



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Proyecto de grado

Diseño y Construcción

Fuente de Media Tensión

APÉNDICE COMPLEMENTARIO A LA MEMORIA DE PROYECTO
PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA POR

Joseluis Aristondo, Luis Carnelli, Juan Andrés Varela

EN CUMPLIMIENTO PARCIAL DE LOS REQUERIMIENTOS
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA.

TUTOR

Ing. Andres Cardozo Universidad de la República

TRIBUNAL

Ing. Andres Cardozo Universidad de la República

Ing. Daniel Scanagatta Universidad de la República

Ing. Pablo Toscano Universidad de la República

Ing. Mariano Cebey Universidad de la República

Montevideo
miércoles 15 marzo, 2017

Proyecto de grado

Diseño y Construcción

Fuente de Media Tensión , Joseluis Aristondo, Luis Carnelli, Juan Andrés Varela.

Esta tesis fue preparada en L^AT_EX usando la clase iietesis (v1.1).

Contiene un total de 194 páginas.

Compilada el miércoles 15 marzo, 2017.

<http://iie.fing.edu.uy/>

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a nuestras familias, amigos, novias, compañeros y todas las personas que nos acompañaron con su apoyo en este camino.

En especial queremos agradecer la disposición de las empresas Mantenimiento Especializado SRL y Urutransfor SA, al equipo de Talleres Generales y Laboratorio de Ensayos de Transformadores de UTE.

A nuestro tutor Msc. Ing. Andrés Cardozo, por su colaboración y disposición a lo largo de todo el proyecto.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
1.1. Descripción	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Resumen	2
1.4. Esquema	2
2. Transformador de Ensayo	3
2.1. Transformadores y principios fundamentales de las técnicas experimentales de alto voltaje	3
2.1.1. Generación y medida de Media Tensión Alterna	3
2.1.2. Características de los Parámetros de altas tensiones alternas	3
2.1.3. Circuitos de transformadores de ensayo [1]	4
2.1.4. Construcción de transformadores de ensayo	5
2.1.5. Rendimiento de los transformadores de ensayo	8
2.1.6. Generación de alta tensión con circuitos resonantes	10
2.2. Transformador de ensayo utilizado en el proyecto	10
2.2.1. Elección y estado inicial del Transformador de ensayo	10
2.2.2. Ensayos Preliminares	10
2.2.3. Modelo y dimensiones	12
2.2.4. Espinterómetro [2]	15
2.2.5. Mantenimiento, ensayos y estudios realizados	17
2.2.6. Programa de mantenimiento [3]	21
3. Divisor de Tensión Resistivo	25
3.1. Teoría y principios fundamentales	25
3.1.1. Divisores de Tensión	25
3.1.2. Divisor Resistivo	27
3.2. Cálculos Realizados	28
3.3. Instrumento de medida de Tensión	30
3.3.1. Ensayo del Instrumento	30
3.4. Protecciones del instrumento de medida	32
3.4.1. Varistor	33
3.5. Construcción	34
3.6. Utilización de Aceite Dieléctrico	37
3.7. Estudio de Arcos Eléctricos	38

Tabla de contenidos

3.7.1.	Método de Simulación de Cargas	39
3.7.2.	Resumen	41
3.7.3.	Aplicación del Método de Simulación de Cargas para el Diseño del Divisor Resistivo	42
3.8.	Ensayo de Respuesta en Frecuencia	48
3.8.1.	Fundamentos teóricos [4]	48
3.8.2.	Resultados del ensayo	52
3.9.	Ensayos	58
3.9.1.	Mantenimiento Especializado SRL	58
3.9.2.	Urutransfor SA	60
3.9.3.	Ensayo In Situ	64
4.	Transformador Variable - Variac	73
4.1.	Funcionamiento Teórico y Características	73
4.1.1.	Ecuaciones de Relación de Entrada-Salida	76
4.2.	Datos Técnicos	76
5.	Tablero y circuito de control de ensayos	77
5.1.	Circuitos para ensayos en Media Tensión	77
5.1.1.	Suministro de energía y circuitos de seguridad	78
5.2.	Tablero de control	78
5.2.1.	Descripción de componentes	78
5.2.2.	Funcionamiento y procedimientos de ensayos	80
5.2.3.	Ensayos de prueba	82
6.	Lugar Físico [1]	83
6.1.	Dimensiones y equipamiento técnico de laboratorios	83
6.2.	Stand para prácticas de alto voltaje	83
6.3.	Vallado	84
6.4.	Disposición física y elementos de seguridad	84
6.4.1.	El lugar	84
6.4.2.	Elementos de seguridad	88
7.	Puesta a tierra	93
7.1.	Fundamento de la puesta a tierra [5]	93
7.2.	Aterramiento de equipos	93
7.3.	Puesta a tierra del laboratorio	94
8.	Seguridad	97
8.1.	Normas de seguridad para ensayos de Alta Tensión	97
8.2.	NS1D - Las 5 reglas de oro	101
9.	Ensayo de Tensión Aplicada [6]	107
9.1.	Introducción	107
9.2.	Descripción del Ensayo	107
9.2.1.	Objeto	108

Tabla de contenidos

9.2.2. Requisitos generales y eléctricos	109
9.2.3. Toma de muestras	109
9.3. Método de Ensayo	109
9.3.1. Equipos	109
9.3.2. Procedimiento	109
Referencias	112
A. Planilla de ensayos Transformador BT/MT	115
B. Ensayo en frecuencia	123
C. Hojas Técnicas de componentes del Tablero de Control	125
D. Hojas Técnicas de componentes del Divisor Resistivo	133
E. Ensayos realizados al aceite dieléctrico	139
F. Estudio de Arcos Eléctricos	141
G. Hoja Técnica Voltímetro	169
H. Disparo de protecciones ante una falla de cortocircuito	175
I. Incertidumbres asociadas a ensayos	179
Índice de figuras	181

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Descripción

El presente proyecto tiene por objeto dejar operativo un sistema de generación de tensión variable en Media Tensión, sinusoidal de frecuencia 50Hz, para uso en Laboratorio con fines didácticos. Además, de estudiar y documentar un ensayo en particular el ensayo de Tensión aplicada a frecuencia industrial usualmente aplicado como ensayo de rutina en equipamiento de media tensión.

El alcance incluye: el sistema de generación de la tensión variable en baja tensión, la puesta en servicio del transformador elevador BT/MT, la construcción y ensayo de un divisor resistivo para medir las tensiones aplicadas en Media Tensión, así como también el diseño de los mecanismos de protección de equipos a equipos frente a daños y la implementación de medidas de seguridad para minimizar el riesgo de accidente para los laboratoristas que manipulan el equipamiento.

De esta forma, se pretende contribuir también al mejoramiento de la capacidad del IIE para la enseñanza de técnicas de Media Tensión en cursos de grado y posgrado.

1.2. Objetivos

El objetivo del proyecto es diseñar y construir una fuente de media tensión controlable utilizando un transformador de baja tensión a media tensión y un variac. También se incluye un divisor de tensión resistivo para medida de voltaje. A su vez se estudia un ensayo en un componente de Media Tensión utilizando la fuente diseñada y construida.

Capítulo 1. Introducción

1.3. Resumen

La siguiente documentación describe el funcionamiento teórico, descripción y resultados obtenidos en ensayos de cada uno de los equipos utilizados para el proyecto.

En los capítulos se encuentra todo el material sobre el Transformador de Ensayo utilizado, el Divisor Resistivo diseñado y construido y el Tablero de control de los ensayos a realizar. También se describe el variac utilizado para regular la tensión de la fuente de Media Tensión y el lugar físico donde se ubica el proyecto. Al tratarse de un proyecto de Media Tensión también se estudia la Puesta a Tierra del sistema, las protecciones y normas de seguridad a tener en cuenta al manipular el equipo. Por último se encuentra la descripción de un ensayo a realizar con la fuente construida.

1.4. Esquema

En la Figura 1.1 se observa un esquema de distribución física y conexión de los equipos del Proyecto Fuente de Media Tensión.

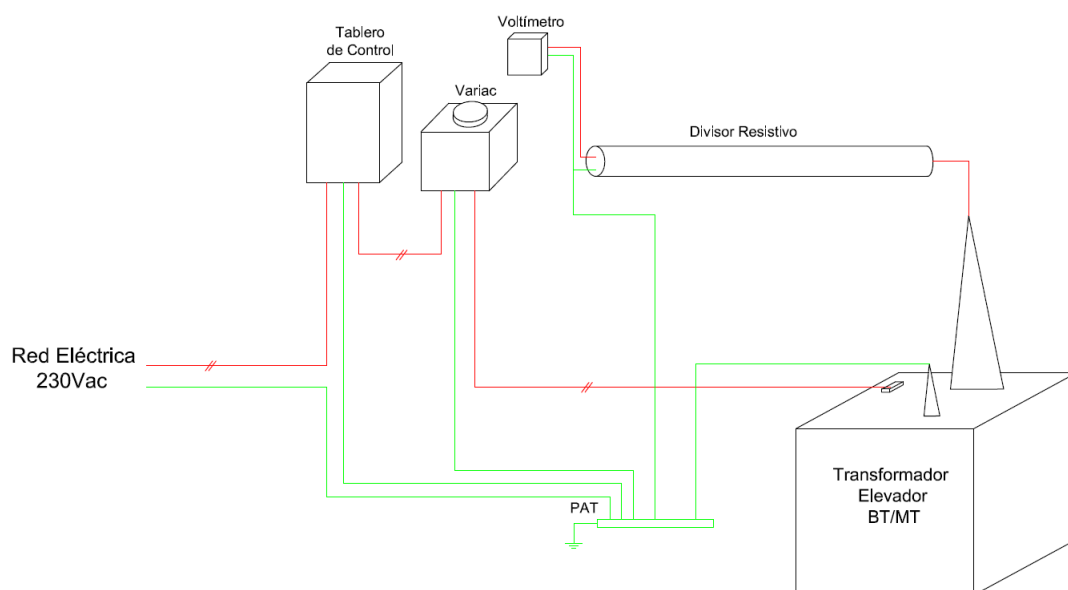


Figura 1.1: *Esquema de distribución y conexionado de los equipos*

Palabras clave: Media Tensión, Transformador, Ensayo, Divisor Resistivo

Capítulo 2

Transformador de Ensayo

2.1. Transformadores y principios fundamentales de las técnicas experimentales de alto voltaje

2.1.1. Generación y medida de Media Tensión Alterna

Se requieren de altas tensiones alternas en los laboratorios para experimentos y ensayos de corriente alterna. Los transformadores de ensayo que se utilizan generalmente para este fin tienen potencia considerablemente inferior y con relaciones de transformación especiales en comparación de los transformadores de potencia. Cuando hablamos de especiales, se consideran relaciones no normalizadas. Esto se debe a la necesidad de alcanzar una alta tensión a partir de una red eléctrica de baja tensión. La corriente primaria generalmente se suministra mediante la regulación de transformadores alimentados por la red eléctrica o, en casos especiales, por generadores síncronos.

La mayor parte de ensayos y experimentos en altas tensiones alternas requieren un conocimiento exacto del valor de la tensión. Esta demanda normalmente sólo se cumplirá mediante mediciones en el lado de alta tensión del transformador elevador; diversas técnicas para la medición de altas tensiones alternas se han ideado para tal fin.

2.1.2. Características de los Parámetros de altas tensiones alternas

La forma de $u(t)$ para tensiones alternas de alta tensión a menudo se desvían considerablemente de la sinusoidal. En la ingeniería de alta tensión, el valor de pico U y el valor eficaz U_{rms} son de particular importancia.

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (2.1)$$

Para los ensayos de alta tensión la cantidad $U/\sqrt{2}$ se define como la tensión

Capítulo 2. Transformador de Ensayo

de ensayo (IEC 60060-1). Aquí se supone que la desviación de la forma de alto voltaje de la sinusoidal no exceda el valor admisible, el 5 % del valor de pico. Para una sinusoidal pura $U/\sqrt{2} = U_{rms}$.

2.1.3. Circuitos de transformadores de ensayo [1]

Los transformadores para generar altas tensiones alternas de ensayo por lo general tienen un terminal de ellos en el devanado de alta tensión conectado a tierra. La figura 2.1 muestra un circuito básico para transformadores de ensayo. La longitud de las flechas de tensión indica la magnitud de la tensión en el aislamiento entre el devanado de alta tensión H y el devanado de excitación E o el núcleo de hierro F. El bobinado H puede ser puesto a tierra si es necesario en cualquiera de los dos terminales o en la toma central, tal como se muestra; en este último caso, la tensión de salida será simétrica respecto a la tierra.

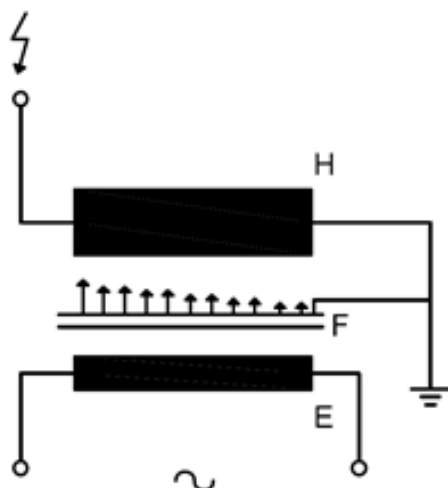


Figura 2.1: Circuito de transformador de ensayo de una etapa. E: Bobinado de excitación, H: Bobinado de alta tensión, F: Núcleo de hierro

Para generar tensiones superiores a unos pocos cientos de kV , los transformadores de una sola etapa según la figura 2.1 rara vez se utilizan; por razones económicas y técnicas se emplea una conexión en serie de los devanados de alta tensión de varios transformadores. En tal disposición en cascada, los transformadores individuales deben tener nivel de aislamiento adecuado para tensiones correspondientes a los de las etapas inferiores. Los devanados de excitación de los transformadores de todas las etapas, excepto la más baja funcionarán a alto potencial.

Un circuito utilizado se muestra en la figura 2.2. Los bobinados de excitación E de las etapas superiores se suministran desde los arrollamientos de acoplamiento K de las etapas inmediatamente debajo. Las etapas individuales, excepto la más

2.1. Transformadores y principios fundamentales de las técnicas experimentales de alto voltaje

alta, la mayoría consisten en transformadores de tres devanados. Cuando aumenta la temperatura, se determinan la forma de la curva y la tensión en cortocircuito, debe tenerse en cuenta que los arrollamientos de acoplamiento y de excitación de las etapas inferiores deben transmitir potencias superiores a los de las superiores y en consecuencia tiene que ser diseñado para una carga mayor. La magnitud de la potencia transportada por devanado se indica en la figura 2.2 en términos de múltiplos de P .

Transformadores de ensayo con conexión en cascada ya se han producido para tensiones superiores a 2MV.

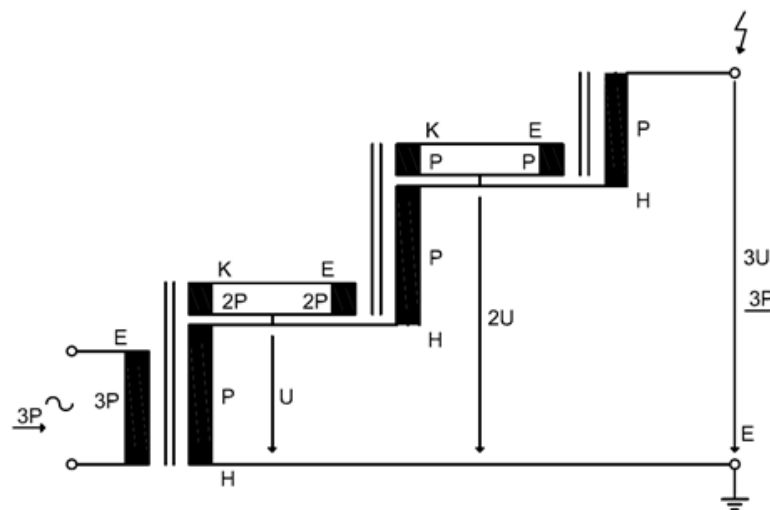


Figura 2.2: Transformador de ensayo en cascada de 3 etapas. E: Bobinado excitación, H: Bobinado de alta tensión, K: Bobinado de acoplamiento.

2.1.4. Construcción de transformadores de ensayo

Para no más de unos pocos kVA, se pueden utilizar transformadores de tensión inductivos para generar tensión alterna de alto voltaje. Para tensiones de hasta aproximadamente 100 kV, se utiliza el aislamiento de resina epoxi ; papel impregnados de aceite o aceite con barreras aislantes y separadores se encuentran para voltajes más altos. En potencias superiores, la refrigeración de los devanados se vuelve importante, y las características de construcción se asemejan a los de transformadores de potencia. Los aceites con barreras aislantes y papel impregnado en aceite predominan como aislante.

Los transformadores de ensayo con aislación de resina encapsulada tienen al menos su devanado de alta tensión moldeado en resina epoxi. La figura 2.3 muestra

Capítulo 2. Transformador de Ensayo

una sección transversal muy simplificada de tal transformador.

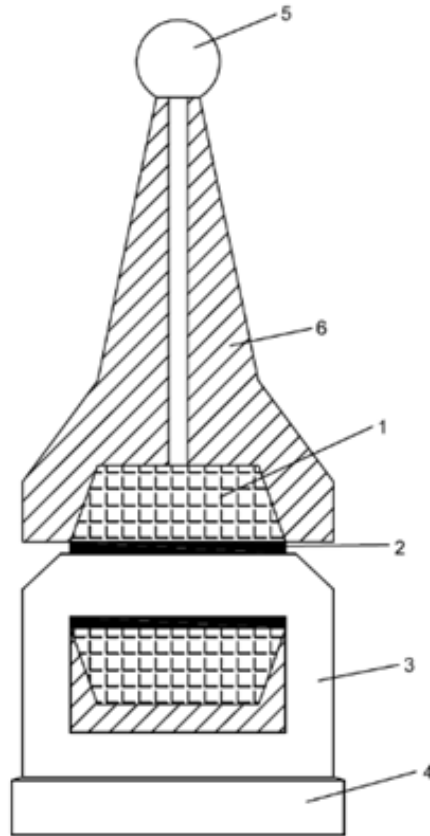


Figura 2.3: Corte transversal de transformador de prueba con aislamiento de resina. 1: Bobinado de Alta Tensión, 2: Bobinado de baja tensión, 3: Nucleo de hierro, 4: Base, 5: Terminal de alta tensión, 6: Aislación.

Existen numerosos diseños para transformadores de ensayo con aislamiento de aceite. En la construcción del tipo de depósito, que se muestra en la figura 2.4, las partes activas (núcleo y los devanados) están encerrados en un contenedor metálico cuya superficie se proporciona útil para la auto-refrigeración. Sin embargo, a tensiones altas de trabajo la necesidad de espacio y el alto costo del aislador es una desventaja. En el tipo de transformador de recinto aislado, como se muestra en la figura 2.5, las partes activas están rodeadas por un cilindro aislante. En general, los transformadores de este tipo contienen una cantidad relativamente grande de aceite y tienen grandes constantes de tiempo térmicas en el caso de sobrecarga. La disipación de calor a través del recinto aislado es muy pequeña. La ventaja es que los bushings no son necesarios y los electrodos de alta tensión con radio grande de curvatura pueden ser fácilmente instalados.

2.1. Transformadores y principios fundamentales de las técnicas experimentales de alto voltaje

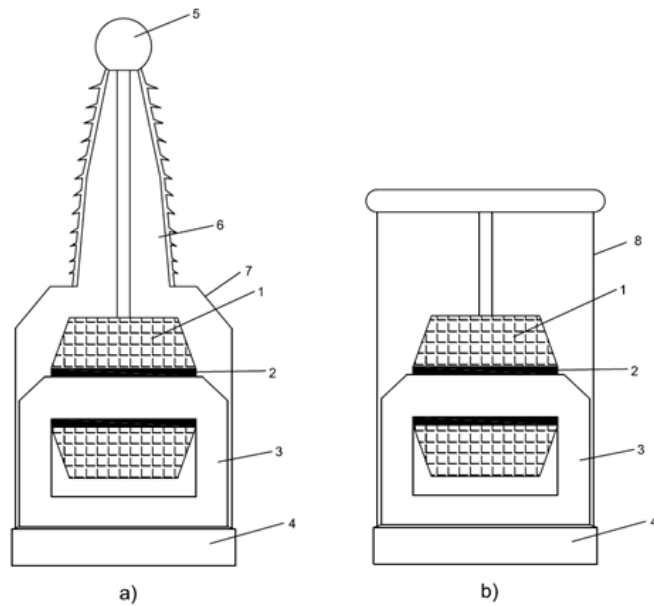
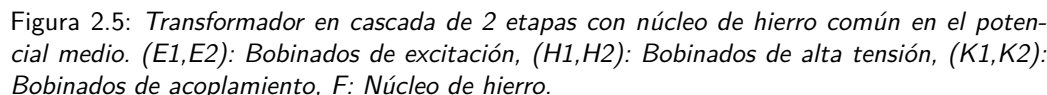


Figura 2.4: Transformador de prueba con aislamiento de aceite. 1: Bobinado de Alta Tensión, 2: Bobinado de baja tensión, 3: Núcleo de hierro, 4: Base, 5: Terminal de alta tensión, 6: Bushing, 7: Tanque de metal, 8: Capa aislante.

Una disposición ventajosa y por lo tanto de uso frecuente de las partes activas se muestra en la figura 2.5. Puede ser considerado como un diseño en cascada de dos etapas en el que ambas etapas tienen un núcleo de hierro común F , que está en la mitad del potencial y por lo tanto normalmente requiere montaje aislado. Para la disposición simétrica de los arrollamientos, $E1$ o $E2$ pueden ser elegidos para la excitación primaria. Si un circuito en cascada será utilizado con una unidad de transformador adicional, el devanado desenergizado puede ser utilizado como acoplamiento para la siguiente etapa superior. Para la excitación a través de $K1$, $K2$, se obtiene una alta tensión simétrica respecto de tierra. El ejemplo de la figura 2.5 muestra los voltajes a tierra que se producen cuando se conecta a tierra el terminal de alta tensión.

La disposición descrita es especialmente ventajosa en voltajes muy altos y se puede configurar según el tipo de diseño del tanque con dos bushings, y también de acuerdo con el diseño del tipo de recinto aislado. En este último caso, sin embargo, la disposición se cambiaría en 90 grados de modo que las dos etapas se encuentran uno encima del otro.



El funcionamiento de trabajo de los transformadores de ensayo se describe para transformador con circuito equivalente de la figura 2.1. La auto-capacitancia C_i del devanado de alta tensin y la capacitancia del objeto de ensayo conectado influyen considerablemente en el rendimiento del tranformado cuando la ltima es una carga externa predominantemente capacitiva C_a . Por otra parte, la corriente de magnetizaci3n se puede despreciar, siempre y cuando no haya saturaci3n del n3cleo de hierro.

Dado que, por regla general $R_k \ll wL_k$ y la tensin $\tilde{U}'_2$ secundaria está casi en fase con la tensión primaria $\tilde{U}'_1$, tenemos:

$1 - w^2 L_k C$ es siempre menor que uno; este modo de resonancia en serie conduce a una mejora capacitiva de la tensión secundaria. La cantidad de aumento de tensión capacitiva se puede calcular fácilmente a partir de la tensión en cortocircuito u_k de los transformadores. Pues para el caso en que la carga capacitiva C toma justo la corriente nominal I_n a la tensión nominal U_n y frecuencia nominal:

2.1. Transformadores y principios fundamentales de las técnicas experimentales de alto voltaje

$$u_k \approx \frac{I_n w L_k}{U_n} \approx w^2 L_k C \quad (2.3)$$

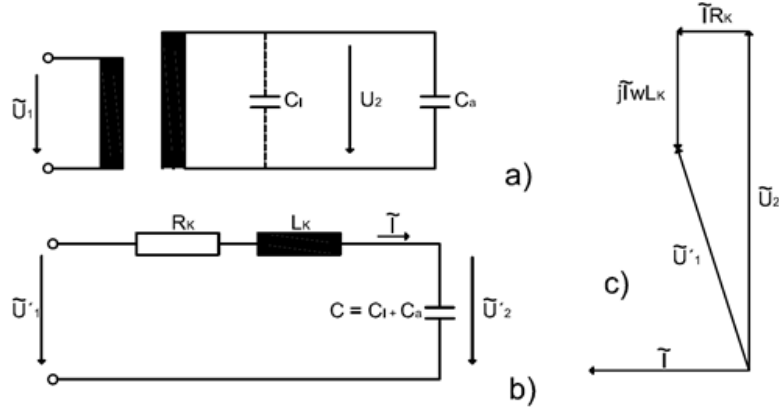


Figura 2.6: *Funcionamiento de trabajo de transformadores de ensayo. a) Diagrama del circuito; b) Circuito equivalente; c) Diagrama de fases*

En consecuencia un transformador de prueba con $uk = 20\%$ mostrará un aumento de tensión del 25% a frecuencia nominal cuando una carga capacitiva se lleva la corriente nominal.

Este aumento de la tensión tiene que ser tenido en cuenta, en particular para los transformadores de ensayo con altos valores de tensión de cortocircuito, y sobre todo cuando se utiliza en las frecuencias más altas. Entonces, ya no es una relación de transformación fija; por esta razón la determinación del valor de la salida de alta tensión mediante la medición de tensión en el lado de baja tensión del transformador es inadmisibles. Esta medida indicaría valores muy inferiores a los reales, y el objeto de ensayo, así como el transformador podrían estar en peligro.

Los transformadores de ensayo, especialmente en la conexión en cascada, representan redes espacialmente extendidas capaces de oscilar. Los armónicos de la tensión primaria y la corriente de magnetización pueden excitar oscilaciones naturales en varias frecuencias, y esto puede conducir a una distorsión considerable de la tensión secundaria.

Dado que los armónicos de alto voltaje muestran pronunciada dependencia de la corriente de carga y del valor de la tensión impuesto, se debe tener cuidado de que durante el ensayo la especificación de la desviación permitida de la alta tensión de la sinusoide de la misma frecuencia fundamental no supere el 5% del valor de pico. Para esta comprobación, el valor de pico de la sinusoide ideal asumido puede ser elegido de tal manera que las desviaciones de la forma real, por encima y por debajo de la sinusoide, sean de un mínimo (IEC 60060-2).

2.1.6. Generación de alta tensión con circuitos resonantes

La figura 2.6 se utilizó para mostrar que es posible obtener una mejora de la tensión muy considerable en el lado secundario de un transformador de ensayo por resonancia serie con una carga capacitiva. Este efecto se puede utilizar para la generación de altas tensiones alternas de ensayo; para extender el rango, la inductancia de cortocircuito del transformador de ensayo es entonces aumentada por un inductor de alta tensión separado. El circuito resonante en serie formado por la inductancia y la capacidad del objeto de ensayo puede ser excitado por un transformador de voltaje secundario relativamente bajo.

Los circuitos resonantes son particularmente ventajosos cuando el objeto de ensayo tiene una alta capacitancia, por ejemplo, un cable de alta tensión. La ventaja especial de un circuito de este tipo es que la tensión de salida se desvía muy poco de una senoide y que, debido a las características del circuito resonante en serie, casi completa la compensación de la potencia reactiva requerida para el objeto de ensayo.

2.2. Transformador de ensayo utilizado en el proyecto

2.2.1. Elección y estado inicial del Transformador de ensayo

El transformador de Baja Tensión a Media Tensión, que es el equipo fundamental para la fuente de media tensión a construir, es un antiguo transformador de ensayos que se encuentra en el Laboratorio de Maquinas Eléctricas en el Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería.

El mismo tiene los siguientes datos de chapa:

- Tensión Máxima 50kV
- Relación de transformación: $n = 429$

Con la tensión máxima y la relación de transformación es posible calcular la tensión máxima del lado primario, según datos de chapa. La misma es de $Up = 116V$.

2.2.2. Ensayos Preliminares

El equipo transformador fue llevado a Talleres Generales de UTE donde se le realizaron ensayos previos al mantenimiento para comprobar el estado del equipo.

Los ensayos más importantes para determinar el estado del transformador son la medición de la aislación y relación de vueltas. Los resultados obtenidos muestran en una primera instancia:

Aislación:

2.2. Transformador de ensayo utilizado en el proyecto

- Alta Tensión-Baja Tensión: $670M\Omega$
- Baja Tensión-Tierra: $655M\Omega$

Relación de vueltas:

- Valor medido: $n = 431$

Se observa de los resultados que la relación de transformación medida se asemeja a la teórica indicada en el transformador. Los valores de aislación son bajos probablemente por la falta de uso y el posible ingreso de humedad ambiental al equipo.

En la figura 2.7 se puede observar el transformador antes de realizarse el mantenimiento en Talleres Generales de UTE.



Figura 2.7: Transformador de Ensayo a utilizar

Capítulo 2. Transformador de Ensayo

2.2.3. Modelo y dimensiones

El modelo del Transformador de Ensayo a utilizar es similar al de la figura 2.1. El bobinado de alta tensión cuenta con un terminal de alta tensión el cual aplica la tensión al equipo a ensayar y el terminal restante es conectado a tierra.

Las dimensiones del mismo son: altura 50 cm, ancho 65 cm y largo 65 cm. La capacidad del tanque es de aproximadamente 100 litros. La estructura metálica exterior, es de hierro, cuenta con ruedas de apoyo para poder maniobrarlo fácilmente. En la parte superior del transformador, donde se encuentran los aisladores y terminales, también se encuentra un tanque de expansión para liberar la presión de aceite.



Figura 2.8: Imagen del transformador de ensayo luego de ser realizado el mantenimiento

Un detalle del transformador de ensayo utilizado en el proyecto, es el Espinterómetro con el que cuenta. El espinterómetro sirve para medir la rigidez dieléctrica de un material, por ejemplo aire o aceite, la cual se mide por la cantidad de voltios que producen la ruptura dieléctrica del material dada una separación entre las esferas.

En la figura 2.9 se observa el interior del transformador. La parte activa cuenta con un núcleo contruido con laminas de hierro, de esta forma se evitan mayores perdidas por Foucault. Los bobinados de alta tensión y baja tensión son del tipo concéntrico y están montados sobre un soporte aislante único.

2.2. Transformador de ensayo utilizado en el proyecto

El devanado concéntrico simple, donde cada uno de los devanados está distribuido a lo largo de toda la columna del núcleo, el devanado de tensión más baja se encuentra en la parte interna, más cerca del núcleo y aislado de este, mientras que el de tensión más elevada, sobrepuesto a este pero debidamente aislados. Los devanados son de cobre y para aislar los conductores se los recubre de una capa de barniz.

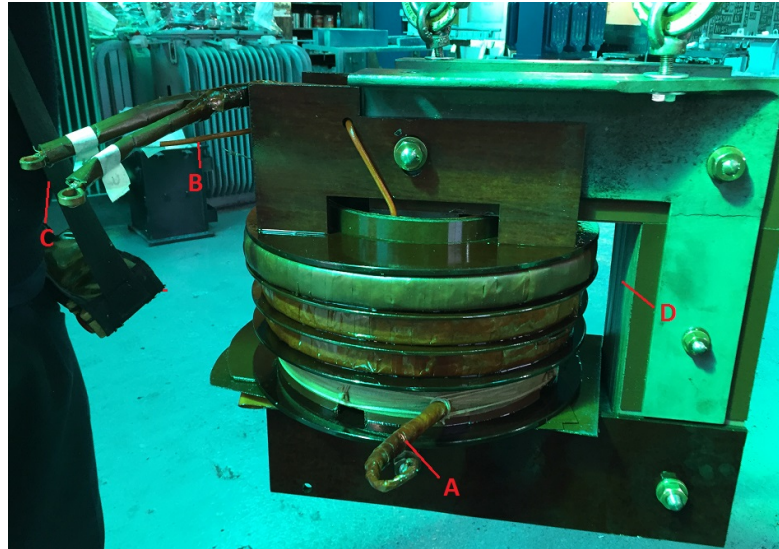


Figura 2.9: Imagen del núcleo del Transformador de Ensayo. A) Terminal de Alta Tensión; B) Terminal de Alta Tensión a conectar a Tierra; C) Terminales bobinado de Baja Tensión; D) Núcleo de hierro

Se observa en la figura 2.10 un esquema de la distribución concéntrica de los devanados de alta y baja tensión.

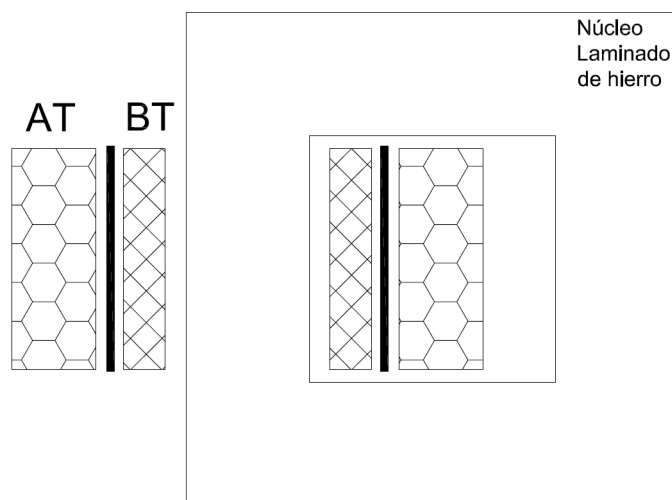


Figura 2.10: Esquema de distribución de devanados.

Capítulo 2. Transformador de Ensayo

En la figura 2.11 se observan los aisladores de media tensión [7]. Los aisladores son elementos utilizados en distintos equipamientos de las redes eléctricas, y en las líneas no solo para aislar diferentes partes de los mismos sino también para soportar distintos esfuerzos mecánicos. El material del cual están compuestos es porcelana. Los aisladores de porcelana sirven para aislar la corriente estática acumulada del circuito. Al ser de porcelana se requiere de mucho cuidado al maniobrar el transformador para los diferentes ensayos a realizar.



Figura 2.11: *Aisladores de media tensión de porcelana.*

Toda la superficie expuesta de los aisladores de porcelana debe cubrirse con un vitrificado de tipo compresión duro, liso, brillante e impermeable a la humedad; que le permita, por medio del lavado natural de agua, mantenerse fácilmente libre de polvo o suciedades residuales ocasionadas por la contaminación ambiental. La superficie total del aislador, con excepción de la superficie de quema, deberá estar esmaltada. La superficie total deberá estar libre de imperfecciones. La porcelana utilizada no tiene que presentar porosidades; debiendo ser de alta resistencia dieléctrica, elevada resistencia mecánica, químicamente inerte y elevado punto de fusión.

2.2. Transformador de ensayo utilizado en el proyecto

2.2.4. Espinterómetro [2]

El espinterómetro es un elemento constitutivo de los generadores de altas tensiones o altas corrientes. Este permite ser usado a la vez como interruptor o instrumento de medida. Como interruptor, desencadena la onda de impulso la cual puede ser plena o recortada y como instrumento de medida, permite conocer el nivel de tensión al cual dicha onda es generada y/o recortada. El espinterómetro es en esencia un arreglo de dos electrodos los cuales pueden variar su separación. Dichos electrodos se someten a una diferencia de potencial la cual genera un campo eléctrico homogéneo entre los mismos. Para lograr tal distribución de campo el arreglo de electrodos más favorable es el arreglo de esferas.

Aunque es posible utilizar placas o perfiles de Rogowski para construir un arreglo de electrodos que produzcan descargas en campo eléctrico homogéneo, es el arreglo de esferas el más recomendable. Los primeros presentan grandes concentraciones de campo en sus extremos a altos niveles de tensión, mientras que el arreglo de esferas garantiza campo eléctrico homogéneo siempre y cuando la distancia entre las esferas no supere su radio, existiendo así un diámetro definido para cada nivel de tensión.

Las consideraciones de campo determinan el dimensionamiento adecuado del soporte, este, no debe alterar la homogeneidad del campo en las condiciones de trabajo más exigentes presentadas cuando se tienen las semiesferas con la máxima tensión y la máxima separación.

En la figura 2.12 se observa el diseño del espinterómetro del transformador de ensayo.

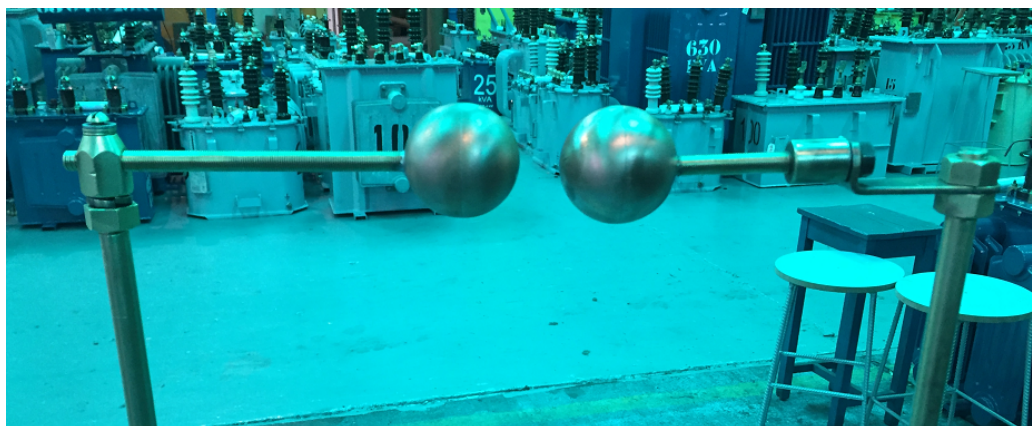


Figura 2.12: *Espinterómetro del transformador de ensayo*

Se puede verificar la homogeneidad del campo eléctrico presente para una separación de 1 cm y de 7 cm como medidas tomadas aleatoriamente. La separación de 1 cm, Figura 2.13, presenta un nivel de campo eléctrico muy intenso así como una

Capítulo 2. Transformador de Ensayo

alta probabilidad de disrupción entre las esferas. Las líneas de campo observadas evidencian la homogeneidad del campo eléctrico, en la región interelectródica.

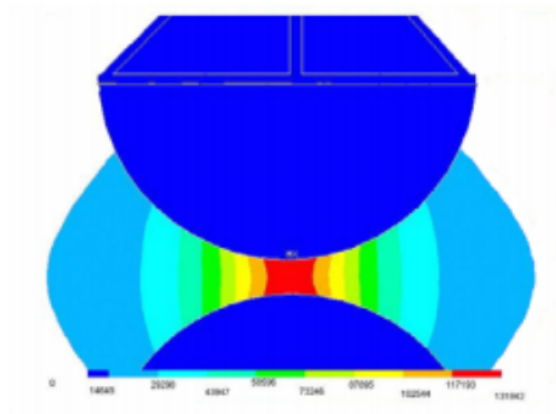


Figura 2.13: *Campo eléctrico (V/cm) en la región interelectródica con 1 cm de separación.*

En la Figura 2.14, para una separación interelectródica de 7 cm se observa una disminución tanto de la homogeneidad como de la magnitud de la intensidad de campo eléctrico, asociándose con esta última una reducción de la probabilidad de una descarga.

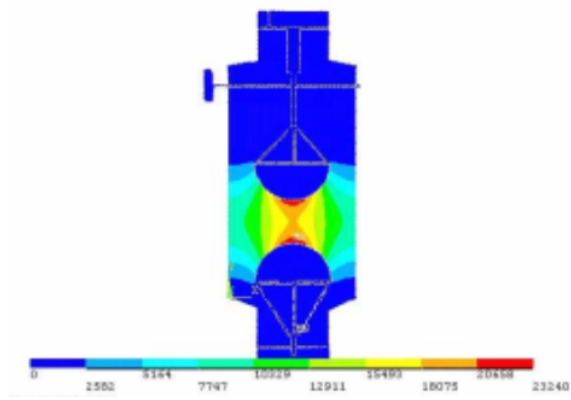


Figura 2.14: *Campo eléctrico (V/cm) en la región interelectródica con 7 cm de separación.*

En cuanto a los materiales, para las esferas se pueden utilizar materiales como el aluminio, el bronce o el acero, ya que estos elementos son buenos conductores. En nuestro caso las esferas son de bronce.

2.2. Transformador de ensayo utilizado en el proyecto

2.2.5. Mantenimiento, ensayos y estudios realizados

Mantenimiento realizado

Como fue descrito anteriormente, el estado general del transformador se encontraba en descuido e inutilizable.

Dentro del mantenimiento se incluyeron las siguientes tareas:

- Desarme total del equipamiento
- Vaciado de aceite la cuba
- Limpieza, pintura y secado de la cuba
- Limpieza de aisladores
- Pulida de esferas y soporte de espinterómetro
- Colocación de nuevos pernos y juntas de corcho
- Armado del transformador
- Llenado de aceite

Ensayos y estudios

Así como en primera instancia se realizaron los estudios preliminares de medición de resistencia de aislación y relación de transformación, una vez concluido el mantenimiento se realizaron los mismos ensayos.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Aislación:

- Alta Tensión-Baja Tensión: $6,65G\Omega$
- Baja Tensión-Tierra: $10,7G\Omega$

Medida de resistencia de devanados:

- Devanado Baja Tensión: $32,93\mu\Omega$
- Devanado Alta Tensión: $13,7\Omega$

Relación de vueltas:

- Valor medido: $n = 431,9$

En el Apéndice A se encuentra la planilla de resultados entregada por Talleres Generales de UTE, con los valores obtenidos en todos los ensayos realizados.

Capítulo 2. Transformador de Ensayo

En el estudio del transformador se utiliza su circuito eléctrico equivalente, que relaciona entre sí las magnitudes fundamentales del transformador, en la figura 2.15 se define el circuito equivalente.

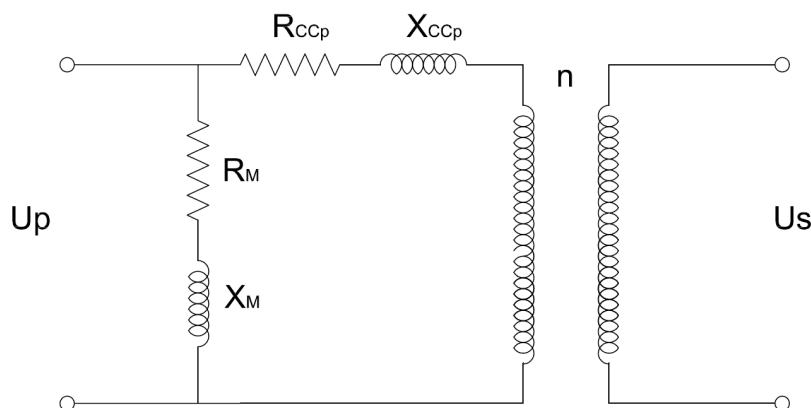


Figura 2.15: Circuito equivalente del transformador reducido al primario. .

Relevamiento de curva de saturación - Ensayo en vacío

El ensayo consiste en dejar abierto uno de los devanados mientras se alimenta con la tensión sinusoidal y frecuencia nominal el otro devanado. Lo habitual es alimentar el devanado de menor tensión nominal, con el fin de reducir la tensión del ensayo.

Los datos del transformador obtenidos con el ensayo en vacío son la potencia absorbida en vacío por el transformador, que coincide con las pérdidas en el hierro, y los parámetros de la rama en paralelo del circuito equivalente aproximado

El procedimiento realizado para este ensayo fue, alimentar el transformador del lado primario comenzando por una tensión reducida aumentándola progresivamente hasta alcanzar la tensión nominal en el devanado de baja tensión. Los puntos se relevaron cada 10V aproximadamente. En cada punto se toman los valores de tensión, corriente y el $\cos(\theta)$. Se observa la gráfica obtenida en la figura 2.16.

Se observa que la saturación del núcleo del transformador no se alcanza hasta la tensión nominal dada y un 10 % mas. De esta forma se puede afirmar que la tensión nominal del transformador en baja tensión es superior a la descrita en el transformador.

Para hallar la impedancia magnetizante, o de vacío, tomamos un punto intermedio de la gráfica de la figura 2.16, con los valores relevados.

Punto seleccionado: $U_p = 110V$; $I_0 = 1,16A$; $\cos(\varphi_0) = 0,853$

2.2. Transformador de ensayo utilizado en el proyecto

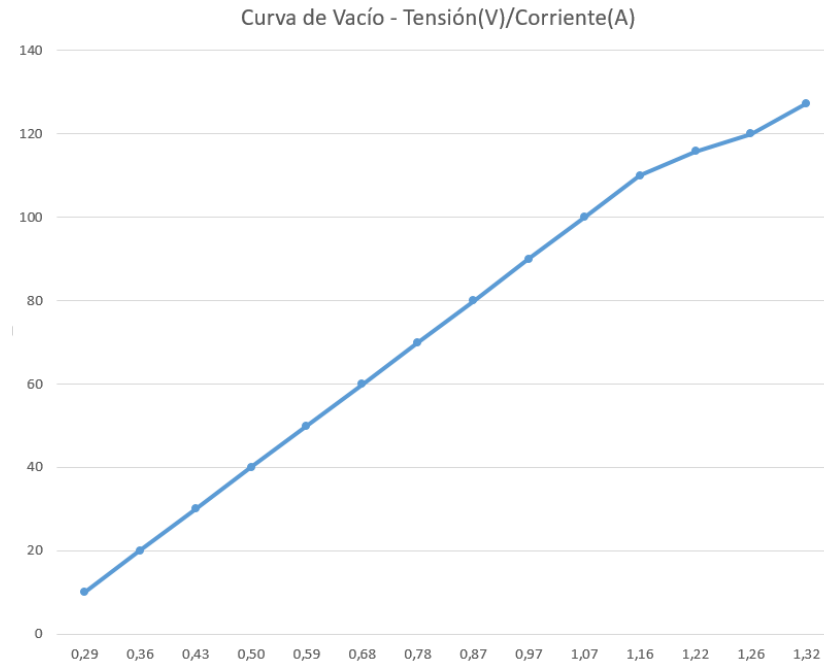


Figura 2.16: *Curva de puntos relevados, ensayo de vacío.*

Se obtiene el siguiente resultado:

$$Z_M = R_M + jX_M = (80,89 + j49,49)\Omega \quad (2.4)$$

Ensayo en cortocircuito

Consiste en cerrar en cortocircuito uno de los devanados, mientras se alimenta a una tensión reducida el otro devanado; generalmente se alimenta el devanado de mayor tensión nominal, con el fin de no tener que medir intensidades excesivamente altas y obtener más fácilmente la tensión reducida de alimentación. La tensión reducida se obtiene aumentando progresivamente la tensión de alimentación, desde cero hasta que por los devanados circule la corriente nominal.

A la hora de calcular el circuito equivalente se desprecia la rama en paralelo, ya que la corriente que circula por ella es muy pequeña en comparación con la que recorre el resto del circuito (equivalente).

La tensión de cortocircuito representa una pequeña parte de la nominal del transformador y es costumbre representarla como un porcentaje de ella, y puede además expresarse por separado la tensión debida a la carga óhmica del transformador y la debida a la reactancia inductiva.

La corriente de falta es la corriente que circulara por el transformador si se

Capítulo 2. Transformador de Ensayo

presentara el cortocircuito cuando la alimentación conectada fuera la nominal y se obtiene dividiendo la tensión nominal entre la impedancia de cortocircuito. Está claro que esta corriente es muy alta y la potencia disipada por ella destruiría el transformador en poco tiempo, por lo que el ensayo se hace siempre con una tensión reducida.

Del ensayo de cortocircuito se obtiene la potencia activa consumida en el transformador (lectura del vatímetro), que coincide con las pérdidas en el cobre, y la tensión de cortocircuito (lectura del voltímetro). Puesto que se conocen los valores de la potencia activa y de la tensión, calculamos la resistencia (R_{cc}); ya que conocemos también la corriente, es posible calcular la impedancia y, con ellas, la reactancia (X_{cc}).

Con estos datos se obtiene

Para el ensayo se toma de referencia una potencia $S = 1kVA$ y una tensión nominal secundaria de $U_{2n} = 50kV$. Por lo tanto se tiene una corriente nominal secundaria, $I_{2n} = 0,02A$.

El ensayo se alimenta, como ya se describió, desde el devanado de alta tensión y se realiza el cortocircuito en el devanado de baja tensión. Se aumenta la tensión de alimentación hasta alcanzar una corriente $I_{cc} = 0,02A$. La tensión medida cuando se alcanza esa corriente es, $U_{cc} = 1016,8V$.

Con estos datos se logra hallar la impedancia de cortocircuito del transformador de ensayo, Z_{cc} . El dato restante para poder hallar la resistividad y reactancia de la impedancia de cortocircuito es, $\cos(\varphi_{cc}) = 0,46$.

Con los datos relevados se obtiene la impedancia de cortocircuito vista desde el secundario del transformador de ensayo:

$$Z_{ccs} = R_{ccs} + jX_{ccs} = (23,38 + j45,14)k\Omega \quad (2.5)$$

Si se transfiere la impedancia de cortocircuito hacia el primario del transformador con la ecuación:

$$Z_{ccp} = \frac{Z_{ccs}}{n^2} \quad (2.6)$$

se obtiene:

$$Z_{ccp} = R_{ccp} + jX_{ccp} = (0,125 + j0,242)\Omega \quad (2.7)$$

En el Apéndice H se encuentra el estudio del disparo de las protecciones ante un cortocircuito en el lado de Media Tensión.

2.2. Transformador de ensayo utilizado en el proyecto

2.2.6. Programa de mantenimiento [3]

Por años, el mantenimiento preventivo de los transformadores ha estado basado en la determinación de la resistencia de su aislamiento junto con la medición de la rigidez dieléctrica de su aceite. Sin embargo, se sabe ahora que pruebas como el factor de potencia del aislamiento, contenido de humedad, tensión interfacial, acidez, entre otras, son muy importantes para obtener un diagnóstico más acertado del estado del transformador.

Un transformador con su sistema de aislamiento adecuadamente mantenido, será capaz de soportar de una mejor manera problemas como: sobrevoltajes debido a maniobras o a descargas atmosféricas, cortocircuitos internos, entre otros.

Dentro de estos elementos constitutivos del transformador, el sistema de aislamiento (aceite y papel) es el componente más importante y es al que se le debe cuidar en mayor grado. Existen cuatro factores que afectan al sistema de aislamiento de un transformador en aceite: la humedad, el oxígeno, el calor y la contaminación externa.

El efecto de la humedad en las propiedades aislantes del aceite depende de la forma en que esta exista. Una pequeña cantidad de agua en forma de emulsión agua/aceite tiene una marcada influencia al reducir la rigidez dieléctrica del aceite. En cambio, hasta cierto punto, el agua disuelta en el aceite tiene poco o ningún efecto sobre la rigidez dieléctrica del mismo.

El oxígeno es otro de los potenciales enemigos del aislamiento de un transformador, ya que, este reacciona con el aceite para formar ácidos orgánicos, agua y lodo. El oxígeno proviene de la atmósfera o es liberado por la celulosa como resultado de aplicarle calor, además no es posible eliminar todo el oxígeno existente en un transformador inclusive si el llenado del mismo se lo realiza con vacío.

Se sabe que el 90 % del deterioro de la celulosa es de origen térmico. La degradación térmica del aislamiento es función del tiempo, de la temperatura y de cuán seco está el aislamiento. Las elevadas temperaturas causan un envejecimiento acelerado de la celulosa empleada como aislamiento, reduciéndose la rigidez mecánica y eléctrica de la misma, produciéndose la destrucción del papel; otros efectos debidos a las elevadas temperaturas son la generación de agua, materiales ácidos y gases.

Los contaminantes externos pueden presentarse en forma de caspa, provenientes del proceso de manufactura del transformador y que no han sido propiamente eliminados en el proceso de llenado del transformador con aceite. Partículas diminutas pueden desprenderse de la celulosa cuando el transformador está en servicio. Otro contaminante es el policlorhidrato de bifenilo, el cual reduce la capacidad del aceite de soportar sobre voltajes.

Capítulo 2. Transformador de Ensayo

La figura 2.17 presenta los componentes claves del transformador de ensayo en aceite dentro de su mantenimiento preventivo periódico. La figura 2.18 contiene un resumen de las actividades a realizar dentro del mantenimiento preventivo periódico del transformador.

Componente	Inspección y/o pruebas
<i>Devanados</i>	Resistencia DC
	Relación de transformacion
	Resistencia de aislamiento
	Factor de potencia del aislamiento
<i>Terminales</i>	Inspección visual (rajaduras-limpieza)
	Temperatura (termografía infrarroja)
	Nivel de aceite
	Factor de potencia del aislamiento
<i>Aceite dieléctrico</i>	Rigidez dieléctrica
	Tensión interfacial
	Inspección visual
	Color
	Contenido de agua
	Sedimentos
	Número de neutralización
	Factor de potencia
<i>Núcleo</i>	Resistencia de aislamiento del núcleo al tanque
	Núcleo a tierra
<i>Tanque</i>	Inspección visual (fugas y corrosión)

Figura 2.17: *Inspección o pruebas en componentes principales.*

Cuando el mantenimiento preventivo del transformador muestra que posee problemas de humedad, gases combustibles y/o productos de la oxidación, fugas de aceite, puntos de oxidación, ente otros, ciertos trabajos de mantenimiento correctivos deben ser realizados.

2.2. Transformador de ensayo utilizado en el proyecto

Intervalo	Actividades a realizar
<i>Al realizar un ensayo</i>	Tomar lectura de corrientes y voltajes
	Tomar lectura de la temperatura del aceite
	Escuchar sonidos inusuales
	Revisar si aparecen fugas
	Nivel de aceite
<i>Mensualmente</i>	Inspeccionar todos los medidores que posea el transformador junto con los terminales de alta como de baja tensión. Revisar la existencia de fugas de aceite del tanque, uniones y tuberías
	Realizar una inspección general del transformador
<i>Semestralmente</i>	Realizar una inspección visual de los aisladores en busca de rajaduras, grado de limpieza, contaminación o existencia de fogoneo
	Revisar el sistema de puesta a tierra en busca de malos contactos, conexiones rotas o corroídas
<i>Anualmente</i>	Realizar pruebas al aceite del eléctrico.
	Limpieza de aisladores
	Realizar una prueba de termografía infrarroja en busca de "puntos calientes", conexiones malas, porcelana rota, etc.
	Realizar reparaciones menores (cambio de tornillos en mal estado, ajuste de conexiones, etc.)
	Realizar la medición de la resistencia de puesta a tierra del sistema

Figura 2.18: Actividades a realizar periódicamente

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Capítulo 3

Divisor de Tensión Resistivo

3.1. Teoría y principios fundamentales

3.1.1. Divisores de Tensión

Los divisores de tensión para tensiones continua, alternas o de impulso consisten en resistencias o condensadores o combinaciones convenientes de estos elementos.

Los inductores, en general, no se utilizan para divisores de tensión con fines de ensayos, aunque existen divisores de tensión de inductancias y se utilizan para la medición de tensiones a frecuencia de red, independientemente de los transformadores de tensión inductivos como se utiliza en la transmisión de energía.

Los elementos de los divisores de alta tensión antes mencionados se instalan normalmente dentro de vasos de forma cilíndrica aislados con los terminales de tierra y de alta tensión en ambos extremos. La altura de un divisor de tensión depende finalmente de la tensión de salida y esto se desprende de la tensión nominal máxima aplicada; la tensión de salida también está influenciada por la distribución de potencial y por lo tanto se ve influenciada por el diseño del electrodo de alta tensión, es decir, el electrodo superior.

Considerando que la ubicación y las dimensiones de las partes activas, es decir, unidades de resistencias o condensadores, dentro de un divisor de tensión se conocen con exactitud, las mismas afirmaciones son imposibles de alcanzar por las capacidades parásitas. También sería demasiado difícil presentar circuitos equivalentes con parámetros distribuidos. Aparte de las dificultades fundamentales en la realización de cálculos analíticos de tales circuitos, los resultados se relacionan de forma individual para el elevado número de parámetros.

Se ha reconocido por muchos investigadores que una red recurrente o de parámetros distribuidos con parámetros distribuidos por igual es probablemente el mejor compromiso para simular las características de transferencia de circuitos equiva-

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

lentes. Dicha red de parámetros distribuidos por un divisor de tensión generalizada se muestra en la figura 3.1.

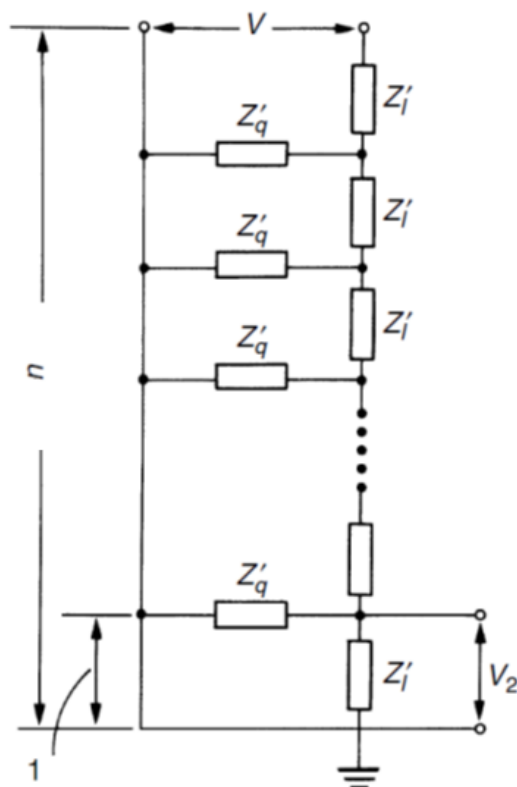


Figura 3.1: Circuito equivalente de un divisor de tensión con parámetros distribuidos

Nuestro sistema es simulado por un gran número n de elementos o secciones, y las n impedancias Z_l en serie están proporcionando la reducción de voltaje. Un número igual de impedancias Z_q a tierra se distribuyen a lo largo de esta columna. La tensión de entrada V se reduce así en gran medida a la baja tensión de salida V_2 . Las impedancias totales se definen entonces por

$$Z_l = \sum Z'_l = nZ'_l \quad (3.1)$$

$$Z_q = \left(\sum 1/Z'_q \right)^{-1} = Z'_q/n \quad (3.2)$$

El número n es por esta definición el equivalente a la relación de tensión V/V_2 del divisor.

3.1. Teoría y principios fundamentales

La función de transferencia para este sistema es

$$h_t(s) = nV_2/V = \frac{n \sinh \frac{1}{n} \sqrt{Z_l(s)/Z_q(s)}}{\sinh \sqrt{Z_l(s)/Z_q(s)}} \quad (3.3)$$

La respuesta al escalón unitario normalizada es

$$g_t(t) = L^{-1} \left[\frac{1}{s} h_t(s) \right] \quad (3.4)$$

Ambas cantidades se pueden calcular y analizar para diferentes circuitos equivalentes, para los que se especifican las impedancias Z_l y Z_q . Sin embargo Z_q siempre se representa por las capacidades parásitas C_e a tierra, ya que ningún sistema de división de voltaje consta de otros elementos pasivos en estos lugares. Esta capacidad parásita se supone que está igualmente distribuida.

3.1.2. Divisor Resistivo

La representación más general de tales divisores asume que los componentes inductivos L' de las resistencias reales R' , así como elementos capacitivos C_p' en paralelo a las resistencias, ver figura 3.2. Las inductancias son inherentes con cada flujo de corriente debido al campo magnético, y los condensadores en paralelo C_p' se pueden formar mediante la construcción y disposición de las resistencias.

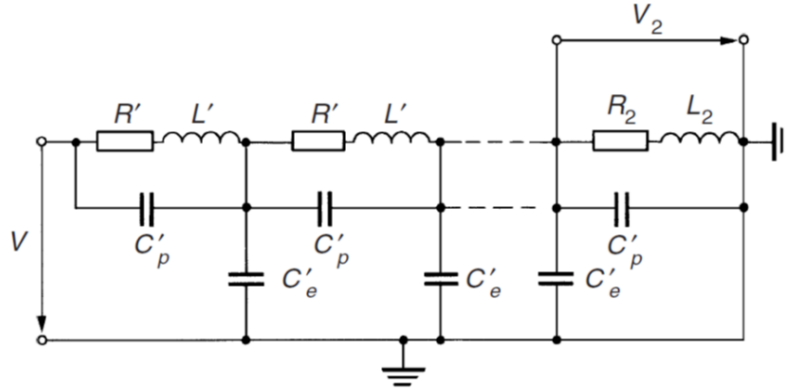


Figura 3.2: *Circuito equivalente de un Divisor de Tensión Resistivo.* . $R = nR'$; $L = nL'$; $C_e = nC_e'$; $C_p = C_p'/n$; $R_2 = R'$; $L_2 = L'$; $R_1 = (n-1)R'$

En primer lugar, es evidente que los divisores de tensión resistivos son ideales para las mediciones de voltaje continuos. La función de transferencia $H_t(s)$ para valores altos de R y valores en consecuencia pequeños de L/R aumenta de manera constante con una disminución de la frecuencia.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

Para $s \rightarrow 0$, se obtiene $H_t(s) = 1$ y entonces

$$V_2 = \frac{V}{n} = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Ver figura 3.2 para la definición de R_1 y R_2 .

3.2. Cálculos Realizados

El objetivo del divisor de tensión es medir señales de alta tensión con instrumentos diseñados para baja tensión, en corriente directa y corriente alterna a bajas frecuencias, proporcionando protección a los mismos.

Resulta inadecuado usar este divisor para la medición de señales a altas frecuencias debido a los efectos parásitos que se presentan en las resistencias, como es explicado capítulos atrás.

El divisor está formado por una rama de alta tensión y por otra de baja tensión. Cada una de ellas compuesta por una resistencia, R_1 se corresponde con la rama de alta tensión y R_2 con la de baja. En bornes de R_2 es colocado el instrumento de medida, que debe reflejar en forma fiel los valores del lado de alta.

Entonces se diseña para tener:

- Consumo del divisor adecuado a la potencia del transformador
- Máxima tensión en bornes de R_2 de $50V$
- R_2 mucho menor que la impedancia del instrumento de medida
- Protección del instrumento de medida

La potencia del transformador es estimada en $500VA$. Bajo esta hipótesis el mismo está en condiciones de entregar una corriente de $10mA$ a una tensión de $50kV$ ($50kV \cdot 10mA = 500VA$). Se toma entonces como primera condición que la corriente consumida por el divisor sea al menos 10 veces menor que la corriente nominal del transformador. Esta condición se refleja en la inecuación 3.5.

$$\frac{50000V}{R_1 + R_2} \leq 0,001A \quad (3.5)$$

Además se diseña para tener una caída de tensión de $50V$ en bornes de R_2 , con este dato y el valor de la corriente por el divisor se estima R_2 :

$$R_2 = \frac{50V}{1mA} = 50k\Omega \quad (3.6)$$

Otra condición a respetar es la potencia máxima que permiten disipar las resistencias. En plaza se consiguen con facilidad resistencias de film metálico con una disipación máxima de $2W$, de aquí obtenemos otra inecuación, la 3.7.

$$R * I^2 < 2W \quad (3.7)$$

3.2. Cálculos Realizados

De la misma se obtiene la inecuación 3.8, una restricción por demás flexible.

$$R < 2M\Omega \quad (3.8)$$

Por otro lado se debe tener en cuenta la máxima caída de tensión admisible en cada resistencia, que según indicaciones de los fabricantes, no puede superar los 500V.

Por simplicidad en los cálculos como en el mantenimiento posterior del divisor, se elige conformar la rama de alta tensión (R1) con una serie de resistencias de igual valor. Entonces, se obtiene la inecuación 3.9, que permite concluir la mínima cantidad de resistencias q que conformarán R1, 100 unidades.

$$q \geq \frac{50kV}{500V} = 100 \quad (3.9)$$

Esta cantidad de elementos implica un tamaño físico considerable. Entonces, para mantener un compromiso entre el tamaño del divisor y la máxima caída de tensión en cada resistencia se concluye emplear 120 resistencias para conformar R1. Esto implica una longitud estimada de 1.30 m del divisor y una caída de tensión Vr en cada resistencia aproximada por la ecuación 3.10.

$$Vr = \frac{50kV}{120} = 417V \quad (3.10)$$

De 3.5 se tiene que $R1 + R2$ debe ser mayor a $50M\Omega$, se hace notar entonces que R2 es despreciable respecto a R1 (tres órdenes menor). Teniendo esto en cuenta, conociendo la cantidad de resistencias que componen R1 y habiéndose elegido las mismas de igual magnitud se estima su valor según la ecuación 3.11:

$$Ri = \frac{50M\Omega}{120} = 417k\Omega \quad (3.11)$$

Ya con los valores de diseño para Ri se busca en plaza las resistencias que más se aproximen, resultando Ri de $470k\Omega$ y por ende, $R1 = 56,4M\Omega$ ($120.470k\Omega$).

Con el nuevo valor de R1 se está en condiciones de ajustar el valor de R2 para lograr una relación de transformación lo más próxima a $n = 1000$. Entonces mediante la ecuación 3.12 se arriba al nuevo valor estimado, $R2 = 56,5k\Omega$.

$$\frac{R1 + R2}{R2} = 1000 \quad (3.12)$$

En el mercado local no se encuentran resistencias con este valor, las más próximas son de $47k\Omega$, obteniendo una relación de transformación dada por la ecuación 3.13:

$$\frac{56,4M\Omega + 47k\Omega}{47k\Omega} = 1200 \quad (3.13)$$

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

Para lograr un valor de R_2 más cercano al deseado se realiza un paralelo de resistencias de $470k\Omega$. Para determinar la cantidad de resistencias apropiadas r se resuelve la ecuación 3.14

$$\frac{470k\Omega}{r} = 56,5k\Omega \quad (3.14)$$

obteniendo como resultado $r = 8$.

Finalmente se tiene que:

$$R_2 = \frac{470k\Omega}{8} = 58,7k\Omega \quad (3.15)$$

Para este valor la relación final está dada por:

$$\frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{56,4M\Omega + 58,7k\Omega}{58,7k\Omega} = 962 \quad (3.16)$$

La configuración de R_2 con varias resistencias en paralelo presenta una ventaja sobre colocar una única resistencia. Dicha configuración prevé mayor protección al instrumento de medida, como se expone en el siguiente capítulo.

Para finalizar vale mencionar que la impedancia de entrada del instrumento de medida es del orden de $1M\Omega$, mientras que R_2 es de $58,7k\Omega$. El valor de R_2 resulta despreciable respecto a la impedancia del instrumento de medida.

3.3. Instrumento de medida de Tensión

El instrumento de medida de la tensión de salida del divisor resistivo es un voltímetro de lectura valor True RMS.

La hoja técnica se adjunta en el apéndice G.

3.3.1. Ensayo del Instrumento

Al estimar la relación de división del divisor resistivo se toma como hipótesis que la corriente que toma el instrumento de medida en baja tensión es despreciable, es decir, que su resistencia interna es muy superior a la resistencia de la rama de baja tensión R_2 .

Con el fin de comprobar dicha hipótesis es ensayado el voltímetro para estimar su resistencia interna. El valor esperado es del orden del $M\Omega$ o superior.

Se arma el circuito de la figura 3.3 con una fuente de tensión y un amperímetro en serie que permite medir entre $0\mu A$ y $250\mu A$ con una resolución de $5\mu A$.

Si se supone una resistencia interna del voltímetro de $1M\Omega$, se espera medir una corriente de $100\mu A$ aproximadamente. Para poder apreciarla en forma correcta

3.3. Instrumento de medida de Tensión

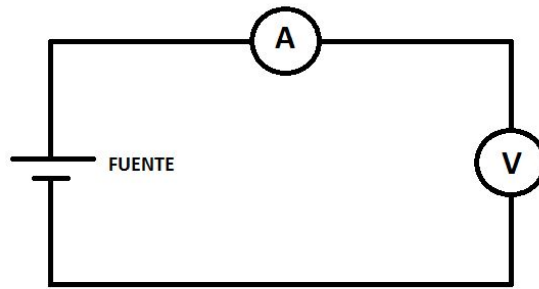


Figura 3.3: Circuito armado para el ensayo del instrumento de medida en baja tensión.

en el amperímetro sin dañarlo, se debe aplicar una tensión dada por la ecuación 3.17, es decir, $unos 100V$.

$$V = R.I \quad (3.17)$$

Entonces, al aplicar $100V_{cc}$ se mide en el amperímetro $107\mu A$. Se aumenta la tensión de la fuente hasta $200V$ de continua midiéndose $215\mu A$ como se ve en la figura 3.4.



Figura 3.4: Lectura del amperímetro con $200V$ aplicados en bornes del amperímetro.

Según la ecuación 3.17 el voltímetro presenta una resistencia interna de aproximadamente 930 kohm . Si bien es del orden de 15 veces mayor que R_1 se puede mejorar esta situación colocando una resistencia R_{in} en serie con la resistencia de entrada del voltímetro, como se muestra en el esquema de la figura 3.5.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

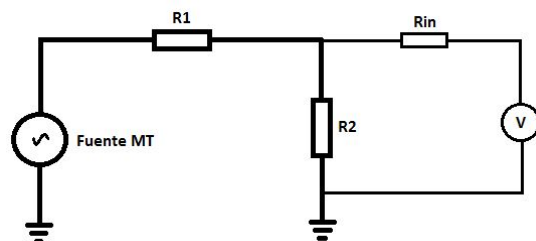


Figura 3.5: Esquema de conexión de la resistencia a incorporar al instrumento de medida.

Cuanto mayor sea R_{in} más cerca se está de la hipótesis de que la corriente por el instrumento de medida es despreciable, más se aproxima el modelo teórico a la realidad y más precisos serán los valores indicados por el propio instrumento. Teniendo esto en cuenta se elige R_{in} igual a $5,6M\Omega$, resistencia de la serie E12.

3.4. Protecciones del instrumento de medida

En caso de falla de alguna de las resistencias que conforman el divisor, se distinguen dos casos.

El primero consiste en la rotura de una o más de las resistencias que componen $R1$. En este escenario se presenta la apertura del circuito en la rama de alta tensión, viendo el instrumento de medida tensión cero. Vale mencionar que existe la posibilidad de que se cebe un arco para dar camino a la corriente saltando la o las resistencias dañadas. Como el transformador es de baja potencia y el divisor resistivo se encuentra sumergido en aceite, dicho arco no será alimentado y se extinguirá rápidamente.

El segundo caso y de mayor relevancia implica la falla de la resistencia $R2$. Si la misma es una única resistencia, se produce la apertura del circuito en la rama de baja tensión. Observando que el instrumento se encuentra midiendo en bornes de $R2$ es fácil ver que el mismo queda sometido a la tensión que está entregando la fuente del lado de alta tensión en ese instante. Frente a esta situación las predicciones no son optimistas, el instrumento de medida se verá dañado.

Es así que se toman precauciones para proteger el instrumento de medida. Para ello se toman dos caminos:

- Lograr la configuración de la resistencia de la rama de baja tensión con el paralelo de varias resistencias.
- La colocación de un componente que absorba el pico de tensión: el varistor, que se describe en el punto 3.4.1.

Como se menciona en el punto 3.2, se logra la resistencia $R2$ con el paralelo de 8 resistencias de $470k\Omega$. Además de permitir acercarse al valor de transformación deseado se disminuye considerablemente la probabilidad de someter el instrumento

3.4. Protecciones del instrumento de medida

de medida a un voltaje que pueda dañarlo. Es decir, debieran dañarse las 8 resistencias (que conforman R2) de forma simultánea, situación que es considerablemente menos probable que se dañe una única resistencia.

3.4.1. Varistor

Un varistor (del inglés "variable resistor") es un componente electrónico cuya resistencia óhmica disminuye cuando la tensión eléctrica que se le aplica aumenta. Tienen un tiempo de respuesta rápido y son utilizados como limitadores de picos de voltaje que pueden ser originados, entre otros, por relámpagos, conmutaciones y ruido eléctrico, protegiendo los componentes más sensibles de los circuitos.

Son fabricados básicamente con óxido de zinc y dependiendo del fabricante se le añaden otros materiales para agregarle las características no lineales deseables. El material se comprime para formar discos de diferente tamaño y se le agrega un contacto metálico a cada lado para su conexión eléctrica.

Al aplicarle un potencial en sus extremos de pequeñas magnitudes ofrece resistencia muy elevada, en tanto que si el potencial aplicado es muy elevado, su resistencia disminuye permitiendo el paso de la corriente.

En la figura 3.6 se aprecia un gráfico de su comportamiento.

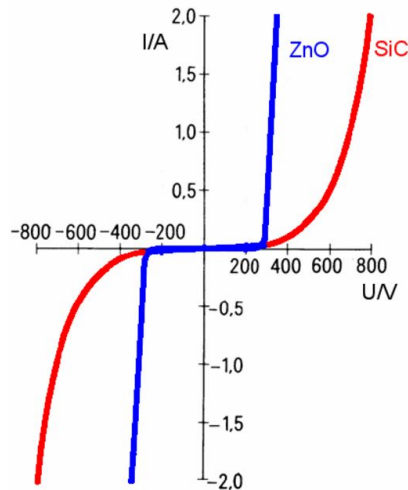


Figura 3.6: Gráfico del comportamiento de un varistor de óxido de zinc en azul y de carburo de silicio en rojo. La curva indica corriente (A) en función de tensión (V).

Entre sus principales características se tiene:

- Amplia gama de voltajes, desde 14V a 550V (RMS). Esto permite una selección fácil del componente correcto para una aplicación específica.
- Alta capacidad de absorción de energía respecto a las dimensiones del componente.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

- Tiempo de respuesta de menos de $20ns$, absorbiendo el transitorio en el instante que ocurre.
- Bajo consumo (en stand-by).
- Valores bajos de capacidad, lo que hace al varistor apropiado para la protección de circuitos en conmutación digital.
- Alto grado de aislamiento.

El varistor se coloca en paralelo al circuito a proteger y absorbe todos los picos mayores a su tensión nominal. Sólo suprime picos transitorios; si es sometido a una tensión elevada constante, el mismo se deteriora.

3.5. Construcción

La construcción del divisor resistivo se divide en varias etapas.

La primera de ellas consiste en hacerse de todos los materiales y herramientas necesarias para tal fin. Dentro de estos se encuentran:

- Tubo de acrílico de 2000mm de largo, 100mm de diámetro y 3 mm de espesor
- Planchas varias de acrílico
- Cloroformo
- Resistencias MFR200S de 470kOhm
- Varistores de 50V (7D820K) y de 130V (7D201K)
- Conductores aislados
- Prensa-cables
- Reglas
- Marcadores
- Pinzas
- Estaño
- Soldador de estaño
- Taladros de mano y de banco
- Amoladora

3.5. Construcción

NOTA: se presentan las hojas técnicas de las resistencias y varistores utilizados en el Apéndice D.

En primera instancia se corta un listón de acrílico de longitud adecuada para contener la totalidad de las resistencias del divisor. El mismo prestará consistencia al grupo.

Como siguiente paso se marca en forma precisa los centros de todos y cada uno de los orificios donde serán colocadas las resistencias, teniendo en cuenta que los ejes de simetría de las mismas deben estar separadas 10 mm entre sí. Luego se realizan las perforaciones utilizando un taladro de banco para mayor precisión.

En paralelo son acondicionadas las resistencias para ser montadas en la barra de acrílico. Sus patas deben estar curvadas en ángulos rectos y recortadas a medida para lograr la mayor simetría posible luego de su montaje.

Se colocan las resistencias en los orificios de la plancha de acrílico y son soldadas con estaño las puntas logrando en serie la resistencia R1 y en paralelo la R2. Además se sueldan en paralelo a R2 dos varistores por precaución, uno de $50V_{rms}$ y el otro de $130V_{rms}$.

En bornes de R2 se sueldan 2 conductores aislados que serán canalizados hacia el exterior del divisor por un extremo del mismo. Por el otro extremo tendremos el conductor que corresponde al lado de media tensión, el cual será soldado en el borne libre de R1.

Los conductores se pasan por las tapas del divisor mediante prensa-cables, evitando fugas del aceite dieléctrico que se colocará en su interior. Con el fin de evitar la creación de burbujas de aire causadas por variaciones en la temperatura ambiente se construye un depósito que auspicia de tanque de expansión. El mismo permite absorber las expansiones y contracciones del aceite.

Finalmente es llenado el divisor con el aceite dieléctrico y son colocadas las tapas quedando pronto para ser ensayado.

Se presenta en las figuras 3.7, 3.8 y 3.9 algunas etapas del proceso de construcción y en la figura 3.10 el divisor finalizado.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo



Figura 3.7: *Tubo de acrílico de 2000mm de largo por 100mm de diámetro a utilizar en la construcción del divisor.*



Figura 3.8: *Tapas del divisor construidas en nylon con o-ring de goma sintética para evitar fugas de aceite.*



Figura 3.9: *Listón de acrílico que oficia de soporte a las resistencias que conforman el divisor.*

3.6. Utilización de Aceite Dieléctrico

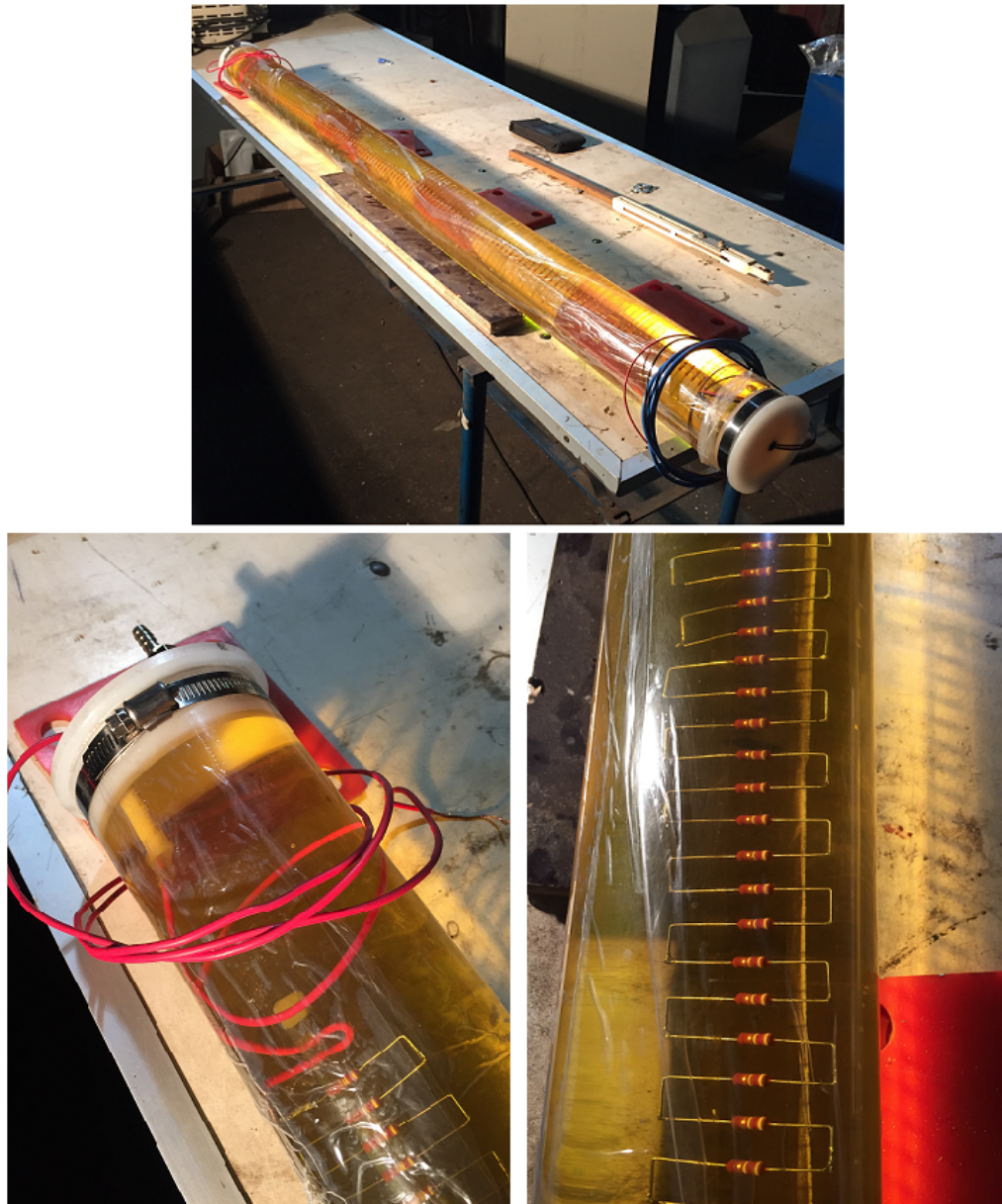


Figura 3.10: *Producto finalizado y lleno de aceite dieléctrico.*

3.6. Utilización de Aceite Dieléctrico

En un principio se considero utilizar el aire como medio aislante, pero tomando en cuenta que el espacio físico en el que estaría instalado el divisor resistivo era reducido y este no puede ser mayor a ciertas medidas, hacía que al momento de imponer las medidas definidas en la construcción del divisor resistivo pudieran quedar diferencias de potencial entre conductores muy cercanas, sin despreciar el efecto corona que también puede aparecer.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

Por lo tanto se decidió utilizar aceite dieléctrico como medio aislante, con el fin de que se pudiera reducir el espacio ocupado por el divisor resistivo y evitar el efecto corona en los conductores.

En el Apéndice E se adjunta la planilla de ensayo del aceite utilizado en el divisor resistivo.

3.7. Estudio de Arcos Eléctricos

Un estudio exhaustivo de este tema excede el alcance de este proyecto. Por lo que el lector interesado puede profundizar su estudio con las referencias [8] y [9] de la bibliografía.

Para la construcción del divisor resistivo, se consideró el riesgo de que pudieran formarse; arcos eléctricos, debido a los campos eléctricos formados por las diferencia de potencial entre bornes de las resistencias, o bien, el efecto corona debido a que el medio ambiente no posea suficiente rigidez dieléctrica para la carga a la que estarían sometidos los conductores que unen las resistencias.

Una forma de estudiar la aparición tanto de los arcos eléctricos como del efecto corona es por medio del comportamiento del gradiente de potencial.

El cálculo analítico del gradiente de potencial es posible en ciertas configuraciones relativamente simples o muy idealizadas.

Para el cálculo de la intensidad del gradiente de potencial en estructuras complejas, como lo es el caso del divisor resistivo, pueden utilizarse básicamente estos dos procedimientos:

- Plantear modelos de la instalación, tan cercanos a la realidad como sea posible y aplicar métodos de cálculo por medio de un software.
- Medir efectivamente el potencial en las zonas necesarias en la instalación real.

En la actualidad, se han desarrollado diversos métodos para realizar cálculos, mediante la realización de software, entre esos métodos se pueden tener como ejemplo: métodos de diferencias finitas, método de elementos finitos, método de elementos de contorno, método de simulación de cargas, método analítico numérico generalizado, etc.

Para el estudio tanto de la aparición del efecto corona como de los posibles arcos que podían aparecer en el divisor resistivo se utilizó el método de simulación de cargas, considerando que el divisor resistivo se encuentra sumergido en aceite

dieléctrico.

Una hipótesis a destacar respecto a los métodos de cálculo, es que dado el bajo valor de frecuencia de la red, se puede despreciar el acoplamiento existente entre los campos eléctrico y magnéticos variables en el tiempo, definido por las ecuaciones de Maxwell. De este modo, es posible utilizar métodos de solución para campos estáticos.

3.7.1. Método de Simulación de Cargas

El método de simulación de cargas consiste en emplear elementos de carga simples, ficticios, que concentren la carga del conductor, pero ubicados convenientemente en su interior, para modelar el equipotencial real del conductor. La selección del tipo, número y ubicación de cada elemento de carga está condicionada a un modelo lo más aproximada posible de la superficie equipotencial conocida: las cargas superficiales distribuidas se reemplazan por elementos de carga discretos ficticios, ubicados en el interior de los conductores y la solución es únicamente válida fuera del espacio ocupado por los conductores.

La magnitud de estas cargas discretas tiene que calcularse de modo que su efecto integrado satisfaga las condiciones de borde (valor del potencial conocido en la superficie de los conductores). El cumplimiento de esto puede verificarse seleccionando un número de puntos adecuados sobre estas superficies, e imponiendo explícitamente la condición, lo cual conduce a un conjunto de ecuaciones lineales debido a la naturaleza discreta de las cargas. Para obtener una precisión satisfactoria en un problema práctico, se requiere seleccionar, dimensionar y ubicar una gran cantidad de elementos de carga, lo cual implica que se hace necesario el apoyo de una computadora. El potencial producido por n elementos de carga, iguales o distintos, se obtiene por superposición de los potenciales producidos por cada carga Q_j con $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Realizar el modelo de la superficie de un sistema físico real significa:

- a) Identificar zonas o regiones parciales, que puedan ser modeladas por elementos de carga comunes.
- b) Seleccionar el tipo de elemento de carga adecuado para modelar cada zona identificada previamente; esta selección se efectúa en base al conocimiento previo de la forma del sistema físico real a modelar.
- c) Ubicar físicamente cada uno de los elementos de carga seleccionados.
- d) Escoger puntos a tensión conocida, sobre el contorno de la superficie equipotencial real. Para lograr esto, un camino puede ser que el número de puntos sea igual al número total de elementos de carga que la modelan. Otro camino puede

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

ser escoger mas puntos sobre la superficie que el número de cargas que la modelan. Cualquiera de los dos caminos es válido, pero se hace mas dificultoso encontrar una solución cuando el número de puntos escogidos es mayor que el número de cargas que modelan la superficie. Estos puntos se escogen con el objetivo de imponer condiciones de borde.

Dadas las condiciones de borde, que resultan ser las condiciones del problema, cada uno de los puntos de contorno, típicamente a tensión conocida, se encuentran alimentados por una fuente que fija una diferencia de potencial. En estos puntos se impone una igualdad entre el potencial que resulta de la superposición de los efectos de cada una de las cargas que modelan la superficie y la tensión real a la cual se encuentra sometido el punto de contorno.

El conjunto de ecuaciones para todos los puntos de contorno constituye un sistema de n ecuaciones lineales el cual debe resolverse para el vector de cargas Q . Una vez conocidos los valores de las n cargas, el potencial en cualquier punto del espacio fuera de los conductores puede calcularse usando superposición.

En particular debe verificarse en qué grado (con que precisión) el conjunto de cargas satisface las condiciones de borde. Para tal objeto se escoge un cierto número de puntos sobre la superficie de los conductores (distintos los puntos de contorno utilizados para calcular los elementos de carga), se calcula su potencial y se compara con el valor real. La diferencia entre estos valores es una medida de la precisión en la simulación.

Si la diferencia entre el valor de tensión al que se encuentra la superficie real (dada por las condiciones de borde) y la correspondiente superficie equipotencial simulada es considerada aceptable, entonces puede calcularse analíticamente por superposición el campo eléctrico en cualquier punto del espacio exterior a la superficie. Por lo tanto también puede calcularse el gradiente de potencial.

En un problema que contenga distintos medios dieléctricos, la aplicación del método es un poco más compleja. En una frontera dieléctrica existe una carga superficial, que también puede simularse por cargas discretas. Sólo existen dos importantes diferencias con respecto a realizar el modelo de un conductor:

- La frontera dieléctrica no corresponde a una superficie equipotencial.
- Debe ser posible calcular el campo eléctrico en ambos lados de la frontera dieléctrica.

La frontera dieléctrica se modela imponiendo las condiciones de borde propias de esta situación en un nuevo grupo de puntos pertenecientes a dichas interfaces. En cada medio dieléctrico distinto existirá una relación que define el potencial en los puntos de ese medio, considerando cierto número de cargas " Q_j ", en general diferentes a aquellas consideradas en la solución de otro medio. El número total

3.7. Estudio de Arcos Eléctricos

de incógnitas aumenta y debe incrementarse en forma consecuente el número de ecuaciones. Las nuevas ecuaciones surgen al imponer continuidad del potencial y de la componente normal del vector desplazamiento en cada punto escogido sobre la frontera.

En definitiva, las ecuaciones adicionales surgen de imponer las condiciones de cambio de medio en problemas de electrostática, para los vectores campo eléctrico y desplazamiento eléctrico.

3.7.2. Resumen

El procedimiento para el cálculo del potencial y campo eléctrico para un sistema físico real, utilizando el método de simulación de cargas, puede resumirse realizando el siguiente procedimiento:

1.- *Definición de características del modelo:* Consiste en definir las superficies equipotenciales que serán modeladas y los elementos de carga que se usarán en el modelo (tipo, dimensiones y ubicación).

2.- *Definición de puntos de contorno:* se seleccionan puntos sobre las superficies reales de los conductores, donde se impone la condición de borde de potencial conocido. Se escogerán con mayor densidad en aquellas zonas donde se requiera una mejor simulación. Se escogen puntos sobre las fronteras dieléctricas, donde se imponen las condiciones de borde.

3.- *Evaluar coeficientes de potencial:* Se relacionan cada uno de los elementos de carga con cada uno de los puntos de contorno mediante la evaluación del respectivo coeficiente de potencial, asociado con el tipo de elemento.

4.- *Formar sistema de ecuaciones:* Se estructura el sistema de ecuaciones, producto de la aplicación de condiciones de borde a todos los puntos de contorno y de frontera dieléctrica.

5.- *Resolver sistema de ecuaciones:* La matriz del sistema es absolutamente densa. El sistema se resuelve por métodos directos con precauciones especiales para evitar errores por truncación o redondeo.

6.- *Verificar potencial en puntos de comprobación:* Conocidas las magnitudes de las cargas, se verifica la satisfacción de las condiciones de borde en algunos puntos de comprobación escogidos conveniente.

7.- *Estimar el error de la solución:* Por diferencias entre valores calculados y reales sobre la superficie de los conductores, se estima el error de la simulación.

8.- *Calcular potencial y campo en puntos de interés:* Si el error en potencial se

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

considera aceptable, se evalúa potencial y campos en puntos previamente identificados.

9.- Visualización de resultados.

3.7.3. Aplicación del Método de Simulación de Cargas para el Diseño del Divisor Resistivo

Para el empleo del método de simulación de cargas, en el estudio de arcos eléctricos por diferencia de potencial, como de zonas probables de efecto corona o descargas por alta intensidad de cambio eléctrico en el divisor resistivo, se realizó un programa el cual se desarrollo en la herramienta de software MatLab. Para la realización del programa se tomaron las siguientes consideraciones teniendo en cuenta el procedimiento detallado en la sección 3.7.2 :

Partiendo de la definición y características del modelo, se tomó como hipótesis un diseño sumergido en aceite dieléctrico con una superficie equipotencial con cierta geometría de construcción la cual podía ser un posible diseño de construcción, la figura 3.11 muestra este diseño con las medidas respectivas:

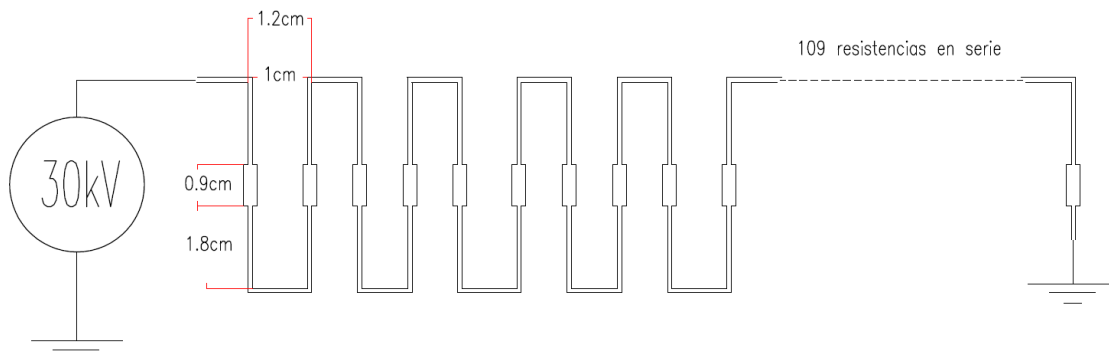


Figura 3.11: Medidas entre resistencias y largo del segmento del conductor horizontal 1cm, largo de las resistencias 0.9cm, largo del segmento vertical del conductor 1.8cm

Cabe resaltar, que en el diseño constructivo real del divisor, las resistencias están sujetas a un listón de acrílico, ver Figura 3.9. En el modelo que se toma para el estudio realizado en la herramienta Matlab, se toma la constante de permitividad dieléctrica del acrílico ($6,5\epsilon_o$) en el mismo orden que la constante de permitividad dieléctrica del aceite ($4,5\epsilon_o$). Estos datos fueron obtenidos de las referencias [10] y [11]. Por lo tanto se supone que existe un único medio dieléctrico dentro del divisor resistivo

3.7. Estudio de Arcos Eléctricos

Observando la figura 3.11 se puede ver que los puntos críticos en los cuales habrá mayor tensión, por lo tanto mayor riesgo de que se produzca un arco eléctrico por la diferencia de potencial, son los que se muestran en la figura 3.12.

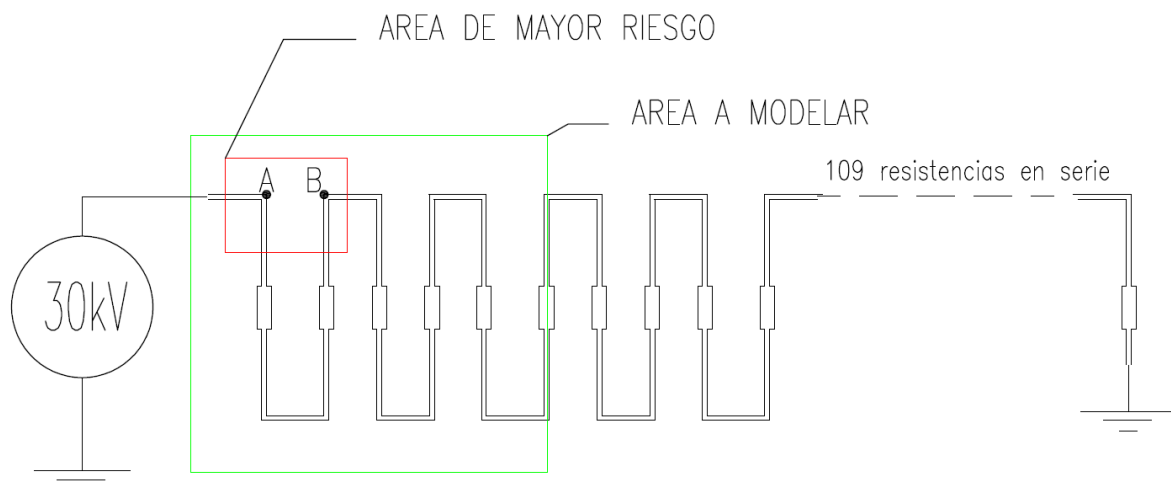


Figura 3.12: En base al área de mayor riesgo se toma el área que se modela en la construcción del software

El área que se muestra en la figura 3.12 se considera de mayor riesgo dado que, si se observa la tensión que se tiene en los puntos A y B es mayor que en todo el divisor.

Considerando que los segmentos del divisor que más contribuyen con la diferencia de potencial son los segmentos más cercanos a dicha área, al momento de modelar la superficie equipotencial solo se tomó en cuenta los primeros 3 segmentos más cercanos a dicha área crítica, despreciando así las contribuciones de potencial de los segmentos restantes más alejados.

Considerando la forma de la superficie equipotencial del diseño que se tomó para modelar el divisor resistivo, se tomó adecuado seleccionar como elemento de carga, el tipo de carga puntual. Posicionando el diseño que se tomó para modelar el divisor resistivo en un sistema cartesiano de coordenadas de dos dimensiones X,Y (ver Figura 3.14), se ubicó cada uno de los elementos de carga seleccionados, en el medio del conductor que une cada una de las resistencias.

También se escogió, sobre el contorno de la superficie equipotencial de los conductores del diseño, un número de puntos de potencial conocido equivalente al número total de elementos de carga puntual que lo modela para imponer condición de borde.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

La figura 3.13 muestra parte del diseño ubicado en el sistema cartesiano con las cargas puntuales ubicadas y los puntos para las condiciones de borde.

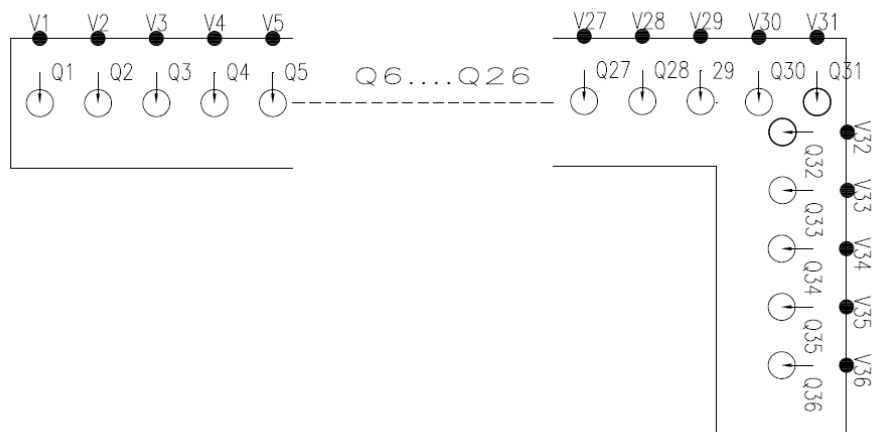


Figura 3.13: Segmento del conductor con las cargas en el medio y puntos de contorno ubicados para aplicar las condiciones de borde

3.7. Estudio de Arcos Eléctricos

Por lo tanto el coeficiente de potencial que relaciona cada uno de los elementos de carga con cada uno de los puntos de contorno es:

$$P = \frac{1}{4\pi\epsilon\vec{r}} \quad (3.18)$$

Teniendo el coeficiente de potencial definido, se estructura el sistema de ecuaciones producto de la aplicación de condiciones de borde a todos los puntos de contorno. Para lograr esto se parte de que se colocaron 31 cargas alineadas en el eje del conductor y 31 puntos para las condiciones de borde en el contorno del mismo, tanto en los tramos verticales como en los horizontales .

Teniendo claro la ubicación de las cargas y de los puntos de contorno para aplicar las condiciones de borde, se formó el sistema de ecuaciones. Primero se crea el vector de potencial V , el cual esta compuesto por los puntos de contorno con tensión conocida, considerando que la tensión en cada segmento del conductor es distinta producto de las caídas de tensión provocadas por las resistencias.

Luego se forma la matriz P de coeficientes de potencial, en la cual cada valor toma como referencia a un punto de los denominados condiciones de borde, y van variando su valor en función de la distancia de entre dicho punto y cada una de las cargas que modelan el sistema físico. Esto es lo que consiste en aplicar las condiciones de borde.

Una vez que se a creo el vector V , y la matriz P , se formó el vector Q , el cual contiene todo las cargas colocadas a lo largo del conductor modelado, las cuales son las incógnitas que se desean hallar. A modo de ejemplo se muestra el sistema de ecuaciones 3.19

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ V_{i\cdot} \end{bmatrix} = \frac{1}{4\pi\epsilon} * \begin{pmatrix} \frac{1}{r_{o1}} & \frac{1}{r_{o2}} & \frac{1}{r_{o3}} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{1}{r_{oi}} \\ \frac{1}{r_{x1}} & \frac{1}{r_{x2}} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{1}{r_{xi}} \\ \frac{1}{r_{z1}} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{1}{r_{zi}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} * \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ Q_i \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

En donde:

$$r_{o1} = \text{distancia entre el punto de contorno } V_1 \text{ y la carga } Q_1 \quad (3.20)$$

$$r_{o2} = \text{distancia entre el punto de contorno } V_1 \text{ y la carga } Q_2 \quad (3.21)$$

$$r_{o3} = \text{distancia entre el punto de contorno } V_1 \text{ y la carga } Q_3 \quad (3.22)$$

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

$$\vec{r}_{0i} = \text{distancia entre el punto de contorno } V_1 \text{ y la carga } Q_i \quad (3.23)$$

$$\vec{r}_{x1} = \text{distancia entre el punto de contorno } V_2 \text{ y la carga } Q_1 \quad (3.24)$$

$$\vec{r}_{x2} = \text{distancia entre el punto de contorno } V_2 \text{ y la carga } Q_2 \quad (3.25)$$

$$\vec{r}_{xi} = \text{distancia entre el punto de contorno } V_2 \text{ y la carga } Q_i \quad (3.26)$$

$$\vec{r}_{z1} = \text{distancia entre el punto de contorno } V_3 \text{ y la carga } Q_1 \quad (3.27)$$

$$\vec{r}_{zi} = \text{distancia entre el punto de contorno } V_3 \text{ y la carga } Q_i \quad (3.28)$$

Una vez que se calcularon los coeficientes de tensión de la matriz P , y se alcanzo con completar los vectores V , y Q , se procedió a resolver el sistema de ecuaciones.

Al momento de despejar el vector Q , para ser hallado, el sistema se resolvió utilizando la retro-barra, función que ofrece la herramienta de software Matlab para invertir matrices. Como precaución para evitar errores por truncación o redondeo por la computadora, se saco de factor común de la matriz P , la constante que multiplica la inversa del vector distancia entre el punto de contorno y cada una de las cargas. Esto se hizo ya que es una constante de valor muy elevado que al ser invertida la matriz, los factores que la componen alcanzan un valor muy cercano a cero, provocando así posibles errores del tipo anterior mente mencionado.

Halladas las magnitudes de las cargas, se procedió a verificar que se satisficiera el potencial en algunos puntos de las condiciones de borde. Este cálculo se hizo por superposición, lo que quiere decir que una vez escogido el punto de contorno para verificar, se sumo el aporte de potencial provocado por cada una de las cargas colocadas a lo largo de todo el conductor. El potencial que aporta cada carga, se calculo utilizando la misma ecuación ($V = [P] * [Q]$), pero en este caso el valor a ser hallado fue V para cada carga.

La Figura 3.15 muestra la tabla en la que se presentan los valores de potencial que el programa desarrollado calcula en los puntos que la Figura 3.14 muestra, y se estima el error relativo de la simulación en base al valor esperado

Finalmente en base a la información que se tenía del medio dieléctrico en el cual se encuentra sumergido el divisor resistivo, aceite dieléctrico, se observo que no era necesario calcular el campo eléctrico, ya que el dato que se tiene es la rigidez dieléctrica.

3.7. Estudio de Arcos Eléctricos

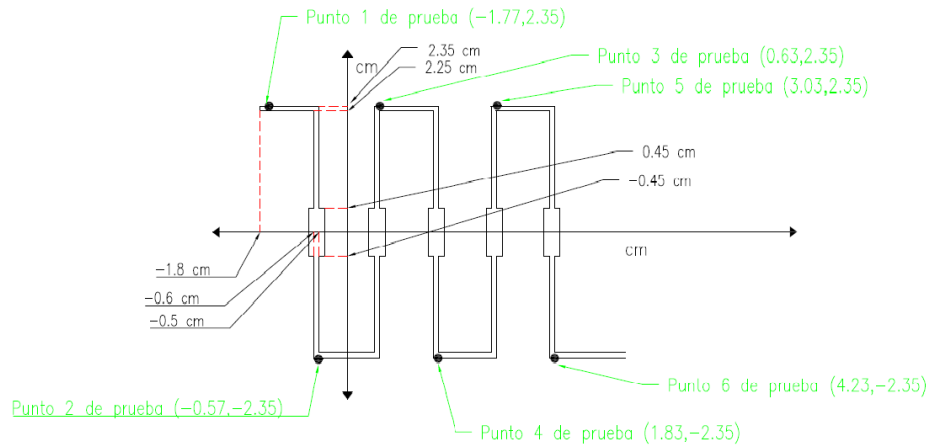


Figura 3.14: Segmento del divisor modelado ubicado en el sistema cartesiano X,Y que muestra los puntos de prueba con sus respectivas coordenadas

No. Punto	x	y	Tensión Calculado	Tensión esperada	Error Relativo
1	-1,77	2,35	50115	50000	0,23
2	-0,57	-2,35	49645	49500	0,29
3	0,63	2,35	49127	49000	0,26
4	1,83	-2,35	48604	48500	0,21
5	3,03	2,35	48118	48000	0,25
6	4,23	-2,35	47639	47500	0,29

Figura 3.15: Tabla de comparación de valores que el programa calcula con los valores esperados, el numero de puntos corresponde con los números de los puntos de la Figura 3.14

Por lo tanto, teniendo en cuenta el error estimado y considerando que es aceptable, obteniendo el potencial de la misma forma que se calculó el potencial en los puntos de comparación, se puede calcular el gradiente de potencial el cual es $2,81kV/mm$. Este se comparó con la rigidez dieléctrica del aceite, $32kV/mm$, obteniendo un resultado aceptable al diseño del divisor que se tomo como base para ser modelado.

En base a este estudio, utilizando el método de simulación de cargas con ayuda de la herramienta de software Matlab, se puede asegurar que no se producirán arcos eléctricos en el área con mas riesgo del divisor resistivo.

En la figura 3.16, se muestran los niveles de potencial, en torno al segmento del divisor resistivos modelado, utilizando el programa Matlab desarrollado.

El programa utilizado en MatLab se encuentra en el apéndice F.

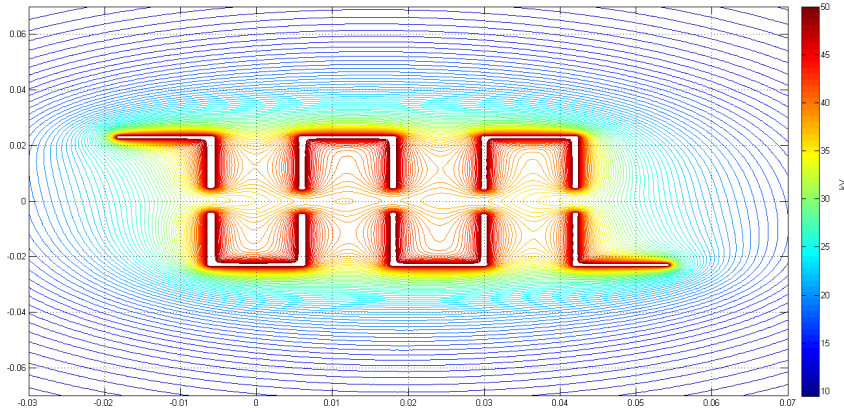


Figura 3.16: Líneas equipotenciales en torno al segmento del divisor modelado, la barra de la derecha muestra los niveles de potencial en kV. Según el color de la línea es el valor del potencial en ese punto del espacio

3.8. Ensayo de Respuesta en Frecuencia

3.8.1. Fundamentos teóricos [4]

La función transferencia normalizada del circuito de la figura 3.2 es fácilmente hallada en la ecuación 3.29

$$h_t(s) = n \frac{\sinh \frac{1}{n} \sqrt{\frac{(R+sL)sC_e}{1+(R+sL)sC_e}}}{\sinh \sqrt{\frac{(R+sL)sC_e}{1+(R+sL)sC_e}}} \quad (3.29)$$

Ecuación 3.1. Transferencia normalizada del Divisor de Tensión Resistivo.

El cómputo de la respuesta al escalón unitario para este y todos los otros circuitos presentados a partir de entonces se puede hacer con aproximaciones menores justificables para n mucho mayor a 1. Sólo se presenta el resultado en la ecuación 3.30

$$g_t(t) = 1 + 2e^{-at} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k (\cosh(b_k t) + a \sinh(b_k t) / b_k) / (1 + C_p k^2 \pi^2 / C_e) \quad (3.30)$$

Donde

$$a = R/2L; b_k = \sqrt{a^2 - \frac{k^2 \pi^2}{LC_e [1 + (C_p / C_e) k^2 \pi^2]}}; k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

Ambas cantidades se pueden utilizar para demostrar los límites de las aplicaciones si se toman en consideración los valores representativos de las constantes del circuito.

3.8. Ensayo de Respuesta en Frecuencia

La capacidad de medir voltajes de alterna así como el ripple inherente en voltajes continuos depende de la disminución de $H_t(s)$ con la frecuencia. Dado que para todas las construcciones de divisores de alta resistencia óhmicas los valores de L/R son inferiores a aproximadamente 0,1 micro segundos, y también Cp mucho menor a C_e , el factor de control de la función de transferencia viene dada por el producto de RC_e . Podemos por lo tanto despreciar L y Cp en la ecuación de $g_t(t)$ así como en la ecuación de $H_t(s)$ y por lo tanto

$$h_t(s) \approx n \frac{\sinh \frac{1}{n} \sqrt{sRC_e}}{\sinh \sqrt{sRC_e}} \quad (3.31)$$

$$g_t(t) = 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \exp(-k^2 \pi^2 t / RC_e) \quad (3.32)$$

con $k = 1, 2, 3, \dots, \infty$

Las ecuaciones 3.31 y 3.32, son la transferencia y respuesta al escalón simplificadas.

La nueva ecuación de $H_t(s)$ puede ser utilizada para calcular el ancho de banda f_b para la amplitud de la respuesta en frecuencia $|g_t(t)|$, si $|g_t(t)| = 1/\sqrt{2}$. La evaluación muestra la siguiente relación, $f_b = 1,46/RC_e$. Similarmente, la respuesta en el tiempo puede ser calculada, siendo el resultado $To = RC_e/6 \approx T$.

Aunque la respuesta al escalón unidad comienza de forma continua, ya que para $t = 0$; $dg_t(t)/dt = 0$, un tiempo de retardo muy pronunciado τ de no puede ser definido. Por lo tanto $To \approx T$, f_b y To se podran utilizar para definir circuitos equivalentes mucho más simples para la red de parámetros distribuidos. La Figura 3.17 muestra este circuito equivalente muy común. Para R_2 mucho menor a R_1 la respuesta al escalón unidad es:

$$g_t(t) = 1 - \exp(-t/\tau)$$

Donde $\tau = RC_e/4$.

Puesto que para este aumento exponencial realmente el tiempo de respuesta es igual a τ , la capacitancia no distribuida a tierra C_e en este circuito equivalente es:

$$T_0 = \frac{RC_e}{6} = \frac{RC_E}{4}; \rightarrow C_E = \frac{2}{3}C_e \quad (3.33)$$

si se utilizan tiempos de respuesta iguales para la comparación.

El ancho de banda de ambos sistemas, que es equivalente a $f_b = 1/2\pi\tau$ para el circuito simplificado se obtiene:

$$\frac{4}{2\pi RC_e} = \frac{1,46}{RC_e}; \rightarrow C_E = \frac{2}{3}C_e \quad (3.34)$$

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

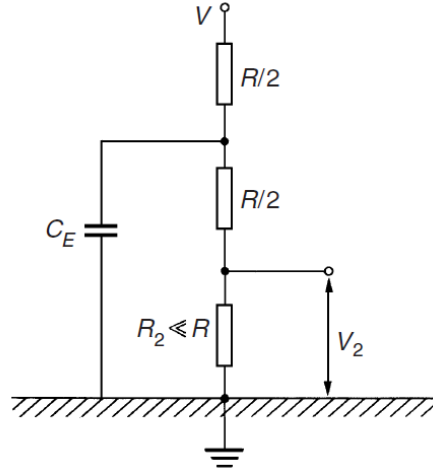


Figura 3.17: Circuito equivalente común que representa aproximadamente el circuito de parámetros distribuidos con $L = C_p = 0$. $C_E = (2/3)C_e$ para igual respuesta en tiempo, ecuación 3.33. $C_E = (0,44)C_e$ para igual ancho de banda, ecuación 3.34.

Las razones de estas discrepancias pueden ser fácilmente detectadas si la respuesta al escalón unidad real de acuerdo con la ecuación 3.32 se compara con un cierto aumento exponencial proporcionado por el circuito equivalente simplificado (Figura 3.17). Esta comparación se muestra en la figura para los tiempos de respuesta iguales. El retraso, pero más rápido, aumento de $g_t(t)$ para el circuito de distribución es la principal razón de las discrepancias.

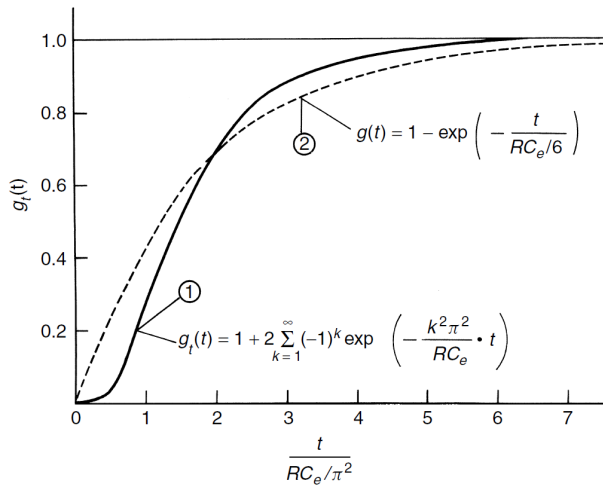


Figura 3.18: Comparación de la respuesta al escalón unidad con igual tiempo de respuesta. (1) para el circuito equivalente de la figura 3.1 con $L = C_p = 0$ en la ecuación 3.32. (2) Para el circuito equivalente de la figura 3.2 con $C_E = (2/3)C_e$.

Un problema es creado por la disipación de calor dentro de las resistencias.

3.8. Ensayo de Respuesta en Frecuencia

Para valores de R constantes y al aumentar el voltaje, la energía disipada en los materiales resistivos aumenta proporcionalmente con V^2 , y durante el tiempo corto de aplicación de voltaje no mucho calor puede transferirse al material de aislamiento que rodea, la energía debe ser almacenada en el resistor. Un cálculo del aumento de la temperatura dentro de las resistencias indicaría las dificultades de alcanzar unidades de baja inductancia aplicables al estrés de la alta tensión. Estas son las razones principales porque divisores de tensión resistivos para voltajes mayores de 1.5-2MV y valores de resistencia de 10-20 $k\Omega$ no se pueden construir.

Hay, sin embargo, algunas de las posibilidades para mejorar la respuesta al escalón unidad de tales divisores.

Es esencial, sin embargo, reducir el tiempo de inducción constante L/R de las resistencias lo más posible. Para la evaluación, tenemos que hacer referencia al circuito equivalente, que se muestra en la Figura 3.2, y las propiedades de transferencia relevantes. La evaluación numérica de la ecuación 3.30, un ejemplo del cual se da en la figura 3.19, muestra la aparición de oscilaciones en la respuesta al escalón unidad con valores de resistencia demasiado bajos, a pesar de que L/R se mantuvo constante, así como C_e y C_p .

Las razones de esta inestabilidad se pueden explicar fácilmente utilizando la ecuación 3.30. Aunque el factor de amortiguación $\exp(-at)$ de la serie infinita se mantiene constante, las funciones hiperbólicas cambiarán a trigonométricas, dependiendo del número de serie k . El término más eficiente dentro de la serie es el primero ($k = 1$). Por este término, la transición se lleva a cabo si b_k se vuelve complejo. Por lo tanto,

$$R_{crit} \approx R \leq 2\pi \sqrt{L/(C_e(1 + \pi^2 C_p/C_e))} \quad (3.35)$$

Esta resistencia *crítica* está incluida en la tabla de la Figura 3.19, y la comparación con las respuestas calculadas confirman la validez de la ecuación anterior.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

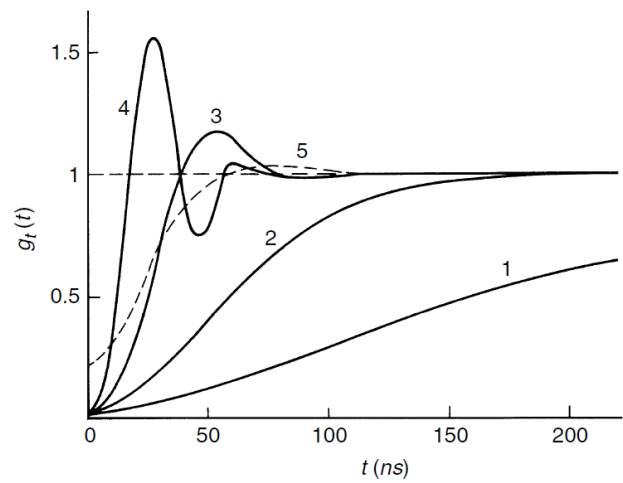


Figura 3.19: Respuesta a un escalón unitario calculado para los divisores resistivos. Circuito equivalente según la Figura 3.2.

$L/R = 10 \text{ nsec};$	$C_e = 40 \text{ pF};$	$C_p = 1 \text{ pF};$	R_{crit}
(1) $R = 30 \text{ k}\Omega$			15.5 k Ω
(2) $R = 10 \text{ k}\Omega$			8.9 k Ω
(3) $R = 3 \text{ k}\Omega$			4.85 k Ω
(4) $R = 1 \text{ k}\Omega$			2.8 k Ω
$L/R = 10 \text{ nsec};$	$C_e = 12 \text{ pF};$	$C_p = 1 \text{ pF};$	
(5) $R = 10 \text{ k}\Omega$			13.4 k Ω

3.8.2. Resultados del ensayo

En primera instancia se realizó un ensayo variando la frecuencia de entrada para poder encontrar la frecuencia de corte, o de 3db, del divisor resistivo. En la figura 3.20 se observa la disposición de los equipos durante el ensayo.

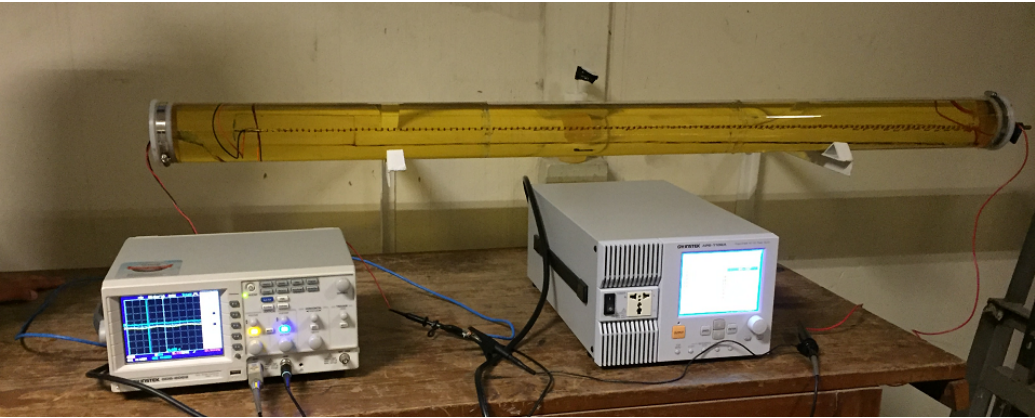


Figura 3.20: Disposición de equipos para ensayo en frecuencias.

En la figura 3.21 se encuentran los resultados de este ensayo.

3.8. Ensayo de Respuesta en Frecuencia

f(Hz)	Vin(V)	Vout(V)	G(V/V)
50	302	0,299	1010
75	302	0,299	1010
100	302	0,299	1010
125	222	0,228	974
150	168	0,173	971
175	186	0,189	984
200	200	0,203	985
250	217	0,22	986
300	219	0,228	961
350	212	0,23	922
400	175	0,212	825
450	188	0,228	825
500	199	0,241	826
550	208	0,254	819

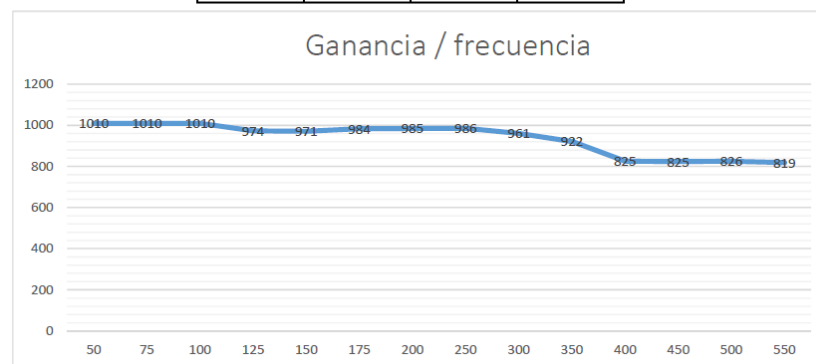


Figura 3.21: *Ensayo del divisor resistivo ante una tensión alterna a diferentes frecuencias.*

Debido a las limitaciones de la fuente utilizada no se logra llegar a una caída de 3db de la ganancia del divisor por lo tanto se procede a realizar otros ensayos.

Se coloca a la entrada del divisor resistivo una tensión de forma de onda cuadrada, con valor pico a pico 200V, con el objetivo de poder estudiar la respuesta escalón del divisor. Se observa en la Figura 3.22 en amarillo la entrada al divisor y en color celeste la salida del mismo. La distorsión observada es propia de la fuente utilizada.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

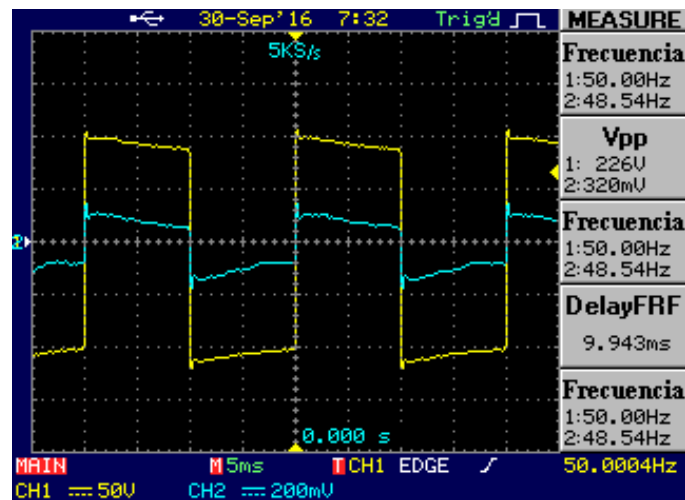


Figura 3.22: Respuesta del divisor resistivo ante una entrada de onda cuadrada a frecuencia 50Hz.

Para poder realizar el estudio de la respuesta escalón del divisor se realiza un corte con el salto de la onda cuadrada. Se observa en la Figura 3.23 el tiempo de levantamiento y el sobretiro.

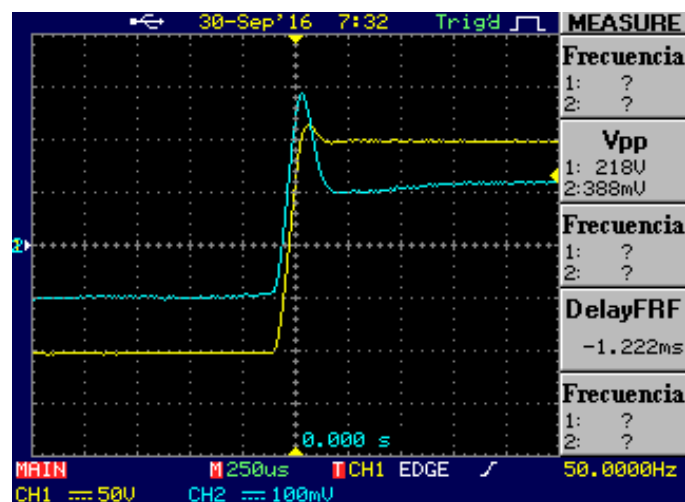


Figura 3.23: Zoom a entrada de onda cuadrada.

Tal como fue estudiado en el curso de Introducción a la teoría de control de la facultad de ingeniería, UDELAR, una transferencia con sobretiro se puede representar como un sistema de segundo orden y polos complejos.

En esta imagen se puede tomar una medida aproximada del tiempo de levantamiento, $t_l = 50\mu s$, y sobretiro, $M_p = 150mV$.

3.8. Ensayo de Respuesta en Frecuencia

Para poder realizar el estudio se utilizó un programa de Matlab que se encuentra en el Apéndice B. En este programa se aproxima la respuesta al escalón del divisor resistivo a una respuesta escalón de un sistema de segundo orden.

En primera instancia se cargan los datos de entrada y salida del sistema obteniendo las figuras 3.24 y 3.25.

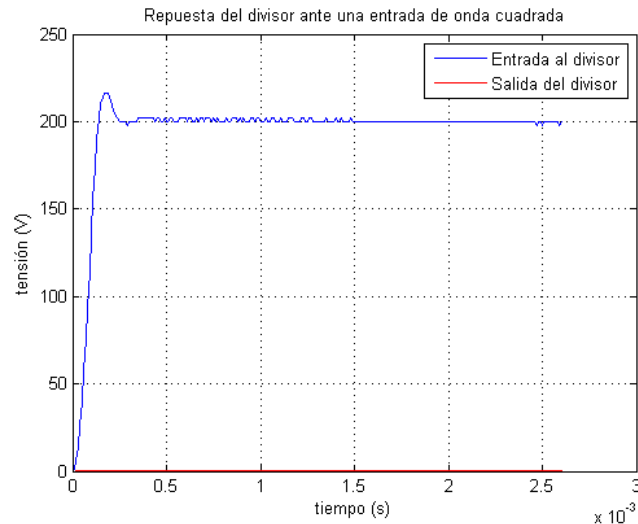


Figura 3.24: *Entrada y salida del divisor ante una onda cuadrada.*

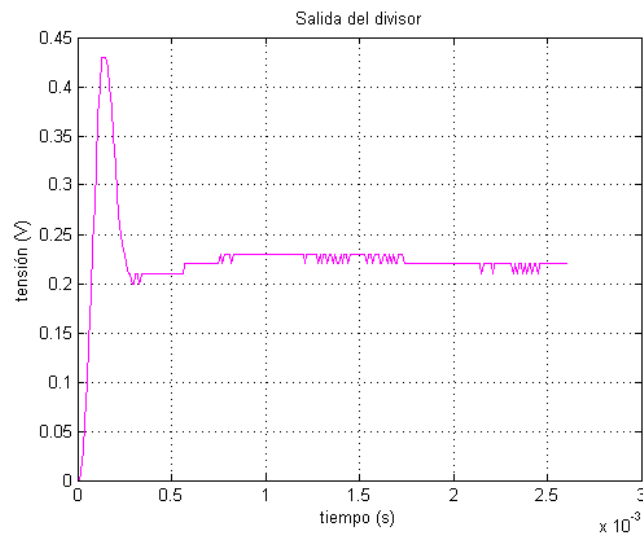


Figura 3.25: *Salida del divisor con una onda cuadrada.*

Luego de tener cargados los datos de entrada y salida del divisor, se aproximó por el método de mínimos cuadrados el equivalente a una respuesta escalón de una

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

transferencia de segundo orden. El resultado obtenido se observa en la figura 3.26.

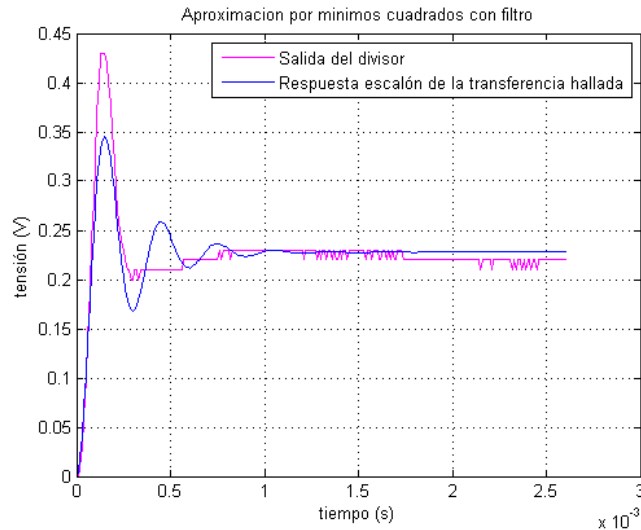


Figura 3.26: Respuesta escalón de la transferencia aproximada.

El resultado de la transferencia de segundo orden hallada se observa al correr el programa, siendo el resultado el que se observa en la figura 3.27.

```
>> Ensayodivisor  
  
H =  
  
      1.05e08  
-----  
s^2 + 8895 s + 4.612e08  
  
Continuous-time transfer function.
```

Figura 3.27: Transferencia de segundo orden aproximada del divisor resistivo.

Se realiza el diagrama de bode, figura 3.28, con el objetivo de encontrar la frecuencia de corte, o de caída de 3db, del sistema.

3.8. Ensayo de Respuesta en Frecuencia

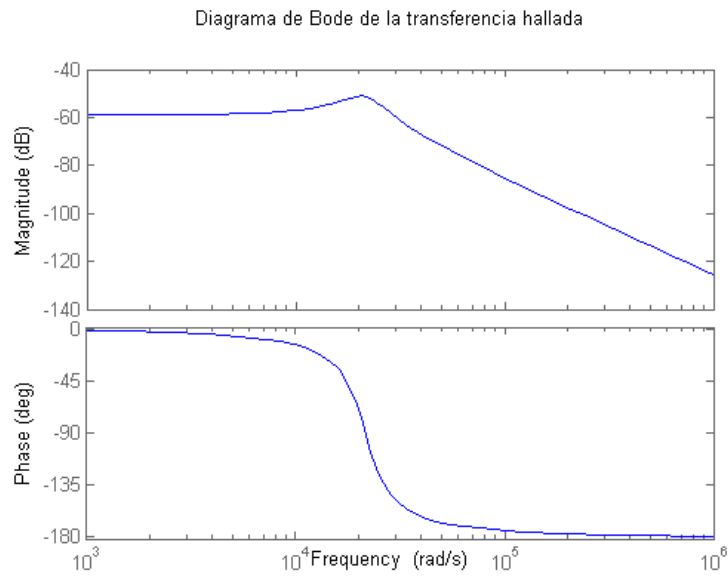


Figura 3.28: *Diagrama de bode de la transferencia hallada.*

Como se observa en el diagrama de bode la ganancia a una frecuencia industrial, 50Hz , la ganancia del sistema es de aproximadamente -60db , lo que equivale a $0,001\text{V/V}$ visto desde la salida del divisor. Por ende la transferencia hallada tiene una relación similar a la real obtenida en los ensayos realizados. La frecuencia de corte se encuentra en el orden de los 15 kHz .

3.9. Ensayos

El divisor es ensayado en dos oportunidades, en primera instancia fue en las instalaciones de la empresa Mantenimiento Especializado SRL, y por último en las de la empresa Urutransfor SA.

En ambos lugares se coloca el divisor en un lugar seguro, evitando movimientos accidentales y se realizan las conexiones pertinentes, tanto en la rama de alta como en la de baja tensión.

3.9.1. Mantenimiento Especializado SRL

En Mantenimiento Especializado SRL se utilizó una fuente de salida variable (variac) entre 0 y 250Vac conectada a la entrada de baja tensión de un transformador de relación 100V/6000V (ver figura 3.29). La salida de dicho transformador alimenta la rama de alta tensión del divisor. En la rama de baja tensión se conecta un multímetro KEWTECH KT200 mostrado en la figura 3.30.



Figura 3.29: Transformador de relación 100V/6000V utilizado para el ensayo del divisor en Mantenimiento Especializado SRL.

3.9. Ensayos



Figura 3.30: Multimedidor Kewtech KT200 utilizado para el ensayo del divisor en Mantenimiento Especializado SRL.

Se toman 14 puntos entre $1kV$ y $9kV$ en la rama de alta tensión relevando el valor indicado por el multímetro a la salida del divisor. El valor promedio de la relación de transformación obtenido es $n = 1100$. Esos resultados se reflejan en la tabla de la figura 3.31.

Ensayo Divisor Resistivo - Mantenimiento Especializado		
Entrada Divisor (V)	Salida Divisor (V)	n
1080	0,8	1350,0
1500	1,2	1250,0
2100	1,9	1105,3
3000	2,8	1071,4
3600	3,3	1090,9
4200	3,9	1076,9
4800	4,5	1066,7
5400	5,1	1058,8
6000	5,7	1052,6
6600	6,3	1047,6
7200	6,9	1043,5
7800	7,3	1068,5
8400	7,6	1105,3
9000	7,8	1153,8
PROMEDIO		1110

Figura 3.31: Tabla con los resultados del ensayo realizado al divisor en Mantenimiento Especializado SRL.

Se debe aclarar que los valores de entrada al divisor de tensión son estimados multiplicando el voltaje que indica la fuente variable (Variac), conectada a la entrada del transformador utilizado, por la relación de transformación indicada por el fabricante del mismo. Si bien los resultados no son precisos, permiten tener una idea del funcionamiento del divisor y una aproximación de la relación de transfor-

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

mación del mismo.

Considerando estas observaciones, los resultados son favorables. No se observan arcos eléctricos ni efecto corona y la relación de transformación es cercana a la esperada.

3.9.2. Urutransfor SA

Para conseguir resultados más afinados se realiza un segundo ensayo en Uru-transfor SA, con una fuente de alta tensión variable, y un instrumento de medida (en alta tensión) que refleja el valor de voltaje a la entrada del divisor, sin necesidad de ser aproximado.

En el lado de baja tensión del divisor se conecta un multmetro FLUKE 87 V de verdadero valor eficaz, mostrado en la figura 3.32, para medir la tensión de salida del mismo.



Figura 3.32: Multimedidor Fluke 87 V de verdadero valor eficaz utilizado para el ensayo del divisor en Urutransfor SA.

En la figura 3.33 se observa parte de la configuración de los equipos previo al ensayo.

3.9. Ensayos

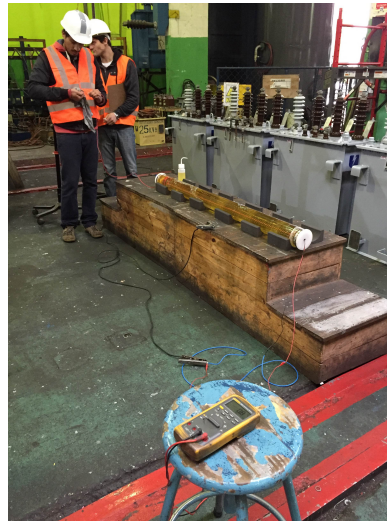


Figura 3.33: Momento previo a la realización del ensayo al divisor resistivo en Urutransfor SA.

En este escenario se realizan 15 medidas entre los $2,2kV$ y los $30kV$, en pasos de $2kV$. Los resultados son presentados en la tabla de la figura 3.34 indicando un promedio de $n = 999$ para la relación de transformación del divisor, valor considerado aceptable. Vale acotar que no se dieron arcos eléctricos ni efecto corona dentro del divisor.

Ensayo Divisor Resistivo - Urutransfor		
Entrada Divisor (V)	Salida Divisor (V)	n
2200	2,3	956,5
4000	4,1	975,6
6000	6,04	993,4
8000	8,04	995,0
10000	10,06	994,0
12000	12,03	997,5
14000	13,94	1004,3
16000	15,88	1007,6
18000	17,94	1003,3
20000	19,89	1005,5
22000	21,82	1008,2
24000	23,77	1009,7
26000	25,77	1008,9
28000	27,8	1007,2
30000	29,68	1010,8
PROMEDIO		999

Figura 3.34: Tabla con los resultados del ensayo realizado al divisor en Urutransfor SA.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

Incertidumbres asociadas.

Las incertidumbres asociadas a la medida de tensión del ensayo en Urutransfor se analizan a continuación.

Consideramos un $u_R = 1\%$ de incertidumbre asociado a la relación del divisor resistivo para una tensin aplicada debido a la incertidumbre de calibracin del mismo.

El instrumento de medida de tensin del ensayo descrito es un Voltímetro Fluke 87 V, con las siguientes características:

- Rango = 60Vac
- Resolución = 0,01 V
- Exactitud = $\pm(0,7\% + 2dig)$

La incertidumbre relacionada con la resolución (u_{Res}) tiene una distribución rectangular centrada entre $-0,005V$ y $0,005V$. En cuanto a la exactitud (u_{Ex}) se tiene una distribucin rectangular con una incertidumbre de $\pm(0,7\% + 2dig)$.

Entonces, la incertidumbre relacionada a la medida de tensin de salida del divisor se con obtiene la siguiente ecuacin:

$$\mu(\%) = \sqrt{(u_R)^2 + \left(\frac{u_{Res}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{u_{Ex}}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (3.36)$$

En la tabla 3.35, se observan las incertidumbres asociadas a cada medida obtenida en el ensayo.

Incertidumbres - Ensayo Divisor Resistivo - Urutransfor						
Entrada Divisor (V)	Salida Divisor (V)	n	u_R (%)	u_Res (%)	u_Ex (%)	u_Total (%)
2200	2,3	956,5	1,00	2,17	1,57	1,84
4000	4,1	975,6	1,00	1,22	1,19	1,40
6000	6,04	993,4	1,00	0,83	1,03	1,26
8000	8,04	995,0	1,00	0,62	0,95	1,20
10000	10,06	994,0	1,00	0,50	0,90	1,16
12000	12,03	997,5	1,00	0,42	0,87	1,14
14000	13,94	1004,3	1,00	0,36	0,84	1,13
16000	15,88	1007,6	1,00	0,31	0,83	1,12
18000	17,94	1003,3	1,00	0,28	0,81	1,12
20000	19,89	1005,5	1,00	0,25	0,80	1,11
22000	21,82	1008,2	1,00	0,23	0,79	1,11
24000	23,77	1009,7	1,00	0,21	0,78	1,10
26000	25,77	1008,9	1,00	0,19	0,78	1,10
28000	27,8	1007,2	1,00	0,18	0,77	1,10
30000	29,68	1010,8	1,00	0,17	0,77	1,10

Figura 3.35: Incertidumbre asociada a cada medida del ensayo en Urutransfor SA.

3.9. Ensayos

A partir de las incertidumbres totales para cada medida, se obtiene el rango de la relación de transformación del divisor de tensión, ver figura 3.36.

Entrada Divisor (V)	Salida Divisor (V)	n	u_Total (%)	n-	n+
2200	2,3	956,5	1,84	938,9	974,2
4000	4,1	975,6	1,40	961,9	989,3
6000	6,04	993,4	1,26	980,9	1005,9
8000	8,04	995,0	1,20	983,1	1006,9
10000	10,06	994,0	1,16	982,5	1005,6
12000	12,03	997,5	1,14	986,1	1008,9
14000	13,94	1004,3	1,13	992,9	1015,7
16000	15,88	1007,6	1,12	996,2	1018,9
18000	17,94	1003,3	1,12	992,1	1014,5
20000	19,89	1005,5	1,11	994,4	1016,7
22000	21,82	1008,2	1,11	997,1	1019,4
24000	23,77	1009,7	1,10	998,5	1020,8
26000	25,77	1008,9	1,10	997,8	1020,0
28000	27,8	1007,2	1,10	996,1	1018,3
30000	29,68	1010,8	1,10	999,7	1021,9

Figura 3.36: Rango de relación de transformación del divisor de tensión según datos obtenidos del ensayo en Urutransfor SA.

Los rangos obtenidos para cada medición son coherentes con lo estudiado teóricamente por lo tanto se considera que la incertidumbre asociada al ensayo en Urutransfor es aceptable para los valores de tensión aplicados al divisor de tensión.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

3.9.3. Ensayo In Situ

Debido a la diferencia encontrada en los ensayos realizados en ambas empresas y el resultado teórico esperado, visto en la ecuación 3.16, se decidió realizar un nuevo ensayo in situ.

Para este ensayo partimos del circuito de la figura 3.37.

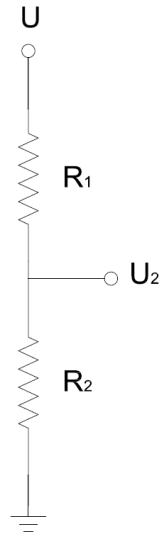


Figura 3.37: Circuito equivalente del divisor resistivo.

En primera instancia se coloca una fuente de tensión en bornes de R_1 y R_2 y se releva la corriente que consumen ambos grupos de resistencias. Este ensayo se realiza independiente para ambos grupos.

Con la corriente relevada y la tensión aplicada obtenemos el valor de la impedancia vista.

Para el caso de R_2 , se tiene un valor teórico de $58,7k\Omega$ entonces se alimenta esta resistencia con una fuente de $10V_{cc}$ y se mide la corriente con un microamperímetro de corriente continua. El microamperímetro utilizado se observa en la figura 3.38.



Figura 3.38: Microamperímetro de corriente continua utilizado.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

$$V_{in} = 10V_{cc}; I = 169\mu A$$

Por lo tanto:

$$R2 = \frac{V_{in}}{I} = 59,171k\Omega \quad (3.37)$$

Un tema a comprobar es que el grupo de resistencias y varistores que conforman $R2$ no varían con la tensión aplicada. Entonces, se realizó otro ensayo colocando una resistencia de $15k\Omega$ en paralelo, colocando una tensión de $50V_{cc}$ (Máxima tensión a la que puede estar aplicada) y midiendo la corriente consumida.

Para este ensayo se utilizó un miliamperímetro y el resultado fue una corriente de $I = 4,18mA$ tal como era esperada.

Para el caso de $R1$, no fue posible determinarla con exactitud con el microamperímetro. Esto se debe a que la fuente utilizada tiene una tensión de salida máxima de $400V_{cc}$ y el valor teórico de $R1$ es $56,4M\Omega$, por lo tanto la corriente a medir estaría en el orden de los $I = 7\mu A$. Al realizar el ensayo se observó el movimiento de la aguja y posicionarse en el rango esperado pero el cambio en una decima de la medida de la corriente nos afecta la relación de división del divisor resistivo en gran escala.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

$$V_{in} = 400V_{cc}; I = 7\mu A$$

Por lo tanto:

$$R1 = \frac{V_{in}}{I} = 57,143M\Omega \quad (3.38)$$

Para estos valores obtenidos, la relación final está dada por:

$$\frac{R1 + R2}{R2} = \frac{57,143M\Omega + 59,171k\Omega}{59,171k\Omega} = 966,7 \quad (3.39)$$

Lo que falta demostrar es la variación de la relación de la división de la tensión en función de la tensión de entrada. Como ya quedo demostrado prácticamente, la impedancia $R2$ no varía en función de la tensión.

Observando los datos obtenidos en el ensayo práctico realizado en la empresa Urutransfor SA, figura 3.34, se nota el aumento de la relación de división en función de la tensión de entrada. La misma aumenta al ser alimentado el divisor con una mayor tensión.

La hipótesis planteada es que el grupo de resistencias $R1$ varía según la tensión aplicada en la entrada. La variación viene dada por la temperatura a la cual se encuentran las resistencias.

Las resistencias que forman $R1$ cumplen con la siguiente ecuación:

$$R1 = R_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (3.40)$$

A su vez se tiene que:

$$\Delta T = R_\sigma P = R_\sigma \frac{U^2}{R1} \quad (3.41)$$

La relación correcta entre $R1$ y la tensión en sus bornes, U , viene dada por las ecuaciones 3.40 y 3.41:

$$R1 = \frac{(R_0 + \sqrt{(R_0^2 + 4R_0\alpha R_\sigma U^2)})}{2} \quad (3.42)$$

Donde:

- R_0 es la resistencia en frío (primer valor medido del ensayo en Urutransfor SA.)
- α es el coeficiente de variación de la resistencia por temperatura
- R_σ es la resistencia térmica del resistor

3.9. Ensayos

El primer valor medido del ensayo en Urutransfor SA. da una relación de división de $n = 956,5$, por lo tanto con la ecuación 3.16 se obtiene:

$$R1 = 56,54M\Omega = R_0 \quad (3.43)$$

A partir de los datos relevados en la figura 3.16 y la ecuación 3.40 se llega a la tabla de valores de la figura 3.39.

R2 (Ohm)	59171				
Ro (Ohm)	56539177				
Entrada Divisor (V)	Salida Divisor (V)	n	R1 (Ohm)	R1/Ro	$\alpha\Delta t$
2200	2,3	956,5	56539177	1	0
4000	4,1	975,6	57668634	1,020	0,020
6000	6,04	993,4	58719968	1,039	0,039
8000	8,04	995,0	58817446	1,040	0,040
10000	10,06	994,0	58758920	1,039	0,039
12000	12,03	997,5	58964270	1,043	0,043
14000	13,94	1004,3	59366510	1,050	0,050
16000	15,88	1007,6	59558965	1,053	0,053
18000	17,94	1003,3	59309725	1,049	0,049
20000	19,89	1005,5	59439069	1,051	0,051
22000	21,82	1008,2	59599949	1,054	0,054
24000	23,77	1009,7	59684371	1,056	0,056
26000	25,77	1008,9	59639936	1,055	0,055
28000	27,8	1007,2	59537520	1,053	0,053
30000	29,68	1010,8	59749791	1,057	0,057

Figura 3.39: Cálculos realizados a partir de datos relevados.

Como se puede apreciar en la figura 3.39, el coeficiente $\alpha\Delta T$ aumenta al incrementar la tensión aplicada en el grupo de resistencias $R1$. El factor α es constante y propio del material de las resistencias, por lo tanto se denota un cambio de temperatura en las resistencias al aumentar la tensión.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

Se puede observar mejor en el gráfico de la figura 3.40

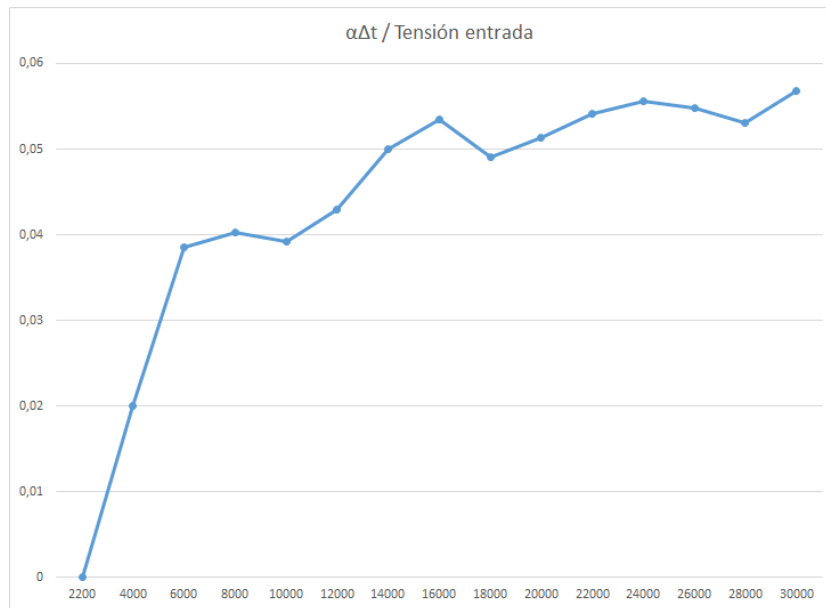


Figura 3.40: Gráfico de $\alpha\Delta T$ en función de la tensión (V) de entrada y aplicada sobre $R1$.

De la misma forma se puede observar el incremento de $R1$ en en función de la tensión de entrada del divisor y aplicada en $R1$, ver figura 3.41.

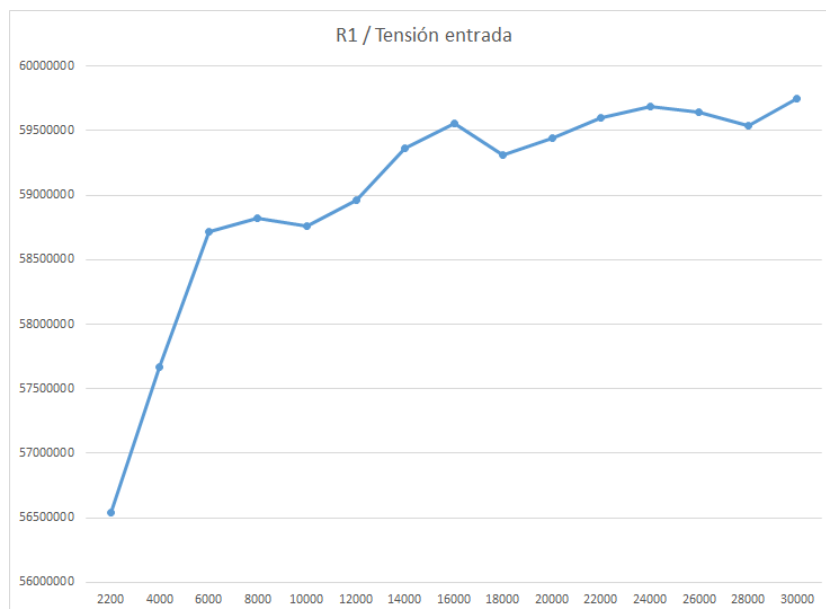


Figura 3.41: Gráfico de $R1$ en función de la tensión (V) de entrada del divisor y aplicada en $R1$.

3.9. Ensayos

El factor que nos queda determinar de la ecuación 3.42 es αR_σ . Con el valor de R_0 hallado se obtiene la tabla de valores de la figura 3.42 :

R1	αR_σ
56539176,83	0,0000
57668633,88	0,0720
58719968,07	0,0629
58817445,92	0,0370
58758920,45	0,0231
58964270,4	0,0176
59366510,49	0,0151
59558965,02	0,0124
59309725,32	0,0090
59439069,32	0,0076
59599949,07	0,0067
59684371,28	0,0058
59639936,49	0,0048
59537519,65	0,0040
59749791,26	0,0038

Figura 3.42: Tabla de valores de αR_σ a partir de R_1 hallado y la ecuación 3.42.

Con esta tabla de valores de αR_σ y la ecuación 3.42, se obtiene el valor del factor que mas aproxima a los valores de R_1 medido en el ensayo realizado en Urutransfor SA.

El valor que mas aproxima es: $\alpha R_\sigma = 0,0048$.

Una vez definido el factor αR_σ podemos definir una relación de división, n , en función de la tensión de entrada, U . Esto se logra sustituyendo la ecuación 3.42 en la ecuación 3.16.

$$n(U) = \frac{(R_0 + 2R_2) + \sqrt{R_0^2 + 4R_0\alpha R_\sigma U^2}}{2R_2} \quad (3.44)$$

A partir de la ecuación 3.44 se obtiene la tabla de relación de división del divisor resistivo en función de la tensión aplicada al mismo. Esta tabla se observa en la figura 3.43.

Capítulo 3. Divisor de Tensión Resistivo

U(V)	n	U(V)	n
1000	956,6	26000	1008,9
2000	956,8	27000	1012,8
3000	957,3	28000	1016,8
4000	957,8	29000	1020,9
5000	958,6	30000	1025,2
6000	959,5	31000	1029,5
7000	960,5	32000	1034,0
8000	961,7	33000	1038,5
9000	963,1	34000	1043,2
10000	964,6	35000	1047,9
11000	966,3	36000	1052,8
12000	968,2	37000	1057,7
13000	970,1	38000	1062,8
14000	972,3	39000	1067,9
15000	974,6	40000	1073,1
16000	977,0	41000	1078,4
17000	979,6	42000	1083,8
18000	982,3	43000	1089,3
19000	985,2	44000	1094,8
20000	988,2	45000	1100,4
21000	991,3	46000	1106,1
22000	994,6	47000	1111,9
23000	998,0	48000	1117,7
24000	1001,5	49000	1123,6
25000	1005,2	50000	1129,6

Figura 3.43: *Tabla de valores de relación de división del divisor resistivo en función de la tensión aplicada.*

En el gráfico de la figura 3.44 se observa el aumento de la relación de división en función del aumento de la tensión aplicada al divisor resistivo tal como fue esperado según las hipótesis planteadas.

3.9. Ensayos

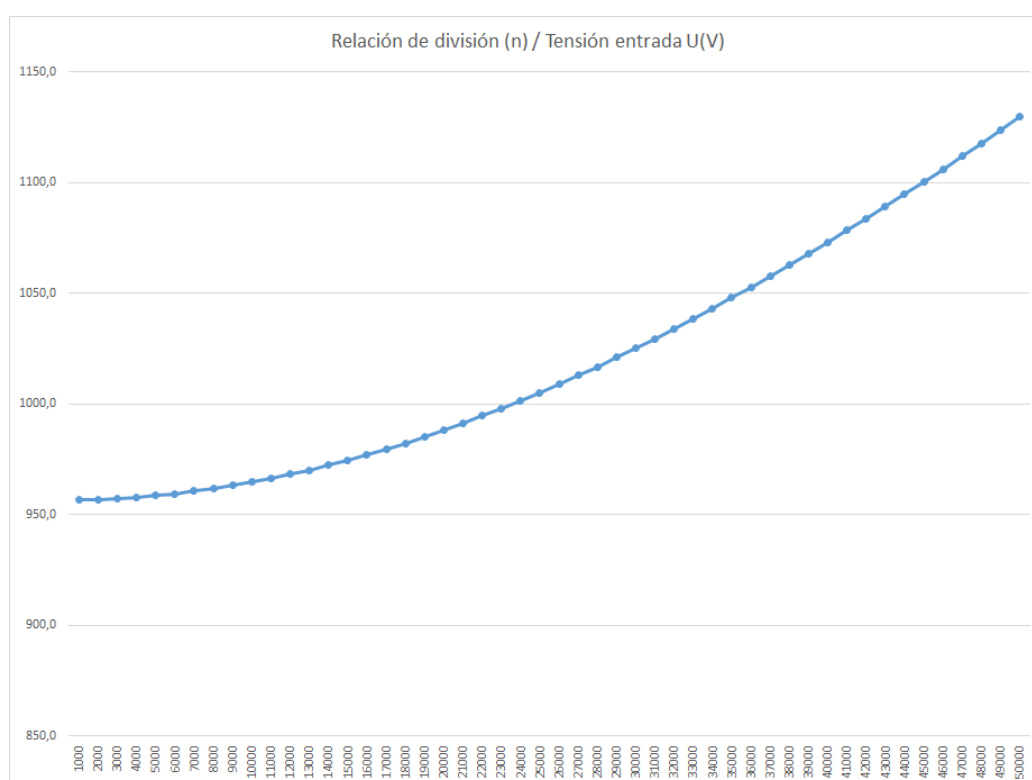


Figura 3.44: *Tabla de valores de relación de división del divisor resistivo en función de la tensión aplicada.*

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Capítulo 4

Transformador Variable - Variac

4.1. Funcionamiento Teórico y Características

El principio de funcionamiento de un variac parte del principio de funcionamiento de un autotransformador.

Un autotransformador es un transformador de características especiales, en efecto, puede ser concebido como un transformador con un solo bobinado con sus dos bornes primarios accesibles y con un tercer borne accesible que conecta a una toma intermedia del bobinado. En el caso del variac este tercer borne puede moverse a lo largo del único bobinado, variando así la cantidad de vueltas de las cuales toma la tensión, y el cuarto borne común a uno de los bornes primarios.

En la figura 4.1 se ilustra el modelo eléctrico del Variac, en el que VE representa la tensión de entrada (para nuestro caso es $230V$) y VS representa la tensión de salida. $N2$ y $N1$ son los bobinados que varían su cantidad de vueltas, dependiendo de en que punto se encuentre el tercer borne movable, el cual es representado por la flecha que apunta el bobinado NT que cumple, $NT = N1 + N2$.

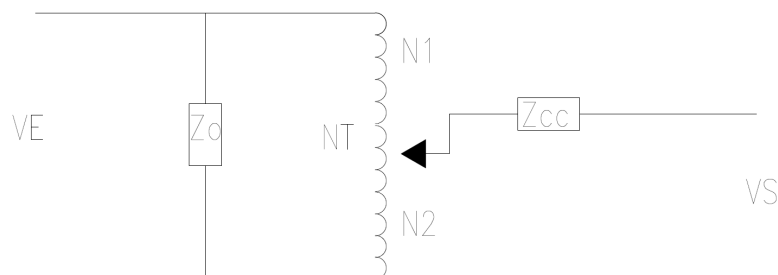


Figura 4.1: *Circuito equivalente del Variac.*

En la figura 4.2, se muestra el Variac utilizado para la regulación de tensión de la fuente cosntruída. Los bornes negros corresponden a la tensión de entrada VE

Capítulo 4. Transformador Variable - Variac

(230V). Los bornes rojos corresponden; el superior al tercer borne, que es el que puede moverse a lo largo del bobinado NT y el borne rojo inferior, es el cuarto borne, común con el borne negro inferior, es el mismo punto de el cual se toma de referencia tanto para la tensión de entrada VE , como para la tensión de salida VS .



Figura 4.2: Vista frontal del Variac.

Para mover la posición del borne superior rojo, se hace girando el regulador que se encuentra en el área superior del variac (Figura 4.3) en el sentido que se desee aumentar o disminuir la tensión de salida VS .



Figura 4.3: Regulador de tensión de salida.

4.1. Funcionamiento Teórico y Características

La figura 4.4 muestra desde adentro como este tercer borne esta haciendo contacto por medio de una escobilla de carbón en el único bobinado NT .

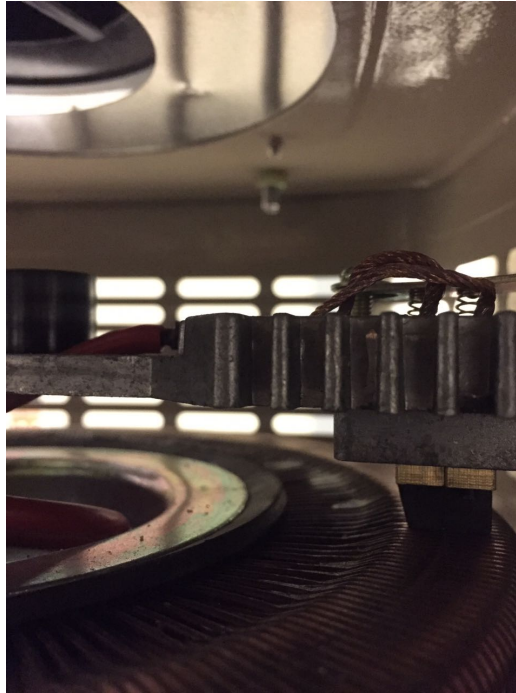


Figura 4.4: Escobilla de carbono, punto de contacto del borne de tensión de salida.

Por otro lado, también se puede observar en el frente del Variac un voltímetro que mide la tensión de salida VS . Este instrumento tiene un cierto grado de error aproximado de $5V$ por abajo durante los primeros $50V$ regulados a la salida, con respecto la tensión real de salida. Al aumentar la tensión de salida del Variac, la diferencia entre lo medido por el voltímetro y la tensión real disminuye hasta ser cero.

La principal ventaja de este tipo de transformadores, radica en que se puede disminuir el tamaño y los materiales utilizados respecto al transformador clásico para igual potencia nominal, implicando una disminución sustancial en los costos del equipo, aunque con algunas desventajas que deben ser tenidas en cuenta, al momento de seleccionar la aplicación de esta máquina.

La principal desventaja del autotransformador, o bien del Variac, inmediatamente surge del sistema de conexión, y es que no dispone de aislación galvánica entre los bobinados primarios y secundarios, por lo que una elevación de potencial en un bobinado respecto a un punto repercute directamente en el otro.

Segn que bobinados se asignen como entrada y salida, el Variac podrá ser usado como elevador de tensión O como reductor de tensión.

Capítulo 4. Transformador Variable - Variac

4.1.1. Ecuaciones de Relación de Entrada-Salida

Partiendo de la hipótesis de un transformador ideal, la relación que vincula la tensión de entrada VE , con la tensión de salida VS se puede obtener observando la figura 4.1.

Proponiendo las tensiones $V1$ para el segmento de la bobina el cual se denomina $N1$ y $V2$ para el segmento de la bobina la cual se denomina $N2$, se observa que la tensión $V2 = VS$. Por lo tanto sabemos que se cumple la relación:

$$\frac{V1}{N1} = \frac{VS}{N2} \quad (4.1)$$

Observando la figura 4.2, se observa la relación $VE = V1 + V2$ que es lo mismo $VE = V1 + VS$, por lo tanto sustituyendo la ecuación 4.1, se obtiene:

$$VE = VS\left(\frac{N1}{N2} + 1\right) \quad (4.2)$$

Por tanto se obtiene de la relación 4.2:

$$\frac{VE}{VS} = \frac{N1 + N2}{N2} \quad (4.3)$$

Para la relación de corriente, se definen la corriente de entrada como IE , la corriente por el bobinado $N1$ como $I1$, la corriente por el bobinado $N2$ como $I2$ y la corriente de salida como IS .

Observando la figura 4.1, se tiene $IE = I1$, por lo tanto se cumple que $IE + I2 = IS$. Por otro lado considerando la hipótesis de transformador ideal se cumple que:

$$I1 * N1 = I2 * N2 = IE * N1 \quad (4.4)$$

Por tanto se obtiene la relación 4.5:

$$\frac{IS}{IE} = \frac{N1 + N2}{N2} \quad (4.5)$$

4.2. Datos Técnicos

Entre los datos técnicos del variac se tienen:

- Potencia aparente nominal: 5kVA.
- Tensión nominal primaria (entre bornes negros): 220V.
- Corriente nominal primaria: 23A.
- Rango de tensión secundaria: 0 V - 250V.

Capítulo 5

Tablero y circuito de control de ensayos

5.1. Circuitos para ensayos en Media Tensión

El montaje del circuito eléctrico para ensayos en media tensión se hace adecuadamente de los tres circuitos que se muestran en la Figura 5.1, el circuito de alimentación 1, el circuito de seguridad 2 y el circuito 3 de alta tensión.

Así como el equipo de conmutación, el circuito de suministro de energía en la mayoría de los casos contiene un elemento para ajustar la tensión deseada. El circuito de seguridad previene el encendido, o en casos el apagado, del circuito de media tensión cuando los interruptores de circuito de seguridad no estén cerrados.

Por último, el circuito de alto voltaje consiste en el transformador de ensayo y el equipo de medición, as como el objeto de ensayo.

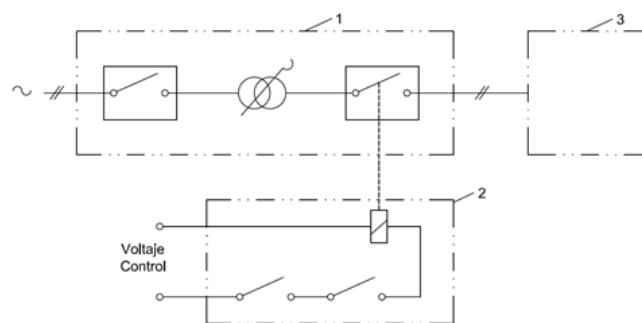


Figura 5.1: Representación esquemática del circuito básico de un ensayo en alta tensión. 1) Circuito de alimentación con la unidad de regulación y maniobra; 2) Unidades de control y seguridad; 3) Circuito de alta tensión con el transformador de ensayo, equipo de medición y objeto de ensayo

Capítulo 5. Tablero y circuito de control de ensayos

5.1.1. Suministro de energía y circuitos de seguridad

Además de los equipos de conmutación, el arreglo para el establecimiento de una tensión de excitación variable, para la fuente de media tensión, es un elemento importante del circuito de fuente de alimentación.

Para potencia nominal de hasta 50 kVA, un transformador regulable de rodillos de carbono, Variac, es elegido. Este es económico y el uso de diversos circuitos se puede hacer de forma fiable hasta altos de niveles de potencia. La instalación del control es posible hasta alrededor de 5 kVA, y la operación manual lo más práctico. Para excitación con transformador regulable, los impulsos durante las descargas de apagado en el circuito de alto voltaje son transferidos a la red.

Los ensayos se controlan del tablero de control que acompaña a un transformador de regulación para la excitación del transformador de ensayo, así como las más importantes instalaciones de medición y control. Como protección contra accidentes eléctricos, los circuitos de seguridad desconectan del transformador de ensayo en todos los polos ante un evento no deseado. Luces de advertencia montadas de forma visible en la puerta del tablero de control indican el estado del interruptor que alimenta al transformador elevador.

5.2. Tablero de control

El tablero de control está compuesto por un panel metálico con bandeja metálica. En él se encuentran los componentes de protección y control necesarios para poder controlar la presencia de tensión en el transformador elevador y de forma de realizar los ensayos a los equipos con la fuente de media tensión.

En el tablero encontramos un interruptor general, un interruptor diferencial, un contactor, un relé térmico electrónico, un relé de sobretensión, un timer, pulsadores con pilotos de iluminación, etc. Todos los componentes fueron seleccionados según las condiciones de diseño necesarias.

5.2.1. Descripción de componentes

El tablero cuenta con interruptores de tipo termomagnético y diferencial para la protección contra cortocircuitos, sobre corrientes y protección para las personas que estén operando el tablero.

Se cuenta con un relé térmico electrónico para medir la corriente que circula por el circuito de baja tensión y de esta manera tener la posibilidad de abrir el circuito ante una posible sobre corriente o un cortocircuito.

Uno de los elementos de protección más importantes que se encuentra dentro del tablero es el relé de sobretensión. El transformador de ensayo tiene una tensión

5.2. Tablero de control

de entrada de máximo 116V y a la salida del Variac se puede llegar a los 250V. Por ende este relé mide la tensión de salida del Variac de manera de que si se coloca una tensión mayor a 116V se actúa un contacto auxiliar bloqueando el circuito de control e inhabilitando la posibilidad de alimentar el transformador de ensayo. De esta forma se previene una sobretensión que puede llegar a dañar el transformador de ensayo, el divisor resistivo y el objeto a ensayar.

Además de las protecciones eléctricas, también esta prevista, una vez colocada la reja de separación, una protección mecánica mediante un micro que mide la posición que se encuentra la puerta de acceso al transformador y objeto de ensayo. De esta forma si la puerta de la reja se encuentra abierta, no hay posibilidad de comenzar un ensayo.

Se encuentra en el tablero un sistema de pulsadores, Arranque y Pare, para comandar la alimentación del transformador de ensayo. Este sistema está compuesto por un contactor con contactos auxiliares y 2 pulsadores. Los pulsadores cuentan con señalización lumínica para observar el punto de funcionamiento en cual se encuentra.

Otro dispositivo que se encuentra dentro del tablero es un Timer, el mismo esta programado para permitir la alimentación al transformador de ensayo durante 1 minuto, tiempo máximo de duración de un ensayo de media tensión con corriente alterna.

En la puerta del tablero encontramos 2 señales lumínicas además de los pulsadores, una de ellas es para indicar la actuación del relé térmico electrónico ante una sobrecorriente o cortocircuito. La otra señal es la que nos indica que la tensión de salida del Variac está por encima de la tensión máxima admisible en baja tensión por el transformador de ensayo.

A su vez, se coloca en el área de trabajo una baliza giratoria para indicar a las personas que ingresen al taller laboratorio de máquinas eléctricas que se está realizando un ensayo.

En la figura 5.2 se observa un listado con los componentes principales del Tablero de Control

En el Apendice C se encuentras las hojas técnicas de los componentes.

Capítulo 5. Tablero y circuito de control de ensayos

Item	Marca	Modelo	Características
Interruptor Termomagnético	ABB	C10	In=10A; U=400V; Icc=6kA
Interruptor Diferencial	SASSIN	3SL36	In=25A; U=230V; IΔn=30mA
Contactador	SIEMENS	3RT1026-1	Ie=40A
Relé Sobretensión	SCHNEIDER	RM17UBE15	Um= 65..260V; P <= 3VA
Timer	SCHNEIDER	RE8RA21FU	U=110..240Vac; 50/60Hz, t=3..300s
Relé Sobrecorriente	CHINT	NRE8-25	I _m = 2..4A
Pulsadores	ERSCE	C11	U=660V; I=10A

Figura 5.2: *Lista de componentes principales del Tablero de Control*

5.2.2. Funcionamiento y procedimientos de ensayos

En la figura 5.3 se presenta el unifilar del circuito de potencia y circuito de control dentro del tablero de comando.

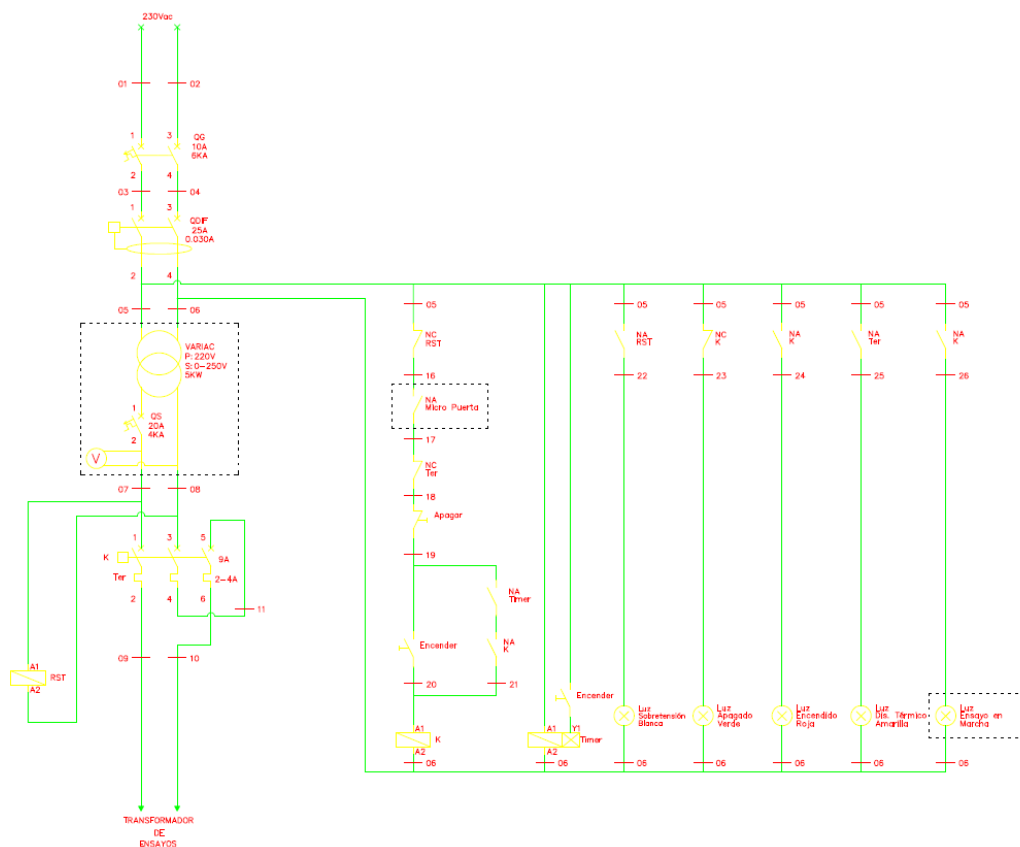


Figura 5.3: Esquema unifilar del circuito de potencia y circuito de control

Se observa la alimentación de la Red con una tensión de entrada de 230V, a continuación se encuentran los interruptores de protección contra sobrecorrientes, cortocircuitos y protección diferencial contra el contacto de las personas. Luego de estas protecciones se derivan dos líneas, una que alimenta el primario del Variac,

5.2. Tablero de control

y otra que alimenta el circuito de control.

A la salida del Variac tenemos la tensión regulada a ingresar al bobinado primario del Transformador de Ensayo. De manera de controlar la tensión de entrada del transformador de ensayo se coloca un contactor que es comandado con los pulsadores del panel del tablero. También se encuentra la alimentación del relé de sobretensión de forma que si la tensión de entrada al transformador de ensayo supera el máximo admisible este activa su contacto auxiliar no permitiendo el accionar del contactor.

En el circuito de control encontramos un sistema de arranque y pare tradicional, enclavando la tensión en la bobina del contactor con un contacto abierto auxiliar del mismo. La detención de un ensayo se puede realizar mediante el pulsador de Pare, por la activación del Relé de Sobretensión, el disparo del relé de sobrecorriente o la apertura de la reja de separación (a construir).

El procedimiento para realizar un ensayo con el Tablero de Control es sumamente sencillo. Antes de comenzar el ensayo, primero se debe regular la tensión de entrada al transformador de ensayo con el Variac. El Variac muestra, mediante un voltmetro en su parte frontal, la tensión secundaria del mismo que será la tensión a aplicar al bobinado primario del transformador de ensayo. Energizado el tablero de control con alimentación de 230V, se encuentra el piloto led Verde encendido, representando el pulsador de Arranque.

Luego de regular la tensión de salida del Variac, se apreta el pulsador Arranque y el ensayo comienza. En ese instante el Timer comienza a contar 60 segundos. Luego de estos 60 segundos el ensayo finaliza. Si se quiere detener el ensayo, el piloto led Rojo va a estar encendido en el pulsador Apagar y simplemente presionándolo se detiene el ensayo en marcha. Si se activa alguna protección, térmica o de sobretensión el ensayo se va a detener y en el panel del tablero se encenderá el piloto led correspondiente.

En la figura 5.4 se observan imágenes del Tablero de Control construido.

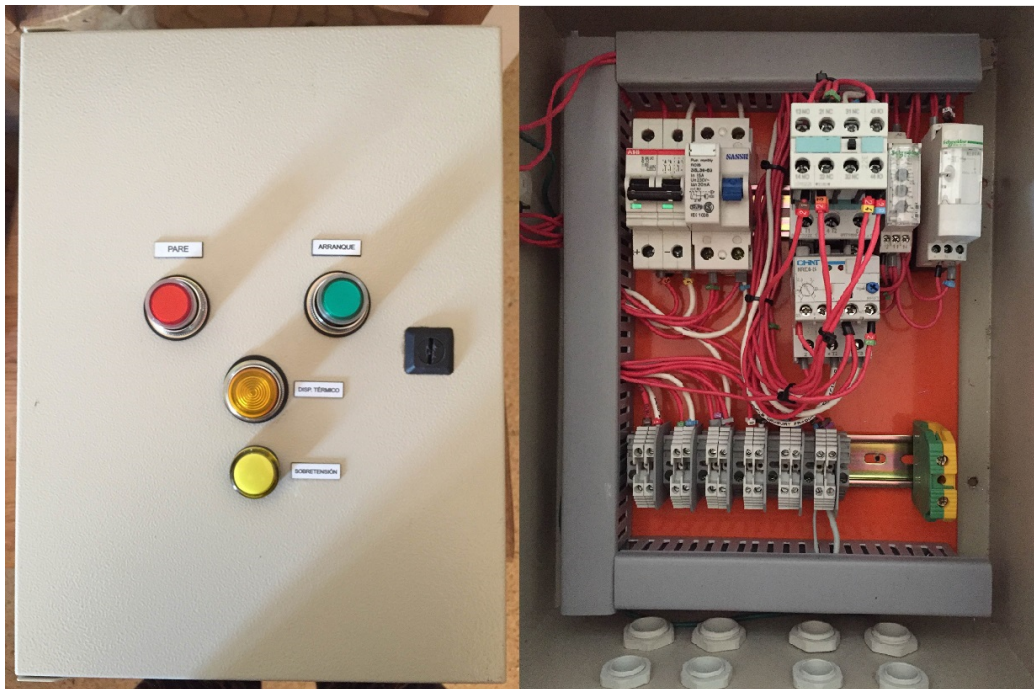


Figura 5.4: Vista del panel y vista interna del Tablero de Control

5.2.3. Ensayos de prueba

Para comprobar el estado del conexionado del Tablero de Control se le realizarón diversos ensayos de prueba.

En primera instancia se realizó un ensayo de cortocircuito disparando el interruptor termomagnético general. Luego se le realizó un ensayo de sobrecorriente disparando el relé electrónico de sobrecorriente. Ambos ensayos fueron aprobados correctamente.

También se comprobó el estado del circuito de control, el funcionamiento correcto del sistema de pulsadores e iluminación de los mismos y a su vez la actuación de las protecciones de sobretensión a la entrada del transformador de ensayo como la apertura de la reja de separación con sus respectivos pilotos led de señalización.

En última instancia se le realizó un ensayo de verificación del tiempo de ensayo determinado por el Timer antes mencionado.

Capítulo 6

Lugar Físico [1]

6.1. Dimensiones y equipamiento técnico de laboratorios

Las dimensiones y equipamiento de laboratorios de alto voltaje son primeramente determinadas por la magnitud del voltaje a ser generado. Una segunda característica de importancia es el destino de la aplicación, como por ejemplo para propósitos de enseñanza, ensayo o bien laboratorio de investigación.

6.2. Stands para prácticas de alto voltaje

Las prácticas son ejercicios de laboratorio que dan al estudiante la oportunidad de conducir experimentos bajo supervisión. Los experimentos serán generalmente desarrollados en pequeños grupos de entre tres a seis practicantes. Los stands experimentales descritos a continuación son diseñados para este tipo de práctica.

Con el fin de acomodar un gran número de estudiantes, más stands deben estar disponibles en los cuales los experimentos logren llevarse a cabo en forma simultánea. Una guía útil para la configuración de un laboratorio práctico sería de aproximadamente una instalación experimental cada 20 estudiantes. El número de stands derivado impone entonces una cierta restricción de la amplitud de voltaje por razones económicas, que también va de la mano con la disposición y con la seguridad de configuraciones más pequeñas.

Si el máximo voltaje alterno es restringido a 100kV y los niveles de potencia entre 5 y 10 kVA, los stands para experimentos pueden estar configurados en habitaciones con una altura normal de 2.5 m. Incluso, el peso de los elementos de construcción requeridos, con la excepción del transformador de prueba, debe ser lo suficientemente bajo para permitir su transporte sin la necesidad de utilizar grúas. Desde que la mayoría de los fenómenos físicos básicos pueden ser observados en un rango de voltajes en torno a los 100kV ac, la restricción a este valor no impone ningún límite apreciable en la elección del experimento a ser llevado a cabo. De ser necesario, el alcance de las prácticas podría ser ampliado por algún experimento

Capítulo 6. Lugar Físico [1]

demostrativo a muy alto voltaje.

Como ejemplo representativo, una de las cinco configuraciones idénticas de stands experimentales para prácticas de alto voltaje del Instituto de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Braunschweig es descrito a continuación. La misma cuenta con una barrera de protección, elaborada con malla de alambre fijada a un marco metálico, a la cual se le incorpora una puerta de acceso, que permite ser bloqueada. Cerca se encuentran una mesa de trabajo y un escritorio de control. Dentro de la barrera permanece una plataforma de trabajo conformada por dos marcos metálicos soldados y cubierta por cuatro paneles de madera dura. En la misma están armados los circuitos de alto voltaje. Los marcos metálicos sirven como puntos de aterramiento.

6.3. Vallado

La zona de peligro de los circuitos de alto voltaje debe ser protegida de entradas no intencionales mediante paredes o vallado metálico. Barreras simples de tipo cadenas o la identificación de la zona de peligro únicamente con señalización de advertencia puede ser considerado suficiente solo donde la observación de las mismas sea constantemente supervisada. La entrada a zonas de peligro debiera estar provista con sistemas automáticos de bloqueo.

Antes del contacto con elementos de alto voltaje debe haberse establecido conexión metálica visible con un punto aterrado. En el caso de pequeñas configuraciones para experimentos, tales como prácticas, esto puede ser realizado antes del ingreso a la configuración con ayuda de una pértiga aislada introducida a través del vallado metálico, estableciendo la correspondiente conexión a tierra dentro de la configuración. En configuraciones de mayor porte el aterramiento mediante pértiga debe ser el primer paso a dar luego de haber ingresado a la zona de peligro, o de lo contrario, deben ser provistos mecanismos de aterramiento automáticos. Un completo aterramiento es especialmente importante cuando el circuito contiene capacitores cargados mediante voltaje directo.

6.4. Disposición física y elementos de seguridad

6.4.1. El lugar

El proyecto estará ubicado dentro del Taller de Maquinas Eléctricas (de ahora en más el Taller) en el Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República.

En conjunto con encargados del Taller es seleccionado el espacio para la instalación de los equipos que conforman la fuente de media tensión. Dicho espacio debe ser acondicionado para tal fin. Esto implica el despeje de la

6.4. Disposición física y elementos de seguridad

zona, re-ubicación de herramientas, muebles, equipos de ensayo y demás elementos presentes en el lugar asignado. Además es necesaria la remoción y reciclaje de herrajes, estanterías y tableros también presentes en el sitio.

En la figura 6.1 se ve una imagen del lugar a acondicionar.

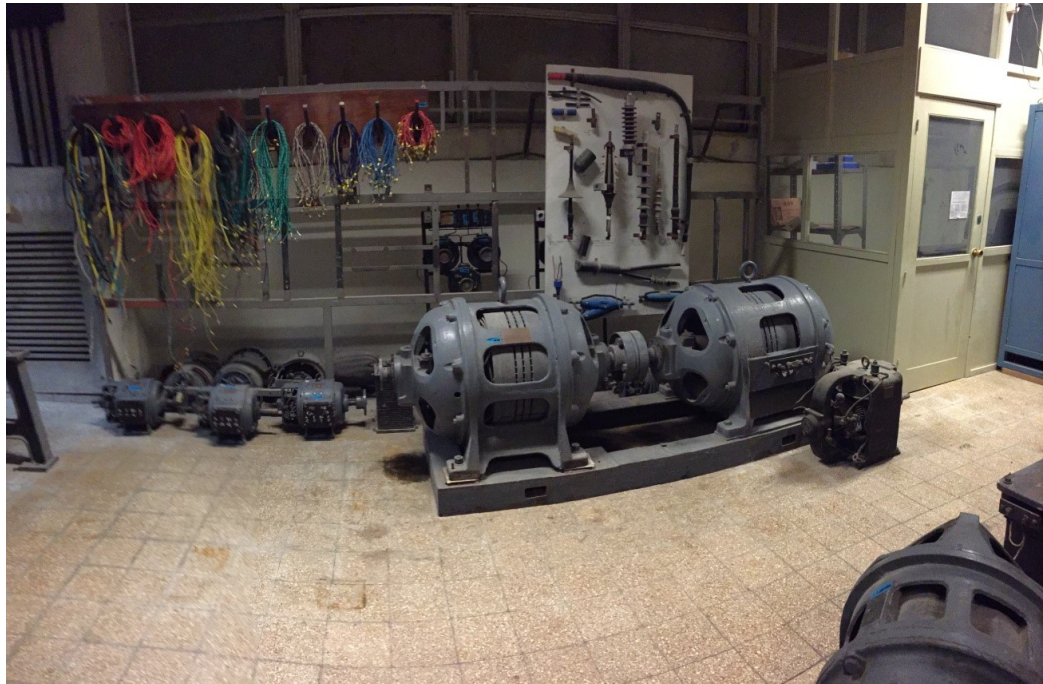


Figura 6.1: *Vista del lugar asignado para el desarrollo del proyecto*

Ya con una idea real del espacio disponible es elaborado un esquema constructivo con la posible ubicación y orientación de los elementos involucrados. En las figuras 6.2 y 6.3 se presentan una vista frontal y superior respectivamente del mencionado esquema.

Capítulo 6. Lugar Físico [1]

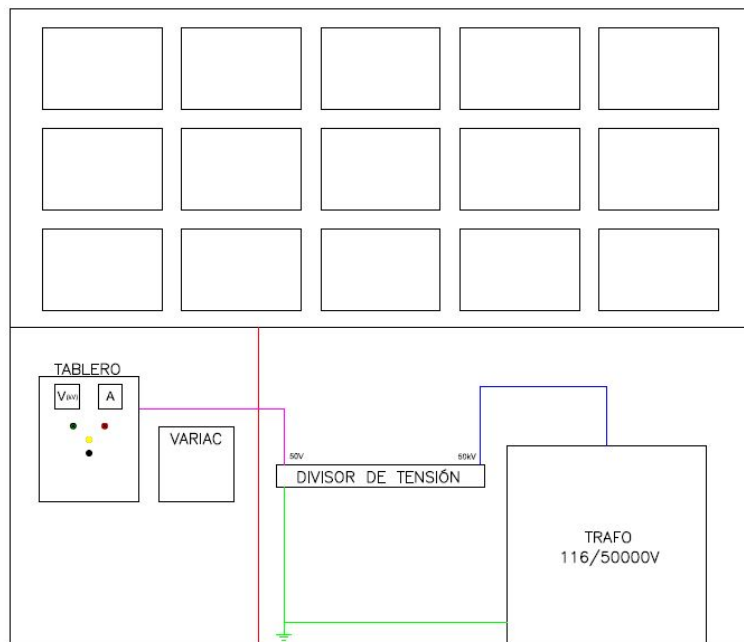


Figura 6.2: Vista frontal de la distribución esquemática de equipos que conforman la fuente de media tensión.

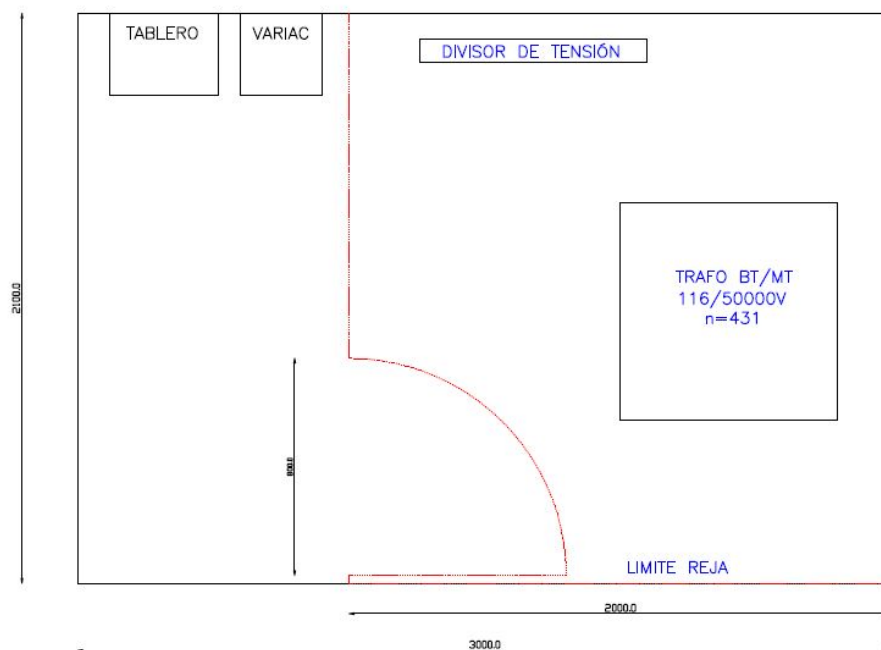


Figura 6.3: Vista superior de la distribución esquemática de equipos que conforman la fuente de media tensión.

6.4. Disposición física y elementos de seguridad

Durante el recorrido de todo el proceso se logra concretar la mayoría de los objetivos antes mencionados consiguiendo un área aceptablemente despejada. Algunas tareas como la re-ubicación de dos máquinas de gran porte presentes en el lugar quedan coordinadas a futuro por no contar con los medios para ser concretadas. Otra de las tareas que quedaran por concretar, sera la instalación de planchas de acrílico apoyadas sobre aisladores tipo rombo de resina epoxi, las cuales estarán ubicadas en los alrededores del área en la que se encuentra instalado el divisor resistivo junto con el transformador.

Disponiendo del espacio necesario se realiza el montaje de los distintos elementos para el stand destinado a prácticas en media tensión. Estas tareas implican la construcción de herrajes y soportería; colocación de canalizaciones, tendido de conductores, conexión; montaje de un tablero de control, del divisor resistivo, del transformador, del variac, del voltímetro y de una baliza de seguridad. Vale mencionar que en los distintos capítulos del presente documento se realiza un desarrollo apropiado de cada uno de los elementos en cuestión.

En las figuras 6.4 y 6.5 se aprecian distintas vistas del trabajo finalizado.



Figura 6.4: Vista frontal de la distribución final de equipos que conforman la fuente de media tensión.



Figura 6.5: Vista lateral de la distribución final de equipos que conforman la fuente de media tensión.

6.4.2. Elementos de seguridad

A lo largo de este proceso se desarrolla en forma paralela el diseño de los elementos y barreras de seguridad, de acuerdo a los ejemplos y guías mencionados en los sub-capítulos que anteceden. Siempre con el cometido de evitar accidentes que puedan ocasionar daños en los equipos y/o lesiones graves en los usuarios.

Se puede apreciar en las figuras 6.6, 6.7, 6.8, y 6.9 distintas vistas de las rejas de seguridad y portón de acceso al área de ensayos en media tensión. Las mismas quedan en la instancia de diseño, a la espera de que estén dadas las condiciones para su construcción.

Se incorporan en el portón de acceso al stand una traba mecánica y un enclavamiento eléctrico, mediante un micro-switch que censa el estado del portón, que detiene la práctica des-energizando la fuente de media tensión si por algún motivo es abierto el portón.

Como otro agregado a la seguridad es incorporada una alarma sonora con indicador lumínico, es decir una baliza, actuando como señalización de advertencia durante el momento de la práctica donde hay presencia de tensión.

6.4. Disposición física y elementos de seguridad

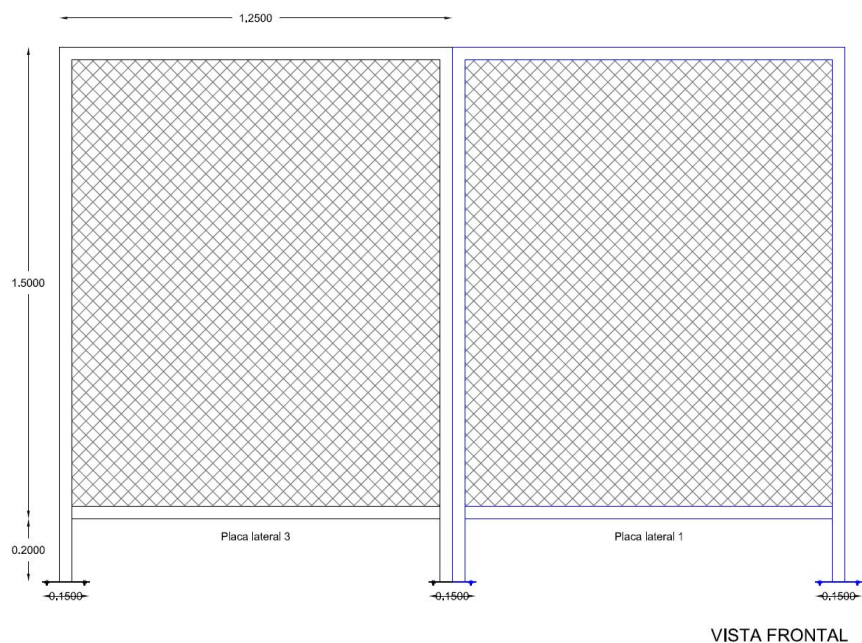


Figura 6.6: *Vista frontal de la reja metálica a construir para el vallado del stand destinado a las prácticas de laboratorio.*

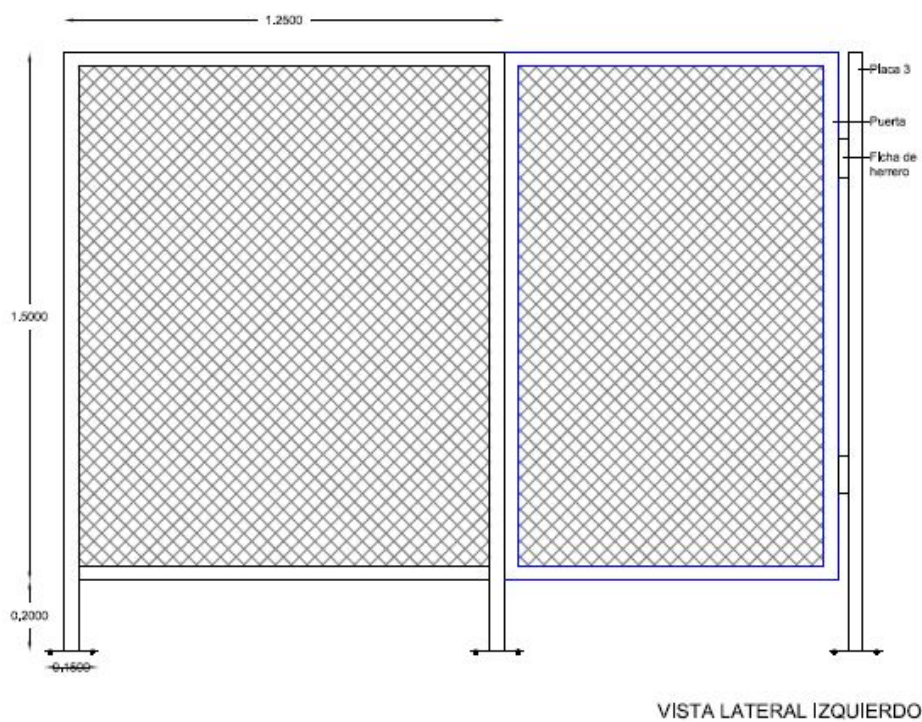


Figura 6.7: *Vista del lateral izquierdo de la reja metálica a construir para el vallado del stand destinado a las prácticas de laboratorio.*

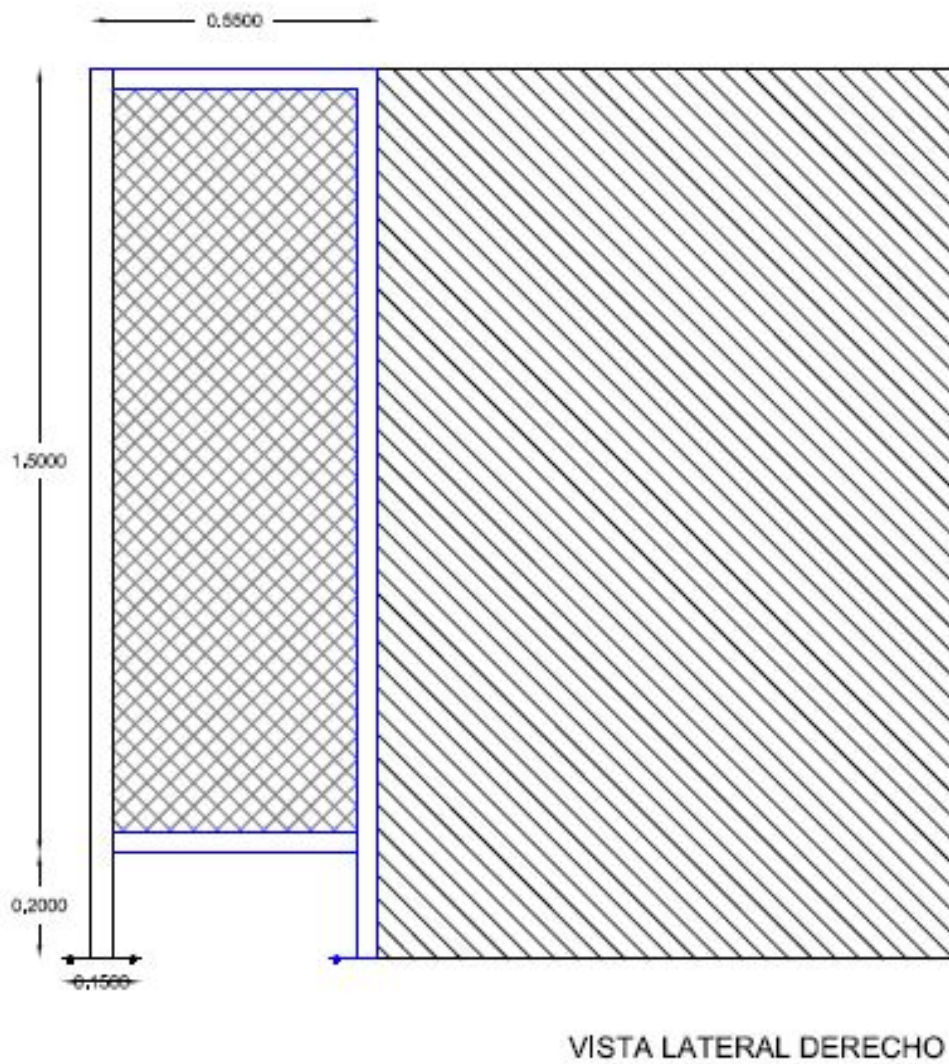


Figura 6.8: Vista del lateral derecho de la reja metálica a construir para el vallado del stand destinado a las prácticas de laboratorio.

6.4. Disposición física y elementos de seguridad

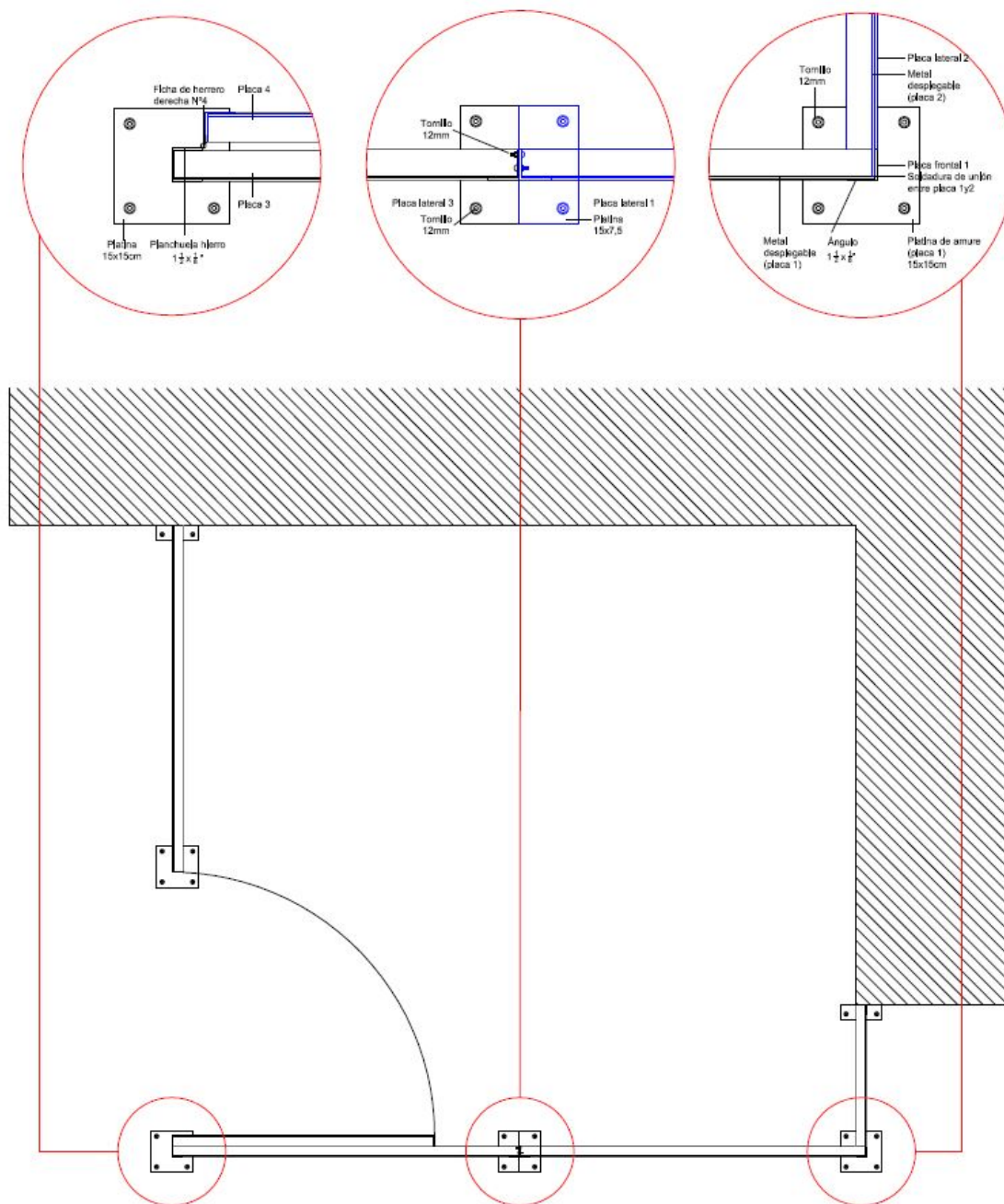


Figura 6.9: Vista superior de la reja metálica a construir para el vallado del stand destinado a las prácticas de laboratorio.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Capítulo 7

Puesta a tierra

7.1. Fundamento de la puesta a tierra [5]

Primordialmente son dos los objetivos de la realización de una puesta a tierra en las instalaciones eléctricas:

1. Proveer un camino de descarga a tierra de corrientes producidas por efecto de la operación normal o en falta de un sistema eléctrico, sin exceder los límites permisibles por los equipos afectados por la falta.
2. Asegurar la integridad física de cualquier persona que pueda encontrarse en las inmediaciones de la estación al momento de producirse una falta, mediante la limitación de las tensiones de contacto y paso.

Estos objetivos se logran controlando la interacción del sistema de puesta a tierra, específicamente diseñado para controlar la elevación de potencial en caso de falta, y los circuitos accidentalmente puestos a tierra por defectos propios de la instalación eléctrica.

7.2. Aterramiento de equipos

Existen dos categorías de circuitos de tierra en instalaciones de media tensión, cada uno de los cuales, engloba una serie de dispositivos con características en común:

1. Tierra de protección: Se encuentran en esta clasificación la puesta a tierra de todos los elementos metálicos que accidentalmente pueden quedar en tensión, como por ejemplo: bastidores y herrajes de seccionadores o disyuntores; carcasas de los transformadores; envoltentes de los tableros de BT y celdas de MT/AT; puertas, portones, ventanas y barandas en edificios.

Capítulo 7. Puesta a tierra

2. Tierra de servicio: Se encuentran en esta clasificación los dispositivos que intencionalmente se ponen a tierra: descargadores de sobretensión; seccionadores de puesta a tierra; neutro de transformadores de MT y BT.

La norma IEEE-80 aconseja la ejecución de una malla de tierra común, que interconecte ambos sistemas de tierra.

7.3. Puesta a tierra del laboratorio

El laboratorio cuenta con dos mallas de tierra distribuidas según el esquema de la figura 7.1.

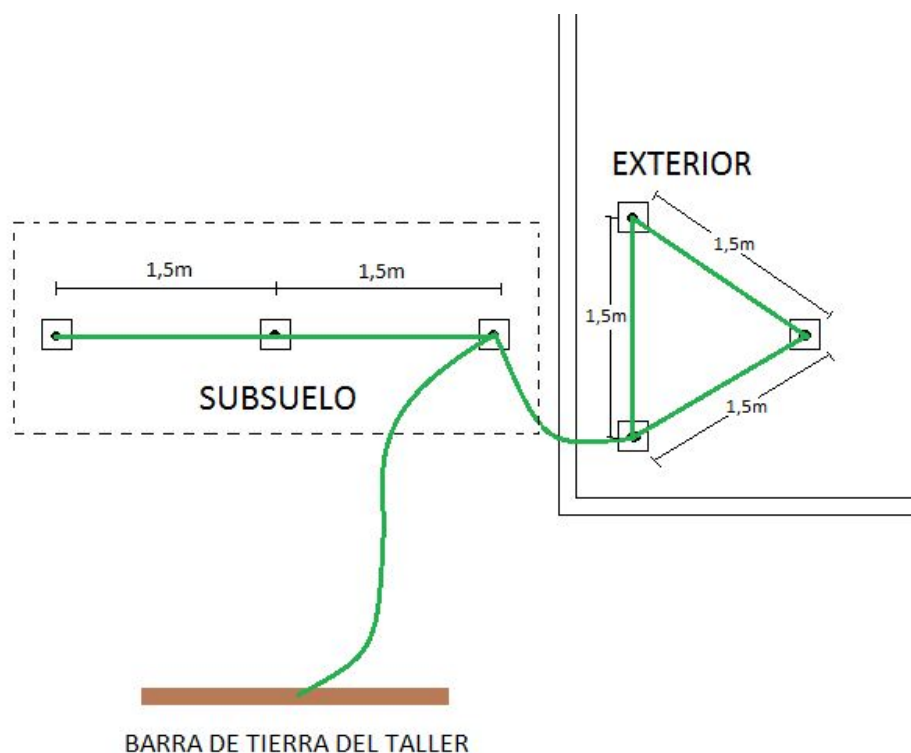


Figura 7.1: Representación esquemática de la puesta a tierra del Taller, la misma está fuera de escala.

En el subsuelo del mismo existen tres jabalinas alineadas y equidistantes, a una distancia de 1,5 m aproximadamente. En el exterior se cuenta también con tres jabalinas dispuestas en los vértices de un triángulo equilátero de lado estimado en 1,5 m.

Está proyectada la interconexión entre ambas mallas y la barra de tierra del Taller como se ve en la figura 7.1, con un conductor de cobre de 50 mm^2 de sección.

7.3. Puesta a tierra del laboratorio

Actualmente ésta conexión está hecha con un conductor de 6 mm^2 , motivo por el cual la tierra del Taller puede flotar, aspecto que no es deseable.

Desde la mencionada barra de tierra del Taller se toma la tierra para todas las derivaciones del tablero de distribución general del Taller, incluyendo la de la fuente de media tensión.

Todos los elementos metálicos que conforman directa o indirectamente la fuente de media tensión están conectados a una barra de cobre de $50 \times 5 \text{ mm}$ mediante conductores de sección adecuada. Dicha barra se conecta con la barra de tierra del Taller a través de un conductor de 16 mm^2 de sección dando un camino adecuado a tierra a la corriente ante una falta.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Capítulo 8

Seguridad

8.1. Normas de seguridad para ensayos de Alta Tensión

Los ensayos de altas tensiones podrían llegar a ser particularmente peligrosos para los participantes que tienen las medidas de seguridad inadecuadas. Para dar una idea de las medidas de seguridad necesarias, como ejemplo se describen a continuación las normas de seguridad del Instituto de Alta Tensión de la Universidad Técnica de Braunschweig. Estos complementan las normas de seguridad apropiadas y, en la medida de lo posible, para prevenir los riesgos para las personas. Por lo tanto, la observación estricta es el deber de todos los que trabajan en el laboratorio. Aquí cualquier voltaje mayor que 250V respecto a tierra se entiende como una alta tensión.

Regla fundamental

Antes de entrar en una configuración de alta tensión todo el mundo debe convencerse a sí mismo mediante la observación personal que todos los conductores que pueden suponer un alto potencial y se encuentran en la zona de contacto están correctamente conectados y que todos tienen la capacidad de ser interrumpidos.

Distancias de seguridad

En todo momento y/o circunstancia, deben de respetarse unas distancias mínimas de seguridad para los trabajos a efectuar en la proximidad de instalaciones o partes de las mismas, que se encuentren con presencia de tensión, y no estén protegidas. Estas distancias mínimas están especificadas en la tabla de la figura 8.1.

Estas distancias mínimas se miden entre el punto más próximo con tensión, y cualquier parte extrema del operario, herramientas o elementos que pueda manipular en movimientos voluntarios o accidentales.

Capítulo 8. Seguridad

Para personal no especialista eléctrico, o que desconozca las instalaciones eléctricas, o sea de otras calificaciones o especialidades profesionales es prudente aumentar estas distancias mínimas de seguridad.

Tensión entre fases		Distancias de seguridad
Hasta	1 kV	0,40 m
Hasta	10 kV	0,80 m
Hasta	15 kV	0,90 m
Hasta	20 kV	0,95 m
Hasta	25 kV	1,00 m
Hasta	30 kV	1,10 m
Hasta	45 kV	1,20 m
Hasta	68 kV	1,40 m
Hasta	110 kV	1,80 m
Hasta	132 kV	2,00 m
Hasta	220 kV	3,00 m
Hasta	380 kV	4,00 m

Figura 8.1: *Distancias mínimas de seguridad según tensión entre fases.*

Para trabajos que deban efectuarse a distancias inferiores a las de la tabla, deben adoptarse medidas complementarias que garanticen la seguridad en la realización de los trabajos, tales como interposición de pantallas aislantes protectoras, y asimismo vigilancia constante del Jefe de Trabajo. En el caso de que estas medidas no puedan realizarse, deberán dejarse sin tensión estas partes próximas al punto o zona de trabajo.

Reja o Valla metálica

Todas las instalaciones de alta tensión deben estar protegidas contra la entrada involuntaria a la zona de peligro. Esto se lleva a cabo adecuadamente con la ayuda de una reja metálica. Al configurar las rejas para tensiones de hasta 1MV el siguiente espacio mínimo para los componentes de alta tensión no debe reducirse:

- Para tensiones alternas y continuas: 50 cm por cada 100 kV
- Para tensiones de impulso: 20 cm por cada 100 kV

Una distancia mínima de 50 cm siempre se debe observar, independiente del valor y el tipo de tensión.

8.1. Normas de seguridad para ensayos de Alta Tensión

Las rejas deben estar conectadas de forma fiable entre sí de forma conductora, conectada a tierra y provisto con los avisos: *Alto Voltaje! Precaución! Muy peligroso!*. Está prohibido introducir objetos conductores a través de la valla, mientras que los equipos de alta tensión están en uso.

Seguridad - Bloqueo

En las configuraciones de Alta Tensión cada puerta debe proporcionar micros de seguridad; estos permiten que la puerta se abra sólo cuando se abren todos los interruptores principales, o que los equipos de alta tensión queden sin tensión al momento de abrirse la puerta. Estos interruptores de potencia sólo podrán ser cerrados de nuevo cuando la puerta está cerrada.

La condición de conmutación de una instalación debe ser indicado por una lámpara roja "*Encendido*" y por una lámpara verde "*Apagado*".

Si la valla se desconecta por operaciones de montaje o desmontaje, o durante una gran escala de modificaciones, deberán adoptarse todas las prescripciones antes descritas para la entrada a la instalación. Aquí hay que prestar especial atención a la interrupción fiable de los interruptores principales. En interruptores y otros puntos de conexión, y sobre el tablero de control de la instalación, se debe colocar avisos de "No encienda!", "Peligro!".

Aterramiento

Una configuración de alta tensión se puede introducir sólo cuando se ponen a tierra todas las partes que se puedan asumir de alta tensión en la zona de contacto. La puesta a tierra sólo se puede efectuar mediante un conductor puesto a tierra dentro de la valla.

Seccionadores de tierra con marcas de posición de funcionamiento claramente visibles, también son permitidos. En configuraciones de alta potencia con alimentación directa desde la red de alta tensión, la puesta a tierra se consigue mediante aisladores de puesta a tierra. La puesta a tierra sólo puede ser desconectada cuando no hay nadie presente dentro de la valla o si la instalación está desocupada.

Todas las partes metálicas de la configuración que no portan el potencial durante el servicio normal deben conectarse a tierra de forma fiable y con una sección transversal adecuada de al menos $1,5\text{mm}^2$.

Cableado y configuración

Puesto que la instalación no se suministra con el cableado listo, todos los interruptores deben estar claramente marcados y deben estar dispuestos en posiciones

Capítulo 8. Seguridad

fácilmente identificables fuera de la valla.

Todos los cables deben fijarse de manera que no haya extremos que cuelguen libremente.

Cables de baja tensión que puedan tener un alto potencial durante la avería y conducir fuera de la valla, por ejemplo, cable de medida, cable de control, se deben fijar en el interior de la configuración de la puesta a tierra. Todos los componentes de la configuración deben ser fijados de forma rígida o suspendidos de manera que no puedan caerse durante la operación o ser empujado hacia abajo por los cables.

Para una disposición prevista para fines de investigación, un diagrama de circuito se fijará fuera de la valla en una posición claramente visible.

La configuración puede ser puesta en servicio sólo después de que el circuito ha sido chequeado y con el permiso para comenzar el trabajo por la persona autorizada.

Realización de los ensayos

Todos los que llevan a cargo la realización de ensayos en el laboratorio son personalmente responsables de la configuración del equipamiento a su disposición.

Para los experimentos durante las horas de trabajo se debe tratar, en interés de la seguridad personal, asegurarse de que una segunda persona este presente en la zona de prueba. Si esto no es posible, entonces por lo menos los tiempos de inicio y final de un ensayo deben ser comunicados a una segunda persona.

Cuando se trabaja con altas tensiones fuera de las horas de trabajo, una segunda persona familiarizada con los montajes del ensayo debe estar presente en la misma zona.

Si varias personas están trabajando con la misma configuración, todos ellos deben saber quien va a llevar a cabo las operaciones de conmutación de los pulsadores y/o interruptores para un ensayo particular. Antes de comenzar un ensayo de alta tensión, se debe dar aviso como por ejemplo con por una señal de sirena. Esto es especialmente importante durante los ensayos con fuertes ruidos.

Riesgo de incendios y explosión

En los ensayos con aceite y otros materiales fácilmente inflamables, debe haber cuidados especiales debido al peligro de explosión e incendio. En cada habitación donde el trabajo se lleva a cabo con estos materiales, extintores de fuego adecuados deben estar a la mano, listo para su uso.

8.2. NS1D - Las 5 reglas de oro

Productos de desecho inflamables, por ejemplo, residuos de papel o algodón utilizado, siempre se deben desechar de forma inmediata.

Respuesta ante accidentes

Modo de acción en el caso de un accidente eléctrico:

1. Desconectar la instalación en todos los polos. Siempre y cuando esto no se ha hecho, la víctima del accidente no se debe tocar en ningún caso.

2. Si la víctima está inconsciente, notificar a la emergencia móvil asociada al laboratorio. Inmediatamente intentar restaurar la respiración por respirador artificial, respiración boca a boca o masajes en el pecho. Estas medidas deben continuarse, si es necesario, hasta la respuesta de la persona accidentada. (Sólo 6 a 8 minutos antes de masaje cardíaco directo)

3. Incluso en caso de accidente sin pérdida del conocimiento, se recomienda que la víctima se recueste despacio y seguir el consejo de un médico.

8.2. NS1D - Las 5 reglas de oro

La NS1D es la Norma de Seguridad para la realización de maniobras y trabajos en instalaciones eléctricas de Media Tensión y Alta Tensión.

Esta norma y las 5 reglas de oro pueden ser aplicadas en el proyecto Fuente de Media Tensión.

El objeto de esta Norma es establecer las condiciones de Seguridad a cumplir al realizar trabajos sin tensión en instalaciones de Media Tensión y Alta Tensión (MT/AT).

Esta Norma establece los requisitos que atañen a la organización y métodos de trabajo para la ejecución de tareas en instalaciones del sistema de Distribución (Puestos de Conexión, Estaciones, Sub Estaciones, Líneas Aéreas, Cables Subterráneos, etc).

Será de carácter obligatorio el cumplimiento de esta Norma por parte de todas las personas actuantes, cualquiera sea su rango o categoría, relacionados con una instalación eléctrica de MT/AT, en sus fases de proyecto, construcción y/o mantenimiento de la misma.

Las 5 reglas de oro son las siguientes:

- 1 Abrir

- 2 Bloquear

Capítulo 8. Seguridad

3 Verificar

4 Aterrizar

5 Delimitar

Dec.406/88: Tt.IV, Cap.I, Art.16

Trabajos sin tensión

Para efectuar inspecciones o reparaciones en una instalación o máquina eléctrica, se deberá

[1] aislarla de toda fuente de tensión, mediante un dispositivo de corte en las condiciones detalladas en el artículo anterior

[2] (15.6.b: que evite el riesgo de la puesta en marcha intempestiva. = bloquear),

[3] comprobar la ausencia de tensión, mediante el empleo de instrumentos adecuados, efectuar la

[4] puesta a tierra y en cortocircuito, necesarios en todos los puntos por los que pudiera llegar tensión a la instalación como consecuencia de una maniobra no autorizada o una falla del sistema, y colocar la señalización que advierta la realización del trabajo,

[5] delimitando claramente la zona.

Roles

Jefe de Maniobras Es la persona que, dependiendo funcionalmente del Centro de Maniobras de Distribución (CDM), es responsable de entregar al Jefe de Trabajos -de acuerdo a las metodologías de comunicación establecidas por el CMD- en forma directa o indirecta, la instalación en la cual se va a realizar el trabajo, debidamente consignada.

Jefe de Trabajos Es la persona responsable de la ejecución del mismo, así como de la seguridad de su personal, de terceros y de las instalaciones.

Procedimiento

El proceso consta de tres etapas:

- Preparación
- Ejecución
- Finalización

8.2. NS1D - Las 5 reglas de oro

Preparación de las tareas El Jefe de Maniobras realiza la consignación de la instalación. Procederá a desalojar del lugar donde se efectuarán las maniobras a todo personal ajeno a su ejecución que se encuentre en las proximidades del mismo. Esta prescripción debe aplicarse tanto en la entrega como en la recepción de las instalaciones.

La consignación es el conjunto de operaciones destinadas a:

- 1 Separar, mediante corte visible, la instalación de toda fuente de tensión
- 2 Efectuar el enclavamiento o bloqueo, si es posible, de los aparatos de corte, y Señalizar con disco de "NO DAR TENSION" (Figura 8.2)
- 3 Verificar la ausencia de tensión



Figura 8.2: Cartel Disco "NO DAR TENSION"

En este punto llegamos a la primera de las 5 Reglas de Oro: ABRIR.

Aquí se puede especificar si es una o varias fuentes de tensión a abrir para la realización de las tareas en diferentes zonas de trabajo. Una fuente de tensión es cualquier elemento de una instalacin eléctrica por el cual llega o puede llegar una tensión (NS1D).

Luego de la primera Regla de Oro tenemos la siguiente Regla a ser realizada por el Jefe de Maniobras: BLOQUEAR.

En cada punto de apertura se señalizará con un disco de "NO DAR TENSION", figura 8.2. Esta expresión significa que está prohibido maniobrar en el punto donde

Capítulo 8. Seguridad

está ubicado. El Jefe de Maniobras llenará y firmará el frente del disco con las indicaciones. En el caso que el corte sea parcial y queden instalaciones con tensión próximas a las zonas de trabajo, estas se deben señalar con el cartel CUIDADO HAY TENSIÓN, figura 8.3.



Figura 8.3: Cartel "CUIDADO HAY TENSIÓN"

Para la colocación o retiro de señalizaciones ubicadas en proximidades de equipos eléctricos, deben mantenerse en todo momento las distancias de seguridad.

Por último el Jefe de Maniobras realiza la tercer Regla de Oro: VERIFICAR.

Debe verificar la ausencia de tensión en la red. Con un detector de tensión adecuado para la red en la cual se está trabajando, se verificará que las fases estén sin tensión, así como en caso de existir, los conductores neutro y de tierra. Previa y posteriormente a esa verificación se constatará que el detector funcione correctamente.

Una vez finalizada la maniobra, el Jefe de Maniobras comunicará al Encargado de Media y Alta Tensión del CMD, según corresponda, la hora en que se realizaron los cortes, las instalaciones que han quedado consignadas, los cambios de configuración que se hayan realizado en la red, así como toda la información adicional que deba registrarse en el sistema por razones de seguridad (cruces de líneas de distinta tensión, conductores caídos, etc.) Se indicará la ubicación y numeración de los "Discos" de advertencia de "PERSONAL TRABAJANDO - NO DAR TENSIÓN", de los carteles de advertencia de "CUIDADO HAY TENSIÓN".

En este punto el Jefe de Maniobras entrega la Zona Consignada al Jefe de Trabajos.

La designación del Jefe de Trabajos tendrá en cuenta que el mismo dispondrá de la capacidad operativa suficiente para cumplir con lo dispuesto en la presente Norma.

8.2. NS1D - Las 5 reglas de oro

El Jefe de Trabajos reconoce las instalaciones y riesgos existentes, a su vez comunica a los operarios los riesgos identificados y las medidas de control a tomar. Planificará por escrito las tareas a realizar y las medidas de seguridad a adoptar previo al inicio de las mismas, disponiendo de dicho documento en la zona de trabajo. Seguidamente verificará ausencia de tensión en todos los conductores que ingresen en la zona de trabajo.

Luego de realizar la Regla de Verificar nuevamente se pasa a la cuarta Regla de Oro: ATERRAR.

Es necesario aterrizar porque pueden llegar retornos de tensión a la zona de trabajo. Las puestas a tierra y en cortocircuito son indispensables, dado que siempre es posible un retorno de tensión en las instalaciones donde se trabaje, debido a falsas maniobras, inducción, cebadura de arco, caída de líneas, etc.; en consecuencia, está terminantemente prohibido aproximarse peligrosamente o tocar las instalaciones antes de que se hayan efectuado las operaciones necesarias para ser puestas a tierra y en cortocircuito, cumpliendo con todo lo establecido en los numerales anteriores.

, efectuar la puesta a tierra y en cortocircuito necesarias, en todos los puntos por los que pudiera llegar tensión a la instalación como consecuencia de una maniobra no autorizada o una falla del sistema, ... DECRETO 406/88. Título IV, Capítulo I, Art. 16.

Pasamos a la última pero no menos importante Regla de Oro a ser realizada por el Jefe de Trabajos: DELIMITAR.

La delimitación de la zona de trabajo se completará con cintas, señales, vallas, carteles adecuados, cuando existan instalaciones energizadas próximas a la zona de trabajo, evaluando siempre las distancias de seguridad.

En cada trabajo es necesario evaluar, de acuerdo a las tareas a realizar, a la talla del operario, a la posición de trabajo y a las herramientas a emplear, cual es la menor distancia que puede darse entre cualquier punto del cuerpo del operario o de las herramientas que va a utilizar en el trabajo y las partes con tensión. Dicha distancia debe ser igual o mayor a los siguientes mínimos:

- Hasta 20kV, 75 cm.
- Hasta 60kV, 100cm.

Las partes vivas deben hacerse inaccesibles por medio del uso de pantallas aislantes, barreras o cerca de aislamiento.

Ejecución de las tareas El Jefe de Trabajos prestará especial atención a la supervisión de la obra de las personas a fin de evitar accidentes por proximidad

Capítulo 8. Seguridad

de las instalaciones energizadas, u otros riesgos presentes en el lugar de trabajo, así como implementar medidas de control de estos riesgos y hacerlas aplicar. Ante la imposibilidad momentánea del Jefe de Trabajos de acompañar y orientar las tareas que se realicen en proximidad inmediata de instalaciones energizadas u otros riesgos de importancia, él encomendará a otro funcionario la ejecución de esta vigilancia.

Finalización de las tareas Una vez realizado el trabajo, el Jefe de Trabajos procederá a verificar que todo el personal se retire de la zona de trabajo y comunicar la prohibición de regresar a la misma. Debe retirar el material de obra utilizado, los dispositivos de protección y los elementos de señalización por él colocados. También retirar las puestas a tierra y en cortocircuito colocadas, primero desconectar los elementos del cortocircuito de las fases retirando las prensas y seguidamente, desconectar la toma de tierra. Cada Jefe será responsable del retiro de las puestas a tierra y en cortocircuito que hubiese colocado. Por último firmar al dorso la totalidad de los discos que le fueron asignados, con la fecha y la hora de terminación del trabajo y comunicar la finalización de las tareas al CMD de acuerdo a las metodologías de comunicación establecidas.

Una vez recibido el aviso correspondiente del CMD, verificado los discos y retiradas las señalizaciones, el Jefe de Maniobras procederá a desalojar del lugar donde se efectuarán las maniobras a todo el personal ajeno a su ejecución que se encuentre en las proximidades del mismo. Debe a su vez solicitar autorización al CMD para conectar las instalaciones. Luego tiene que accionar (cerrando) los seccionadores correspondientes y accionar (cerrando) los aparatos de maniobra (disyuntores, reconectores, etc.) No podrá conectarse ninguna instalación cuyo disco no esté firmado al dorso por el Jefe de Trabajos, siendo responsabilidad del Jefe de Maniobras su verificación. Los discos y carteles utilizados deben remitirse al CMD para su archivo.

Capítulo 9

Ensayo de Tensión Aplicada [6]

9.1. Introducción

En la actualidad se presenta la tendencia por la detección temprana de fallas en los sistemas eléctricos. Esto es logrado mediante la aplicación de técnicas de diagnóstico de los distintos elementos del sistema bajo inspección, tales como cables y sus accesorios. Se intenta controlar desde la instalación de los mismos, el tipo de falla que a futuro tendrán, cuando se constituyan como parte integrante de un tendido, permitiendo analizar metro a metro su estado de degradación.

Es importante para las empresas instaladoras y distribuidoras de energía contar con opciones eficientes y con normativas actualizadas que le permitan certificar el estado de sus redes de distribución y/o instalaciones.

De no ser así se ve incrementado el riesgo de fallas inesperadas en uno o varios de los servicios, lo que implica la realización de reparaciones de emergencia, clientes insatisfechos, pérdida de ingresos, y demás escenarios no deseados.

9.2. Descripción del Ensayo

El ensayo de tensión aplicada elegido es el estudio de la protección obtenida mediante el uso del calzado de seguridad con suela aislante.

En la figura 9.1 se observa un modelo de calzado de seguridad a ensayar.



Figura 9.1: *Modelo de calzado de seguridad con suela aislante.*

9.2.1. Objeto

PU UNIT 734:2016 - Equipo de protección personal. Calzado Clase I de trabajo, protección o seguridad con suela aislante de la electricidad para trabajos en instalaciones de baja tensión

Esta Norma especifica los requisitos y el método de ensayo para los calzados Clase I de trabajo, protección o seguridad con suela aislante de la electricidad para trabajos en instalaciones de baja tensión.

NOTA: Los calzados de trabajo, protección o seguridad son aquellos que cumplen con las Normas UNIT- ISO 20345, UNIT-ISO 20346 o UNIT-ISO 20347 respectivamente.

NOTA: La Clase I del calzado es de acuerdo a la clasificación indicada en las Normas UNIT-ISO 20345, UNIT-ISO 20346 o UNIT-ISO 20347.

Esta Norma se aplica a los calzados Clase I de trabajo, protección o seguridad con suela aislante que brinda protección secundaria frente al contacto a través de la suela con circuitos abiertos de hasta 480V, con el calzado seco.

NOTA: Este calzado, cuando se usa junto con otros equipos de protección aislantes de la electricidad tales como guantes o alfombras, previene del paso de una corriente eléctrica peligrosa para las personas a través de los pies por la suela del calzado.

9.2.2. Requisitos generales y eléctricos

Los calzados Clase I de trabajo, protección o seguridad con suela aislante a la electricidad deben cumplir con los requisitos correspondientes establecidos en las Normas UNIT-ISO 20345, UNIT-ISO 20346 o UNIT-ISO 20347 respectivamente.

Si bien es la suela del calzado la parte que debe poseer resistencia al pasaje de corriente eléctrica, el calzado no debe poseer piezas metálicas expuestas tales como ojalillos, clavos, remaches, etc. que posibiliten la formación de choques eléctricos.

Cuando se ensaya el calzado, cada una de las piezas ensayadas deben ser capaces de soportar la aplicación de 14000 voltios (voltios eficaces) a 50 Hz durante un minuto, sin que la corriente de fuga sea mayor de 0,5 mA.

NOTA: También se admite que el ensayo se realice utilizando una frecuencia de 60 Hz.

9.2.3. Toma de muestras

Las muestras para el ensayo se obtienen de calzados que, como mínimo, hayan sido fabricados 72 horas antes de la realización de este ensayo.

Una unidad de probeta de ensayo consiste en un par de calzado.

El calzado debe ensayarse tal como vaya a ser utilizado, a menos que se indique otra cosa en el procedimiento de ensayo. Por ejemplo, si existe una plantilla extraíble, debe dejarse en su sitio para la realización de los ensayos.

Si el calzado tiene puntera de seguridad incorporada, éste debe ser ensayado con la puntera.

9.3. Método de Ensayo

9.3.1. Equipos

Debe usarse un transformador de 0,5 kVA o mayor y la impedancia del equipo de medición no debe ser mayor de $280,000\Omega$. Es necesario un electrodo externo de base metálico (a construir en caso de realizar el ensayo) y esferas de acero inoxidable macizas de 3 mm de diámetro.

9.3.2. Procedimiento

- La parte interna del calzado debe ser cubierta con suficiente cantidad de una solución de cloruro de sodio al 1 % como para inundar la suela durante 5 minutos.

Capítulo 9. Ensayo de Tensión Aplicada [6]

- Una vez cumplido el período de tiempo, debe extraerse la solución de la cavidad del calzado y éste debe ser ensayado inmediatamente.
- Debe colocarse el calzado sobre un electrodo base metálico y en el interior del calzado deben colocarse las esferas metálicas, de modo que cubran totalmente la superficie interna de éste con una profundidad igual o mayor que 30 mm. El electrodo externo está constituido por una malla de metal montada con una rigidez moderada sobre una placa metálica, puesta a tierra, de modo de soportar el peso del calzado cuando éste contenga las esferas de metal (ver figura 9.2).

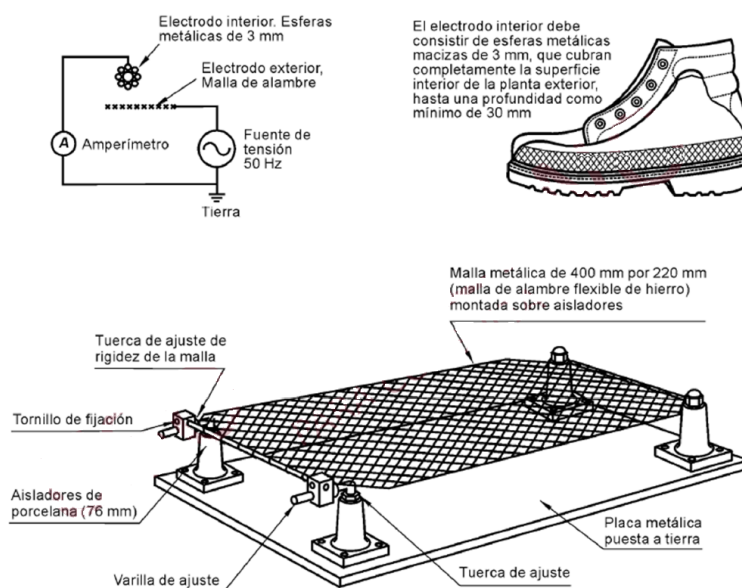


Figura 9.2: Modelo de calzado de seguridad con suela aislante.

- Debe aplicarse un voltaje de $14kV$ (eficaces) a 50Hz durante un minuto. La tensión se mide por un método que proporcione el verdadero valor eficaz de la tensión realmente aplicada a la muestra de ensayo (por ejemplo: un voltímetro usado junto con un transformador calibrado conectado directamente al circuito de alta tensión).

La corriente se mide con un amperímetro para corriente alterna, o un circuito equivalente derivador de corriente no inductivo y un voltímetro, conectado en serie con la muestra.

El electrodo interno debe ser mantenido a potencial de tierra. La tensión de ensayo debe ser aplicada al electrodo externo a un nivel bajo durante un minuto (cerca de los 0V) y luego debe ser elevada continuamente con una cadencia máxima de $1kV/s$ hasta que se alcance la tensión especificada.

9.3. Método de Ensayo

ADVERTENCIA RIESGO ELÉCTRICO: El contacto humano con cualquier parte del circuito puede ser letal. El equipo de ensayo debe ser operado con extremo cuidado. Solamente operarios calificados entrenados y con precauciones de seguridad para trabajar con alta tensión pueden armar o utilizar el citado equipo.

- Debe medirse y registrarse la corriente de fuga medida en mA .
- El calzado que se use como probeta de ensayo no debe ser utilizado posteriormente a ser ensayado. Este ensayo se considera destructivo.
- **Evaluación del resultado de ensayo:** Se considera conformes una unidad de probeta de ensayo cuando las dos piezas del par, ensayadas separadamente, cumplen con los requisitos establecidos.
Todos los especímenes ensayados deben cumplir con el requisito para declarar conformidad.

Las incertidumbres asociadas al ensayo, utilizando la fuente de media tensin, se pueden observar en el Apendice I I.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Referencias

- [1] Dieter Kind. *An Introduction to High-Voltage experimental technique*. Vieweg, 1 edition, 1978.
- [2] Francisco Abel; Herrera Fernando A. Bedoya Bedoya, Duvier; Roldan. *Diseño y construcción de un espinterómetro para un generador de impulso de alta tensión*. Scientia Et Technica, vol. XI, nm. 28, 2005.
- [3] Gustavo Bermúdez Juan Núñez Forestieri. *Guía para el mantenimiento de transformadores de potencia*. 2014.
- [4] J.Kuffel E. Kuffel, W.S. Zaengl. *High Voltage Engineering*. Pergamon Press, 2 edition, 2000.
- [5] Ing. Fernando Berrutti Dr. Ing. Mario Vignolo. *Mallas de Tierra en Alta Tensión, Norma IEEE 80-2000*. Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Segundo semestre de 2011.
- [6] UNIT. *Equipo de protección personal. Calzado Clase I de trabajo, protección o seguridad con suela aislante de la electricidad para trabajos en instalaciones de baja tensión*. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, Disponible en: <http://www.unit.org.uy/normalizacion/norma/100000775>, Desde 2016-05-25 hasta 2016-06-30.
- [7] *Aisladores de porcelana, vidrio y poliméricos para redes de media tensión*. Enersis Endesa, 2008.
- [8] Nazar H. Malik. *A review of the charge simulation method and its applications*. IEEE Transactions on Electrical Insulations, vol. 24 no. 1 edition, February 1989.
- [9] Nelson Morales Osorio. *Softwar para cálculos de campos eléctricos y magnéticos en baja frecuencia*. Julio 2006.
- [10] Acrílico 100 por ciento. *Como pegar acrílico*. Disponible en: <https://uruguay334.wordpress.com/category/informacion-tecnica>.
- [11] Krane Resnick, Halliday. *Física Vol. 1*.
- [12] UTE. *NS1D - Las 5 Reglas de Oro*. Disponible en: <http://www.ute.com.uy/Empresa/lineas/distribucion/normalizacion/docs/5>

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Apéndice A

Planilla de ensayos Transformador BT/MT

N° FICHA 21201

1.- DATOS DEL TRANSFORMADOR:

MONOFASICO ☐
 TRIFASICO ☐
 BITENSION ☐
 CONFIGURABLE ☐
 AUTOTRANSFORM ☐

N° FABRICACION _____

MARCA MAK

POTENCIA _____ KVA

RELACION 50 KV KV

GRUPO CONEXIÓN CHAPA _____

NEUTRO ACCESIBLE SI ☐ NO ☐

PESO TOTAL _____ Kg

 Z_{cc1} (-----V) =-----%

 BT_1 (-----V) _____ Amp

 Z_{cc2} (-----V) =-----%

 BT_2 (-----V) _____ Amp

CANTIDAD ACEITE 100 L. Kg.

AT _____ Amp

OTROS DATOS

TRANSFORMADOR DE FACUNDO DE INGENIERIA
TRABAJADO POR JUAN VARELA. EXP.

2.- ENSAYO DE AISLACION:

TEMPERATURA 18 °C

tiempo: 60 segundos

ALTA - MASA	_____	$G\Omega/M\Omega/K\Omega$	_____	VOLTS CC
ALTA - BAJA	<u>6,65</u>	$G\Omega/M\Omega/K\Omega$	<u>5000</u>	VOLTS CC
BAJA - MASA	<u>10,7</u>	$G\Omega/M\Omega/K\Omega$	<u>1000</u>	VOLTS CC

Criterio aceptación: Tabla de Resistencia Mínima de Aislación de Transformadores

ENSAYO APROBADO: SI ☐ NO ☐

REALIZADO POR: PEREIRA

UT 441635

FECHA: 11/10

COMENTARIOS: _____

3.- MEDIDA DE RESISTENCIA DE DEVANADOS:

TEMPERATURA 18 °C

UNIDAD DE MEDIDA:			UNIDAD DE MEDIDA:			
☐	☐	☒	☐	☒	☐	
$\mu\Omega$	m Ω	Ω	$\mu\Omega$	m Ω	Ω	
AT			BT			
PUNTO	U -	V -	W -	U -	V -	W -
1	13,700					
2				32,93		
3						
4						
5						
				400V		
				230V		

Criterio aceptación: Diferencia <5% entre las fases

ENSAYO APROBADO: SI ☒ NO ☐

REALIZADO POR: Perez

UT 441635 FECHA: 11/16

COMENTARIOS: _____

4.- RELACION DE TRANSFORMACION:

PUNTO	U	V	W	PROMEDIO	% DIFERENCIA
1	43,90				
2					
3					
4					
5					

Criterio aceptación:

Diferencia < ±0,5% para trafos puros,
configurables y bitensión salida 400V

ENSAYO APROBADO: SI ☒ NO ☐

Diferencia < ±1,4% para trafos bitensión en salida 230V

REALIZADO POR: Perez

UT 441635 FECHA: 11/16

COMENTARIOS: _____

5.- PRUEBA FUNCIONAMIENTO CONMUTADOR:

Nº PUNTOS _____

ACCIONAMIENTO MECANICO

BIEN ☐ MAL ☐

OBSERVACIONES _____

6.- ENSAYO DE ESTANQUEIDAD.

SISTEMA DE EXPANSIÓN DE ACEITE:

A) LLENADO INTEGRAL ☐ B) CÁMARA DE AIRE BAJO TAPA. ☐ C) TANQUE EXPANSIÓN. ☒

PRESIÓN: 0.4 BAR. TIEMPO: 60 MIN. MANTIENE PRESIÓN: SI ☒ NO ☐

APRUEBA SI ☒ NO ☐

7- ENSAYO DE CORTO CIRCUITO

A).- TENSION DE CORTO CIRCUITO Vcc.

P ref. 1 KVA Temperatura bobinado 18.1 °C

V₁ ref. 50.0 KV (Punto nominal) Temperatura referencia = 75°C

I₁ N 0.02 A

A.1) CC bornes 115.2 V.

I prom a med = 0.02 A

$$V_{prom}/\sqrt{3} = \frac{16.16}{\sqrt{3}} // V_{cc} = \frac{16.16}{\sqrt{3}} \times \sqrt{3} \times \frac{6300}{100} = 1016.8 \text{ V}$$

$$Pot \text{ med} = \text{---} W // Pot = \text{---} \times \text{---} \times \text{---} = \text{---} W$$

I_{cc} = I₁ N Vcc: 1016.8 KV ucc: 2.03 %

A.2) CC bornes --- V.

I prom a med = ---

$$V_{prom}/\sqrt{3} = \text{---} // V_{cc} = \text{---} \times \sqrt{3} \times \text{---} = \text{---} V$$

$$Pot \text{ med} = \text{---} W // Pot = \text{---} \times \text{---} \times \text{---} = \text{---} W$$

I_{cc} = I₁ N Vcc: --- KV ucc: --- %

B).- CHEQUEO DE LOS CONTACTOS DEL CONMUTADOR DE PUNTOS a Vcc

PUNTOS	I ₁ A	I ₁ B	I ₁ C
1			
2			
3			
4			
5			

$$I_{cc} = 0.46$$

$$2u_{(2)} = 50.842 \text{ (a } 18.1^\circ\text{C)}$$

C).- DETERMINACION DE LAS PERDIDAS EN CARGA

C.1) CC bornes 115 V- Pcc (75°C) = 11.0 W

C.2) CC bornes --- V- Pcc (75°C) = --- W

$$u_{cc} \% (75^\circ\text{C}) = 2.03 \%$$

superando P_N = 1 KV

REALIZADO POR: Rodolfo Pérez UT 534544 FECHA: 24/10/2016
Alejandro Alvarez 600850

COMENTARIOS: considerando las secciones de alambre referidas por el cliente y otros elementos constructivos, estimamos que este transformador puede suministrar una potencia bastante mayor a la supuesta para este ensayo.

8.- ENSAYO DE VACIO

TEMPERATURA _____ °C

V₁ MEDIO (U') 115.72 KV

K_{TC} = _____

V₁ EFICAZ (U) _____ KV

$d = \frac{U' - U}{U'} =$ _____

PUNTO DEL CONMUTADOR _____

V₂ EFICAZ: _____ KV

$RT = \frac{V_1 \text{ EFICAZ}}{V_2 \text{ EFICAZ}} =$ _____

P_m = 120.0 W

P₀ = P_m (1+d) = _____ W

I_{1V} = _____ A

I_{2V} = _____ A

I_{3V} = _____ A

cos φ₀ = 0.85

I Promedio v = 1.217 A

I Promedio v = _____ % IN

P₀ = _____ % PN

EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS: _____

REALIZADO POR: Andrés Rivas

UT 534544

FECHA: 24/10/2016

COMENTARIOS: Alejandro Alvarez

800850

ENSAYO APROBADO: SI ☒ NO ☐

9.- ENSAYO DE TENSION APLICADA

TENSION A APLICAR A TRANSFORMADORES = 80% DE LA TENSION A APLICAR A LOS TRANSFORMADORES NUEVOS SEGÚN EL NIVEL DE AISLACION DE CADA ARROLLAMIENTO
TIEMPO DE APLICACIÓN = 60 SEG.

SE APLICA TENSION A	OTROS ARROLLA. Y MASA A TIERRA	TENSION APLICADA
AT	MT-BT-M-T	_____ KV
MT	AT-BT-M-T	_____ KV
BT	AT-MT-M-T	_____ KV

ENSAYO APROBADO: SI ☐ NO ☐

TEMPERATURA: _____ °C

EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS: _____

REALIZADO POR: _____

UT _____

FECHA: _____

COMENTARIOS: No se realiza según acuerdo con el cliente
Sr. Juan Varela

10.- ENSAYO DE TENSION INDUCIDA

LA TENSION DE ENSAYO PARA TRANSFORMADORES USADOS = 80% DE 2 UN DEL ARROLLAMIENTO ALIMENTADO Y EN EL PUNTO UTILIZADO DEL CONMUTADOR

TENSION DE ENSAYO _____ KV

ARROLLAMIENTO ALIMENTADO AT ☐

MT ☐

BT ☐

TIEMPO DE APLICACIÓN DE TENSION _____ SEG.

FRECUENCIA DE LA TENSION _____ Hz

I_{ex} _____ Amp. % IN: _____

ENSAYO APROBADO: SI ☐ (no se produce caída abrupta de la tensión hasta el final del tiempo del ensayo)

NO ☐ (fluctuaciones considerables o caída abrupta de la tensión)

EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS: _____

REALIZADO POR: _____ UT _____ FECHA: _____

COMENTARIOS: No se realiza por acuerdo con el cliente
Sr. Juan Varela

Ficha Nro: _____

Planilla de conformidad de la reparación de transformadores de potencia hasta 1000 KVA.

Datos del transformador:			
Marca: _____	Pot: _____ KVA	Rel: _____ kV	Nro. Fabric: _____

Limpieza		Bien	Mal	Sellos		Bien	Mal	Conmutador		Bien	Mal
general				AT				Accionamiento			
pasatapas				BT				Bloqueo			
Juntas		Bien	Mal	Pasatapas	Bien	Mal			Si	No	
Tapa				AT				Lleva tapa			
Pasatapas				BT				Tiene la tapa			
Indic. Nivel aceite		Bien	Mal	Grifos		Bien	Mal	Respirador	Bien	Mal	
estado general				Llenado				depósito			
nivel aceite				Vaciado				Silica gel			
				Tapones				Válvula sobrepresión	Bien	Mal	
Pernos pasatapas AT	Si	No		Pernos pasatapas BT	Si	No		estado general			
derechos				derechos				Termómetro	Bien	Mal	
rosca Bien				rosca Bien				estado general			
todas las tuercas				todas las tuercas				funcionamiento			
Terminal descarga a tierra		Bien	Mal	Pintura		Bien	Mal	Bulonería	Bien	Mal	
estado general				cuba:				bulones tapa			
limpieza y pulido				radiadores:				Otros herrajes	Bien	Mal	
dispositivo fijación a columna	Bien	Mal		Tanque exp.				estado general			
estado general				Color según norma				pintura			
pintura				Indic. de rel. y pot.				Ruedas	Si	No	
								Lleva			
								Están todas			
								Giran			

	SI	NO
Ensayos aprobados		
Control aprobado		

Observaciones: _____

Realizado Por: Alejandro Horca
 Nro. único: 600870
 Fecha: 24/10/2016

Correcciones: _____

Controlado Por: _____
 Nro. único: _____
 Fecha: ____/____/____

Versión: 01 Vigencia: 11/08/2012	Revisado por: Rodolfo Pérez	Aprobado por: Ilan Verónica Azevedo
-------------------------------------	--------------------------------	--

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Apéndice B

Ensayo en frecuencia

Programa de Matlab para hallar la transferencia del divisor resistivo.

```
clear all
close all

%-----Adquisición de datos-----
entrada=xlsread('A0001CH1.xls');
salida=xlsread('A0001CH2.xls');

entrada=entrada(:,1).*2;
Mp=max(entrada);
salida=salida(:,1)./100;
tiempo= (0:10e-6:(10e-6)*260)';

figure (1)
plot(tiempo',entrada,'b',tiempo,salida,'r')
grid
title('Respuesta del divisor ante una entrada de onda cuadrada')
xlabel('tiempo (s)')
ylabel('tensi n (V)')
legend('Entrada al divisor','Salida del divisor')

respuestaescalon=salida;
figure (2)
plot(tiempo',respuestaescalon,'m')
grid
title('Salida del divisor')
xlabel('tiempo (s)')
ylabel('tensi n (V)')
%-----

Y=salida;

%-----An lisis de segundo orden-----
```

Apéndice B. Ensayo en frecuencia

```
t=tiempo;
X0 = [1 10000 0.2]; %semilla
fun = @(x) sum((x(3)*(1-(1/sqrt(1-x(1)^2)).*exp(-x(1)*x(2).*t)).*sin(x(2)*sqrt(1-(x(1)^2))
X1 = fminsearch(fun, X0);
G=X1(3);
a=X1(1);
wn=X1(2);

num=[G*wn^2];
den=[1 2*a*wn wn^2];

H=tf(num,den)
[re]=step(num,den,t);
figure(4);
plot(t,Y,'m',t,re,'b')
grid
title('Aproximacion por minimos cuadrados con filtro')
xlabel('tiempo (s)')
ylabel('tensi n (V)')
legend('Salida del divisor','Respuesta escal n de la transferencia hallada')

figure(gcf+1)
bode(H)
title('Diagrama de Bode de la transferencia hallada')
```


Apéndice C

Hojas Técnicas de componentes del Tablero de Control

MCBs

Product Overview

MCB



SH201



SH202



S282UC

SH200

The new SH200 MCBs can be used in domestic, commercial and industrial applications for protection against over-current and short circuit.

New Enhancement

Optimized connection terminal

The new terminal makes it possible to connect lines with and without wire end sleeves up to a cross section of 35mm². The integrated pressure plate serves as protection against damage to flexible lines.

Laser printing

Laser printing ensures a clean typeface with high contrast. This ensures a clear readability. It is resistant to scratches, abrasion and solvents, making it absolutely non-forgable.

Improved DIN rail mounting

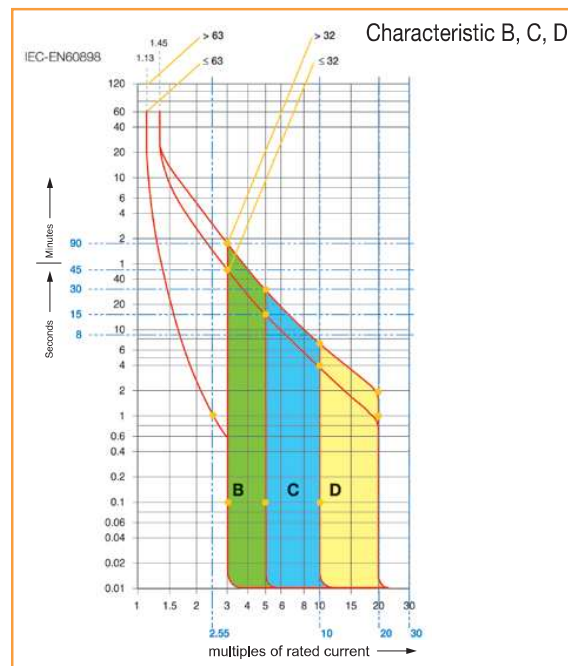
The new plastic lug on the back of the devices prevents them from becoming displaced on the DIN rail in all mounting positions. In the multi-pole miniature circuit breakers this is achieved by using an additional spring in the fastening clip.

S280UC

The S280UC MCB's can be used up to 220V DC for single pole (17.5mm) or up to 440V DC for double pole (35mm) with series connections of 2 poles. This enhanced DC performance is in addition to the AC performance.

They differ from the standard devices in that they are fitted with a permanent magnet which assists in the forced extinguishing of the arc. It is therefore important that care is taken to observe the correct polarity and current flow direction when connecting these breakers.

Tripping Curve





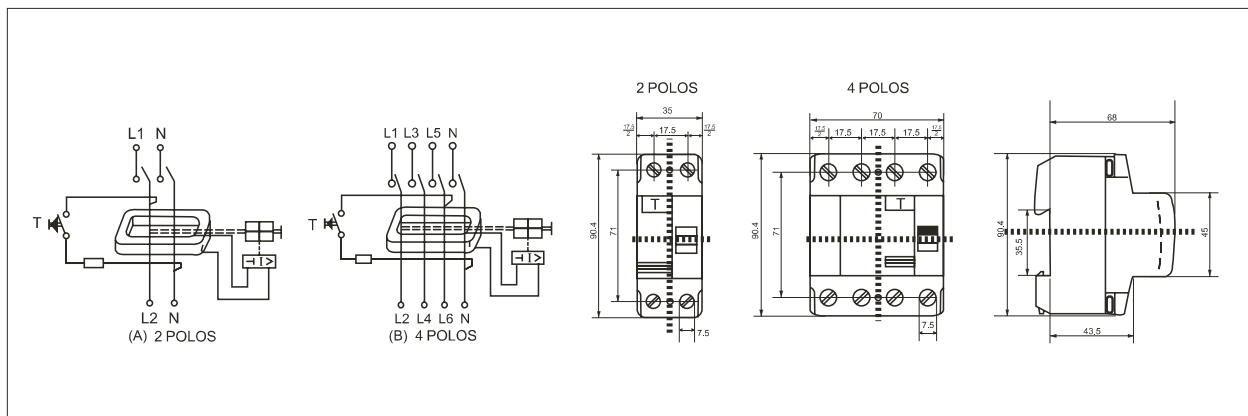
Serie 3SL36

■ Aplicación

La gama de interruptores diferenciales 3SL36 está indicada para redes hasta 230V AC en 2 polos, y 400V AC en 4 polos, hasta 100A. Idóneo tanto para el empleo residencial, terciario o industrial. Su función principal es la de evitar contactos indirectos y evitar riesgo de incendio ocasionado por fugas. Cuando el diferencial detecta una corriente de defecto que excede a su valor consignado, el interruptor procede a la desconexión del circuito, protegiendo a los receptores de posibles daños (como en el caso de electrocución en seres humanos).

Fabricado conforme al estándar: IEC 61008-1

■ Principio de funcionamiento y dimensiones





CONTACTOR, AC-3 11 KW/400 V,
AC 220V 50/60HZ 3 POL., TAM. S0,
CONEXION POR TORNILLO

Detalles generales:		
Nombre comercial del producto		SIRIUS
Designación del producto		contactor de potencia
Tamaño del contactor		S0
Clase de protección IP / frontal		IP20
Grado de contaminación		3
Altitud de instalación / en alturas sobre el nivel del mar / máxima	m	2.000
Temperatura ambiente / durante el funcionamiento	°C	-25 ... 60
Potencia activa disipada / por cada conductor / típica	W	1,6
Número de referencia del material		
• según DIN EN 61346-2		Q
• según DIN 40719 y ampliado con la norma IEC 204-2 / según IEC 750		K
Vida útil mecánica (ciclos de maniobra)		
• del contactor / típico		10.000.000
• del contactor con bloque de contactos auxiliares montado / típico		10.000.000
• del contactor con bloque de contactos auxiliares montado para equipo electrónico / típico		5.000.000

Circuito de corriente principal:

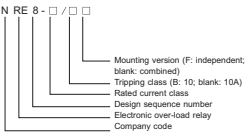


NRE8 Electronic Over-load Relay

1. General

- 1.1 Certificates: UL, NRE8-25, NRE8-40, NRE8-100;
- 1.2 Electrical ratings: AC50/60Hz, 690V;
- 1.3 Standards: IEC60947-4-1, UL508

2. Type Designation



3. Features

- 3.1 Three-phase electronic type, tripping class 10A and 10.
- 3.2 Energy saving up to 80% compared with bimetallic type.
- 3.3 Phase-failure protection.
- 3.4 Current setting continuously adjustable.
- 3.5 Two indicator lights available for indicating normal, overload time-delay, phase-failure and phase-failure time-delay status respectively.
- 3.6 Manual test mechanism.
- 3.7 Manual reset button.
- 3.8 A pair of N/C and N/O contacts.
- 3.9 Two mounting versions: independent or combined with a contactor.

4. Technical Data

- 4.1 Main Circuit: Rated insulation voltage: AC 690V; Rated frequency: 50/60Hz
- 4.2 Auxiliary Circuit: Rated insulation voltage: AC 400V; Rated frequency: 50/60Hz; See table below for other ratings.

Utilization category	AC-15		DC-13
Rated operational voltage Ue (V)	230	400	220
Rated operational current Ie (A)	2.5	1.5	0.2
Conventional heating current (A)	5		

- 4.3 Wiring
Connection of main circuit is PVC insulation copper conductor or cable. See table below for details:

Current range (A)	Cross section area (mm ²)	Length (m)	Number of piece
I≤8	1.0	1	1
8<I≤12	1.5	1	1
12<I≤20	2.5	1	1
20<I≤25	4.0	1	1
25<I≤32	6.0	1	1
32<I≤50	10	1	1



Current range (A)	Cross section area (mm ²)	Length (m)	Number of piece
50<I≤65	16	1	1
65<I≤85	25	1	1
85<I≤115	35	1	1
115<I≤150	50	2	1
150<I≤175	75	2	1
175<I≤225	95	2	1
225<I≤250	120	2	1
250<I≤275	150	2	1
275<I≤350	185	2	1
350<I≤400	240	2	1
400<I≤500	150	2	2
500<I≤630	185	2	2

- 4.4 Protection Characteristics
- 4.4.1 Operation characteristic under three-phase balanced-load status as per the table below.

Series No.	I/I _n	Operating time		Test condition	Ambient temperature (°C)
1	1.05	<2h non-tripping		Cold status	(20 ± 5)°C
2	1.20	<2h tripping		Starts from hot status, right after item no.1	
3	1.50	Class 10A	≤ 2 min		
		Class 10	≤ 4 min		
4	7.20	Class 10A	2s < T _p ≤ 10s	Cold status	
		Class 10	4s < T _p ≤ 10s		

- Under three-phase operation, if relay current reaches and maintains 1.05 times of the current setting, the green lamp flashes and red lamp does not light up, which indicates that the relay is not at over-load time-delay status, which equals to non-operation in 2 hours in serial No. 1 of the table above. A current tolerance for serial No.1 is -3%, and a current tolerance for No.2 is +3% .
- Cold status implies the status of the power re-energized of main circuit of relay 5 seconds after its power off.

- 4.4.2 Operation characteristic under phase-failure status as per the table below.

Series No.	I/I _n		Operating time T _p	Test condition	Ambient temperature °C
	Any two phases	The third phase			
1	1.0	0.9	<2h non-tripping	Starts from cold status	(20±5)°C
2	1.15	0	<2h tripping	Starts from hot status, right after item No.1	

- Under phase failure operation, if relay current reaches and maintains 1.0 times of the current setting, the red lamp flashes and green lamp does not light up, which equals to non-operation in 2 hours in serial No.1 of the table above. When current reaches and exceeds 1.15 times the current setting, the red lamp flashes and the green lamp lights up, which indicates that the relay is at time-delay release status. A current tolerance for serial No.1 is -3%, and a current tolerance for No.2 is +3%.

RM17UAS15

voltage control relay RM17-U - range 65..260 V AC



Main

Range of product	Zelio Control
Product or component type	Modular measurement and control relays
Relay type	Voltage control relay
Product specific application	For single-phase and DC supply
Relay name	RM17UAS
Relay monitored parameters	Overvoltage or undervoltage detection Self-powered
Time delay	Adjustable 0.1...10 s, 0 + 10 % on crossing the threshold
Switching capacity in VA	1250 VA
Minimum switching current	10 mA at 5 V DC
Maximum switching current	5 A AC/DC
Power consumption in VA	<= 3 VA AC
Measurement range	65...260 V voltage AC 50/60 Hz 65...260 V voltage DC
Electrical connection	1 conductor cable 0.2...2.5 mm² AWG24...AWG12 flexible cablewith cable end conforming to IEC 60947-1 1 conductor cable 0.5...4 mm² AWG20...AWG11 solid cablewithout cable end conforming to IEC 60947-1 2 conductors cable 0.2...1.5 mm² AWG24...AWG16 flexible cablewith cable end conforming to IEC 60947-1 2 conductors cable 0.5...2.5 mm² AWG20...AWG14 solid cablewithout cable end conforming to IEC 60947-1
Utilisation category	AC-12 conforming to IEC 60947-5-1 AC-13 conforming to IEC 60947-5-1 AC-14 conforming to IEC 60947-5-1 AC-15 conforming to IEC 60947-5-1 DC-12 conforming to IEC 60947-5-1 DC-13 conforming to IEC 60947-5-1 DC-14 conforming to IEC 60947-5-1

Complementary

Reset time	1500 ms for time delay
Maximum switching voltage	250 V AC/DC
[Us] rated supply voltage	110...240 V AC/DC
Supply voltage limits	50...270 V AC/DC
Power consumption in W	<= 1 W DC
Control circuit frequency	50...60 Hz +/- 10 %
Output contacts	1 C/O
Nominal output current	5 A
Measuring cycle	<= 150 ms measurement cycle as true rms value
Hysteresis	5...20 % of threshold setting
Delay at power up	1 s DC 0.5 s AC
Measurement accuracy	+/- 10 % of the full scale value

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the products contained herein. This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

RE8RA21FU

industrial timing relay - 3..300 s - type C -
110..240 V AC - 1 C/O



Main

Range of product	Zelio Time
Product or component type	Optimum industrial timing relay
Component name	RE8
Time delay type	C
Time delay range	3...300 s
[Us] rated supply voltage	110...240 V AC, 50/60 Hz
Sale per indivisible quantity	1

Complementary

Discrete output type	Relay
Contacts material	Silver nickel contacts
Width pitch dimension	22.5 mm
Voltage range	0.9...1.1 Us
Connections - terminals	Screw terminals 2 x 2.5 mm ² , flexible cable without cable end Screw terminals 2 x 1.5 mm ² , flexible cable with cable end
Tightening torque	0.6...1.1 N.m
Setting accuracy of time delay	+/- 20 % of full scale
Repeat accuracy	< 1 %
Voltage drift	< 2.5 %/V
Temperature drift	< 0.2 %/°C
Minimum pulse duration	26 ms
Reset time	50 ms
Maximum switching voltage	250 V
Mechanical durability	20000000 cycles
[I _{th}] conventional free air thermal current	8 A
[I _e] rated operational current	<= 0.2 A at 115 V, DC-13 for 70 °C conforming to VDE 0660 <= 0.2 A at 115 V, DC-13 for 70 °C conforming to IEC 60947-5-1/1991 <= 0.1 A at 250 V, DC-13 for 70 °C conforming to VDE 0660 <= 0.1 A at 250 V, DC-13 for 70 °C conforming to IEC 60947-5-1/1991 <= 3 A at 24 V, AC-15 for 70 °C conforming to VDE 0660 <= 3 A at 24 V, AC-15 for 70 °C conforming to IEC 60947-5-1/1991 <= 2 A at 24 V, DC-13 for 70 °C conforming to VDE 0660 <= 2 A at 24 V, DC-13 for 70 °C conforming to IEC 60947-5-1/1991
Minimum switching capacity	10 mA at 12 V
Input voltage	110...240 V (Y1)
Maximum switching current	10 mA (Y1)
Input compatibility	2-wire sensors DC with leakage current < 1 mA, cable length: <= 50 m (Y1)
Marking	CE
Overvoltage category	III conforming to IEC 60664-1
[U _i] rated insulation voltage	300 V conforming to CSA 250 V conforming to IEC
Supply disconnection value	> 0.1 U _c
Operating position	Any position without derating factor
Surge withstand	2 kV conforming to IEC 61000-4-5 level 3
Power consumption in VA	8.5 VA at 240 V 1.8 VA at 110 V

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the performance of the products contained herein. This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Apéndice D

Hojas Técnicas de componentes del Divisor Resistivo

METAL FILM RESISTORS

MFR-S SERIES

Feature

- Superior electrical performance
- Excellent overall stability
- Extremely low TCR down to $\pm 15\text{PPM}/^\circ\text{C}$
- Standard Value: 10R-1Meg in E24/E96 series
- Very tight tolerance down to $\pm 0.05\%$
- Operating Temperature : $-55^\circ\text{C} \sim +155^\circ\text{C}$

Material

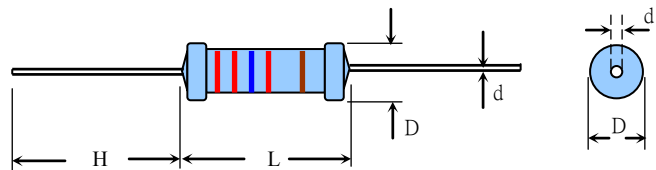
Element: Vacuum-deposited Ni-Cr Alloy

Core: High purity ceramic Al_2O_3

Termination: Standard solder-plated cooper lead

Coating: Epoxy

Dimension



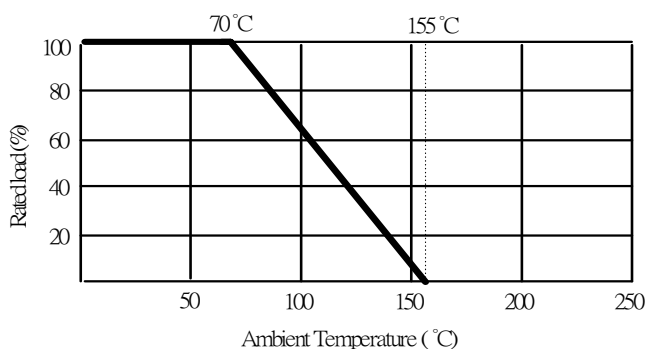
General Specification

TYPE	DIMENSION(mm)				POWER RATING	MAXIMUM WORKING VOLTAGE	MAXIMUM OVERLOAD VOLTAGE	RESISTANCE RANGE $\pm 1\%$
	L	D	H	$d \pm 0.05$				
MFR025S	3.2 ± 0.2	1.5 ± 0.2	27 ± 3.0	0.45	1/4W	200V	400V	$10\Omega - 1\text{M}\Omega$
MFR050S	6.0 ± 0.5	2.3 ± 0.3	27 ± 3.0	0.55	1/2W	250V	500V	$10\Omega - 1\text{M}\Omega$
MFR100S	9.0 ± 0.5	3.2 ± 0.5	27 ± 3.0	0.65	1W	350V	700V	$10\Omega - 1\text{M}\Omega$
MFR200S	11 ± 1.0	4.0 ± 0.5	33 ± 3.0	0.75	2W	500V	1000V	$10\Omega - 1\text{M}\Omega$
MFR300S	15 ± 1.0	5.0 ± 0.5	33 ± 3.0	0.75	3W	500V	1000V	$10\Omega - 1\text{M}\Omega$

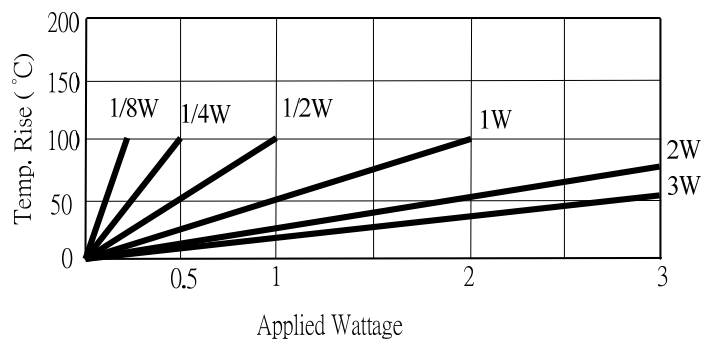
* Maximum Working Voltage determined by $E = \sqrt{P \cdot R}$, where E should not exceed value listed in column above.

**Maximum Overload Voltage equals to 2.5XE, but should not exceed value listed in column above.

Derating Curve



Temperature Rise



METAL FILM RESISTORS

MFR-S SERIES

Characteristics

Item	Requirement	Test Method
Short Time Overload	$\pm 0.5\%$	JIS-C-5201-1 5.5 RCWV*2.5 or Max. overload voltage for 5 seconds
Insulation Resistance	$> 10,000M\Omega$	JIS-C-5201-1 5.6 Apply 100VDC for 1 minute
Endurance	$\pm 0.2\%$	JIS-C-5201-1 7.10 70 $\pm 2^{\circ}C$, Max. RCWV for 1000 hrs with 1.5 hrs "ON" and 0.5hrs "OFF"
Damp Heat with Load	$\pm 0.3\%$	JIS-C-5201-1 7.9 40 $\pm 2^{\circ}C$, 90-95% R.H. RCWV for 1000 hrs with 1.5 hrs "ON" and 0.5hrs "OFF"
Solderability	90% min. Coverage	JIS-C-5201-1 6.5 245 $\pm 5^{\circ}C$ for 3 seconds
Dielectric Withstanding Voltage	By Type	JIS-C-5201-1 5.7 Apply Max. Overload Voltage for 1 minute
Temperature Coefficient	By Type	Resistance value at room temperature and room Temperature+100 $^{\circ}C$
Pulse Overload	$\pm 0.75\%$	JIS-C-5201-1 5.8 4 times RCWV for 10000 cycles with 1 second "ON" and 25 seconds "OFF"
Resistance To Solvent	No deterioration of coatings and markings	JIS-C-5201-1 6.9 Trichroethane for 1 min. with ultrasonic
Terminal Strength	Tensile: ≥ 2.5 kg	Direct Load for 10 seconds In the direction off the terminal leads
Shelf Life	$\Delta R = \pm 0.1\%$	12 months at room temperature 25 $\pm 3^{\circ}C$, 80%RH Max.

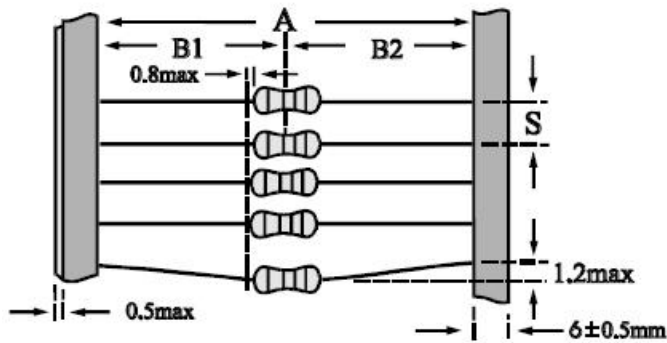
Part Numbering

<u>MFR025S</u>	<u>F</u>	<u>TB</u>	<u>=</u>	<u>10R</u>
↓	↓	↓	↓	↓
Type/Power	Tol.	Package	ppm	Resistance
MFR025S	A= $\pm 0.05\%$	B=Bulk	- = Based on spec.	10R = 10 Ω
MFR050S	B= $\pm 0.1\%$	TB=Tape/box	D=25ppm	1K2R = 1.2K Ω
MFR100S	C= $\pm 0.25\%$	TR=Tape/reel	C=15ppm	1MR = 1M Ω
MFR200S	D= $\pm 0.5\%$	Lead forming		
MFR300S	F= $\pm 1\%$	M		
	J= $\pm 5\%$	F		

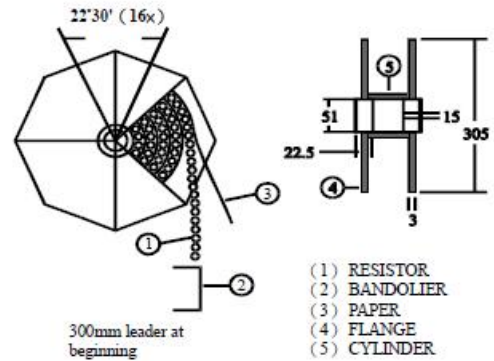
METAL FILM RESISTORS MFR/FMFR SERIES

Taping/Packing Specification

Packing Methods

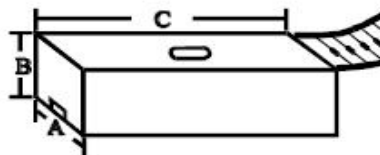


Reel Packing



TYPE	PACKING METHOD			REEL PACKING	
	A	B1-B2	S	Across Flange (A)	Q'TY
		Max			
MFR025S	52+1/-0	1.2	5	72	5000
MFR050S	52+1/-0	1.2	5	72	5000
MFR100S	52+1/-0	1.2	5	72	2000
MFR200S	52+1/-0	1.2	5	72	1000
	73+1/-0	1.5	5	72	1000
MFR300S	52+1/-0	1.2	10	95	1000
	73+1/-0	1.5	10	95	1000

Ammo Packing



TYPE	PACKING METHOD			AMMO PACKING			
	A	B1-B2	S	A	B	C	Q'TY
		Max					
MFR025S	52+1/-0	1.2	5	80	68	255	5000
MFR050S	52+1/-0	1.2	5	75	22	267	1000
		1.2	5	85	103	263	5000
MFR100S	52+1/-0	1.2	5	85	95	263	2000
MFR200S	52+1/-0, 73+1/-0	1.2, 1.5	5	85,103	102,85	263	1000
MFR300S	52+1/-0, 73+1/-0	1.2, 1.5	10	85, 103	102,95	265	1000

MDE Semiconductor, Inc. Circuit Protection Products

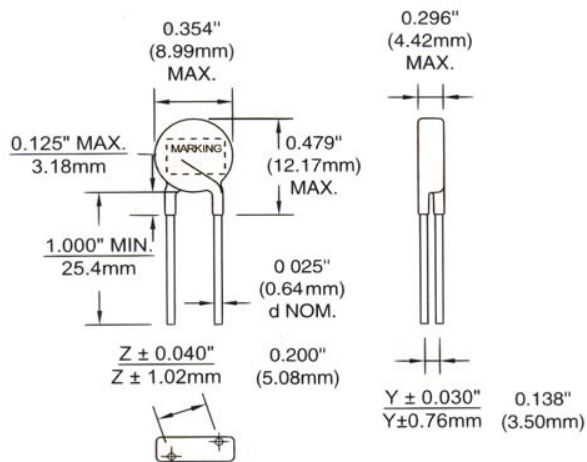
78-150 Calle Tampico, Unit 210, La Quinta, CA., USA 92253 Tel: 760-564-8656 • Fax: 760-564-241
1-800-831-4881 Email: sales@mdesemiconductor.com Web: www.mdesemiconductor.com

Metal Oxide Varistors

Standard D Series 7 mm Disc

PART NUMBER	Varistor Voltage		Maximum Allowable Voltage		Max Clamping Voltage (8/20 μ S)		Energy		Max Peak Current (8/20 μ S)		Rated Power	Typical Capacitance (Reference)
	V@1mA (v)		ACrms (v)	DC (v)	V@10A (v)	I _p (A)	10/1000 (μ s) (J)	2ms (J)	1 time (A)	2 times (A)	(w)	1kHz (pF)
MDE-7D180M	18	16-20	11	14	•36	2.5	1.1	0.9	500	250	0.02	3,800
MDE-7D220M	22	20-24	14	18	•43	2.5	1.3	1.0	500	250	0.02	3,600
MDE-7D270K	27	24-30	17	22	•53	2.5	1.6	1.3	500	250	0.02	3,400
MDE-7D330K	33	30-36	20	26	•65	2.5	2.0	1.6	500	250	0.02	2,900
MDE-7D390K	39	35-43	25	31	•77	2.5	2.4	1.9	500	250	0.02	1,600
MDE-7D470K	47	42-52	30	38	•93	2.5	2.8	2.3	500	250	0.02	1,550
MDE-7D560K	56	50-62	35	45	•110	2.5	3.4	2.7	500	250	0.02	1,500
MDE-7D680K	68	61-75	40	56	•135	2.5	4.1	3.3	500	250	0.02	1,200
MDE-7D820K	82	74-90	50	65	135	10	7.0	5.0	1750	1250	0.25	860
MDE-7D101K	100	90-110	60	85	165	10	8.5	6.0	1750	1250	0.25	750
MDE-7D121K	120	108-132	75	100	200	10	10.0	7.0	1750	1250	0.25	530
MDE-7D151K	150	135-165	95	125	250	10	13.0	9.0	1750	1250	0.25	410
MDE-7D181K	180	162-198	115	150	340	10	15.0	10.4	1750	1250	0.25	300
MDE-7D201K	200	185-225	130	170	340	10	17.5	12.5	1750	1250	0.25	250
MDE-7D221K	220	198-242	140	180	360	10	19.0	13.5	1750	1250	0.25	240
MDE-7D241K	240	216-264	150	200	395	10	21.0	15.0	1750	1250	0.25	240
MDE-7D271K	270	247-303	175	225	455	10	24.0	17.0	1750	1250	0.25	220
MDE-7D301K	300	270-330	195	250	500	10	26.0	18.5	1750	1250	0.25	190
MDE-7D331K	330	297-363	210	275	550	10	28.0	20.0	1750	1250	0.25	170
MDE-7D361K	360	324-396	230	300	595	10	32.0	23.0	1750	1250	0.25	180
MDE-7D391K	390	351-429	250	320	650	10	35.0	25.0	1750	1250	0.25	160
MDE-7D431K	430	387-473	275	350	710	10	40.0	27.5	1750	1250	0.25	150
MDE-7D471K	470	423-517	300	385	775	10	42.0	30.0	1750	1250	0.25	130
MDE-7D511K	510	459-561	320	410	845	10	45.0	32.0	1750	1250	0.25	120
MDE-7D561K	560	504-616	350	460	915	10	45.0	32.0	1750	1250	0.25	120
MDE-7D621K	620	558-682	385	505	1025	10	45.0	32.0	1750	1250	0.25	120
MDE-7D681K	680	612-748	420	560	1120	10	53.0	40.0	1750	1250	0.25	120

•The clamping voltage from 180K to 680K is tested with current @ 2.5A.



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Apéndice E

Ensayos realizados al aceite dieléctrico



Laboratorio Físicoquímico

CERTIFICADO ANALISIS DE ACEITE

MUESTRA PARA ANALISIS DE ESTUDIO

ENSAYOS

ACEITE DIELECTRICO NUEVO

ENSAYOS	RESULTADOS	LIMITE	NORMA
Agua PPM	8 PPM	< 30	IEC 60814
Rigidez Dieléctrica	80 KV	> 40	IEC 60156

Fecha del Certificado 28/10/2016

Observaciones sobre Análisis Físicoquímicos (Basadas en Normas IEC 60422/2013)

- La condición del fluido es satisfactoria. Se puede utilizar normalmente.-

Carina García
Laboratorio Físicoquímico.
Cel. 099 934 639

Apéndice F

Estudio de Arcos Eléctricos

Programa de Matlab aplicando el Método de Simulación de Cargas.

```
clc
clear all
%% Entradas y parámetros principales

%defino tensiones
t1=50000; %tension primer conductor superior
t2=49500; %tension segundo conductor superior
t3=49000; %tension tercer conductor superior
t4=48500; %tension primer conductor inferior
t5=48000; %tension segundo conductor inferior
t6=47500; %tension tercer conductor inferior

%defino constantes
e0=4.5*(8.854e-12); % constante dieléctrica aire en F/m
d=0.1/100; %diámetro del conductor
lh=2.35/100; %altura conductor horizontal superior
lqh=lh-d/2; %altura donde estan las cargas horizontal superior 1.25
ld=-2.35/100; %altura conductor horizontal inferior
lqd=ld+d/2; %altura donde estan las cargas horizontal inferior

xc1=-0.6/100-d/2;
xqv1=-0.6/100;
xc2=-0.6/100+d/2;

xc3=xc1+1.2/100;
xqv2=xqv1+1.2/100;
xc4=xc2+1.2/100;

xc5=xc3+1.2/100;
xqv3=xqv2+1.2/100;
xc6=xc4+1.2/100;
```

```
xc7=xc5+1.2/100;
xqv4=xqv3+1.2/100;
xc8=xc6+1.2/100;

xc9=xc7+1.2/100;
xqv5=xqv4+1.2/100;
xc10=xc8+1.2/100;

%defino vectores
l1=-1.8:0.04:-0.6;%puntos a lo largo del conductor horizontal superior
l1=l1/100;
l2=2.3:-0.06:0.45;%conductor vert super decendente
l2=l2/100;
l3=-0.45:-0.06:-2.3;%conductor vert inf decendente
l3=l3/100;
l4=l1+1.2/100;%conductor horizontal inferior
l5=-2.3:0.06:-0.45;%conductor vert inf acendente
l5=l5/100;
l6=0.45:0.06:2.3;%conductor vert sup acendente
l6=l6/100;
l7=l4+1.2/100;%conductor horizontal sup
l10=l7+1.2/100;%conductor horizontal inf
l13=l10+1.2/100;%conductor horizontal sup
l16=l13+1.2/100;%conductor horizontal inf

n=6*length(l1)+10*length(l2); %suma total
n1=length(l1);
n2=length(l2);

v1=t1*ones(1,n1+n2);
v2=t2*ones(1,2*n2+n1);
v3=t3*ones(1,2*n2+n1);
v4=t4*ones(1,2*n2+n1);
v5=t5*ones(1,2*n2+n1);
v6=t6*ones(1,n2+n1);

v=[v1 v2 v3 v4 v5 v6]; %vector de tensione
P=zeros(6*n1+10*n2,6*n1+10*n2);

lx=l1;
nt=0;
nf=n1;

% referencia conductor horizontal 1-----111111111111111111111111111111111111
for r=nt+1:nf

    for s=1:n1 %horizontal sup1
        as=((lx(r-nt)-l1(s))^2+(lh-lqh)^2);
        P(r,s)=(1/(sqrt(as)));
    end
```

```

for s=n1+1:n1+n2 %vertical sup2
    as=((lx(r-nt)-xqv1)^2+(lh-l2(s-n1))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=n1+n2+1:n1+2*n2 %vertical inf3
    as=((lx(r-nt)-xqv1)^2+(lh-l3(s-(n1+n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2 %horizontal inf4
    as=((lx(r-nt)-l4(s-(n1+2*n2)))^2+(lh-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2 %vertical inf5
    as=((lx(r-nt)-xqv2)^2+(lh-l5(s-(2*n1+2*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=2*n1+3*n2+1:2*n1+4*n2 %vertical sup6
    as=((lx(r-nt)-xqv2)^2+(lh-l6(s-(2*n1+3*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=2*n1+4*n2+1:3*n1+4*n2 %horizontal sup7
    as=((lx(r-nt)-l7(s-(2*n1+4*n2)))^2+(d/2)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=3*n1+4*n2+1:3*n1+5*n2 %vertical sup8
    as=((lx(r-nt)-xqv3)^2+(lh-l2(s-(3*n1+4*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=3*n1+5*n2+1:3*n1+6*n2 %vertical inf9
    as=((lx(r-nt)-xqv3)^2+(lh-l3(s-(3*n1+5*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=3*n1+6*n2+1:4*n1+6*n2 %horizontal inf10
    as=((lx(r-nt)-l10(s-(3*n1+6*n2)))^2+(lh-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=4*n1+6*n2+1:4*n1+7*n2 %vertical inf11
    as=((lx(r-nt)-xqv4)^2+(lh-l5(s-(4*n1+6*n2)))^2);

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```

    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+7*n2+1:4*n1+8*n2 %vertical sup12
    as=((lx(r-nt)-xqv4)^2+(lh-l6(s-(4*n1+7*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+8*n2+1:5*n1+8*n2 %horizontal sup13
    as=((lx(r-nt)-l13(s-(4*n1+8*n2)))^2+(d/2)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+8*n2+1:5*n1+9*n2 %vertical sup14
    as=((lx(r-nt)-xqv5)^2+(lh-l2(s-(5*n1+8*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+9*n2+1:5*n1+10*n2 %vertical inf15
    as=((lx(r-nt)-xqv4)^2+(lh-l3(s-(5*n1+9*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+10*n2+1:6*n1+10*n2 %horizontal inf16
    as=((lx(r-nt)-l16(s-5*n1-10*n2))^2+(lh-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

end

% referencia conductor vertical 2-----222222222222222222222222-----

for r=n1+1:n1+n2

    for s=1:n1 %horizontal sup1
        as=((l1(s)-xc2)^2+(lqh-l2(r-n1))^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
    end

    for s=n1+1:n1+n2 %vertical sup2
        as=((l2(r-n1)-l2(s-n1))^2+(d/2)^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
    end

    for s=n1+n2+1:n1+2*n2 %vertical inf3
        as=((l2(r-n1)-l3(s-n1-n2))^2+(d/2)^2);

```

```

P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end
for s=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2 %horizontal inf4
as=((xc2-l4(s-n1-2*n2))^2+(l2(r-n1)-lqd)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end
for s=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2 %vertical inf5
as=((xc2-xqv2)^2+(l2(r-n1)-l5(s-2*n1-2*n2))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=2*n1+3*n2+1:2*n1+4*n2 %vertical sup6
as=((xc2-xqv2)^2+(l2(r-n1)-l6(s-2*n1-3*n2))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end
for s=2*n1+4*n2+1:3*n1+4*n2 %horizontal sup7
as=((xc2-l7(s-(2*n1+4*n2)))^2+(l2(r-n1)-lqh)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=3*n1+4*n2+1:3*n1+5*n2 %vertical sup8
as=((xc2-xqv3)^2+(l2(r-n1)-l2(s-(3*n1+4*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=3*n1+5*n2+1:3*n1+6*n2 %vertical inf9
as=((xc2-xqv3)^2+(l2(r-n1)-l3(s-(3*n1+5*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=3*n1+6*n2+1:4*n1+6*n2 %horizontal inf10
as=((xc2-l10(s-(3*n1+6*n2)))^2+(l2(r-n1)-lqd)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+6*n2+1:4*n1+7*n2 %vertical inf11
as=((xc2-xqv4)^2+(l2(r-n1)-l5(s-(4*n1+6*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+7*n2+1:4*n1+8*n2 %vertical sup12
as=((xc2-xqv4)^2+(l2(r-n1)-l6(s-(4*n1+7*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```

end

for s=4*n1+8*n2+1:5*n1+8*n2 %horizontal sup13
    as=((xc2-l13(s-(4*n1+8*n2)))^2+(l2(r-n1)-lqh)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=5*n1+8*n2+1:5*n1+9*n2 %vertical sup14
    as=((l2(r-n1)-l2(s-(5*n1+8*n2)))^2+(xc2-xqv5)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=5*n1+9*n2+1:5*n1+10*n2 %vertical inf15
    as=((xc2-xqv5)^2+(l2(r-n1)-l3(s-(5*n1+9*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=5*n1+10*n2+1:6*n1+10*n2 %horizontal inf16
    as=((xc2-l16(s-(5*n1+10*n2)))^2+(l2(r-n1)-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

end

end

% referencia conductor vertical 3-----

for r=n1+n2+1:n1+2*n2

    for s=1:n1 %horizontal sup1
        as=((l1(s)-xc1)^2+(lqh-l3(r-n1-n2))^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end

    for s=n1+1:n1+n2 %vertical sup2
        as=((l3(r-n1-n2)-l2(s-n1))^2+(d/2)^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end

    end

    for s=n1+n2+1:n1+2*n2 %vertical inf3

```

```

as=((l3(r-n1-n2)-l3(s-n1-n2))^2+(d/2)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end
for s=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2 %horizontal inf4
as=((xc1-l4(s-n1-2*n2))^2+(l3(r-n1-n2)-lqd)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end
for s=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2 %vertical inf5
as=((xc1-xqv2)^2+(l3(r-n1-n2)-l5(s-2*n1-2*n2))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=2*n1+3*n2+1:2*n1+4*n2 %vertical sup6
as=((xc1-xqv2)^2+(l3(r-n1-n2)-l6(s-2*n1-3*n2))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end
for s=2*n1+4*n2+1:3*n1+4*n2 %horizontal sup7
as=((xc1-l7(s-(2*n1+4*n2)))^2+(l3(r-n1-n2)-lqh)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=3*n1+4*n2+1:3*n1+5*n2 %vertical sup8
as=((xc1-xqv3)^2+(l3(r-n1-n2)-l2(s-(3*n1+4*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=3*n1+5*n2+1:3*n1+6*n2 %vertical inf9
as=((xc1-xqv3)^2+(l3(r-n1-n2)-l3(s-(3*n1+5*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=3*n1+6*n2+1:4*n1+6*n2 %horizontal inf10
as=((xc1-l10(s-(3*n1+6*n2)))^2+(l3(r-n1-n2)-lqd)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+6*n2+1:4*n1+7*n2 %vertical inf11
as=((xc1-xqv4)^2+(l3(r-n1-n2)-l5(s-(4*n1+6*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=4*n1+7*n2+1:4*n1+8*n2 %vertical sup12

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
as=((xc1-xqv4)^2+(l3(r-n1-n2)-l6(s-(4*n1+7*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=4*n1+8*n2+1:5*n1+8*n2 %horizontal sup13
as=((xc1-l13(s-(4*n1+8*n2)))^2+(l3(r-n1-n2)-lqh)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=5*n1+8*n2+1:5*n1+9*n2 %vertical sup14
as=((l3(r-n1-n2)-l2(s-(5*n1+8*n2)))^2+(xc1-xqv5)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=5*n1+9*n2+1:5*n1+10*n2 %vertical inf15
as=((xc1-xqv5)^2+(l3(r-n1-n2)-l3(s-(5*n1+9*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=5*n1+10*n2+1:6*n1+10*n2 %horizontal inf16
as=((xc1-l16(s-(5*n1+10*n2)))^2+(l3(r-n1-n2)-lqd)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

end

end

% referencia conductor horizontal 4 -----

for r=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2

for s=1:n1 %horizontal sup1
as=((l1(s)-l4(r-n1-2*n2))^2+(lqh-lid)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=n1+1:n1+n2 %vertical sup2
as=((l4(r-n1-2*n2)-xqv1)^2+(l2(s-n1)-lid)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=n1+n2+1:n1+2*n2 %vertical inf3
as=((l4(r-n1-2*n2)-xqv1)^2+(l3(s-n1-n2)-lid)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

end
```



```

for s=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2 %horizontal inf4
    as=((d/2)^2+(l4(r-n1-2*n2)-l4(s-n1-2*n2))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end
for s=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2 %vertical inf5
    as=((ld-l5(s-2*n1-2*n2))^2+(l4(r-n1-2*n2)-xqv2)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=2*n1+3*n2+1:2*n1+4*n2 %vertical sup6
    as=((l4(r-n1-2*n2)-xqv2)^2+(ld-l6(s-2*n1-3*n2))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end
for s=2*n1+4*n2+1:3*n1+4*n2 %horizontal sup7
    as=((lqh-l4)^2+(l4(r-n1-2*n2)-l7(s-(2*n1+4*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=3*n1+4*n2+1:3*n1+5*n2 %vertical sup8
    as=((l2(s-(3*n1+4*n2))-ld)^2+(l4(r-n1-2*n2)-xqv3)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=3*n1+5*n2+1:3*n1+6*n2 %vertical inf9
    as=((l3(s-(3*n1+5*n2))-ld)^2+(l4(r-n1-2*n2)-xqv3)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=3*n1+6*n2+1:4*n1+6*n2 %horizontal inf10
    as=((d/2)^2+(l4(r-n1-2*n2)-l10(s-(3*n1+6*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=4*n1+6*n2+1:4*n1+7*n2 %vertical inf11
    as=((l4(r-n1-2*n2)-xqv4)^2+(ld-l5(s-(4*n1+6*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=4*n1+7*n2+1:4*n1+8*n2 %vertical sup12
    as=((l4(r-n1-2*n2)-xqv4)^2+(ld-l6(s-(4*n1+7*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=4*n1+8*n2+1:5*n1+8*n2 %horizontal sup13
    as=((lqh-l4)^2+(l4(r-n1-2*n2)-l13(s-(4*n1+8*n2)))^2);

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));  
end  
  
for s=5*n1+8*n2+1:5*n1+9*n2 %vertical sup14  
as=((14(r-n1-2*n2)-xqv5)^2+(12(s-(5*n1+8*n2))-ld)^2);  
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));  
  
end  
  
for s=5*n1+9*n2+1:5*n1+10*n2 %vertical inf15  
as=((14(r-n1-2*n2)-xqv5)^2+(ld-13(s-(5*n1+9*n2)))^2);  
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));  
  
end  
  
for s=5*n1+10*n2+1:6*n1+10*n2 %horizontal inf16  
as=((ld-lqd)^2+(13(r-n1-2*n2)-116(s-(5*n1+10*n2)))^2);  
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));  
end  
  
end  
  
% referencia conductor vertical 5-----  
  
for r=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2  
  
for s=1:n1 %horizontal sup1  
as=((11(s)-xc4)^2+(lqh-15(r-2*n1-2*n2))^2);  
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));  
  
end  
  
for s=n1+1:n1+n2 %vertical sup2  
as=((15(r-2*n1-2*n2)-12(s-n1))^2+(xqv1-xc4)^2);  
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));  
  
end  
  
for s=n1+n2+1:n1+2*n2 %vertical inf3  
as=(xqv1-xc4)^2+((15(r-2*n1-2*n2)-13(s-n1-n2))^2);  
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));  
  
end  
  
for s=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2 %horizontal inf4  
as=((xc4-14(s-n1-2*n2))^2+(15(r-2*n1-2*n2)-lqd)^2);  
P(r,s)=(1/((sqrt(as))));  
  
end
```

```

for s=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2 %vertical inf5
    as=((d/2)^2+(15(r-2*n1-2*n2)-15(s-2*n1-2*n2))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=2*n1+3*n2+1:2*n1+4*n2 %vertical sup6
    as=((d/2)^2+(15(r-2*n1-2*n2)-16(s-2*n1-3*n2))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=2*n1+4*n2+1:3*n1+4*n2 %horizontal sup7
    as=((xc4-17(s-(2*n1+4*n2)))^2+(15(r-2*n1-2*n2)-1qh)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=3*n1+4*n2+1:3*n1+5*n2 %vertical sup8
    as=((xc4-xqv3)^2+(15(r-2*n1-2*n2)-12(s-(3*n1+4*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=3*n1+5*n2+1:3*n1+6*n2 %vertical inf9
    as=((xc4-xqv3)^2+(15(r-2*n1-2*n2)-13(s-(3*n1+5*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=3*n1+6*n2+1:4*n1+6*n2 %horizontal inf10
    as=((xc4-110(s-(3*n1+6*n2)))^2+(15(r-2*n1-2*n2)-1qd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=4*n1+6*n2+1:4*n1+7*n2 %vertical inf11
    as=((xc4-xqv4)^2+(15(r-2*n1-2*n2)-15(s-(4*n1+6*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=4*n1+7*n2+1:4*n1+8*n2 %vertical sup12
    as=((xc4-xqv4)^2+(15(r-2*n1-2*n2)-16(s-(4*n1+7*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=4*n1+8*n2+1:5*n1+8*n2 %horizontal sup13
    as=((xc4-113(s-(4*n1+8*n2)))^2+(15(r-2*n1-2*n2)-1qh)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
end

for s=5*n1+8*n2+1:5*n1+9*n2 %vertical sup14
    as=((15(r-2*n1-2*n2)-12(s-(5*n1+8*n2)))^2+(xc4-xqv5)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=5*n1+9*n2+1:5*n1+10*n2 %vertical inf15
    as=((xc4-xqv5)^2+(15(r-2*n1-2*n2)-13(s-(5*n1+9*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

end

for s=5*n1+10*n2+1:6*n1+10*n2 %horizontal inf16
    as=((xc4-116(s-(5*n1+10*n2)))^2+(15(r-2*n1-2*n2)-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

end

% referencia conductor vertical 6-----
nt=2*n1+3*n2;
lx=16;
for r=nt+1:2*n1+4*n2

    for s=1:n1 %horizontal sup1
        as=((l1(s)-xc3)^2+(lqh-lx(r-nt))^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end

    for s=n1+1:n1+n2 %vertical sup2
        as=((lx(r-nt)-12(s-n1))^2+(xqv1-xc3)^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end

    end

    for s=n1+n2+1:n1+2*n2 %vertical inf3
        as=(xqv1-xc3)^2+((lx(r-nt)-13(s-n1-n2))^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end

    end

    for s=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2 %horizontal inf4
        as=((xc3-14(s-n1-2*n2))^2+(lx(r-nt)-lqd)^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end

end
```

```

for s=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2 %vertical inf5
    as=((d/2)^2+(lx(r-nt)-l5(s-2*n1-2*n2))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=2*n1+3*n2+1:2*n1+4*n2 %vertical sup6
    as=((d/2)^2+(lx(r-nt)-l6(s-2*n1-3*n2))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=2*n1+4*n2+1:3*n1+4*n2 %horizontal sup7
    as=((xc3-l7(s-(2*n1+4*n2)))^2+(lx(r-nt)-lqh)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=3*n1+4*n2+1:3*n1+5*n2 %vertical sup8
    as=((xc3-xqv3)^2+(lx(r-nt)-l2(s-(3*n1+4*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=3*n1+5*n2+1:3*n1+6*n2 %vertical inf9
    as=((xc3-xqv3)^2+(lx(r-nt)-l3(s-(3*n1+5*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=3*n1+6*n2+1:4*n1+6*n2 %horizontal inf10
    as=((xc3-l10(s-(3*n1+6*n2)))^2+(lx(r-nt)-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=4*n1+6*n2+1:4*n1+7*n2 %vertical inf11
    as=((xc3-xqv4)^2+(lx(r-nt)-l5(s-(4*n1+6*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=4*n1+7*n2+1:4*n1+8*n2 %vertical sup12
    as=((xc3-xqv4)^2+(lx(r-nt)-l6(s-(4*n1+7*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=4*n1+8*n2+1:5*n1+8*n2 %horizontal sup13
    as=((xc3-l13(s-(4*n1+8*n2)))^2+(lx(r-nt)-lqh)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
for s=5*n1+8*n2+1:5*n1+9*n2 %vertical sup14
    as=((lx(r-nt)-l2(s-(5*n1+8*n2)))^2+(xc3-xqv5)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));

end

for s=5*n1+9*n2+1:5*n1+10*n2 %vertical inf15
    as=((xc3-xqv5)^2+(lx(r-nt)-l3(s-(5*n1+9*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

for s=5*n1+10*n2+1:6*n1+10*n2 %horizontal inf16
    as=((xc3-l16(s-(5*n1+10*n2)))^2+(lx(r-nt)-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
end

end

% referencia conductor horizontal 7
nt=2*n1+4*n2;
lx=17;
nf=3*n1+4*n2;
for r=nt+1:nf

    for s=1:n1 %horizontal sup1
        as=((lx(r-nt)-l1(s))^2+(d/2)^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end
    for s=n1+1:n1+n2 %vertical sup2
        as=((lx(r-nt)-xqv1)^2+(lh-l2(s-n1))^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end
    for s=n1+n2+1:n1+2*n2 %vertical inf3
        as=((lx(r-nt)-xqv1)^2+(lh-l3(s-(n1+n2)))^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end
    for s=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2 %horizontal inf4
        as=((lx(r-nt)-l4(s-(n1+2*n2)))^2+(lh-lqd)^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end
    for s=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2 %vertical inf5
        as=((lx(r-nt)-xqv2)^2+(lh-l5(s-(2*n1+2*n2)))^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end
    for s=2*n1+3*n2+1:2*n1+4*n2 %vertical sup6
        as=((lx(r-nt)-xqv2)^2+(lh-l6(s-(2*n1+3*n2)))^2);
        P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
    end
    for s=2*n1+4*n2+1:3*n1+4*n2 %horizontal sup7
        as=((lx(r-nt)-l7(s-(2*n1+4*n2)))^2+(d/2)^2);
```

```

        P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=3*n1+4*n2+1:3*n1+5*n2 %vertical sup8
    as=((lx(r-nt)-xqv3)^2+(lh-l2(s-(3*n1+4*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=3*n1+5*n2+1:3*n1+6*n2 %vertical inf9
    as=((lx(r-nt)-xqv3)^2+(lh-l3(s-(3*n1+5*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=3*n1+6*n2+1:4*n1+6*n2 %horizontal inf10
    as=((lx(r-nt)-l10(s-(3*n1+6*n2)))^2+(lh-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+6*n2+1:4*n1+7*n2 %vertical inf11
    as=((lx(r-nt)-xqv4)^2+(lh-l5(s-(4*n1+6*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+7*n2+1:4*n1+8*n2 %vertical sup12
    as=((lx(r-nt)-xqv4)^2+(lh-l6(s-(4*n1+7*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+8*n2+1:5*n1+8*n2 %horizontal sup13
    as=((lx(r-nt)-l13(s-(4*n1+8*n2)))^2+(d/2)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+8*n2+1:5*n1+9*n2 %vertical sup14
    as=((lx(r-nt)-xqv5)^2+(lh-l2(s-(5*n1+8*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+9*n2+1:5*n1+10*n2 %vertical inf15
    as=((lx(r-nt)-xqv5)^2+(lh-l3(s-(5*n1+9*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+10*n2+1:6*n1+10*n2 %horizontal inf16
    as=((lx(r-nt)-l16(s-5*n1-10*n2))^2+(lh-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

end

% referencia conductor vertical 8 9 11 12 14 15-----

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
lx=l2;
nt=3*n1+4*n2;
ntt=3*n1+4*n2;
nf=5*n1+10*n2;
u=1;
xc=xc6;

for r=ntt+1:nf
    if u==1

        for s=1:n1 %horizontal sup1
            as=((lx(s)-xc)^2+(lqh-lx(r-nt))^2);
            P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
        end
        for s=n1+1:n1+n2 %vertical sup2
            as=((lx(r-nt)-l2(s-n1))^2+(xqv1-xc)^2);
            P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
        end

        for s=n1+n2+1:n1+2*n2 %vertical inf3
            as=(xqv1-xc)^2+((lx(r-nt)-l3(s-n1-n2))^2);
            P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
        end
        for s=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2 %horizontal inf4
            as=((xc-l4(s-n1-2*n2))^2+(lx(r-nt)-lqd)^2);
            P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
        end
        for s=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2 %vertical inf5
            as=((xc-xqv2)^2+(lx(r-nt)-l5(s-2*n1-2*n2))^2);
            P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
        end
        for s=2*n1+3*n2+1:2*n1+4*n2 %vertical sup6
            as=((xc-xqv2)^2+(lx(r-nt)-l6(s-2*n1-3*n2))^2);
            P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
        end
        for s=2*n1+4*n2+1:3*n1+4*n2 %horizontal sup7
            as=((xc-l7(s-(2*n1+4*n2)))^2+(lx(r-nt)-lqh)^2);
            P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
        end
        for s=3*n1+4*n2+1:3*n1+5*n2 %vertical sup8
            as=((xc-xqv3)^2+(lx(r-nt)-l2(s-(3*n1+4*n2)))^2);
            P(r,s)=(1/((sqrt(as))));
        end

        for s=3*n1+5*n2+1:3*n1+6*n2 %vertical inf9
            as=((xc-xqv3)^2+(lx(r-nt)-l3(s-(3*n1+5*n2)))^2);
```



```

P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));

end

for s=3*n1+6*n2+1:4*n1+6*n2 %horizontal inf10
as=((xc-l10(s-(3*n1+6*n2)))^2+(lx(r-nt)-lqd)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+6*n2+1:4*n1+7*n2 %vertical inf11
as=((xc-xqv4)^2+(lx(r-nt)-l5(s-(4*n1+6*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+7*n2+1:4*n1+8*n2 %vertical sup12
as=((xc-xqv4)^2+(lx(r-nt)-l6(s-(4*n1+7*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+8*n2+1:5*n1+8*n2 %horizontal sup13
as=((xc-l13(s-(4*n1+8*n2)))^2+(lx(r-nt)-lqh)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+8*n2+1:5*n1+9*n2 %vertical sup14
as=((lx(r-nt)-l2(s-(5*n1+8*n2)))^2+(xc-xqv5)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+9*n2+1:5*n1+10*n2 %vertical inf15
as=((xc-xqv5)^2+(lx(r-nt)-l3(s-(5*n1+9*n2)))^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+10*n2+1:6*n1+10*n2 %horizontal inf16
as=((xc-l16(s-(5*n1+10*n2)))^2+(lx(r-nt)-lqd)^2);
P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

end

if r==3*n1+5*n2 %para el 9
lx=l3;
nt=3*n1+5*n2;
xc=xc5;
u=1;
end

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
if r==3*n1+6*n2 %para el 10
    u=0;
end

if r==4*n1+6*n2 %para el 11
    u=1;
    lx=15;
    xc=xc8;
    nt=4*n1+6*n2;
end

if r==4*n1+7*n2 %para el 12
    lx=16;
    nt=4*n1+7*n2;
    xc=xc7;
end

if r==4*n1+8*n2 %para el 13
    u=0;
end

if r==5*n1+8*n2 %para el 14
    u=1;
    lx=12;
    xc=xc10;
    nt=5*n1+8*n2;
end
if r==5*n1+9*n2 %para el 15
    lx=13;
    xc=xc9;
    nt=5*n1+9*n2;
end
%}
end

% referencia conductor horizontal 10 13 16
nt=3*n1+6*n2;
ntt=3*n1+6*n2;
lx=110;
nf=6*n1+10*n2;
ll=ld;
u=1;
for r=ntt+1:nf
    if u==1
        for s=1:n1 %horizontal sup1
            as=((lx(r-nt)-ll(s))^2+(ll-lqh)^2);
            P(r,s)=(1/(sqrt(as)));
        end
        for s=n1+1:n1+n2 %vertical sup2
            as=((lx(r-nt)-xqv1)^2+(ll-l2(s-n1))^2);
```

```

        P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=n1+n2+1:n1+2*n2 %vertical inf3
    as=((lx(r-nt)-xqv1)^2+(l1-l3(s-(n1+n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end
for s=n1+2*n2+1:2*n1+2*n2 %horizontal inf4
    as=((lx(r-nt)-l4(s-(n1+2*n2)))^2+(l1-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end
for s=2*n1+2*n2+1:2*n1+3*n2 %vertical inf5
    as=((lx(r-nt)-xqv2)^2+(l1-l5(s-(2*n1+2*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end
for s=2*n1+3*n2+1:2*n1+4*n2 %vertical sup6
    as=((lx(r-nt)-xqv2)^2+(l1-l6(s-(2*n1+3*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end
for s=2*n1+4*n2+1:3*n1+4*n2 %horizontal sup7
    as=((lx(r-nt)-l7(s-(2*n1+4*n2)))^2+(l1-lqh)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end
for s=3*n1+4*n2+1:3*n1+5*n2 %vertical sup8
    as=((lx(r-nt)-xqv3)^2+(l1-l2(s-(3*n1+4*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end
for s=3*n1+5*n2+1:3*n1+6*n2 %vertical inf9
    as=((lx(r-nt)-xqv3)^2+(l1-l3(s-(3*n1+5*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end
for s=3*n1+6*n2+1:4*n1+6*n2 %horizontal inf10
    as=((lx(r-nt)-l10(s-(3*n1+6*n2)))^2+(l1-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+6*n2+1:4*n1+7*n2 %vertical inf11
    as=((lx(r-nt)-xqv4)^2+(l1-l5(s-(4*n1+6*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+7*n2+1:4*n1+8*n2 %vertical sup12
    as=((lx(r-nt)-xqv4)^2+(l1-l6(s-(4*n1+7*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=4*n1+8*n2+1:5*n1+8*n2 %horizontal sup13
    as=((lx(r-nt)-l13(s-(4*n1+8*n2)))^2+(l1-lqh)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
for s=5*n1+8*n2+1:5*n1+9*n2 %vertical sup14
    as=((lx(r-nt)-xqv5)^2+(l1-l2(s-(5*n1+8*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+9*n2+1:5*n1+10*n2 %vertical inf15
    as=((lx(r-nt)-xqv5)^2+(l1-l3(s-(5*n1+9*n2)))^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

for s=5*n1+10*n2+1:6*n1+10*n2 %horizontal inf16
    as=((lx(r-nt)-l16(s-5*n1-10*n2))^2+(l1-lqd)^2);
    P(r,s)=(1/((sqrt(as)))));
end

end

if r==4*n1+6*n2
    u=0;
end

if r==4*n1+8*n2 %para l13
    u=1;
    lx=l13;
    l1=lh;
    nt=4*n1+8*n2;
end
if r==5*n1+8*n2
    u=0;
end

if r==5*n1+10*n2
    u=1;
    lx=l16;
    l1=ld;
    nt=5*n1+10*n2;
end

end

q=(4*pi*e0)*(P\v');

vg=0;
```

```

%calculando el potencial en el espacio
%% Grafico de curvas de contorno
[X,Y]=meshgrid(-3:0.02:7,-7:0.05:7); % grilla
X=X/100;
Y=Y/100;
nxx=length(X);
nyy=length(Y);

for r=1:6*n1+10*n2

    if r<=n1 %l1
        as=((X-l1(r)).^2+(Y-lqh).^2);
        vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>n1 && r<=n1+n2 %l2
        as=((X-xqv1).^2+(Y-l2(r-n1)).^2);
        vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>n1+n2 && r<=n1+2*n2 %l3
        as=((X-xqv1).^2+(Y-l3(r-n1-n2)).^2);
        vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>n1+2*n2 && r<=2*n1+2*n2 %l4
        as=((X-l4(r-n1-2*n2)).^2+(Y-lqd).^2);
        vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>2*n1+2*n2 && r<=2*n1+3*n2 %l5
        as=((X-xqv2).^2+(Y-l5(r-2*n1-2*n2)).^2);
        vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>2*n1+3*n2 && r<=2*n1+4*n2 %l6
        as=((X-xqv2).^2+(Y-l6(r-2*n1-3*n2)).^2);
        vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>2*n1+4*n2 && r<=3*n1+4*n2 %l7
        as=((X-l7(r-(2*n1+4*n2))).^2+(Y-lqh).^2);
        vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>3*n1+4*n2 && r<=3*n1+5*n2 %l8
        as=((X-xqv3).^2+(Y-l2(r-3*n1-4*n2)).^2);
        vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>3*n1+5*n2 && r<=3*n1+6*n2 %l9
        as=((X-xqv3).^2+(Y-l3(r-3*n1-5*n2)).^2);
        vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end
end

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
end

if r>3*n1+6*n2 && r<=4*n1+6*n2 %l10
    as=((X-l10(r-3*n1-6*n2)).^2+(Y-lqd).^2);
    vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>4*n1+6*n2 && r<=4*n1+7*n2 %l11
    as=((X-xqv4).^2+(Y-l5(r-4*n1-6*n2)).^2);
    vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>4*n1+7*n2 && r<=4*n1+8*n2 %l12
    as=((X-xqv4).^2+(Y-l6(r-4*n1-7*n2)).^2);
    vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>4*n1+8*n2 && r<=5*n1+8*n2 %l13
    as=((X-l13(r-(4*n1+8*n2))).^2+(Y-lqh).^2);
    vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>5*n1+8*n2 && r<=5*n1+9*n2 %l14
    as=((X-xqv5).^2+(Y-l2(r-5*n1-8*n2)).^2);
    vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>5*n1+9*n2 && r<=5*n1+10*n2 %l15
    as=((X-xqv5).^2+(Y-l3(r-5*n1-9*n2)).^2);
    vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>5*n1+10*n2 && r<=6*n1+10*n2 %l16
    as=((X-l16(r-5*n1-10*n2)).^2+(Y-lqd).^2);
    vg=vg+q(r)*(1./(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

end

VWV=abs(vg);
Z=(1/1000)*VWV;
level=0:0.5:50;
contour(X,Y,Z,level,'ShowText','off')
grid
```

```

% variables de cordenadas para calcular el gradiente

X1=input('Ingrese parametro X en cm del punto 1: ');
Y1=input('Ingrese parametro Y en cm del punto 1: ');
X1=X1/100;
Y1=Y1/100;

X2=input('Ingrese parametro X en cm del punto 2: ');
Y2=input('Ingrese parametro Y en cm del punto 2: ');
X2=X2/100;
Y2=Y2/100;

%calculando el potencial en el espacio

vp1=0;

for r=1:6*n1+10*n2

    if r<=n1 %l1
        as=((X1-l1(r))^2+(Y1-lqh)^2);
        vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>n1 && r<=n1+n2 %l2
        as=((X1-xqv1)^2+(Y1-l2(r-n1))^2);
        vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>n1+n2 && r<=n1+2*n2 %l3
        as=((X1-xqv1)^2+(Y1-l3(r-n1-n2))^2);
        vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>n1+2*n2 && r<=2*n1+2*n2 %l4
        as=((X1-l4(r-n1-2*n2))^2+(Y1-lqd)^2);
        vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>2*n1+2*n2 && r<=2*n1+3*n2 %l5
        as=((X1-xqv2)^2+(Y1-l5(r-2*n1-2*n2))^2);
        vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>2*n1+3*n2 && r<=2*n1+4*n2 %l6
        as=((X1-xqv2)^2+(Y1-l6(r-2*n1-3*n2))^2);
        vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>2*n1+4*n2 && r<=3*n1+4*n2 %l7
        as=((X1-l7(r-(2*n1+4*n2)))^2+(Y1-lqh)^2);
        vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end
end

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
end

if r>3*n1+4*n2 && r<=3*n1+5*n2 %l8
    as=((X1-xqv3)^2+(Y1-l2(r-3*n1-4*n2))^2);
    vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>3*n1+5*n2 && r<=3*n1+6*n2 %l9
    as=((X1-xqv3)^2+(Y1-l3(r-3*n1-5*n2))^2);
    vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>3*n1+6*n2 && r<=4*n1+6*n2 %l10
    as=((X1-l10(r-3*n1-6*n2))^2+(Y1-lqd)^2);
    vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>4*n1+6*n2 && r<=4*n1+7*n2 %l11
    as=((X1-xqv4)^2+(Y1-l5(r-4*n1-6*n2))^2);
    vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>4*n1+7*n2 && r<=4*n1+8*n2 %l12
    as=((X1-xqv4)^2+(Y1-l6(r-4*n1-7*n2))^2);
    vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>4*n1+8*n2 && r<=5*n1+8*n2 %l13
    as=((X1-l13(r-(4*n1+8*n2)))^2+(Y1-lqh)^2);
    vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>5*n1+8*n2 && r<=5*n1+9*n2 %l14
    as=((X1-xqv5)^2+(Y1-l2(r-5*n1-8*n2))^2);
    vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>5*n1+9*n2 && r<=5*n1+10*n2 %l15
    as=((X1-xqv5)^2+(Y1-l3(r-5*n1-9*n2))^2);
    vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>5*n1+10*n2 && r<=6*n1+10*n2 %l16
    as=((X1-l16(r-5*n1-10*n2))^2+(Y1-lqd)^2);
    vp1=vp1+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

end
```



```

fprintf('el potencial es: %d',vp1);

%calculando el potencial en el espacio para X2,Y2

vp2=0;

for r=1:6*n1+10*n2

    if r<=n1 %l1
        as=((X2-l1(r))^2+(Y2-lqh)^2);
        vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>n1 && r<=n1+n2 %l2
        as=((X2-xqv1)^2+(Y2-l2(r-n1))^2);
        vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>n1+n2 && r<=n1+2*n2 %l3
        as=((X2-xqv1)^2+(Y2-l3(r-n1-n2))^2);
        vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end
    if r>n1+2*n2 && r<=2*n1+2*n2 %l4
        as=((X2-l4(r-n1-2*n2))^2+(Y2-lqd)^2);
        vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end
    if r>2*n1+2*n2 && r<=2*n1+3*n2 %l5
        as=((X2-xqv2)^2+(Y2-l5(r-2*n1-2*n2))^2);
        vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>2*n1+3*n2 && r<=2*n1+4*n2 %l6
        as=((X2-xqv2)^2+(Y2-l6(r-2*n1-3*n2))^2);
        vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end
    if r>2*n1+4*n2 && r<=3*n1+4*n2 %l7
        as=((X2-l7(r-(2*n1+4*n2)))^2+(Y2-lqh)^2);
        vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>3*n1+4*n2 && r<=3*n1+5*n2 %l8
        as=((X2-xqv3)^2+(Y2-l2(r-3*n1-4*n2))^2);
        vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
    end

    if r>3*n1+5*n2 && r<=3*n1+6*n2 %l9

```

Apéndice F. Estudio de Arcos Eléctricos

```
as=( (X2-xqv3)^2+(Y2-l3(r-3*n1-5*n2))^2);
vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>3*n1+6*n2 && r<=4*n1+6*n2 %l10
as=( (X2-l10(r-3*n1-6*n2))^2+(Y2-lqd)^2);
vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>4*n1+6*n2 && r<=4*n1+7*n2 %l11
as=( (X2-xqv4)^2+(Y2-l5(r-4*n1-6*n2))^2);
vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>4*n1+7*n2 && r<=4*n1+8*n2 %l12
as=( (X2-xqv4)^2+(Y2-l6(r-4*n1-7*n2))^2);
vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>4*n1+8*n2 && r<=5*n1+8*n2 %l13
as=( (X2-l13(r-(4*n1+8*n2)))^2+(Y2-lqh)^2);
vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>5*n1+8*n2 && r<=5*n1+9*n2 %l14
as=( (X2-xqv5)^2+(Y2-l2(r-5*n1-8*n2))^2);
vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>5*n1+9*n2 && r<=5*n1+10*n2 %l15
as=( (X2-xqv5)^2+(Y2-l3(r-5*n1-9*n2))^2);
vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

if r>5*n1+10*n2 && r<=6*n1+10*n2 %l16
as=( (X2-l16(r-5*n1-10*n2))^2+(Y2-lqd)^2);
vp2=vp2+q(r)*(1/(4*pi*e0*(sqrt(as))));
end

end

%calculo del gradiente

dg=(X1-X2)^2+(Y1-Y2)^2;
gr=(abs(vp1-vp2))/(sqrt(dg))/1000;

%despliego resultado del gradiente y y potencial

fprintf(' El potencial en el punto 1 es: %d',vp1 );
```

```
fprintf('    El potencial en el punto 2 es: %d', vp2);  
fprintf('    El gradiente en V/mm es: %d',gr);  
  
%colorbar('peer');
```

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Apéndice G

Hoja Técnica Voltímetro

Indicatore digitale di tensione o corrente alternata 4 moduli

Misura selezionabile di tensione
o corrente alternata
Ingresso tensione diretta 500(600)V
Ingresso corrente da TA esterno
/1A oppure /5A
Primario TA programmabile 5...8000A
(38 portate)
Misura in vero valore efficace
Versione con 2 allarmi programmabili

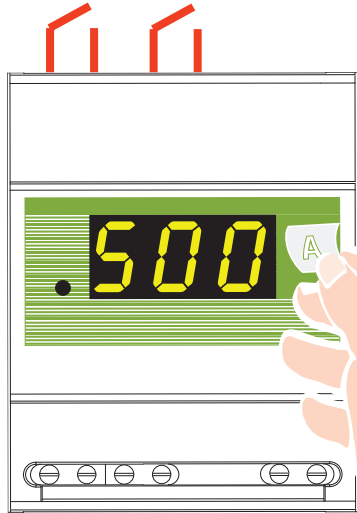
Alternating voltage or current digital meter 4 module

Alternating voltage or current
selectable measurements
Input voltage 500(600)V
Input current by external CT
/1A or /5A
Programmable primary CT 5...8000A
(38 ranges)
TRUE RMS value measurement
2 programmables alarms version

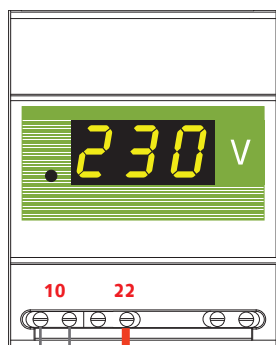
DGMG



Allarmi Alarms

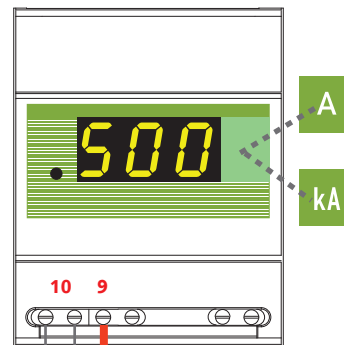

A
5.00...800
kA
1.00...8.00
V
500

Misura di Tensione Voltage measurement



oppure
or

Misura di Corrente Current measurement


A
kA

CODICE DI ORDINAZIONE ORDERING CODE	AL. AUSILIARIA AUX. SUPPLY		ALLARMI ALARMS	INGRESSO INPUT	
	ca / ac	cc / dc		CORRENTE CURRENT	TENSIONE VOLTAGE
DGMG01C1	24V	-	-	5A	500V
DGMG03C1	115V	-			
DGMG06C1	230V	-			
DGMG07C1	240V	-			
DGMG0HC1	48V	20...150V			
DGMG0LC1	-	150...250V	2	1A	500V
DGMG21C1	24V	-			
DGMG23C1	115V	-			
DGMG26C1	230V	-			
DGMG27C1	240V	-			
DGMG2HC1	48V	20...150V	-	1A	500V
DGMG2LC1	-	150...250V			
DGMG01C2	24V	-			
DGMG03C2	115V	-			
DGMG06C2	230V	-			
DGMG07C2	240V	-	2	1A	500V
DGMG0HC2	48V	20...150V			
DGMG0LC2	-	150...250V			
DGMG21C2	24V	-			
DGMG23C2	115V	-			
DGMG26C2	230V	-	-	1A	500V
DGMG27C2	240V	-			
DGMG2HC2	48V	20...150V			
DGMG2LC2	-	150...250V			

VISUALIZZAZIONE

Tipo display: LED verdi, 7 segmenti

Altezza cifre: 14mm

N° punti visualizzazione: 1.000 (3 cifre)

Indicazione massima: 999

Unità ingegneristica: A opp. kA opp. V (targa adesiva)

Punto decimale: automatico (vedi tabella)

Indicazione fuoriscala: accensione contemporanea 3 punti decimali

Fuoriscala: ingresso > 1,2In opp. 1,2Un

Risoluzione: vedi tabella

Precisione (riferita al fondo scala): ± 1%+1 digit

Aggiornamento lettura: 2,9s

DISPLAY

Tipe of display: 7 segments, green LED's

Digit height: 14mm

N° of display points: 1.000 (3 digit)

Maximum display: 999

Engineering unit: A or kA or V (adhesive label)

Decimal point: automatic (see table)

Overrange indication: simultaneous lighting of 3 decimal points

Overrange: input > 1,2In or 1,2Un

Resolution: see table

Accuracy (referred to full scale): ± 1%+1 digit

Display update: 2,9s

INGRESSO

TENSIONE

Inserzione: diretta

Tensione nominale Un: 500V

Campo di misura: 10...600V

Autoconsumo: ≤ 0,1VA

CORRENTE

Inserzione: da TA esterno /5A - /1A

Corrente nominale In: 5A – 1A

Campo di misura: 0,1...6A(In 5A) – 0,02...1,2A (In1A)

Autoconsumo: ≤ 0,6VA

Misura: vero valore efficace

Forma d'onda segnale di ingresso: onda simmetrica

Tipo: sinusoidale, sinusoidale distorta, parzializzata SCR, quadra

INPUT

VOLTAGE

Connection: direct

Rated voltage Un: 500V

Measuring range: 10...600V

Rated burden: ≤ 0,1VA

CURRENT

Connection: by external CT /5A - /1A

Rated current In: 5A – 1A

Measuring range: 0,1...6A(In 5A) – 0,02...1,2A (In1A)

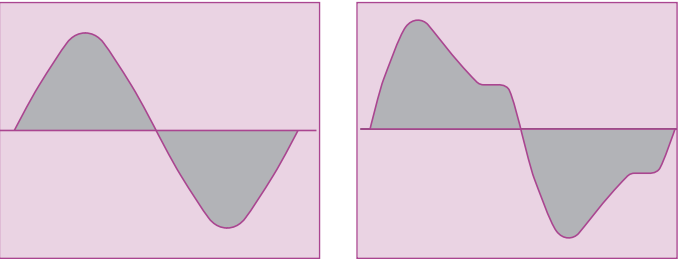
Rated burden: ≤ 0,6VA

Measure: true RMS value

Input signal waveform: symmetric wave

Type: sinusoidal, distorted sinusoidal, partialized SCR, square

ESEMPI



Frequenza nominale f_n : 50Hz
Frequenza di funzionamento: 47...420Hz
Sovraccarico permanente: 1,2In – 1,2Un
Sovraccarico istantaneo: 2In/5s

PROGRAMMAZIONE

Programmazione parametri: pulsanti accessibili dal frontale (diametro foro 3mm)
Memorizzazione parametri di configurazione: memoria permanente (senza batteria)

PARAMETRI PROGRAMMABILI

Primario TA esterno: 38 portate (vedi tabella)
ALLARMI (DGMG2): tipo, soglia, isteresi, ritardo, stato relè

Portata Range					
Visualizzazione Display					
Visualizzazione Display + 20%					
Portata Range	10A		15A		20A
Visualizzazione Display	9,99A		15,0A		20,0A
Visualizzazione Display + 20%	12,0A		18,0A		24,0A
Portata Range	100A	120A	150A	160A	200A
Visualizzazione Display	99,9A	120A	150A	160A	200A
Visualizzazione Display + 20%	120A	144A	180A	192A	240A
	1kA	1,2kA	1,5kA	1,6kA	2kA
Visualizzazione Display	1,00kA	1,20kA	1,50kA	1,60kA	2,00kA
Visualizzazione Display + 20%	1,20kA	1,44kA	1,80kA	1,92kA	2,40kA
Portata Range					
Visualizzazione Display					
Visualizzazione Display + 20%					

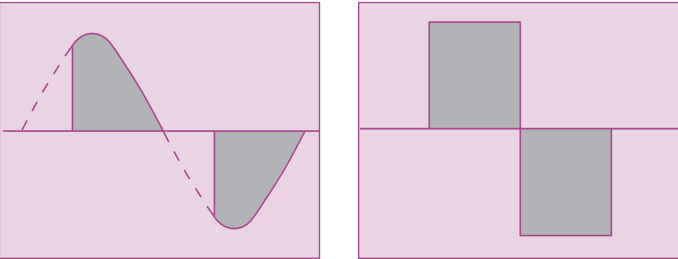
ALLARMI (DGMG2)

Allarmi programmabili: 2
Tipo: programmabile minima e/o massima
Soglia: programmabile 0...120% portata selezionata
Isteresi: programmabile 0...soglia selezionata
Ritardo: programmabile 1...60s
Precisione ritardo: ±10%
Tempo di ripristino: ≤ 500ms
Uscita: 2 relè con contatto SPDT, libero da potenziale
Stato relè: programmabile norm. eccitato o diseccitato
Portata contatti: 5A 250Vca – 0,5A 100Vcc
Precisione (riferita al fondo scala): ±1,5%
Segnalazione intervento allarmi: lampeggio dicitura “AL”

ALIMENTAZIONE AUSILIARIA

Valore nominale $U_{aux\ ca}$: 24 – 48 – 115 – 230 – 240V
Variazione ammessa: ±10% $U_{aux\ ca}$ – 40...60V (U_{aux} 48V)
Frequenza nominale: ± 50%Hz
Frequenza di funzionamento: 47...63Hz
Autoconsumo: ≤ 3,5VA
Valore nominale $U_{aux\ cc}$: 20...150Vcc – 150...250Vcc
Autoconsumo: ≤ 2,5W
Protezione contro l’inversione di polarità

EXAMPLES



Rated frequency f_n : 50Hz
Working frequency: 47...420Hz
Continuous overload: 1,2In – 1,2Un
Instantaneous overload: 2In/5s

PROGRAMMING

Parameters programming: front frame push buttons (hole diameter 3mm)
Hold of configuration parameters: non volatile memory (no battery)

PROGRAMMABLE PARAMETERS

External CT primary: 38 ranges (see table)
ALARMS (DGMG2): type, set-point, hysteresis, delay, relay state

			5A										
			5,00A										
			6,00A										
	25A	30A	40A	50A	60A	70A	75A	80A					
Visualizzazione Display	25,0A	30,0A	40,0A	50,0A	60,0A	70,0A	75,0A	80,0A					
Visualizzazione Display + 20%	30,0A	36,0A	48,0A	60,0A	72,0A	84,0A	92,0A	96,0A					
	250A	300A	400A	500A	600A	700A	750A	800A					
Visualizzazione Display	250A	300A	400A	500A	600A	700A	750A	800A					
Visualizzazione Display + 20%	300A	360A	480A	600A	720A	840A	920A	960A					
	2,5kA	3kA	4kA	5kA	6kA	7kA	7,5kA	8kA					
Visualizzazione Display	2,50kA	3,00kA	4,00kA	5,00kA	6,00kA	7,00kA	7,50kA	8,00kA					
Visualizzazione Display + 20%	3,00kA	3,60kA	4,80kA	6,00kA	7,20kA	8,40kA	9,20kA	9,60kA					
				500V									
Visualizzazione Display				500V									
Visualizzazione Display + 20%				600V									

ALARMS (DGMG2)

Programmables alarms: 2
Type: programmable min. and/or max.
Set-point: programmable 0...120% selected range
Hysteresis: programmable 0...set-point
Delay: programmable 1...60s
Delay accuracy: ±10%
Reset time: ≤ 500ms
Output: 2 relays with SPDT contacts, voltage free
Relay state: programmable norm. energised or de-energised
Contacts range: 5A 250Vac – 0,5A 100Vdc
Accuracy (referred to full scale): ±1,5%
Alarms intervention display: blinking message “AL”

AUXILIARY SUPPLY

Rated value $U_{aux\ ac}$: 24 – 48 – 115 – 230 – 240V
Tolerance: ±10% $U_{aux\ ca}$ – 40...60V (U_{aux} 48V)
Rated frequency: ± 50%Hz
Working frequency: 47...63Hz
Rated burden: ≤ 3,5VA
Rated value $U_{aux\ dc}$: 20...150Vdc – 150...250Vdc
Rated burden: ≤ 2,5W
Protected against incorrect polarity

ISOLAMENTO	(EN/IEC 61010-1)
Categoria di installazione: III	
Grado di inquinamento: 2	
Prova di tensione alternata 2,5kV valore efficace 50Hz/1 min	
Circuiti considerati: misura, alimentazione, uscita relè (DGMG2)	
Prova di tensione alternata 2,5kV valore efficace 50Hz/1 min	
Circuiti considerati: tutti i circuiti e massa	
Prova di tensione a impulso 5kV 1,2/50µs 0,5J	
Circuiti considerati: misura, alimentazione, uscita relè (DGMG2)	

COMPATIBILITA' Elettromagnetica

Prove di emissione in accordo con EN 55022 (cl.B)
Prove di immunità in accordo con EN/IEC 61326-1

CONDIZIONI Ambientali

Temperatura di riferimento: 23°C ±1°C
Temperatura di impiego: -5...55°C
Variazione indice di classe: ±0,03%/°C
Campo limite per l'immagazzinamento e trasporto: -40...70°C
Adatto all'utilizzo in clima tropicale
Massima potenza dissipata ¹ : ≤ 3,5W
¹ Per il dimensionamento termico dei quadri

CUSTODIA

Custodia: 4 moduli DIN43880
Conessioni: morsetti a vite
Montaggio: a incastro su profilato 35mm
Tipo profilato: a cappello TH35-15 (EN/IEC 60715)
Materiale custodia: policarbonato autoestinguente
Grado di protezione (EN/IEC 60529): IP50 frontale, IP20 morsetti
Peso: 270 grammi

INSULATION	(EN/IEC 61010-1)
Installation category: III	
Pollution degree: 2	
A.C. voltage test 2,5kV r.m.s. 50Hz/1 min	
Considered circuits: measure, supply, relay output (DGMG2)	
A.C. voltage test 2,5kV r.m.s. 50Hz/1 min	
Considered circuits: all circuits and earth	
Impulse voltage test 5kV 1,2/50µs 0,5J	
Considered circuits: measure, supply, relay output (DGMG2)	

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

Emission tests according to EN EN 55022 (cl.B)
Immunity tests according to EN/IEC 61326-1

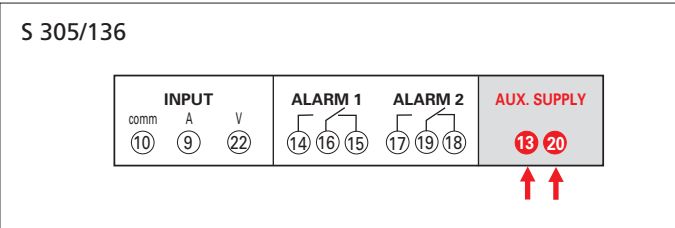
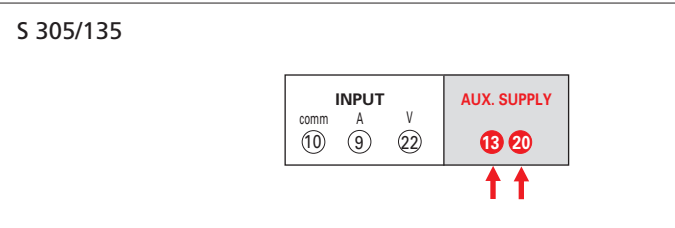
ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Reference temperature: 23°C ±1°C
Specified operating range: -5...55°C
Variation to the class index: ±0,03%/°C
Limit range for storage and transport: -40...70°C
Suitable for tropical climates
Max. power dissipation ¹ : ≤ 3,5W
¹ For switchboard thermal calculation

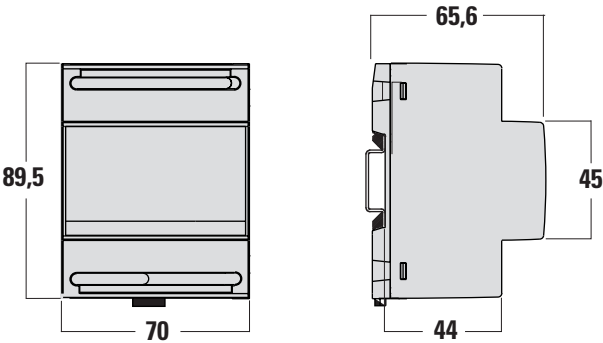
HOUSING

Housing: 4 module DIN43880
Connections: screw terminals
Mounting: snap-on 35mm rail
Rail type: top hat TH35-15 (EN/IEC 60715)
Housing material: self-extinguishing polycarbonate
Protection degree (EN/IEC 60529): IP50 front frame, IP20 terminals
Weight: 270 grams

SCHEMI D'INSERZIONE WIRING DIAGRAMS



DIMENSIONI DIMENSIONS



La I.M.E. S.p.A. si riserva in qualsiasi momento, di modificare le caratteristiche tecniche senza darne preavviso. / I.M.E. S.p.A. reserves the right, to modify the technical characteristics without notice.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Apéndice H

Disparo de protecciones ante una falla de cortocircuito

El objetivo de este apéndice es realizar el estudio de una posible falla de cortocircuito en el lado de Media Tensión de la fuente y estudiar el disparo de las protecciones.

En la figura H.1 se observa el circuito equivalente en caso de cortocircuito a tierra del lado de Media Tensión de la fuente.

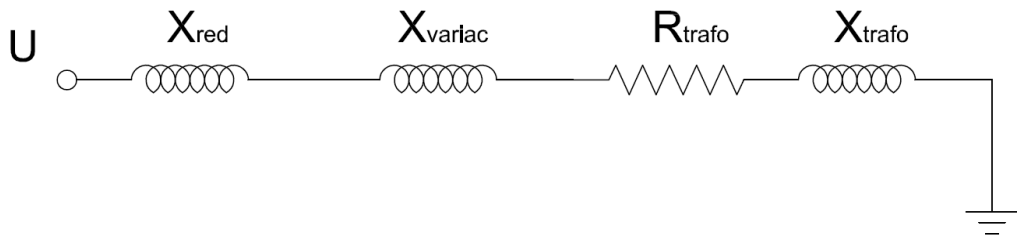


Figura H.1: *Circuito equivalente en caso de cortocircuito a tierra del lado de Media Tensión.*

Dentro del circuito equivalente se encuentran las siguientes impedancias:

- X_{red} : Impedancia de cortocircuito vista de la Red
- X_{variac} : Impedancia de cortocircuito del Variac
- $R_{trafo} + jX_{trafo}$: Impedancia de cortocircuito del transformador de ensayo

El cálculo fue reducido al lado de baja tensión, o sea al lado de la Red donde se tiene una tensión $U = 230V$.

Impedancia de la Red: Se utilizó la corriente de cortocircuito de apertura del interruptor general, $6kA$. Se estima que la impedancia de cortocircuito de la Red

Apéndice H. Disparo de protecciones ante una falla de cortocircuito

es puramente inductiva.

$$X_{red} = \frac{U}{I_{cc}} = \frac{230V}{6kA} = 0,03833\Omega \quad (H.1)$$

Impedancia de cortocircuito del Variac: Se estimó que la impedancia de cortocircuito del Variac esta en porcentaje de $u = 3\%$ para poder pasarlo a un valor con unidades en Ω . Se estima que la impedancia de cortocircuito del Variac es puramente inductiva. Los datos del Variac se encuentran en la sección 4.2.

$$X_{variatic} = \frac{U^2}{P_{variatic}} * u = \frac{230V^2}{5kVA} 0,03 = 0,03833\Omega \quad (H.2)$$

Impedancia de cortocircuito del transformador de ensayo: El valor de esta impedancia fue obtenido en los ensayos realizados en el Laboratorio de UTE. Los datos se encuentran en la sección 2.2.5.

$$Z_{trafo} = R_{trafo} + jX_{trafo} = (0,125 + j0,242)\Omega \quad (H.3)$$

Por lo tanto la corriente de falla máxima que puede aparecer ante un cortocircuito del lado de Media Tensión es:

$$I_{cc} = \frac{U}{R_{trafo} + j(X_{trafo} + X_{variatic} + X_{red})} \quad (H.4)$$

Calculando el valor absoluto de la corriente se obtiene:

$$|I_{cc}| = \frac{230}{|0,125 + j(0,598)|} = 376,5A \quad (H.5)$$

Con el valor de $I_{cc} = 376,5A$ se verifican las curvas de disparo de los elementos de protección. En nuestro caso se tiene el interruptor termomagnético general y el relé de sobrecorriente.

En la figura H.2 se observan las curvas de disparo de ambos elementos de protección. Para el caso del Interruptor ABB se tiene una $I_n = 10A$ y para el caso del Relé de sobrecorriente Chint se tiene una $I_e = 2,5A$.

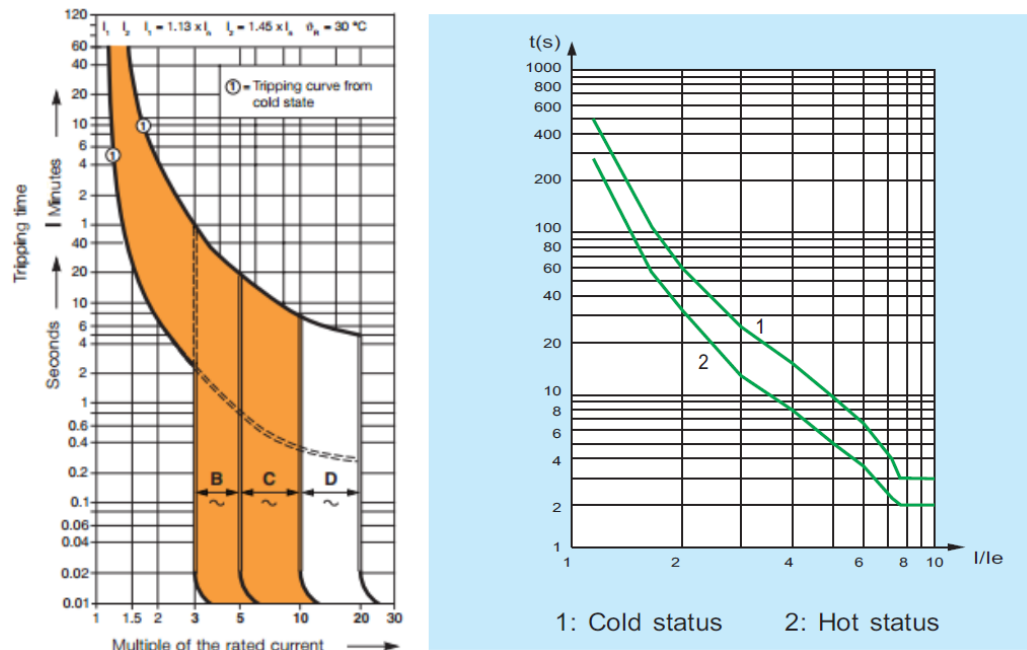


Figura H.2: Curvas de disparo de elementos de protección. Izq: Interruptor Termomagnético ABB, Der: Relé de sobrecorriente Chint.

En el interruptor termomagnético se tiene una relación $\frac{I_{cc}}{I_n} = 37,6$ y para el Relé de sobrecorriente $\frac{I_{cc}}{I_e} = 150,6$.

Por lo tanto podemos afirmar que el disparo de las protecciones sera inmediato protegiendo la integridad de las personas y los equipos.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Apéndice I

Incertidumbres asociadas a ensayos

Las incertidumbres asociadas a la medida de tensión del ensayo se analizan a continuación.

Consideramos un 1 % de incertidumbre asociado a la relación del divisor resistivo para una tensión aplicada de 14 kV debido a la incertidumbre de calibración del mismo.

El instrumento de medida de tensión del ensayo descrito es un Voltímetro IME True RMS, G con las siguientes características:

- Resolución = 1 V
- Exactitud = $\pm(1\% + 1dig)$

La incertidumbre relacionada con la resolución tiene una distribución rectangular centrada entre $-0,5V$ y $0,5V$, y una lectura del voltímetro durante el ensayo de $14V$, por lo tanto tenemos una incertidumbre de 3,6 %.

En cuanto a la exactitud se tiene una distribución rectangular con una incertidumbre de $\pm(1\% + 7,2\%)$, en este caso es 8,2 %.

Entonces en cuanto a la incertidumbre relacionada a la medida de tensión a aplicar en el ensayo se obtiene la siguiente ecuación:

$$\mu(\%) = \sqrt{(1)^2 + \left(\frac{3,6}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{8,2}{\sqrt{3}}\right)^2} = 5,3\% \quad (I.1)$$

Este valor de incertidumbre se obtiene con un factor $k=1$, si se busca tener un $k=2$ (95 %) la incertidumbre aumenta a $u(V\%) = 10,6\%$.

Es recomendable cambiar el voltímetro de medida de tensión por uno con mejor resolución y exactitud.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.

Índice de figuras

1.1. Esquema de distribución y conexión de los equipos	2
2.1. Circuito de transformador de ensayo de una etapa. E: Bobinado de excitación, H: Bobinado de alta tensión, F: Núcleo de hierro . . .	4
2.2. Transformador de ensayo en cascada de 3 etapas. E: Bobinado excitación, H: Bobinado de alta tensión, K: Bobinado de acoplamiento. . .	5
2.3. Corte transversal de transformador de prueba con aislación de resina. 1: Bobinado de Alta Tensión, 2: Bobinado de baja tensión, 3: Nucleo de hierro, 4: Base, 5: Terminal de alta tensión, 6: Aislación. . .	6
2.4. Transformador de prueba con aislación de aceite. 1: Bobinado de Alta Tensión, 2: Bobinado de baja tensión, 3: Núcleo de hierro, 4: Base, 5: Terminal de alta tensión, 6: Bushing, 7: Tanque de metal, 8: Capa aislante.	7
2.5. Transformador en cascada de 2 etapas con núcleo de hierro común en el potencial medio. (E1,E2): Bobinados de excitación, (H1,H2): Bobinados de alta tensión, (K1,K2): Bobinados de acoplamiento, F: Núcleo de hierro.	8
2.6. Funcionamiento de trabajo de transformadores de ensayo.a) Diagrama del circuito; b) Circuito equivalente; c)Diagrama de fases . .	9
2.7. Transformador de Ensayo a utilizar	11
2.8. Imagen del transformador de ensayo luego de ser realizado el mantenimiento	12
2.9. Imagen del núcleo del Transformador de Ensayo. A) Terminal de Alta Tensión; B) Terminal de Alta Tensión a conectar a Tierra; C) Terminales bobinado de Baja Tensión; D)Núcleo de hierro	13
2.10. Esquema de distribución de devanados.	13
2.11. Aisladores de media tensión de porcelana.	14
2.12. Espinterómetro del transformador de ensayo	15
2.13. Campo eléctrico (V/cm) en la región interelectródica con 1 cm de separación.	16
2.14. Campo eléctrico (V/cm) en la región interelectródica con 7 cm de separación.	16
2.15. Circuito equivalente del transformador reducido al primario. . . .	18
2.16. Curva de puntos relevados, ensayo de vacío.	19
2.17. Inspección o pruebas en componentes principales.	22

Índice de figuras

2.18. Actividades a realizar periódicamente	23
3.1. Circuito equivalente de un divisor de tensión con parámetros distribuidos	26
3.2. Circuito equivalente de un Divisor de Tensión Resistivo. . $R = nR'$; $L = nL'$; $C_e = nC_e'$; $C_p = C_p'/n$; $R_2 = R'$; $L_2 = L'$; $R_1 = (n - 1)R'$	27
3.3. Circuito armado para el ensayo del instrumento de medida en baja tensión.	31
3.4. Lectura del amperímetro con 200V aplicados en bornes del amperímetro.	31
3.5. Esquema de conexión de la resistencia a incorporar al instrumento de medida.	32
3.6. Gráfico del comportamiento de un varistor de óxido de zinc en azul y de carburo de silicio en rojo. La curva indica corriente (A) en función de tensión (V).	33
3.7. Tubo de acrílico de 2000mm de largo por 100mm de diámetro a utilizar en la construcción del divisor.	36
3.8. Tapas del divisor construidas en nylon con o-ring de goma sintética para evitar fugas de aceite.	36
3.9. Listón de acrílico que oficia de soporte a las resistencias que conforman el divisor.	36
3.10. Producto finalizado y lleno de aceite dieléctrico.	37
3.11. Medidas entre resistencias y largo del segmento del conductor horizontal 1cm, largo de las resistencias 0.9cm, largo del segmento vertical del conductor 1.8cm	42
3.12. En base al área de mayor riesgo se toma el área que se modela en la construcción del software	43
3.13. Segmento del conductor con las cargas en el medio y puntos de contorno ubicados para aplicar las condiciones de borde	44
3.14. Segmento del divisor modelado ubicado en el sistema cartesiano X,Y que muestra los puntos de prueba con sus respectivas coordenadas	47
3.15. Tabla de comparación de valores que el programa calcula con los valores esperados, el número de puntos corresponde con los números de los puntos de la Figura 3.14	47
3.16. Líneas equipotenciales en torno al segmento del divisor modelado, la barra de la derecha muestra los niveles de potencial en kV. Según el color de la línea es el valor del potencial en ese punto del espacio	48
3.17. Circuito equivalente común que representa aproximadamente el circuito de parámetros distribuidos con $L = C_p = 0$. $C_E = (2/3)C_e$ para igual respuesta en tiempo, ecuación 3.33. $C_E = (0,44)C_e$ para igual ancho de banda, ecuación 3.34.	50
3.18. Comparación de la respuesta al escalón unidad con igual tiempo de respuesta. (1) para el circuito equivalente de la figura 3.1 con $L = C_p = 0$ en la ecuación 3.32. (2) Para el circuito equivalente de la figura 3.2 con $C_E = (2/3)C_e$	50

3.19. Respuesta a un escalón unitario calculado para los divisores resistivos. Circuito equivalente según la Figura 3.2.	52
3.20. Disposición de equipos para ensayo en frecuencias.	52
3.21. Ensayo del divisor resistivo ante una tensión alterna a diferentes frecuencias.	53
3.22. Respuesta del divisor resistivo ante una entrada de onda cuadrada a frecuencia 50Hz.	54
3.23. Zoom a entrada de onda cuadrada.	54
3.24. Entrada y salida del divisor ante una onda cuadrada.	55
3.25. Salida del divisor con una onda cuadrada.	55
3.26. Respuesta escalón de la transferencia aproximada.	56
3.27. Transferencia de segundo orden aproximada del divisor resistivo.	56
3.28. Diagrama de bode de la transferencia hallada.	57
3.29. Transformador de relación 100V/6000V utilizado para el ensayo del divisor en Mantenimiento Especializado SRL.	58
3.30. Multimedidor Kewtech KT200 utilizado para el ensayo del divisor en Mantenimiento Especializado SRL.	59
3.31. Tabla con los resultados del ensayo realizado al divisor en Mantenimiento Especializado SRL.	59
3.32. Multimedidor Fluke 87 V de verdadero valor eficaz utilizado para el ensayo del divisor en Urutransfor SA.	60
3.33. Momento previo a la realización del ensayo al divisor resistivo en Urutransfor SA.	61
3.34. Tabla con los resultados del ensayo realizado al divisor en Urutransfor SA.	61
3.35. Incertidumbre asociada a cada medida del ensayo en Urutransfor SA.	62
3.36. Rango de relación de transformación del divisor de tensión según datos obtenidos del ensayo en Urutransfor SA.	63
3.37. Circuito equivalente del divisor resistivo.	64
3.38. Microamperímetro de corriente continua utilizado.	65
3.39. Cálculos realizados a partir de datos relevados.	67
3.40. Gráfico de $\alpha\Delta T$ en función de la tensión (V) de entrada y aplicada sobre R1.	68
3.41. Gráfico de R1 en función de la tensión (V) de entrada del divisor y aplicada en R1.	68
3.42. Tabla de valores de αR_{σ} a partir de R1 hallado y la ecuación 3.42.	69
3.43. Tabla de valores de relación de división del divisor resistivo en función de la tensión aplicada.	70
3.44. Tabla de valores de relación de división del divisor resistivo en función de la tensión aplicada.	71
4.1. Circuito equivalente del Variac.	73
4.2. Vista frontal del Variac.	74
4.3. Regulador de tensión de salida.	74
4.4. Escobilla de carbono, punto de contacto del borne de tensión de salida.	75

Índice de figuras

5.1. Representación esquemática del circuito básico de un ensayo en alta tensión. 1) Circuito de alimentación con la unidad de regulación y maniobra; 2) Unidades de control y seguridad; 3) Circuito de alta tensión con el transformador de ensayo, equipo de medición y objeto de ensayo	77
5.2. Lista de componentes principales del Tablero de Control	80
5.3. Esquema unifilar del circuito de potencia y circuito de control . . .	80
5.4. Vista del panel y vista interna del Tablero de Control	82
6.1. Vista del lugar asignado para el desarrollo del proyecto	85
6.2. Vista frontal de la distribución esquemática de equipos que conforman la fuente de media tensión.	86
6.3. Vista superior de la distribución esquemática de equipos que conforman la fuente de media tensión.	86
6.4. Vista frontal de la distribución final de equipos que conforman la fuente de media tensión.	87
6.5. Vista lateral de la distribución final de equipos que conforman la fuente de media tensión.	88
6.6. Vista frontal de la reja metálica a construir para el vallado del stand destinado a las prácticas de laboratorio.	89
6.7. Vista del lateral izquierdo de la reja metálica a construir para el vallado del stand destinado a las prácticas de laboratorio.	89
6.8. Vista del lateral derecho de la reja metálica a construir para el vallado del stand destinado a las prácticas de laboratorio.	90
6.9. Vista superior de la reja metálica a construir para el vallado del stand destinado a las prácticas de laboratorio.	91
7.1. Representación esquemática de la puesta a tierra del Taller, la misma está fuera de escala.	94
8.1. Distancias mínimas de seguridad según tensión entre fases.	98
8.2. Cartel Disco "NO DAR TENSIÓN"	103
8.3. Cartel CUIDADO HAY TENSIÓN"	104
9.1. Modelo de calzado de seguridad con suela aislante.	108
9.2. Modelo de calzado de seguridad con suela aislante.	110
H.1. Circuito equivalente en caso de cortocircuito a tierra del lado de Media Tensión.	175
H.2. Curvas de disparo de elementos de protección. Izq: Interruptor Termomagnético ABB, Der: Relé de sobrecorriente Chint.	177

Esta es la última página.
Compilado el miércoles 15 marzo, 2017.
<http://iie.fing.edu.uy/>