



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Tesis previa a la obtención del título de:
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
DISEÑO DEL MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS PARA EL
LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL**

**AUTORES:
ANDRÉS ALFREDO AGUIRRE ALONSO
JEFFERSON JOSÉ VILLAVICENCIO VERA**

**TUTOR:
ING. ROY SANTANA**

GUAYAQUIL, MARZO 2015

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros Andrés Alfredo Aguirre Alonso y Jefferson José Villavicencio Vera autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaramos que los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Andrés Alfredo Aguirre Alonso
CI.0923191464

Jefferson José Villavicencio Vera
CI.0921973269

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto tan importante de mi carrera, a mis padres y hermanas por su apoyo incondicional y por ser el pilar fundamental durante todo el transcurso de mi educación y a mi esposa por siempre impulsarme a lograr mis objetivos y por estar a mi lado en cada momento de mi vida.

Andrés Alfredo Aguirre Alonso

Dedico este trabajo a Dios por ser principal responsable que nos encontremos en esta etapa culminando nuestra carrera, a mi abuelita Petra Sánchez por ser una de las personas más influyentes en mi vida y a pesar de que está en el cielo tengo la certeza que me sigue cuidando y apoyando, a mis padres y hermana por el apoyo y comprensión, a mi esposa y a mi hija que se han convertido en una fuente de fortaleza incondicional para mi vida.

Jefferson José Villavicencio Vera

AGRADECIMIENTO

Agradezco siempre a Dios por haberme guiado durante mi Educación y por darme paciencia y perseverancia para culminar mis estudios.

A mis padres y mis hermanas por ser testigos de mi esfuerzo y dedicación durante todos estos años.

A mi esposa Lía Callejas por ser mi mejor amiga y ser siempre la persona que me ha dado fuerzas para continuar.

Agradezco a todas las personas que han contribuido a este logro durante toda la mi carrera universitaria y al desarrollo del proyecto final.

Andrés Alfredo Aguirre Alonso

Agradezco a Dios por habernos guiado hasta esta etapa en la cual estamos culminando nuestra carrera, por habernos permitido sortear todos los problemas, inconvenientes, malos ratos y por darnos la fortaleza para seguir adelante a pesar de todo.

Agradecimiento a mis padres y hermana por el apoyo pero sobre todo por la confianza que depositaron en mí, ya que a pesar de las adversidades siempre confiaron que cumpliría esta meta.

Gracias a mi esposa Diana y a mi hija Emel por ser la motivación fundamental para concluir con mi carrera.

Agradezco a mis maestros por todos los conocimientos que compartieron a lo largo de mi vida estudiantil entre ellos el Ing. Xavier Fierro, Ing. Juan C. Zambrano, Ing. Otto Astudillo, Ing. Orly Guzmán.

Un agradecimiento especial al Ing. Ervin Solano, Ing. Roy Santana, Ing. Pablo Salvatierra y al Ing. Teddy Negrete por su ayuda para lograr cumplir con este trabajo.

Jefferson José Villavicencio Vera

INDICE GENERAL

| | |
|--|-----|
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD | II |
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTO | IV |
| INDICE GENERAL | V |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | X |
| ÍNDICE DE TABLAS | XIV |
| RESUMEN..... | XV |
| ABSTRACT | XVI |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 3 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.1 Tema..... | 3 |
| 1.2 Formulación del Problema | 3 |
| 1.3 Objetivos | 3 |
| 1.3.1 Objetivo General | 3 |
| 1.3.2 Objetivo Específicos | 3 |
| 1.4 Justificación..... | 4 |
| 1.5 Metodología | 4 |
| CAPITULO II..... | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 Conceptos Básicos | 6 |
| 2.1.1 Voltaje o tensión eléctrica..... | 6 |
| 2.1.2 Corriente eléctrica..... | 7 |

| | | |
|----------------------------------|---|-----------|
| 2.1.3 | Conductor..... | 8 |
| 2.1.4 | Aislador | 9 |
| 2.1.5 | Resistencia eléctrica..... | 10 |
| 2.1.6 | Capacitor o condensador eléctrico | 11 |
| 2.1.7 | Diodo rectificador | 14 |
| 2.1.8 | Circuito rectificador de media onda..... | 14 |
| 2.1.9 | Circuito rectificador de onda completa | 14 |
| 2.1.10 | Espinterómetro | 15 |
| 2.1.11 | Pértiga | 16 |
| 2.1.12 | Jaula de Faraday | 17 |
| 2.1.13 | Sistema de puesta a tierra..... | 18 |
| 2.1.14 | Transformador..... | 19 |
| 2.2 | Leyes eléctricas fundamentales..... | 22 |
| 2.2.1 | Ley de Ohm | 22 |
| 2.2.2 | Leyes de Kirchoff | 23 |
| 2.3 | Fundamentos de pruebas de alta tensión..... | 25 |
| 2.3.1 | Generación de voltaje alterno en alta tensión..... | 25 |
| 2.3.2 | Generación de Alto Voltaje directo..... | 26 |
| 2.3.3 | Voltajes de impulso | 27 |
| 2.4 | Normas eléctricas usadas | 28 |
| CAPÍTULO III | | 29 |
| DESARROLLO PRÁCTICO | | 29 |
| 3.1 | Práctica I - Reconocimiento del área y equipos de trabajo, medidas de seguridad para el uso del laboratorio de Alta Tensión. | 30 |
| 3.1.1 | Datos informativos..... | 30 |
| 3.1.2 | Datos de la práctica..... | 30 |
| 3.1.3 | Marco teórico..... | 31 |
| 3.1.4 | Marco procedimental..... | 32 |
| 3.1.5 | Recursos utilizados..... | 48 |
| 3.1.6 | Registro de resultados | 49 |
| 3.1.7 | Conclusiones | 49 |
| 3.1.8 | Recomendaciones | 49 |
| 3.1.9 | Anexos..... | 50 |
| 3.2 | Práctica II- Prueba de capacitores en el laboratorio de Alta Tensión | 51 |
| 3.2.1 | Datos informativos..... | 51 |
| 3.2.2 | Datos de la Práctica..... | 51 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.3 | Marco teórico..... | 52 |
| 3.2.4 | Marco procedimental..... | 55 |
| 3.2.5 | Recursos utilizados..... | 57 |
| 3.2.6 | Registro de resultados | 58 |
| 3.2.7 | Conclusiones | 60 |
| 3.2.8 | Recomendaciones | 61 |
| 3.2.9 | Anexos..... | 61 |
| 3.3 | Práctica III - Generación y Medición de Voltaje Alterno | 62 |
| 3.3.1 | Datos informativos..... | 62 |
| 3.3.2 | Datos de la práctica..... | 62 |
| 3.3.3 | Marco teórico..... | 63 |
| 3.3.4 | Marco procedimental..... | 64 |
| 3.3.5 | Recursos utilizados..... | 65 |
| 3.3.6 | Registro de resultados | 66 |
| 3.3.7 | Conclusiones | 69 |
| 3.3.8 | Recomendaciones | 70 |
| 3.3.9 | Anexos..... | 70 |
| 3.4 | Práctica IV- Generación y medición de voltaje directo I..... | 71 |
| 3.4.1 | Datos informativos..... | 71 |
| 3.4.2 | Datos de la práctica..... | 71 |
| 3.4.3 | Marco teórico..... | 72 |
| 3.4.4 | Marco procedimental..... | 72 |
| 3.4.5 | Recursos utilizados..... | 74 |
| 3.4.6 | Registro de resultados | 76 |
| 3.4.7 | Conclusiones | 79 |
| 3.4.8 | Recomendaciones | 79 |
| 3.4.9 | Anexos..... | 79 |
| 3.5 | Práctica V - Generación y Medición de voltaje directo II | 81 |
| 3.5.1 | Datos informativos..... | 81 |
| 3.5.2 | Datos de la Práctica..... | 81 |
| 3.5.3 | Marco Teórico | 82 |
| 3.5.4 | Marco procedimental..... | 84 |
| 3.5.5 | Recursos utilizados..... | 85 |
| 3.5.6 | Registro de resultados | 86 |
| 3.5.7 | Conclusiones | 88 |
| 3.5.8 | Recomendaciones | 88 |
| 3.5.9 | Anexos..... | 88 |
| 3.6 | Práctica VI - Generación y medición de voltajes de impulso I..... | 89 |

| | | |
|-------|---|------------|
| 3.6.1 | Datos informativos | 89 |
| 3.6.2 | Datos de la práctica | 89 |
| 3.6.3 | Marco teórico | 89 |
| | En esta práctica se estudiará los diferentes tipos de circuitos generadores de impulso, para esto debemos conocer de antemano que es un impulso. | 89 |
| 3.6.4 | Marco procedimental | 90 |
| 3.6.5 | Recursos utilizados | 92 |
| 3.6.6 | Registro de resultados | 94 |
| 3.6.7 | Conclusiones | 94 |
| 3.6.8 | Recomendaciones | 94 |
| 3.6.9 | Anexos | 95 |
| 3.7 | Práctica VII - Generación y medición de voltajes de impulso II | 96 |
| 3.7.1 | Datos informativos | 96 |
| 3.7.2 | Datos de la práctica | 96 |
| 3.7.3 | Marco teórico | 96 |
| 3.7.4 | Marco procedimental: | 97 |
| 3.7.5 | Recursos utilizados | 98 |
| 3.7.6 | Registro de resultados | 100 |
| 3.7.7 | Conclusiones | 101 |
| 3.7.8 | Recomendaciones | 101 |
| 3.7.9 | Anexos | 101 |
| 3.8 | Práctica VIII - Pruebas sobre transformadores de potencia | 102 |
| 3.8.1 | Datos informativos | 102 |
| 3.8.2 | Datos de la práctica | 102 |
| 3.8.3 | Marco teórico | 103 |
| 3.8.4 | Marco procedimental | 104 |
| 3.8.5 | Recursos utilizados | 108 |
| 3.8.6 | Registro de resultados | 111 |
| 3.8.7 | Conclusiones | 114 |
| 3.8.8 | Recomendaciones | 114 |
| 3.8.9 | Anexos | 115 |
| | CAPITULO IV | 117 |
| | ANÁLISIS MATEMÁTICO | 117 |
| | CAPÍTULO V | 128 |
| | MODELADO Y SIMULACIÓN | 128 |

| | |
|-------------------|-----|
| CAPÍTULO VI..... | 136 |
| CONCLUSIONES..... | 136 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 138 |
| ANEXO A | 141 |
| ANEXO B..... | 159 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Dos objetos cargados | 7 |
| Ilustración 2. El objeto cargado positivamente atrae a los electrones..... | 7 |
| Ilustración 3. Una fuente de energía proporciona suministro continuo de electrones . | 8 |
| Ilustración 4. Electrones “libres” moviéndose a través del conductor..... | 9 |
| Ilustración 5. Símbolo utilizado para representar resistencias eléctricas. | 11 |
| Ilustración 6. Condensador simple..... | 12 |
| Ilustración 7. Carga de un condensador. | 12 |
| Ilustración 8. Condensador como fuente de energía. | 13 |
| Ilustración 9. Espinterómetro de esferas | 15 |
| Ilustración 10. Pértiga aislante | 17 |
| Ilustración 11. Jaula de seguridad del laboratorio de Alta Tensión | 17 |
| Ilustración 12. Conexión a tierra mediante red mallada bajo suelo técnico | 19 |
| Ilustración 13. Transformador: Devanados arrollados sobre núcleo magnético..... | 20 |
| Ilustración 14. Empilado magnético formado por muchas chapas | 21 |
| Ilustración 15. Símbolos utilizados para identificar los transformadores monofásicos | 21 |
| Ilustración 16. Símbolos utilizados para representar los transformadores trifásicos . | 22 |
| Ilustración 17. Esquema de una red eléctrica..... | 24 |
| Ilustración 18. Ejemplo del sentido de las corrientes al aplicar ley de mallas..... | 24 |
| Ilustración 19. Transformadores en cascada | 25 |
| Ilustración 20. Curva característica de impulso tipo rayo..... | 27 |
| Ilustración 21. Curva característica del impulso tipo maniobra..... | 28 |
| Ilustración 22. Jaula de Faraday del laboratorio | 31 |
| Ilustración 23. Escritorio de Control..... | 32 |
| Ilustración 24. Transformador de Prueba..... | 33 |
| Ilustración 25. Medidor de Voltaje Alterno | 34 |
| Ilustración 26. Medidor de Voltaje Directo | 34 |
| Ilustración 27. Medidor de Voltaje de Impulso | 35 |
| Ilustración 28. Divisor de Bajo Voltaje..... | 35 |
| Ilustración 29. Capacitor de impulso | 36 |
| Ilustración 30. Capacitor de carga..... | 36 |
| Ilustración 31. Capacitor para Medición..... | 37 |
| Ilustración 32. Barra aislante | 37 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 33. Rectificador de Silicio..... | 37 |
| Ilustración 34. Resistencia de Carga | 38 |
| Ilustración 35. Resistencia de frente de onda..... | 38 |
| Ilustración 36. Resistencia de cola de onda | 38 |
| Ilustración 37. Espinterómetro de esferas | 39 |
| Ilustración 38. Timonel del Espinterómetro | 39 |
| Ilustración 39. Resistencia para medición..... | 40 |
| Ilustración 40. Interruptor a tierra | 40 |
| Ilustración 41. Electrodo Corona | 40 |
| Ilustración 42. Pértiga de descarga..... | 41 |
| Ilustración 43. Copa conectora de aluminio..... | 41 |
| Ilustración 44. Base pedestal de piso de aluminio | 42 |
| Ilustración 45. Barra conectora de aluminio | 42 |
| Ilustración 46. Tubo conector de aluminio | 43 |
| Ilustración 47. Vasija de vacío y presión con sus accesorios..... | 43 |
| Ilustración 48. Espinterómetro para medición y sus accesorios | 44 |
| Ilustración 49. Copa para pruebas de aceite aislante..... | 44 |
| Ilustración 50. Barra conectora de aluminio para piso..... | 45 |
| Ilustración 51. Reglas de Oro para el trabajo eléctrico | 46 |
| Ilustración 52. Panel de control..... | 46 |
| Ilustración 53. Medidas de seguridad del laboratorio | 50 |
| Ilustración 54. Capacitor | 52 |
| Ilustración 55. Capacitor de impulso del laboratorio HV9112 | 52 |
| Ilustración 56. Circuito RC con fuente DC..... | 53 |
| Ilustración 57. Circuito RC en dominio de la frecuencia..... | 54 |
| Ilustración 58. Circuito RC para la prueba del capacitor | 55 |
| Ilustración 59. Gráfica de descarga del capacitor | 59 |
| Ilustración 60. Circuito armado..... | 61 |
| Ilustración 61. Panel de control..... | 61 |
| Ilustración 62. Voltaje alterno, onda senoidal..... | 63 |
| Ilustración 63. Circuito para Generación y Medición de Voltaje AC..... | 64 |
| Ilustración 64. Circuito Armado | 70 |
| Ilustración 65. Forma de onda del voltaje AC observada en el osciloscopio | 70 |
| Ilustración 66. Voltaje continuo | 72 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 67. Circuito para generación y medición de Voltajes DC..... | 73 |
| Ilustración 68. Circuito para generación y medición de voltajes DC y factor de rizado | 74 |
| Ilustración 69. Gráfica Vdc vs. Urms. Circuito rectificador simple sin carga ($R=\infty\Omega$) | 76 |
| Ilustración 70. Gráfica Ig vs. Vríz, Circuito rectificador simple sin carga ($R=\infty\Omega$) | 77 |
| Ilustración 71. Gráfica Vdc vs Urms. Circuito rectificador con carga ($R=10M\Omega$).... | 78 |
| Ilustración 72. Gráfica Ig vs Vríz. Circuito rectificador simple con carga ($R=10M\Omega$) | 78 |
| Ilustración 73. Circuito rectificador simple sin resistencia de carga ($R=\infty\Omega$)..... | 79 |
| Ilustración 74. Circuito rectificador simple con resistencia de carga ($R=10M\Omega$) | 80 |
| Ilustración 75. Circuito duplicador de Tensión de Greinacher | 82 |
| Ilustración 76. Circuito duplicador de Tensión de Greinacher, semiciclo negativo. .. | 82 |
| Ilustración 77. Circuito duplicador de Tensión de Greinacher, semiciclo positivo ... | 83 |
| Ilustración 78. Simulación en NI MULTISIM™ del circuito doblador de tensión .. | 83 |
| Ilustración 79. Circuito duplicador de tensión de Greinacher, punta positiva..... | 84 |
| Ilustración 80. Gráfica Vdc vs. S, Punta en ánodo | 87 |
| Ilustración 81. Gráfica Vdc vs. S, Punta en cátodo..... | 88 |
| Ilustración 82. Forma de onda normalizada 1.2/50us | 90 |
| Ilustración 83. Circuito Generador de Impulsos de Tensión..... | 91 |
| Ilustración 84. Voltaje de Impulso visto desde osciloscopio | 95 |
| Ilustración 85. Circuito generador de impulsos de tensión | 97 |
| Ilustración 86. Transformador de distribución de 50KVA para poste | 103 |
| Ilustración 87. Polaridad Aditiva de un transformador | 104 |
| Ilustración 88. Polaridad Substractiva de un transformador | 105 |
| Ilustración 89. Circuito Generador de Voltaje AC para prueba de aceite aislante. . | 105 |
| Ilustración 90. Circuito Generador de impulsos para transformadores trifásicos.... | 107 |
| Ilustración 91. Circuito Generador de impulsos para transformadores monofásicos | 108 |
| Ilustración 92. Voltaje resultante medida por el voltímetro en la prueba de polaridad. | 115 |
| Ilustración 93. Voltaje de baja tensión en prueba de circuito abierto | 115 |
| Ilustración 94. Corriente de corto circuito devanado de baja tensión | 116 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 95. Circuito de impulso armado para probar el transformador..... | 116 |
| Ilustración 96. Circuitos básicos para un Generador de Impulsos..... | 118 |
| Ilustración 97. Circuito básico del Generador de Impulsos de una etapa..... | 118 |
| Ilustración 98. Circuito equivalente en dominio de la frecuencia..... | 119 |
| Ilustración 99. Circuito de frente de onda..... | 124 |
| Ilustración 100. Circuito de cola de onda..... | 125 |
| Ilustración 101. Forma de onda plena de impulso normalizado tipo maniobra..... | 126 |
| Ilustración 102. Forma de onda plena de impulso normalizado tipo rayo..... | 127 |
| Ilustración 103. Pantalla del menú principal..... | 128 |
| Ilustración 104. Ventana de "acerca de..."..... | 129 |
| Ilustración 105. Circuitos generadores de impulso de tensión..... | 129 |
| Ilustración 106. Ilustración 105. Circuito A: Gráfica y eficiencia..... | 130 |
| Ilustración 107. Circuito B: Gráfica y eficiencia..... | 130 |
| Ilustración 108. Circuito generador de impulsos ventana principal..... | 131 |
| Ilustración 109. Gráfica Simulada..... | 132 |
| Ilustración 110. Gráfica Experimental..... | 132 |
| Ilustración 111. Botón comparar en ejecución..... | 133 |
| Ilustración 112. Ventana de diseño..... | 134 |
| Ilustración 113. Selección e ingreso de datos..... | 134 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Rigidez dieléctrica de materiales aislantes comunes. | 10 |
| Tabla 2. Medición de resistencia de elementos y equipos | 49 |
| Tabla 3. Descarga del capacitor, datos obtenidos en práctica..... | 58 |
| Tabla 4. Descarga del capacitor constantes de tiempo..... | 60 |
| Tabla 5. Prueba AC, Esfera- Esfera | 66 |
| Tabla 6. Prueba AC, Plato- Plato | 67 |
| Tabla 7. Prueba AC, Punta- Punta | 68 |
| Tabla 8. Valores de voltaje ac y dc en alta tensión. CRS sin carga ($R=\infty\Omega$)..... | 76 |
| Tabla 9. Valores de voltaje y corriente rectificada. CRS sin carga ($R=\infty\Omega$)..... | 77 |
| Tabla 10. Valores de voltaje ac y dc en alta tensión. CRS con carga ($R=10M\Omega$)..... | 77 |
| Tabla 11. Valores de voltaje y corriente rectificada. CRS con carga ($R=10M\Omega$)..... | 78 |
| Tabla 12. Prueba con punta en ánodo | 86 |
| Tabla 13. Prueba con punta en cátodo | 87 |
| Tabla 14. Impulsos de tensión generados sin carga | 94 |
| Tabla 15. Impulsos de tensión soportados por el aislador de baja tensión en condiciones normales | 100 |
| Tabla 16. Impulsos de tensión soportados por el aislador de media tensión (25KV) tipo pin de porcelana en condiciones normales..... | 101 |
| Tabla 17. Informe sobre pruebas al transformador | 111 |

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar un manual de procedimientos de prácticas para la asignatura “Alta Tensión 1” de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, las mismas que son presentadas con objetivos claros, ajustadas a la realidad del laboratorio y acordes al pensum de la malla nacional. Adjunto a esto se entrega el modelado matemático de una de las prácticas simulado en una interfaz gráfica en MATLAB®. Para la cual escogimos la prueba de generación y medición de voltaje impulso I ya que es una de las prácticas que reúne características de las pruebas anteriores siendo la más completa y con una aplicación muy real en la materia. Se espera que este trabajo sea de utilidad para los estudiantes que cursan la materia Alta Tensión 1 proporcionándoles una base teórica-práctica.

Palabras Clave: Generador de voltajes de impulso, impulso tipo rayo, impulso tipo maniobra, MATLAB®.

ABSTRACT

The present work have as objective to design a procedure manual of practices for the “Alta Tensión 1” subject in the Politécnica Salesiana University headquarter in Guayaquil, the same which are presented with clear objectives, adjusted to the lab reality and based in the national curriculum. Attached to this, it is given a mathematical model of one of the practices simulated in a graphic interface in MATLAB®. For which we choose the measurement and generation of impulse voltage test I being that is one of the practices that collect the characteristics of previous tests and a more realistic application in the subject. It is expected for this work to be useful for the students coursing Alta Tensión 1 subject giving them a practical- theoretical base.

Keywords: Impulse voltage generator, lightning impulse, switching impulse, MATLAB®.

INTRODUCCIÓN

Un manual de prácticas diseñado adecuadamente a la realidad del laboratorio es indispensable para asegurar el aprovechamiento máximo de los recursos de la universidad y que los estudiantes de Alta Tensión 1 puedan experimentar sobre bases teóricas y su posterior verificación comparativa. Al brindarle una guía estructurada, con objetivos claros y resultados esperados incrementa el poder de análisis de los estudiantes y se puede sacar máximo provecho al laboratorio.

La función principal del laboratorio de Alta Tensión es brindar a los estudiantes esa puesta en práctica de las teorías vistas previamente en el salón de clases, con el objetivo de que tenga una base teórica-práctica sólida para que en lo posterior se vea reflejado en los diversos campos a desarrollar.

Por lo expuesto anteriormente se decide realizar un manual de prácticas para la materia Alta Tensión 1 que consiste en ocho prácticas alineadas a la asignatura debido a que actualmente el manual del fabricante con el que se realizan las prácticas no tiene definido claramente los objetivos, no se ajusta a la realidad del laboratorio y está en un idioma extranjero, además se propuso un modelado matemático y simulación de una de las prácticas el cual muestra gráficamente datos experimentalmente adquiridos, datos simulados, comparación de ambas gráficas y diseño.

Para este estudio se decide desarrollar esta tesis, detallada en seis capítulos

Capítulo I: Se plantea el problema hallado, se define un Objetivo general el cual será la guía de nuestro trabajo y objetivos específicos que, uno a uno, complementa nuestra investigación, y las hipótesis generadas a partir de esta tesis.

Capítulo II: Marco Teórico, conceptos y teorías que se utilizan para generar conocimiento previo del lector, el mismo que nos facilita el entendimiento del desarrollo práctico a seguir.

Capítulo III: Desarrollo Práctico, el cual contiene las ocho prácticas propuestas, los procedimientos de las mismas, equipos, y toda la información necesaria de cada práctica.

Capítulo IV: Análisis Matemático, se realiza la explicación completa del proceso para la obtención de una ecuación que será la base para el siguiente capítulo.

Capítulo V: Modelado y Simulación, se detalla cual es el proceso del modelado y cómo se maneja la simulación del análisis previo

Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones, se especifica el resultado final de la tesis y se detallan recomendaciones necesarias para el uso del laboratorio y de sus equipos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Tema

DISEÑO DEL MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL.

1.2 Formulación del Problema

El laboratorio de Alta Tensión actualmente no cuenta con un manual de prácticas propio, este se maneja con el manual del fabricante, lo cual no permite desarrollar las prácticas de una manera óptima debido a que no contamos con todos los elementos allí descritos, no existe claridad en los objetivos de cada práctica y además está escrito en inglés dificultando el entendimiento del mismo al relacionarlo con la teoría, es por esto que nos planteamos la siguiente pregunta:

¿De qué manera se puede optimizar el tiempo y los recursos de la Universidad Politécnica Salesiana en el desarrollo de prácticas de la materia Alta Tensión 1?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un manual de procedimiento de prácticas para el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil haciendo uso de los equipos disponibles en el laboratorio con la finalidad de que el estudiante de Ingeniería Eléctrica obtenga una base teórico-práctica sólida en la materia de Alta Tensión 1.

1.3.2 Objetivo Específicos

- 1.3.2.1 Realizar el levantamiento eléctrico de los equipos del laboratorio y la verificación de operatividad de los mismos.
- 1.3.2.2 Plantear ocho prácticas de laboratorio las cuales están acorde al pensum académico de la materia.
- 1.3.2.3 Implementar las prácticas con los equipos del laboratorio y comprobar con los datos obtenidos en el análisis teórico.

- 1.3.2.4 Elaborar un manual de procedimientos de prácticas que conste de procedimientos de seguridad para el uso de laboratorio, parte teórica, datos adquiridos en experimentación, comparación de datos y conclusión.
- 1.3.2.5 Producir un formato de reporte post- práctica con la cual los estudiantes adquirirán el hábito de realizar un informe luego de cualquier trabajo práctico que realicen.
- 1.3.2.6 Realizar el modelado matemático de la práctica de Generación de Voltajes de Impulso ya que es una de las prácticas con mayor aplicación en este campo.
- 1.3.2.7 Comprobar que los resultados del modelado matemático tenga relación con la práctica planteada.

1.4 Justificación

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad proporcionar un manual de procedimientos de prácticas para el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil para que se haga uso del mismo por parte de los docentes que imparten la materia Alta Tensión 1 permitiendo el aprendizaje teórico- práctico de los alumnos de Ingeniería Eléctrica, a su vez sacar provecho de los equipos ya existentes en el laboratorio, con los cuales se verificarán y compararán datos de casos analizados en su teoría y práctica. Con la elaboración de este manual de procedimientos de prácticas del laboratorio se plantearan prácticas asociadas al pensum académico de la materia con referencia a la malla nacional presentando un modelo estandarizado tanto del procedimiento de prácticas como del reporte post práctica proporcionando de esta manera resultados cualitativos y cuantitativos.

1.5 Metodología

Para el desarrollo de este proyecto usaremos el método científico ya que su proceso es el adecuado para poder llevar a cabo las prácticas y es el más usado en el campo de la ingeniería.

Este método consta de los siguientes pasos:

Observación: Percibir con nuestros sentidos los fenómenos de la naturaleza y relacionarlos con los que ocurren dentro del laboratorio de Alta Tensión.

Hipótesis: Elaborar una explicación de los fenómenos observados en el paso anterior.

Experimentación: Realizar prácticas que corroboren o descarten la hipótesis antes planteada.

Conclusión: Analizar lo observado y lo hecho en las prácticas y compararlo, generar una teoría que explique lo ocurrido.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos Básicos

2.1.1 Voltaje o tensión eléctrica

La electricidad estática es energía eléctrica en reposo. Aunque esta forma de electricidad puede ser muy útil, no puede poner en funcionamiento a cargas como lámparas, calentadores, motores y otros dispositivos. Esto lo realiza la electricidad dinámica o activa.

La electricidad dinámica implica la transferencia de energía de una fuente a una carga. Esto se realiza con el movimiento de los electrones a lo largo de un circuito. La fuerza electromotriz es la energía que impulsa a los electrones en un circuito. Esta fuerza, abreviada *fem*, se mide en una unidad llamada voltio. Por esta razón, con frecuencia se le denomina *voltaje* o diferencia de potencial representada con la letra [V]. Cuando usted escuche el término voltaje, sabrá que ésta es la fuerza que mueve a los electrones en un circuito.

La unidad básica del voltaje es el voltio denotado con la letra (V), nombre dado en honor a Alejandro Volta, profesor italiano que vivió de 1745 a 1798. La mayor parte de los equipos eléctricos y electrónicos domésticos funcionan aproximadamente a 120 V alternos. Una pila seca para linterna común produce 1.5 V continuos; una batería de automóvil produce 12 V directos.

En un circuito, esta energía la proporciona una fuente que puede ser una pila seca, una batería o un generador. Los electrones no se agotan cuando se mueven a lo largo de un circuito. Por lo tanto, el número de electrones que regresa a la terminal positiva (+) de una fuente de energía es igual al número de electrones que abandona la terminal negativa (-) de la fuente de energía

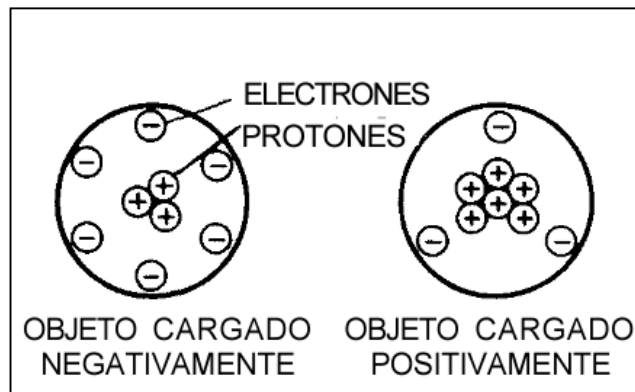
(Buban & Marshall L., 1983)

2.1.2 Corriente eléctrica

Cuando los electrones fluyen a través de la carga, su energía cambia a alguna otra forma de energía. Así es como los electrones en movimiento pueden emplearse para transferir energía de una fuente a una carga.

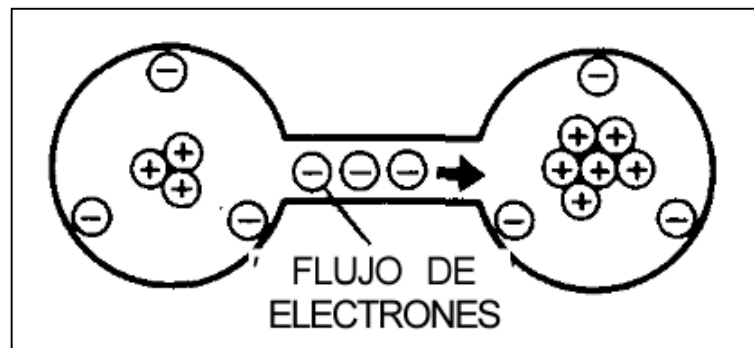
Puesto que los electrones son partículas cargadas negativas, son atraídos por cargas positivas y repelidos por cargas negativas. Si dos objetos cargados se conectan por medio de un material conductor como un alambre, una corriente de electrones fluirá del objeto negativo al positivo. Para conducir una corriente eléctrica continua en un alambre, la energía debe suministrarse continuamente por medio de una pila o una batería. En cambio para producir una corriente eléctrica alterna, es decir que varíe su magnitud y dirección con respecto al tiempo se le debe suministrar voltaje alterno por medio de un alternador o generador de corriente alterna.

Ilustración 1. Dos objetos cargados



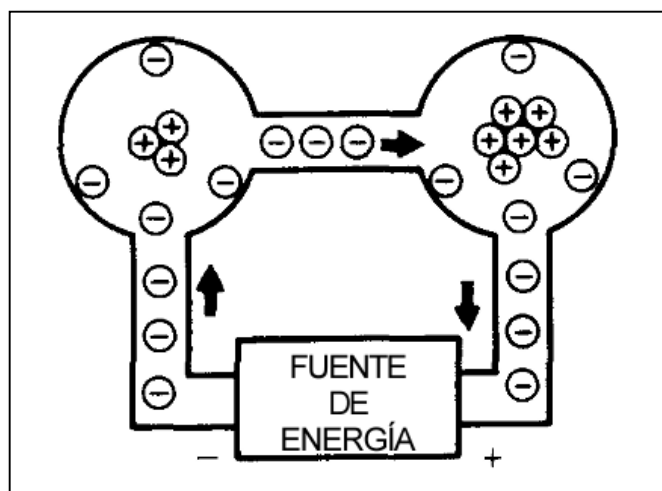
(Buban & Marshall L., 1983)

Ilustración 2. El objeto cargado positivamente atrae a los electrones



(Buban & Marshall L., 1983)

Ilustración 3. Una fuente de energía proporciona suministro continuo de electrones



(Buban & Marshall L., 1983)

La unidad básica de la corriente es el amperio denotado por la letra (A), nombre dado en honor a André Marie Ampere, físico matemático francés que vivió de 1775 a 1836. Un Amperio de corriente equivale al movimiento de 6.28×10^{18} electrones que pasan por un punto dado en un circuito en un segundo de tiempo. Un foco de 100 vatios de potencia requiere alrededor de 0.8 amperios de corriente para funcionar. El símbolo literal para la corriente es [I].

(Buban & Marshall L., 1983)

2.1.3 Conductor

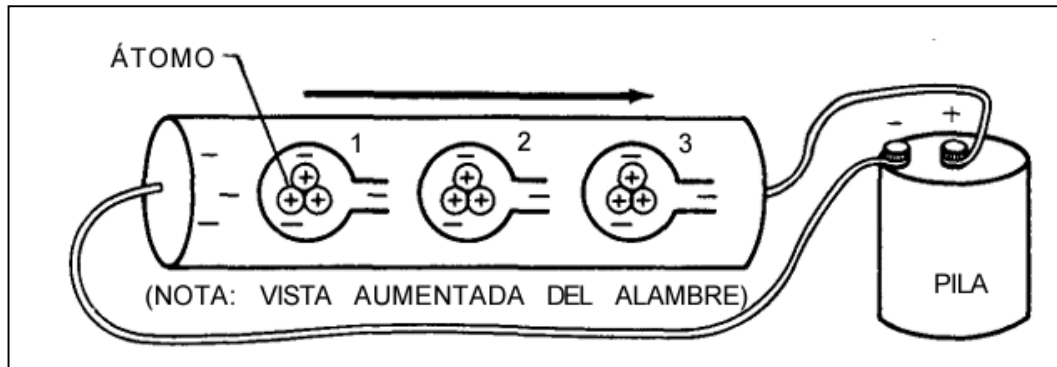
Un conductor es una sustancia en la que los electrones de las capas atómicas más externas están muy débilmente ligados al núcleo, de manera que pueden moverse libremente. (Martinez, 2003, pág. 35)

En estos materiales, los electrones de valencia, es decir los del nivel superior, pueden separarse sin dificultad de los átomos padres, al aplicar la fuerza del voltaje. Dicho de otra manera, un conductor es un material que tiene muchos electrones libres.

La plata, el cobre y el aluminio son tres buenos conductores eléctricos. De hecho, los metales por lo general son buenos conductores. Ciertos gases, bajo condiciones especiales, pueden usarse también como conductores.

Por ejemplo, el gas neón, el gas argón, el vapor de mercurio y el vapor de sodio se usan en lámparas. (Buban & Marshall L., 1983)

Ilustración 4. Electrones “libres” moviéndose a través del conductor



(Buban & Marshall L., 1983)

2.1.4 Aislador

Un aislador eléctrico es un material que no conduce fácilmente una corriente eléctrica. Estos materiales contienen electrones de valencia que están fuertemente ligados al núcleo de sus átomos. Como consecuencia, se requiere un voltaje muy intenso para producir en ellos un número significativo de electrones libres. Estos materiales también se denominan no conductores o dieléctricos.

El vidrio, porcelana, mica, hule, plástico, papel y madera son aisladores comunes. Estos materiales se emplean para aislar eléctricamente a los conductores, de manera que las corrientes que transportan circulen en las trayectorias convenientes.

No existe una separación total entre los conductores y los aisladores. Todos los materiales aislantes conducirán corriente eléctrica si se les aplica un voltaje lo suficientemente alto. Por ejemplo, se cree que el aire es muy buen aislador. Sin embargo durante una tormenta, los enormes voltajes generados entre las nubes y la tierra provocan que el aire conduzca corriente en forma de relámpago.

La capacidad de un material para aislar se conoce como su rigidez dieléctrica. La rigidez dieléctrica de varios aisladores se muestra en la tabla a continuación:

(Buban & Marshall L., 1983)

Tabla 1. Rigidez dieléctrica de materiales aislantes comunes.

| Material | Rigidez dieléctrica Voltaje de ruptura en voltios por 0.001 pulgadas |
|-------------------------------------|--|
| Mica | 3500-5000 |
| Teflón | 1000-2000 |
| Polietileno | 500-700 |
| Fórmica | 450 |
| Madera | 125-750 |
| Baquelita | 300 |
| Vidrio | 200-250 |
| Papel grueso (Esmaltado) | 150 |
| Aire | 75 |
| Porcelana | 50-100 |

(Buban & Marshall L., 1983)

2.1.5 Resistencia eléctrica

Cuando los electrones fluyen por un conductor, chocan con otros electrones y con otras partículas atómicas. Estos choques tienden a reducir el número de electrones que fluyen a través del conductor. La oposición a la corriente que resulta de los choques electrónicos dentro de un conductor se denomina resistencia.

(Buban & Marshall L., 1983)

Al aplicarle una diferencia de potencial [V] entre los extremos de un trozo de material conductor, como puede ser un alambre metálico, se produce una corriente eléctrica [I]. La cantidad de corriente que circula por el conductor, para una diferencia de potencial dada, depende de las propiedades del material y de su geometría.

Se define la resistencia eléctrica [R], de un material como la relación entre a diferencia de potencial aplicado y a corriente que circula por él:

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

La resistencia eléctrica es una medida de la oposición que ejerce un trozo de material al flujo de carga a través de él. En los materiales con mayor resistencia, una misma diferencia de potencial produce un flujo de cargas menor que en los materiales de menor resistencia. La unidad de resistencia en el sistema internacional es el ohmio (Ω) que es igual a la resistencia de un material por la que circula una corriente de un amperio (A) cuando la diferencia de potencial es un voltio (V):

$$\Omega = \frac{V}{A}$$

(Martínez, 2003)

Con el nombre de resistencia también se conoce a un elemento que comúnmente forma parte de un circuito eléctrico. Consiste en una pieza de un material óhmico que tenga una resistencia eléctrica significativa. En los circuitos se suele representar mediante una línea en zigzag.

Ilustración 5. Símbolo utilizado para representar resistencias eléctricas.



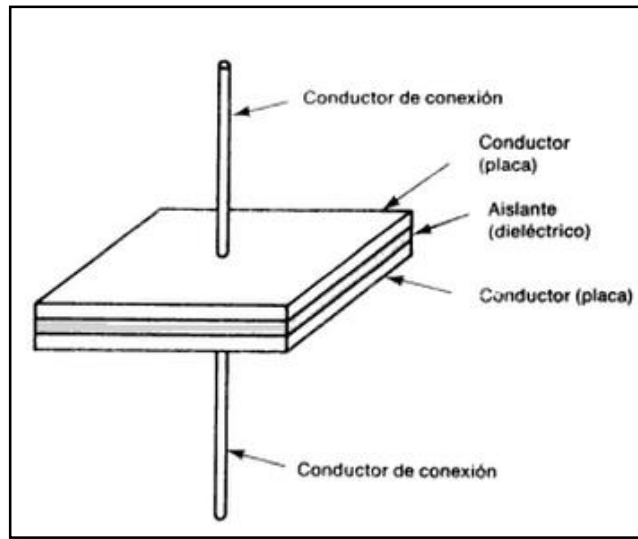
(Física y Química. Jesús Ruiz Martínez)

2.1.6 Capacitor o condensador eléctrico

La facultad de almacenar energía en forma de carga eléctrica se llama capacidad. Un dispositivo físico designado para poseer capacidad recibe el nombre de condensador. En su forma más simple un condensador no es más que dos conductores separados por un aislante.

(Fowler, 1994)

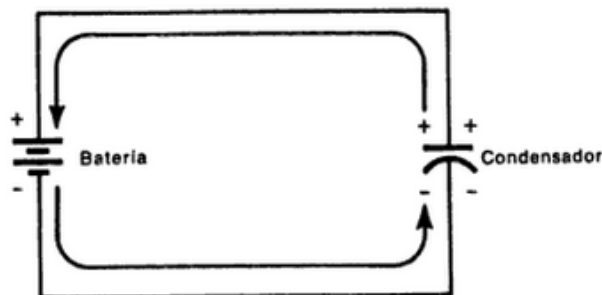
Ilustración 6. Condensador simple.



(Electricidad principios y aplicaciones. Richard J. Fowler)

Un condensador almacena energía cuando se obliga a una carga eléctrica a ir a las placas, por cierta fuente de energía, tal como una batería. Cuando se conecta una batería al condensador, circula una corriente directa hasta que el condensador quede cargado (Ilustración 7). Los electrones del terminal negativo de la batería se mueven a través de los conductores de conexión acumulándose en una de las placas. En el mismo instante, electrones de la otra placa se mueven, a través de los cables de conexión, hacia el terminal positivo de la batería. El resultado total es que una placa del condensador termina con un exceso de electrones (carga negativa). La otra placa termina con una deficiencia de electrones (carga positiva). Adviértase que en el proceso de carga del condensador no se mueven electrones desde una placa, a través del dieléctrico, a la otra placa. Finalmente, cuando el condensador está cargado se detiene la corriente, y el condensador se comporta como un interruptor abierto.

Ilustración 7. Carga de un condensador.



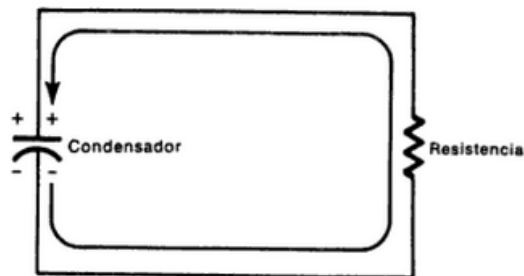
(Electricidad principios y aplicaciones. Richard J. Fowler)

A causa de los voltajes opuestos la corriente se detiene una vez que el condensador está cargado. Las cargas opuestas de las placas del condensador crean una nueva fuente de energía. La energía almacenada en el condensador produce un voltaje igual al de la batería (la fuente de energía original). Ya que el voltaje del condensador es igual, pero en oposición, al de la batería, existe un estado de equilibrio. No puede circular corriente en ningún sentido.

Un condensador cargado puede desconectarse de la fuente original de energía y usarlo como nueva fuente de energía. Si se conecta un voltímetro al condensador se registra un voltaje. Si se conecta una resistencia al condensador (Ilustración 8), circulará corriente por la resistencia. Sin embargo, un condensador tiene limitado su uso como fuente primaria de energía por dos razones:

1. Por su peso y tamaño, la cantidad de energía que puede almacenar es pequeña comparada con una batería.
2. El voltaje obtenido del condensador disminuye rápidamente cuando se saca energía del condensador.

Ilustración 8. Condensador como fuente de energía.



(Electricidad principios y aplicaciones. Richard J. Fowler)

En un circuito de corriente continua, un condensador actúa como un circuito abierto después de su carga inicial. En circuitos de corriente alterna, los condensadores periódicamente almacenan y retoman energía. En otras palabras, se cargan y descargan al variar el voltaje de la fuente de corriente alterna.

Aunque la cantidad de energía almacenada en un condensador es pequeña, un condensador puede producir una descarga eléctrica. Esta puede ser muy grave (incluso fatal) si el condensador es grande y cargado a voltaje elevado. Hay que tratar a los condensadores como se haría con otras fuentes de energía eléctrica.

La unidad básica de capacidad es el faradio. La abreviatura de faradio es (F). Un faradio es la capacidad capaz de almacenar un coulomb (C) de carga cuando se aplica al condensador un voltio. Dicho de otro modo, el faradio es el coulomb por voltio (C/V).

(Fowler, 1994)

2.1.7 Diodo rectificador

El diodo rectificador común de estado sólido se hace de silicio y opera actuando como compuerta, la cual permite que la corriente fluya en un solo sentido pero no en el otro. Dependiendo de la polarización del voltaje aplicado en un diodo fluirá o no corriente.

(Buban & Marshall L., 1983)

2.1.8 Circuito rectificador de media onda

Cuando un diodo se conecta a una fuente de voltaje alterno, alternativamente se polariza directa o inversamente durante cada ciclo. Por tanto, cuando se usa sólo un diodo en un circuito rectificador, la corriente circula a través de la carga del circuito únicamente durante un semiciclo del voltaje de entrada, existiendo por lo tanto una rectificación de onda positiva o de onda negativa dependiendo del sentido del diodo. Por esta razón, el circuito se denomina rectificador de media onda.

(Buban & Marshall L., 1983)

2.1.9 Circuito rectificador de onda completa

Un circuito rectificador de onda completa rectifica el ciclo completo de un voltaje alterno aplicado. El circuito rectificador de onda completa básico utiliza dos diodos, siempre y cuando el secundario del transformador del cual se están alimentando los diodos tenga un terminal central. Los diodos pueden ser unidades individuales o estar ambos en un solo paquete.

Los rectificadores de onda completa presentan un voltaje de salida más alisado que los rectificadores de media onda, mucho mejor si se tiene un filtro a la salida. Ello se debe a que el primero produce un pulso de voltaje en la salida del circuito durante

cada semiciclo del voltaje aplicado. Después del filtrado realizado por un capacitor la corriente de carga puede ser totalmente lisa.

(Buban & Marshall L., 1983)

2.1.10 Espinterómetro

En el campo de las altas tensiones a frecuencia industrial, a impulso y a corriente continua se recurre al voltímetro de esferas, explosor a esferas o espinterómetro.

Se define como espinterómetro un dispositivo construido por dos esferas de igual diámetro en aire, sostenidas por partes metálicas, con eje vertical u horizontal, ajustables de manera de poder igualar con facilidad la distancia entre esferas.

(Torresi, 2004)

Ilustración 9. Espinterómetro de esferas



(Thesaurus de colecciones científicas en lengua portuguesa, 2015)

Significa un dispositivo de descarga, cerrado, que tiene los electrodos fríos y utilizados para descargar una cantidad de energía eléctrica en un pequeño intervalo de tiempo.

(Oficina Española de patentes y marcas, 1999, pág. 78)

La medición de tensión, obtenida por medio de estos aparatos está referida al valor de cresta y a la distancia entre esferas normalmente definidas como distancia explosiva. En general se conecta una de las esferas del explosor con el circuito de tierra, en modo directo, mientras que la parte metálica de la otra esfera se conecta al conductor proveniente del circuito de prueba.

El procedimiento usual es establecer, para un circuito particular de prueba, la relación entre la tensión de pico determinada por la distancia entre las esferas y la lectura de un voltímetro colocado en el circuito primario o en la entrada de la fuente de alta tensión.

(Torresi, 2004)

2.1.11 Pértiga

Las pértigas suelen estar formadas por tubos de fibra de vidrio con resinas epoxi y las herramientas que se acoplan a sus extremos, deben estar diseñadas específicamente para realizar este tipo de trabajos.

(Moncayo, 2012)

Las pértigas son muy utilizadas en las instalaciones de media tensión. Por una parte se emplean como instrumentos de trabajo y por otra como elementos de seguridad. En este último caso se denominan pértigas de salvamento, y consisten en un gancho con el que se puede tirar de una persona que se ha quedado pegada a una instalación en tensión. Si eso ocurre no se la debe sujetar para separarla, dado que quien lo haga puede a su vez quedarse electrocutado al igual que la persona a la que pretende salvar.

En las instalaciones con uso de pértigas, sean de maniobra o de salvamento, debe prestarse especial atención a su limpieza: *una película de humedad o de suciedad conductora* por su superficie puede convertirse en un camino por el que se cierre un arco eléctrico que puede sobrellevar a una electrocución a la persona que la está maniobrando.

(Edo, 2011)

Ilustración 10. Pértiga aislante



(EEPAT, 2015)

2.1.12 Jaula de Faraday

Consiste simplemente en rodear la zona de trabajo de elementos metálicos, grandes conductores de la electricidad, de tal forma que todo individuo trabaje siempre como si estuviera situado en el interior de un conductor.

(Vázquez)

Una jaula de Faraday es un alojamiento cerrado que impide la entrada y salida de campos eléctricos. Su construcción consiste en una tela o malla de alambre, o en una forma sólida de metal no magnético, interrumpido en forma tal que no exista una trayectoria completa para el pase de corriente. El concepto de la jaula de Faraday se utiliza para proteger componentes y tablillas de circuitos contra descarga electrostática.

Las jaulas de Faraday se emplean en experimentación y pruebas, para proteger de descargas eléctricas, ya que en su interior el campo eléctrico es nulo.

(Gibilisco & Sclater , 1994)

Ilustración 11. Jaula de seguridad del laboratorio de Alta Tensión



(TERCO)

2.1.13 Sistema de puesta a tierra

Es el conjunto formado por electrodos y líneas de tierra de una instalación eléctrica.

Las instalaciones de puesta a tierra estarán constituidas por uno o varios electrodos y por las líneas de tierra que conecten dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra.

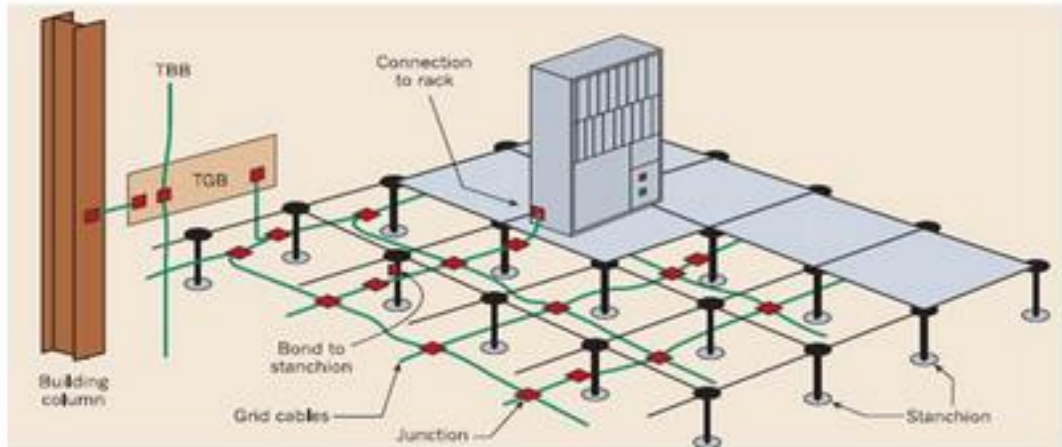
La función de la puesta a tierra (p.a.t.) de una instalación eléctrica es la de forzar la derivación, al terreno, de las intensidades de corriente, de cualquier naturaleza que se puedan originar, ya se trate de corrientes de defecto, bajo frecuencia industrial, o debidas a descargas atmosféricas, de carácter impulsional.

Con ello, se logra:

- Limitar la diferencia de potencial que, en un momento dado, puede presentarse entre estructuras metálicas y tierra.
- Posibilitar la detección de defectos a tierra y asegurar la actuación y coordinación de las protecciones, eliminando o disminuyendo, así, el riesgo que supone una avería para el material utilizado y las personas.
- Limitar las sobretensiones internas (de maniobra, transitorias y temporales) que puedan aparecer en la red eléctrica, en determinadas condiciones de explotación.
- Evitar que las tensiones de frente escarpado que originan las descargas de los rayos provoquen “cebados inversos “, en el caso de instalaciones de exterior, particularmente, en líneas aéreas.
- La circulación de las intensidades mencionadas por la instalación de puesta a tierra puede originar la aparición de diferencias de potencial entre ciertos puntos, por ejemplo entre la instalación de p.a.t. y el terreno que la rodea o entre dos puntos del mismo, por cuya razón debe concebirse la instalación de puesta a tierra para que, incluso con la aparición de las diferencias de potencial aludidas se cubran los siguientes objetivos:
 - Seguridad de personas
 - Protección de las instalaciones
 - Mejora la calidad de servicio
 - Establecimiento y permanencia de un potencial de referencia.

Debe hacerse especial énfasis en que la seguridad de las personas es lo que verdaderamente preocupa y se constituye en el fin primordial de la instalación de puesta a tierra, lo que no significa que se deje de reconocer la importancia de los otros tres objetivos.

Ilustración 12. Conexión a tierra mediante red mallada bajo suelo técnico



(Bizkaina, 2015)

2.1.14 Transformador

Un transformador es una máquina eléctrica estática que transforma la energía eléctrica recibida en otra energía eléctrica de características distintas, bien sea de tensión, intensidad, etc.

El transformador es uno de los equipos eléctricos más útiles de los utilizados en la electricidad, puede aumentar o disminuir la tensión, puede aislar un circuito de otro. El transformador se utiliza, la mayoría de las veces, para reducir la tensión de alimentación de la entrada a valores más bajos y así poder manipular los circuitos con menores riesgos para los usuarios. El devanado primario es el que recibe la energía y el devanado secundario es el que la proporciona. Un transformador, al ser una máquina estática, no tiene pérdidas mecánicas y por tanto puede alcanzar rendimientos del 98%.

Las únicas pérdidas son en el hierro (chapa magnética) y en el cobre (conductores de los devanados). Estas pérdidas producen caídas de tensión que modifican ligeramente la relación de transformación. Las aplicaciones de los transformadores son

innumerables. Se utilizan en cuadros de mando y control, equipos de soldadura, alumbrado de piscinas, equipos médicos, ignición de calderas, en general en todos aquellos dispositivos que precisan adaptar las tensiones normalizadas que suministran las compañías eléctricas a las precisadas por los dispositivos.

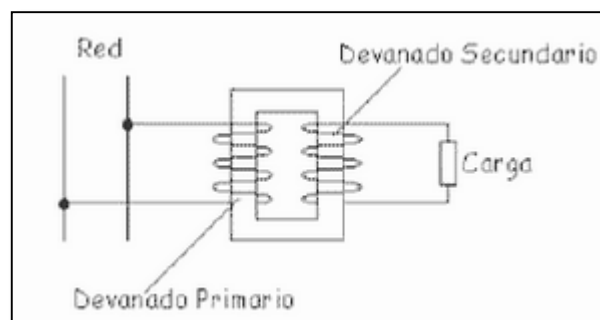
El transformador está constituido por dos circuitos principales:

- Circuito eléctrico
 - Devanado primario
 - Devanado secundario
- Circuito magnético
 - Chapa magnética

El transformador está constituido por dos devanados, uno denominado primario y otro secundario.

El devanado primario está compuesto por una bobina de hilo esmaltado de cobre o aluminio que se arrolla en un carrete de plástico o cartón en la chapa magnética. En un transformador el devanado primario es el que se conecta a la red alterna, independientemente de que sea el que tenga mayor o menor número de espiras y, por tanto, mayor o menor tensión.

Ilustración 13. Transformador: Devanados arrollados sobre núcleo magnético



(Pulido, 2009)

Al realizar el bobinado de un transformador, primero se arrolla el devanado de menor tensión, posteriormente una capa de cartón aislante y a continuación el bobinado de mayor tensión, que generalmente es el devanado primario. Se debe de realizar de esta manera, para que en caso de derivación a masa sea la menor tensión la que se derive y por tanto, el peligro sea menor.

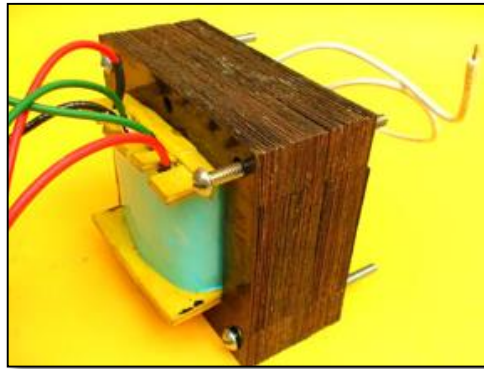
El devanado secundario también está constituido por una bobina de hilo esmaltado arrollada a través del núcleo magnético. A este devanado se le conecta la carga para utilizar la nueva tensión obtenida. El calibre del conductor del secundario suele ser de mayor diámetro que el hilo del devanado primario.

El circuito magnético está compuesto por la chapa magnética formando un empilado que será denominado, en lo sucesivo, núcleo magnético.

Este circuito puede adoptar diversas formas dependiendo del tipo de transformador. En el capítulo de chapa magnética se encuentra una información más extensa sobre el circuito magnético.

(Puldo, 2009)

Ilustración 14. Empilado magnético formado por muchas chapas



(Construya su videorockola, 2015)

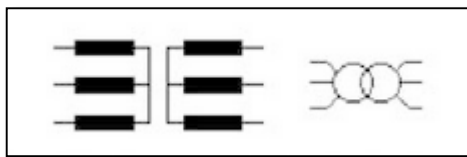
Los símbolos más utilizados para representar al transformador en los esquemas eléctricos son:

Ilustración 15. Símbolos utilizados para identificar los transformadores monofásicos



(Puldo, 2009)

Ilustración 16. Símbolos utilizados para representar los transformadores trifásicos



(Pulido, 2009)

2.2 Leyes eléctricas fundamentales

2.2.1 Ley de Ohm

Ley fundamental de la electricidad que establece la relación entre corriente, voltaje y resistencia en un circuito eléctrico.

En cualquier circuito donde la única oposición al flujo de electrones es la resistencia, existen relaciones definidas entre los valores de voltaje, corriente y resistencia. Estas relaciones, descubiertas en 1827 por Georg Simon Ohm, se conocen como la ley de Ohm.

Según la ley de Ohm:

El voltaje necesario para establecer cierta intensidad de corriente a través de un circuito es igual al producto de la corriente y de la resistencia del circuito.

La intensidad de corriente de un circuito es igual al voltaje que se aplica al circuito, dividido entre la resistencia del circuito.

La resistencia de un circuito es igual al voltaje aplicado al circuito, dividido entre la cantidad de corriente en el circuito.

Si se utilizan los símbolos literales [V] para el voltaje, [I] para la corriente y [R] para la resistencia, entonces las relaciones establecidas por la ley de Ohm pueden expresarse en las siguientes fórmulas:

$$V = I \cdot R$$

Resolviendo para I, esta misma fórmula puede escribirse como

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

Resolviendo para R, puede escribirse como

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

Donde V: voltaje en voltios

I: corriente en amperios

R: resistencia en ohmios

(Buban & Marshall L., 1983)

2.2.2 Leyes de Kirchoff

Las leyes de Kirchoff son el elemento fundamental del análisis de circuitos. Para realizar este análisis se utilizarán diferentes herramientas, como pueden ser la variable compleja en corriente alterna, la transformada de Laplace en el caso más general, etc., pero siempre tomando como punto de partida estas leyes. Así pues, es necesario un perfecto conocimiento para así utilizarlas sin problemas. Antes de enunciarlas hay que dar una serie de conceptos necesarios para poder utilizarlas. Ramal: Es cualquier zona del circuito delimitada por dos terminales. Un ramal puede estar compuesto por un conjunto de elementos de circuito (resistencias, condensadores, etc.). Nodo: Punto del circuito donde coinciden dos o más ramales. Otra definición alternativa es la que considera nodo como aquel punto del circuito que presenta una tensión diferente al resto de zonas del circuito. Malla: Red. Camino cerrado en el circuito formado por un conjunto de ramales.

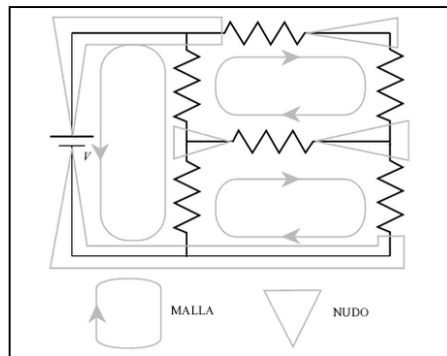
A modo de ejemplo, la Ilustración 17 presenta un circuito eléctrico, destacándose los diferentes elementos que lo forman. Existen dos leyes de Kirchoff: la ley de nodos y la ley de mallas. Mientras la primera, como norma general, se utiliza en casos prácticos, la segunda es utilizada habitualmente en análisis teóricos.

Ley de corrientes de Kirchoff o ley de nodos: Esta ley hace referencia a la conservación de la carga que se da en todo sistema cerrado, condición de partida de los sistemas eléctricos a analizar. Se ha enunciado de diferentes formas:

- a) La suma de todas las intensidades en un nodo; si todas son de entrada, es 0.
- b) La suma de todas las intensidades en un nodo; si todas son de salida, es 0.

- c) La suma de las intensidades de entrada a un nodo debe ser igual a la suma de las intensidades de salida.

Ilustración 17. Esquema de una red eléctrica



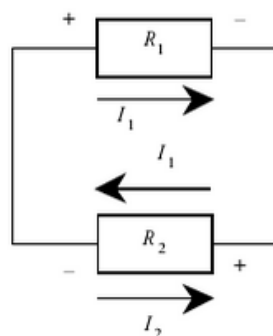
(Olivas, Martín Guerrero, & Gómez Chova, 2004)

Si se analiza la ley de nodos se ve claramente que está basada en el principio de conservación de la carga de todo sistema aislado. Al aplicar la ley de nudos hay que tener especial cuidado con los sentidos de las intensidades, respetando el criterio de la ley de Ohm cuando se establezcan las relaciones de estas intensidades con voltajes e impedancias.

Ley de voltajes de Kirchoff o ley de mallas: Esta ley, como su nombre indica, se plantea sobre las mallas del circuito planteando que la suma de las diferencias de potencial alrededor de una malla es cero. Al aplicar estas leyes hay que tener cuidado con la polaridad de las diferencias de potencial presentes en la malla. Una vez determinada la polaridad, hay que respetar el criterio de la ley de Ohm al sustituir estos voltajes en función de las intensidades de malla.

(Olivas, Martín Guerrero, & Gómez Chova, 2004)

Ilustración 18. Ejemplo del sentido de las corrientes al aplicar ley de mallas



(Olivas, Martín Guerrero, & Gómez Chova, 2004)

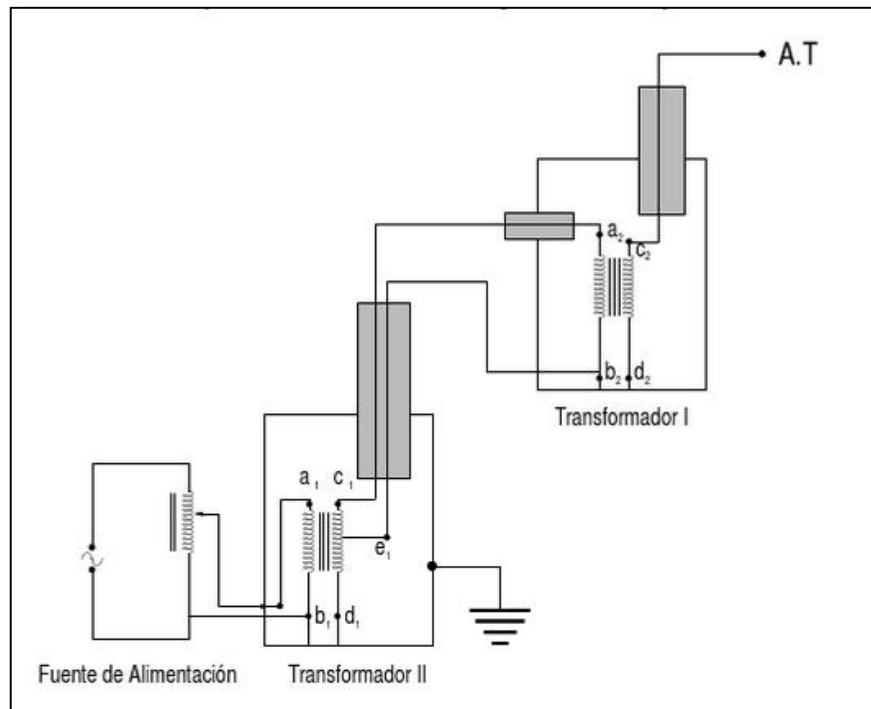
2.3 Fundamentos de pruebas de alta tensión

2.3.1 Generación de voltaje alterno en alta tensión

Los encargados de generar alto voltaje alterno en los laboratorios de alta tensión son los transformadores de potencia y frecuencia industrial de dos arrollamientos. El diseño de los transformadores para ensayo se efectúa normalmente para la misma frecuencia que la de los objetos a ensayar. Las consideraciones de orden térmico, de regulación y potencia de salida no difieren demasiado con respecto a los transformadores de potencia. La aislación del transformador debe estar diseñada de fábrica para soportar las sobretensiones a que pueda ser sometido.

El transformador de ensayo de una sola unidad puede ser usado hasta tensiones no superiores a 750 KV en casos especiales hasta 1000 KV. El costo de estas unidades se incrementa muy rápidamente con la tensión. Además las dificultades de transporte e instalación se hacen muy severas. Los inconvenientes que se presentan con los transformadores de una sola unidad en tensiones muy elevadas pueden ser superados colocando en cascada varias unidades donde los bobinados de alta tensión se conectan en serie y únicamente el bobinado primario de baja tensión es conectado a la fuente.

Ilustración 19. Transformadores en cascada



(Torresi, 2004)

Las características requeridas para un transformador de ensayo dependen de los elementos a ser probados. Para ensayos de grandes transformadores y generadores que presentan una capacidad electrostática elevada, el transformador de prueba debe suministrar una elevada corriente con buena regulación.

Estas corrientes elevadas no son requeridas en ensayo de aisladores o atravesadores cuya capacidad es generalmente pequeña. El ensayo de cable incluye largos periodos de prueba para determinar el aumento de temperatura en condiciones de operación. El transformador debe estar diseñado para suministrar estas altas corrientes con un bajo factor de pérdidas durante un largo período de tiempo. Cuando se mide factor de potencia y pérdidas dieléctricas, la forma de onda debe mantenerse sinusoidal en todas las condiciones de carga.

(Torresi, 2004)

2.3.2 Generación de Alto Voltaje directo

La corriente continua se usa principalmente para investigaciones científicas. En la industria, su principal aplicación es en el ensayo de cables de una elevada capacitancia, los cuales probados con tensión alterna insumirían una intensidad de corriente muy grande. El ensayo con corriente continua puede resultar más económico y conveniente, pero experimentalmente se ha comprobado que la distribución de las sollicitaciones dieléctricas es muy diferente a las condiciones normales de trabajo cuando el cable transmite energía eléctrica a baja frecuencia. El creciente interés en la transmisión de energía en alta tensión, en corriente continua, ha incrementado el número de laboratorios equipados para realizar ensayos de alta tensión en corriente continua.

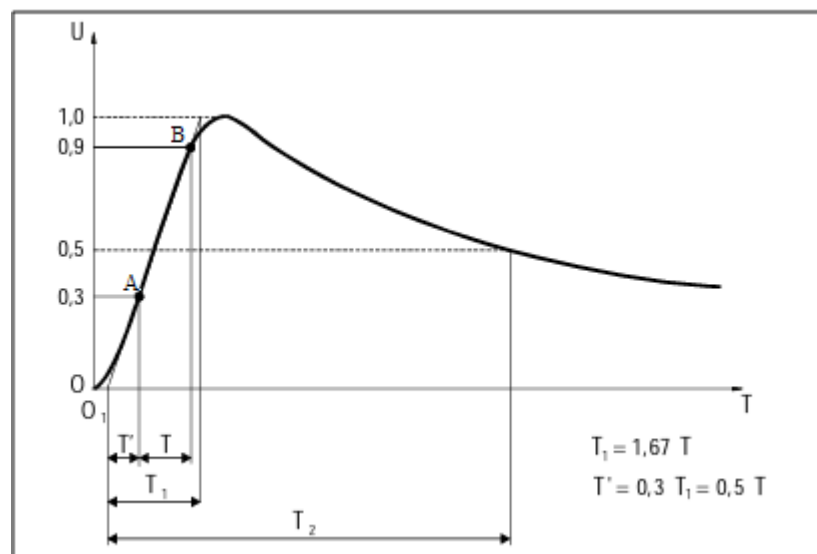
La corriente continua en alta tensión se obtiene generalmente por la rectificación de la corriente alterna y para obtener voltajes mayores a 100kV podemos usar circuitos dobladores de tensión o circuito generador en cascada los cuales se detallan en la respectiva práctica.

(Torresi, 2004)

2.3.3 Voltajes de impulso

Los estudios de las perturbaciones en los sistemas de transmisión de energía eléctrica, han demostrado que las descargas atmosféricas y las operaciones de maniobra son seguidas de ondas viajeras con un frente de onda escarpado. Cuando la tensión de esta onda alcanza el transformador de potencia, provoca una sollicitación desigualmente distribuida a lo largo del arrollamiento y puede producir la perforación del sistema aislante. Es por ello necesario el estudio de la aislación sometida al impulso de tensión. La tensión de impulso es una tensión unidireccional la cual crece rápidamente hasta su valor máximo y luego decae lentamente hasta el valor cero. La forma de onda se define en función de los tiempos T_1 y T_2 en microsegundos, donde T_1 es el tiempo que transcurre entre el inicio y el pico de la onda y T_2 el tiempo total desde el inicio hasta el momento en que la tensión ha caído el 50% de su valor máximo.

Ilustración 20. Curva característica de impulso tipo rayo



(Torresi, 2004)

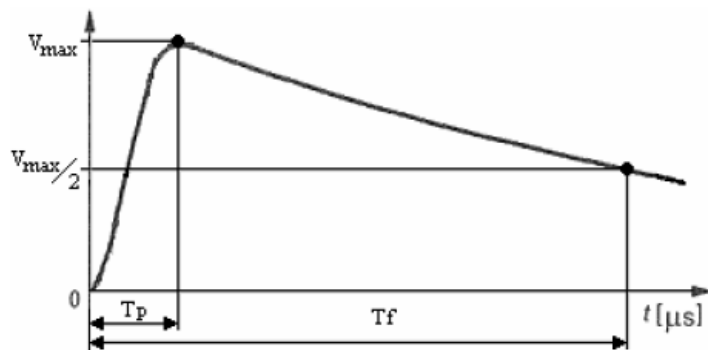
La forma de la onda tipo rayo está referida a la relación T_1/T_2 .

El método exacto para definir la onda de tensión de impulso está especificado por varias entidades internacionales de normalización. La Comisión Electrotécnica Internacional define la onda de tensión de impulso en términos de duración normal del frente y de la cola. El tiempo de frente de onda del impulso de tensión tipo rayo es definido por $T_1=1,67T$, donde T es el tiempo que transcurre entre el 30 % y el 90 % de su valor máximo. El punto O_1 es donde la recta AB corta el eje de los tiempos.

El tiempo normal de cola T_2 es el tiempo comprendido entre O_1 y el punto de la cola de la onda donde la tensión es el 50 % de su valor máximo. La forma de la onda es definido como T_1 / T_2 y de acuerdo a las especificaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional ese valor es 1,2/50 microsegundos (μs). Las especificaciones permiten una tolerancia del 30 % en el tiempo de frente y de 20 % en la duración de la cola.

Mientras que el tiempo de frente de onda del impulso de tensión tipo maniobra T_p es el tiempo transcurrido entre el origen de la onda y el voltaje máximo, y T_2 es el tiempo transcurrido desde el origen hasta que el voltaje decae hasta el 50% del voltaje máximo. La forma de onda para este tipo de impulso es definida como T_p/T_2 y de acuerdo a los estándares ese valor es de 250/2500 μs con tolerancias de 20% y 60% respectivamente.

Ilustración 21. Curva característica del impulso tipo maniobra.



(Carmona, Jiménez, & Vázquez, 2005)

2.4 Normas eléctricas usadas

Técnicas estándar para Pruebas de alta tensión

- ANSI/IEEE 4-1978

Forma de ondas de impulso normalizadas

- ANSI/IEEE Standard 4-1995
- IEC 61000-4-5

Transformadores de Distribución. Pruebas eléctricas

- NTE INEN 2111
- NRF-025-CFE-2009
- NTC 818

CAPÍTULO III

DESARROLLO PRÁCTICO

En este capítulo se desarrolla el manual de procedimiento de prácticas para la asignatura de “Alta Tensión 1” de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, dentro de las mismas encontraremos procedimientos, recomendaciones, medidas de seguridad y pasos a seguir para el óptimo desarrollo de las prácticas.

Los temas a tratarse en las prácticas son los siguientes:

Práctica 1: Reconocimiento del área y equipos de trabajo, medidas de seguridad para el uso del laboratorio de Alta Tensión.

Práctica 2: Prueba de capacitores en el laboratorio de Alta Tensión

Práctica: 3: Generación y medición de voltaje alterno

Práctica 4: Generación y medición de voltaje directo 1


Práctica 5: Generación y medición de voltaje directo 2

Práctica 6: Generación y medición de voltaje de impulso 1

Práctica 7: Generación y medición de voltaje de impulso 2

Práctica 8: Prueba sobre transformadores de potencia

3.1 Práctica I - Reconocimiento del área y equipos de trabajo, medidas de seguridad para el uso del laboratorio de Alta Tensión.

| | | |
|---|--|------------|
| | | Revisión 1 |
|  | PRÁCTICA I – RECONOCIMIENTO DEL ÁREA Y EQUIPOS DE TRABAJO, MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DEL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN | |
| LABORATORIO | ALTA TENSIÓN | |
| CARRERA | INGENIERÍA ELÉCTRICA | |
| SEDE | GUAYAQUIL | |

3.1.1 Datos informativos

Materia: Alta Tensión 1

No. De práctica 1

No. De estudiantes: 2

Nombre del docente: Ing. Ervin Solano, Ing. Roy Santana

Tiempo estimado: 2 horas

3.1.2 Datos de la práctica

Tema: Reconocimiento del área y equipos de trabajo, medidas de seguridad para el uso del laboratorio de Alta Tensión.

Objetivo general

- Reconocer los elementos y equipos del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, por medio de la visita guiada por el docente a cargo, para que los estudiantes tengan más facilidad de interpretación al momento de armar un circuito.
- Explicar las medidas de protección que se deben de tomar en el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, demostrando el principio de funcionamiento del sistema de protección, para evitar cualquier tipo de accidentes.

Objetivos específicos

- Presentar los elementos y equipos del laboratorio y explicar su función.
- Comparar la simbología usada en el diseño con la simbología de los equipos.
- Explicar normas de seguridad elementales en un laboratorio de Alta Tensión
- Demostrar el funcionamiento de los dispositivos de seguridad y resaltar su importancia.

3.1.3 Marco teórico

El laboratorio de Alta tensión de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, posee un módulo de prácticas de marca TERCO. Es necesario conocer las medidas de seguridad con la cual contamos, para aquello es necesario tener claro algunos conceptos.

Jaula de Faraday: Una jaula de Faraday es una estructura metálica que protege de los campos eléctricos estáticos. Debe su nombre al físico Michael Faraday, que construyó una en 1836. Se emplean para proteger de descargas eléctricas, ya que en su interior el campo eléctrico es nulo.

Ilustración 22. Jaula de Faraday del laboratorio



(Los autores)

Sistema de Puesta a Tierra: Comprende toda la ligazón metálica directa, sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con objetivo de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y que al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falta o de las descargas de origen atmosférico.

3.1.4 Marco procedimental

- a) Determinar las áreas dentro del laboratorio.
- b) Explicar el funcionamiento de cada elemento o equipo del laboratorio.

Equipos:

- **HV 9103 Control Desk: Escritorio de Control**

Ilustración 23. Escritorio de Control



(Los autores)

El escritorio de control es usado para el control y la operación de los equipos para pruebas AC, pruebas DC y pruebas de impulso. Este equipo contiene circuitos de control de señales de los equipos de prueba. Este equipo también acoge las señales de

los equipos de medida ya sea Voltímetro AC (HV 9150), Voltímetro DC (HV9151) y Voltaje de Impulso (HV9152).

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|---|
| Tensión de alimentación: | 220V- 230V monofásico |
| Capacidad VARIAC: | 5KVA Continuamente 10KVA (por corto tiempo, sólo 2 min.) |
| Frecuencia: | 50/60Hz |

- **HV 9105 Test Transformer: Transformador de prueba**

Ilustración 24. Transformador de Prueba



(Los autores)

El Transformador de prueba es el que incrementa el voltaje obtenido del variac del escritorio de control y lo transforma en alta tensión, según su relación de transformación 100KV/220V.

Datos técnicos

| | |
|-----------------------------|--|
| Relación de transformación: | 100KV/220V |
| Capacidad: | 5KVA Continuamente 10KVA por 60 minutos |
| Impedancia por unidad: | 4% aproximadamente |
| Frecuencia: | 50/60Hz |

Equipos de control y medida:

- **HV9150 Peak Voltmeter: Medidor de Voltaje alterno**

Ilustración 25. Medidor de Voltaje Alterno



(Los autores)

Medidor de Voltaje alterno, para conexión con el Capacitor de Medida, o con el Capacitor de gas comprimido.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| Voltaje de alimentación: | 220V |
| Rango de medición: | 0-1000 $\hat{U}/\sqrt{2}$ KV |

- **HV 9151 DC Voltmeter: Medidor de voltaje directo**

Ilustración 26. Medidor de Voltaje Directo



(Los autores)

Medidor de Voltaje directo para conexión con la resistencia de Medida.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|----------------|
| Voltaje de alimentación: | 220V |
| Rango de medición: | 0- 140KV/280KV |

- **HV 9152 Impulse Voltmeter: Medidor de voltaje de impulso**

Ilustración 27. Medidor de Voltaje de Impulso



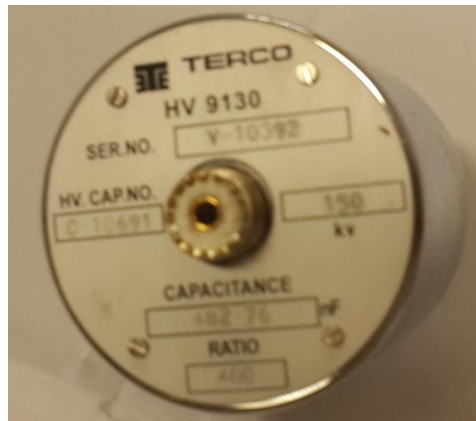
(Los autores)

Medidor de voltaje de impulso pico para conexión con el Capacitor de Carga.

| Datos técnicos | |
|--------------------------|-----------|
| Voltaje de alimentación: | 220V |
| Rango de medición: | 0-1000 KV |

- **HV 9130 Low Voltage Divider: Divisor de bajo voltaje**

Ilustración 28. Divisor de Bajo Voltaje



(Los autores)

El divisor de bajo voltaje incorporado con un capacitor de bajo voltaje y con el cable adaptador de 50Ω. Se conecta en el puerta UHF del Capacitor de Carga y conectado al Medidor de Voltaje de Impulso para medir por medio de un cable coaxial.

| Datos técnicos | |
|-----------------------|-----------|
| Rango de medición: | 0- 150 KV |

Elementos básicos para pruebas AC, DC e Impulso

- **HV9112 Impulse Capacitor: Capacitor de impulso**

Ilustración 29. Capacitor de impulso



(Los autores)

Capacitor de impulso para generación de voltajes de impulso. Este también puede ser usado como capacitor de rizado en la generación de voltaje DC.

Datos técnicos

| | |
|---------------------------------------|---------|
| Capacitancia: | 25000pF |
| Voltaje DC y voltaje de impulso nom.: | 140 KV |

- **HV9120 Load Capacitor: Capacitor de Carga**

Ilustración 30. Capacitor de carga



(Los autores)

Capacitor de Carga para medición de voltaje de impulso junto al Divisor de Bajo voltaje.

Datos técnicos

| | |
|---------------------------------------|--------|
| Capacitancia: | 1.2nF |
| Voltaje DC y voltaje de impulso nom.: | 140 KV |

- **HV9141 Measuring Capacitor: Capacitor para Medición**

Ilustración 31. Capacitor para Medición



(Los autores)

Capacitor para medición provisto de un Capacitor Divisor de Bajo Voltaje para la medición de voltajes AC.

Datos técnicos

| | |
|------------------|--------|
| Capacitancia: | 100pF |
| Voltaje AC nom.: | 100 KV |

- **HV9124 Insulating Rod: Barra aislante**

Ilustración 32. Barra aislante



(Los autores)

Barra aislante para aislar elementos con diferente potencial eléctrico.

Datos técnicos

| | |
|---|--------|
| Voltaje AC nom.: | 100KV |
| Voltajes DC y voltajes de impulso nom.: | 140 KV |

- **HV9111 Silicon Rectifier: Rectificador de Silicio**

Ilustración 33. Rectificador de Silicio



(Los autores)

Rectificador de Silicio se usa en pruebas DC y pruebas de impulso como rectificador de media onda.

Datos técnicos

| | |
|----------------------------|-------|
| Voltaje máx.: | 140KV |
| Corriente nominal: | 20mA |
| Resistencia de protección: | 100KΩ |

- **HV 9121 Charging Resistor: Resistencia de Carga**

Ilustración 34. Resistencia de Carga



(Los autores)

Resistencia de carga para la prueba de Voltaje de Impulso de varias etapas y también se lo usa como resistencia limitadora de corriente para la generación DC.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|-------|
| Resistencia: | 10MΩ |
| Voltaje de impulso nom.: | 140KV |

- **HV 9122 Wave Front Resistor: Resistencia de Frente de Onda**

Ilustración 35. Resistencia de frente de onda



(Los autores)

Resistencia de Frente de Onda para la generación de voltajes de impulso. La resistencia determina el tiempo de subida de la onda de impulso.

Datos técnicos

| | |
|-------------------------|-------|
| Resistencia: | 350Ω |
| Voltaje de impulso nom: | 140KV |

- **HV 9123 Wave Tail Resistor: Resistencia de Cola de Onda**

Ilustración 36. Resistencia de cola de onda



(Los autores)

Resistencia de cola de onda para la generación de voltajes de impulso. La resistencia determina el tiempo de medio valor del de la onda de impulso.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|-------|
| Resistencia: | 2400Ω |
| Voltaje de impulso nom.: | 140KV |

- **HV 9125 Sphere Gap: Espinterómetro**

Ilustración 37. Espinterómetro de esferas



(Los autores)

El mecanismo se usa para la generación de voltajes de impulso pre ajustado al voltaje pico de impulso que se quiera obtener.

Datos técnicos

| | |
|---|-------|
| Diámetro de esferas: | 100mm |
| Voltaje de impulso nom.: | 140KV |
| Distancia de separación max. entre esferas: | 80mm |

- **HV 9126 Drive for sphere gap: Timonel del Espinterómetro**

Ilustración 38. Timonel del Espinterómetro



(Los autores)

Control a distancia para el espinterómetro para variar la distancia entre explosor y explosor.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|---------|
| Voltaje de alimentación: | 220V |
| Frecuencia: | 50/60Hz |

- **HV 9113 Measuring Resistor: Resistencia para medición**

Ilustración 39. Resistencia para medición



(Los autores)

Resistencia de alto voltaje para medición de voltaje DC.

| Datos técnicos | |
|-----------------------|-------|
| Resistencia: | 280MΩ |
| Voltaje DC nom: | 140KV |
| Corriente nominal: | 0.5mA |

- **HV 9114 Earthing Switch, Electrically Operated: Interruptor a tierra con operación eléctrica**

Ilustración 40. Interruptor a tierra



(Los autores)

Interruptor a tierra para una protección automática (descarga a tierra) en el momento que el transformador es desenergizado.

| Datos técnicos | |
|-------------------------|---------|
| Voltaje DC de servicio: | 140KV |
| Frecuencia: | 50/60Hz |

- **HV9138 Electrode: Electrodo corona**

Ilustración 41. Electrodo Corona



(Los autores)

El electrodo de casco sirve como terminación en conjunto con el interruptor a tierra para la protección. También sirve como electrodo libre de corona.

| Datos técnicos | |
|-----------------------|-------|
| Diámetro: | 300mm |

- **HV9107 Discharge Rod: Barra de descarga**

Ilustración 42. Pértiga de descarga



(Los autores)

La barra de descarga se usa para la descarga manual hacia tierra de todos los componentes.

| Datos técnicos | |
|--------------------------|------|
| Resistencia de descarga: | 100Ω |
| Longitud: | 2.5m |

- **HV9109 Connecting Cup, Aluminium: Copa conectora de aluminio**

Ilustración 43. Copa conectora de aluminio



(Los autores)

La copa conectora es un elemento conductor que se utiliza como nodo para conexión entre los elementos.

Datos técnicos

| | |
|-----------|-------|
| Diámetro: | 150mm |
| Peso: | 2.2Kg |

- **HV9110 Floor Pedestal, Aluminium: Base pedestal de piso de aluminio**

Ilustración 44. Base pedestal de piso de aluminio



(Los autores)

La base para piso es un elemento conductor en el cual se montan los elementos y se realiza la conexión inferior a tierra, para que un extremo de un equipo tenga el mismo potencial de la tierra del circuito.

Datos técnicos

| | |
|-----------|-------|
| Diámetro: | 200mm |
| Peso: | 2Kg |

- **HV9108 Connecting Rod, Aluminium: Barra conectora de aluminio**

Ilustración 45. Barra conectora de aluminio



(Los autores)

La barra conectora se usa como cable conductor, entre elementos a distancias de 1m aproximadamente.

Datos técnicos

| | |
|-----------|-------|
| Longitud: | 665mm |
| Peso: | 1Kg |

- **HV9119 Spacer Tube, aluminium: Tubo conector de aluminio**

Ilustración 46. Tubo conector de aluminio



(Los autores)

El tubo conector tiene como finalidad tener una mecánica y eléctrica conexión a nivel de tierra cuando se inserta en la base pedestal de piso.

| Datos técnicos | |
|-----------------------|-------|
| Longitud: | 665mm |
| Peso: | 1Kg |

Aparatos de prueba

- **HV 9134 Vessel for Vacuum and Pressure: Vasija de vacío y presión**

Ilustración 47. Vasija de vacío y presión con sus accesorios



(Los autores)

La vasija se utiliza para determinar los voltajes de ruptura entre electrodos con arreglos entre vacío y presión necesarios para la prueba. Para diferentes arreglos de electrodos se necesitan otros accesorios.

| Datos técnicos | |
|--------------------------------------|----------|
| Voltaje AC nom: | 100KV |
| Voltaje DC y voltaje de impulso nom: | 140KV |
| Presión de operación: | 0- 6 bar |

- **HV9133 Measuring Spark Gap: Espinterómetro para medición medición**

Ilustración 48. Espinterómetro para medición y sus accesorios



(Los autores)

El espinterómetro para medición es un dispositivo de medición de voltajes de ruptura en el cual se pueden usar varios arreglos de electrodos. Se puede hacer el control a distancia o manual de la distancia de separación entre electrodos. Se muestran los accesorios.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Voltaje AC nom: | 100KV (rms) |
| Voltaje DC y voltaje de impulso nom: | 140KV |
| Voltaje de alimentación: | 220-240V |

- **HV9137 Oil Testing Cup: Copa para pruebas de aislantes líquidos**

Ilustración 49. Copa para pruebas de aceite aislante



(Los autores)

La copa para pruebas en aceite es usada para la medición de voltaje de ruptura de aislantes líquidos. Se debe hacer la medición con una distancia ajustada de 2mm o 2.5mm según norma que se va a utilizar.

- **HV9118 Spacer Bar, Aluminium: Barra conectora de aluminio para piso**

Ilustración 50. Barra conectora de aluminio para piso



(Los autores)

La barra se utiliza para conectar del pedestal de piso y el espinterómetro de medida ya que la distancia es más pequeña que la de los tubos conectores.

| Datos técnicos | |
|-----------------------|-------|
| Longitud: | 563mm |
| Peso: | 1Kg |

- c) Medir la resistencia de aislamiento por medio de un Megger de todas las resistencias y barras aislantes del laboratorio, además medir la resistencia de aislamiento entre los devanados de alta y baja del transformador de prueba.
- d) Evaluar oralmente sobre normas de seguridad del laboratorio de Alta Tensión.

Para el uso de este laboratorio se recomiendan seguir las siguientes normas generales de seguridad para trabajos en el laboratorio:

1. Prohibido fumar.
2. Prohibido ingerir alimentos o bebidas dentro del laboratorio.
3. No dejar objetos personales en las superficies de trabajo.
4. No llevar pulseras, colgantes, mangas anchas ni prendas sueltas que puedan engancharse en montajes o equipos
5. Los que no trabajan deben poner sus manos en los bolsillos.
6. Al trabajar en la Jaula de Faraday se deben de tomar los elementos uno a la vez.
7. Debe existir un encargado que será el primero en entrar y el último en salir de la jaula.

8. El encargado es responsable de descargar el equipo usando la pértiga.
9. Una vez energizado el sistema todos deben conservar las distancias de seguridad
10. No se debe de abrir la puerta de la jaula bajo ninguna circunstancia.

Nota: No olvidar las 5 reglas de oro para trabajos eléctricos

Ilustración 51. Reglas de Oro para el trabajo eléctrico



(DESENCHUFADOS, Alberto Martínez)

- e) Encender el tablero de control y explicar el funcionamiento de cada uno de los equipos y perillas que constituye el tablero.

Ilustración 52. Panel de control



(Los autores)

Paro de emergencia: Cuando se presiona este botón automáticamente el equipo deja de suministrar alimentación al transformador de prueba por ende no se generará alta tensión.

Interruptor principal: Enciende o apaga el tablero de control.

Interruptor de control: Enciende o apaga todos los elementos del escritorio de control, además es una protección indirecta, ya que no permite que personas ajenas puedan manejar el equipo ya que para encender el mismo se necesita de una llave.

Corneta de alerta: Si se presiona este pulsante se emitirá sonido alertando a las personas que usan el laboratorio.

Bloqueo y desbloqueo: Si se presiona este pulsante se bloquea el panel de control sin opción a realizar ninguna acción posterior.

Esferas de impulso: Esta perilla permite regular la separación de las esferas del espinterómetro de impulso.

Esferas de medición: Esta perilla permite regular la separación de las esferas del espinterómetro de medición.

Encendido Primario: Este pulsante permite la energización del devanado primario del transformador de prueba.

Encendido Secundario: Este pulsante permite la energización del secundario del transformador de prueba.

Interruptor de tierra apagado: Esta luz piloto da una señal visible del estado del interruptor a tierra, si la luz piloto está encendida significa que el interruptor a tierra está abierto y por ende no hay conexión a tierra.

Apagado Primario: Este pulsante permite la des energización del devanado primario del transformador de prueba.

Apagado Secundario: Este pulsante permite la des energización del devanado secundario del transformador de prueba.

Interruptor de tierra encendido: Esta luz piloto da una señal visible del estado del interruptor a tierra, si la luz piloto está encendida significa que el interruptor a tierra está cerrado y por ende existe conexión a tierra y los equipos se descargaron.





Luces apagadas: Este pulsante permite saber el estado de todas las luces pilotos del tablero de control, si están operativas al presionar este pulsante deben apagarse todas, se deja de presionar encenderse todas y volver a su estado normal.

Regulación de voltaje corta: Esta perilla permite regular el voltaje que le llega al primario del transformador de prueba, está tensión va desde 0v hasta los 220v en pasos cortos.

Regulación de voltaje largo: Esta perilla permite regular el voltaje que le llega al secundario del transformador de prueba, está tensión va desde 0v hasta 220v en pasos más largos, es decir más rápido.

f) Ejemplificar procedimientos de seguridad, pre, durante y pos práctica.

3.1.5 Recursos utilizados

| Nombre / Código | Imagen | Observación |
|---|---|---------------------------------------|
| Inventario |  | Documento adjunto 1 |
| Descripción de elementos y equipos. |  | Documento adjunto 2 |
| Descripción de panel de control |  | Documento adjunto 3+ Hoja de trabajo. |
| Normas de seguridad del laboratorio de Alta Tensión UPS-GYE |  | Documento adjunto 4 |

3.1.6 Registro de resultados

Tabla 2. Medición de resistencia de elementos y equipos

| Cod. de Equipos | Serial de Equipos | Megger | | Multímetro |
|-----------------|-------------------|---------------|---------|------------|
| | | 5KV | 10KV | |
| 9124 | IS-10207 | 5,27 TΩ | 6,91 TΩ | |
| 9124 | IS-10208 | 5,27 TΩ | 7,60 TΩ | |
| 9121 | R-10776 | 10,1 MΩ | 10,2 MΩ | |
| 9121 | R-107782 | 10,1MΩ | 10,1 MΩ | |
| 9113 | R-10774 | 606 MΩ | 429 MΩ | |
| 9122 | R-10779 | 0.03 KΩ | 0,03 KΩ | |
| 9123 | R-10780 | 0,04 KΩ | 0,04 KΩ | |
| 9133 | F-10045 | 4,85 TΩ | 3,01 TΩ | |
| 9105 | T-10404 | AT/BT 1,37 GΩ | | |
| 9122 | R-10779 | | | 350Ω |

(Los autores)

3.1.7 Conclusiones

- Se presentaron los elementos y equipos del laboratorio y se explicaron sus funciones.
- Se revisó la simbología de los equipos.
- Se probaron la operatividad de resistores y barras aislantes, además se realizó la prueba de resistencia de aislamiento al transformador de prueba entre AT y BT obteniendo resultados satisfactorios ya que son muy cercanos a los valores mostrados en la placa de los elementos.
- Se explicaron normas de seguridad elementales en un laboratorio de Alta Tensión
- Se demostró el funcionamiento de los dispositivos de seguridad y resaltar su importancia.

3.1.8 Recomendaciones

- En el momento que se cierra la jaula y se enciende el tablero de control, automáticamente en la parte superior de la puerta de ingreso de la jaula de

Faraday se enciende una luz piloto roja, la cual indica que no se puede entrar a la jaula ya que los equipos están energizados.

- Para realizar la prueba de resistencia de aislamiento al transformador de pruebas del laboratorio tomar en cuenta sacar los puentes en el devanado de baja tensión ya que podemos obtener resultados de resistencia de aislamiento errónea.
- Tener en cuenta las medidas de seguridad en todo momento dentro del laboratorio de Alta Tensión y recordar que se está trabajando con alta tensión por lo cual se debe tener cuidado.


3.1.9 Anexos

Ilustración 53. Medidas de seguridad del laboratorio



(Los autores)

3.2 Práctica II- Prueba de capacitores en el laboratorio de Alta Tensión

| | | |
|---|--|------------|
| | | Revisión 1 |
|  | PRACTICA II – PRUEBA DE CAPACITORES EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN | |
| LABORATORIO | ALTA TENSIÓN | |
| CARRERA | INGENIERÍA ELÉCTRICA | |
| SEDE | GUAYAQUIL | |

3.2.1 Datos informativos

Materia: Alta Tensión 1

No. De práctica: 2

No. De estudiantes: 2

Nombre Del Docente: Ing. Ervin Solano, Ing. Roy Santana

Tiempo Estimado: 2 Horas

3.2.2 Datos de la Práctica

Tema: Prueba de capacitores en el laboratorio de Alta Tensión

Objetivo general:

- Realizar las pruebas al capacitor por medio del uso del circuito RC para conocer el estado en que se encuentra y su operatividad.

Objetivos específicos:

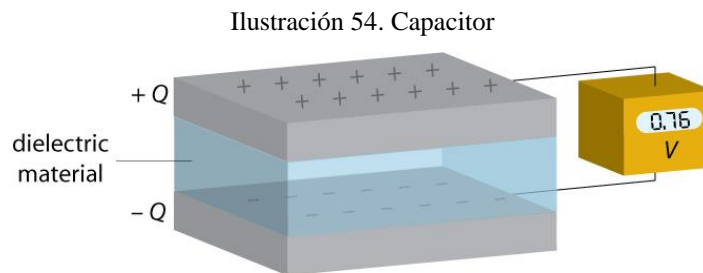
- Analizar el principio fundamental de un sistema RC.
- Demostrar el valor del capacitor experimental, en función a los datos obtenidos.
- Comparar valores calculados y valores nominales de fábrica del capacitor.
- Definir el estado de operatividad en el que se encuentra el capacitor.

3.2.3 Marco teórico

Para esta práctica será necesario recordar algunos conceptos.

Capacitor: Conceptualmente, un condensador consta de 2 placas o láminas conductoras separadas por un dieléctrico que presentan en su conjunto la propiedad eléctrica de capacidad. Esta capacidad es la que le permite almacenar carga electrostática cuando existe una tensión entre dichos conductores.

(Santamaría Herranz & Castejón Oliva, Electrotecnia)



$$Q = CV$$

(UNIVERSITY OF CAMBRIDGE)

Ilustración 55. Capacitor de impulso del laboratorio HV9112



(Los autores)

Resistencia: Elemento o cualidad que tienen algunos materiales, sustancias o componentes de ofrecer cierta dificultad al paso de la corriente eléctrica.

(Santamaría Herranz & Castejón Oliva, Electrotecnia)

Transformador: Un transformador es un aparato eléctrico que por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica a uno o más circuitos a la misma

frecuencia de operación, usualmente aumentando o disminuyendo los valores de corriente y tensión eléctrica.

(Avelino Pérez, 2001)

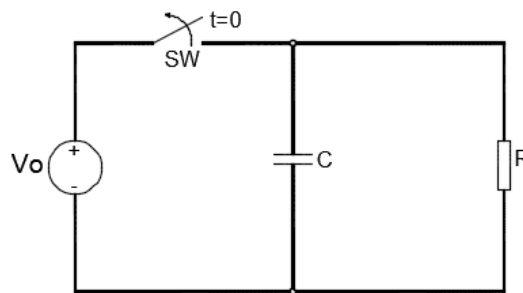
Diodo Rectificador: Son semiconductores que solo permiten la circulación de corriente en un sentido.

(Roldán Vilorio, 2010)

Circuito RC serie: Un circuito RC es un circuito compuesto de resistores y condensadores alimentados por una fuente eléctrica. Un circuito RC de primer orden está compuesto de un resistor y un condensador y es la forma más simple de un circuito RC.

(Nuñez)

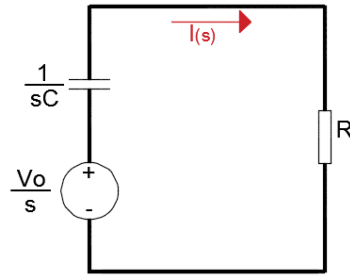
Ilustración 56. Circuito RC con fuente DC



(Los autores)

Inicialmente el interruptor SW está cerrado por lo tanto permite que el capacitor C se cargue hasta el valor de voltaje que le proporciona la fuente (V_0) que se convierte en el voltaje inicial de carga del capacitor. Con el capacitor cargado se abre el interruptor SW en el instante de tiempo $t=0$, de manera que en el circuito solo quedan dos elementos, el capacitor y la resistencia, en ese momento el capacitor comienza su proceso de descarga sobre la resistencia. Para obtener el voltaje resultante sobre la resistencia R de manera sencilla se va a analizar el arreglo utilizando la transformada de Laplace. El circuito resultante en dominio de la frecuencia se muestra a continuación.

Ilustración 57. Circuito RC en dominio de la frecuencia



(Los autores)

Aplicamos la ley de corrientes de Kirchoff, con el cual podemos asegurar que la corriente que circula por el capacitor es la misma que circula por la resistencia y a su vez esta es igual a la corriente que circula por todo el circuito.

$$-I_C(s) + I_R(s) = 0$$

$$I_C(s) = I_R(s) = I(s)$$

$$I(s) = \frac{\frac{V_0}{s}}{\frac{1}{sC} + R}$$

$$I(s) = \frac{\frac{V_0}{s}}{\frac{1}{s}(\frac{1}{C} + sR)}$$

$$I(s) = \frac{\frac{V_0}{1}}{(\frac{1}{C} + sR)}$$

$$I(s) = \frac{\frac{V_0}{1}}{(\frac{1}{C} + sR)}$$

Multiplicamos tanto el numerador como el denominador por 1/R.

$$I(s) = \frac{\frac{V_0}{1} \cdot \frac{1}{R}}{\frac{1}{R}(sR + \frac{1}{C})}$$

$$I(s) = \frac{\frac{V_0}{R}}{(s + \frac{1}{R.C})}$$

Se procede con la antitransformada de Laplace, para encontrar la corriente en dominio del tiempo.

$$I(t) = \frac{V_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R.C}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Para encontrar el voltaje sobre la Resistencia luego que se abre el interruptor SW utilizamos la ley de ohm.

$$V_R = R \cdot I(t) = R \cdot \frac{V_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R.C}}$$

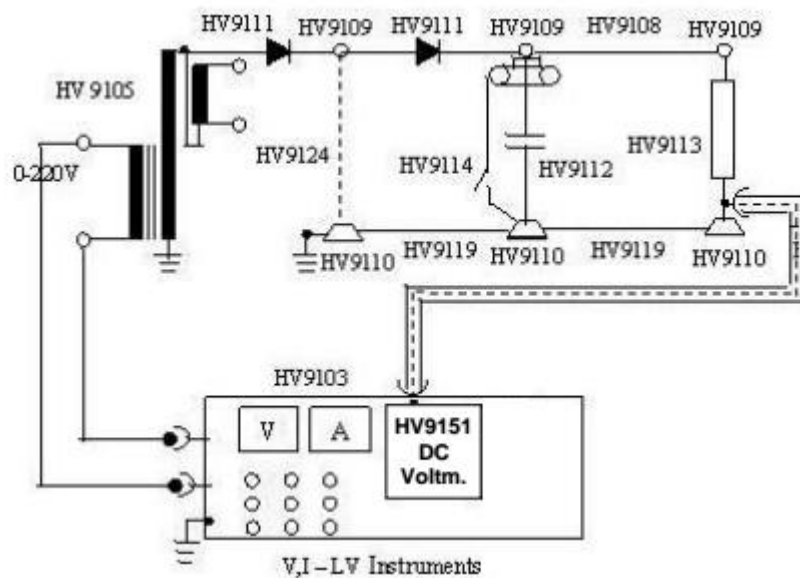
Simplificamos la expresión y obtenemos el voltaje a través del tiempo que recae sobre la resistencia R o también llamada ecuación de decaimiento exponencial.

$$V_R = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{R.C}} \quad (\text{Ec. 2})$$

3.2.4 Marco procedimental

- Recordar las normas de seguridad planteadas en la práctica anterior.
- Comprobar que el escritorio de control este apagado.
- Abrir la jaula y armar el circuito tal como se muestra en la figura.

Ilustración 58. Circuito RC para la prueba del capacitor



(TERCO)

- Verificar que el circuito se haya armado correctamente.
- Conectar el Medidor de voltaje directo HV9151 del escritorio de control con la Resistencia de Medición HV9113 dentro de la jaula.

- f. Procedemos a encender el módulo de control. En el cual verificaremos visualmente que todos los aparatos de medida necesarios para la prueba estén encendidos y en sus valores mínimos.
- g. Energizamos el primario del transformador.
- h. Energizamos el secundario del transformador, y se empieza a incrementar el voltaje de entrada poco a poco hasta llegar a un $V_{dc_{AT}}=50KV$.
- i. Se calibra el cronómetro en cero.
- j. Se apaga el secundario del transformador y al mismo tiempo se presiona el botón de marcha del cronómetro para que realice el conteo del tiempo.
- k. Tomar los datos de tiempo y voltaje de salida.
- l. Finalmente con los datos obtenidos y partiendo de la ecuación de Voltaje de descarga del capacitor tenemos que.

$$V(t) = V_o \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Despejando C tenemos:

$$\frac{V(t)}{V_o} = e^{-\frac{t}{RC}}$$







$$\ln\left(\frac{V(t)}{V_o}\right) = \ln\left(e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$


$$\ln\left(\frac{V(t)}{V_o}\right) = -\frac{t}{RC}$$

$$C = -\frac{t}{R \cdot \ln\left(\frac{V(t)}{V_o}\right)}$$

$$C = \frac{t}{R \cdot \ln\left(\frac{V_o}{V(t)}\right)} \quad \text{(Ec. 3)}$$

3.2.5 Recursos utilizados

| Nombre / Código | Imagen | Observación |
|--|--|---|
| <p>Escritorio de control HV-9103</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Se usa la conexión del Medidor de voltaje directo HV-9151</p> |
| <p>Transformador de prueba HV-9105</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Rel. de Transf.: 220V/100KV Capacidad: 5KVA</p> |
| <p>Capacitor de impulso HV-9112</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Capacitancia: 25000pF</p> |
| <p>Resistencia para medición HV-9113</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>R=280 MΩ Con esta resistencia se hará la conexión por cable hasta el Medidor de Voltaje directo.</p> |
| <p>Rectificador de Silicio HV-9111</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Voltaje máx.: 140KV Resistencia de protección: 100KΩ</p> |
| <p>Barra aislante HV-9124</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Voltaje AC nom.: 100KV Voltajes DC y voltajes de impulso nom.: 140 KV</p> |

| | | |
|--------------------|---|---|
| Cronómetro digital |  <p>Fuente: www.online-stopwatch.com</p> | http://www.online-stopwatch.com/spanish/full-screen-stopwatch.php |
| Cámara digital | Se recomienda el uso de una cámara digital para poder grabar en video el tiempo de descarga del capacitor C. | |

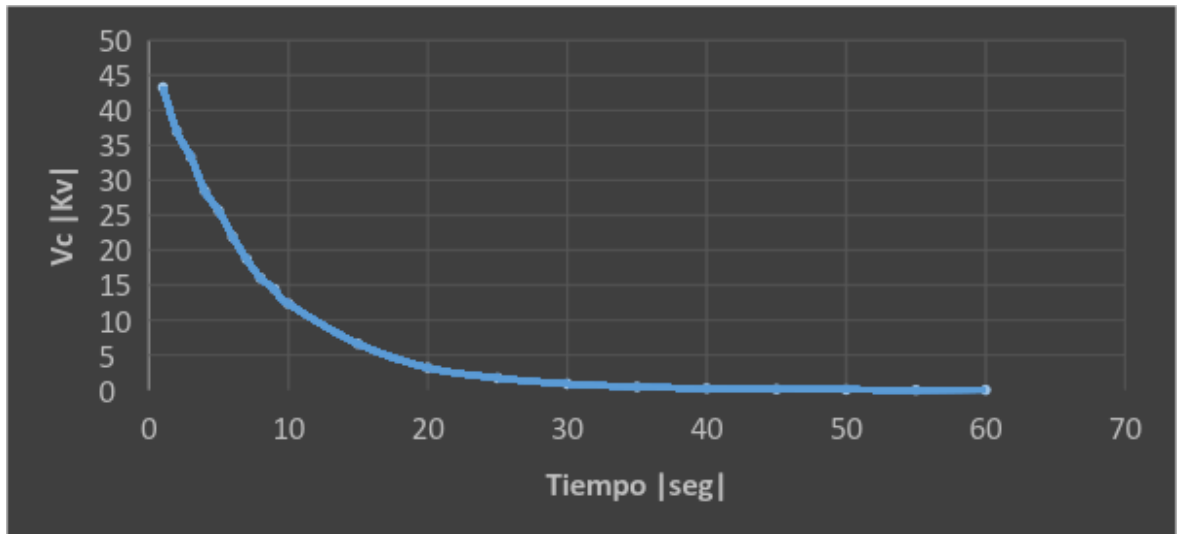
3.2.6 Registro de resultados

Tabla 3. Descarga del capacitor, datos obtenidos en práctica.

| Vd _{cap} (KV) | t (seg) |
|------------------------|---------|
| V _o = 50KV | 0 |
| 43,29 | 1 |
| 36,99 | 2 |
| 33,31 | 3 |
| 28,47 | 4 |
| 25,64 | 5 |
| 21,92 | 6 |
| 18,74 | 7 |
| 16,02 | 8 |
| 14,44 | 9 |
| 12,34 | 10 |
| 6,61 | 15 |
| 3,20 | 20 |
| 1,73 | 25 |
| 0,89 | 30 |
| 0,46 | 35 |
| 0,24 | 40 |
| 0,13 | 45 |
| 0,07 | 50 |
| 0,004 | 55 |
| 0,02 | 60 |

(Los autores)

Ilustración 59. Gráfica de descarga del capacitor



(Los autores)

Datos:

$$R = 280M\Omega$$

$$V_o = 50KV$$

$$V(t) = 12,34KV$$

$$t = 10seg$$

Nota: Podemos tomar cualquier coordenada.

Reemplazando los datos se tiene:

$$C = \frac{10seg}{280M\Omega \cdot \ln\left(\frac{50KV}{12.34KV}\right)}$$

$$C = 25525pF$$

Análisis del error, valor de capacitor.

$$\epsilon = \frac{|Valor\ medido - Valor\ real|}{Valor\ real} \cdot 100$$

$$\epsilon = \frac{|25525 - 25000|}{25000} \cdot 100$$

$$\epsilon = 2,1\%$$

Recordemos que el tiempo descarga del capacitor es aproximadamente de 5 veces τ , donde τ representa la constante de tiempo y es igual al producto de la resistencia por el capacitor.

Tabla 4. Descarga del capacitor constantes de tiempo.

| t | $e^{-\frac{t}{\tau}}$ | V(t) |
|--|-----------------------|---|
| $\tau = (280M\Omega) \cdot (25000pF) = 7s$ | e^{-1} | $0.368 \cdot V_o = 18.4KV$ |
| $2\tau = 14s$ | e^{-2} | $0.135 \cdot V_o = 6.75KV$ |
| $3\tau = 21s$ | e^{-3} | $0.05 \cdot V_o = 2.5KV$ |
| $4\tau = 28s$ | e^{-4} | $0.018 \cdot V_o = 0.9KV$ |
| $5\tau = 35s$ | e^{-5} | $6.73 \times 10^{-3} \cdot V_o = 0.337KV$ |

(Los autores)

Análisis del error, constante de tiempo (τ).

Se va a elegir para el análisis del error el valor de tiempo de 7s equivalente en teoría a un τ .

$$\epsilon = \frac{|Valor\ teórico(tabla\ 4) - Valor\ experimental\ (tabla\ 3)|}{Valor\ teórico(tabla\ 4)} \cdot 100$$

$$\epsilon = \frac{|18.4 - 18.74|}{18.4} \cdot 100$$

$$\epsilon = 1.85\%$$

3.2.7 Conclusiones

- Se analizó el principio de un sistema RC y la descarga de un capacitor.
- Se logró demostrar que el valor de capacitancia obtenido en la prueba del capacitor es cercano al valor nominal, dando un margen de error de 2.1%.
- Se comprobó la operatividad del capacitor, ya que cumple su función de descargar según un tiempo gobernado por la constante de tiempo τ , la cual entre valores teóricos y prácticos se obtuvo un margen de error del 1.85%.

3.2.8 Recomendaciones

- Tener en cuenta siempre la seguridad en todo momento dentro del laboratorio de Alta Tensión.
- Siempre que se termine de hacer una prueba, descargar el sistema usando la pértiga.
- Dejar siempre los elementos en orden antes y después de terminar la práctica.
- El uso de una cámara que grabe video facilita el análisis posterior del comportamiento de la descarga.

3.2.9 Anexos

Ilustración 60. Circuito armado




(Los autores)

Ilustración 61. Panel de control



(Los autores)

3.3 Práctica III - Generación y Medición de Voltaje Alterno

| | | |
|---|---|------------|
| | | Revisión 1 |
|  | PRACTICA III – GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE VOLTAJE ALTERNO | |
| LABORATORIO | ALTA TENSION | |
| CARRERA | INGENIERÍA ELÉCTRICA | |
| SEDE | GUAYAQUIL | |

3.3.1 Datos informativos

Materia: Alta Tensión 1

No. De práctica 3

No. De estudiantes: 2

Nombre del docente: Ing. Ervin Solano, Ing. Roy Santana

Tiempo estimado: 2 horas

3.3.2 Datos de la práctica

Tema: Generación y Medición de Voltaje Alterno

Objetivo general:

- Generar alto voltaje alterno, usando el transformador de prueba y medir dicho voltaje por medio de varios métodos, ya que este tipo de voltaje a diferentes niveles es el más usado en la transmisión y distribución de energía eléctrica a nivel mundial.

Objetivos específicos:

- Generar alto voltaje alterno usando el transformador de prueba para reproducir la tensión usada en la distribución primaria y sub-transmisión de energía eléctrica.

- Medir el alto voltaje alterno generado usando varios métodos para reproducir el manejo que se le da a dicha tensión.

3.3.3 Marco teórico

En esta práctica se manejarán conceptos básicos de alta tensión.

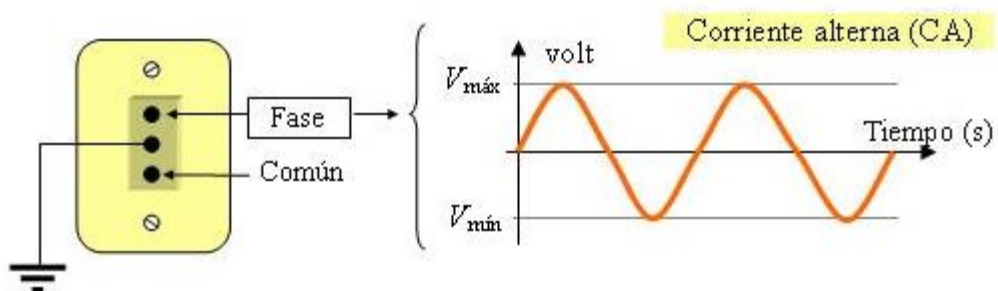
El concepto de corriente alterna y la causa de su uso en aplicaciones de alta tensión ya ha sido enunciado en este trabajo de titulación en este capítulo solo se dará un concepto general.

Corriente alterna: Es un flujo de electrones cuya dirección se invierte periódicamente, de forma que el valor medio a lo largo de un periodo es cero. La expresión matemática es la función seno o coseno y se utiliza en los sistemas de potencia a frecuencia de 50Hz en Europa y 60HZ en otros países como Estados Unidos. La función más usada para la generación de energía eléctrica es la onda seno, como se muestra a continuación.

$$V(t) = Vp.Sen(\omega t + \phi)$$

(Santamaría Herranz & Castejón Oliva, Electrotecnia)

Ilustración 62. Voltaje alterno, onda senoidal



(Educarchile.cl)

Efecto punta: En los conductores cargados terminados en punta la densidad eléctrica es tan elevada que las cargas eléctricas escapan repeliendo a los iones próximos del aire del mismo signo y atrayendo los iones de signo opuesto.

Este efecto es aprovechado en la fabricación de pararrayos que no son más que barras metálicas terminadas en puntas conectadas al suelo. Si una nube cargada se aproxima al edificio por un pararrayos protegido se inducirá una carga de signo

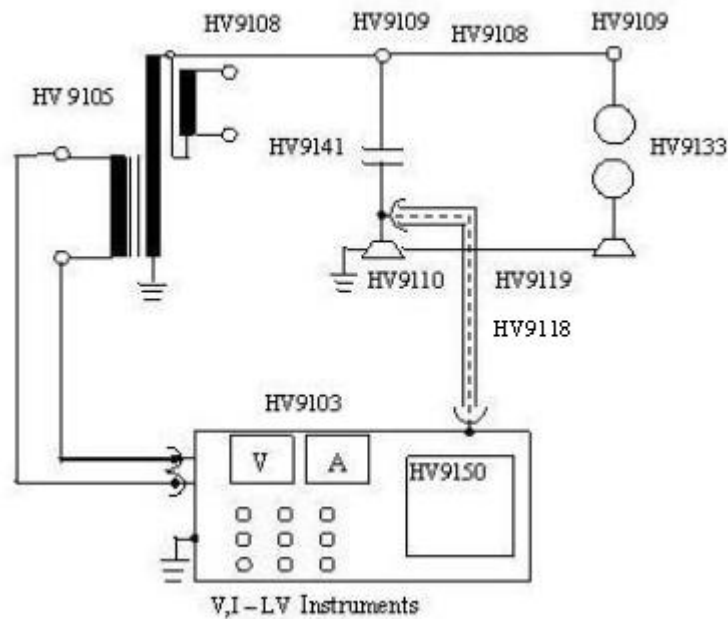
contrario en el pararrayos. Está electricidad escapará hacia las puntas por su alta densidad eléctrica, y si se produce una descarga el rayo encuentra un camino hacia el pararrayo gracias a los iones de aire próximos a las puntas, derivando por el pararrayo a tierra sin producir deterioros en el edificio.

(Aguilar Perís & Cenent, 2002)

3.3.4 Marco procedimental

- Recordar las normas de seguridad vigentes en el laboratorio.
- Comprobar que el escritorio de control este apagado.
- Abrir la jaula y armar el circuito tal como se muestra en la figura.

Ilustración 63. Circuito para Generación y Medición de Voltaje AC








(TERCO)

- Verificar que el circuito se haya armado correctamente.
- Conectar el Medidor de voltaje directo HV9150 del escritorio de control con el Capacitor de Medición HV9141 dentro de la jaula.
- Procedemos a encender el módulo de control. En el cual verificaremos visualmente que todos los aparatos de medida necesarios para la prueba estén encendidos y en sus valores mínimos.

- g) Variamos la distancia de separación entre esferas del espinterómetro para medición ya sea de forma manual o remota desde el escritorio de control, para valores de $s=10, 15, 20, 25$ y 30mm .
- h) Encendemos el primario y el secundario del transformador e incrementamos la tensión poco a poco hasta que se produzca la ruptura de la rigidez dieléctrica del aire. Por lo menos se debe producir 3 descargas para cada distancia y obtener un promedio.
- i) Tomamos los datos de voltaje en baja tensión (V_{BT}), corriente en baja tensión (I_{BT}), voltaje eficaz en alta tensión (U_{rmsAT}), voltaje de ruptura (U_{dAT}) y voltaje de ruptura rms ($U_{dAT}/\sqrt{2}$)
- j) Calculamos los datos de la relación de transformación del transformador de prueba tanto teórica como práctica y realizamos la comparación de ambas.
- k) Se conecta el osciloscopio para observar la forma de onda senoidal que se obtiene.
- l) Se repite el procedimiento con puntas y platos.

3.3.5 Recursos utilizados

| Nombre / Código | Imagen | Observación |
|------------------------------------|--|---|
| Escritorio de control HV-9103 |  <p>(Los autores)</p> | Se usa la conexión del Medidor de voltaje alterno HV-9150 |
| Transformador de prueba HV-9105 |  <p>(Los autores)</p> | Rel. de Transf.: 220V/100KV Capacidad: 5KVA |

| | | |
|--|---|---|
| <p>Capacitor para medición</p> <p>HV-9141</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Capacitancia: 100pF</p> <p>Con este capacitor se hará la conexión por cable hasta el Medidor de Voltaje alterno.</p> |
| <p>Espinterómetro de medición</p> <p>HV-9133</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Se debe conectar al escritorio de control si se desea variar la distancia de forma remota.</p> |
| <p>Osciloscopio</p> |  <p>Fuente: Direct Industry</p> | <p>Se puede utilizar un osciloscopio de propósito general.</p> |

3.3.6 Registro de resultados

Tabla 5. Prueba AC, Esfera- Esfera

| s (mm) | V_{BT} (V) | I_{BT} (A) | U_{rmsAT} (KV) | U_d (KV) | $U_d/\sqrt{2}$ (KV) | RT exp | Promedio |
|----------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|
| 10 | 32 | 0.8 | 15.54 | 24.36 | 16.8 | 485.63 | |
| | 32 | 0.8 | 17.13 | 25.43 | 17.54 | 535.31 | |
| | 32 | 0.8 | 17 | 24.94 | 17.2 | 531.25 | |
| Promedio | 32 | 0.8 | 16.56 | 24.91 | 17.18 | 517.4 | 517.4 |
| 15 | 52 | 1.3 | 26.03 | 39.61 | 27.32 | 500.58 | |
| | 52 | 1.3 | 25.62 | 37.7 | 26 | 492.69 | |
| | 52 | 1.3 | 26.03 | 39.59 | 27.32 | 500.58 | |
| Promedio | 52 | 1.3 | 25.89 | 38.97 | 26.87 | 497.95 | 497.95 |

| s (mm) | V_{BT} (V) | I_{BT} (A) | U_{rmsAT} (KV) | Ud (KV) | $Ud/\sqrt{2}$ (KV) | RT exp | Promedio |
|----------|-----------------|-----------------|---------------------|--------------|-----------------------|---------------|---------------|
| 20 | 72 | 1.8 | 36.31 | 53.36 | 36.8 | 504.31 | |
| | 72 | 1.8 | 35.9 | 50.92 | 35.12 | 498.61 | |
| | 71 | 1.8 | 35.94 | 50.94 | 35.13 | 506.2 | |
| Promedio | 71.67 | 1.8 | 36.05 | 51.74 | 35.68 | 503.04 | 503.04 |
| 25 | 80 | 2.1 | 40.16 | 60.54 | 41.75 | 502 | |
| | 80 | 2.1 | 42.8 | 65.98 | 45.5 | 535 | |
| | 80 | 2.1 | 41.12 | 65.54 | 45.15 | 514 | |
| Promedio | 80 | 2.1 | 41.36 | 64.02 | 44.15 | 517 | 517 |
| 30 | 90 | 2.2 | 44.52 | 66.57 | 45.91 | 494.67 | |
| | 90 | 2.2 | 44.4 | 65.98 | 45.5 | 493.33 | |
| | 90 | 2.2 | 42.83 | 65.54 | 45.2 | 475.89 | |
| Promedio | 90 | 2.2 | 43.92 | 66.03 | 45.54 | 487.97 | 487.97 |

(Los autores)

Tabla 6. Prueba AC, Plato- Plato

| s (mm) | V_{BT} (V) | I_{BT} (A) | U_{rmsAT} (KV) | Ud (KV) | $Ud/\sqrt{2}$ (KV) | RT exp | Promedio |
|----------|-----------------|-----------------|---------------------|--------------|-----------------------|---------------|---------------|
| 10 | 22 | 0.6 | 12.04 | 18.01 | 12.42 | 547.27 | |
| | 21 | 0.6 | 12.34 | 18.59 | 12.82 | 587.62 | |
| | 22 | 0.6 | 12.46 | 18.82 | 12.98 | 566.36 | |
| Promedio | 21.67 | 0.6 | 12.28 | 18.47 | 12.74 | 567.09 | 567.09 |
| 15 | 33 | 0.9 | 17.25 | 26.07 | 17.98 | 522.73 | |
| | 33 | 0.9 | 18.09 | 27.27 | 18.81 | 548.18 | |
| | 33 | 0.9 | 17.77 | 26.53 | 18.3 | 538.48 | |
| Promedio | 33 | 0.9 | 17.7 | 26.63 | 18.36 | 536.46 | 536.46 |
| 20 | 43 | 1.1 | 22.85 | 34.10 | 23.52 | 531.4 | |
| | 43 | 1.1 | 22.62 | 33.29 | 22.96 | 526.05 | |
| | 43 | 1.1 | 22.73 | 33.71 | 23.25 | 528.60 | |
| Promedio | 43 | 1.1 | 22.73 | 33.7 | 23.24 | 528.68 | 528.68 |

| s (mm) | V _{BT} (V) | I _{BT} (A) | Urms _{AT} (KV) | Ud (KV) | Ud/√2 (KV) | RT exp | Promedio |
|----------|------------------------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 25 | 49 | 1.3 | 25.21 | 37.66 | 25.97 | 514.49 | |
| | 49 | 1.3 | 25.85 | 38.32 | 26.43 | 527.55 | |
| | 49 | 1.3 | 25.43 | 38.00 | 26.21 | 518.98 | |
| Promedio | 49 | 1.3 | 25.50 | 37.99 | 26.20 | 520.34 | 520.34 |
| s (mm) | V _{BT} (V) | I _{BT} (A) | Urms _{AT} (KV) | Ud (KV) | Ud/√2 (KV) | RT exp | Promedio |
| 30 | 59 | 1.5 | 29.46 | 43.56 | 30.04 | 499.32 | |
| | 58 | 1.5 | 29.23 | 43.25 | 29.83 | 503.97 | |
| | 58 | 1.5 | 29.34 | 43.46 | 29.97 | 505.86 | |
| Promedio | 58.33 | 1.5 | 29.34 | 43.42 | 29.95 | 503.05 | 503.05 |

(Los autores)

Tabla 7. Prueba AC, Punta- Punta

| s (mm) | V _{BT} (V) | I _{BT} (A) | Urms _{AT} (KV) | Ud (KV) | Ud/√2 (KV) | RT exp | Promedio |
|----------|------------------------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 10 | 20 | 0.5 | 12.33 | 16.25 | 11.21 | 616.50 | |
| | 21 | 0.5 | 12.5 | 16.54 | 11.41 | 595.24 | |
| | 21 | 0.5 | 12.41 | 16.46 | 11.35 | 590.95 | |
| Promedio | 20.66 | 0.5 | 12.41 | 16.42 | 11.32 | 600.90 | 600.90 |
| 15 | 27 | 0.7 | 14.88 | 22.07 | 15.22 | 551.11 | |
| | 27 | 0.7 | 14.3 | 21.71 | 14.97 | 529.63 | |
| | 27 | 0.7 | 14.54 | 21.88 | 15.09 | 538.52 | |
| Promedio | 27 | 0.7 | 14.57 | 21.89 | 15.09 | 539.75 | 539.75 |
| 20 | 34 | 0.8 | 16.57 | 26.49 | 18.27 | 487.35 | |
| | 32 | 0.8 | 15.58 | 25.55 | 17.62 | 486.88 | |
| | 33 | 0.8 | 16.02 | 26.16 | 18.04 | 485.45 | |
| Promedio | 33 | 0.8 | 16.06 | 26.07 | 17.98 | 486.56 | 486.56 |
| 25 | 32 | 0.8 | 17.07 | 27.62 | 19.05 | 533.44 | |
| | 32 | 0.8 | 17.1 | 27.62 | 19.05 | 534.38 | |
| | 32 | 0.8 | 17.09 | 27.62 | 19.05 | 534.06 | |
| Promedio | 32 | 0.8 | 17.09 | 27.62 | 19.05 | 533.96 | 533.96 |

| s (mm) | V _{BT} (V) | I _{BT} (A) | U _{rmsAT} (KV) | U _d (KV) | U _d /√2 (KV) | RT exp | Promedio |
|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|---------------|---------------|
| 30 | 35 | 0.9 | 18.78 | 28.88 | 19.92 | 536.57 | |
| | 35 | 0.9 | 18.38 | 28.45 | 19.62 | 525.14 | |
| | 35 | 0.9 | 18.58 | 28.63 | 19.74 | 530.86 | |
| Promedio | 35 | 0.9 | 18.58 | 28.65 | 19.76 | 530.86 | 530.86 |
| PROMEDIO RT EXP | | | | | | | 524.73 |

(Los autores)

Para calcular la relación de transformación teórica (RT teórica) se necesitan los valores de voltaje nominales tanto del primario como del secundario del transformador.

Según los datos de placa del transformador sus voltajes nominales tanto del devanado primario, como del devanado secundario se muestra a continuación.

$$V_{nom_{BT}} = 220V$$

$$V_{nom_{AT}} = 100KV$$

La relación de transformación teórica es la siguiente.

$$RT_{teor} = \frac{V_{nom_{AT}}}{V_{nom_{BT}}} = \frac{100000}{220} = 454.54$$

Obtenemos el margen de error con el promedio de la relación de transformación experimental global, de todas las configuraciones y el valor de relación de transformación teórica obtenido por cálculos.

$$\epsilon = \frac{|Valor\ te\acute{o}rico - Valor\ experimental|}{Valor\ te\acute{o}rico} \cdot 100$$

$$\epsilon = \frac{|454.54 - 524.73|}{454.54} \cdot 100$$

$$\epsilon = 15.44\%$$

3.3.7 Conclusiones

- Se generó y se midió alto voltaje alterno por medio del capacitor para medición.
- Se obtuvo la relación de transformación tanto teórica como experimental y se obtuvo un margen de error bastante alto, por lo cual advertimos que se debe realizar una calibración del variac del escritorio de control.

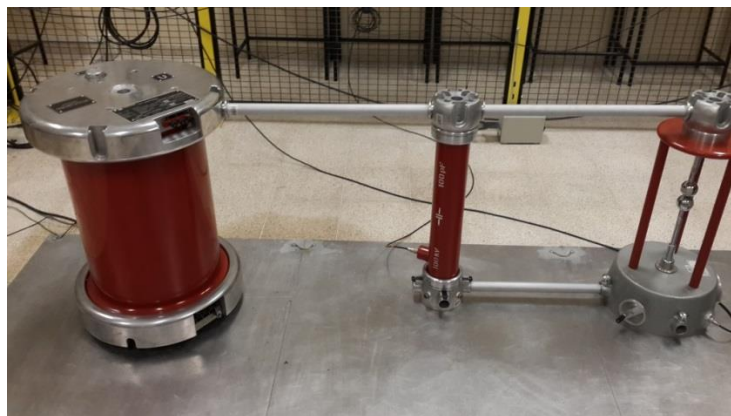
- Además se comprobó el efecto punta, se demostró que en las puntas la densidad de carga eléctrica es mucho mayor por su bajo volumen y superficie y causa que la ruptura de la rigidez dieléctrica del aire se de en valores más bajos que con las esferas y platos.

3.3.8 Recomendaciones

- Descargar los elementos al empezar, y culminar cada una de las pruebas.
- Incrementar el voltaje que le llega al transformador en pasos cortos de aproximadamente 5V en baja tensión por cada 2 segundo, de manera que no se obtengan lecturas erróneas al pasarse del voltaje de ruptura deseado.

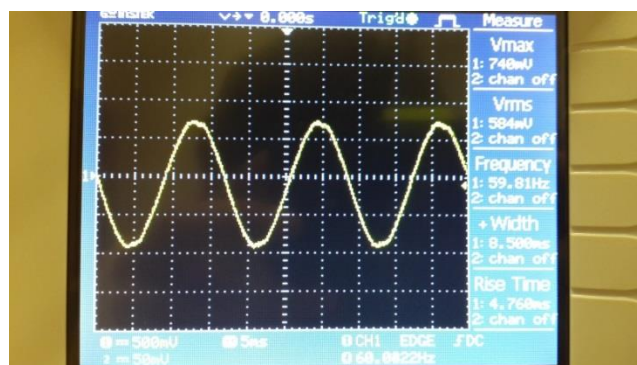
3.3.9 Anexos

Ilustración 64. Circuito Armado




(Los autores)

Ilustración 65. Forma de onda del voltaje AC observada en el osciloscopio



(Los autores)

3.4 Práctica IV- Generación y medición de voltaje directo I

| | | |
|---|--|------------|
| | | Revisión 1 |
|  | PRACTICA IV – GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE VOLTAJE DIRECTO I | |
| LABORATORIO | ALTA TENSIÓN | |
| CARRERA | INGENIERÍA ELÉCTRICA | |
| SEDE | GUAYAQUIL | |

3.4.1 Datos informativos

Materia: Alta Tensión 1

No. De práctica: 4

No. De estudiantes: 2

Nombre del docente: Ing. Ervin Solano, Ing. Roy Santana

Tiempo estimado: 2 horas

3.4.2 Datos de la práctica

Tema: Generación y Medición de voltaje directo I

Objetivo general:

- Generar alto voltaje directo usando un rectificador de media onda para medirlo con ayuda de la resistencia para medición y que sea mostrada en el medidor de voltaje directo.

Objetivos específicos:

- Generar alto voltaje directo por medio de un arreglo entre transformador, diodos rectificadores y capacitor de rizado.
- Medir el alto voltaje directo generado usando la resistencia para medición para comparar los valores entre un circuito con carga o sin carga.

3.4.3 Marco teórico

En esta práctica se manejarán conceptos básicos en alta tensión.

El concepto de corriente continua y la causa de su uso en aplicaciones de alta tensión ya ha sido enunciado en este trabajo de titulación en este capítulo solo se dará un concepto general, además el concepto de los diodos rectificadores también se lo enunció en la práctica 2 en esta parte ya no es necesario, solo recordar que se usan con la finalidad de dejar pasar la corriente en un solo sentido.

Corriente directa: Cuando el campo eléctrico aplicado al conductor tiene el mismo sentido, aunque varíe en intensidad, la corriente resultante se denomina continua. Tiene la propiedad de circular siempre en un mismo sentido, su amplitud no varía con el tiempo, y cuya frecuencia es cero.

(Santamaría Herranz & Castejón Oliva, Electrotecnia)

Ilustración 66. Voltaje continuo



(Portaleso.com)

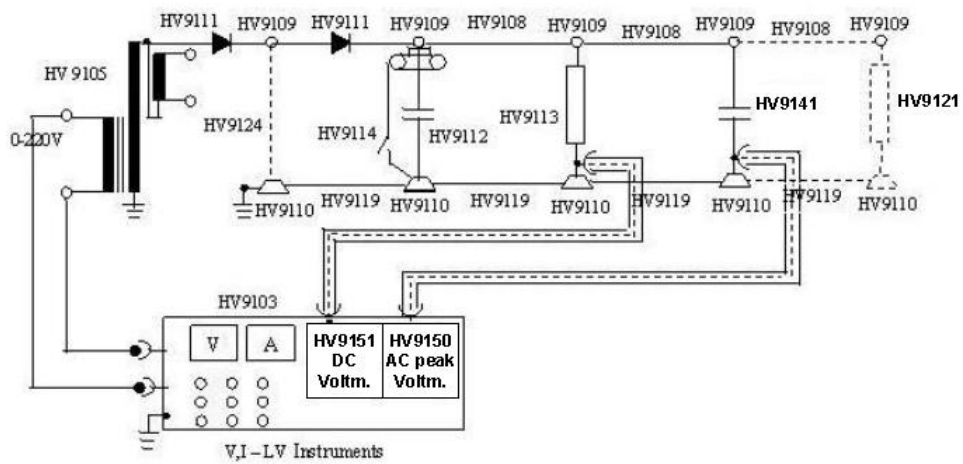
Factor de rizado: Es una medida o dato indicativo de la pureza de la tensión continua de salida del rectificador.

(Hermosa Donate, 1999)

3.4.4 Marco procedimental

- Recordar las normas de seguridad planteadas en la práctica número 1.
- Comprobar que el escritorio de control este apagado.
- Abrir la jaula y armar el circuito como se muestra en la figura sin la resistencia HV9121.

Ilustración 68. Circuito para generación y medición de voltajes DC y factor de rizado



(TERCO)


- l) Se repite el procedimiento tomando los valores de tensión media de rectificación ($V_{med_{rect}}$), tensión de rizado (V_{riz})
- m) Calcular el factor de rizado I_g por medio de la siguiente ecuación y su respectivo despeje.








$$V_{riz} = I_g \cdot \frac{1}{2 \cdot f \cdot C} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$I_g = V_{riz} \cdot 2 \cdot f \cdot C$$

- n) Obtener la ecuación de la recta I_g vs V_{riz} .
- o) Se repite todo el proceso aumentando el resistor de carga (HV9121) en ambos circuitos.

3.4.5 Recursos utilizados

| Nombre / Código | Imagen | Observación |
|----------------------------------|--|---|
| Escritorio de control HV-9103 |  (Los autores) | Se usa la conexión del HV-9150 y al HV9151, para el Medidor de voltaje alterno y directo respectivamente. |

| | | |
|--|--|--|
| <p>Transformador de prueba HV-9105</p> |  (Los autores) | <p>Rel. de Transf.: 220V/100KV Capacidad: 5KVA</p> |
| <p>Capacitor de impulso HV-9112</p> |  (Los autores) | <p>Capacitancia: 25000pF</p> |
| <p>Resistencia para medición HV-9113</p> |  (Los autores) | <p>R=280 MΩ Con esta resistencia se hará la conexión por cable hasta el Medidor de Voltaje directo.</p> |
| <p>Capacitor para medición HV-9141</p> |  (Los autores) | <p>Capacitancia: 100pF Con esta resistencia se hará la conexión por cable hasta el Medidor de Voltaje alterno.</p> |
| <p>Rectificador de Silicio HV-9111</p> |  (Los autores) | <p>Voltaje máx.: 140KV Resistencia de protección: 100KΩ</p> |
| <p>Barra aislante HV-9124</p> |  (Los autores) | <p>Voltaje AC nom.: 100KV Voltajes DC y voltajes de impulso nom.: 140 KV</p> |
| <p>Resistencia de carga HV9121</p> |  (Los autores) | <p>Resistencia: 10MΩ</p> |

| | | |
|--------------|--|---|
| Osciloscopio |  Fuente: Direct Industry | Se puede utilizar un osciloscopio de propósito general. |
|--------------|--|---|

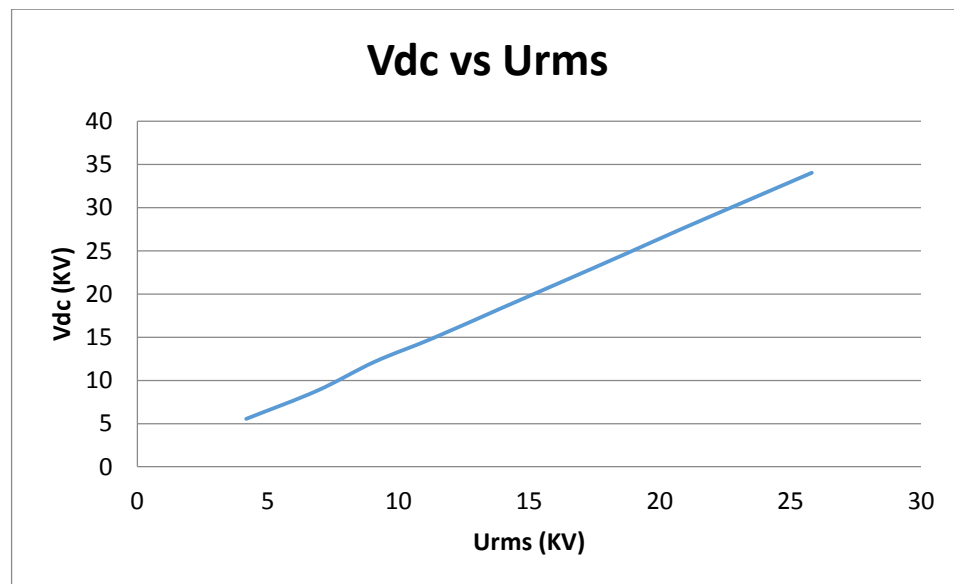
3.4.6 Registro de resultados

Tabla 8. Valores de voltaje ac y dc en alta tensión. CRS sin carga ($R=\infty\Omega$)

| V_{BT} (V) | I_{BT} (A) | U_{rmsAT} | \hat{U}_{AT} (KV) | V_{dcAT} (KV) |
|--------------|--------------|-------------|---------------------|-----------------|
| 5 | 0.2 | 4.17 | 5.78 | 5.55 |
| 10 | 0.3 | 6.88 | 9.51 | 8.8 |
| 15 | 0.4 | 9.08 | 12.51 | 12.15 |
| 20 | 0.5 | 11.29 | 15.52 | 14.85 |
| 25 | 0.6 | 13.92 | 19.13 | 18.34 |
| 30 | 0.7 | 16 | 21.98 | 21.08 |
| 35 | 0.8 | 18.73 | 25.67 | 24.7 |
| 40 | 0.9 | 20.8 | 28.54 | 27.49 |
| 45 | 1 | 23.16 | 31.75 | 30.57 |
| 50 | 1.1 | 25.82 | 35.35 | 34.04 |

(Los autores)

Ilustración 69. Gráfica V_{dc} vs. U_{rms} . Circuito rectificador simple sin carga ($R=\infty\Omega$)



(Los autores)

La ecuación de la recta obtenida:

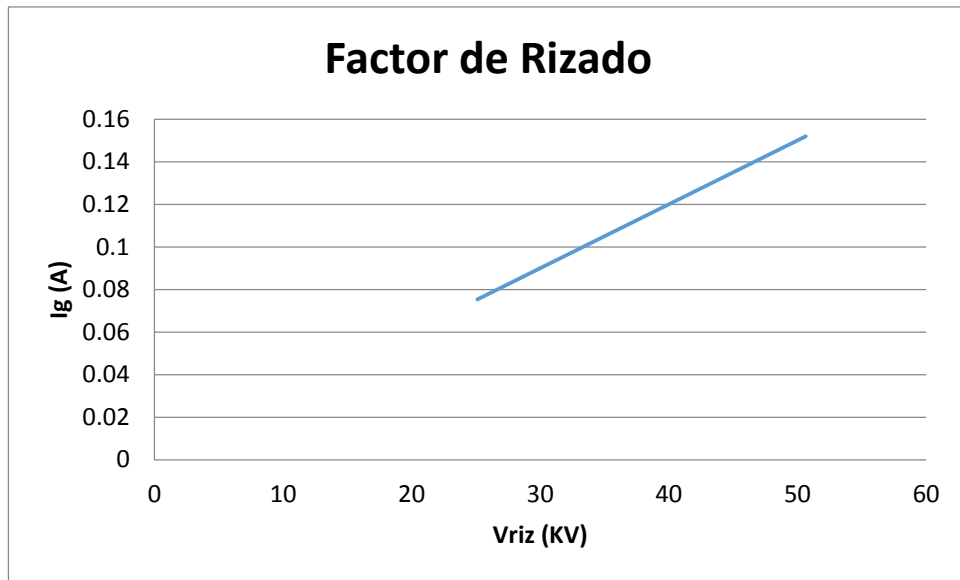
$$V_{dc} = 1.316U_{rms} + 0.063 \quad (\text{Ec. 5})$$

Tabla 9. Valores de voltaje y corriente rectificada. CRS sin carga ($R=\infty\Omega$)

| $V_{med_{rect}}$ (KV) | V_{riz} (KV) | I_g (A) |
|-----------------------|----------------|-----------|
| 17.8085106 | 25.11 | 0.07533 |
| 26.2056738 | 36.95 | 0.11085 |
| 35.9219858 | 50.65 | 0.15195 |

(Los autores)

Ilustración 70. Gráfica I_g vs. V_{riz} , Circuito rectificador simple sin carga ($R=\infty\Omega$)



(Los autores)

La ecuación obtenida a través de la gráfica es:

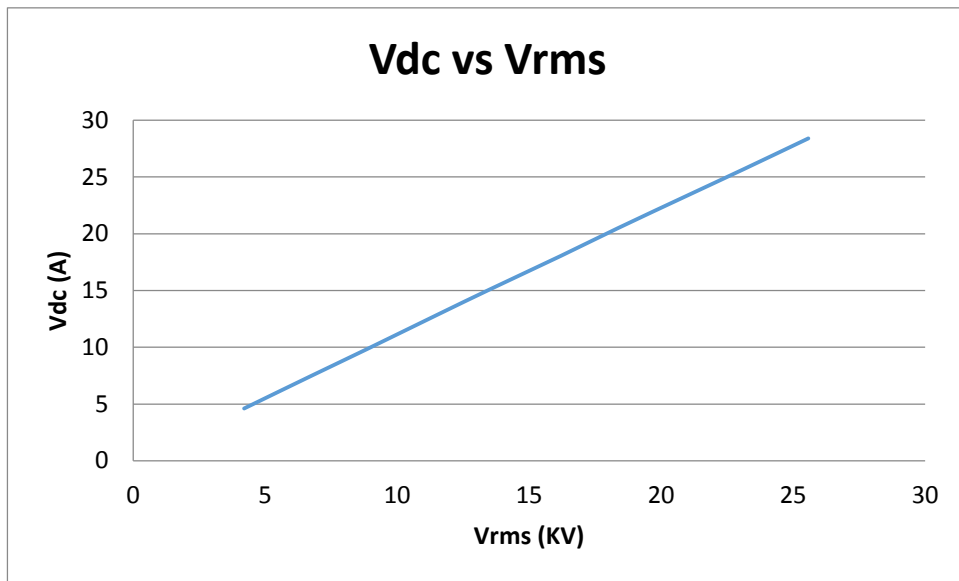
$$I_g = 3e^{-3} \cdot V_{riz} \quad (\text{Ec. 6})$$

Tabla 10. Valores de voltaje ac y dc en alta tensión. CRS con carga ($R=10M\Omega$)

| V_{BT} (V) | I_{BT} (A) | U_{rmsAT} | \hat{U}_{AT} (KV) | V_{dcAT} (KV) |
|--------------|--------------|-------------|---------------------|-----------------|
| 5 | 0.3 | 4.2 | 5.5 | 4.61 |
| 10 | 0.5 | 6.76 | 8.81 | 7.5 |
| 15 | 0.8 | 8.9 | 11.57 | 9.89 |
| 20 | 1 | 11.49 | 14.94 | 12.83 |
| 25 | 1.2 | 13.53 | 17.58 | 15.12 |
| 30 | 1.5 | 16.21 | 20.96 | 18.06 |
| 35 | 1.8 | 18.37 | 23.7 | 20.5 |
| 40 | 2 | 20.96 | 26.95 | 23.33 |
| 45 | 2.3 | 23.14 | 29.65 | 25.7 |
| 50 | 2.5 | 25.58 | 32.64 | 28.4 |

(Los autores)

Ilustración 71. Gráfica Vdc vs Urms. Circuito rectificador con carga (R=10MΩ)



(Los autores)

La ecuación de la recta resultante:

$$V_{dc} = 1.113U_{rms} + 0.065 \quad (\text{Ec. 7})$$

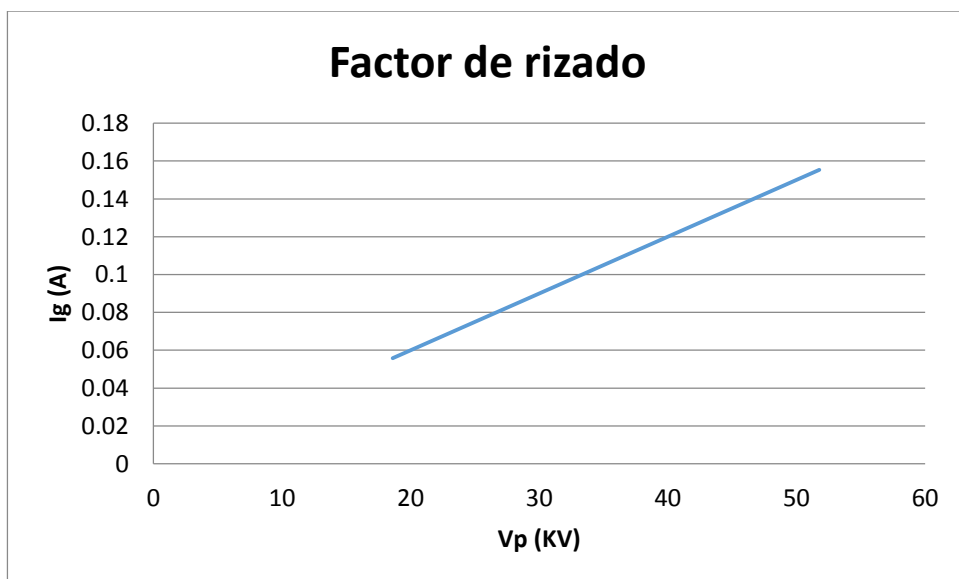
7)

Tabla 11. Valores de voltaje y corriente rectificada. CRS con carga (R=10MΩ)

| $V_{med_{rect}}$ (KV) | V_{riz} (KV) | I_g (A) |
|-----------------------|----------------|-----------|
| 13.1914894 | 18.6 | 0.0558 |
| 21.5886525 | 30.44 | 0.09132 |
| 29.858156 | 42.1 | 0.1263 |
| 36.7234043 | 51.78 | 0.15534 |

(Los autores)

Ilustración 72. Gráfica Ig vs Vríz. Circuito rectificador simple con carga (R=10MΩ)



(Los autores)

La ecuación obtenida a través de la gráfica es:

$$I_g = 3e^{-3} \cdot V_{riz} \quad (\text{Ec. 8})$$

3.4.7 Conclusiones

- Se generó y se midió alto voltaje directo.
- Se obtuvo el factor de rizado (I_g) y se comprobó que el factor de rizado no varía si se inserta carga al circuito.
- Analizando las tablas y gráficas que relacionan tanto los voltajes en baja tensión, voltajes ac y dc en alta tensión, podemos concluir que mientras más carga exista mayor será la corriente y menor será el voltaje.

3.4.8 Recomendaciones

- Descargar los elementos al empezar, y culminar cada una de las pruebas.
- En experimentos con alto voltaje directo se debe tomar en cuenta descargar los capacitores ya que pueden quedar cargados durante largos periodos de tiempo

3.4.9 Anexos

Ilustración 73. Circuito rectificador simple sin resistencia de carga ($R=\infty \Omega$)




(Los autores)

Ilustración 74. Circuito rectificador simple con resistencia de carga ($R=10\text{ M}\Omega$)



(Los autores)

3.5 Práctica V - Generación y Medición de voltaje directo II

| | | |
|---|--|------------|
| | | Revisión 1 |
|  | PRACTICA V – GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE VOLTAJE DIRECTO II | |
| LABORATORIO | ALTA TENSIÓN | |
| CARRERA | INGENIERÍA ELÉCTRICA | |
| SEDE | GUAYAQUIL | |

3.5.1 Datos informativos

Materia: Alta Tensión 1

No. De práctica: 5

No. De estudiantes: 2

Nombre del docente: Ing. Ervin Solano, Ing. Roy Santana

Tiempo estimado: 2 horas

3.5.2 Datos de la Práctica

Tema: Generación y Medición de Voltaje Directo II

Objetivo general:

- Conocer el funcionamiento de los circuitos multiplicadores de tensión por medio del circuito duplicador de tensión de Greinacher para explicar el efecto polaridad.

Objetivos específicos:

- Generar alto voltaje directo por medio del circuito duplicador de tensión de Greinacher para introducirnos al estudio de los circuitos multiplicadores de tensión.
- Demostrar el efecto polaridad por medio de un arreglo de puntas y platos para plantear hipótesis sobre la explicación de este fenómeno.

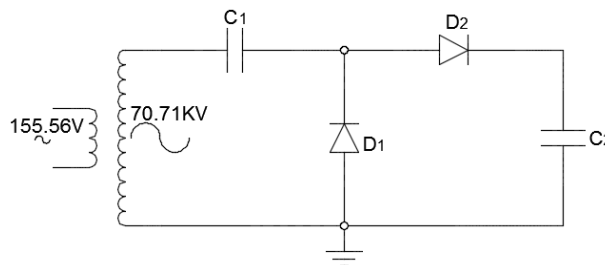
3.5.3 Marco Teórico

Esta práctica es también orientada a la generación y medición de alta tensión directa para lo cual se debe recordar el concepto de corriente continua estudiada en la práctica anterior.

Además estudiaremos el circuito doblador de tensión de Greinacher y el efecto polaridad.

Circuito duplicador de tensión de Greinacher: Es un arreglo de 2 diodos rectificadores y dos capacitores del mismo valor que conforman un doblador de voltaje de media onda con la particularidad que dobla la tensión suministrada.

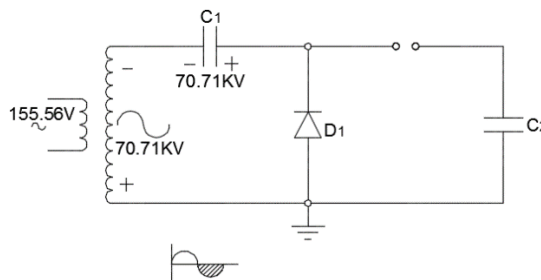
Ilustración 75. Circuito duplicador de Tensión de Greinacher



(Los autores)

Para analizar el circuito debemos analizar por semiciclo, empezaremos por el semiciclo negativo en el cual solo se carga el capacitor C1 ya que el capacitor queda aislado ya que D2 no deja pasar la corriente.

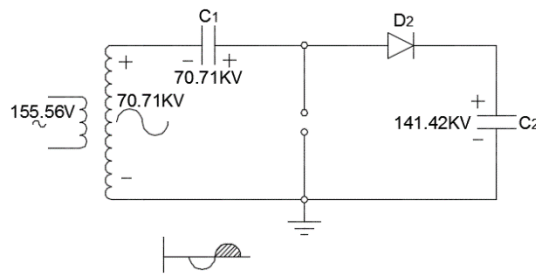
Ilustración 76. Circuito duplicador de Tensión de Greinacher, semiciclo negativo.



(Los autores)

El capacitor C1 quedó cargado, ahora analicemos el otro semiciclo en el cual D1 no conduce, en cambio D2 conduce de manera que en el capacitor C2 obtenemos la suma del voltaje del transformador más el voltaje del capacitor C1.

Ilustración 77. Circuito duplicador de Tensión de Greinacher, semiciclo positivo

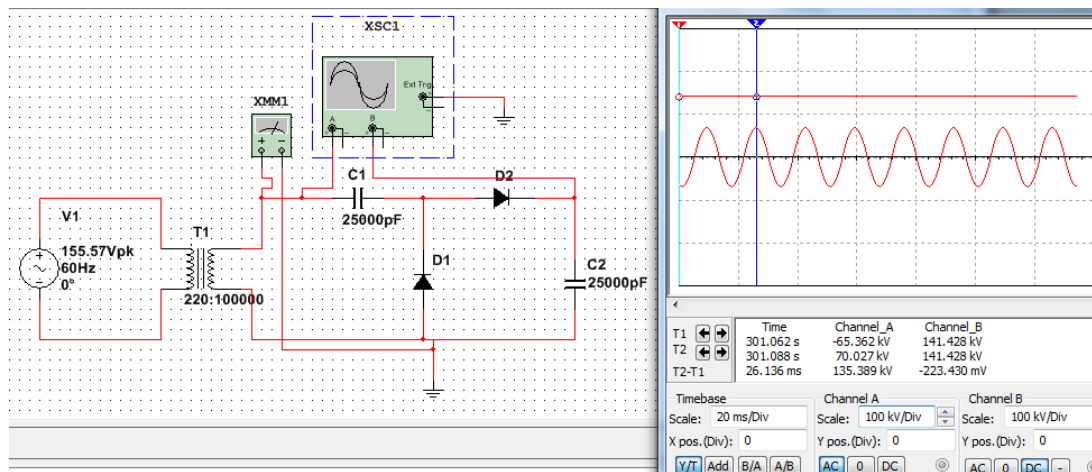


(Los autores)

(Aranzabal Olea, 2001)

En la siguiente ilustración se muestra la simulación del Circuito doblador de Greinacher con los mismos valores descritos en la ilustración anterior.

Ilustración 78. Simulación en NI MULTISIM™ del circuito doblador de tensión



(Los autores)

Podemos observar que el voltaje en el canal 2 del osciloscopio medido en el capacitor 2 es de 141.42KV, mientras que el voltaje pico aproximado a la salida del transformador mostrado en el canal 1 es de 70.027KV.

Efecto Polaridad: Es el efecto para el cual el voltaje de ruptura a través de gases que separa dos electrodos, uno de los cuales está en punta, es mucho mayor cuando el electrodo de punta es el cátodo.

En un electrodo con fuerte curvatura en el aire, los resultados de ionización son la colisión cuando se sobrepasa la tensión de inicio. A causa de su alta movilidad, los electrones abandonan rápidamente la región de ionización del campo eléctrico. Los

iones más lentos en acumular una espacio de carga positiva en frente del electrodo de punta y cambiar la distribución potencial.

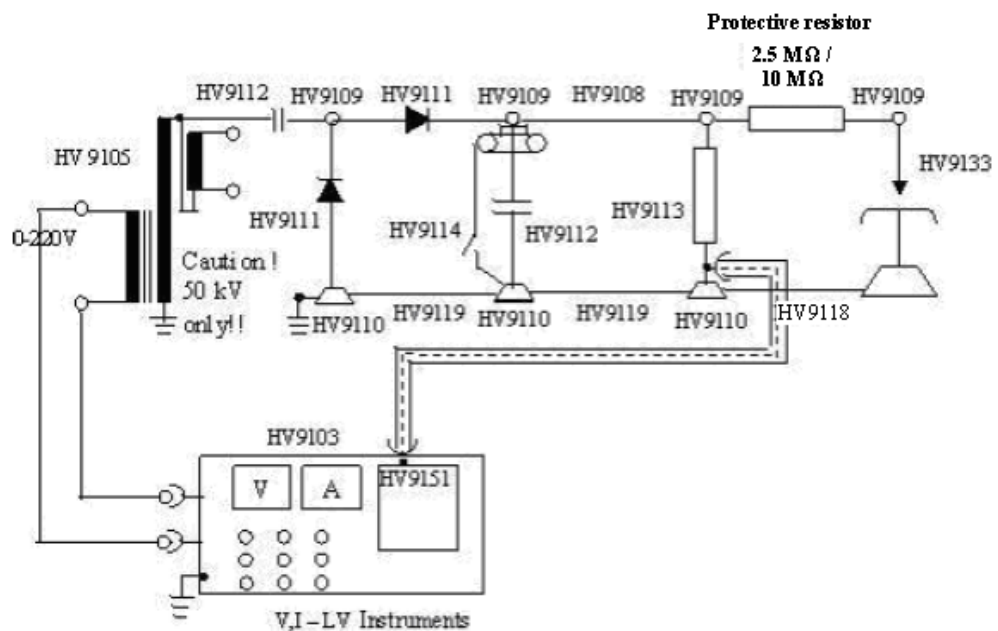
Cuando el electrodo punta es negativo, los electrones se mueven hacia la placa. Los iones restantes originan que las fuerzas de campo sean muy elevadas en la punta del electrodo, mientras que el resto de la región campo muestra sólo ligeras diferencias de potencial. Esto evita que el crecimiento de los canales de descarga en la dirección de la placa.

(TERCO)

3.5.4 Marco procedimental

- Recordar las normas de seguridad planteadas en la práctica número 1.
- Comprobar que el escritorio de control este apagado.
- Armar el circuito de la figura posterior.

Ilustración 79. Circuito duplicador de tensión de Greinacher, punta positiva







(TERCO)

- Verificar que el circuito se haya armado correctamente.
- Conectar el Medidor de voltaje directo HV9151 con la Resistencia para medición HV9113

- f) Proceder a encender el módulo de control. En el cual verificaremos que todos los controles necesarios estén encendidos y los medidores en sus valores mínimos.
- g) Variamos la distancia de separación entre punta y placa del espinterómetro ya sea de forma manual o remota desde el tablero para valores de $S=10, 20, 30, 40, 50, 60, 70$ y 80 mm.
- h) Encendemos el primario y el secundario del transformador y aumentamos la tensión hasta que se produzca la ruptura de la rigidez dieléctrica del aire.
- i) Tomamos los datos de voltaje en baja tensión (V_{BT}), corriente en baja tensión (I_{BT}), voltaje dc en alta tensión (V_{dcAT}).
- j) Graficar V_{dcAT} vs. S .
- k) Obtener la ecuación de la recta por medio de la gráfica resultante.
- l) Apagar el secundario y luego el primario del transformador.
- m) Descargar todos los elementos y cambiar electrodo de punto que estaba en el ánodo al cátodo, y de igual manera el electrodo de placa que estaba en el cátodo al ánodo.
- n) Repetir el procedimiento desde el literal g hasta el literal k.

3.5.5 Recursos utilizados

| Nombre / Código | Imagen | Observación |
|------------------------------------|--|---|
| Escritorio de control HV-9103 |  (Los autores) | Se usa la conexión del HV-9150 y al HV9151, para el Medidor de voltaje alterno y directo respectivamente. |
| Transformador de prueba HV-9105 |  (Los autores) | Rel. de Transf.: 220V/100KV Capacidad: 5KVA |

| | | |
|---------------------------------------|--|---|
| Capacitor de impulso HV-9112 |  (Los autores) | Capacitancia: 25000pF |
| Resistencia para medición HV-9113 |  (Los autores) | R=280 MΩ Con esta resistencia se hará la conexión por cable hasta el Medidor de Voltaje directo. |
| Espinterómetro de medición HV-9133 |  (Los autores) | Se debe conectar al escritorio de control si se desea variar la distancia de forma remota. |
| Rectificador de Silicio HV-9111 |  (Los autores) | Voltaje máx.: 140KV Resistencia de protección: 100KΩ |
| Resistencia de carga HV9121 |  (Los autores) | Resistencia: 10MΩ |

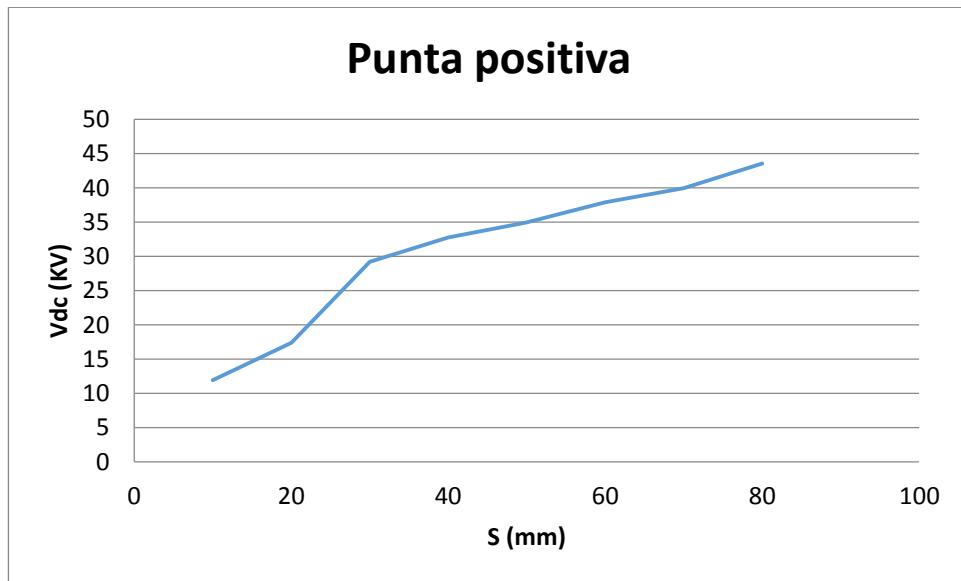
3.5.6 Registro de resultados

Tabla 12. Prueba con punta en ánodo

| S (mm) | V _{BT} (V) | I _{BT} (A) | V _{dcAT} (KV) |
|--------|---------------------|---------------------|------------------------|
| 10 | 5 | 0.2 | 11.91 |
| 20 | 10 | 0.3 | 17.42 |
| 30 | 20 | 0.6 | 29.24 |
| 40 | 23 | 0.6 | 32.75 |
| 50 | 25 | 0.6 | 34.95 |
| 60 | 28 | 0.6 | 37.93 |
| 70 | 29 | 0.6 | 39.95 |
| 80 | 32 | 0.7 | 43.56 |

(Los autores)

Ilustración 80. Gráfica Vdc vs. S, Punta en ánodo



(Los autores)

Linealizando la gráfica anterior, tenemos:

$$V_{dc} = 0.452 S + 7.39$$

(Ec. 9)

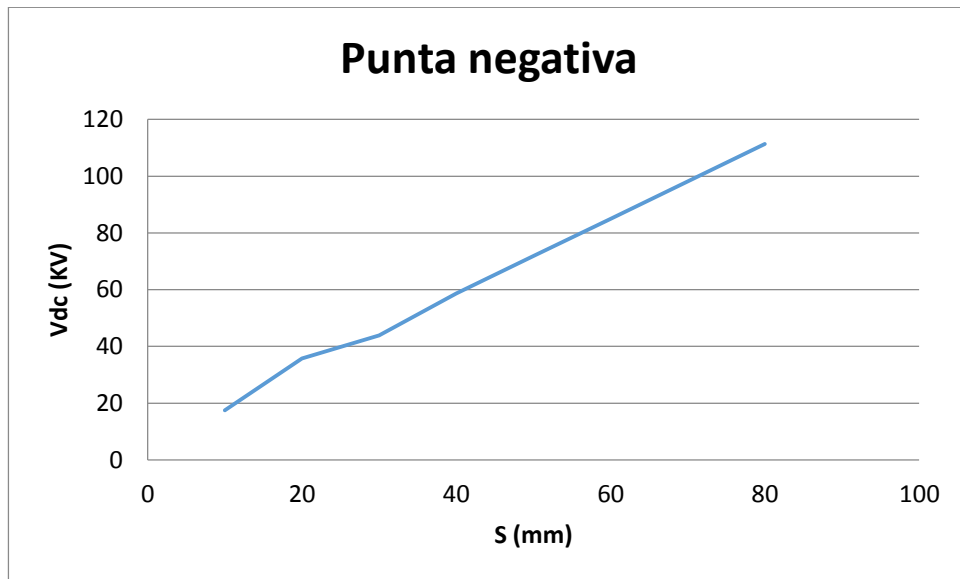
Tabla 13. Prueba con punta en cátodo

| S (mm) | V _{BT} (V) | I _{BT} (A) | V _{dcAT} (KV) |
|--------|---------------------|---------------------|------------------------|
| 10 | 10 | 0.4 | 17.54 |
| 20 | 25 | 0.8 | 35.77 |
| 30 | 38 | 1.1 | 43.84 |
| 40 | | | *58.68 |
| 50 | | | *71.83 |
| 60 | | | *84.98 |
| 70 | | | *98.13 |
| 80 | | | *111.28 |

(Los autores)

*Los valores de Voltaje dc en alta tensión (V_{dcAT}) obtenidos a partir de una distancia de separación de 40mm son mayores a 50KV, por seguridad no se trabaja con voltajes mayores a 50KV, los valores presentados fueron calculados ya que es una función lineal.

Ilustración 81. Gráfica Vdc vs. S, Punta en cátodo



(Los autores)

Obtenemos la ecuación, linealizando la gráfica:

$$Vdc = 1.315 S + 4.39 \quad (\text{Ec. 10})$$

3.5.7 Conclusiones

- Se generó y se midió alto voltaje directo.
- Se comprobó que cuando se coloca el electrodo punta en el cátodo se necesita una mayor tensión de ruptura V_{dcAT}

3.5.8 Recomendaciones


- Descargar los elementos al empezar, y culminar cada una de las pruebas.
- Incrementar el voltaje que alimenta al transformador en pasos cortos.

3.5.9 Anexos

Video # 1 adjunto en CD: Punta en ánodo

Video # 2 adjunto en CD: Punta en cátodo

3.6 Práctica VI - Generación y medición de voltajes de impulso I

| | | |
|---|--|------------|
| | | Revisión 1 |
|  | PRACTICA VI – GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE VOLTAJES DE IMPULSO I | |
| LABORATORIO | ALTA TENSION | |
| CARRERA | INGENIERÍA ELÉCTRICA | |
| SEDE | GUAYAQUIL | |

3.6.1 Datos informativos

Materia: Alta Tensión 1

No. De práctica: 6

No. De estudiantes: 2

Nombre del docente: Ing. Ervin Solano, Ing. Roy Santana

Tiempo estimado: 2 horas

3.6.2 Datos de la práctica

Tema: Generación y Medición de voltajes de impulso I

Objetivo general:

- Conocer el funcionamiento de los circuitos generadores de impulso tipo rayo de una etapa para ser medidos sin carga.

Objetivos específicos:

- Conocer los diferentes circuitos generadores de impulso tipo rayo y explicar su funcionamiento.
- Estudiar las características de la onda de voltaje de impulso tipo rayo.

3.6.3 Marco teórico

En esta práctica se estudiará los diferentes tipos de circuitos generadores de impulso, para esto debemos conocer de antemano que es un impulso.

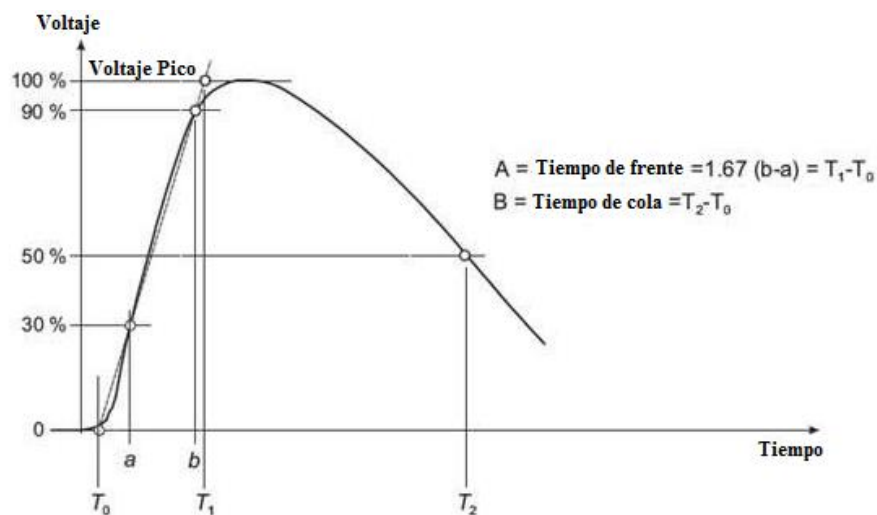
Impulso: Un impulso se define como un transitorio aperiódico de tensión o corriente aplicado, el cual, el cual usualmente tiene rápidos levantamientos a tensión máxima para luego caer a cero en forma más lenta. Dentro de los impulsos se diferencian los impulsos tipo rayo y tipo maniobra los cuales difieren especialmente por los tiempos de duración.

En este apartado solo se estudiará el impulso tipo rayo ya que la universidad no cuenta con los elementos para realizar las pruebas de impulso tipo maniobra.

Impulso tipo rayo normalizado: Es aquel transitorio que reproduce el impulso generado por las descargas atmosféricas y que tiene una forma de onda 1.2/50 μ s, donde 1.2 μ s es el tiempo virtual de frente (T1) que está definido como 1.67 veces el intervalo de tiempo T entre el momento que el impulso va desde el 30 al 90% del valor cresta y 50 μ s es el tiempo virtual de medio valor que se define como el intervalo de tiempo entre el 30% del tiempo virtual de frente y el tiempo en el cual la tensión ha descendido hasta el 50% del valor de cresta.

(Normas técnicas para los ensayos de alta tensión, 2005)

Ilustración 82. Forma de onda normalizada 1.2/50 μ s



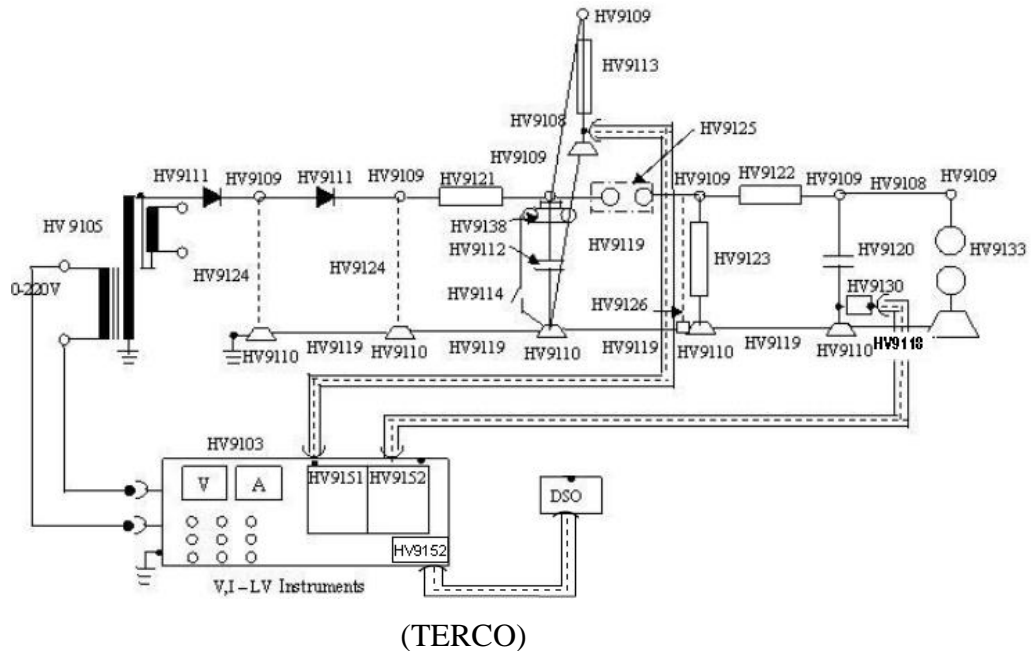
(Texas Instruments)

3.6.4 Marco procedimental

- Recordar las normas de seguridad planteadas en la práctica número 1.
- Comprobar que el escritorio de control este apagado.

- c) Abrir la jaula y armar el circuito de la figura.






Ilustración 83. Circuito Generador de Impulsos de Tensión










- d) Verificar que el circuito se haya armado correctamente.
- e) Conectar el Medidor de voltaje directo HV9151 con la Resistencia para medición HV9113 y realizar la conexión del Medidor de voltaje de impulso HV9152 con el Capacitor de Carga.
- f) Proceder a encender el módulo de control. En el cual verificaremos que todos los controles necesarios estén encendidos.
- g) Variamos la distancia de separación entre las esferas del espinterómetro ya sea de forma manual o remota desde el tablero de control para valores de $s = 5, 8, 10, 15, 20, 25$ mm
- h) Encendemos el primario y el secundario del transformador y aumentamos la tensión hasta que se produzca el primer impulso para cada distancia antes ajustada.
- i) Tomamos los datos de voltaje en baja tensión (V_{BT}), corriente en baja tensión (I_{BT}), voltaje dc en alta tensión (V_{dcAT}), voltaje de impulso (V_{pulse}).
- j) Para valores de 5, 8 y 10mm se puede visualizar en el osciloscopio, la onda completa.
- k) Apagar el secundario y luego el primario del transformador, descargar y cambiar a otro valor de distancia.

1) Calcular la eficiencia del circuito.

3.6.5 Recursos utilizados

| Nombre / Código | Imagen | Observación |
|--|--|--|
| <p>Escritorio de control HV-9103</p> |  (Los autores) | <p>Se usa la conexión del HV-9150 y al HV9151, para el Medidor de voltaje alterno y directo respectivamente.</p> |
| <p>Transformador de prueba HV-9105</p> |  (Los autores) | <p>Rel. de Transf.: 220V/100KV Capacidad: 5KVA</p> |
| <p>Capacitor de impulso HV-9112</p> |  (Los autores) | <p>Capacitancia: 25000pF</p> |
| <p>Resistencia para medición HV-9113</p> |  (Los autores) | <p>R=280 MΩ Con esta resistencia se hará la conexión por cable hasta el Medidor de Voltaje directo.</p> |
| <p>Espinterómetro HV 9125</p> |  (Los autores) | <p>Distancia de separación max. entre esferas: 80mm</p> |

| | | |
|---|--|---|
| <p>Timonel del espinterómetro HV 9126</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Se conecta al escritorio de control para que el espinterómetro sea manejado de forma remota.</p> |
| <p>Rectificador de Silicio HV-9111</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Voltaje máx.: 140KV Resistencia de protección: 100KΩ</p> |
| <p>Resistencia de carga HV9121</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Resistencia: 10 MΩ</p> |
| <p>Resistencia de frente de onda HV 9122</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Rd= 350 Ω</p> |
| <p>Resistencia de cola de onda HV 9123</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Re= 2400 Ω</p> |
| <p>Capacitor de carga HV9120</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Cb= 1.2 nF</p> |
| <p>Barra aislante HV-9124</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Voltaje AC nom.: 100KV Voltajes DC y voltajes de impulso nom.: 140 KV</p> |

3.6.6 Registro de resultados

Tabla 14. Impulsos de tensión generados sin carga

| s (mm) | V _{BT} (V) | I _{BT} (A) | V _{dCAT} | V _{pulseAT} | η |
|-----------------|---------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 5 | 33 | 0.4 | 18.95 | 11.65 | 0.61477573 |
| | 33 | 0.4 | 18.95 | 11.62 | 0.61319261 |
| | 33 | 0.4 | 18.99 | 11.62 | 0.611901 |
| PROMEDIO | 33 | 0.4 | 18.96 | 11.63 | 0.61 |
| 10 | 60 | 0.8 | 33.16 | 29.03 | 0.87545235 |
| | 60 | 0.8 | 33.22 | 31.87 | 0.95936183 |
| | 60 | 0.8 | 33.15 | 31.81 | 0.95957768 |
| PROMEDIO | 60 | 0.8 | 33.18 | 30.90 | 0.93 |
| 15 | 87 | 1.1 | 47.49 | 40.06 | 0.84354601 |
| | 88 | 1.1 | 47.65 | 40.63 | 0.85267576 |
| | 88 | 1.1 | 47.8 | 40.49 | 0.84707113 |
| PROMEDIO | 87.67 | 1.1 | 47.65 | 40.39 | 0.85 |
| 20 | 113 | 1.5 | 59.93 | 58.1 | 0.96946438 |
| | 114 | 1.5 | 59.57 | 58 | 0.97364445 |
| | 114 | 1.5 | 59.69 | 57.9 | 0.97001173 |
| PROMEDIO | 113.67 | 1.5 | 59.73 | 58 | 0.97 |
| 25 | 136 | 1.7 | 72.63 | 67.33 | 0.9270274 |
| | 136 | 1.7 | 72.78 | 65.74 | 0.90327013 |
| | 136 | 1.7 | 72.69 | 65.68 | 0.90356308 |
| PROMEDIO | 136 | 1.7 | 72.7 | 66.25 | 0.91128687 |

(Los autores)

3.6.7 Conclusiones

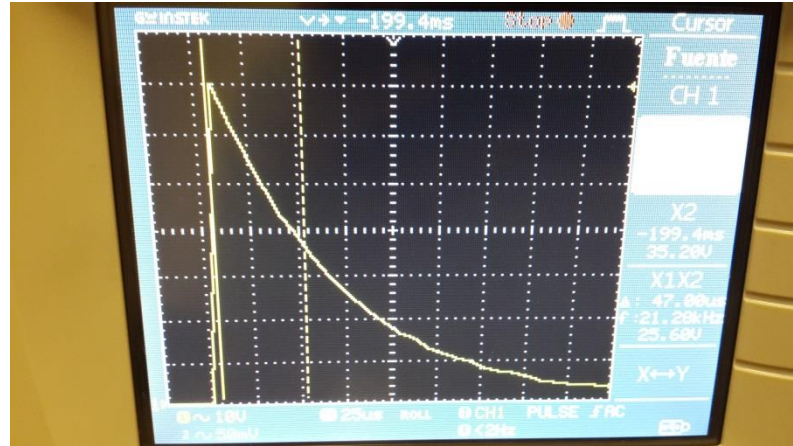
- Se generó y se midió voltajes de impulso sin ningún tipo de carga.
- Se comprobó que el circuito generador de impulso a vacío sin carga tiene una eficiencia cambiante, no lineal, la cual en este caso se obtuvo el mejor valor cuando la distancia de separación entre esferas del espinterómetro es de 20mm.

3.6.8 Recomendaciones

- Descargar los elementos al empezar, y culminar cada una de las pruebas.
- Incrementar el voltaje que le llega al transformador en pasos cortos.
- Tomar varias medidas a la misma distancia y calcular un promedio, ya que los valores pueden ser muy cambiantes.


3.6.9 Anexos

Ilustración 84. Voltaje de Impulso visto desde osciloscopio



(Los autores)

3.7 Práctica VII - Generación y medición de voltajes de impulso II

| | | |
|---|--|------------|
| | | Revisión 1 |
|  | PRACTICA VII – GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE VOLTAJES DE IMPULSO II | |
| LABORATORIO | ALTA TENSION | |
| CARRERA | INGENIERÍA ELÉCTRICA | |
| SEDE | GUAYAQUIL | |

3.7.1 Datos informativos

Materia: Alta tensión 1

No. De práctica: 7

No. De estudiantes: 2

Nombre Del Docente: Ing. Ervin Solano, Ing. Roy Santana

Tiempo estimado: 2 horas

3.7.2 Datos de la práctica

Tema: Generación y Medición de voltajes de impulso I

Objetivo general:

- Conocer el funcionamiento de los circuitos generadores de impulso tipo rayo de una etapa para ser medidos con un aislador de carga.

Objetivos específicos:



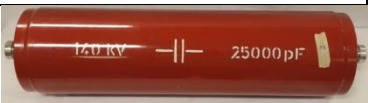
- Conocer cómo se comporta el circuito generador de impulso bajo condiciones de carga.
- Diferenciar entre la generación de impulsos a vacío y con carga.









3.7.3 Marco teórico


En esta práctica se someterá a prueba de impulso tipo rayo un elemento muy utilizado en alta tensión como lo es el aislador, este debe soportar los diferentes

- g) Variamos la distancia de separación entre las esferas del espinterómetro ya sea de forma manual o remota desde el tablero para valores de $s = 5, 10, 15, 20, 25$ mm
- h) Encendemos el primario y el secundario del transformador y aumentamos la tensión hasta que se produzca el primer impulso de acuerdo la distancia antes ajustada.
- i) Tomamos los datos de voltaje en baja tensión (V_{BT}), corriente en baja tensión (I_{BT}), voltaje dc en alta tensión (V_{dcAT}), voltaje de impulso (V_{pulse}).
- j) Para valores de 5 y 10mm se puede visualizar en el osciloscopio, la onda completa.
- k) Apagar el secundario y luego el primario del transformador, descargar y cambiar a otro valor de distancia.
- l) Calcular la eficiencia del circuito.

3.7.5 Recursos utilizados

| Nombre / Código | Imagen | Observación |
|------------------------------------|--|---|
| Escritorio de control HV-9103 |  (Los autores) | Se usa la conexión del HV-9150 y al HV9151, para el Medidor de voltaje alterno y directo respectivamente. |
| Transformador de prueba HV-9105 |  (Los autores) | Rel. de Transf.: 220V/100KV Capacidad: 5KVA |
| Capacitor de impulso HV-9112 |  (Los autores) | Capacitancia: 25000pF |

| | | |
|--|--|---|
| Resistencia para medición HV-9113 |  (Los autores) | R=280 MΩ Con esta resistencia se hará la conexión por cable hasta el Medidor de Voltaje directo. |
| Espinterómetro HV 9125 |  (Los autores) | Distancia de separación max. entre esferas: 80mm |
| Timonel del espinterómetro HV 9126 |  (Los autores) | Se conecta al escritorio de control para que el espinterómetro sea manejado de forma remota. |
| Rectificador de Silicio HV-9111 |  (Los autores) | Voltaje máx.: 140KV Resistencia de protección: 100KΩ |
| Resistencia de carga HV9121 |  (Los autores) | Resistencia: 10 MΩ |
| Resistencia de frente de onda HV 9122 |  (Los autores) | Rd= 350 Ω |
| Resistencia de cola de onda HV 9123 |  (Los autores) | Re= 2400 Ω |
| Capacitor de carga HV9120 |  (Los autores) | Cb= 1.2 nF |

| | | |
|---|--|---|
| <p>Espinterómetro de medición HV-9133</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Se debe conectar al escritorio de control si se desea variar la distancia de forma remota.</p> |
|---|--|---|

3.7.6 Registro de resultados

Tabla 15. Impulsos de tensión soportados por el aislador de baja tensión en condiciones normales

| s (mm) | V _{BT} (V) | I _{BT} (A) | V _{dCAT} | V _{pulseAT} | η |
|-----------------|---------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-------------|
| 5 | 33 | 0.4 | 18.15 | 14.9 | 0.82093664 |
| | 33 | 0.4 | 18.15 | 14.83 | 0.81707989 |
| | 33 | 0.4 | 18.15 | 14.8 | 0.815427 |
| PROMEDIO | 33 | 0.4 | 18.15 | 14.84 | 0.82 |
| 10 | 64 | 0.8 | 31.8 | 27.07 | 0.85125786 |
| | 66 | 0.8 | 32.05 | 27.07 | 0.84461778 |
| | 68 | 0.8 | 32.14 | 27.07 | 0.84225264 |
| PROMEDIO | 66 | 0.8 | 32 | 27.07 | 0.85 |
| 15 | 88 | 1.1 | 47.04 | 42.07 | 0.89434524 |
| | 89 | 1.1 | 46.54 | 41.98 | 0.90201977 |
| | 90 | 1.1 | 46.31 | 41.95 | 0.90585187 |
| PROMEDIO | 89 | 1.1 | 46.63 | 42 | 0.90 |
| 20 | 116 | 1.5 | 60.62 | 56.76 | 0.93632465 |
| | 116 | 1.5 | 60.45 | 56.75 | 0.93879239 |
| | 112 | 1.4 | 59.67 | 55.9 | 0.93681917 |
| | 112 | 1.4 | 59.51 | 55.8 | 0.93765754 |
| PROMEDIO | 114 | 1.45 | 60.06 | 56.30 | 0.94 |
| 25 | 133 | 1.7 | 71.1 | 65.45 | 0.92053446 |
| | 133 | 1.7 | 71.19 | 61.66 | 0.86613288 |
| | 134 | 1.7 | 71.15 | 69 | 0.96978215 |
| | 136 | 1.7 | 72.36 | 68.4 | 0.94527363 |
| PROMEDIO | 134 | 1.7 | 71.45 | 66.13 | 0.93 |

(Los autores)

Tabla 16. Impulsos de tensión soportados por el aislador de media tensión (25KV) tipo pin de porcelana en condiciones normales

| s (mm) | V _{BT} (V) | I _{BT} (A) | V _{dCAT} (KV) | V _{pulseAT} (KV) | η |
|-----------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|-------------|
| 37.5 | 188 | 2.4 | 98.59 | 91.85 | 0.93163607 |
| | 188 | 2.5 | 98.38 | 91.8 | 0.93311649 |
| | 188 | 2.5 | 99.35 | 89.12 | 0.8970307 |
| | 191 | 2.5 | 100.02 | 95.41 | 0.95390922 |
| | 192 | 2.5 | 99.84 | 95.34 | 0.95492788 |
| | 191 | 2.5 | 97.43 | 95.29 | 0.97803551 |
| PROMEDIO | 191 | 2.48 | 98.94 | 93.14 | 0.94 |

(Los autores)

3.7.7 Conclusiones

- Se generó y se midió voltajes de impulso sobre una carga, en este caso sobre un aislador.
- En condiciones de carga se muestra un aumento de la eficiencia a medida que aumentamos la distancia entre electrodos del espinterómetro.
- Para que se produzca la ruptura del aislamiento en forma de arco eléctrico sobre el aislador de baja tensión se tuvo que llegar a un voltaje mayor a 60KV DC, en cambio el aislador de media tensión no se descargó con los impulsos que se le sometieron, esto significa que este aislador está en muy buen estado ya que por norma se debía someter a un impulso de aproximadamente 100KV.


3.7.8 Recomendaciones

- Descargar los elementos al empezar, y culminar cada una de las pruebas.
- Incrementar el voltaje que le llega al transformador en pasos cortos.
- Tomar varias medidas a la misma distancia y calcular un promedio, ya que los valores pueden ser muy cambiantes.

3.7.9 Anexos

Video # 3 adjunto en CD: Escritorio de control, valores de voltaje y corriente.

3.8 Práctica VIII - Pruebas sobre transformadores de potencia

| | | |
|---|---|------------|
| | | Revisión 1 |
|  | PRACTICA VIII – PRUEBAS SOBRE TRANFORMADORES DE POTENCIA | |
| LABORATORIO | ALTA TENSIÓN | |
| CARRERA | INGENIERÍA ELÉCTRICA | |
| SEDE | GUAYAQUIL | |

3.8.1 Datos informativos

Materia: Alta Tensión 1

No. De práctica: 8

No. De estudiantes: 2

Nombre del docente: Ing. Ervin Solano, Ing. Roy Santana

Tiempo estimado: 2 horas

3.8.2 Datos de la práctica

Tema: Prueba Sobre Transformadores De Potencia

Objetivo general:

- Conocer las diferentes pruebas que se le realizan a un transformador de potencia para saber su estado por medio de los equipos de laboratorio.

Objetivos específicos:

- Realizar las diferentes pruebas que se le realizan a los transformadores de potencia por medio de los equipos del laboratorio.
- Definir el estado en el cual está el transformador de distribución adquirido por medio de las pruebas de rigor necesarias.

3.8.3 Marco teórico

En esta práctica se someterá a prueba el transformador de distribución 7620/120-240V que se donó al laboratorio de alta tensión, para esto debemos conocer que es un transformador.

Transformador: Un transformador es una máquina estática de corriente alterno, que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad, manteniendo la frecuencia y la potencia, en el caso de un transformador ideal.

Para lograrlo, transforma la electricidad que le llega al devanado de entrada en magnetismo para volver a transformarla en electricidad, en las condiciones deseadas, en el devanado secundario.

La importancia de los transformadores, se debe a que, gracias a ellos, ha sido posible el desarrollo de la industria eléctrica. Su utilización hizo posible la realización práctica y económica del transporte de energía eléctrica a grandes distancias.

(Endesa Educa, 2014)

Ilustración 86. Transformador de distribución de 50KVA para poste



(SAVICA, 2003)

3.8.4 Marco procedimental

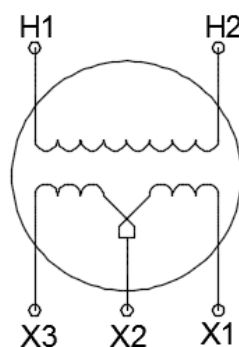
Prueba de polaridad

La primera prueba que se le debe realizar al transformador es la prueba de polaridad. Para dicha prueba no es necesario realizarla en alta tensión, se la puede hacer en baja tensión, en este caso se le realizó la prueba con 127V.

- Cortocircuitar uno de los bushing de alta con el bushing de baja del mismo lado.
- Alimentar el devanado primario del transformador.
- Medir el voltaje entre el bushing de alta libre y el bushing de baja del extremo libre (el terminal central es decir el neutro del devanado de baja debe quedar libre en la prueba).

El hecho de que el voltaje medido por el multímetro sea mayor que el voltaje aplicado implica que la polaridad del transformador es aditiva, eso quiere decir que del mismo lado que termina el devanado de alta tensión comienza el devanado de baja tensión, como se muestra en la siguiente ilustración.

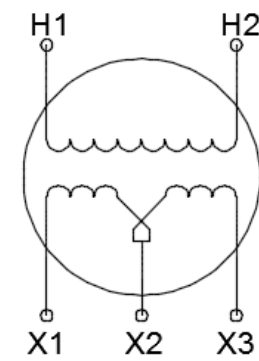
Ilustración 87. Polaridad Aditiva de un transformador



(Los autores)

En el caso de que el voltaje medido por el voltímetro sea menor significa que la polaridad del transformador es substractiva, tal como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 88. Polaridad Substractiva de un transformador



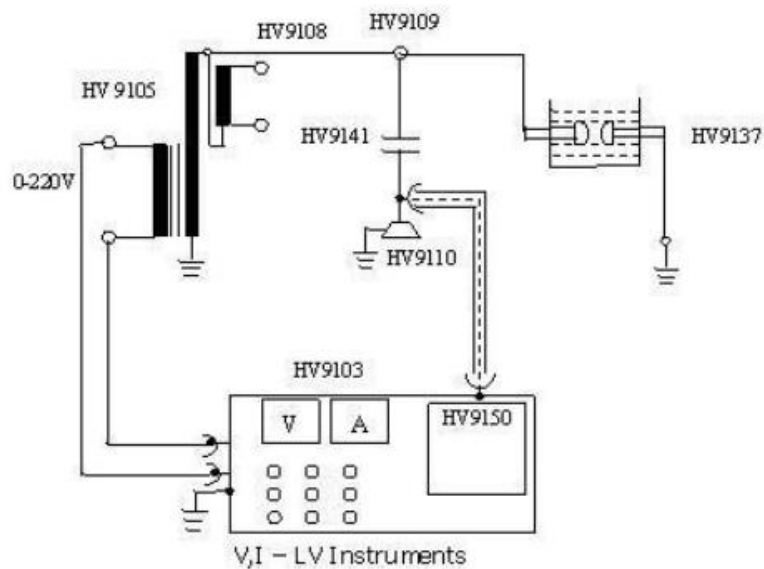
(Los autores)

Prueba de aceite aislante

Esta prueba se realiza para conocer el estado del aceite aislante del transformador.

- Tomar una muestra de aceite del transformador que vamos a probar (aproximadamente un litro) y depositar en la copa para pruebas en aceite HV9137.
- Armar el circuito de la figura.

Ilustración 89. Circuito Generador de Voltaje AC para prueba de aceite aislante.



(TERCO)

- Regular manualmente la distancia de separación entre esferas de la copa a 2mm según la norma ASTM D- 1816, o ASTM D- 877. (Astudillo Muñoz, 2008)

- Encender el devanado primario y secundario del transformador de prueba y aumentar la tensión hasta que se produzca la ruptura del aceite.
- Repetir la prueba varias veces y tomar el menor valor de voltaje de ruptura.

En nuestro caso no tomamos la muestra del transformador para pruebas del laboratorio ya que su estado es operativo y para evitar que le ingrese humedad e impurezas y tener que cambiar todo el aceite en lo posterior, tomamos muestra de otro transformador deteriorado.

Prueba de resistencia de aislamiento

Para realizar esta prueba se necesita un Megger.

a) Prueba A.T. vs. Tierra

- Conectar el terminal positivo del Megger en el bushing de Alta tensión.
- El terminal negativo del Megger conectarlo al borne de conexión a tierra del transformador.
- El terminal de guarda del Megger se conecta a la tierra general del sistema.
- Se le realizan los ajustes al Megger para una tensión de 50KV en 60 segundos.
- Se mide la resistencia para los ajustes anteriores.

b) Prueba B.T. vs Tierra

- Conectar el terminal positivo del Megger en el bushing de baja tensión.
- El terminal negativo del Megger conectarlo al borne de conexión a tierra del transformador.
- El terminal de guarda del Megger se conecta a la tierra general del sistema.
- Se le realizan los ajustes al Megger para una tensión de 50KV en 60 segundos.
- Se mide la resistencia para el ajuste anterior.

c) Prueba A.T. vs B.T.

- Conectar el terminal positivo del Megger en el bushing de alta tensión.
- Conectar el terminal negativo del Megger en el bushing de baja tensión.
- El terminal de guarda del Megger se conecta a la tierra general del sistema.

- Se le realizan los ajustes al Megger para una tensión de 50KV en 60 segundos.
- Se mide la resistencia para el ajuste anterior.

Prueba de circuito abierto

- Alimentamos el primario del transformador con un voltaje alterno, no necesariamente debe ser el voltaje nominal. En este caso el voltaje suministrado fue de 211V.
- Medimos el voltaje en el primario y el voltaje secundario del transformador en cada uno de los 5 TAPS.

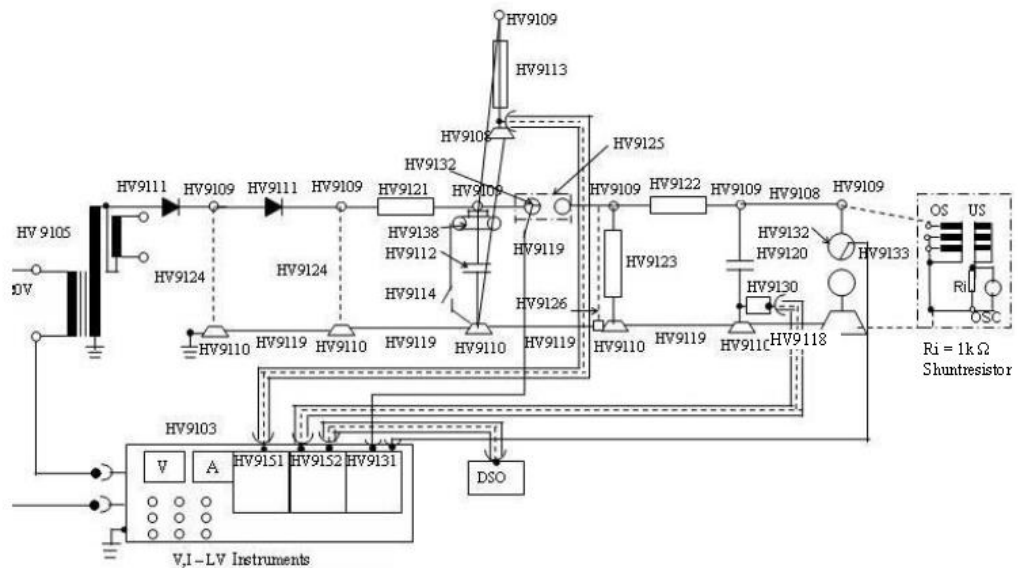
Prueba de cortocircuito

- Se cortocircuita el devanado de baja tensión.
- Se alimenta el transformador con un voltaje bajo al primario del transformador.
- Se mide la corriente en el conductor de cortocircuito.
- Se realiza los cálculos y se compara.

Prueba de impulso

- Armar el circuito de la figura si es un transformador trifásico cortocircuitar como se muestra.

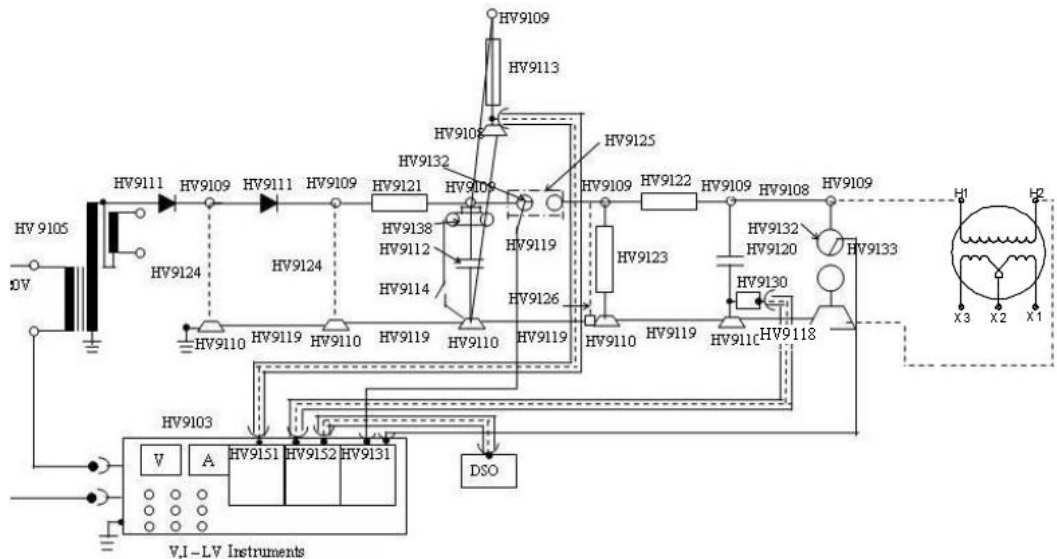
Ilustración 90. Circuito Generador de impulsos para transformadores trifásicos



(TERCO)

- Si el transformador es monofásico someter al impulso a los bushing de alta, dejar los bushing de baja como circuito abierto.


Ilustración 91. Circuito Generador de impulsos para transformadores monofásicos


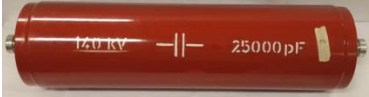



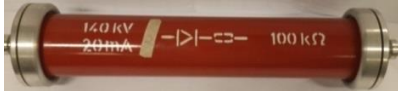









(TERCO)

- Según la norma referencial NRF-025-CFE-2009 Comisión Federal de Electricidad de México el nivel básico de aislamiento al impulso depende de la capacidad y de los voltajes nominales.

3.8.5 Recursos utilizados

| Nombre / Código | Imagen | Observación |
|----------------------------------|--|---|
| Escritorio de control HV-9103 |  <p>(Los autores)</p> | Se usa la conexión del HV-9150 y al HV9151, para el Medidor de voltaje alterno y directo respectivamente. |

| | | |
|---|--|---|
| <p>Transformador de prueba HV-9105</p> |  (Los autores) | <p>Rel. de Transf.: 220V/100KV Capacidad: 5KVA</p> |
| <p>Capacitor de impulso HV-9112</p> |  (Los autores) | <p>Capacitancia: 25000pF</p> |
| <p>Resistencia para medición HV-9113</p> |  (Los autores) | <p>R=280 MΩ Con esta resistencia se hará la conexión por cable hasta el Medidor de Voltaje directo.</p> |
| <p>Espinterómetro HV 9125</p> |  (Los autores) | <p>Distancia de separación max. entre esferas: 80mm</p> |
| <p>Timonel del espinterómetro HV 9126</p> |  (Los autores) | <p>Se conecta al escritorio de control para que el espinterómetro sea manejado de forma remota.</p> |
| <p>Rectificador de Silicio HV-9111</p> |  (Los autores) | <p>Voltaje máx.: 140KV Resistencia de protección: 100KΩ</p> |
| <p>Resistencia de carga HV9121</p> |  (Los autores) | <p>Resistencia: 10 MΩ</p> |

| | | |
|---|--|--|
| <p>Resistencia de frente de onda</p> <p>HV 9122</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>$R_d = 350 \Omega$</p> |
| <p>Resistencia de cola de onda</p> <p>HV 9123</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>$R_e = 2400 \Omega$</p> |
| <p>Capacitor de carga</p> <p>HV9120</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>$C_b = 1.2 \text{ nF}$</p> |
| <p>Espinterómetro de medición</p> <p>HV-9133</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Se debe conectar al escritorio de control si se desea variar la distancia de forma remota.</p> |
| <p>Copa para pruebas de aislante líquidos</p> <p>HV9137</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>Debe estar provisto de un micrómetro ajustado en 2mm.</p> |
| <p>Transformador</p> |  <p>(Los autores)</p> | <p>En este caso el transformador es de distribución, tipo tanque.</p> <p>Capacidad= 50KVA</p> <p>Rel. Transf.= 7620/120-240V</p> |

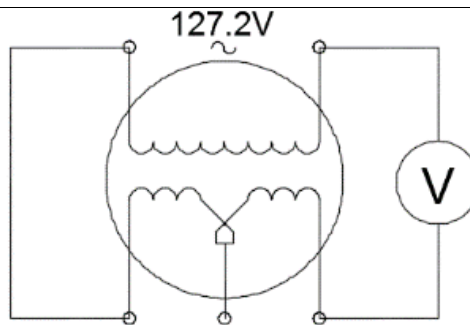
| | | |
|------------------------------|--|--|
| <p>Megger Multímetro</p> |  <p>Fuente: FLUKE</p> | <p>Equipos complementarios para las pruebas.</p> |
|------------------------------|--|--|

3.8.6 Registro de resultados

Tabla 17. Informe sobre pruebas al transformador

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| Marca: | ABB | Año de Fabricación: | 1996 |
| Código: | 96A191495 | Fabricado: | USA |
| N° serie: | 115587 | Tipo: | Convencional |
| Potencia: | 50KVA | N° de fases: | 1 ϕ |
| Voltaje A.T. (V): | 13200Y/ 7620 | Voltaje B.T. (V): | 240/120V |
| Corriente A.T. (A): | 6.56A | Corriente B.T. (A): | 208.33A |
| Frecuencia: | 60Hz | Impedancia: | 1.7pu |

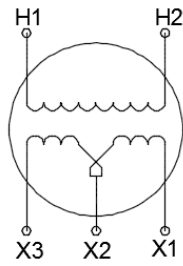
PRUEBA DE POLARIDAD



Fuente: Los autores

| | | | |
|--------------------------|--------|---|--------|
| Voltaje aplicado: | 127.2V | Voltaje resultante (voltímetro): | 131.2V |
|--------------------------|--------|---|--------|

Como el voltaje resultante es mayor al voltaje aplicado por lo tanto el transformador tiene polaridad aditiva, como se muestra en la figura posterior.



Fuente: Los autores

PRUEBA DE LÍQUIDO AISLANTE

| | | | |
|----------------------------|------|----------------|--------------|
| Tensión de ruptura: | 18KV | Método: | ASTM D- 1816 |
|----------------------------|------|----------------|--------------|

El aceite aislante está en mal estado ya que la tensión mínima de ruptura según la norma utilizada debe ser de por lo menos 25KV y estamos por debajo de ese valor.



Fuente: Los autores

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

| Tensión de Prueba | A.T. vs B.T. | A.T. vs Tierra | B.T. vs Tierra |
|--------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 5KV- 60 segundos | N/A | N/A | 13.7GΩ |
| 2.5KV- 60 segundos | N/A | N/A | N/A |

El aislamiento entre baja tensión y tierra del transformador está en un valor aceptable, ya que según la norma referencial NRF-025-CFE-2009 de la Comisión Federal de Electricidad de México debería ser su nivel de tensión multiplicado por 1000 y este resultado en MΩ.

| PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO | | | |
|--|--|--|--|
| Posición TAPS | Relación Teórica | Relación Práctica | % Error |
| 1 | 8001/252 | 221.71/7.05 | 0.95% |
| 2 | 7810/246 | 216.3/6.87 | 0.85% |
| 3 | 7620/240 | 211/6.70 | 0.82% |
| 4 | 7429/234 | 205.85/6.53 | 0.72% |
| 5 | 7239/228 | 200.83/6.37 | 0.69% |
| | | Error total | 0.806% |
| <p>La prueba de relación de transformación o prueba de circuito abierto o también llamado prueba a vacío muestra que se tiene un margen de error bajo entre el valor teórico y el valor practico, este error es menor a 1%.</p> | | | |
| PRUEBA DE CORTOCIRCUITO | | | |
| Icc_{AT} teórica | V_{AT} experimental | Icc_{AT} experimental | %Error |
| $I_{cc_{AT}} = \frac{211}{\frac{7620^2}{50000} \cdot 0.017} = 10.69A$ | 211V | 9.54A | 10.75% |
| V_{BT} inducido teórico | Icc_{BT} experimental | Scc_{AT} | Scc_{BT} |
| $V_{ind_{BT}} = 260 \cdot \frac{240^2}{50000} \cdot 0.017 = 5.09V$ | 260A | $S_{cc_{AT}} = (211) \cdot (9.54) = 2012.94VA$ | $S_{cc_{BT}} = (5.09) \cdot (260) = 1323.54VA$ |
| <p>Por concepto el transformador ideal debería mantener la potencia aparente entregada tanto en el primario como en el secundario y también debería mantener el factor de potencia, por lo tanto las potencia aparente del primario debería ser igual a la potencia aparente del secundario $\frac{P_{cc_{AT}}}{FP} = \frac{P_{cc_{BT}}}{FP} \rightarrow P_{cc_{AT}} = P_{cc_{BT}}$, pero no es el caso eso quiere decir que existen pérdidas de potencia por las resistencias de los devanados de 689.4W.</p> <p>En caso de tener un vatímetro se puede obtener está pérdida directamente sin necesidad de ningún cálculo, simplemente midiendo la potencia del lado que se está alimentando el transformador.</p> | | | |
| Resistencia equivalente | $Req = \frac{P_{pérd}}{I_{cc_{AT}}^2} = \frac{689.4}{9.51^2} = 7.57\Omega$ | | |

Según la Norma NTC 818 la pérdida con carga máxima permisible para transformadores de 50KVA debería ser de 510W, por ende al transformador no se lo debe forzar a trabajar a su capacidad máxima.

PRUEBA DE IMPULSO

| V_{BT} | I_{BT} | V_{dcAT} | $V_{pulseAT}$ |
|----------|----------|------------|---------------|
| 85V | 1.1A | 45.07KV | 40.24KV |
| 85V | 1.1A | 45.60KV | 40.15KV |
| 85V | 1.1A | 45.82KV | 40.11KV |
| 85V | 1.1A | 45.83KV | 40.10KV |
| 85V | 1.1A | 45.81KV | 40.08KV |
| 180V | 2.3A | 98.3KV | 95KV |

Se sometió a 5 impulsos de voltaje de 40.14KV aproximadamente y el bushing se mantuvo sin ningún tipo de ruptura. Para cumplir con la norma NRF-025-CFE-2009 se lo sometió a 1 impulso de 95KV sin incurrir en una descarga, por lo tanto el transformador puede trabajar tranquilamente a la interperie.

(Los autores)

3.8.7 Conclusiones

Se le realizaron las pruebas al transformador concluyendo que no se los puede forzar a trabajar a plena carga ya que en la prueba de cortocircuito tenía un margen de error entre valores teóricos y prácticos demasiado alto. En las demás pruebas el transformador respondió bastante bien a las exigencias de las pruebas. La prueba de aceite aislante no se la realizó con el aceite del transformador para que no le entre humedad ni impurezas.

3.8.8 Recomendaciones

- Utilizar guantes, ya que para ciertas pruebas se debe operar el transformador y equipos de medición como Multímetro y Megger.
- Descargar los elementos al empezar, y culminar cada una de las pruebas.
- Incrementar el voltaje de alimentación al transformador en pasos cortos.

- Tomar varias medidas a la misma distancia y calcular un promedio en la prueba de impulso, ya que los valores pueden ser muy cambiantes.

3.8.9 Anexos

Ilustración 92. Voltaje resultante medida por el voltímetro en la prueba de polaridad.



(Los autores)

Video # 4 adjunto en CD: Ruptura del aceite aislante de transformador

Ilustración 93. Voltaje de baja tensión en prueba de circuito abierto



(Los autores)

Ilustración 94. Corriente de corto circuito devanado de baja tensión



(Los autores)

Ilustración 95. Circuito de impulso armado para probar el transformador.



(Los autores)

Capítulo IV

ANÁLISIS MATEMÁTICO

Análisis Matemático del Circuito Generador de Impulsos de Tensión

Los generadores de impulsos son arreglos eléctricos que permiten realizar una prueba de aptitud de las aislaciones eléctricas a elementos y equipos de alta tensión tales como aisladores, pararrayos, interruptores, transformadores, conductores, etc., evaluando su comportamiento frente a la recepción de impulsos o transitorios con frente brusco, de origen tanto atmosférico como de maniobra.

Cuando hay una tormenta eléctrica hay impulsos de diferente amplitud, diferentes tiempo de frente y de cola de onda, de la misma manera sucede con los impulsos de voltaje generados por la apertura de grandes cargas, pero la forma de onda no varía; por esta razón la Comisión Electrotécnica Internacional ha especificado que el aislamiento de las líneas de transmisión, otros elementos y equipos de Alta Tensión deberían resistir a impulsos de voltaje tipo rayo estándar de forma de onda 1.2/50 μ s y para voltajes iguales o superiores a 220KV estos también deberían soportar impulsos de voltaje tipo maniobra estándar de forma de onda 250/2500 μ s.

En el diseño o uso del generador de voltajes de impulso para investigación o pruebas se requiere evaluar los tiempos de frente y de cola de onda, y la eficiencia de voltaje para parámetros de circuito dados. También, este necesita predecir parámetros del circuito para producir una determinada onda con una fuente dada y condiciones de carga que pueden ser inductivas y capacitivas.

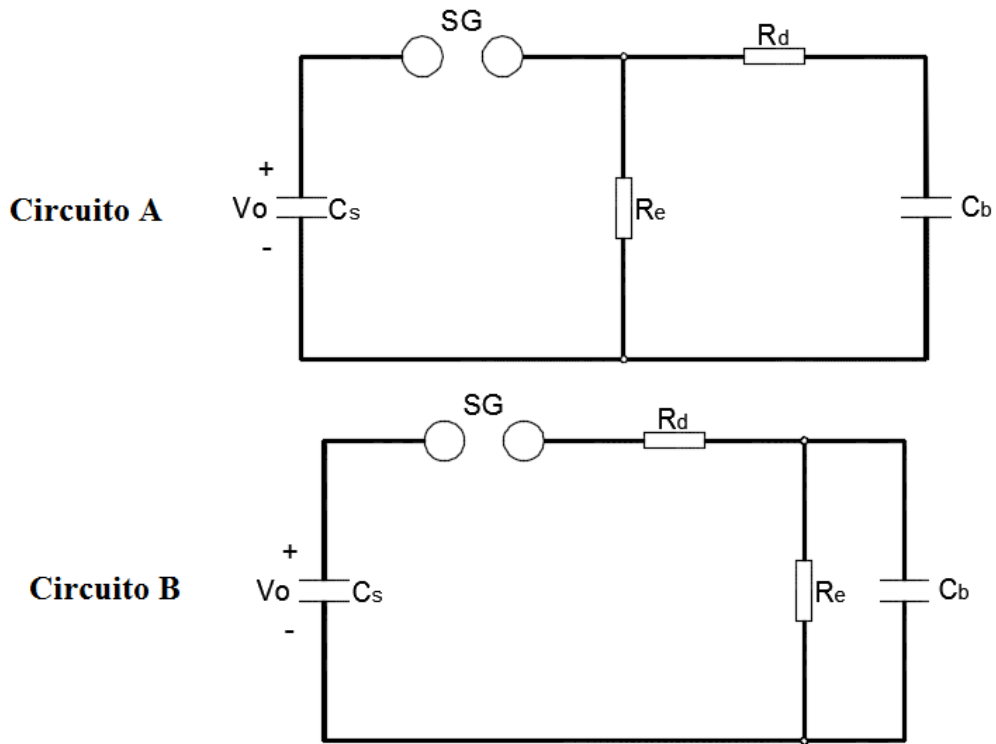
(Sheeba, Jayaraju, & Nediyazhikam Shanavas, 2012)

La base para la detección de anomalías sobre una muestra bajo ensayo, realizada mediante el análisis comparativo de los registros en osciloscopios, se fundamentan en que cuando un aislamiento falla al ser sometido a impulsos de tensión – como en el caso de las pruebas a transformadores, cambiará también su impedancia.

Los años de investigación han determinado que una sobretensión atmosférica o de maniobra se puede representar como un impulso unidireccional de tensión y obtenerse a partir de los circuitos mostrados.

(INDUCOR UTNLAT, 2009)

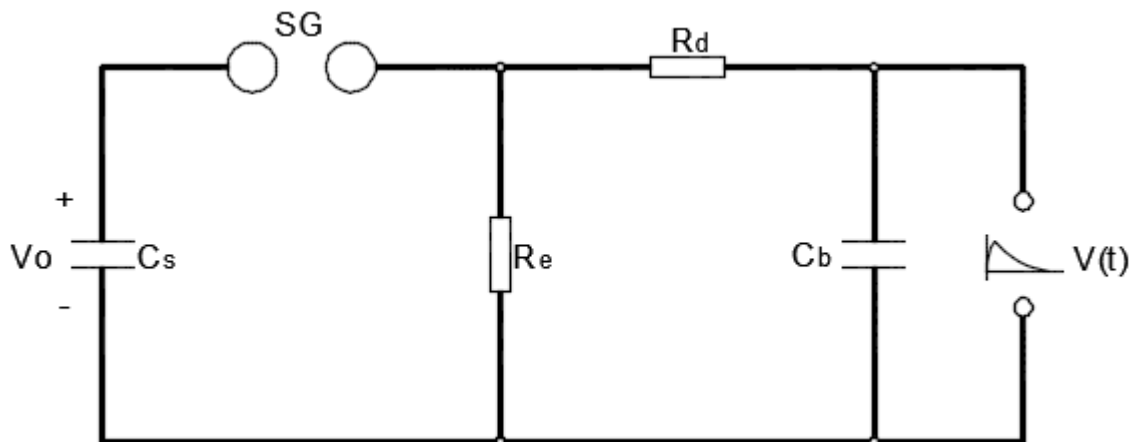
Ilustración 96. Circuitos básicos para un Generador de Impulsos



(Los autores)

Para el análisis se va a utilizar el circuito A de la Ilustración 1., ya que se comprobó por simulación en MATLAB® que es el arreglo más eficiente (se muestra en el siguiente capítulo) y además se tienen todos los elementos disponibles para armar este circuito en el laboratorio de Alta Tensión de nuestra Universidad para posteriormente ser comparado con los valores simulados (cabe recalcar que el análisis es similar para los dos circuitos), dicho circuito con todos sus elementos se muestra a continuación:

Ilustración 97. Circuito básico del Generador de Impulsos de una etapa



(Los autores)

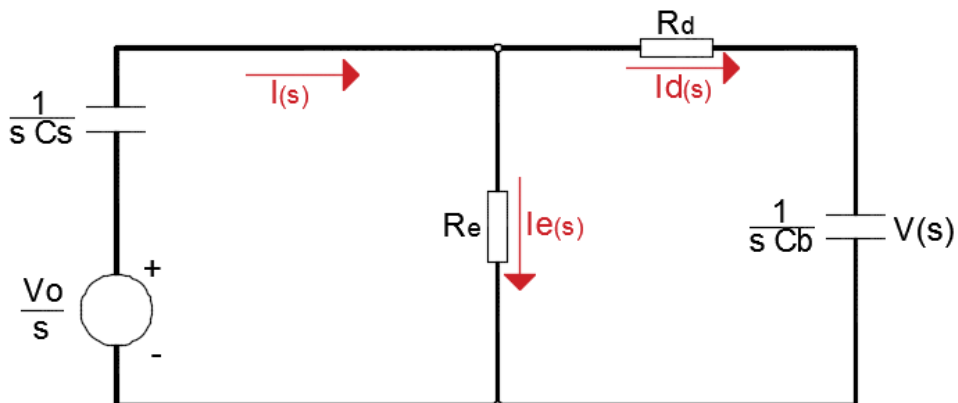
Dónde:

V_0 : Voltaje inicial de carga
 C_s : Capacitor de impulso
 SG: Espinterómetro de esferas
 R_e : Resistencia de cola de onda
 R_d : Resistencia de frente de onda
 C_b : Capacitor de carga
 $V(t)$: Voltaje de salida

El capacitor de impulso (C_s) es cargado por la fuente de voltaje continuo, cuando dicho capacitor ha alcanzado la tensión V_0 , pasa a ser la fuente de tensión del circuito a su derecha. El nivel de tensión de descarga V_0 es controlado por la separación de los electrodos del espinterómetro de esferas en el cual se crea un arco eléctrico que causa que la corriente fluya por la resistencia de frente de onda (R_d), que como su nombre lo indica tiene la responsabilidad de controlar el tiempo de frente de onda del impulso, en ese mismo instante se está cargando el capacitor C_b ; cuando ambos capacitores (C_s , C_b) alcanzan el mismo nivel de energía estos se descargan a través de la resistencia de cola (R_e), la cual según su valor óhmico (mucho mayor que R_d) permite que se descargue en un mayor tiempo que el de frente de onda siendo la principal responsable del tiempo de cola de la onda de impulso.

Para analizar el circuito y obtener el voltaje de salida en el capacitor de carga C_b , aplicaremos la transformada de Laplace. El circuito equivalente en dominio de la frecuencia se muestra a continuación.

Ilustración 98. Circuito equivalente en dominio de la frecuencia



(Los autores)

Aplicamos las leyes de Kirchoff y Ley de Ohm.

$$\frac{V_o}{s} = i(s) \cdot \frac{1}{s \cdot Cs} + ie(s) \cdot Re \quad (\text{Ec. 11})$$

$$ie(s) \cdot Re = id(s) \cdot Rd + V(s) \quad (\text{Ec. 12})$$

$$i(s) = ie(s) + id(s) \quad (\text{Ec. 13})$$

$$V(s) = id(s) \cdot \frac{1}{s \cdot Cb} \quad (\text{Ec. 14})$$

Los valores de corrientes no son conocidos, por lo tanto se debe tratar de simplificarlas remplazándolas y eliminándolas.

De la **Ec. 4** despejamos $id(s)$.

$$V(s) \cdot sCb = id(s)$$

En la **Ec. 1** remplazamos $i(s)$ por su equivalente de la **Ec. 3**.

$$\frac{V_o}{s} = [ie(s) + id(s)] \cdot \frac{1}{s \cdot Cs} + ie(s) \cdot Re$$

Remplazamos $id(s)$ por su equivalente obtenido anteriormente.

$$\frac{V_o}{s} = [ie(s) + V(s) \cdot s \cdot Cb] \cdot \frac{1}{s \cdot Cs} + ie(s) \cdot Re$$

Simplificamos y despejamos $ie(s)$.

$$\frac{V_o}{s} = \frac{1}{s \cdot Cs} \cdot ie(s) + \frac{s \cdot Cb}{s \cdot Cs} \cdot V(s) + ie(s) \cdot Re$$

$$\frac{V_o}{s} = ie(s) \left[\frac{1}{s \cdot Cs} + Re \right] + \frac{Cb}{Cs} \cdot V(s)$$

$$ie(s) = \frac{\frac{V_o}{s} - \frac{Cb}{Cs} \cdot V(s)}{\frac{1}{sCs} + Re}$$

$$ie(s) = \frac{\frac{Cs \cdot V_o - s \cdot Cb \cdot V(s)}{s \cdot Cs}}{\frac{1 + s \cdot Re \cdot Cs}{s \cdot Cs}}$$

$$ie(s) = \frac{Cs \cdot Vo - s \cdot Cb \cdot V(s)}{1 + s \cdot Re \cdot Cs} \quad (\text{Ec. 15})$$

En la **Ec. 2** también se reemplaza $id(s)$ por su equivalente obtenido anteriormente.

$$ie(s) \cdot Re = V(s) \cdot sCb \cdot Rd + V(s)$$

De igual manera se trata de despejar $ie(s)$ y se simplifica.

$$ie(s) = \frac{sCb \cdot Rd \cdot V(s)}{Re} + \frac{V(s)}{Re}$$

$$ie(s) = \frac{V(s)}{Re} [s \cdot Cb \cdot Rd + 1] \quad (\text{Ec. 16})$$

Igualamos la **Ec. 5** y la **Ec. 6** y despejamos el voltaje de salida $V(s)$.

$$\frac{Cs \cdot Vo - s \cdot Cb \cdot V(s)}{1 + s \cdot Re \cdot Cs} = \frac{V(s)}{Re} [s \cdot Cb \cdot Rd + 1]$$

$$\frac{Cs \cdot Vo}{1 + s \cdot Re \cdot Cs} - \frac{s \cdot Cb \cdot V(s)}{1 + s \cdot Re \cdot Cs} = \frac{V(s)}{Re} [s \cdot Cb \cdot Rd + 1]$$

$$\frac{Cs \cdot Vo}{1 + s \cdot Re \cdot Cs} = \frac{V(s)}{Re} [s \cdot Cb \cdot Rd + 1] + \frac{s \cdot Cb \cdot V(s)}{1 + s \cdot Re \cdot Cs}$$

$$\frac{Cs \cdot Vo}{1 + s \cdot Re \cdot Cs} = \frac{V(s)[1 + s \cdot Cb \cdot Rd][1 + s \cdot Re \cdot Cs] + s \cdot Re \cdot Cb \cdot V(s)}{Re(1 + s \cdot Re \cdot Cs)}$$

$$\frac{Cs \cdot Vo}{1 + s \cdot Re \cdot Cs} = \frac{V(s)\{[1 + s \cdot Cb \cdot Rd][1 + s \cdot Re \cdot Cs] + s \cdot Re \cdot Cb\}}{Re(1 + s \cdot Re \cdot Cs)}$$

$$V(s) = \frac{Re(1 + s \cdot Re \cdot Cs) \cdot Cs \cdot Vo}{\{[1 + s \cdot Cb \cdot Rd][1 + s \cdot Re \cdot Cs] + s \cdot Re \cdot Cb\}[1 + s \cdot Re \cdot Cs]}$$

$$V(s) = \frac{Re \cdot Cs \cdot Vo}{\{1 + s \cdot Cb \cdot Rd + s \cdot Re \cdot Cs + s^2 \cdot Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb + s \cdot Re \cdot Cb\}}$$

$$V(s) = \frac{Re \cdot Cs \cdot Vo}{Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb \cdot s^2 + (Rd \cdot Cb + Re \cdot Cs + Re \cdot Cb)s + 1}$$

Dividimos el denominador para $Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb$ para obtener una ecuación de la forma $s^2 + bs + c$.

$$V(s) = \frac{\frac{Re \cdot Cs \cdot Vo}{Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb}}{\frac{Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb}{Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb} \cdot s^2 + \frac{(Rd \cdot Cb + Re \cdot Cs + Re \cdot Cb)}{Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb} \cdot s + \frac{1}{Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb}}$$

$$V(s) = \frac{\frac{V_o}{Rd \cdot Cb}}{s^2 + \left(\frac{1}{Re \cdot Cs} + \frac{1}{Rd \cdot Cb} + \frac{1}{Rd \cdot Cs}\right) \cdot s + \frac{1}{Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb}} \quad (\text{Ec. 17})$$

Este es el voltaje de salida $V(s)$ sobre el capacitor Cb expresado en dominio de la frecuencia, ahora se le debe aplicar la anti transformada de Laplace para obtener el resultado en dominio del tiempo, pero antes debemos obtener las raíces de la ecuación cuadrática del denominador.

$$s^2 + \left(\frac{1}{Re \cdot Cs} + \frac{1}{Rd \cdot Cb} + \frac{1}{Rd \cdot Cs}\right) \cdot s + \frac{1}{Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb} = 0$$

Para obtener las raíces utilizaremos la ecuación general.

$$\alpha, \beta = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\alpha, \beta = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4c}}{2}$$

$$\alpha, \beta = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 \cdot \left(1 - \frac{4c}{b^2}\right)}}{2}$$

$$\alpha, \beta = -\frac{b}{2} \pm \frac{b \sqrt{1 - \frac{4c}{b^2}}}{2}$$

$$\alpha, \beta = \frac{b}{2} \left(-1 \pm \sqrt{1 - \frac{4c}{b^2}} \right)$$

Donde,

$$a = 1$$

$$b = \left(\frac{1}{Re \cdot Cs} + \frac{1}{Rd \cdot Cb} + \frac{1}{Rd \cdot Cs} \right)$$

$$c = \frac{1}{Re \cdot Rd \cdot Cs \cdot Cb}$$

Resolvemos y encontramos α y β .

$$\alpha = \frac{b}{2} \left(-1 + \sqrt{1 - \frac{4c}{b^2}} \right)$$

$$\alpha = \frac{\left(\frac{1}{Re.Cs} + \frac{1}{Rd.Cb} + \frac{1}{Rd.Cs} \right)}{2} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 - \frac{4 \cdot \frac{1}{Re.Rd.Cs.Cb}}{\left(\frac{1}{Re.Cs} + \frac{1}{Rd.Cb} + \frac{1}{Rd.Cs} \right)^2}} \right) \quad (\text{Ec. 18})$$

$$\beta = \frac{b}{2} \left(-1 - \sqrt{1 - \frac{4c}{b^2}} \right)$$

$$\beta = \frac{\left(\frac{1}{Re.Cs} + \frac{1}{Rd.Cb} + \frac{1}{Rd.Cs} \right)}{2} \cdot \left(-1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot \frac{1}{Re.Rd.Cs.Cb}}{\left(\frac{1}{Re.Cs} + \frac{1}{Rd.Cb} + \frac{1}{Rd.Cs} \right)^2}} \right) \quad (\text{Ec. 19})$$

La **Ec. 7** se puede escribir de la siguiente manera.

$$V(s) = \frac{Vo}{Rd.Cb} \cdot \frac{1}{(s + \alpha)(s + \beta)}$$

Aplicamos el método de las fracciones parciales para descomponer la expresión.

$$V(s) = \frac{Vo}{Rd.Cb} \cdot \frac{1}{(s + \alpha)(s + \beta)} = \frac{A}{(s + \alpha)} + \frac{B}{(s + \beta)}$$

$$\frac{Vo}{Rd.Cb} = A(s + \beta) + B(s + \alpha)$$

- $A + B = 0$
- $\beta A + \alpha B = \frac{Vo}{Rd.Cb}$

$$B = \frac{Vo}{Rd.Cb \cdot (\alpha - \beta)}$$

$$A = -B = -\frac{Vo}{Rd.Cb \cdot (\alpha - \beta)}$$

Teniendo los valores de A y B, reemplazamos.

$$V(s) = \frac{-\frac{Vo}{Rd.Cb \cdot (\alpha - \beta)}}{(s + \alpha)} + \frac{\frac{Vo}{Rd.Cb \cdot (\alpha - \beta)}}{(s + \beta)}$$

La ecuación está lista para aplicarle la anti transformada de Laplace.

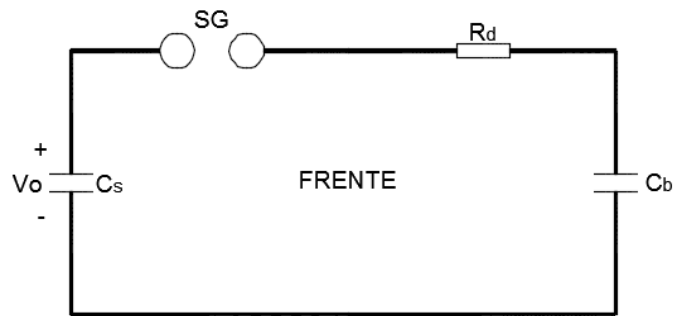
$$V(s) = \frac{V_o}{Rd \cdot Cb \cdot (\alpha - \beta)} \cdot \left[\frac{1}{(s + \beta)} - \frac{1}{(s + \alpha)} \right]$$

Aplicando la anti transformada de Laplace, tenemos.

$$V(t) = \frac{V_o}{Rd \cdot Cb} \cdot \frac{1}{(\alpha - \beta)} \cdot [e^{-\beta t} - e^{-\alpha t}] \quad \text{(Ec. 20)}$$

Se pueden obtener los valores de α y β por un método que da una aproximación bastante cercana siempre y cuando los parámetros resistivos y capacitivos del circuito son constantes, entonces se pueden analizar separadamente en dos circuitos, primero analicemos el circuito de frente.

Ilustración 99. Circuito de frente de onda



(Los autores)

Considerando el circuito del frente de onda en el momento en que ocurre la descarga entre las esferas del espinterómetro SG, el condensador Cb se carga con la constante de tiempo t1:

$$-\frac{1}{\beta} = t1 = Rd \cdot \left(\frac{Cs \cdot Cb}{Cs + Cb} \right) \quad \text{(Ec. 21)}$$

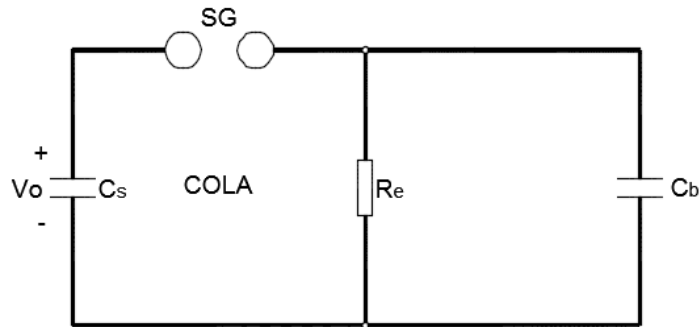
Definida como el producto de la resistencia de frente Rd con la capacidad equivalente serie de los dos condensadores Cs y Cb. Generalmente, se asume que $Cs \gg Cb$ por lo que la relación se puede simplificar a:

$$t1 \cong Rd \cdot Cb \quad \text{(Ec. 22)}$$

Que indica que la duración del frente de la onda de tensión en el condensador Cb, es directamente proporcional a la resistencia de frente Rd, y a la capacidad del objeto de prueba Cb.

Haciendo un proceso análogo en el circuito de cola que se muestra en la ilustración:

Ilustración 100. Circuito de cola de onda



(Los autores)

En el instante en el cual la transferencia de carga de C_s a C_b es cero (debido a una redistribución de la carga eléctrica entre ambos), los condensadores se descargan en la resistencia R_e , con una constante de tiempo t_2 igual a:

$$-\frac{1}{\alpha} = t_2 = R_e \cdot (C_s + C_b) \quad \text{(Ec. 23)}$$

Y simplificando con la suposición $C_s \gg C_b$, se tiene:

$$t_2 \cong R_e \cdot C_s \quad \text{(Ec. 14)}$$

Es decir el tiempo de descarga depende proporcionalmente de la resistencia de cola R_e y la capacidad C_s .

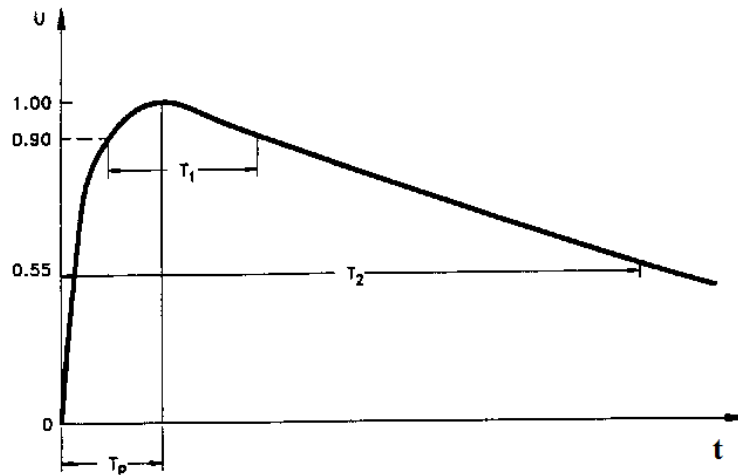
Si se desea diseñar un generador de múltiples etapas es el mismo análisis ya un grupo de capacitores son cargados en paralelo y descargados en serie.

Se ha analizado el circuito generador de impulsos de tensión, hemos encontrado la ecuación que gobierna este circuito, ahora se estudiará las formas de onda de la tensión de impulso.

Como ya se mencionó anteriormente la forma de onda de un impulso tipo rayo es la misma forma de onda del impulso tipo maniobra, la diferencia está en que los impulsos tipo rayo tienen un frente de onda con duraciones hasta de $20\mu s$, mientras que los impulsos tipo maniobra tienen duración de frente de onda más larga.

Los impulsos tipo maniobra o de frente lento que tratan de reproducir las sobretensiones producidas por apertura de grandes cargas se definen con un tiempo de frente largo (entre 20µs y 5ms). La forma de onda para el impulso tipo maniobra estandarizada es la siguiente:

Ilustración 101. Forma de onda plena de impulso normalizado tipo maniobra



(Universidad Nacional de la Plata)

A continuación se presenta la definición según las características del impulso tipo rayo.

$$\frac{250 \pm 20\%}{2500 \pm 60\%} \mu s$$

Dónde en el numerador se muestra el tiempo de frente T_p de onda estándar con su respectiva tolerancia y en el denominador se muestra el tiempo de cola de onda T_2 estándar con la tolerancia permitida. También se presenta un tiempo T_1 , que es el lapso durante el cual la tensión excede el 90% de su valor pico.

En nuestro caso se va a analizar más detenidamente las características del impulso tipo rayo debido a en el laboratorio se tienen parámetros resistivos y capacitivos para obtener este tipo de impulso.

Aunque las formas de onda de las sobretensiones atmosféricas son muy variadas, se han estandarizado algunas de ellas para efectuar pruebas de impulso en elementos, equipos y máquinas eléctricas.

Una onda normalizada de tensión impulsiva es aquella que posee características bien definidas respecto a su tiempo de duración y amplitud, y para el caso de la sobretensión atmosférica la norma ANSI/IEEE Standard 4-1995 establece las siguientes:

- Valor Pico V_p : es la máxima amplitud de la onda, medida desde la referencia de tensión, con una tolerancia de $\pm 5\%$.
- Tiempo de frente de onda T_1 : es el primer tiempo que, medido desde un tiempo virtual TO_1 , transcurre entre el 30% y el 90% del valor pico, multiplicado por 1.67. La duración del lapso será:

$$T_1 = 1.2 \pm 30\% \mu s$$

$$0.8 \leq T_1 \leq 1.6 \mu s$$

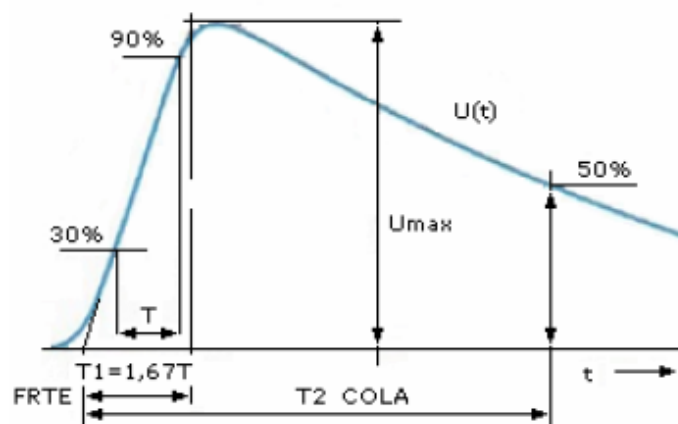
- Tiempo de cola de onda T_2 : es el mayor tiempo que transcurre desde el tiempo virtual TO_1 hasta alcanzar el 50% del máximo valor pico. Su valor es:

$$T_2 = 50 \pm 20\% \mu s$$

$$40 \leq T_2 \leq 60 \mu s$$

La siguiente ilustración muestra la onda plena de impulso normalizado tipo atmosférico 1.2/50 μs según la norma IEC 60060-1.

Ilustración 102. Forma de onda plena de impulso normalizado tipo rayo



(INDUCOR UTNLAT, 2009)

Capítulo V

MODELADO Y SIMULACIÓN

Modelado y Simulación del Circuito Generador de Impulsos de Tensión

Para el modelado y la simulación del análisis matemático descrito anteriormente vamos a hacer uso de una herramienta informática llamada MATLAB®, siendo elegida por su amplia gama de aplicaciones en el campo de la ingeniería.

Para esto lo primero es hacer uso de una herramienta de MATLAB® llamada “guide”, que es la que nos ayudará a realizar una interfaz cuya finalidad será hacer la interacción usuario- máquina mucho más amigable y fácil.

Al ejecutar el programa aparecerá la ventana de menú principal, en la cual están descritas las 3 aplicaciones con las cuales se va a trabajar el análisis de la práctica de Generación y medición de voltajes de impulso I. Lo primero que se hizo fue colocarle un fondo acorde al tema, también se insertó el logo nuestra universidad, el título y los nombres de los autores de esta tesis.

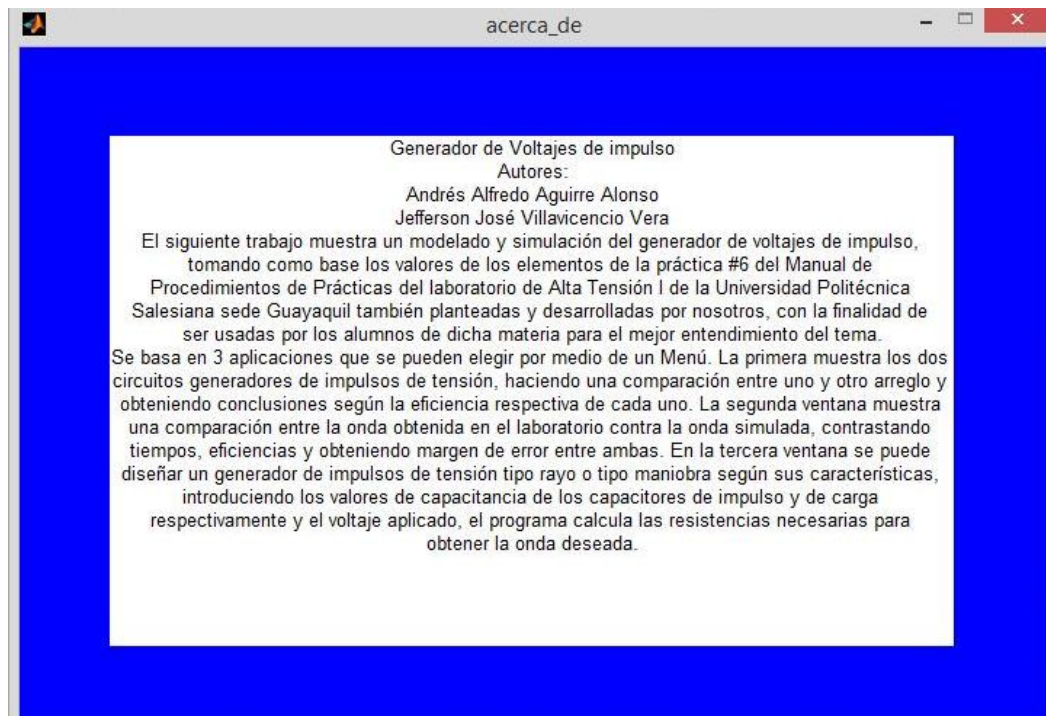
Ilustración 103. Pantalla del menú principal



(Los autores)

En la parte superior izquierda de la ventana de modelado se encuentra un botón llamado “acerca de...” en este se describe los autores y el contenido del programa.

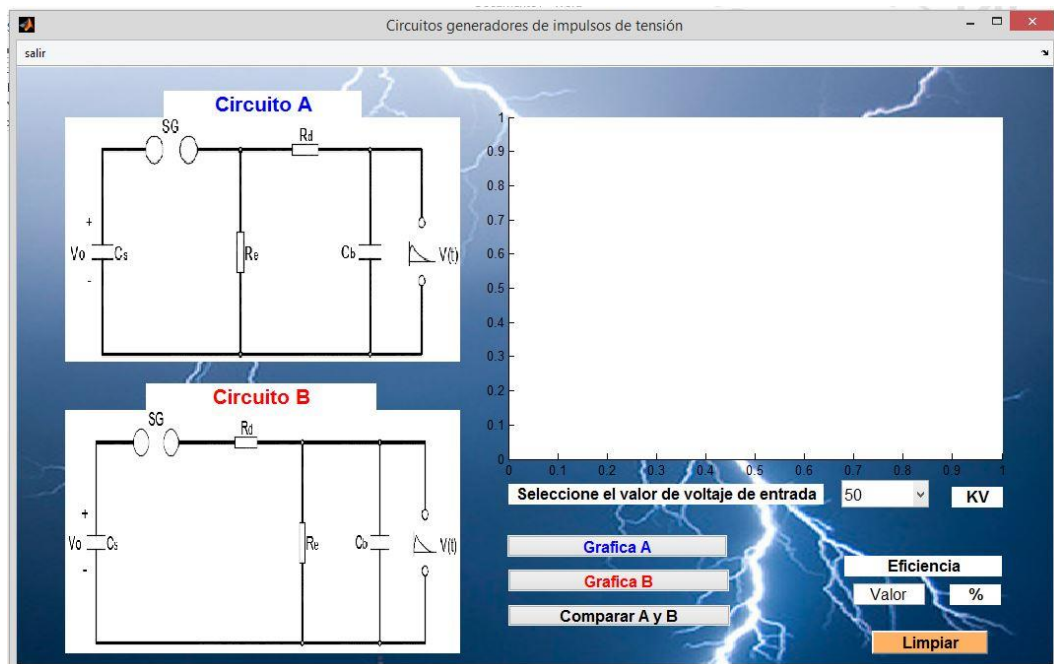
Ilustración 104. Ventana de "acerca de..."



(Los autores)

Volviendo al menú empezaremos eligiendo la opción 1, la cual detalla dos arreglos de circuitos generadores de impulso de tensión.

Ilustración 105. Circuitos generadores de impulso de tensión

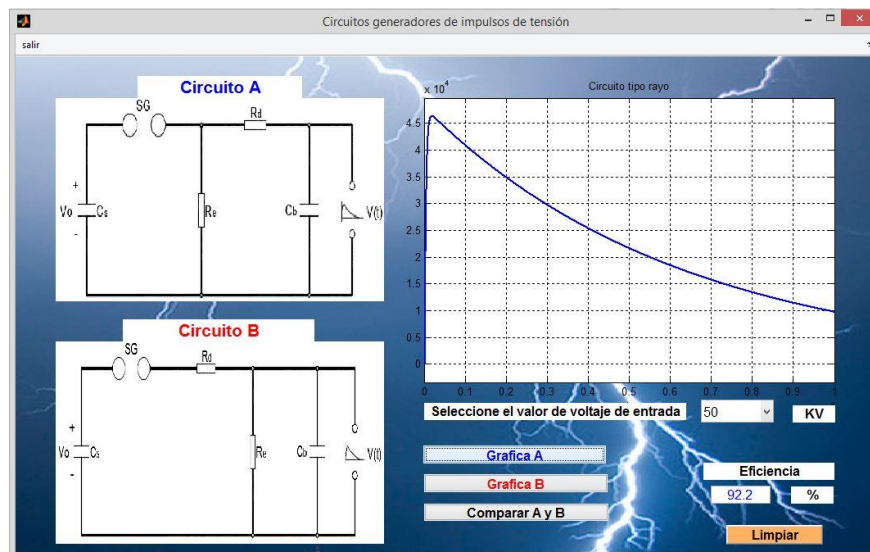


(Los autores)

Esta ventana consta de una lista desplegable y de cuatro botones. La lista desplegable es la selección del valor de voltaje de entrada. El botón “Gráfica A” muestra la gráfica de la onda resultante del circuito A y muestra su valor de eficiencia según el valor de voltaje de entrada que hayamos elegido. De igual manera para el circuito B, al hacer clic sobre el botón “Gráfica B” muestra la gráfica de la onda de impulso resultante del circuito B y muestra su valor de eficiencia.

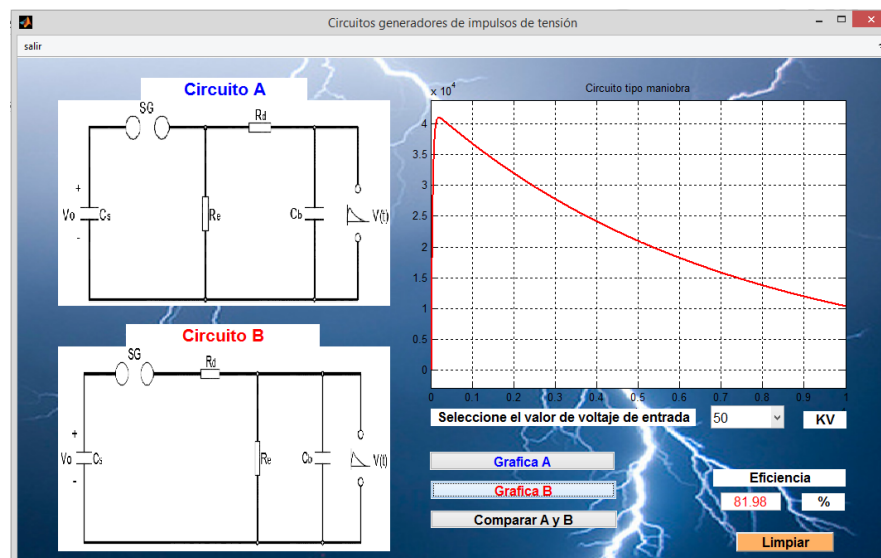
Estas y todas las ventanas constan con un botón llamado “Limpiar” el mismo que deja en blanco las gráficas y los valores escritos por el programa, con el objetivo de poder hacer una nueva simulación.

Ilustración 106. Ilustración 105. Circuito A: Gráfica y eficiencia



(Los autores)

Ilustración 107. Circuito B: Gráfica y eficiencia



(Los autores)

Para un mejor entendimiento los resultados de eficiencia se escriben de acuerdo al código de colores y de la gráfica del programa.

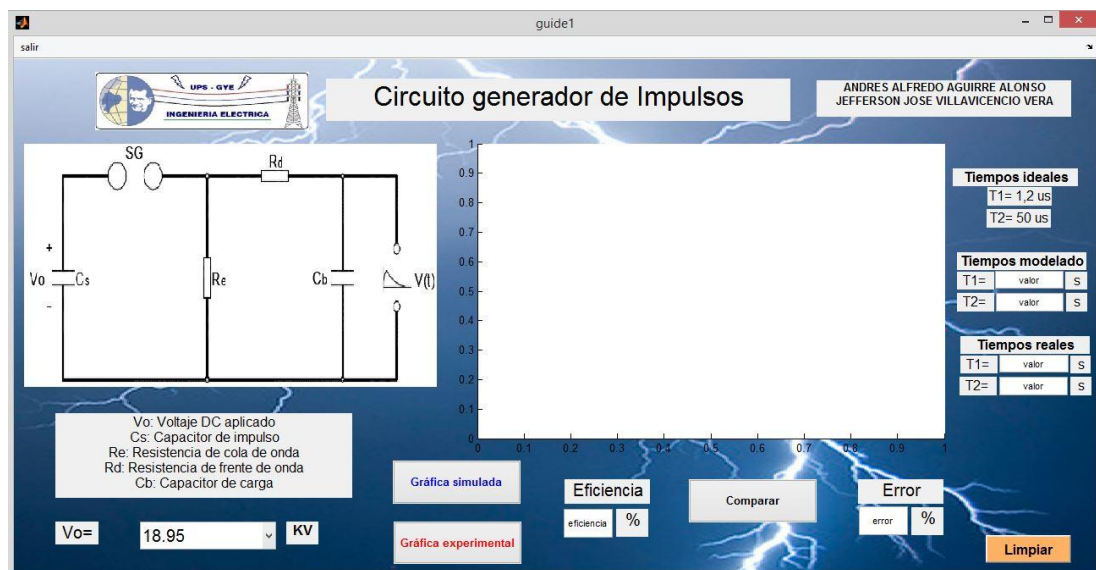
Al analizar las gráficas y los valores de eficiencia de cada circuito se puede determinar que para los mismos parámetros resistivos, capacitivos y de tensión aplicada muestran un pico de tensión diferente, llevando la ventaja el circuito A siendo por un gran porcentaje el más eficiente, por esta razón es el circuito A, el cual se analizó durante todo este trabajo.

Una vez escogido el circuito a analizar, se comprobará sus valores teóricos con los valores tomados de la práctica también conocidos como experimentales. En esta ventana se muestra la gráfica del circuito a utilizar, la nomenclatura de sus componentes, una lista desplegable, el área de las pantallas y botoneras.

La lista desplegable nos permite elegir tres valores de Voltaje DC aplicado, los mismos que son los apropiados para realizar la práctica dentro del laboratorio.

La zona de botoneras consta de tres botones: Gráfica simulada, Gráfica experimental y Comparar.

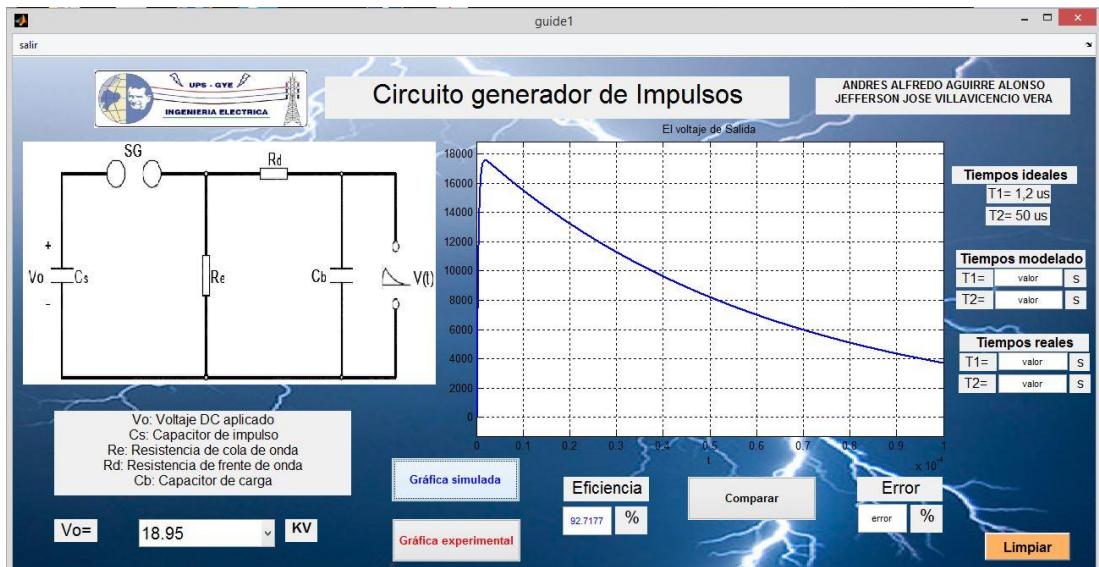
Ilustración 108. Circuito generador de impulsos ventana principal



(Los autores)

El botón “Gráfica simulada” ejecuta una programación en segundo plano la cual nos grafica la curva de impulso al nivel de voltaje previamente escogido. También Calcula el porcentaje de eficiencia de la onda.

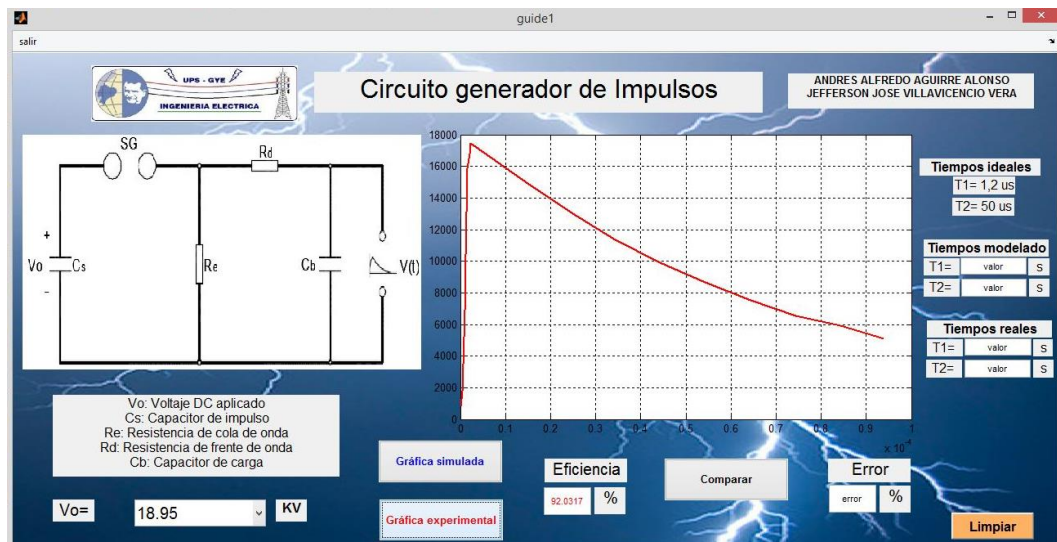
Ilustración 109. Gráfica Simulada



(Los autores)

El botón “Gráfica experimental” lee los datos obtenidos de la práctica hecha en el laboratorio, que fueron recogidos con anterioridad en una hoja de Excel, la misma que está vinculada a la programación de la interfaz cuando se presiona el botón antes mencionado. También recoge datos del porcentaje de eficiencia de la onda y los escribe en la interfaz gráfica.

Ilustración 110. Gráfica Experimental



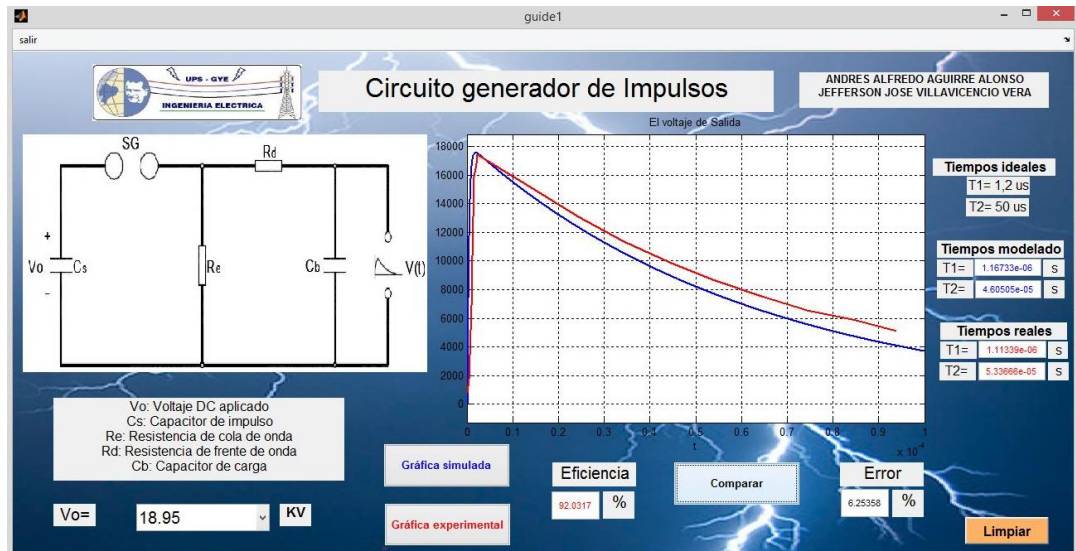
(Los autores)

También se insertó otro botón para comparar las dos gráficas, tanto la teórica, como la experimental.

Al comparar las dos gráficas se puede obtener el margen de error mostrado en porcentaje, que para los diferentes parámetros ingresados fue en promedio de

alrededor del 10%, bastante bueno considerando que no se aplicaron factores de corrección de temperatura y presión, que afectan a los datos obtenidos experimentalmente. La interfaz muestra los valores del tiempo de frente y de cola T1 y T2 respectivamente tanto para el modelado como para la experimentación.

Ilustración 111. Botón comparar en ejecución



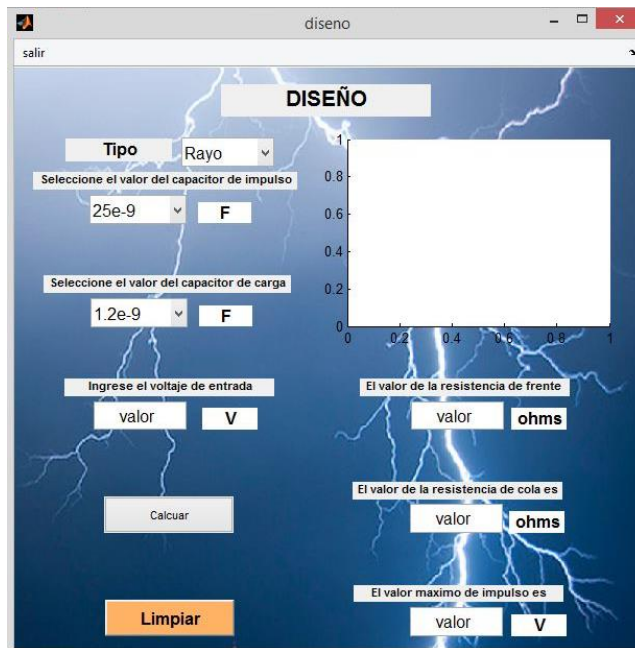
(Los autores)

Por último, se revisará la tercera opción del menú principal la cual muestra un programa que nos permite calcular valores para el diseño de un circuito generador impulso.

Esta ventana consta de una zona de ingreso de datos y otra zona de salida de resultados.

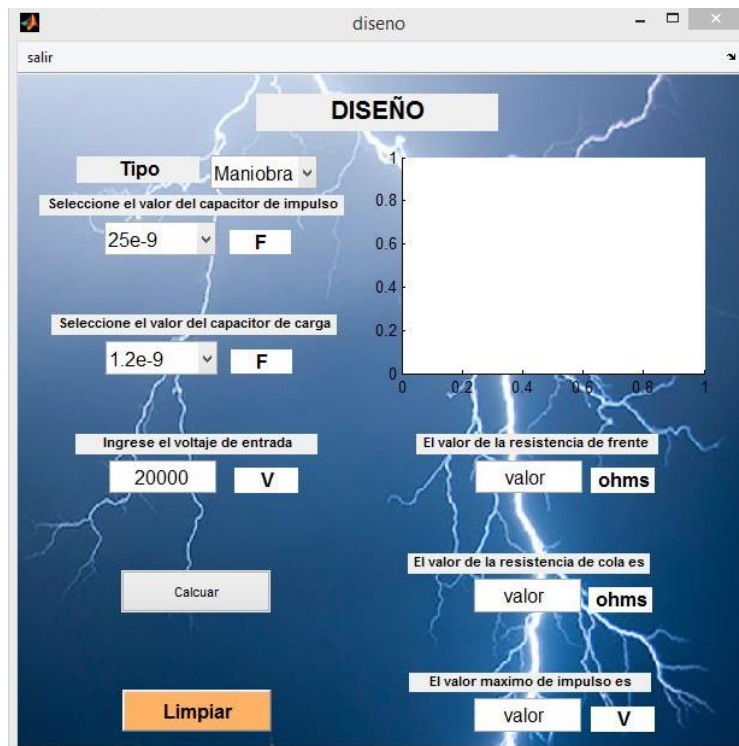
En la zona de ingreso de datos tenemos una lista desplegable en la cual se tendrá que escoger el circuito de impulso ya sea de rayo o de maniobra que se desee diseñar. Una vez hecho esto se debe de elegir el valor de los capacitores los cuales muestran valores comerciales de capacitores disponibles en el mercado. Por ultimo tenemos un textbox en el cual ingresaremos el valor de voltaje de entrada que deseamos.

Ilustración 112. Ventana de diseño



(Los autores)

Ilustración 113. Selección e ingreso de datos



(Los autores)

Al momento de pulsar el botón de calcular, el programa corre en segundo plano tomando los datos de entrada y escribiendo los datos en la zona de datos de salida.

Los datos de salida son: gráfica del circuito, resistencia de frente, resistencia de cola y el valor máximo de impulso para los valores seleccionados.

La gráfica también se abre en una ventana individual la cual me posibilita la toma de datos en cualquier punto de la onda dibujada.

Capítulo VI

CONCLUSIONES

La Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil está provista de un Laboratorio de Alta Tensión que no se le ha dado el debido uso desde su montaje, ya que este cuenta con arreglos para realizar pruebas a elementos y equipos de alta tensión como Aisladores, Pararrayos, Transformadores de Potencia, entre otros. Las pruebas que se pueden realizar son pruebas de campo como Generación de Alto Voltaje Alterno, Generación de Alto Voltaje Directo y Generación de Voltaje de Impulsos, que someten a las muestras a tensiones nominales, tensiones forzadas y tensiones de impulso, que son ensayos rigurosos que pueden garantizar el buen funcionamiento incluso a la intemperie de los equipos a prueba. Se aplicaron pruebas reales a aisladores y transformador de distribución obteniendo muy buenos resultados documentando en informes basados en las pruebas de rutina que entregan los proveedores de dichos equipos y que garantizan el correcto funcionamiento de los mismos.

Con las prácticas desarrolladas en este trabajo de titulación se puede reforzar conceptos estudiados en el aula de clases tales como Carga y Descarga de un capacitor, Efecto Punta, Funcionamiento de un pararrayo, Circuito Rectificador, Factor de Rizado, Circuito Duplicador de Tensión de Greinacher, Efecto Polaridad, Circuito Generador de impulsos de Marx, entre otros conceptos valiosos en alta tensión, de esta manera se obtendrá como resultado la formación teórica- práctica del estudiante, dándole herramientas necesarias para su desempeño en la vida profesional.

El docente guía debe acompañar a los estudiantes durante la ejecución de las prácticas, de manera que se pueda plantear dudas por parte de los estudiantes y ser debidamente resueltas por el docente guía, además recalcar en todo momento sobre la seguridad y la aplicación de los procedimientos de manera que se garantice la seguridad del personal y la conservación de los equipos recordando siempre que se está trabajando en niveles de alta tensión y con equipos costosos.

A medida que se avanzaba con la recopilación de datos para el desarrollo del manual de prácticas, se ejecutaban las prácticas ya realizadas hasta ese momento con presencia de los alumnos que estaban cursando la materia de Alta Tensión 1, en las

cuales se recopilaban conclusiones y recomendaciones hechas por los estudiantes con el objetivo de ir mejorando los procedimientos de las actividades, de la misma manera el docente guía continuará receptando estos comentarios para el continuo mejoramiento del presente trabajo.

Realizando el modelado matemático y la simulación en MATLAB® concluimos que de todos los circuito generadores de impulso el Circuito A descrito en el capítulo 4 es el más eficiente ya que con el obtenemos un valor máximo muy cercano al valor de voltaje aplicado. Además constatamos el alcance que tiene esta herramienta computacional a la cual se le debería dar mayor cabida dentro de la carrera, ya que facilita el análisis de circuitos complejos para hacerlos de una forma rápida, sencilla y eficiente. Comparando los datos obtenidos experimentalmente con los del análisis matemático, modelado y simulación fueron bastante cercanos, ratificando de esta manera la gran ayuda que puede proporcionar esta herramienta informática en la verificación de datos para tomar una decisión con respecto a un cierto modelo.

Bibliografía

- (2005). Normas técnicas para los ensayos de alta tensión. En *Generación de impulsos de alta tensión para diversas aplicaciones*. Chile: Universidad Católica de Valparaíso.
- construya su videorockola*. (23 de Marzo de 2015). Obtenido de http://construyasuvideorockola.com/transformador_casero_04.php
- EEPAT*. (22 de Marzo de 2015). Obtenido de Equipos eléctricos para alta tensión: <http://www.eepat.com/index/productos/pertigas-telescopicas/>
- Thesaurus de colecciones científicas en lengua portuguesa*. (22 de Marzo de 2015). Obtenido de <http://thesaurusonline.museus.ul.pt/ficha.aspx?frm=tg&value=Espinter%F4metro&t=o&id=237>
- Acens. (08 de 2012). *WHITEPAPER:Framework para el desarrollo ágil de aplicaciones*. Obtenido de <http://www.acens.com/wp-content/images/2014/03/frameworks-white-paper-acens-.pdf>
- Aguilar Perís, J., & Cenent, F. (2002). En *Cuestiones de Física* (págs. 205- 206). Barcelona: Reverté S.A.
- Aranzabal Olea, A. (Febrero de 2001). Recuperado el Diciembre de 2014, de *Electrónica Básica*: http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema4/Paginas/Pagina17.htm
- Astudillo Muñoz, J. C. (2008). En *Análisis técnico económico para la reparación o remplazo de transformadores de potencia* (pág. 30). Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Avelino Pérez, P. (2001). En *Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas* (pág. 21). México: Reverté, S.A.
- Bizkaina, E. (22 de Marzo de 2015). *Proyecto Innovación sobre Fibra y Redes*. Obtenido de <http://fibraoptica.blog.tartanga.net/2013/04/15/sistemas-de-puesta-a-tierra-en-las-instalaciones-de-cableado-estructurado/>

- Borg, W. (1983). *Educational research: an introduction New York and London:Lodman.*
- Buban, P., & Marshall L., S. (1983). *Electricidad y electrónica básicos: conceptos y aplicaciones* . México: McGraw-Hill Interamericana.
- Carmona, F., Jiménez, J., & Vázquez, F. (2005). *MODELADO Y SIMULACIÓN DEL CIRCUITO GENERADOR DE IMPULSOS PARA EL ENSAYO DE TRANSFORMADORES. 1.*
- Edo, M. D. (2011). *Manual de seguridad e higiene industrial para la formación en ingeniería.* Castelló de la plana: Universitat Jaume .
- Endesa Educa. (2014). *Endesa Educa.* Recuperado el 19 de Marzo de 2015, de http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/funcionamiento-de-los-transformadores
- Fowler, R. J. (1994). *Electricidad: Principios y aplicaciones.* Barcelona: Reverté S.A.
- Gibilisco, S., & Sclater , N. (1994). *Electrónica Diccionario Enciclopédico tomo II.* Naucalpan: McGraw Hill.
- Hermosa Donate, A. (1999). En *Principios de electricidad y electrónica II* (pág. 185). Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- INDUCOR UTNLAT. (2009). *INDUCOR.* Recuperado el Marzo de 2015, de <http://www.inducor.com.ar/articulostecnicos/marco-referencial-generadores-de-impulsos.pdf>
- Martínez, J. R. (2003). *Física y Química.* Sevilla: MAD.
- Martinez, J. R. (2003). *Física y Química* . Murcia: Mad.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. (2008). En *Reglamento de las líneas eléctricas de alta tensión* (pág. 278). Paraninfo.
- Moncayo, J. M. (2012). *Operaciones de montaje de apoyos en redes eléctricas aéreas.* Málaga: ic editorial.
- Nuñez, N. (s.f.). *academia.edu.* Recuperado el Noviembre de 2014, de http://www.academia.edu/5998119/CIRCUITO_RC

- Oficina Española de patentes y marcas. (1999). Clasificación Internacional de patentes. Madrid: Impresos y Revistas.
- Olivas, E. S., Martín Guerrero, J. D., & Gómez Chova, L. (2004). Teoría de Circuitos. Madrid: McGraw Hill.
- Pineda, E. B., de Alvarado, E. L., & de Canales, F. (1994). *Metodología de la investigación; Manual para el desarrollo de personal de salud*. Washington.
- Puldo, M. Á. (2009). Transformadores transformadores y Cálculo fácil de autotransformadores, monofásicos y de trifásicos baja tensión. Mexico DF: Alfaomega.
- Roldán Vilorio, J. (2010). En *Instalaciones solares fotovoltaicas* (pág. 141). Madrid: Paraninfo.
- (s.f.). En G. Santamaría Herranz, & A. Castejón Oliva, *Electrotecnia* (págs. 42, 57). Editex.
- Santamaría Herranz, G., & Castejón Oliva, A. (s.f.). En *Electrotecnia* (pág. 124). Editex.
- Santamaría Herranz, G., & Castejón Oliva, A. (s.f.). En *Electrotecnia* (pág. 22). Editex.
- Sheeba, R., Jayaraju, M., & Nediyazhikam Shanavas, T. K. (2012). Simulation of Impulse Voltage Generator and Impulse Testing of Insulator. *World Journal of Modelling and Simulation*, 1-8.
- TERCO. (s.f.). En *High Voltage Experiments* (pág. 14). Sweden.
- TERCO . (s.f.). HV 900 High Voltage Modular Training Set.
- TERCO. (Julio de 2009). *TERCOSWEDEN*. Recuperado el Septiembre de 2014, de <http://www.tercosweden.com/wp-content/uploads/2009/07/HV-20110222-lowres.pdf>
- Torresi, A. (2004). Mediciones en Alta Tensión. Editorial Científica Universitaria.
- Vázquez, L. B. (s.f.). Temas de Física . Alicante: Club Universitario .

ANEXO A

INVENTARIO 2014 LABORATORIO DE ALTA TENSION UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL

| Item | Cantidad | Codigo | Descripción | Serial | Serial UPS |
|------|----------|----------|------------------------------------|---------------|-------------------|
| 1 | 1 | HV- 9103 | control desk | D-10213 | 80042000510823 |
| 2 | 1 | HV-9150 | Peak voltmeter | ----- | 80042000510870 |
| 3 | 1 | HV-9151 | DC voltmeter | ----- | 80042000510871 |
| 4 | 1 | HV-9152 | Impulse voltmeter | ----- | 80042000510872 |
| 5 | 1 | HV-9131 | Trigger device | ----- | 80042000510867 |
| 6 | 1 | HV-9105 | test transformer | T-10404 | 80042000510824 |
| 7 | 1 | HV-9133 | measure spark gap | F-10045 | 80042000510873 |
| 8 | 1 | HV-9114 | grounding switch | E-10091 | 80042000510849 |
| 9 | 1 | HV-9134 | vessel for vacuum an d preasure | DKU-12034 | 80042000521996 |
| 10 | 1 | HV-9125 | sphere gap | S-10138 | 80042000510861 |
| 11 | 2 | HV-9124 | Insulating Rod | IS-10207, 208 | 8004200510859,60 |
| 12 | 2 | HV-9112 | Impulse capacitor | C-10689, 690 | 8004200510846,47 |
| 13 | 2 | HV-9121 | Charging resistor | R-10776, 782 | 8004200510856 |
| 14 | 2 | HV9111 | Silicon rectifier | G-10363, 362 | 8004200510844, 45 |
| 15 | 1 | HV-9123 | Wave tail resistor | R-10780 | 8004200510858 |
| 16 | 1 | HV-9122 | Wave front resistor | R-10779 | 8004200510857 |
| 17 | 1 | HV-9120 | Load Capacitor | C-10691 | 8004200510855 |
| 18 | 1 | HV-9113 | Measuring resistor | R-10774 | 8004200510848 |

| Item | Cantidad | Codigo | Descripción | Serial | Serial UPS |
|------|----------|---------|---------------------------|--|--|
| 19 | 1 | HV-9141 | Measuring capacitor 100 | C-10694 | 8004200510860 |
| 20 | 7 | HV-9109 | Connecting cup, aluminium | K-10526, 527, 530, 532, 534, 537, 538 | 8004200510836, 33, 35, 34, 31, 30,32 |
| 21 | 7 | HV-9110 | Floor pedestal, aluminium | P-10315,317, 319, 320, 321, 322,323 | 8004200510837, 38, 39, 40, 41, 42, 43 |
| 22 | 1 | HV-9138 | Electrode | EL-10170 | 8004200510863 |
| 23 | 1 | HV-9107 | Earthing rod | ST-10060 | 8004200510825 |
| 24 | 5 | HV-9119 | Spacer tube, aluminium | DH-10263, 264, 265, 266, 267 | 8004200510850, 51, 52, 53, 54 |
| 25 | 1 | HV-9118 | Spacer tube, aluminium | DH-10273 | 8004200510874 |
| 26 | 4 | HV-9108 | Connecting rod, aluminium | VS-10156, 59, 60, 61, | 8004200510826, 27, 28, 29 |

Descripción de los elementos y equipos

Laboratorio de Alta Tensión

Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil

La Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil posee un laboratorio de Alta Tensión llamado HV 9000 High Voltage Training Set creado por la empresa TERCO.

En este documento se muestra una descripción básica de los elementos y equipos que posee el laboratorio.

Equipos:

- **HV 9103 Control Desk: Escritorio de Control**



(Los autores)

El escritorio de control es usado para el control y la operación de los equipos para pruebas AC, pruebas DC y pruebas de impulso. Este equipo contiene circuitos de control de señales de los equipos de prueba. Este equipo también acoge las señales de los equipos de medida ya sea Voltímetro AC (HV 9150), Voltímetro DC (HV9151) y Voltaje de Impulso (HV9152).

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|---|
| Tensión de alimentación: | 220V- 230V monofásico |
| Capacidad VARIAC: | 5KVA Continuamente 10KVA (por corto tiempo, sólo 2 min.) |
| Frecuencia: | 50/60Hz |

- **HV 9105 Test Transformer: Transformador de prueba**



(Los autores)

El Transformador de prueba es el que incrementa el voltaje obtenido del variac del escritorio de control y lo transforma en alta tensión, según su relación de transformación 100KV/220V.

Datos técnicos

| | |
|-----------------------------|--|
| Relación de transformación: | 100KV/220V |
| Capacidad: | 5KVA Continuamente 10KVA por 60 minutos |
| Impedancia por unidad: | 4% aproximadamente |
| Frecuencia: | 50/60Hz |

Equipos de control y medida:

- **HV9150 Peak Voltmeter: Medidor de Voltaje alterno**



(Los autores)

Medidor de Voltaje alterno, para conexión con el Capacitor de Medida, o con el Capacitor de gas comprimido.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| Voltaje de alimentación: | 220V |
| Rango de medición: | 0-1000 $\hat{U}/\sqrt{2}$ KV |

- **HV 9151 DC Voltmeter: Medidor de voltaje directo**



(Los autores)

Medidor de Voltaje directo para conexión con la resistencia de Medida.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|----------------|
| Voltaje de alimentación: | 220V |
| Rango de medición: | 0- 140KV/280KV |

- **HV 9152 Impulse Voltmeter: Medidor de voltaje de impulso**



(Los autores)

Medidor de voltaje de impulso pico para conexión con el Capacitor de Carga.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|-----------|
| Voltaje de alimentación: | 220V |
| Rango de medición: | 0-1000 KV |

- **HV 9130 Low Voltage Divider: Divisor de bajo voltaje**



(Los autores)

El divisor de bajo voltaje incorporado con un capacitor de bajo voltaje y con el cable adaptador de 50Ω. Se conecta en el puerta UHF del Capacitor de Carga y conectado al Medidor de Voltaje de Impulso para medir por medio de un cable coaxial.

Datos técnicos

Rango de medición: 0- 150 KV

Elementos básicos para pruebas AC, DC e Impulso

- **HV9112 Impulse Capacitor: Capacitor de impulso**



(Los autores)

Capacitor de impulso para generación de voltajes de impulso. Este también puede ser usado como capacitor de rizado en la generación de voltaje DC.

Datos técnicos

Capacitancia: 25000pF
 Voltaje DC y voltaje de impulso nom.: 140 KV

- **HV9120 Load Capacitor: Capacitor de Carga**



(Los autores)

Capacitor de Carga para medición de voltaje de impulso junto al Divisor de Bajo voltaje.

| Datos técnicos | |
|---------------------------------------|--------|
| Capacitancia: | 1.2nF |
| Voltaje DC y voltaje de impulso nom.: | 140 KV |

- **HV9141 Measuring Capacitor: Capacitor para Medición**



(Los autores)

Capacitor para medición provisto de un Capacitor Divisor de Bajo Voltaje para la medición de voltajes AC.

| Datos técnicos | |
|-----------------------|--------|
| Capacitancia: | 100pF |
| Voltaje AC nom.: | 100 KV |

- **HV9124 Insulating Rod: Barra aislante**



(Los autores)

Barra aislante para aislar elementos con diferente potencial eléctrico.

Datos técnicos

| | |
|---|--------|
| Voltaje AC nom.: | 100KV |
| Voltajes DC y voltajes de impulso nom.: | 140 KV |

- **HV9111 Silicon Rectifier: Rectificador de Silicio**



(Los autores)

Rectificador de Silicio se usa en pruebas DC y pruebas de impulso como rectificador de media onda.

Datos técnicos

| | |
|----------------------------|-------|
| Voltaje máx.: | 140KV |
| Corriente nominal: | 20mA |
| Resistencia de protección: | 100KΩ |

- **HV 9121 Charging Resistor: Resistencia de Carga**



(Los autores)

Resistencia de carga para la prueba de Voltaje de Impulso de varias etapas y también se lo usa como resistencia limitadora de corriente para la generación DC.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|-------|
| Resistencia: | 10MΩ |
| Voltaje de impulso nom.: | 140KV |

- **HV 9122 Wave Front Resistor: Resistencia de Frente de Onda**



(Los autores)

Resistencia de Frente de Onda para la generación de voltajes de impulso. La resistencia determina el tiempo de subida de la onda de impulso.

Datos técnicos

| | |
|-------------------------|--------------|
| Resistencia: | 350 Ω |
| Voltaje de impulso nom: | 140KV |

- **HV 9123 Wave Tail Resistor: Resistencia de Cola de Onda**



(Los autores)

Resistencia de cola de onda para la generación de voltajes de impulso. La resistencia determina el tiempo de medio valor del de la onda de impulso.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|---------------|
| Resistencia: | 2400 Ω |
| Voltaje de impulso nom.: | 140KV |

- **HV 9125 Sphere Gap: Espinterómetro**



(Los autores)

El mecanismo se usa para la generación de voltajes de impulso pre ajustado al voltaje pico de impulso que se quiera obtener.

Datos técnicos

| | |
|---|-------|
| Diámetro de esferas: | 100mm |
| Voltaje de impulso nom.: | 140KV |
| Distancia de separación max. entre esferas: | 80mm |

- **HV 9126 Drive for sphere gap: Timonel del Espinterómetro**



(Los autores)

Control a distancia para el espinterómetro para variar la distancia entre explosor y explosor.

| Datos técnicos | |
|--------------------------|---------|
| Voltaje de alimentación: | 220V |
| Frecuencia: | 50/60Hz |

- **HV 9113 Measuring Resistor: Resistencia para medición**



(Los autores)

Resistencia de alto voltaje para medición de voltaje DC.

| Datos técnicos | |
|-----------------------|-------|
| Resistencia: | 280MΩ |
| Voltaje DC nom: | 140KV |
| Corriente nominal: | 0.5mA |

- **HV 9114 Earthing Switch, Electrically Operated: Interruptor a tierra con operación eléctrica**



(Los autores)

Interruptor a tierra para una protección automática (descarga a tierra) en el momento que el transformador es desenergizado.

Datos técnicos

| | |
|-------------------------|---------|
| Voltaje DC de servicio: | 140KV |
| Frecuencia: | 50/60Hz |

- **HV9138 Electrode: Electrodo corona**



(Los autores)

El electrodo de casco sirve como terminación en conjunto con el interruptor a tierra para la protección. También sirve como electrodo libre de corona.

Datos técnicos

| | |
|-----------|-------|
| Diámetro: | 300mm |
|-----------|-------|

- **HV9107 Discharge Rod: Barra de descarga**



(Los autores)

La barra de descarga se usa para la descarga manual hacia tierra de todos los componentes.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------|------|
| Resistencia de descarga: | 100Ω |
| Longitud: | 2.5m |

- **HV9109 Connecting Cup, Aluminium: Copa conectora de aluminio**



(Los autores)

La copa conectora es un elemento conductor que se utiliza como nodo para conexión entre los elementos.

Datos técnicos

| | |
|-----------|-------|
| Diámetro: | 150mm |
| Peso: | 2.2Kg |

- **HV9110 Floor Pedestal, Aluminium: Base pedestal de piso de aluminio**



(Los autores)

La base para piso es un elemento conductor en el cual se montan los elementos y se realiza la conexión inferior a tierra, para que un extremo de un equipo tenga el mismo potencial de la tierra del circuito.

Datos técnicos

| | |
|-----------|-------|
| Diámetro: | 200mm |
| Peso: | 2Kg |

- **HV9108 Connecting Rod, Aluminium: Barra conectora de aluminio**



(Los autores)

La barra conectora se usa como cable conductor, entre elementos a distancias de 1m aproximadamente.

Datos técnicos

| | |
|-----------|-------|
| Longitud: | 665mm |
| Peso: | 1Kg |

- **HV9119 Spacer Tube, aluminium: Tubo conector de aluminio**



(Los autores)

El tubo conector tiene como finalidad tener una mecánica y eléctrica conexión a nivel de tierra cuando se inserta en la base pedestal de piso.

Datos técnicos

| | |
|-----------|-------|
| Longitud: | 665mm |
| Peso: | 1Kg |

Aparatos de prueba

- **HV 9134 Vessel for Vaccum and Pressure: Vasija de vacío y presión**



(Los autores)

La vasija se utiliza para determinar los voltajes de ruptura entre electrodos con arreglos entre vacío y presión necesarios para la prueba. Para diferentes arreglos de electrodos se necesitan otros accesorios.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------------------|----------|
| Voltaje AC nom: | 100KV |
| Voltaje DC y voltaje de impulso nom: | 140KV |
| Presión de operación: | 0- 6 bar |

- **HV9133 Measuring Spark Gap: Espinterómetro para medición medición**



(Los autores)

El espinterómetro para medición es un dispositivo de medición de voltajes de ruptura en el cual se pueden usar varios arreglos de electrodos. Se puede hacer el control a distancia o manual de la distancia de separación entre electrodos. Se muestran los accesorios.

Datos técnicos

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Voltaje AC nom: | 100KV (rms) |
| Voltaje DC y voltaje de impulso nom: | 140KV |
| Voltaje de alimentación: | 220-240V |

- **HV9137 Oil Testing Cup: Copa para pruebas de aislantes líquidos**



(Los autores)

La copa para pruebas en aceite es usada para la medición de voltaje de ruptura de aislantes líquidos. Se debe hacer la medición con una distancia ajustada de 2mm o 2.5mm según norma que se va a utilizar.

- **HV9118 Spacer Bar, Aluminium: Barra conectora de aluminio para piso**



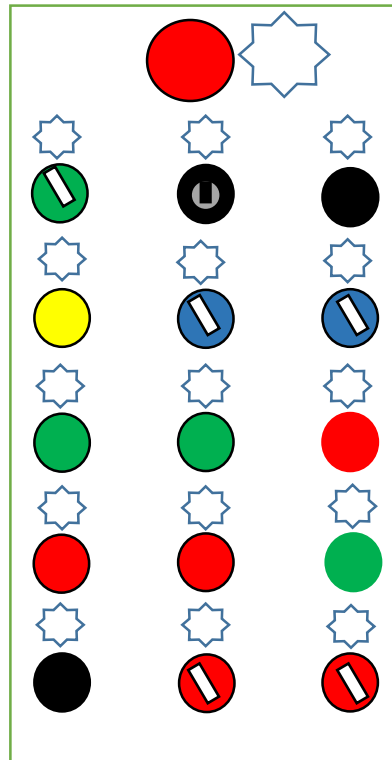
(Los autores)

La barra se utiliza para conectar del pedestal de piso y el espinterómetro de medida ya que la distancia es más pequeña que la de los tubos conectores.

| Datos técnicos | |
|-----------------------|-------|
| Longitud: | 563mm |
| Peso: | 1Kg |

HOJA DE REGISTRO DE DATOS PARA PRÁCTICA 1

Colocar las letras según corresponda.



| Ref | Descripción tipo; función |
|-----|--|
| A | Pulsador; paro de emergencia |
| B | Switch; encendido principal |
| C | Cerradura; Desbloqueo de sistema manual |
| D | Pulsador; Bocina |
| E | Pulsador; Desbloqueo |
| F | Selector; Separador de esfera de impulso |
| G | Selector; Separador de esfera de medición |
| H | Pulsador; Energizar primario |
| I | Pulsador; Energizar secundario |
| J | Luz piloto; Switch de aterrizaje apagado |
| K | Pulsador; Abrir el primario |
| L | Pulsador; Abrir el secundario |
| M | Luz piloto; Switch de aterrizaje encendido |
| N | Pulsador; Prueba de luces tablero y emergencia |
| O | Selector; Regulación fina de voltaje |
| P | Selector; Regulación de voltaje en enteros |

DOCUMENTO DE TRABAJO PARA PRÁCTICA 1


Escriba la secuencia de pasos desde el encendido hasta poder obtener a la salida del transformador 50 Kv. (use como referencia tabla 1)

¿Cuál es la función de la jaula en el laboratorio de Alta tensión? Explique

Indique el procedimiento a seguir cuando se quiere ingresar a la jaula después de haber realizado cualquier práctica.

Indique 2 elementos del laboratorio de alta tensión y explique su función.

ANEXO B

| | |
|---|----------------------|
| | Revisión 1 |
|  | PRÁCTICA # _____: |
| LABORATORIO | ALTA TENSIÓN |
| CARRERA | INGENIERÍA ELÉCTRICA |
| SEDE | GUAYAQUIL |

1. DATOS INFORMATIVOS

MATERIA: ALTA TENSIÓN 1

No. DE PRÁCTICA: ____

No. DE ESTUDIANTES: 2

NOMBRE DEL DOCENTE: _____

TIEMPO ESTIMADO: 2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA:

TEMA:

OBJETIVOS:

En este espacio llenar con los objetivos planteados al inicio de la práctica.

3. MARCO TEÓRICO:

Indique la teoría que implica esta práctica

4. MARCO PROCEDIMENTAL:

Indique el procedimiento de la práctica.

| No | Procedimiento |
|----|---------------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

5. RECURSOS UTILIZADOS

Adjunte una lista detallada de los elementos del laboratorio con sus respectivas imágenes que se utilizaron en la práctica.

| Nombre/ Código | Imagen | Breve descripción |
|----------------|--------|-------------------|
| | | |

6. REGISTRO DE RESULTADOS

Indique los resultados de la práctica (adjunte gráficas, ecuaciones y tablas de valores necesarias)

| |
|--|
| |
|--|

7. CONCLUSIONES

Indique la utilidad de esta práctica y su relación con la teoría, concluyendo si los objetivos planteados fueron logrados.

8. RECOMENDACIONES

¿Qué se puede mejorar en esta práctica?

¿Qué medida de seguridad se tomaron al proceder con la práctica?

9. ANEXO(s)

Adjunte todos los documentos que evidencien su trabajo y los resultados

10. BIBLIOGRAFÍA

Detalle las fuentes usadas para el marco teórico