



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS EN ALTA
TENSIÓN PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE
CARABOBO**

**TUTOR:
Ing. FRANCISCO J. NAVEIRA**

**AUTORES:
Br. GONZÁLEZ, YUSEIDY
C.I: V-19.425.759
Br. MALAVÉ, RONALD
C.I: V-18.855.062**

NAGUANAGUA, JUNIO DE 2012



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS EN ALTA
TENSIÓN PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE
CARABOBO**

**AUTORES:
GONZÁLEZ, YUSEIDY
MALAVÉ, RONALD**

NAGUANAGUA, JUNIO DE 2012



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS EN ALTA
TENSIÓN PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE
CARABOBO**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

**AUTORES:
GONZALEZ, YUSEIDY
MALAVÉ, RONALD**

NAGUANAGUA, JUNIO DE 2012



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
INTRODUCCIÓN.....	vi

CAPITULO I: EL PROBLEMA

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3	OBJETIVOS.....	5
1.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4	ALCANCE.....	5
1.5	RECURSOS.....	6
1.6	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	7

CAPITULO II: MARO TÉRICO

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.2	BASES TEÓRICAS.....	12
2.2.1	LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.....	12
2.2.2	FUNCIONES DE UN LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.....	12
2.2.3	CLASIFICACIÓN DE LOS LABORATORIOS DE ALTA TENSIÓN.....	13
2.2.3.1	LABORATORIOS GRANDES Y ESPECIALIZADOS.....	13
2.2.3.2	LABORATORIOS MEDIANOS DE PROPÓSITO INDUSTRIAL.....	16
2.2.3.3	LABORATORIOS PEQUEÑOS DE PROPÓSITO ESPECÍFICO.....	18
2.2.4	NIVELES DE TENSIÓN PARA LOS CUALES SE DISEÑA UN LAT.....	20
2.2.5	NIVELES DE VOLTAJE Y DE POTENCIA DE LOS EQUIPOS DE PRUEBA.....	22
2.2.5.1	EQUIPO PARA PRUEBA EN CORRIENTE CONTINUA.....	22
2.2.5.2	EQUIPO PARA PRUEBA A FRECUENCIA DE POTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA.....	23
2.2.5.3	EQUIPO GENERADOR DE TENSIÓN DE IMPULSO.....	24



2.2.6	OTROS EQUIPOS DE PRUEBA TAMBIÉN USADOS EN UN LAT.....	27
2.2.7	OTRAS FORMAS DE GENERAR ALTA TENSIÓN.....	27
2.2.7.1	CIRCUITO RESONANTE DE ALTA TENSIÓN SERIE.....	27
2.2.7.2	CIRCUITO RESONANTE DE ALTA TENSIÓN PARALELO.....	28
2.2.8	DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS EN UN LAT.....	28
2.2.9	DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS EN UN LAT.....	31
2.2.9.1	CONSTRUCCIÓN DEL LABORATORIO.....	33
2.2.9.2	SALA PARA PRACTICAS EN ALTA TENSIÓN.....	33
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	38

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.2	ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.3	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	41
3.4	FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	41

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

4.1	PLANEAMIENTO DE UN LABORATORIO DE ALTA TENSION.....	44
4.2	ELECCIÓN DEL NIVEL DE TENSIÓN MAXIMO DE PRUEBA.....	45
4.3	CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.....	46
4.4	ELECCIÓN DE EQUIPOS DE PRUEBA PARA REALIZAR PRACTICAS ACADÉMICAS.....	47
4.4.1	ENSAYOS QUE SE PUEDEN REALIZAR CON EL MODULO DE ENTRENAMIENTO...	49
4.4.2	CARACTERISTICAS TÉCNICAS Y FISICAS DE LOS SISTEMAS MODULARES DE ENTRENAMIENTO.....	50
4.5	DIMENSIONAMIENTO DE LA SALA ACADÉMICA DE PRUEBAS EN ALTA TENSIÓN.....	55
4.6	ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DEL LABORATORIO.....	55
4.7	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE PRUEBA PARA PRESTAR SERVICIOS A LA INDUSTRIA ELECTRICA NACIONAL.....	56

ANEXOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Laboratorio de Propósito General, 3 MV.....	15
Figura 2.2	Laboratorio Especializado de Propósito General, 1.5 MV.....	16
Figura 2.3	Laboratorio Industrial 600 kV.....	17
Figura 2.4	Laboratorio de Propósito Especifico, 100 kV.....	19
Figura 2.5	Fuente de Tensión CC, 400 kV.....	22
Figura 2.6	Cascada de Tensión Alterna, 920 kV.....	24
Figura 2.7	Generador de Impulso, 10 etapas 800 kV – 40 kJ.....	26
Figura 2.8	Generador de Impulso, 12 Etapas 2.4 MV – 120 kJ.....	26
Figura 2.9	Edificio del Laboratorio de Ultra Alta Tensión de la corporación ABB.....	30
Figura 2.10	Edificio del Ala de Extra Alta Tensión, LAT USB.....	31
Figura 2.11	Disposición típica de los equipos y objetos de pruebas en una sala para una tensión máxima de 3 MV.....	32
Figura 2.12	Ejemplo de kit de Alta tensión con propósito de entrenamiento.....	34
Figura 2.13	Mesa de trabajo con los componentes del circuito de Alta Tensión.....	35
Figura 2.14	Detalle de mesa de trabajo exterior, la barrera metálica y el panel de control.....	35
Figura 2.15	Layout típico de la sala de pruebas académica.....	36
Figura 2.16	Ejemplo de Disposición de equipos para kit de alta tensión 100 kV.....	37
Figura 4.1	Esquema Temporal para el Planeamiento de un Laboratorio de Alta Tensión.....	44
Figura 4.2	Sistema Modular de entrenamiento HV9000 de la empresa TERCO.....	48
Figura 4.3	Modulo de Entrenamiento de la empresa HAEFELY.....	48
Figura 4.4	Modulo de Entrenamiento para prácticas de laboratorio en el LAT de la Universidad Simón Bolívar.....	49



Figura 4.5	Transformador de Pruebas.....	50
Figura 4.6	Esquema para prueba de Voltaje Aplicado AC.....	52
Figura 4.7	Esquema para prueba de Voltaje Aplicado DC.....	52
Figura 4.8	Esquema para prueba de Voltaje de Impulso.....	53
Figura 4.9	Ejemplos de Capacitores de un Modulo de Entrenamiento.....	54
Figura 4.10	Ejemplos de Resistores de un Modulo de Entrenamiento.....	54
Figura 4.11	Ejemplos de Rectificadores de un Modulo de Entrenamiento.....	55



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Voltaje de Prueba para Equipos, Sistemas AC.....	20
Tabla 2.2	Voltaje de Prueba para Equipos, Sistemas DC.....	21
Tabla 2.3	Voltajes de prueba requeridos para diferentes voltajes de operación, AC	21
Tabla 2.4	Voltajes de prueba requeridos para diferentes voltajes de operación, DC	21
Tabla 2.5	Dimensiones Aproximadas de los Aparatos de Prueba y los Objetos de Prueba.....	29
Tabla 4.1	Niveles de Aislamiento Normalizados para la gama I.....	45
Tabla 4.2	Prácticas que se pueden realizar con un modulo de entrenamiento.....	50
Tabla 4.3	Características Técnicas del Transformador de Pruebas.....	51
Tabla 4.4	Especificación de los Equipos de Prueba para los Servicios a la Industria	58



INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, es considerada una de las facultades más importantes en el país, debido al gran aporte humano y científico que fortalece las bases para el desarrollo tecnológico e industrial de la nación. La labor que ejerce dicha casa de estudio, específicamente dirigida al sector eléctrico, representa una fuente invaluable de profesionales de la ingeniería, altamente capacitados en diferentes áreas dentro del vasto campo de la Ingeniería Eléctrica.

Sin embargo, al considerar los puntos fuertes de un Ingeniero Electricista egresado de la Universidad de Carabobo y comparando su formación académica con la de otros Ingenieros egresados desde otras importantes Universidades del país, observamos que existe para el Ingeniero UC recién graduado, ciertas desventajas, ya sea por falta de infraestructura o por la necesidad de reformular el pensum de estudios con el fin de optimizar la formación de los estudiantes.

El propósito con el cual nace esta propuesta, es aportar los fundamentos básicos para el desarrollo de una herramienta, en este caso un espacio de trabajo donde se puedan realizar pruebas en alto voltaje, que fortalezcan los conceptos, técnicas y principios físicos sobre los cuales ha evolucionado el tratamiento del aislamiento en los sistemas eléctricos de potencia, y en ese mismo orden de ideas, proponer la inclusión de la materia “Técnicas de Alta Tensión” dentro del pensum de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, como obligatoria para los estudiantes que desean especializarse en el área de Potencia.

Este trabajo se ha dividido en cuatro capítulos organizados de la siguiente manera:

Capítulo I: en este capítulo se describe el problema, el objetivo general y los específicos, el alcance y justificación del trabajo, así como los recursos que serán utilizados.



Capítulo II: este capítulo esta constituido por el marco teórico de la investigación y las bases teóricas necesarias para cumplir con los objetivos.

Capítulo III: en esta sección se describe la metodología con la cual se desarrolla el trabajo de grado y las fases de la investigación.

Capítulo IV: se desarrolla la propuesta, donde se especifican las características técnicas de los equipos.



CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Ingeniería Eléctrica es una de las ramas más importantes en la actualidad para el desarrollo industrial de un país, y este desarrollo depende de la capacitación del ingeniero, es por ello, que las casas de estudio nacionales presentan espacios destinados al aprendizaje teórico y práctico de las diferentes materias, que conforman el pensum de estudios.

En la Universidad de Carabobo, en su facultad de ingeniería, se capacita a los estudiantes, según sus preferencias y habilidades en las diferentes especialidades. La escuela de ingeniería eléctrica, en su departamento de potencia, dicta una materia en el noveno semestre, de carácter electiva y su denominación es las Técnicas de Alta Tensión, la cual, es sumamente importante por el gran campo de trabajo que depara al ingeniero electricista especializado en potencia, sin embargo, siendo esta una materia electiva no es cursada por todos los estudiantes de esta mención, ya que se cuenta con otra variedad de materias electivas tanto en el área de Potencia como en las demás menciones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, además de lo anterior no se cuenta con un laboratorio para el desarrollo practico de los diversos tópicos que están contemplados en el contenido de la materia.

En el país se dispone de tres laboratorios ubicados en instituciones académicas, destinados al ensayo de partes y equipos basados en aplicación de tensiones eléctricas tanto de corriente continua, como tensiones de corriente alterna a frecuencia industrial (60Hz) y tensiones tipo impulso normalizadas para diferentes niveles de tensión, entre otras.

Estos centros son los siguientes y se encuentra ubicados en:

1. Universidad Simón Bolívar (USB, Edo. Miranda).
2. Convenio entre la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” y la Universidad de Los Andes (UNEXPO-ULA, Edo. Lara).
3. En la Universidad Central de Venezuela (UCV, Dto. Capital).



Dentro de las labores que realizan estos laboratorios por lo general, son tres a saber:

- Una es la de ofrecer a los estudiantes de ingeniería eléctrica un numero de prácticas experimentales en la temática de las técnicas de las altas tensiones.

En función de lo anteriormente expuesto, se puede destacar que las universidades nacionales que poseen un laboratorio de alta tensión, ofrecen a sus estudiantes de ingeniería eléctrica en potencia una ventaja al disponer de un espacio que complementa de manera práctica y experimental la teoría dictada en la materia “Técnicas de Alta Tensión” que en el pensum de estudios de estas universidades se cursa con “carácter obligatorio”, pues ofrece a los estudiantes la oportunidad de visualizar y comprender fenómenos eléctricos que se obtienen al someter equipos para alta tensión a condiciones eléctricas y ambientales extremas que simulan los escenarios en los cuales estarán operando, teniendo la oportunidad de reproducirlos por sí mismos en un laboratorio dotado con equipos de prueba apropiados a sus fines.

- Realizar pruebas o ensayos a los diferentes equipos que son utilizados para la transmisión y distribución de energía eléctrica por parte de CORPOELEC, a fin de garantizar que dicha energía llegue hasta el último suscriptor.

Aparte del principal cliente (CORPOELEC), en el centro del país contamos con una industria sumamente importante (la más grande del país), así tenemos, por ejemplo: el sistema ferroviario de la región central, metro de valencia, petroquímicas, industrias de fertilizantes, papeleras, bases navales, diques y astilleros, grandes centros comerciales.

Todos estos entes podrían ser futuros clientes, debido a que, necesitaran recurrir a los servicios de estos laboratorios para certificación de sus productos, bien sea al comprarlos o cuando sean reparados y además se requiere su aprobación.

- Dictar charlas a técnicos e ingenieros que trabajen en esta área de la ingeniería, así como también, cursos de formación profesional.



Es importante señalar el carácter de la obligatoriedad que debería tener la materia “Técnicas de Alta Tensión”, en la Universidad de Carabobo, que por el hecho de ser materia “Electiva” no obliga a la existencia y aprobación de un laboratorio para desarrollo de prácticas concernientes a la materia, esto se debe a que, el propósito es el de preparar mejores y más capacitados ingenieros electricistas en el área de potencia, a fin de poder competir con respecto a los ingenieros electricistas que si poseen este beneficio en sus respectivas casas de estudio.

Por consiguiente, para solventar la problemática anteriormente expuesta se proponen las siguientes acciones:

- Reformular el pensum y hacer que la materia tenga carácter obligatorio (función del departamento de potencia)
- Diseñar una instalación destinada para pruebas en Alta Tensión considerando los aspectos técnicos fundamentales concernientes a:
 - ✓ Selección de equipos de prueba, de acuerdo con el nivel de tensión máximo de prueba siguiendo parámetros establecidos por las normas internacionales en función de lo requerido por el mercado.
 - ✓ Tipo de pruebas a realizar.
 - ✓ Dimensionamiento.
 - ✓ Ubicación geográfica.
 - ✓ Estructura organizativa.
 - ✓ Otras.



1.2. JUSTIFICACIÓN

La Alta Tensión es una de los campos de estudio de la Ingeniería Eléctrica, que requiere de mayor conocimiento matemático-físico y de un soporte experimental que sustente sólidamente las teorías en dicho campo, pues básicamente se demuestran las capacidades y propiedades dieléctricas de los equipos para operar en alta tensión con análisis estadísticos de datos obtenidos en ensayos, y por esta razón, existe la necesidad de contar con laboratorios dotados de equipos e instrumentos altamente especializados en el área.

En los sistemas de transmisión y distribución cuyas instalaciones y redes operan a nivel de media, alta y extra alta tensión, se utilizan diversos materiales aislantes que deben soportar esfuerzos eléctricos, térmicos, mecánicos y climáticos durante su vida útil de operación. Un laboratorio de alta tensión, debe poseer una diversidad de equipos que generen un conjunto de tensiones bajo condiciones normalizadas, para simular las solicitaciones a las que se ven sometidos estos materiales, y así comprobar la calidad y capacidad de los mismos.

Si se analizan estas consideraciones, se observa que disponer de un Laboratorio de Alta Tensión ofrece al estudiante la oportunidad de adquirir sólidos conocimientos en este campo, formándose en normativas, técnicas de ensayo, procesos y procedimientos de medición en alta tensión, apoyando a la línea de investigación de *Ingeniería Eléctrica Aplicada* de la Escuela de Eléctrica y así ampliando las oportunidades de desarrollo tecnológico y áreas de investigación de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Importa, y por muchas razones, que el estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo tenga contacto real y práctico con ensayos en alta tensión, pudiendo así comparar estas experiencias con los fundamentos y teorías que se quieren demostrar en las pruebas y así lograr una mejor comprensión de los fenómenos eléctricos reales que están presentes cuando ocurren anomalías en los sistemas de potencia.



1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer los parámetros fundamentales para el diseño de un laboratorio destinado a ensayos en Alta Tensión para la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer un estudio de los laboratorios de alta tensión existentes en las Universidades de Venezuela, cuantificando los equipos y tipos de ensayos realizados por cada laboratorio, evaluando las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, así como también, comparando sus áreas de aplicación e investigación.
- Especificar los tipos de ensayos que se puede realizar en un Laboratorio de Alta tensión según norma IEEE 4-1995 “Standard Techniques for High-Voltage Testing”.
- Seleccionar los equipos e instrumentos necesarios de acuerdo con el nivel de tensión máxima del sistema siguiendo parámetros establecidos por la norma internacional IEC 60071-1 (2006) “Insulation Co-ordination”.
- Estimar los espaciamientos mínimos que se deban guardar con respecto a los equipos de prueba y la instalación que los alberga definidos según la norma IEC 60071-1 (2006) “Insulation Co-ordination”.

1.4. ALCANCE

Para el diseño del laboratorio de alta tensión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, se realizara un estudio de los laboratorios de alta tensión existentes actualmente en el país, con la finalidad de evaluar y seleccionar los equipos e instrumentos que conformaran el laboratorio de alta tensión de la Universidad de Carabobo, por motivo de que, se quiere que dicho



laboratorio complemente las actividades realizadas en los laboratorios de alta tensión ya presentes en universidades de Venezuela.

En virtud de lo anteriormente expuesto para el Laboratorio de Alta Tensión, será propuesto:

- ✓ La selección de equipos de prueba principales.
- ✓ Los tipos de ensayos y servicios que se pueda prestar en el Laboratorio de Alta Tensión.
- ✓ Las dimensiones y espaciamientos del área optima para el desarrollo de dicho laboratorio.
- ✓ La estructura organizativa.

1.5. RECURSOS

Para el desarrollo del proyecto se contará con:

- ✓ Asesoría del personal docente de la Universidad de Carabobo en la Facultad de Ingeniería en el área de Potencia.
- ✓ Textos relativos al tema presentes en la Biblioteca Rental de la Escuela de Ingeniería Eléctrica además de los disponibles en el mercado.
- ✓ Apoyo y asesoría por parte del personal técnico y docente del Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Simón Bolívar.



1.6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades\ Meses	Diciembre (2011)				Enero (2012)				Febrero ...				Marzo ...				Abril ...				Mayo ...							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Planteamiento del Problema y Alcances del Trabajo	█	█	█	█																								
Marco Teórico y Metodológico					█	█	█	█																				
Selección de Nivel de Tensión y Ensayos											█	█	█	█	█													
Selección de los equipos en función de las pruebas																	█	█	█									
Revisión																					█	█	█					
Presentación del Trabajo																									█	█	█	█



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- RYAN, Hugh M. (2001). **“High Voltage Engineering and Testing”**. IEE.

En esta publicación el autor realiza un estudio de los diferentes tipos de prueba y equipos involucrados en las mismas haciendo especial énfasis en los sistemas de medición y las técnicas y métodos empleados en la mediciones en Alta Tensión. El aporte que realiza esta publicación a la presente investigación es la de suministrar ciertas definiciones con respecto a la calibración de los equipos de prueba y medición.

- KUFFEL E., Zaengl W. S., Kuffel J. (2000). **“High Voltage Engineering, Fundamentals”**. Newnes.

Publicación enfocada principalmente en la realización de ensayos y pruebas a equipos que operan a nivel de Alta Tensión, destacando las características principales de los equipos de prueba y la aplicación de métodos numéricos y estadísticos para el análisis de los datos obtenidos en las pruebas. Como aporte al presente trabajo este libro contiene la estructura detallada de los diferentes equipos de pruebas, así como también, los circuitos equivalentes y el objetivo y alcance de las diversas pruebas en Alta Tensión.

- NAIDU M. S, Kamaraju V. (1996). **“High Voltage Engineering, Second Edition”**.

En el estudio realizado por los autores en este libro de texto, se han destacado los aspectos más importantes de las Técnicas de Alta Tensión y la aplicación de los diferentes equipos que operan para niveles de Alta Tensión. En esta publicación se ha dedicado un capítulo para explicar el diseño, construcción de planos y planificación de un laboratorio de pruebas de Alta Tensión, basándose en estadísticas y datos recolectados de los laboratorios ya existentes; de este capítulo se tomara como referencia el dimensionamiento del plano de trabajo para diferentes niveles de



tensión de prueba.

- CAVALLIUS Hyltèn, Nils. (1986). **“High Voltage Laboratory Planning”**. ASEA-HAEFELY.

Libro de Texto auspiciado por dos de las empresas fabricantes de equipos de prueba en alta tensión más reconocidas del mundo, que trata exclusivamente acerca de los pasos detallados y consideraciones especiales a tomar en cuenta a la hora de realizar la planificación de un laboratorio de pruebas en alta tensión. Así mismo, ha servido de gran ayuda para la realización de este trabajo especial, ya que permite establecer las consideraciones necesarias a la hora de planificar y diseñar un espacio que va a ser destinado para realizar pruebas en alta tensión, que como es conocido, no se debe realizar a la ligera sin antes cubrir todos los aspectos relacionados con el tema, para así lograr un máximo desempeño del laboratorio en cuestión y la homologación de las pruebas realizadas en él.

- MUÑOZ Candía, José Luis. (1979). **“Técnicas y Pruebas en Alta Tensión”**. Universidad de Carabobo.

Libro de Texto para la materia Técnicas de Alta Tensión en la escuela de Eléctrica de la Facultad de Ingeniería-UC en el cual se resumen las propiedades físico-químicas de los materiales dieléctricos y se especifican los tipos de pruebas en alta tensión a realizar para cada tipo de material aislante, en este sentido, esta publicación suministra un gran aporte al presente trabajo especial de grado pues muestra cuales son las pruebas tipo y de rutina que se pueden realizar a los equipos que van a operar en niveles de alta tensión y cuales deben ser los equipos de prueba necesarios para llevar a cabo las pruebas de manera correcta.



- NAVEIRA, Francisco. (2010). **“Apuntes de Técnicas de Alta Tensión”**. Universidad de Carabobo.

Trabajo de recopilación y de constante actualización cuyo contenido abarca 12 temas relacionados con las Técnicas de las Altas Tensiones dirigido a la población estudiantil cursante de la materia “Técnicas de Alta Tensión” en la escuela de eléctrica de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, entre los temas se ha tomado en consideración específicamente los relacionados con las pruebas en alta tensión del cual se ha podido extraer información importante sobre pruebas normalizadas y el análisis estadístico de los resultados de las mismas.

- HARTINGS Ralf; Larsson Thomas K. (2010). **“Alcanzar Nuevos Niveles”**. Revista ABB.

Artículo publicado por la Corporación ABB, referente a el lanzamiento de sus nuevas instalaciones para pruebas de Ultra Alta Tensión (UAT, UHV siglas en inglés) enmarcado en el desarrollo de nuevas tecnologías para el transporte de energía eléctrica en niveles de tensión que superan los 1000kV. Los autores dan importancia a la existencia de instalaciones de prueba adecuadas para ensayos en alta tensión, en este mismo orden de ideas, se puede resaltar la necesidad de espacios destinados a pruebas en Alta Tensión para homologar y certificar equipos nuevos que se quieran introducir a la industria eléctrica.

- MOLINA Julio; Ojeda Nerio (2007) **“Mejoras Y Acreditación Del Laboratorio De Alta Tensión De La Escuela De Ingeniería Eléctrica <<Melchor Centeno Vallenilla>> De La Universidad Central De Venezuela”**.

Esta publicación está enfocada en los objetivos, actividades y resultados esperados de la mejora y acreditación del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Central de Venezuela, haciendo énfasis en el cumplimiento de ciertas actividades a realizar para lograr dicho propósito y de la certificación del Laboratorio por cumplimiento de las normas internacionales vigentes. En



función de lo anteriormente expuesto, cabe destacar que el aporte de este artículo a la presente investigación, va dirigida al producto que se quiere obtener con la propuesta del proyecto de un Laboratorio de Alta Tensión.

- VÁSQUEZ, Carmen Luisa; Blanco, María Carolina. (2005). **“Laboratorio De Alta Tensión Convenio Unexpo – Ula”**.

Nota técnica publicada por docentes de la Universidad Experimental Politécnica y la Universidad de Los Andes que destaca el desarrollado de diversos trabajos de investigación y extensión del Laboratorio de Alta Tensión Convenio UNEXPO-ULA que ha servido de apoyo didáctico a diferentes programas de pregrado y postgrado de la UNEXPO y otras universidades a nivel nacional e internacional. El objeto del presente artículo es dar a conocer su trayectoria y sus logros más importantes en docencia, investigación y extensión. De esta publicación se hace un énfasis en la descripción de las características y funciones de los equipos esenciales que debe requerir un laboratorio de pruebas en Alta Tensión.



2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Laboratorio de Alta Tensión

Es un espacio destinado para el ensayo de partes y equipos basados en aplicación de tensiones eléctricas que principalmente son de corriente continua, tensiones de corriente alterna a frecuencia de potencia (50-60Hz) y tensiones de impulso tipo atmosférico según normas internacionales para pruebas a nivel de alta tensión. Los Laboratorios de Alta Tensión (**LAT**) no sólo se usan para prueba y certificación de equipos nuevos o usados, sino que además representan una fortaleza en el área de investigación de materiales aislantes y desarrollo de nuevas tecnologías en la fabricación de los equipos, para un mejor desempeño en campo. [2,6]

2.2.2. Funciones de un Laboratorio de Alta Tensión

La función y objetivo principal es someter los equipamientos a determinados ensayos y así demostrar si ellos son aptos para soportar los requisitos especificados. De esta forma, se tiene una cierta garantía de que los equipamientos podrán operar satisfactoriamente en las condiciones reales del sistema, simuladas durante los ensayos.

Los Laboratorios de Alta Tensión, además de realizar pruebas, son utilizados para la investigación y desarrollo de trabajos en el equipo. Esto incluye la determinación del factor de seguridad para dieléctricos y estudios de fiabilidad en diferentes condiciones atmosféricas como lluvia, niebla y contaminación industrial, sometidos a tensiones mayores que la tensión de prueba necesaria. A veces, es necesario estudiar problemas asociados con líneas de prueba y otros equipos bajo condiciones de contaminación atmosférica natural y estos ensayos no pueden hacerse en el interior de las instalaciones del laboratorio, con lo cual se necesita un área de pruebas en espacios exteriores al laboratorio. [2]

Una instalación para ensayos en alta tensión debe garantizar que las pruebas no afectarán al suministro eléctrico público y que ella misma no se verá afectada por perturbaciones externas.

Las actividades de investigación generalmente incluyen lo siguiente:

- a) Fenómenos de descomposición del aislamiento en medios tales como gases, líquidos, sólidos o sistemas compuestos.
- b) Soportar grandes tensiones entre electrodos (*Spheregaps*); estudios de descargas de contorno (*flashover*) en equipos con especial referencia a los equipos y materiales utilizados en sistemas de potencia.
- c) Estudios de interferencias eléctricas debido a descargas desde equipos que operan en alta tensión.
- d) Estudios sobre coordinación de aislamiento en sistemas de potencia que operan en alta y extra alta tensión.
- e) Fenómenos de alta corriente como arcos eléctricos y física del plasma.

Generalmente, los laboratorios de alta tensión implican un enorme costo. Por lo tanto, la planificación y diseño debe hacerse con cuidado para que con los equipos de pruebas elegidos, la inversión no sea tan alta y la máxima utilidad del laboratorio se logre. [1,2]

2.2.3. Clasificación de los Laboratorios de Alta Tensión.

Los laboratorios de alta tensión de acuerdo al propósito para el cual se construyen y de los recursos disponibles se pueden clasificar en tres tipos:

- ✓ *Laboratorios Grandes y Especializados*
- ✓ *Laboratorios Medianos de Propósito Industrial*
- ✓ *Laboratorios Pequeños de Propósito Especifico*

2.2.3.1. Laboratorios Grandes y Especializados:

Básicamente a este grupo pertenecen los laboratorios que pueden realizar la gama más amplia de pruebas ya que poseen una gran y diversa cantidad de equipos de prueba con capacidad para realizar ensayos a fabricantes, empresas de suministro de energía eléctrica, o usuarios de



equipamiento electromecánico que deseen realizar pruebas en un laboratorio independiente (no del fabricante). [1,2]

Se trata de laboratorios que tienen una larga trayectoria en estas actividades y que han ido adecuándose y creciendo con las necesidades y requerimientos que el avance tecnológico impone, desarrollando nuevos métodos de prueba y exigencias que años atrás no se consideraban racionales.

Este tipo de laboratorios se han propuesto para realizar pruebas y trabajos de investigación y además contener casi la totalidad de equipos e instalaciones en cuanto a pruebas en alta tensión y alta corriente se refiere. Las instalaciones básicas deben disponer de:

- Una o más salas de prueba para alta tensión.
- Cámaras de prueba de polución artificial y efecto corona.
- Áreas de prueba en exteriores, para probar equipos de gran tamaño, líneas de transmisión, torres, entre otros.
- Salas con cámaras para pruebas en condiciones atmosféricas controladas.
- Salones con ordenadores, sala de conferencias, biblioteca, buenas instalaciones de oficina y provisiones para pruebas nocturnas y alojamiento.

El tamaño de los equipos de prueba y las distancias entre ellos serán bastante grandes; el edificio y el equipamiento incluyen un taller, equipos para manejo de materiales tales como grúas, escaleras, plataformas con cojines de aire, entre otros; instalaciones de suministro eléctrico con grandes módulos de control (sobre varias centenas de kVA o hasta pocas unidades de MVA). El personal conectado con el laboratorio estará conformado por un director o encargado, algunos líderes de grupo y jefes de sección para distintas instalaciones de investigación, pruebas, medición e instalaciones de recursos electrónicos y computacionales entre otros. Además, el

laboratorio contara con personal de apoyo conformado por ingenieros de pruebas, técnicos, bibliotecarios, personal de oficina y obreros calificados y semi-calificados. [1,2]

Un ejemplo de un laboratorio especializado es el que se muestra en las figuras 2.1 y 2.2, de la imagen se puede tener una idea de las dimensiones de la instalación y de los equipos de prueba.

Figura 2.1. “Laboratorio de propósito general, 3 MV”.



Fuente: PowerTech Labs Inc. British Columbia – Canada.

Figura 2.2. “Laboratorio Especializado de Propósito General, 1.5 MV”.



Fuente: HVEL, “High Voltage Engineering Laboratory” University of Waterloo - USA.

2.2.3.2. Laboratorios Medianos de Propósito Industrial:

Los laboratorios industriales son aquellos que se encuentran instalados en las empresas de manufactura y que tienen por finalidad permitir al fabricante resolver sus propias necesidades de prueba (control de materiales, procesos de fabricación, probar y experimentar con nuevos prototipos, entre otros) y además realizar principalmente todos los ensayos de rutina (control de fabricación) y también algunos de los ensayos de tipo (control de diseño). [1]

La demanda de pruebas futuras y recursos de prueba se conocerá en la misma medida que las metas de producción futura. El planeamiento cuidadoso de este tipo de laboratorios incluye transporte terrestre, equipos para movilizar equipos como grúas, racionalización de los procedimientos de prueba haciendo los instrumentos fácilmente accesibles, y contar con una sala que permita aumentar en el futuro el nivel máximo de la tensión nominal de prueba. [2]

Un laboratorio de tipo industrial es como el que se muestra en la figura 2.3 en el cual se puede observar el diseño y la disposición y tamaño de los equipos.

Figura 2.3. “Laboratorio industrial, 600 kV”.



Fuente: Laboratorio de Media Tensión, Escuela Politécnica de Mondragón – España

Los laboratorios industriales pueden en un principio hacer su puesta en marcha con equipos para pruebas a frecuencia de potencia que va desde los 200 kV a los 600 kV nominales, dependiendo de las posiciones y el tamaño de los equipos fabricados que se proponen someter a ensayos, tales como cables, transformadores, entre otros. La magnitud en kVA que maneja este tipo de laboratorios tomara valores que van desde los 100 kVA hasta los 1000 kVA; el generador de tensión de impulso tomara valores de energía nominal desde los 20 kJ hasta los 100 kJ, o incluso mayor. Los laboratorios con propósito industrial generalmente no hacen mucho énfasis en emprender trabajos de investigación y en cuanto a la incorporación de nuevos equipos son poco flexibles. [1,2]



2.2.3.3. Laboratorios Pequeños de Propósito Específico:

Los laboratorios pequeños o de propósito específico son aquellos que poseen equipos de prueba de tensión en corriente continua o tensión en frecuencia de potencia con menos de 10 kVA nominales y con un equipo de tensión de impulso con una energía nominal de 10 kJ o menos. [2]

Este tipo de laboratorios son construidos por una universidad para la realización de ensayos de alta tensión y/o potencia que están destinados a satisfacer requerimientos de empresas locales que no disponen de adecuados laboratorios y además el desarrollo de nuevas técnicas. Es evidente que este tipo de laboratorio está en condiciones óptimas para poder realizar trabajos de investigación que aunque modestos permiten una mejor formación de los alumnos que tienen acceso al mismo para la realización de cursos de entrenamiento. [1]

Los niveles de tensión de prueba nominal pueden estar alrededor de los 100 kV AC para una unidad sencilla, y para unidades en cascada de 300 a 600 kV AC, para pruebas de corriente continua la tensión esta entre ± 200 a ± 400 kV y una tensión de impulso menor a los 400 kV.

Normalmente los equipos de pruebas se proponen alojar en una sala de dimensiones 15 m de ancho, 10 m de largo y 8 m de altura (valores típicos para laboratorios de alta tensión pequeños considerando la máxima tensión anteriormente señalada). En ocasiones la tensión nominal de los equipos se limita ya que estos se acomodan en una sala de solo 3 a 5 m de altura. [2]

Un ejemplo de un laboratorio de propósito específico es el que se muestra en la figura 2.4 en cual se puede observar la configuración y el diseño de la instalación además de las dimensiones de los equipos y de la sala de pruebas.

Figura 2.4. “Laboratorio de propósito específico, 100 kV”



Fuente: High Voltage Modular Training Set HV9000 – TERCO

Laboratorios con estas características típicamente se encuentran en Facultades de Ingeniería y Universidades quienes deciden construir tales instalaciones con pocos recursos para realizar pruebas en alta tensión, investigación o para impartir entrenamiento como un laboratorio de prácticas. En estos casos, es preferible que la Facultad de Ingeniería o la Universidad se asocien con una empresa local o con una organización de “Investigación y Desarrollo”.

Es importante decidir y definir las responsabilidades de las partes involucradas tales como la ubicación de las instalaciones de pruebas y el tiempo en el que debe ser de uso compartido. Otra idea es que la Universidad decida tener su propio laboratorio por completo pero esto se logra mediante instalaciones abiertas a entrenamiento técnico regular a empleados de industrias y a prestar servicios de pruebas en alta tensión a equipos de clientes locales para poder funcionar como una institución autofinanciada. [2]



2.2.4. Niveles de tensión para los cuales se diseña un LAT

La clasificación y tamaño del equipo de prueba en los laboratorios de Alta Tensión depende de los tipos de prueba que desean proveer. Normalmente, el diseño de los laboratorios en sistemas de tensión de 230 kV no plantea ningún problema, pero laboratorios destinados a sistemas con voltajes de 400 kV y superiores, requieren atención especial. Para realizar trabajos de investigación y desarrollo, los niveles de tensión suele ser 1,3 veces la máxima tensión de prueba necesaria. Por lo tanto, los laboratorios destinados a voltajes diferentes del sistema deben tener los voltajes de prueba disponibles. [1,2]

En función de lo anteriormente expuesto, para visualizar los niveles de voltaje para los cuales se diseña un laboratorio de Alta Tensión se muestran las tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2.1. Voltajes de Pruebas para Equipos, Sistemas AC.

Voltaje Nominal del Sistema, kV (rms)	Voltaje Línea a Tierra, kV (pico)	Voltaje para Frecuencia de Potencia (60Hz), kV (rms)	Voltaje de Impulso, kV (pico)	Voltaje para Prueba de Polución, kV (rms)
400	335	530	1425	280
525	430	670	1800	330
765	625	960	2300	500
1100	900	1416	2800	700
1500	1220	1920	3500	950

Fuente: "High Voltage Engineering", Kamaraju – Naidu, Second Edition. Capitulo11.

Tabla 2.2. Voltajes de Pruebas para Equipos, Sistemas DC.

Voltaje Nominal del Sistema, kV	Voltaje de Soporte DC, kV	Voltaje para Frecuencia de Potencia (60Hz), kV	Voltaje de Impulso, kV (pico)	Voltaje para Prueba de Polución, kV
±400	800	±600	1350	440
±600	1200	±900	1900	660
±800	1600	±1200	2300	880

Fuente: "High Voltage Engineering", Kamaraju – Naidu, Second Edition. Capítulo 11.

En las tablas 2.3 y 2.4 se muestra la tensión nominal requerida para diferentes tensiones de operación de sistemas AC y DC.

Tabla 2.3. Voltajes de prueba requeridos para diferentes voltajes de operación (Sistemas AC)

Voltaje Nominal, kV (rms)	Voltaje para Frecuencia de Potencia (60Hz), kV (rms)	Voltaje para pruebas de polución kV (rms)	Voltaje de Impulso normalizado, kV (pico)
400	800	300	2400
765	1000	500	3000
1100	1400	700	3700
1500	1900	1000	4600

Fuente: "High Voltage Engineering", Kamaraju – Naidu, Second Edition. Capítulo 11.

Tabla 2.4. Voltajes de prueba requeridos para diferentes voltajes de operación (Sistemas DC)

Voltaje Nominal, kV (rms)	Voltaje para Frecuencia de Potencia (60Hz), kV (rms)	Voltaje para pruebas de polución kV (rms)	Voltaje de Impulso normalizado, kV (pico)
±400	800	±500	1750
±600	1200	±700	2500
±800	1600	±900	3000

Fuente: "High Voltage Engineering", Kamaraju – Naidu, Second Edition. Capítulo 11.

Los valores dados en las tablas 2.1 a 2.4 hacen referencia a los niveles de tensión que maneja laboratorios grandes o Especializados y fueron obtenidos según la norma IEC 60071-1, "Insulation Co-ordination".

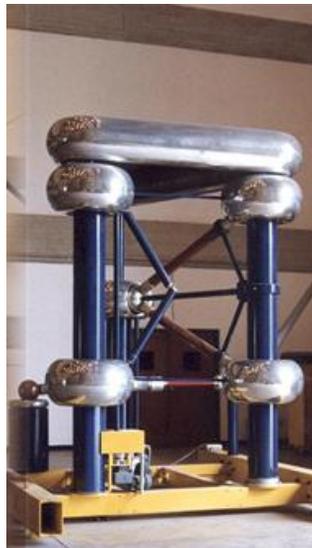
2.2.5. Niveles de Voltaje y de Potencia de los Equipos de Prueba

2.2.5.1. Equipo para prueba en Corriente Continua:

Las pruebas de alta tensión en corriente continua se llevan a cabo con el uso de rectificadores dispuestos en cascada. Cuando se realizan pruebas en aislamientos bajo contaminación artificial, es necesario tomar ciertas consideraciones especiales, ya que al ejecutar las pruebas se requieren corrientes de 50 a 200 mA, pero bajo estas condiciones de prueba pueden ocurrir fuertes pre – descargas de 0,5 a 1,0 A, con una duración de milisegundos. Así pues, el generador debe tener una adecuada reactancia interna con el fin de mantener el voltaje de prueba sin una caída de tensión demasiado alta. Los niveles de voltaje se dan en la tabla 2.4, y los valores de potencia varían desde varios kW hasta unos pocos cientos de kW. [1,2]

En la figura 2.5 se observa un equipo de prueba de corriente continua.

Figura 2.5. “Fuente de tensión CC, 400 kV”.



Fuente: Laboratorio de Alta Tensión, Universidad Simón Bolívar – Venezuela.



2.2.5.2. Equipo para prueba a Frecuencia de Potencia en Corriente Alterna:

La tensión de contorno de un aislador en aire, aceite o en algún fluido depende de la capacitancia de la fuente, debido al hecho de que una caída de tensión no puede mantener las pre-descargas antes de la descarga. Así pues, un mínimo de alrededor de 1000 pF en paralelo con el aislador energizado se necesita para determinar la verdadera tensión de contorno o bien la tensión de perforación; el generador ha de suministrar al menos 1 A en condiciones limpias y 5 A en el caso de un aislador contaminado para tensión de prueba en un cortocircuito.

A continuación se dan las capacitancias propias de algunos equipos que se someten a ensayo:

✓ Aisladores	menos de 100 pF
✓ Pasa – tapas (bushings)	100 a 400 pF
✓ Transformadores de Corriente	200 a 600 pF
✓ Transformadores de potencia (1MVA en adelante)	1000 a 8000 pF
✓ Cables por cada 10 m de longitud	1000 a 3000 pF

La potencia de salida del transformador de prueba está dada por:

$$P = (2\pi fC)V^2 \times 10^{-9} \text{ kVA} \quad (2.1)$$

Donde,

f : Frecuencia de la fuente

C : Capacitancia en pF

V : Voltaje de prueba en los terminales del transformador en kV_{rms} . [1,2]

En la figura 2.6 se muestra un equipo de prueba de corriente alterna.

Figura 2.6. “Cascada de tensión alterna, 920 kV”.



Fuente: Laboratorio de Alta Tensión, Universidad Simón Bolívar – Venezuela.

2.2.5.3. Equipo Generador de Tensión de Impulso:

La máxima tensión de impulso de un generador de tensión de impulso está dada por la tensión de una etapa multiplicada por el número de etapas. El valor pico de la tensión de impulso V_s de una forma de onda normalizada 1,2/50 μ s es:

$$V = nV_{DC} \times \left[0,95 - \frac{C_L}{C_L + C_g} \right] \quad (2.2)$$

n : Número de etapas del generador

V_{DC} : Voltaje de carga

C_L : Capacitancia de la carga

C_g : Capacitancia del generador

Para $C_g/C_L \geq 5$, el valor pico del voltaje de salida del generador de impulso será aproximadamente $V_s = 0,7nV_{DC}$. En otras palabras, los niveles de tensión del generador van a ser al menos 1.3 veces mas que el voltaje de salida deseado. La energía del generador del impulso cuando la tensión es máxima viene dada por:

$$W = \frac{1}{2} C_g V^2 \times 10^{-9} \text{ kJ} \quad (2.3)$$

W : Energía Almacenada

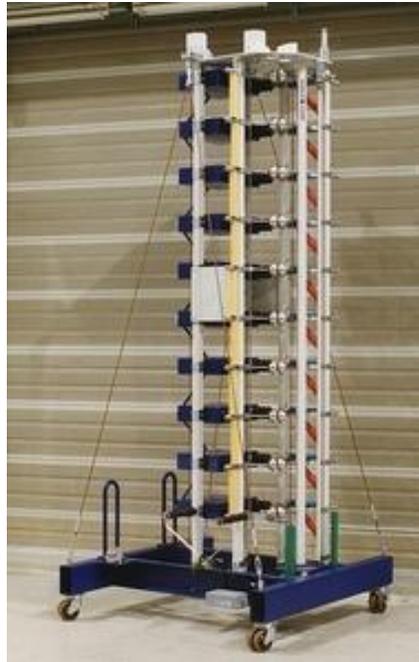
C_g : Capacitancia del Generador

V : Voltaje total de carga en kV

En concordancia con transformadores de prueba que posean una capacitancia muy grande, será necesario que el generador de impulso tenga una capacitancia que esté entre los 30.000 a 40.000 pF. Un cálculo simple muestra que para un generador de impulso de 3 MV se requieren unos 135 kJ como mínimo si queremos mantener la forma de onda para tensiones de impulso especificada por la IEC. El nivel mínimo de energía para un generador de impulso de 6 MV será de aproximadamente 600 kJ. De esto se puede concluir que el nivel de energía expresado en kJ será aproximadamente 0,1 veces el nivel de tensión del generador de impulso expresado en kV, si se quiere mantener la forma de onda normalizada. [1,2]

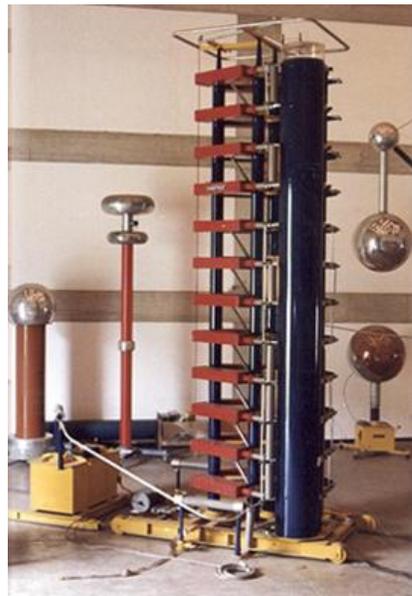
Un ejemplo de un equipo generador de tensiones tipo impulso es el que se observa en las figuras 2.7 y 2.8.

Figura 2.7. “Generador de impulso, 10 etapas 800 kV-40 kJ”.



Fuente: Impulse Voltage Test System SGSA - HAEFELY

Figura 2.8. “Generador de impulso, 12 etapas 2.4 MV-120 kJ”.



Fuente: Laboratorio de Alta Tensión, Universidad Simón Bolívar – Venezuela.



2.2.6. Otros equipos de prueba también usados en un LAT

Usualmente, otros equipos de prueba que pueden estar disponibles son, *(i)* generadores de impulso de corriente para probar los descargadores de sobretensión (para-rayos), *(ii)* instalaciones para medición de RIV y descargas parciales, *(iii)* espinterómetros para propósitos de medición y calibración, *(iv)* puente de Schering de alta tensión para pruebas dieléctricas. Usualmente, el generador de impulso de corriente tiene como valor nominal de 100 a 250 kA con una energía que va de los 50 a los 100 kJ, estos valores son más que adecuado para pruebas con corrientes que simulan rayos. Las mediciones de RIV y descargas parciales requieren transformadores de prueba libres de descargas parciales internas. Los equipos de detección deben ser capaces de detectar 0.01 pC de carga en un objeto de prueba de 100 pF de capacitancia y de 2 a 3 pC en un capacitancia de prueba de 1 μ F.

Sin embargo, los transformadores de prueba deberían tener descargas parciales internas en el mismo orden o menor para el valor de voltaje especificado. Hoy en día es posible diseñar transformadores de prueba A.C. con descargas parciales internas menores a los 5 pC para 500 kV. Donde se usan espinterómetros es importante resguardar las apropiadas dimensiones de las esferas y los requerimientos de espaciado. Se debe prestar la apropiada atención a *(i)* el tipo y magnitud de voltaje que se quiere medir, *(ii)* el rango en los niveles de operación que se deben mantener si la distancia del entrehierro entre las esferas es menor que 0.5 veces el diámetro de las esferas. [1,2]

2.2.7. Otras formas de generar alta tensión

2.2.7.1. Circuito Resonante de Alta Tensión Serie

Este circuito consta esencialmente de un inductor en serie con un objeto de prueba capacitivo. Alternativamente este puede consistir de un capacitor conectado en serie con un elemento de prueba inductivo. Variando los parámetros del circuito o la frecuencia de la fuente se



puede lograr obtener una tensión en terminales del objeto de prueba mucho más grande que la tensión de la fuente y con una forma de onda sustancialmente sinusoidal.

El circuito resonante de alta tensión serie es útil cuando las corrientes de fuga de los objetos de prueba son despreciables frente a las corriente capacitivas. Este circuito es inadecuado cuando se quiere probar aislamiento externo bajo condiciones de contaminación. [11]

2.2.7.2. Circuito Resonante de Alta Tensión Paralelo

Este circuito consta esencialmente de un objeto de prueba capacitivo o una carga en paralelo con un inductor variable y una fuente de alta tensión. Al variar la inductancia, se puede llegar a lograr que el circuito entre en resonancia, resultando en una considerable reducción de la corriente entregada por la fuente de alta tensión. [11]

2.2.8. Dimensiones de los equipos en un LAT

Un LAT puede ser a puerta cerrada (Desarrollado en el área interior de una instalación) o al aire libre (Desarrollado en espacios abiertos o para hacer pruebas en sitio, *In Situ*). Los que son a puerta cerrada tienen la ventaja de que cuentan con instalaciones que protegen el equipamiento de prueba ante las diferentes condiciones climáticas, simplicidad en el diseño y control del equipo de prueba. Los LAT al aire libre tienen la ventaja de generar menores costos debidos a la ausencia de un edificio y a la planificación y diseño de un costoso layado para los equipos de prueba. Sin embargo, las aéreas de prueba exteriores tienen ciertas limitaciones tales como la ausencia de puentes grúas de carga e instalaciones soportantes; las condiciones climáticas pueden restringir e incluso impedir las pruebas, la repetitividad de los resultados no está garantizada debido a condiciones atmosféricas descontroladas y pruebas en seco y humedad son difíciles debido a las variaciones del viento, entre muchos otros factores climáticos.

Cuando un LAT se planea como laboratorio a puerta cerrada los siguientes aspectos determinan las dimensiones de los laboratorios:

- a. Tamaño de los equipos de prueba de A.C., D.C., o generadores de impulso.
- b. Distancias o separaciones entre los objetos de prueba y tierra durante condiciones de ensayo y también entre los terminales con la máxima tensión de prueba y los alrededores aterrados como muros y techo del edificio, además de cualquier otro equipo que no esté energizado. [1,2]

Tabla 2.5. Dimensiones Aproximadas de los Aparatos de Prueba y los Objetos de Prueba

Voltaje Nominal Del Sistema para los Equipos kV(rms)	Transformador de Prueba A.C. Altura (m)	Generador de Impulso Altura (m)	Dimensiones de Objetos de Prueba (valores máximos)		
			Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
400	10	6	7	2	11
765	15	8	11	2	17
1100	18	12	17	2	24
1500	21	15	28	2	38

Fuente: “High Voltage Engineering”, Kamaraju – Naidu, Second Edition. Capítulo 11.

En la tabla 2.5. se dan las diferentes medidas y dimensiones de los transformadores de prueba y de los generadores de impulso para diferentes niveles de tensión de los sistemas. La tabla también muestra las dimensiones mínimas que debe tener una sala de pruebas para alojar a dichos equipos.

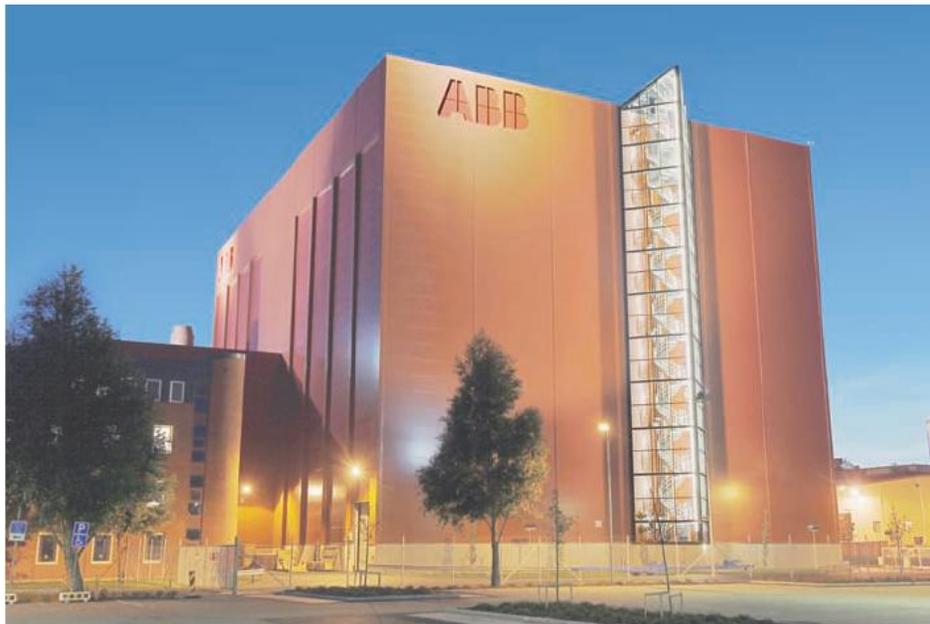
En cuanto a los espacios libres, es decir, la distancia mínima entre las superficies de alta tensión y los puntos de tierra, son de suma importancia en las pruebas de alto voltaje. Una separación con respecto a las estructuras cercanas igual o mayor a 1,5 veces la longitud más corta de la trayectoria de posible descarga sobre el objeto de prueba, usualmente hace que los efectos por proximidad sean insignificantes.

En las pruebas de humedad o contaminación, o cuando la distribución de tensión a lo largo del objeto de prueba y el campo eléctrico entorno a su electrodo energizado son los suficientemente independientes de influencias externas, distancias menores pueden ser aceptables siempre que las descargas no ocurran en las estructuras cercanas. [11]

En el caso de pruebas en A.C. o impulsos de conmutación positiva cuyo valor pico de tensión este sobre los $750 \text{ kV}_{\text{pico}}$ la influencia de estructuras cercanas puede considerarse inminente si la distancia desde el electrodo energizado hasta el plano puesto a tierra es también la misma distancia de las estructuras extrañas al arreglo. [12]

Para tener una idea del aspecto y las dimensiones que puede llegar a tener un laboratorio de alta tensión, podemos observar las estructuras de dos laboratorios en las figuras 2.9 y 2.10.

Figura 2.9. “Edificio del laboratorio de ultra alta tensión de la corporación ABB”.



Fuente: Revista ABB 3-2010.

Figura 2.10. “Edificio del Ala de extra alta tensión, LAT USB”.



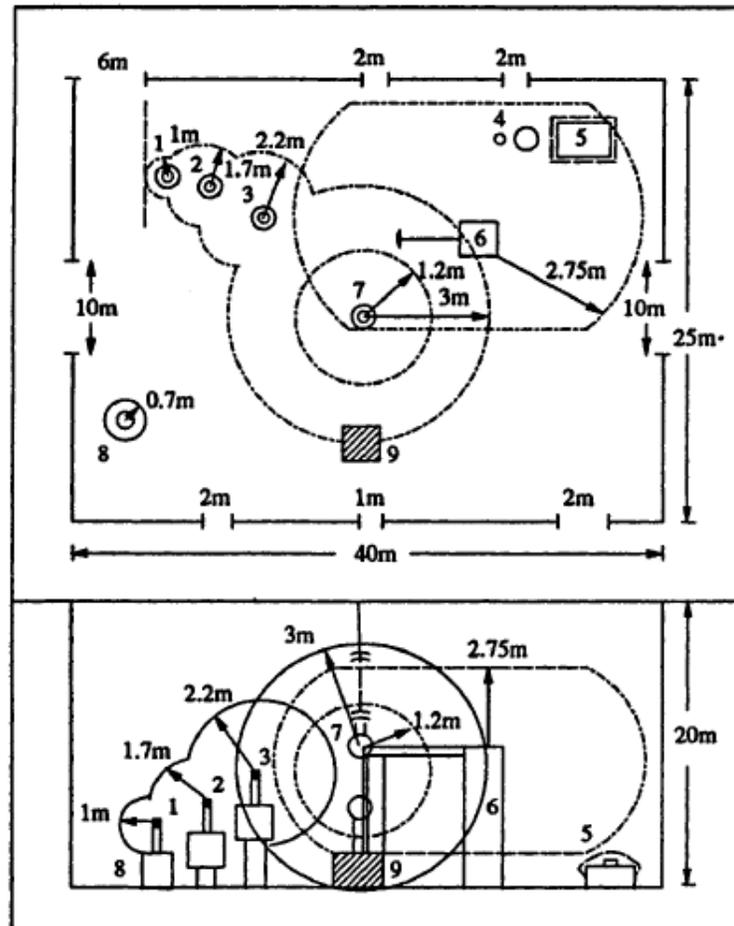
Fuente: Laboratorio de Alta Tensión, Universidad Simón Bolívar – Venezuela.

2.2.9. Disposición de los Equipos en un LAT (Layout)

La disposición de los equipos en un laboratorio de alta tensión es un aspecto importante para proporcionar una instalación de pruebas eficiente. Los arreglos en los laboratorios difieren mucho unos de otros debidos a cada equipo de pruebas, ya sea tensión en corriente continua., tensión en corriente alterna o tensión de impulso, y además por el tipo y tamaño de los equipos que se van a probar. Cada laboratorio debe diseñarse individualmente, tomando en cuenta el tipo de equipos que se va a probar, el espacio disponible, accesorios adicionales para poder realizar las pruebas, el espacio de almacenaje, el sistema de aterramiento, el sistema y cabina de control y las más cuidadosas precauciones de seguridad. [1,2]

Un ejemplo de la disposición de los equipos en una sala de pruebas se muestra en la figura 2.11, para un nivel de tensión máximo de 3 MV (tensión de impulso).

Figura 2.11. “Disposición típica de los equipos y objetos de pruebas en una sala para una tensión máxima de 3 MV”.



Fuente: High Voltage Engineering Kamaraju-Naidu.

Donde,

- 1, 2, 3: Cascada de Tensión Alterna 1 MV
- 4: Unidad de Carga de Corriente Continua 200 kV
- 5: Generador de Impulso de Corriente 200 kA
- 6: Generador de Tensión de Impulso 3 MV
- 7: Espinterómetro de 2 m de diámetro cada esfera
- 8: Equipo de prueba de Corriente Continua 300 kV
- 9: Cámara de control en jaula de Faraday (5 x 3.5 x 3) m³

Los espaciamientos entre los equipos y objetos se indican con circunferencias. [2]



2.2.9.1. Construcción Del Laboratorio

La construcción del laboratorio no es crítica a menos que se quieran llevar a cabo pruebas de ionización. Para minimizar los problemas de carga del suelo y para simplificar la puesta a tierra, la ubicación a nivel del suelo se prefiere. El piso debe soportar la carga impuesta por los equipos y los objetos de prueba. Los arreglos se deben diseñar para asegurar que el laboratorio esté libre de polvo y excesiva humedad. Para visualizar el efecto corona las ventanas de la edificación si es que existen deben ser oscuras. La cabina de control debe estar ubicada donde se pueda tener una visión completa de toda el área de pruebas. La puerta de entrada principal considerando la ubicación de los equipos y las dimensiones de los objetos que se van a probar se debe colocar de manera tal que coincida con el camino para desplazar los objetos de prueba, ya sea con rieles o para movilizarlos con una grúa tipo puente, todo esto para asegurar la seguridad del personal que labora en el laboratorio. [1,2]

2.2.9.2. Salas para Prácticas en Alta Tensión (Académicas)

Las prácticas son ejercicios de laboratorio que proporcionan a los estudiantes la oportunidad de llevar a cabo experimentos bajo supervisión. Estos experimentos por lo general se realizan con pequeños grupos de tres o hasta un máximo de seis participantes; pero con el propósito de acomodar un mayor número de participantes lo que usualmente se hace es disponer de varias mesas de trabajo donde se realice el mismo experimento de manera simultánea o disponer de un espacio más amplio para atender hasta unos veinte participantes. La cantidad de mesas de trabajo depende de las restricciones económicas y del nivel de tensión en el cual se opere.

Si el nivel máximo de tensión alterna se limita a 100 kV con valores de potencia de 5 a 10 kVA, las mesas de trabajo de los experimentos se pueden acondicionar en salas con una altura normal de 2,5 m. Por otra parte, el peso de los demás elementos constructivos pudiera ser lo suficientemente bajo como para permitir su transporte sin la necesidad de instalar una grúa, a excepción del transformador de prueba cuyo peso es considerable. Ya que los fenómenos físicos

básicos se pueden observar en un rango de voltaje de alrededor de 100 kV, las restricciones sobre este valor no imponen ningún límite apreciable sobre la elección de los experimentos que se puedan llevar a cabo, pero si es necesario los conocimientos o el enfoque que se le quiera dar a los experimentos en las prácticas puede ser reforzado con un experimento que se realice en muy alta tensión. [16,17,11]

El kit para prácticas en alta tensión básico usado por muchos institutos técnicos y universidades consiste en lo siguiente; una malla protectora metálica con una puerta de seguridad, cercano a esta pero en la parte exterior se encuentra una mesa de trabajo y un panel de control. En el interior de la barrera metálica, se encuentra una mesa de trabajo con unas placas metálicas en su superficie que sirven como puntos de aterramiento, sobre esta mesa de trabajo se realiza el montaje de los componentes del circuito experimental con todos los accesorios necesarios; para realizar la medición y el control se pueden colocar cables flexibles entre la mesa de trabajo interna donde se disponen solo los elementos constructivos del circuito y estos cables se conectan con el escritorio de trabajo y el panel de control exterior. [2,17]

Figura 2.12. “Ejemplo de kit de Alta tensión con propósito de entrenamiento”.



Fuente: High Voltage Modular Training Set HV9000 – TERCO

Comúnmente al adquirir un kit de alta tensión como el de la figura 2.12, ya vienen con de la mesa de trabajo donde directamente se colocan los elementos y los accesorios de los montajes, y

además suministran las placas metálicas de aterramiento que por lo general son láminas de aluminio o cobre. Para una mejor comprensión de este escenario podemos visualizar un ejemplo del kit de alta tensión con el que cuenta el laboratorio de alta tensión de la Universidad Simón Bolívar en las figuras 2.13 y 2.14. [2,16]

Figura 2.13. “Mesa de trabajo con los componentes del circuito de Alta Tensión”.



Fuente: Laboratorio de Alta Tensión Universidad Simón Bolívar - Venezuela

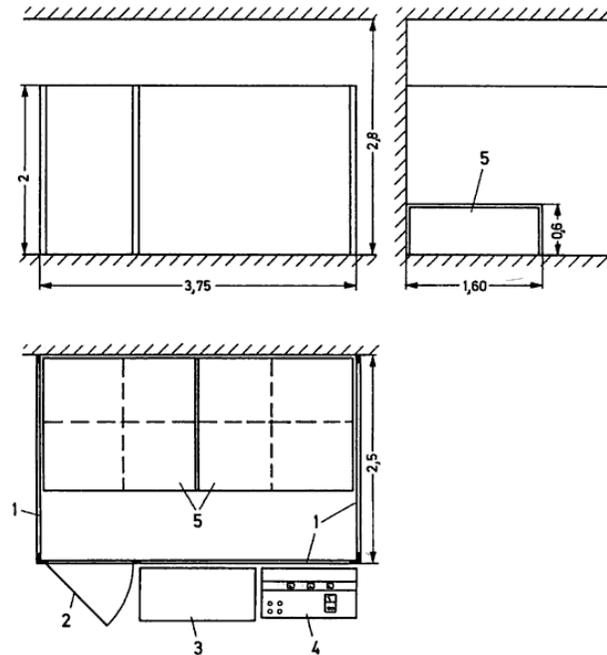
Figura 2.14. “Detalle de mesa de trabajo exterior, la barrera metálica y el panel de control”.



Fuente: Laboratorio de Alta Tensión Universidad Simón Bolívar – Venezuela

Un ejemplo de cómo se disponen los equipos en una sala de pruebas académica, cuyo valor de tensión máximo es de 100 kV, se muestra en las figuras 2.15 y 2.16.

Figura 2.15. “Layout típico de la sala de pruebas académica”.



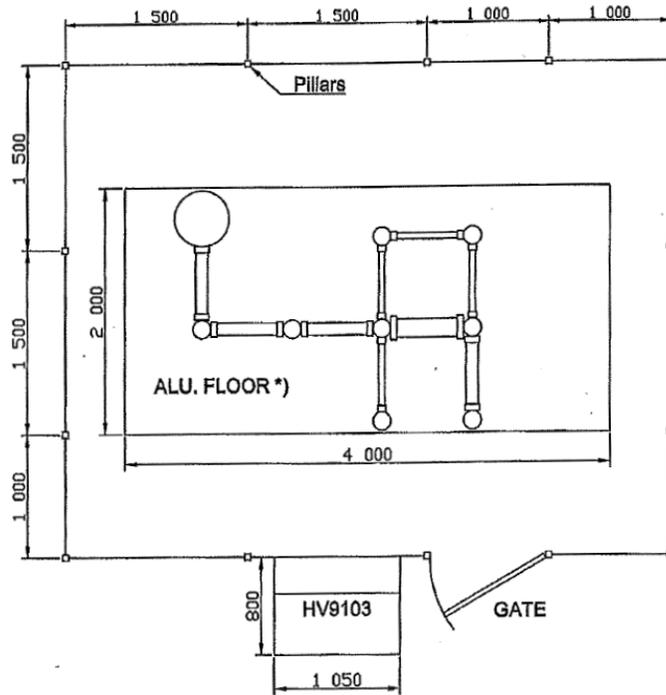
Fuente: “High Voltage Techniques”; D. Kind, K. Feser.

Donde,

1. – Barrera Metálica Protectora.
2. – Puerta de Seguridad.
3. – Mesa de Trabajo Exterior.
4. – Panel de Control.
5. – Mesa de Trabajo Interior con Láminas de Aterramiento.

Nota: Las dimensiones están dadas en metros.

Figura 2.16. “Ejemplo de Disposición de equipos para kit de alta tensión 100kV”





2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Aislamiento Eléctrico: El aislamiento eléctrico se produce cuando se cubre un elemento de una instalación eléctrica con un material que no es conductor de la electricidad.

Alta Tensión: Cualquier instalación eléctrica cuyo voltaje supere los 1000 Voltios según IEC 60-1, y según el Código Eléctrico Nacional, cualquier instalación cuyo voltaje supere 600V.

Arco Eléctrico: Arco eléctrico o también arco voltaico a la descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial.

Campo Eléctrico: El campo eléctrico es un campo físico que es representado mediante un modelo que describe la interacción entre cuerpos y sistemas con propiedades de naturaleza eléctrica.

Efecto Corona: El efecto corona es un fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor.

Ensayos: procesos que permiten verificar y revelar la calidad de un producto.

Espinterómetros: Aparato que sirve para medir la rigidez dieléctrica de un material, la cual se mide por la cantidad de voltios que producen la perforación del material.

Impulso Eléctrico: Un impulso eléctrico es la variación, generalmente breve (unos pocos microsegundos), en intensidad o tensión de una corriente o voltaje pulsatorio.

Laboratorio: Es un lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos, prácticas y trabajos de carácter científico, tecnológico o técnico; está equipado con



instrumentos de medida o equipos con que se realizan experimentos, investigaciones o prácticas diversas, según la rama de la ciencia a la que se dedique.

Material Dieléctrico: Materiales que no conducen la electricidad, por lo que pueden ser utilizados como aislantes eléctricos.

Polución Artificial: Es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente totalmente ajeno a ese medio (contaminante).

Rectificador: Un rectificador es el elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua.

Reactancia: Se denomina reactancia a la oposición ofrecida al paso de la corriente alterna por inductores (bobinas) y condensadores y se mide en Ohmios.

Resonancia: La resonancia es un fenómeno que se produce en un circuito en el que existen elementos reactivos (bobinas y condensadores) cuando es recorrido por una corriente alterna de una frecuencia tal que hace que la reactancia se anule, en caso de estar ambos en serie, o se haga infinita si están en paralelo.

RIV: Voltaje de interferencia en radiofrecuencias.



CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo De Investigación

El presente trabajo titulado “**Propuesta de Diseño de un Laboratorio de Pruebas en Alta Tensión para la Facultad de Ingeniería d la Universidad de Carabobo**” se encuentra enmarcado en la modalidad de **Proyecto Factible**, debido a que, el mismo proporciona los aspectos fundamentales para una futura ejecución y así satisfacer las necesidades presentes en la escuela de eléctrica de la Facultad de Ingeniería en lo que se refiere a instalaciones para prácticas a nivel académico y de igual manera, cubrir los requerimientos de empresas locales, en cuanto a la homologación de sus equipos.

Un Proyecto Factible consiste en la elaboración y desarrollo de una propuesta viable con base en la investigación, cuyo objetivo principal es solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales. [19]

Este trabajo está enmarcado en una **Investigación de Campo**, el cual se cataloga como un trabajo de campo porque en primera instancia se encarga de la recolección de los datos con el fin de hacer un estudio general de la problemática y plantear las soluciones adecuadas para un próximo desarrollo de las propuestas realizadas. De la misma forma, la investigación tiene una naturaleza **Exploratoria**, debido a que, la misma es el primer acercamiento científico a un tema que no ha sido suficientemente abordado en la Universidad de Carabobo. [14]

3.2. Área de Investigación

El presente trabajo especial de grado fue desarrollado en la Cátedra de Técnicas de Alta Tensión, adscrita al departamento de potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo y contribuye a la línea de investigación **Ingeniería Eléctrica Aplicada**.



3.3. Técnicas De Recolección De Datos

La obtención de información para el trabajo estuvo fundamentada en la recolección y revisión de textos bibliográficos y normas vigentes que abarcan el tema, especializados en:

- Planeamiento de instalaciones para pruebas en Alta Tensión
- Descripción de las características de funcionamiento de los equipos de prueba.
- Tipos de ensayo que se pueden realizar en Alta Tensión.

En este mismo orden de ideas, también se realizaron visitas técnicas a las instalaciones de Laboratorios de Alta Tensión (LAT) existentes en el país y entrevistas a personal técnico y docente especializado en el área de técnicas de Alta Tensión tanto en la Universidad de Carabobo como en otras casa de estudio, con la finalidad de obtener una visión real y más amplia del objetivo general planteado en la investigación. Del mismo modo se utilizó como herramienta de investigación la red de internet para búsqueda de material bibliográfico.

3.4. Fases De La Investigación

Fase 1: **Propuesta de la investigación:**

En esta fase se realizó un análisis del pensum de estudio de ingeniería eléctrica y se hizo una evaluación de las debilidades existentes el mismo para seleccionar la propuesta de la investigación presente.

Fase 2: **Recopilación de información (normas, textos, artículos, entre otros):**

Se realizaron visitas a las universidades nacionales que poseen un laboratorio de Alta Tensión obteniendo información de texto y materiales concernientes a la planificación de estos laboratorios; también se obtuvo información bibliografía de carácter internacional, para lograr una fundamentación en el diseño del laboratorio a nivel de normas.



Fase 3: Delimitación del alcance del trabajo y puesta en marcha:

Al hablar de diseño se deberían cubrir todos los aspectos, por lo cual, se delimito para este trabajo especial de grado el alcance para así lograr proponer como una primera etapa, lo que se refiere a selección de ensayos a realizar y selección equipos según el nivel de tensión máxima del sistema.

Fase 4: Selección del nivel de tensión y de los equipos necesarios en la conformación del LAT:

Según el sistema eléctrico que se tiene en el lugar, así como también por el tipo de prueba se realizó la selección del nivel de tensión máxima y con este se hizo la selección de los equipos necesarios de acuerdo a la normativa internacional vigente de coordinación de aislamiento IEC 60071-1.

Fase 5: Organización de los espacios de trabajo de la instalación del LAT (sala de pruebas académica, salón de clases, sala de telemática, sala de pruebas principal, entre otras):

Organización basada en las necesidades básicas que requiere un laboratorio de Alta Tensión para pruebas a nivel académico y como complemento del pensum de estudios, así como también de servicio a las empresas nacionales.

Fase 6: Especificación Técnica de los Equipos de Prueba

Como etapa fundamental en el planeamiento de un laboratorio para pruebas en alta tensión y luego de haber seleccionado el nivel máximo de tensión de prueba, se procede a especificar las características técnicas de los equipos de prueba según las necesidades de los ensayos a realizar. En este caso, los equipos de prueba para la parte académica y luego los equipos de prueba para el servicio a la industria.



CAPITULO IV: LA PROPUESTA

Con el fin de lograr que un espacio destinado para pruebas en alta tensión, tenga una alta eficiencia tanto académica como comercialmente, es necesario establecer ciertas condiciones que determinarán las características técnicas de los equipos de prueba elegidos y de la instalación en cual se lleven a cabo dichas pruebas.

En primer lugar se establece un espacio destinado para la realización de pruebas con carácter académico; un laboratorio para pruebas en alta tensión dirigido a la población estudiantil de pregrado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica cuyo valor máximo de tensión sea de **100 kV**, en el cual se puedan llevar a cabo prácticas que complementen el contenido programático de la asignatura *Técnicas de las Altas Tensiones*, además de servir como herramienta fundamental para la realización de trabajos de investigación y desarrollo en materia de aislamiento y sobretensiones tanto en pregrado como postgrado y apoyar a la línea de investigación de *Ingeniería Eléctrica Aplicada*.

En este mismo orden de ideas, será necesario entonces, definir el número y tipo de prácticas que se realizaran en dicho laboratorio, así como las especificaciones de los equipos necesarios para ejecutar las prácticas y las normas con las cuales se puedan homologar los resultados obtenidos de los ensayos.

En segundo lugar, se establece la elección y especificación de los equipos necesarios para realizar pruebas en sitio (*in situ*), ya que serán estos los que le permitan a la Universidad de Carabobo, poder realizar trabajos para la empresa pública y privada, en materia de ensayos en alta tensión, y así lograr que el Laboratorio de Alta tensión de la Universidad de Carabobo como un todo (académico y comercial) sea capaz de lograr la autogestión, en beneficio del mantenimiento de los equipos de prueba y del laboratorio académico, así como la incorporación de nuevos equipos en el futuro de una tecnología mas avanzada.

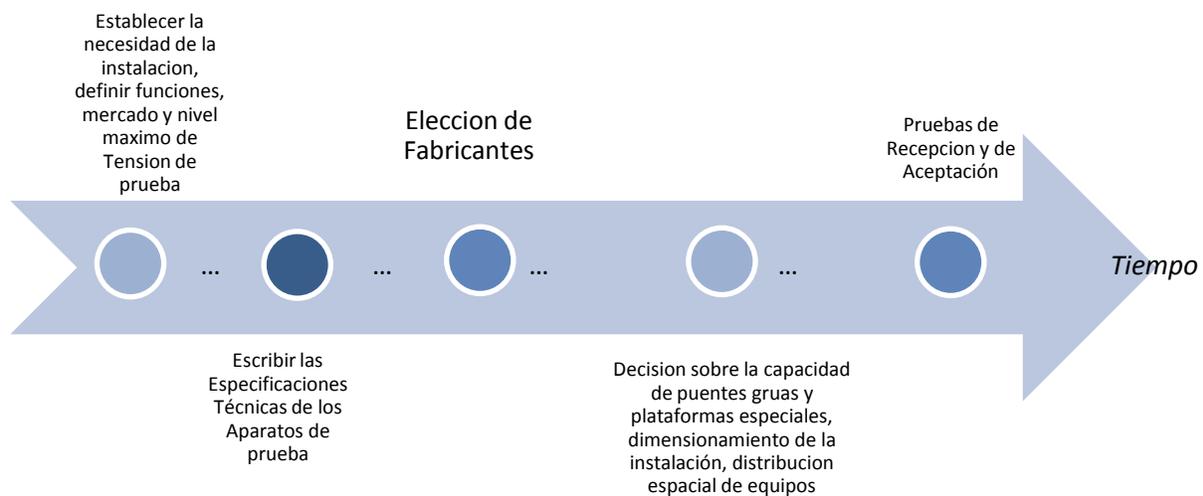
4.1. PLANEAMIENTO DE UN LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN

Al momento de comenzar con un proyecto de tal complejidad como es el planear, diseñar y ejecutar la construcción de un laboratorio para pruebas en alta tensión, se hace indispensable establecer todas o por lo menos, la mayoría de las variables que tienen un papel importante en el planeamiento.

El planeamiento es el paso mas importante en la elaboración de un proyecto de esta índole, pues es en esta etapa donde se especifican las características técnicas de los equipos de prueba en función de la tensión máxima de prueba, y cuando ya se tienen unas especificaciones claras, se selecciona él o los fabricantes de los equipos, pues es función del diseño particular de cada fabricante que será posible luego determinar las características técnicas y físicas de la instalación que albergará los equipos que se adquieran.

Un esquema en el tiempo en el que se ilustre el procedimiento de planeación es el que se muestra en la figura 4.1

Figura 4.1, Esquema Temporal para el Planeamiento de un Laboratorio de Alta Tensión



4.2. ELECCIÓN DEL NIVEL DE TENSIÓN MÁXIMO DE PRUEBA

La selección del nivel de tensión máxima para prueba se escogió en función del mercado potencial existente en la región donde se encuentra ubicada la Universidad de Carabobo, industrias tales como la industria eléctrica nacional (CORPOELEC), la industria petroquímica y petrolera (PDVSA), de fertilizantes, papeleras, bases navales, sistema ferroviario nacional, sistema Metro subterráneo entre otros; estos entes que podrían ser futuros clientes necesitan recurrir a los servicios de un laboratorio para certificación de sus productos, ya sea al comprarlos o después de reparados, y siguiendo las recomendaciones de la norma IEC 60071-1 “Insulation Co-ordination” se pueden obtener los valores de tensión de prueba necesaria para las diferentes gamas de tensión en cuales se encuentran ubicados los sistemas de las empresas antes nombradas.

Según lo anteriormente expuesto, el nivel de tensión máxima de operación de los equipos a probar, se establece en **230 kV** (valor eficaz), que según la norma IEC 60071-1 en la sección 5.8 “Gamas de Tensiones más Elevadas del Material”, es un valor de tensión que pertenece a la **gama I**, que son los valores eficaces de tensión de operación de 1kV hasta 245 kV que incluye tanto redes de *Distribución*, como redes de *Transmisión*.

La relación entre las tensiones más elevadas de los materiales y las tensiones soportadas asignadas, han sido normalizadas y tabuladas para la gama I según la norma IEC 60071-1 tal y como se muestra en la tabla 4.1 Niveles de Aislamiento Normalizados para la gama I.

Tabla 4.1 Niveles de Aislamiento Normalizados para la gama I, $1\text{kV} \leq U_m \leq 245\text{kV}$

Tensión más elevada del Material U_m [kV] (Valor Eficaz)	Tensión soportada asignada normalizada a frecuencia de potencia de corta duración [kV] (Valor Eficaz)	Tensión soportada asignada normalizada a impulso tipo rayo [kV] (Valor de Cresta)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60

		75
		95
17,5 ^a	38	75
		95
24	50	95
		125
		145
36	70	145
		170
52	95	250
72,5	140	325
100 ^b	(150)	(380)
	185	450
123	(185)	(450)
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170 ^a	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950.
	460	1050

Nota: Si los valores entre paréntesis se consideran insuficientes para demostrar el cumplimiento de las tensiones soportadas requeridas entre fases, se necesitan ensayos adicionales de tensión soportada entre fases.

^a Estos U_m no son valores preferenciales en la Norma IEC 60038 y por lo tanto no se dan estas combinaciones normalizadas muy frecuentemente en las normas de producto

^b Estos valores de U_m no se mencionan en la Norma IEC 60038, pero se han incluido en la gama I en ciertas normas de producto.

Fuente: "Insulation Co-ordination", Definitions, principles and rules – IEC 60071-1 (2006).

4.3. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

- **Condiciones Climatológicas Normales:** las condiciones climatológicas normales que influyen en la coordinación de aislamiento y por las que pueden seleccionarse, normalmente, las tensiones soportadas de la **tabla 4.1** son las siguientes:

a) La temperatura ambiente no sobrepasa los 40 °C y su valor medio, medido en un periodo de 24 horas no excede 35 °C. la temperatura ambiente mínima es de -10 °C



para clase “-10 °C intemperie”, -25 °C para clase “-25 °C intemperie”, -40 °C para clase “-40 °C intemperie”.

- b) La altitud no supera 1000 m sobre el nivel del mar.
- c) El ambiente no está contaminado de forma significativa de polvo, humo, gases corrosivos, vapores o sal. La contaminación no excede del nivel de contaminación II – Medio, según la tabla I de la norma IEC 60071-2.

- **Condiciones Atmosféricas de Referencia Normalizadas:**

- a) Temperatura: $t_0 = 20\text{ °C}$
- b) Presión: $b_0 = 101,3\text{ kPa}$ (1013 mbar)
- c) Humedad: $h_0 = 11\text{ g/m}^3$

- **Condiciones Climatológicas en la Universidad de Carabobo (Municipio Naguanagua)**

- a) Temperatura promedio: 23,2° C
- b) Presión: 1012,8 mbar
- c) Humedad: 17,38 g/m³ (53%, promedio)

Fuente: www.wunderground.com/weatherstation, Naguanagua – Edo. Carabobo.

4.4. ELECCIÓN DE EQUIPOS DE PRUEBA PARA REALIZAR PRACTICAS ACADÉMICAS

Hoy en día, varios fabricantes de equipos para pruebas y mediciones en alta tensión, han desarrollado módulos de entrenamiento para estudiantes, o como se les llama comúnmente en ese medio, “Kit Modular”, estos módulos de gran versatilidad permiten a los estudiantes poder realizar una variada gama de ensayos en alta tensión y así familiarizarlos con los sistemas y equipos de generación y medición de altas tensiones en alterna, continua e impulso que se utilizan en los laboratorios de alta tensión.

Con estos módulos de entrenamiento es posible determinar la capacidad de aislamiento y propiedades dieléctricas que tienen las diferentes configuraciones de aislantes sólidos, líquidos y gaseosos, además de introducir al estudiante en la realización de pruebas siguiendo la normativa internacional pertinente y las técnicas para el análisis de resultados a ser presentados en un informe técnico. []

Ejemplos de un módulo de entrenamiento para alta tensión es el que se muestra en la figura 4.2 y 4.3

Figura 4.2, Sistema Modular de entrenamiento HV9000 de la empresa TERCO



Fuente: High Voltage Modular Training Set HV9000, TERCO

Figura 4.3, Modulo de Entrenamiento de la empresa HAEFELY



Fuente: High Voltage Construction Kit, HAEFELY

4.4.1. ENSAYOS QUE SE PUEDEN REALIZAR CON EL MODULO DE ENTREAMIENTO

Un equipo modular marca MESSWANDLERBAU (MWB), el cual podemos apreciar en la figura 4.4, esta presente en la sección académica del Laboratorio de Alta Tensión (LAT) de la Universidad Simón Bolívar (USB) y se ha tomado la guía de prácticas de dicho laboratorio como un patrón a seguir.

Figura 4.4, Modulo de Entrenamiento para prácticas de laboratorio en el LAT de la Universidad Simón Bolívar



Fuente: Laboratorio de Alta Tensión – USB.

En este mismo orden de ideas, se tabulan entonces en la tabla 4.2, las principales prácticas que se pueden llevar a cabo con estos módulos de entrenamiento, cuyo objetivo es desarrollar en los estudiantes de ingeniería eléctrica la habilidad de interpretar los resultados obtenidos de las pruebas, entender el principio de funcionamiento de los equipos de prueba así como de los equipos que se someten a la prueba, además considerar todas las variables que influyen en la selección del tipo de aislamiento para un sistema dado.

Tabla 4.2 Prácticas que se pueden realizar con un modulo de entrenamiento

Nº	DESCRIPCIÓN
1	Tensión Aplicada en Corriente Alterna
2	Tensión Aplicada en Corriente Continua
3	Impulsos de Tensión, tipo atmosférico y/o de maniobra
4	Pruebas en Equipos (Cortacircuitos, aisladores, pararrayos...)
5	Medición Propiedades Dieléctricas de Materiales y Descargas Parciales
6	Ruptura en Gases
7	Distribución de Potencial en Cadenas de Aisladores
9	Análisis de la respuesta en Frecuencia

Fuente: Laboratorio de Alta Tensión – USB.

4.4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y FÍSICAS DE LOS SISTEMAS MODULARES DE ENTRENAMIENTO.

Existen varios fabricantes de equipos para pruebas y medición en alta tensión, pero aquellos que se han tomado el trabajo de diseñar módulos de entrenamiento, comparten las características técnicas y de construcción de este equipamiento, por esta razón, se describirán las características de los principales equipos y accesorios del “kit Modular” con referencia a un fabricante, sin olvidar la similitud de las características de un modulo de otra marca.

- **Transformador para Pruebas**

Figura 4.5 Transformador para pruebas

Derecha: High Voltage Modular Training Set HV9000, TERCO; Izquierda: High Voltage Construction Kit, HAEFELY

Tabla 4.3 Características Técnicas del Transformador de Pruebas

<i>Variable</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
Voltaje Nominal	KVrms	100
Frecuencia	Hz	50/60
Corriente Nominal	Ma	100
Potencia de Salida	Kva	10
Impedancia (aprox.)	%	5
Relación de Transformación	2x220V / 100kV / 220V	-
Nivel de Descargas Parciales	< 2	pC
Peso	290	kg

Fuente: High Voltage Construction Kit, HAEFELY

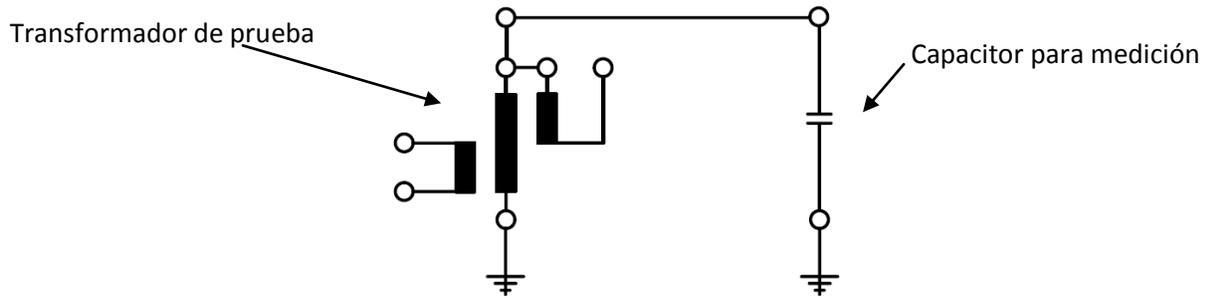
En la tabla 4.3 se muestran algunas de las características técnicas de un transformador de 10kVA. El transformador de pruebas, se puede considerar como la pieza fundamental para las pruebas en alta tensión pues sin él, obtener la tensión de prueba necesaria no sería posible, Cabe destacar que estos transformadores de prueba se fabrican en valores de 5, 7.5 y 10 kVA, para 50 o 60 Hz. Además es posible conectarlos en cascada con uno o dos transformadores más para lograr tensiones de hasta 300 kVrms.

Al conectar estos transformadores con otra serie de accesorios que se describirán luego, es posible completar una gama de tres pruebas principales:

- Voltaje Aplicado (AC)
- Voltaje Aplicado (DC)
- Voltaje de Impulso

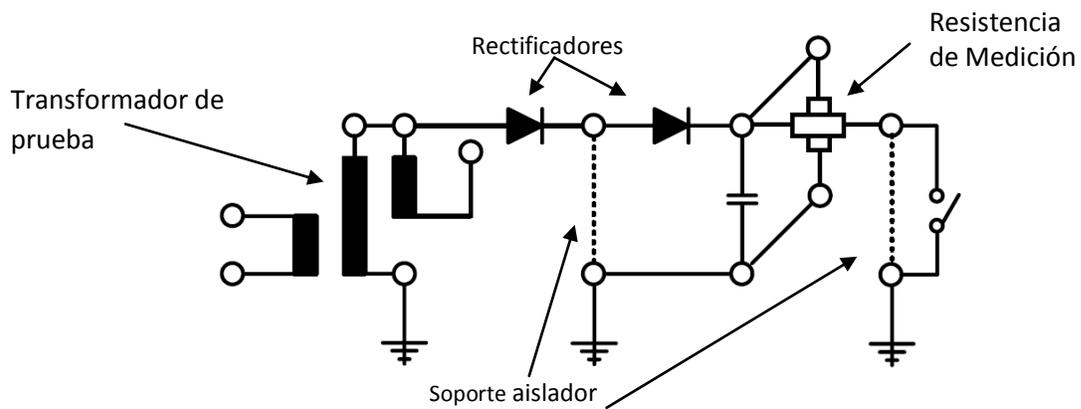
Los esquemas eléctricos de los montajes para las pruebas de AC, DC e Impulso es posible apreciarlos en las figuras 4.6, 4.7 y 4.8 respectivamente:

Figura 4.6 Esquema para prueba de Voltaje Aplicado AC

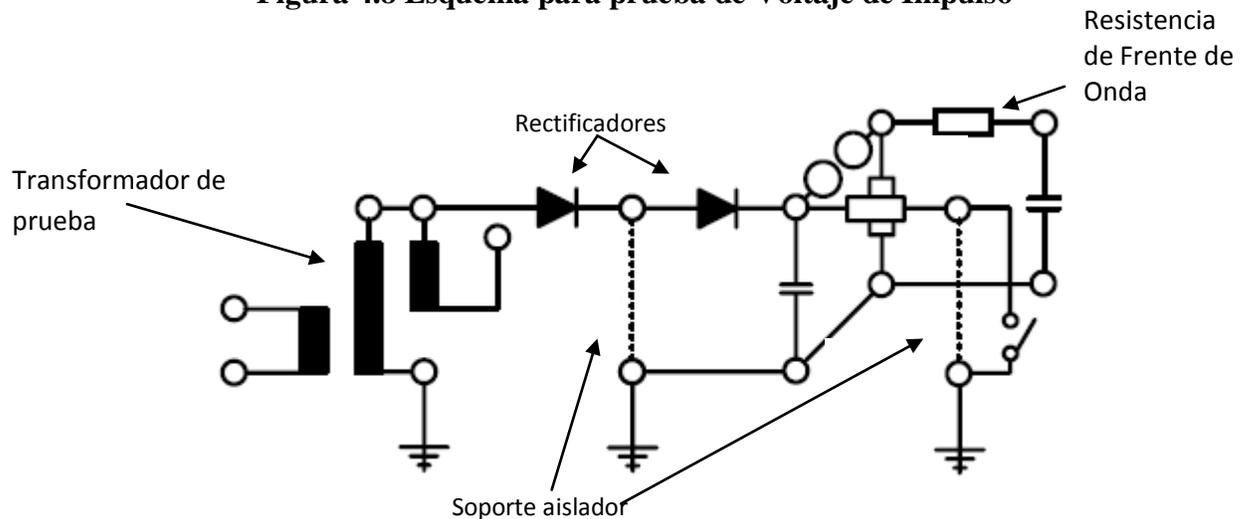


Fuente: High Voltage Construction Kit, HAEFELY

Figura 4.7 Esquema para prueba de Voltaje Aplicado DC



Fuente: High Voltage Construction Kit, HAEFELY

Figura 4.8 Esquema para prueba de Voltaje de Impulso

Fuente: High Voltage Construction Kit, HAEFELY

- **Elementos Pasivos (Capacitores, Resistores)**

Algunas características de los elementos básicos para lograr las configuraciones de prueba en AC, DC e Impulso se muestran a continuación, recordando que para obtener más detalles técnicos de los mismos y una lista mas amplia y completa están disponibles en los catálogos anexos.

Capacitores:

Los capacitores que se usan en los sistemas modulares de entrenamientos son fundamentales para la generación de altas tensiones, además de servir como elementos accesorios para la medición y simular cargas capacitivas como lo son normalmente los objetos de prueba. Un ejemplo de estos dispositivos se puede apreciar en la figura 4.9.

Figura 4.9 Ejemplos de Capacitores de un Modulo de Entrenamiento



Derecha: High Voltage Modular Training Set HV9000, Izquierda: High Voltage Construction Kit HAEFELY.

Resistores:

Los Resistores permiten, en combinación con los capacitores, lograr formas y tiempos de ondas normalizadas, con el fin de ejecutar los ensayos según la norma correspondiente. Además también se pueden usar como elementos para medición.

Figura 4.10 Ejemplos de Resistores de un Modulo de Entrenamiento



Derecha: High Voltage Modular Training Set HV9000, Izquierda: High Voltage Construction Kit HAEFELY.

- **Elementos No – Lineales (Rectificadores)**

Entre los elementos no lineales que forman parte de los módulos de entrenamiento, tenemos a los rectificadores, que cumplen la función de rectificar la forma de onda sinusoidal de la primera etapa del circuito de carga, para lograr obtener una señal en tensión continua para los circuitos de prueba en DC e Impulso. Un ejemplo de los rectificadores usados en los módulos de entrenamiento es el que se muestra en la figura 4.11:

Figura 4.11 Ejemplos de Rectificadores de un Modulo de Entrenamiento



Fuente: High Voltage Modular Training Set HV9000.

4.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA SALA ACADEMICA DE PRUEBAS EN ALTA TENSION

Establecer las dimensiones que deba tener la sala de prácticas que albergara el sistema modular de entrenamiento, no es un punto crítico para el nivel de tensión que se ha propuesto alcanzar con dicho modulo (100 kV). Como se ha visto en el capítulo II del presente trabajo en el apartado 2.2.9.2, una disposición óptima para los equipos (bajo la recomendación de los fabricantes HAEFELY y TERCO), se puede lograr en un espacio o sala con un área para el montaje del modulo de $4 \times 5 \text{ m}^2$ y una altura normal de 2,5 a 3 m. Un ejemplo de esta disposición de puede apreciar en las figuras 2.15 y 2.16 presentes en el capítulo II.

4.6. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DEL LABORATORIO

De las experiencias obtenidas de la visita al “Ala de Alta Tensión” del Laboratorio A de la Universidad Simón Bolívar, y con la colaboración del profesor *Juan Carlos Rodríguez*, jefe de sección del Laboratorio de Alta Tensión – USB, se pudo obtener un esquema de estructura de dicha organización, que servirá de ejemplo para la constitución de la estructura organizativa del LAT – UC.



La jerarquía dentro de la organización del LAT – UC, es bastante simple, constituida básicamente por un Jefe de Sección o Laboratorio, quien es el encargado de gerenciar y/o administrar las actividades que se desarrollan en el laboratorio, tanto la parte comercial (servicio a empresas locales entre otros) como la académica. Un personal docente, encargados de impartir o dirigir las practicas que se llevan a cabo en los espacios del laboratorio, y un personal técnico, quien vela por el correcto funcionamiento de los equipos del laboratorio, imponer las normas de seguridad necesarias al estudiantado, colaborar con el montaje de las practicas, cursos de formación profesional, así como de pruebas a mayor escala que se realicen a las empresas que así lo requieran.

4.7. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS DE PRUEBA PARA PRESTAR SERVICIOS A LA INDUSTRIA ELECTRICA LOCAL

Antes de especificar las características técnicas de los equipos que servirán como herramienta fundamental para la autogestión del LAT – UC, es necesario definir a que campo de trabajo va dirigido esta parte de la propuesta, para ello se clasificaran los ensayos en cinco (5) tipos, describiendo brevemente cada uno de ellos, a fin de incorporar el LAT-UC en uno de los tipos de ensayo que se nombraran a continuación.

En general los ensayos se pueden clasificar en:

- *Ensayos de Rutina:* son aquellos que se realizan a una determinada cantidad de la partida total de equipos fabricados o comprados, según sea el caso, o la totalidad de la misma, con el fin de verificar la uniformidad en la producción, y de materiales utilizados.
- *Ensayos de Tipo:* Son aquellos que son realizados a equipos idénticos o de tipo semejante, que representan una pequeña cantidad de la partida, escogida aleatoriamente, con el fin de verificar una característica especifica asociada al diseño del equipo, generalmente son pruebas destructivas y costosas en su aplicación.



- Ensayos Especiales: Son aquellos que las normas internacionales no considera ni de tipo, ni de rutina, y que su aplicación obedece a un previo acuerdo entre comprador y fabricante del equipo.
- Ensayos de Mantenimiento: Este tipo de ensayo se realiza a equipamientos que ya están en servicio, con el fin de verificar su estado de conservación después de cierto periodo de operación. Generalmente se aplican con valores de solicitud inferiores con respecto a equipos nuevos.
- Ensayos de Campo: Son aquellos que se realizan para evaluar el desempeño global de un sistema eléctrico, incluyendo el ajuste de los sistemas de protección y control.

En este mismo orden de ideas, se puede incluir al LAT – UC, dentro de los ensayos de rutina y de mantenimiento, con la posibilidad de realizar alguna prueba de tipo, de acuerdo a la selección y especificación de equipos que se hará a continuación.

Como pudimos observar en la figura 4.1, es necesario establecer las funciones y el mercado que tendrá el laboratorio como un ente prestador de servicios en el área de pruebas; para lograr especificar los equipos necesarios según las pruebas a realizar, se han ilustrado en la tabla 4.4 las características técnicas de los mismos y las normas internacionales de aceptación correspondientes para cada tipo de prueba:

Tabla 4.4 Especificación de los Equipos de Prueba para los Servicios a la Industria

Equipo a Probar	Nombre del Ensayo	Equipo de Prueba	Normas de Referencia
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Transformadores de Potencia/Distribución (Inmersos en Aceite)</i> • <i>Maquinas Eléctricas Rotativas</i> 	Resistencia de Aislamiento	Megohmetro <i>Especificaciones Técnicas:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de Prueba hasta 10 kV. • Límite de Visualización hasta 35 TΩ. • Precisión de +/- 20% hasta 20 GΩ. • Capacidad para medición de capacitancia. (opcional) • Almacenamiento Digital de Datos y temporizador. 	ANSI C57.12.90 ANSI C57.12.00
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Transformadores de Potencia/Distribución (Inmersos en Aceite)</i> • <i>Cables</i> • <i>Maquinas Eléctricas Rotativas</i> 	Tangente Delta y Capacitancia	Medidor de Tangente Delta y Capacitancia <i>Especificaciones Técnicas:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para realizar pruebas a frecuencia variable. • Voltaje de Prueba hasta 10 kV. • Medición de capacitancia. • Medición de Factor de Disipación ($\tan\delta$). • Medición de Factor de Potencia ($\cos\phi$). 	ANSI C57.12.90 ANSI C57.12.00 ANSI C51.152 IEC 76-1
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Transformadores de Potencia/Distribución</i> 	Relación de Transformación	TTR Trifásico <i>Especificaciones Técnicas:</i>	ANSI C57.12.90

<p>(Inmersos en Aceite)</p>		<ul style="list-style-type: none"> Medición de las 3 fases simultáneamente. Capacidad para detectar grupo vectorial en transformadores trifásicos. 	<p>ANSI C57.12.00</p>
<ul style="list-style-type: none"> Transformadores de Potencia/Distribución <p>(Inmersos en Aceite)</p> <ul style="list-style-type: none"> Transformadores de Medida Aisladores Cables Pasa-tapas (Bushings) Maquinas Eléctricas Rotativas 	<p>Impulso de Tensión</p>	<p>Generador de Impulso</p> <p><i>Especificaciones Técnicas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Tensión Máxima de Prueba 800 kV. Capacidad para Generar Formas de Onda Normalizadas 1,2/50µs Impulso tipo rayo - 250/2500µs Impulso tipo maniobra. Energía de choque de al menos 40 kJ. Unidad de control con interfaz para control digital por computadora. Mecanismo para levantamiento hidráulico, que permita el transporte para realizar pruebas en sitio (<i>in situ</i>). 	<p>ANSI C57.12.90</p> <p>ANSI C57.12.00</p> <p>IEC 71-1</p>
<ul style="list-style-type: none"> Cables para Media Tensión 	<p>Ensayo en VLF (Very Low Frequency)</p>	<p>Hi-Pot VLF</p> <p><i>Especificaciones Técnicas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Salida a frecuencias de 0.1/0.05/0.02 Hz, sinusoidal. Tensión de salida de 0 a 40 kV AC, variable. Capacidad de carga 1.1µ F 	<p>ANSI /IEEE.400.2-2004</p>



		<p>@ 0.1 Hz 2.2μ F @0.05Hz 5.5μ F @ 0.02Hz, o bien capacidad para probar cables de hasta 15 km.</p> <ul style="list-style-type: none">• Medición de Corriente de Carga hasta 100 mA• Medición de Capacitancia de Carga	
--	--	---	--



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CAVALLIUS Hyltèn, Nils. (1986). **“High Voltage Laboratory Planning”**. ASEA-HAEFELY.
2. NAIDU M. S, Kamaraju V. (1996). **“High Voltage Engineering, Second Edition”**.
3. KUFFEL E., Zaengl W. S., Kuffel J. (2000). **“High Voltage Engineering, Fundamentals”**. Newnes.
4. RYAN, Hugh M. (2001). **“High Voltage Engineering and Testing”**. IEE.
5. KIND, Dieter; Feser, Kurt. (2001). **“High Voltage Test Techniques”**, second edition. Newnes.
6. MUÑOZ Candia, José Luis. (1979). **“Técnicas y Pruebas en Alta Tensión”**, Universidad de Carabobo
7. NAVEIRA, Francisco. (2010). **“Apuntes de Técnicas de Alta Tensión”**, Universidad de Carabobo.
8. VÁSQUEZ, Carmen Luisa; Blanco, María Carolina. (2005). **“Laboratorio De Alta Tensión Convenio Unexpo-Ula”**.
9. MOLINA Julio; Ojeda. Nerio (2007) **“Mejoras Y Acreditación Del Laboratorio De Alta Tensión De La Escuela De Ingeniería Eléctrica <<Melchor Centeno Vallenilla>> De La Universidad Central De Venezuela”**.
10. HARTINGS Ralf; Larsson Thomas K. (2010). **“Alcanzar Nuevos Niveles”**. Revista ABB.
11. IEEE Std 4 – 1995. **IEEE Standard Techniques for High Voltage Testing**. Revision of IEEE Std 4 – 1978
12. High Voltage Test Techniques. **IEC 60-1** (1989). General Definitions and Test Requirements.



13. Insulation Co-ordination. **IEC 60071-1** (2006). Definitions, principles and rules.
14. MANUAL de Trabajos de Grado, de Maestrías y Tesis Doctorales (2006), publicado por la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL).
15. Vicerrectorado de la UNEXPO. (2010). “**El Laboratorio De Alta Tensión Aporta Innovaciones Tecnológicas**”. Diario EL IMPULSO.
16. **HV9000 High Voltage Training Set**. (2012). TERCO AB. Sweden.
17. **High Voltage Construction Kit**. (2012). HAEFELY. Switzerland.
18. Dirección de Ingeniería de Información de la USB. (2005). “**Manual De Organización**”.
19. <http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/metodologia/Tema4.html>.
20. <http://www.laba.usb.ve/alt/index.htm>
21. <http://www.powertechlabs.com>