puede obtenerse esta frecuencia, el ensayo debe efectuarse a una frecuencia comprendida entre 45 Hz y 62 Hz cuando la frecuencia nominal del dispositivo es 50 Hz ó 60 Hz. Para frecuencias nominales mayores o menores se admite una discrepancia de $\pm 20\%$.

El factor de potencia será considerado como el promedio de los cosenos del ángulo de fase en todas las fases y el factor de potencia de una fase cualquiera no variará con respecto a dicho promedio, más del 25 % del mismo.

8.2.4.5 Comportamiento del dispositivo durante los ensayos de conexión y de interrupción. El dispositivo se comportará durante los ensayos indicados anteriormente, de manera que no ponga en peligro al operador ni cause daños a los equipos adyacentes. No se producirá arco o descarga permanente entre polos o fases y el fusible de alambre fino permanecerá intacto.

El dispositivo permanecerá mecánicamente operable y no se admitirá una soldadura de contactos, que impida la operación de apertura utilizando los medios de operación normales.

8.2.4.6 Estado del dispositivo después de los ensayos de conexión y de interrupción. Después de los ensayos de acuerdo con 8.2.4.2, el aparato será capaz de soportar, sin mantenimiento previo, una tensión igual al doble de su tensión de aislación nominal, aplicada como se indica en 8.2.3.2.

Se verificará, inmediatamente después del ensayo, si el aparato mecánico de conexión cierra y abre satisfactoriamente durante una operación de cierre-apertura en vacío.

Nota: Se considera que una operación de cierre es satisfactoria cuando la operación normal del mango luego de completar su recorrido cierra los contactos suficientemente como para que el aparato mecánico de conexión sea capaz de conducir su corriente nominal de operación.

Los contactos se hallarán en condiciones adecuadas como para conducir la corriente nominal de operación. En caso de duda, debe efectuarse sobre el mismo aparato un ensayo de calentamiento: los calentamientos medidos no excederán en más de 10°C los valores indicados en la tabla V, ni ocasionar daños a las piezas adyacentes.

8.2.5 Verificación de la capacidad para conducir la corriente nominal de corta duración admisible

8.2.5.1 Estado del aparato por ensayar. El aparato estará en las condiciones especificadas en 8.2.4.1.

Los ensayos se efectuarán con mecanismos de conexión en la posición de cierre a cualquier tensión de ensayo conveniente, partiendo del "estado frío", es decir con el dispositivo a la temperatura ambiente.

8.2.5.2 Magnitudes de ensayo. Los ensayos se efectuarán a la corriente nominal de corta duración admisible.

Según que el dispositivo esté previsto para corriente alterna o para corriente continua, se ensayará como se indica en a) y en b). Para un dispositivo que tenga el mismo valor de corriente nominal para corriente alterna que para corriente continua, el ensayo en corriente alterna se considera válido para corriente continua.

a) **Para corriente alterna.** Los ensayos se efectuarán a la frecuencia nominal del dispositivo, con una discrepancia admisible de $\pm 25\%$.

La corriente se aplica durante el tiempo especificado en 4.3.7 y su valor es el valor eficaz determinado por medio del oscilograma. Este valor será igual o mayor que el valor especificado, en un polo como mínimo.

El mayor valor de cresta de la corriente, durante el primer ciclo del ensayo, no será menor de n veces la corriente nominal de corta duración admisible, siendo n el valor indicado en la tercera columna de la tabla X.

Sin embargo, cuando las características de la fuente de alimentación de ensayo son tales que no pueden lograrse las condiciones mencionadas, se pueden utilizar las alternativas siguientes, siempre que la integral de los cuadrados de las

intensidades en función del tiempo, obtenida durante el ensayo, no sea menor que el producto del cuadrado de la intensidad de la corriente nominal de corta duración admisible por la duración nominal del cortocircuito.

- 1) Si la capacidad de la fuente de alimentación de ensayo es tal que no se puede obtener la intensidad de la corriente nominal de corta duración admisible durante el intervalo de tiempo nominal, sin aplicar inicialmente una intensidad de corriente excesiva, se puede admitir que el valor eficaz de la corriente disminuya durante el ensayo por debajo del valor especificado, siendo consecuentemente aumentada la duración del mismo, siempre que el valor de la máxima cresta de la intensidad no sea menor que el valor especificado.
 - 2) Si para obtener el valor de cresta especificado, el valor eficaz de la intensidad de la corriente se incrementará por encima de la intensidad de la corriente especificada, la duración del ensayo debe reducirse consecuentemente.
- b) **Para corriente continua.** La corriente se aplica durante el tiempo especificado y su valor medio cuadrático, determinado por medio del oscilograma, será como mínimo igual al valor especificado.
- Cuando las características de la fuente de alimentación de ensayo son tales que los requisitos precitados no pueden obtenerse durante el tiempo especificado, sin aplicar inicialmente una corriente excesiva, el valor de la intensidad de corriente puede reducirse durante el ensayo por debajo del valor especificado, siendo consecuentemente aumentada la duración del mismo.
- Finalmente, si la fuente de alimentación de ensayo no se adecúa como para efectuar estos ensayos con corriente continua, por convenio previo, ellos pueden efectuarse con corriente alterna, mediante la adopción de ciertas precauciones, como por ejemplo que el valor de cresta de la intensidad de la corriente no debe exceder el de la intensidad admisible.

TABLA X
Relación entre los valores de cresta
y eficaz de una intensidad

Valor eficaz de la intensidad [A]	Factor de Potencia normal	Relación entre los valores de cresta y eficaz de la intensidad
$I \leq 10000$	0,5	1,7
$10000 \leq I \leq 20000$	0,3	2,0
$20000 \leq I \leq 50000$	0,25	2,1
$50000 < I$	0,2	2,2

8.2.5.3 Comportamiento del dispositivo durante los ensayos. El dispositivo debe comportarse como se especifica en 8.2.4.5.

8.2.5.4 Estado del dispositivo después de los ensayos. Después de los ensayos de corriente de corta duración admisible, las partes mecánicas y aislantes del dispositivo deben quedar en el mismo estado de operabilidad y de aislación que previamente a dichos ensayos. Además, el dispositivo debe cumplir con los requisitos indicados en 8.2.4.6.

8.2.6 Verificación de la corriente nominal de cortocircuito condicional. A establecer por convenio previo.

8.2.7 Verificación de la corriente nominal de cortocircuito con fusibles

8.2.7.1 Estado del aparato para los ensayos. El dispositivo debe hallarse en el estado especificado en 8.2.4.1, pero deben utilizarse los fusibles indicados por el fabricante.

8.2.7.2 Método de ensayo

8.2.7.2.1 El circuito de ensayo es el descrito en 8.2.7.3.

El dispositivo se somete a un primer ensayo, con el aparato mecánico de conexión en la posición de cierre, conectado en serie con fusibles. La corriente nominal máxima y la capacidad de ruptura nominal de los fusibles, son las que el fabricante considere adecuadas para ser utilizadas con dicho aparato mecánico de conexión.

8.2.7.2.2 Se hace circular una corriente presunta correspondiente a la corriente nominal de cortocircuito con fusibles del dispositivo. El valor de la corriente es el valor eficaz obtenido del oscilograma de la corriente presunta.

Cuando el dispositivo sea un interruptor o un seccionador bajo carga, se efectúa un segundo ensayo con fusibles nuevos y el circuito de ensayo bajo tensión con el aparato mecánico de conexión abierto. El aparato mecánico de conexión cierra un circuito de modo que circule una corriente presunta correspondiente a la corriente nominal de cortocircuito con fusibles del dispositivo.

La tensión de restablecimiento se mantiene durante por lo menos 0,1 segundos después de la ruptura de la corriente de ensayo provocada por los fusibles.

En el protocolo de ensayos deben indicarse las características de los fusibles utilizados durante los ensayos, es decir, el nombre y las referencias del fabricante, la corriente nominal, la tensión nominal y la capacidad de ruptura como asimismo la integral de la energía absorbida (Joule) y la corriente de ruptura límite obtenidas durante la realización del ensayo. El ensayo de tipo con los fusibles especificados, se acepta

como válido para todo otro tipo de fusible, siempre que tenga valores de la integral de la energía absorbida (Joule) y de la corriente de ruptura límite a la corriente nominal de cortocircuito con fusibles del dispositivo, tales, que no excedan los de los fusibles utilizados para los ensayos.

8.2.7.3 Circuito de ensayo. Las figuras 1, 2 y 3 dan los esquemas de los circuitos a utilizar en los ensayos.

8.2.7.3.1 El resistor R2 y el reactor L2 del circuito de ensayo se deben ajustar para satisfacer las condiciones de ensayo especificadas.

8.2.7.3.2 Los reactores deben ser con núcleo de aire. Estos deben conectarse siempre en serie con los resistores y su valor puede ser obtenido mediante el acoplamiento en serie de reactores parciales. Se admite la conexión en paralelo de los reactores cuando estos reactores tengan prácticamente la misma constante de tiempo.

8.2.7.3.3 Las cargas del circuito de ensayo L1 y R1 no se utilizan en los ensayos de corriente de cortocircuito con fusibles.

8.2.7.3.4 El circuito de ensayo debe ser puesto a tierra directamente solamente en un punto y la posición de este punto debe indicarse en el protocolo de ensayos.

8.2.7.3.5 Todas las partes del dispositivo normalmente puestas a tierra en servicio, incluyendo su eventual envoltura, deben hallarse aislados de tierra y conectadas a un punto como está indicado en las figuras 1, 2 ó 3. Esta conexión debe incluir un dispositivo confiable D (tal como un fusible consistente en un alambre de cobre de 0,1 mm de diámetro y no menor que 50 mm de longitud), para la detección de la corriente de falla y, si es necesario, un resistor limitador de la corriente de falla presunta a 100 A aproximadamente. Todo neutro artificial debe ser fundamentalmente inductivo y permitir una corriente de falla presunta de 100 A como mínimo.

8.2.7.3.6 Los dispositivos tetrapolares deben ser ensayados como los tripolares, con el neutro o el polo no utilizado conectado al bastidor. Si todos los polos son idénticos, es suficiente un ensayo sobre tres polos adyacentes, en caso contrario, se repite el ensayo sobre todas las combinaciones de tres polos adyacentes.

8.2.7.4 Magnitudes de ensayo

8.2.7.4.1 En corriente alterna, los ensayos deben efectuarse a la frecuencia nominal del dispositivo, si la fuente de alimentación de ensayo lo permite. Si no puede obtenerse esta frecuencia, los ensayos deben efectuarse a una frecuencia comprendida entre 45 Hz y 62 Hz cuando la frecuencia nominal del dispositivo es 50 Hz ó 60 Hz. Para frecuencias nominales mayores o menores, debe aplicarse una discrepancia de $\pm 20\%$.

8.2.7.4.2 El valor medio de la tensión de restablecimiento a frecuencia industrial, debe ser igual a un valor no menor del 110% y no mayor del 115% de la tensión nominal de operación fijada por el fabricante. Para corriente alterna, el factor de potencia del

circuito debe estar de acuerdo con los valores de la tabla X, correspondientes a la corriente nominal de cortocircuito con fusibles asignada al dispositivo. Para corriente continua, la constante de tiempo debe ser de 15 mseg., salvo convenio previo. Para corriente alterna, el valor eficaz de la componente periódica de la corriente presunta en una fase cualquiera, debe ser igual al valor especificado, con una discrepancia de + 15%.

Para corriente continua, el valor en régimen estable de la corriente presunta, alcanzado poco después del cierre del circuito, debe ser igual al valor especificado con una discrepancia de + 15%.

8.2.7.5 Comportamiento del dispositivo durante los ensayos de corriente nominal de cortocircuito con fusibles. El dispositivo debe comportarse como está especificado en 8.2.4.5.

8.2.7.6 Estado del dispositivo después de los ensayos de corriente nominal de cortocircuito con fusibles. Después de los ensayos de verificación a la corriente nominal de cortocircuito con fusibles, el dispositivo debe satisfacer los requerimientos indicados en 8.2.5.4.

8.2.8 Verificación de la capacidad nominal de conexión de cortocircuito.

8.2.8.1 Estado del dispositivo para los ensayos. El dispositivo debe estar en el estado especificado en 8.2.4.1.

8.2.8.2 Procedimiento de ensayo. El circuito de ensayo debe estar como se describe en 8.2.4.3, sin incluir las cargas L1 y R1.

El aparato mecánico de conexión se cierra dos veces con un intervalo de tiempo de aproximadamente 3 minutos entre esas operaciones. El valor de cresta de la corriente presunta en el momento de cierre no será menor que la capacidad nominal de conexión de cortocircuito del dispositivo. La corriente será mantenida, como mínimo, durante 0,1 seg.

8.2.8.3 Magnitudes de ensayo. El valor de cresta de la corriente presunta se determina por medio del oscilograma de calibración. En el caso de un ensayo con corriente alterna trifásica, se emplea el mayor valor de cresta de las tres fases.

Nota: Para ensayos de dispositivos unipolares, debe prestarse atención al hecho de que el valor de cresta de la corriente presunta de conexión, determinada por medio del oscilograma de calibración, puede diferir del valor de cresta de la corriente presunta de conexión del ensayo, en función del instante de establecimiento de la corriente.

Para corriente alterna monofásica, el factor de potencia debe estar dentro de $\pm 0,05$ del valor dado en la tabla X para el valor eficaz que corresponde al valor de cresta de la corriente presunta. El factor de potencia de un circuito polifásico se considera como el valor promedio de los factores de potencia de cada fase y el factor de potencia de una

fase cualquiera no debe diferir del valor promedio en más del 25% del mismo. Este valor promedio debe indicarse en el protocolo de ensayo.

Para corriente continua el valor de la constante de tiempo debe ser 15 milisegundos, salvo convenio previo en contrario. Para un dispositivo que tenga el mismo valor de corriente nominal, tanto para corriente alterna como para corriente continua, el ensayo de corriente alterna será considerado válido para corriente continua.

La frecuencia debe ser la frecuencia nominal del dispositivo, con una discrepancia de $\pm 25\%$.

La tensión aplicada debe ser igual al 100% de la tensión nominal de operación del dispositivo, con una discrepancia de $\pm 5\%$.

8.2.8.4 Comportamiento del dispositivo durante el ensayo. El dispositivo debe comportarse como está especificado en 8.2.4.5.

8.2.8.5 Estado del dispositivo después del ensayo. Después del ensayo de verificación de la capacidad nominal de conexión de cortocircuito, el dispositivo debe cumplir con los requisitos indicados en 8.2.5.4.

8.2.9 Verificación de la vida mecánica

8.2.9.1 Estado del dispositivo para los ensayos. El dispositivo debe estar montado de manera similar a la prevista en servicio. El mecanismo que acciona el dispositivo, se debe maniobrar de manera similar a la de la operación normal del dispositivo en servicio. Durante el ensayo, el circuito principal no debe hallarse bajo tensión ni circular por el corriente.

8.2.9.2 Procedimiento de ensayo. Se debe mantener el dispositivo al número de ciclos de operaciones especificado en 4.3.12. La frecuencia de operación puede ser cualquier valor conveniente, siempre que permita a las partes móviles del aparato mecánico de conexión llegar al final de su recorrido entre dos operaciones consecutivas.

8.2.9.3 Estado del dispositivo después de los ensayos. El estado del dispositivo debe ser el indicado en 8.2.4.6, pero se admitirá cierto desgaste en las partes del mecanismo y de los contactos, siempre que el aparato mecánico de conexión funcione correctamente.

Cuando el diseño del dispositivo lo permita, se admitirá proceder a efectuar un mantenimiento pero no el reemplazo de los contactos. En estas condiciones el dispositivo debe poder conducir su corriente nominal de operación sin que sean excedidos los límites de calentamiento especificados en la tabla V, para cuya verificación debe efectuarse un ensayo de calentamiento con la corriente nominal de operación sobre el mismo dispositivo.

8.2.10 Verificación de la vida eléctrica

8.2.10.1 Estado del dispositivo para los ensayos. El dispositivo debe estar montado de manera análoga a la prevista en servicio. El mecanismo que acciona el dispositivo debe maniobrarse de manera similar a la de operación normal del dispositivo en servicio.

8.2.10.2 Procedimiento de ensayo. El dispositivo debe operarse al número de ciclos de operaciones indicado por el fabricante de acuerdo con 4.3.13. Si éste número no está determinado, él debe ser 1/20 del número de ciclos de operación mecánica especificadas en 4.3.12. En el protocolo de ensayos debe mencionarse la frecuencia de operación.

8.2.10.3 Circuito de ensayo. El circuito de ensayo debe responder a las prescripciones especificadas en 8.2.4.3, pero no es necesario regular la frecuencia de oscilación de la tensión transitoria de restablecimiento.

8.2.10.4 Magnitudes de ensayo. Los ensayos se efectúan con los valores determinados por el fabricante, de acuerdo con la tabla IV de 4.3.13. Los ensayos se consideran válidos si los valores registrados en el protocolo de ensayo difieren de los valores especificados solamente dentro de las discrepancias siguientes:

Corriente: $\pm 5 \%$ factor de potencia: $\pm 0,05$

Tensión: $\pm 5 \%$ constante de tiempo: $\pm 15 \%$

8.2.10.5 Comportamiento del dispositivo durante los ensayos. El dispositivo debe comportarse como está especificado en 8.2.4.5.

8.2.10.6 Estado del dispositivo después de los ensayos. El estado del dispositivo debe ser el indicado en 8.2.4.6, pero se admitirá un cierto desgaste en las partes del mecanismo y en los contactos siempre que el mecanismo de conexión funcione correctamente.

Cuando el diseño del dispositivo lo permita, es admisible proceder a un mantenimiento pero no al reemplazo de los contactos. En estas condiciones el dispositivo debe poder conducir su corriente nominal de operación sin exceder los límites de calentamiento especificados en la tabla V, para cuya verificación, debe efectuarse un ensayo de calentamiento con la corriente nominal de operación sobre este mismo dispositivo.

En el caso de los contactos plateados mencionados en la nota (*) de la tabla V, debe efectuarse un ensayo de calentamiento con la corriente térmica nominal. El calentamiento de los contactos no debe exceder en más de 10°C los valores obtenidos, cuando un dispositivo similar ha sido ensayado de acuerdo con 8.2.2.

8.3 ENSAYOS DE RUTINA

8.3.1 **Generalidades.** Los ensayos de rutina deben ser llevados a cabo en las mismas condiciones o en condiciones equivalentes a aquellas especificadas para los ensayos de tipo en los párrafos anteriores.

8.3.2 **Ensayo de funcionamiento.** Debe efectuarse un ensayo para verificar el correcto funcionamiento mecánico del dispositivo.

8.3.3 **Ensayos dieléctricos.** Los ensayos deben ser llevados a cabo sobre un dispositivo seco y limpio.

El valor de la tensión de ensayo debe estar de acuerdo con 8.2.3.3.

La duración de cada ensayo puede reducirse a 1 seg.

La tensión de ensayo debe aplicarse en las condiciones siguientes:

- a) Entre los polos, con los contactos principales cerrados (con los contactos principales abiertos si hay un circuito de derivación entre polos).
- b) Entre polos y la parte metálica del bastidor del dispositivo, con los contactos principales cerrados.
- c) Entre los bornes de cada polo, con los contactos principales abiertos.

Es necesario el uso de una hoja metálica, como está especificado en 8.2.3.1.

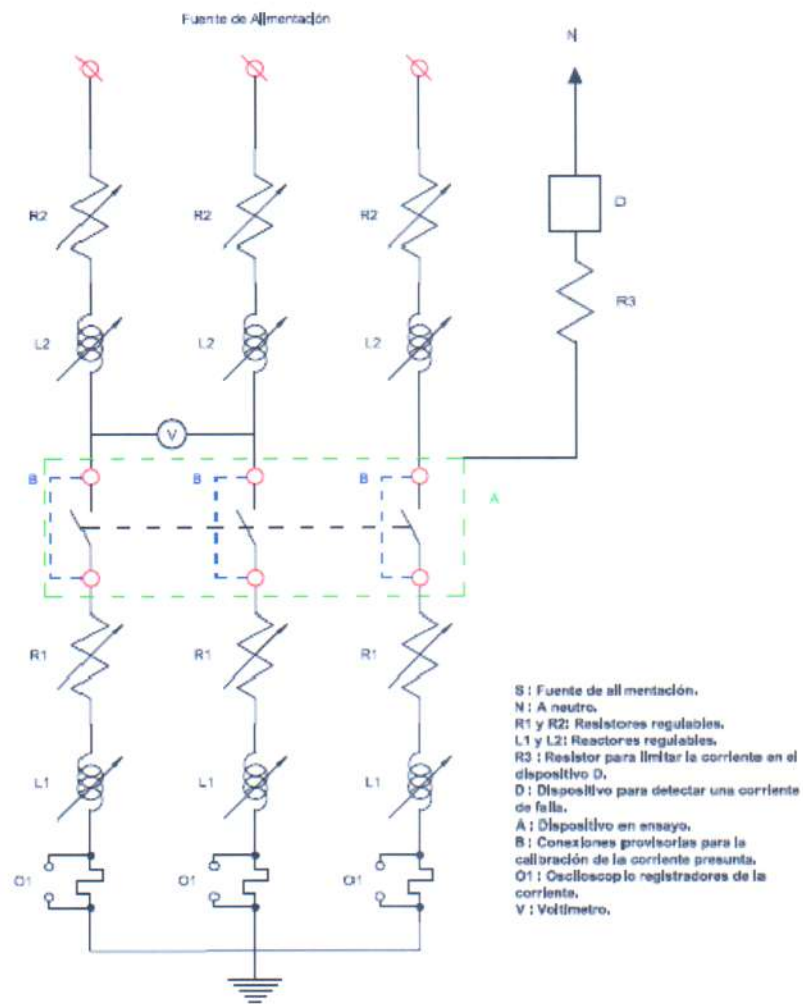


Figura 1: Esquema del circuito trifásico de ensayo para un dispositivo tripolar

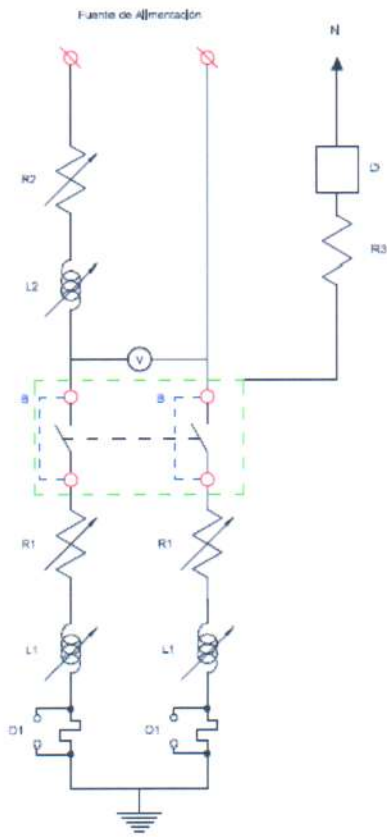


Figura 2: Esquema del circuito monofásico de ensayo para un dispositivo bipolar

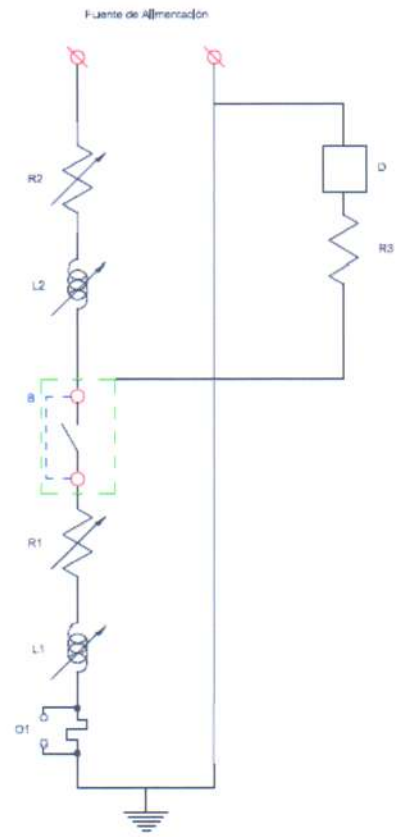
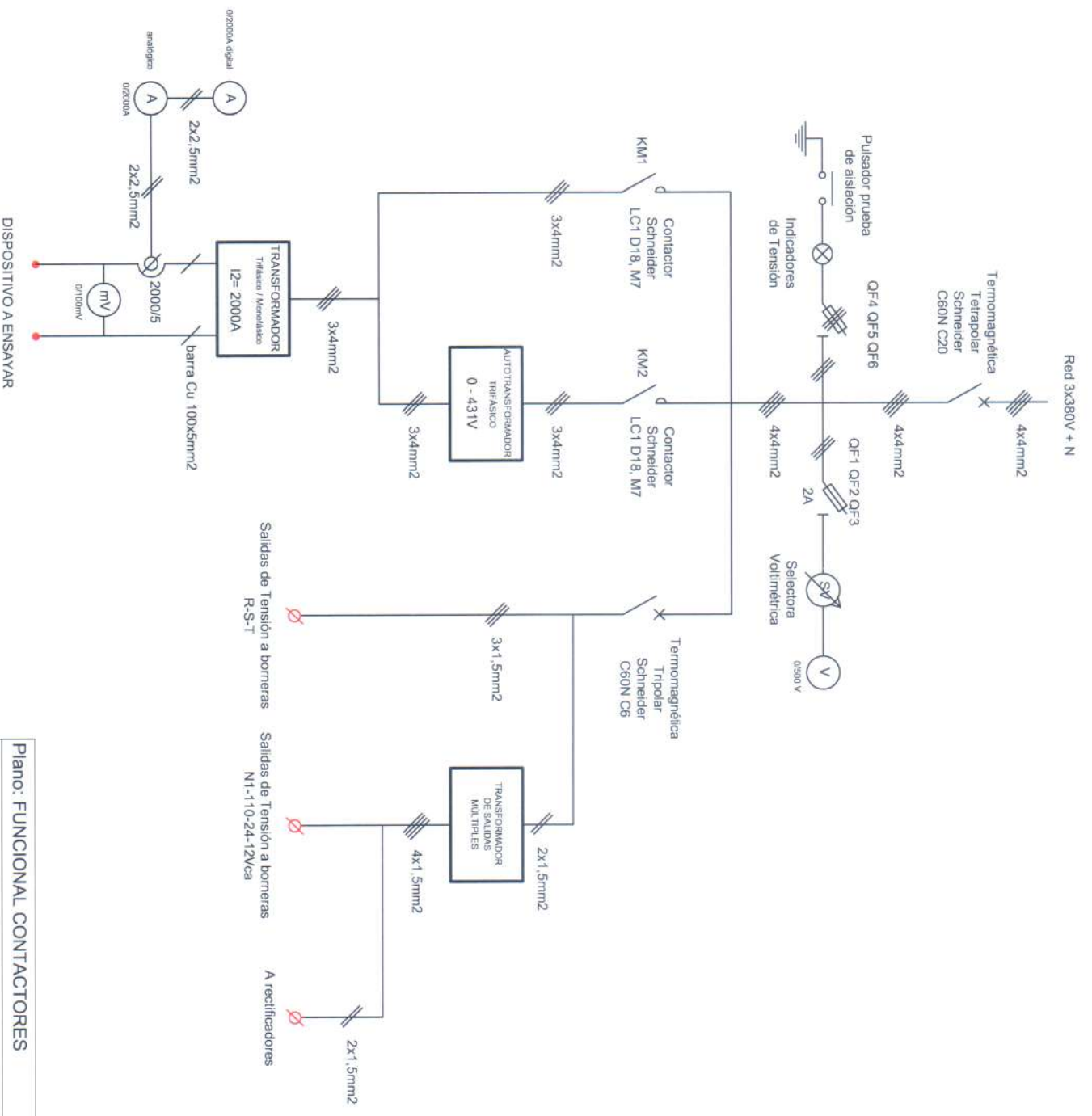


Figura 3: Esquema del circuito monofásico de ensayo para un dispositivo unipolar

ANEXO II

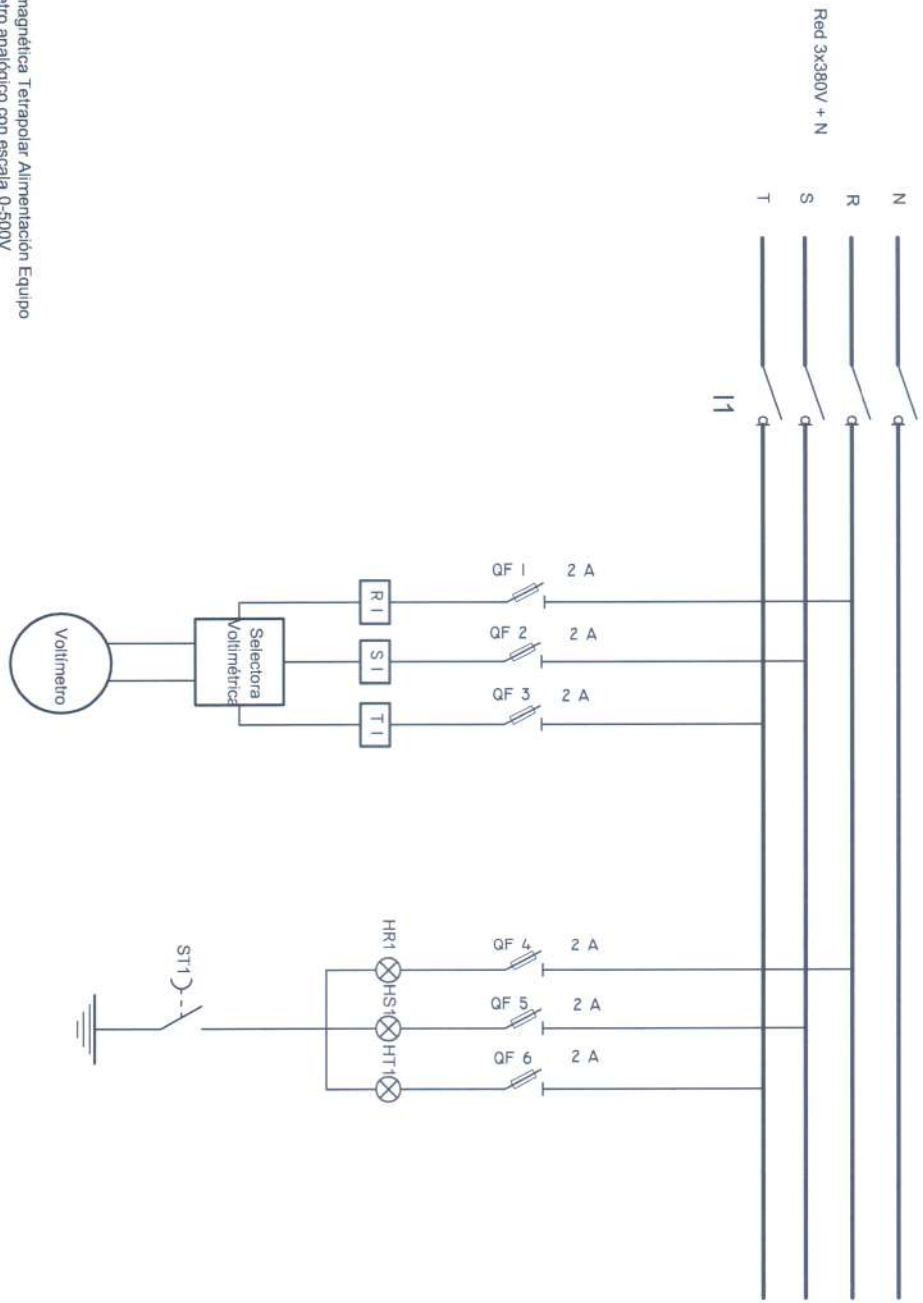
PLANOS UNIFILARES Y FUNCIONALES DEL BE



DISPOSITIVO A ENSAYAR

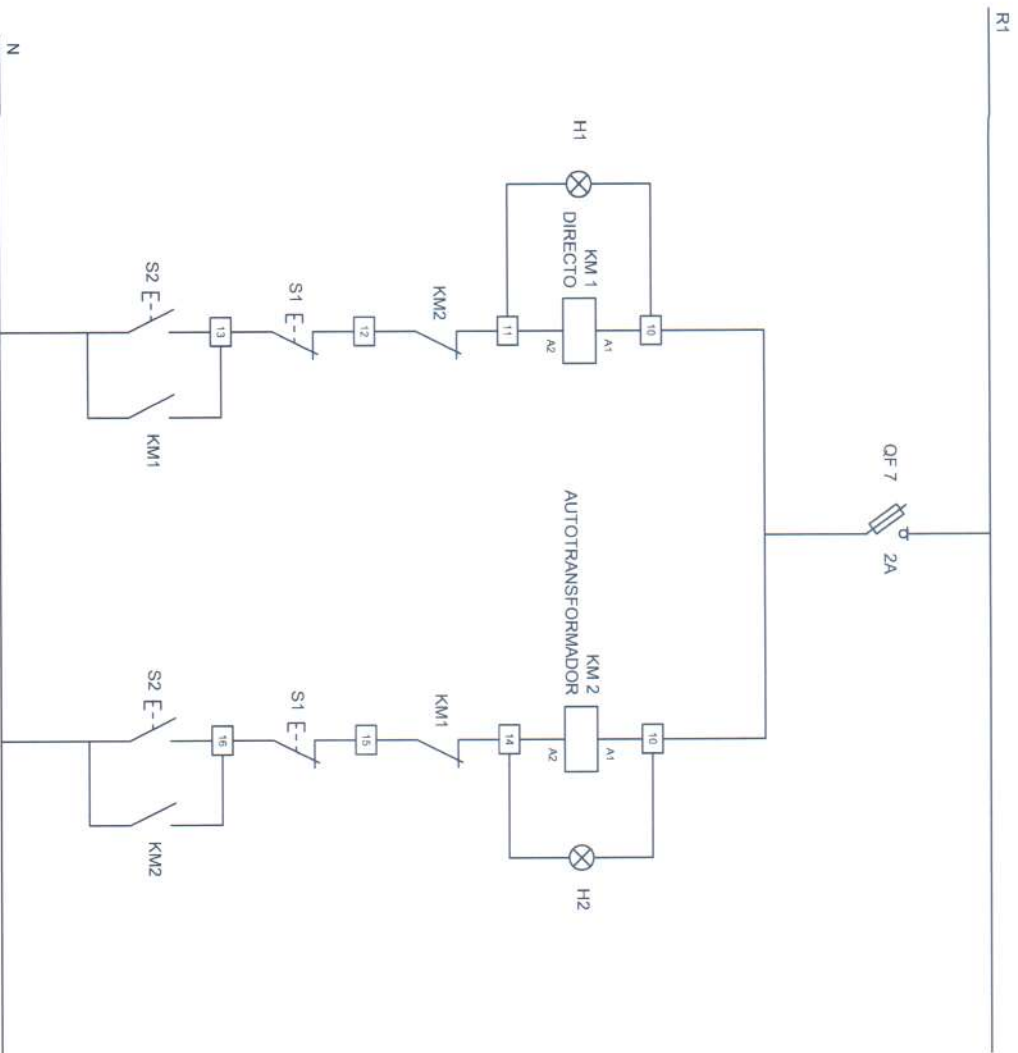
Plano: FUNCIONAL CONTACTORES	
TABLERO DE ENSAYOS	
PROYECTO FINAL: Marcelo Peyrot	Fecha: Noviembre 2016

- II Termomagnética Tetrapolar Alimentación Equipo
- V/1 Voltmetro analógico con escala 0-500V
- SV/1 Selector voltimétrico R-S, R-T, T-S
- QF1 QF2 QF3 Portafusible seccionable con fusible de 2A Voltmetro
- QF4 QF5 QF6 Portafusible seccionable de 2A Indicación de tensión
- ST Pulsador prueba a tierra (prueba de aislación)
- HR1 HS1 HT1 Indicación luminosa (prueba de aislación)



Plano: TRIFILAR INSTRUMENTOS
 TABLERO DE ENSAYOS

PROYECTO FINAL: Marcelo Peyrot
 Fecha: Noviembre 2016



QF: Seccionador fusible (2A)

KM 1: Bobina contactor N°1, alimentación Directa

KM 2: Bobina contactor N°2, alimentación por Autotransformador.

S1: Pulsador desconexión

S2: Pulsador conexión

H1: Indicación luminosa alimentación Directa

H2: Indicación luminosa alimentación por Autotransformador

Plano: FUNCIONAL CONTACTORES	
TABLERO DE ENSAYOS	
PROYECTO FINAL: Marcelo Peyrot	Fecha: Noviembre 2016

