

Prácticas de alta tensión para fines didácticos en ingeniería

Se condensan en este artículo algunas ideas acerca de las posibles prácticas de alta tensión que pueden ser implementadas en la carrera de Ingeniería Eléctrica, con el fin de dar cumplimiento a sus objetivos instruccionales. Se presentan doce prácticas docentes que pueden ir implementándose poco a poco, de acuerdo a los desarrollos que semestre a semestre se logren en este campo.

Se incluye para cada práctica docente el objetivo general, el montaje básico y los circuitos de medida y algunos comentarios acerca de las partes que pueden ser construidas localmente. La inspiración fundamental de este trabajo es la certeza de que la construcción y dotación de casi la totalidad de los dispositivos puede hacerse con ayuda de las empresas locales de electricidad, los fabricantes de equipo y los profesores con estudiantes, mediante la dirección de proyectos de grado.

Las ideas expresadas en este artículo son fruto de las experiencias adquiridas en los laboratorios de alta tensión de las universidades Nacional de Bogotá y Fridericana de Karlsruhe, dentro de los programas del Grupo de Investigación en alta tensión —GIAT— de la Universidad Nacional.

FRANCISCO ROMAN CAMPOS
Ingeniero Electricista
Profesor Asistente
Universidad Nacional de Colombia

El país es cada vez más consciente de la necesidad de desarrollar el área de la alta tensión, dado su rápido ingreso a tecnologías que aún presentan grandes retos a la ingeniería eléctrica. Dentro de este panorama puede destacarse la transmisión de energía a 500 KV, la operación de subestaciones encapsuladas en hexafluoruro de azufre, la fabricación nacional de transformadores a 115 KV, el efecto del altísimo nivel cerámico de nuestro país en condiciones geográficas muy especiales y la necesidad de garantizar una alta confiabilidad del sistema eléctrico mediante un eficiente control de calidad de los equipos de fabricación nacional y extranjera.

Una de las circunstancias que más ha influido en el —hasta ahora— lento avance de la técnica de alta tensión en el país, es precisamente, el corto tiempo que ha tenido Colombia, y en general los países en desarrollo, para aceptar, adaptar y emplear tecnologías nuevas, que en los países dueños de las mismas, ha podido madurar en períodos de tiempo mucho más largos.

La gráfica N^o 1, presenta el aumento en el tiempo de los niveles de tensión de transmisión en

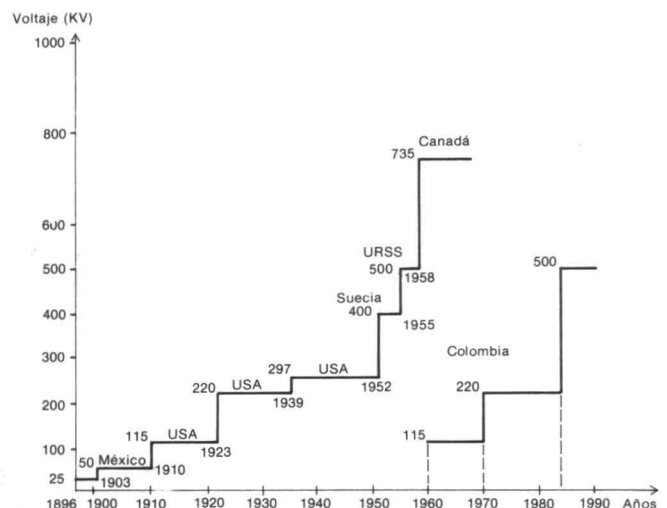


FIGURA 1. Desarrollo de la alta tensión en Colombia y el mundo. Tomado de [1].

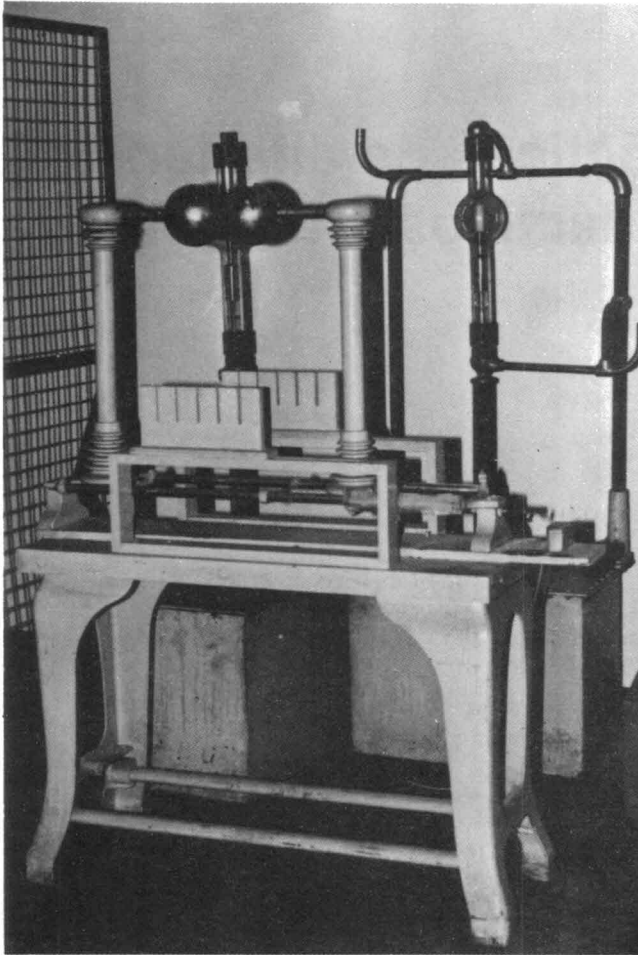


FIGURA 2. Equipo de prueba precursor de los laboratorios de Alta Tensión en Colombia formado por el profesor Martin Lutz, en la Universidad Nacional - Bogotá.

Colombia y en el mundo, apreciándose los largos períodos que han tenido los países dueños de la tecnología para el estudio básico de los fenómenos e implementación de las técnicas en trabajos conjuntos entre las empresas y las universidades, estableciéndose así, verdaderas escuelas de investigación.

El profesor emérito de la Universidad Nacional, Martín Lutz, fundador de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la misma Universidad en el año 1961, fue a su vez el precursor en Colombia de los laboratorios de alta tensión al formar el primer equipo de prueba empleando como fuente de AC un transformador de rayos X y para su rectificación, tubos de vacío; y como complemento un espinterómetro y resistencias de agua para la limitación de las corrientes. Este equipo básico se presenta en la figura 2.

Sin embargo, en los dos últimos años, ha sido muy grato ver un rápido incremento de este tipo de laboratorios, contándose ya con unos cinco de carácter didáctico en los quince programas de Ingeniería Eléctrica que actualmente tiene el país. Con el deseo de colaborar en la formulación de las experiencias docentes, se presentan en este artículo, algunas recomendaciones en cuanto al tipo de prácticas y sus objetivos, y la forma de construir algunos de los elementos del sistema de prueba y medida.

LABORATORIO DE ALTA TENSION

El profesor Dimetri Ivanoff /2/ clasifica los laboratorios de prueba de alta tensión en tres grandes clases:

Una primera de laboratorios pequeños de 100-1200 KV.

Una segunda de laboratorios medianos con tensiones de 500 a 1000 KV y una tercera de laboratorios grandes con niveles de tensión superiores.

Para el estado actual del desarrollo de técnica de alta tensión en nuestro país, puede considerarse que la primera categoría, es decir la de laboratorios pequeños, debe ser la adoptada para la docencia; la segunda debe ser la adoptada por los fabricantes de equipos y la tercera; incluyendo instalaciones de las dos clases anteriores, debe ser la adoptada por entidades de control de

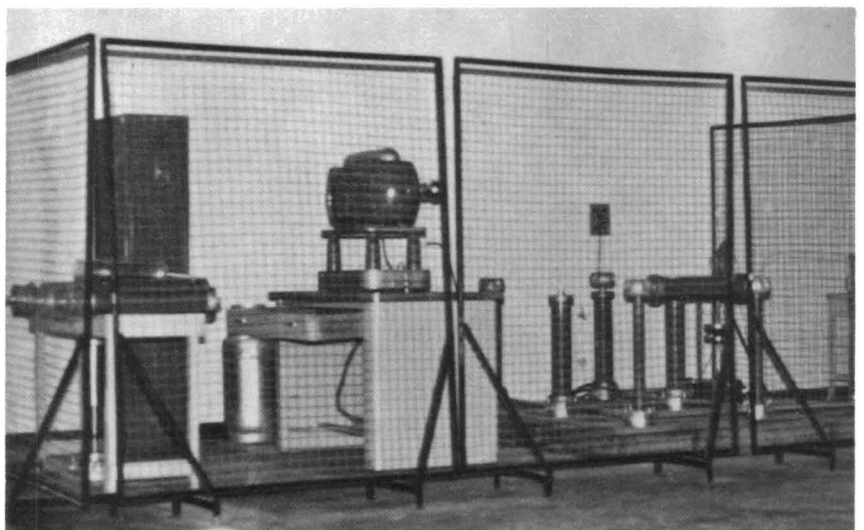


FIGURA 3. Mallas separadoras para definir zonas de trabajo.

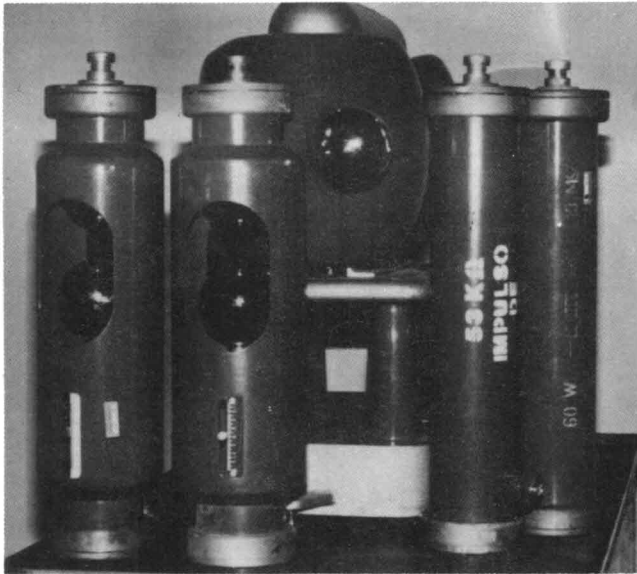


FIGURA 4. Equipos modulares para pruebas docentes de alta tensión. Tomado de [8]. Los elementos centrales fueron fabricados en la Universidad [15].

calidad e institutos de investigaciones del sector eléctrico.

LABORATORIOS DOCENTES

Los laboratorios docentes, de 100 a 200 KV pueden ser desarrollados en gran parte por las mismas universidades con el apoyo imprescindible de las electrificadoras y los fabricantes. Los profesores y estudiantes en sus proyectos de grado pueden hacer aportes invaluable en la fabricación de equipos y en la implementación de prácticas docentes formativas.

Dentro de las características generales que planteamos, debe poseer un laboratorio didáctico, están las siguientes:

- La definición de zonas fijas de trabajo, mediante el empleo de mallas metálicas separadoras de dimensiones aproximadas de 1.80×1.80 mt., y la instalación por zonas de una red de alimentación e iluminación. Las mallas deben estar puestas a tierra en un solo punto. (Ver figura 3).
- La utilización de elementos modulares, tales como resistencias y condensadores que permitan armar diferentes clases de circuitos en conexiones simples.

En la figura A se destacan las de la firma Messwandlerbau de la República Federal Alemana.

- Otra de las características de los laboratorios de prueba es la limitación de las descargas sobre el objeto de prueba y su efecto sobre el transformador de ensayo empleando resistencias de agua o resistencias de carbón en aceite o fibra epóxica. Igualmente, la fabricación de resistencias de medida de baja inductancia con materiales de resistividad estable con la temperatura como se aprecia en la figura 5.

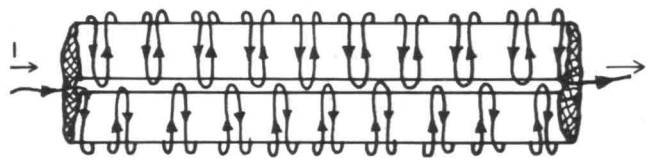
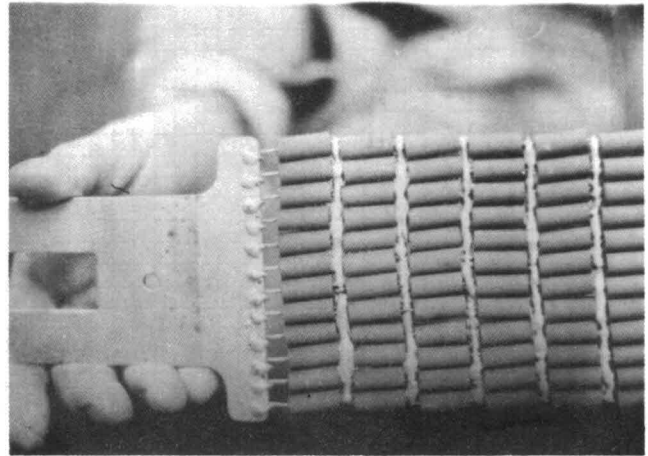


FIGURA 5. Serie de resistencia de carbón para su empleo en alta tensión. (Foto tomada en el Laboratorio de alta tensión en Karlsruhe) y resistencia de bajo valor inductivo.

- El empleo de locales cerrados o con posibilidad de oscurecerlos para apreciar el efecto corona.
- La iluminación se supone incandescente y regulable desde la obscuridad hasta el brillo máximo. Se evitan las luces fluorescentes por su propiedad de encenderse con campos eléctricos altos y por su generación de ondas de interferencia para las medidas.
- La utilización de la norma IEC 60 [6] en cada una de sus partes y el libro de Pruebas de alta tensión de la IEEE [9] como guías básicas para las pruebas y mediciones.
- El empleo de protectores de oídos o el amortiguamiento del sonido en paredes y techos del laboratorio para evitar los efectos de las múltiples reflexiones del sonido causados por las descargas dentro del local.
- Para medidas especiales, construir una cabina de medida especialmente apantallada. El osciloscopio debe ir siempre apantallado [15].
- Determinación de las distancias mínimas mediante el empleo de curvas de tensión contra distancia —figuras 6 y 7, corregidas para las condiciones del laboratorio.
- La utilización de transformadores de prueba de potencia muy baja —5 a 20 KVA—, hasta 100 KV ó 200 KV, con impedancia de cortocircuito bastante alta —del orden de 15%— y con posibilidad de formar cascadas.
- Evitar el enmallamiento en conductores de tierra para eludir lazos de tierra y el empleo de un sistema radial para las mediciones [5].

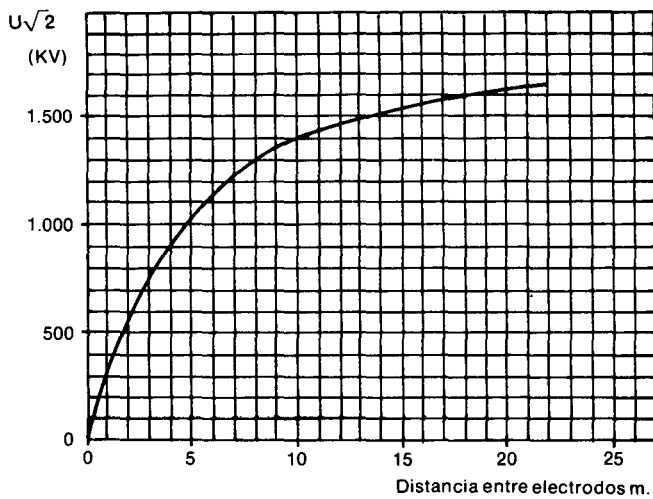


FIGURA 6. Voltaje de ruptura AC Vs. Distancia con electrodos punta-punta a condiciones normales.

PRACTICAS DOCENTES

Las prácticas de alta tensión dan una visión importante sobre el comportamiento de los aislamientos y de los métodos de generación, medición y control de altas tensiones. Sin embargo, la primera práctica docente debe ser la de medidas de seguridad en el trabajo con altas tensiones, siguiéndose para esto las normas que tienen que ver con el tema [3], [4], por ejemplo:

VDE 0101 "Normas para construcción de instalaciones de potencia con tensiones nominales sobre 1 KV".

VDE 0105 "Normas para la operación de instalaciones de potencia".

VDE 0104 "Normas para instalaciones de prueba y laboratorios con tensiones sobre 1 KV".

Adicionalmente, es importante dedicar una sesión a las prácticas de puesta a tierra y a la operación del osciloscopio de persistencia.

Para lograr el objetivo de formar los estudiantes en el área de alta tensión, se recomiendan las siguientes prácticas docentes:

- Generación y medida de tensiones alternas
- Generación y medida de tensiones continuas
- Generación y medida de tensiones de impulso

- A = Amperímetro
- V = Voltímetro
- T = Transformador
- V_c = Variac
- CM = Divisor capacitivo 100 pF
- MP = Medidor de pico
- DO = Divisor ohmico
- DOC = Divisor ohmico-capacitivo
- KV = Voltímetro electrostático
- SP = Espinterómetro
- R_s = Resistencia o condensador serie

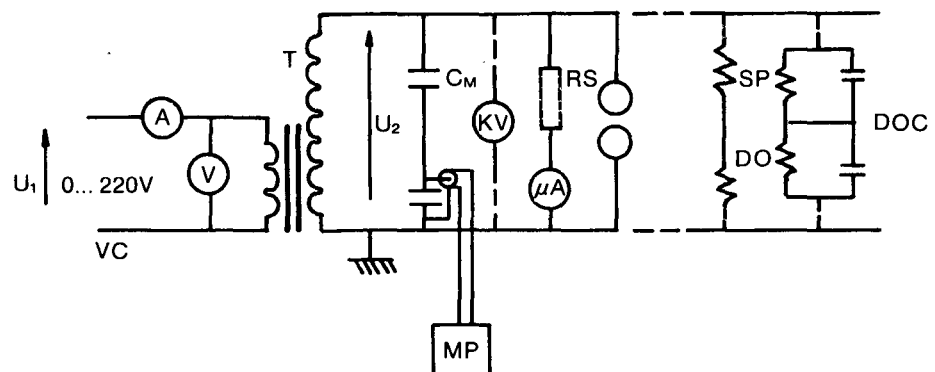


FIGURA 8. Montaje para la práctica de generación y medida de tensiones alternas.

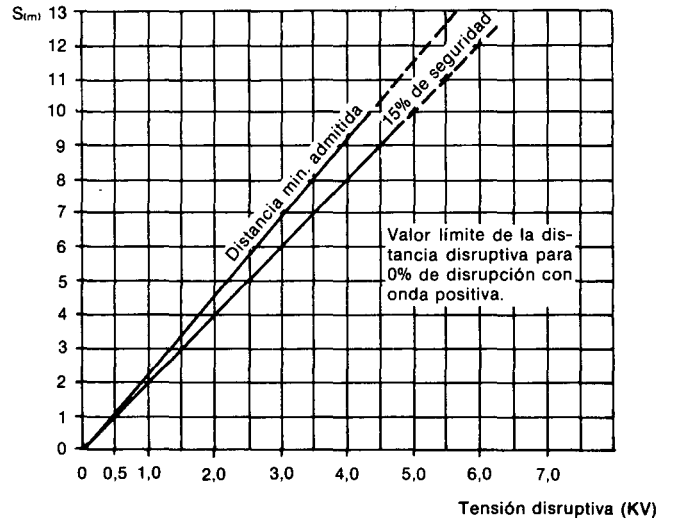


FIGURA 7. Distancia de separación a la pared con un voltaje de impulso de punta positiva.

- Ensayos de sólidos y líquidos
- Medición de capacidad y tangente Delta.
- Comprobación de la Ley de Paschen
- Visualización y medida del efecto corona
- Visualización y medida del campo eléctrico
- Visualización y medida de ondas viajeras
- Generación y medida de corrientes de impulso
- Sobretensiones de maniobra.

GENERACION Y MEDIDA DE TENSION ALTERNA

A partir de la norma IEC 60 [6] y mediante una formulación teórica inicial, el estudiante nombra y describe los métodos de generación de altas tensiones alternas: transformadores de una sola etapa y en cascada y los circuitos resonantes. La medida se hace con transformadores de tensión, divisores de tensión de tipo capacitivo, capacitivo amortiguado, óhmico, óhmico-capacitivo, impedancia previa (resistencia o condensador serie), voltímetro electrostático, espinterómetro de esferas y medidores de valor pico.

En la práctica el estudiante debe realizar montajes para el manejo de los diferentes sistemas de medida, conocer sus limitaciones y dibujar una gráfica comparativa de los resultados de los diferentes sistemas de medida.

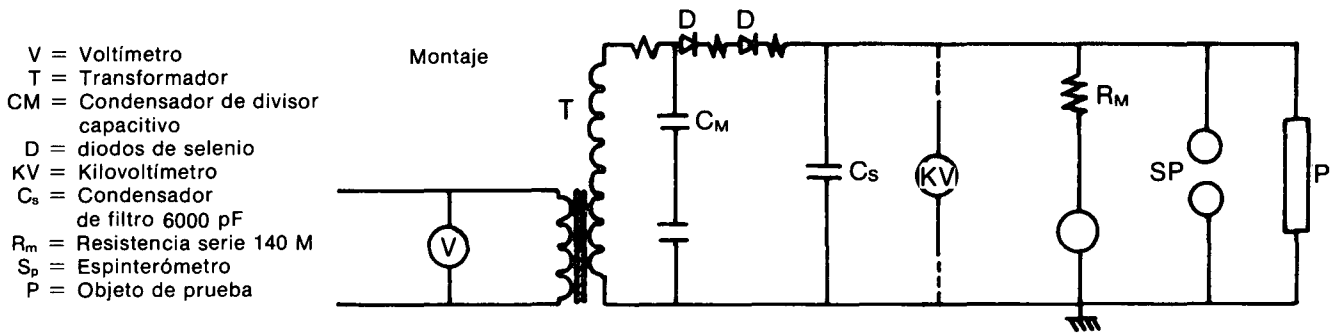


FIGURA 9. Circuito básico para medidas con tensión continua.

Para esta práctica pueden construirse localmente el transformador de prueba y los condensadores y resistencias de alta tensión empleando series de elementos de baja tensión o algunas de las construcciones antes mencionadas.

A continuación se presenta el montaje en la figura 8.

GENERACION Y MEDIDA DE TENSIONES CONTINUAS

Los estudiantes nombran y describen los métodos de generación de altas tensiones continuas: rectificación de altas tensiones alternas y empleo de generadores electrostáticos. De igual forma, lo hace con los circuitos de rectificación de media onda y onda completa (puente de Graetz) así como los circuitos duplicadores de tensión —según Villard, Greinacher, Zimmernann - Wittka y Greinacher en cascada.

En el aspecto de las mediciones puede emplearse el espinterómetro, la resistencia previa, el divisor de tensión óhmico, los medidores de tensión electrostáticos y el voltímetro giratorio.

En esta práctica el estudiante, a partir de la norma IEC 60 [6], construye los circuitos de generación y aplica los diferentes sistemas de medida, evalúa el principio de operación de cada uno, sus limitaciones y dibuja una gráfica comparativa de los diferentes sistemas.

Para esta experiencia pueden construirse localmente los rectificadores empleando diodos de

alta tensión (20 KV) en serie y los elementos mencionados anteriormente.

A continuación se presenta el montaje en la figura 9.

GENERACION Y MEDIDA DE TENSIONES DE IMPULSO

A partir de las normas sobre ondas de choque [6], [9], [10], el estudiante realiza los montajes de uno de los circuitos normalizados para generación de impulsos y nombra las formas típicas de las ondas de choque. Adicionalmente proyecta estos esquemas a las pruebas de transformadores y a la coordinación de aislamiento.

Del dominio de los diferentes esquemas multiplicadores de Marx pasa a las mediciones comparativas de la onda de choque visualizándola en el osciloscopio de persistencia mediante los divisores capacitivos, resistivos, mixtos y capacitivo amortiguado, realizando gráficas comparativas con los valores obtenidos en el espinterómetro luego de su calibración hecha con cualquier método, por ejemplo el UP - AND - DOWN. [12].

El generador de impulsos puede construirse localmente, luego de ganar experiencia en construcciones de otros elementos de prueba.

A continuación se presenta el montaje en la figura 10.

ENSAYOS DE SOLIDOS Y LIQUIDOS

A partir de las normas ASTM sobre ensayos de papel, cuacho, vidrio; y los montajes para ensayo

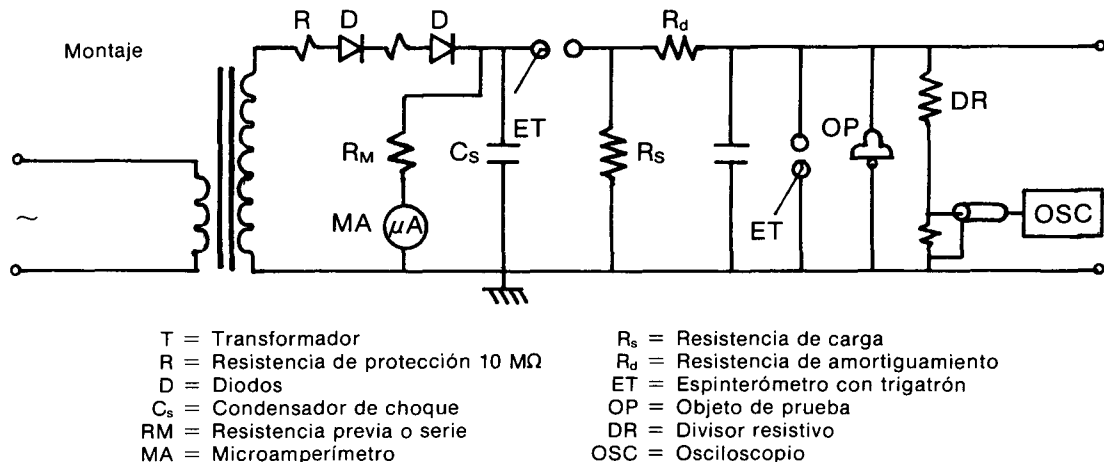


FIGURA 10. Montaje para generación y medida de ondas de choque.

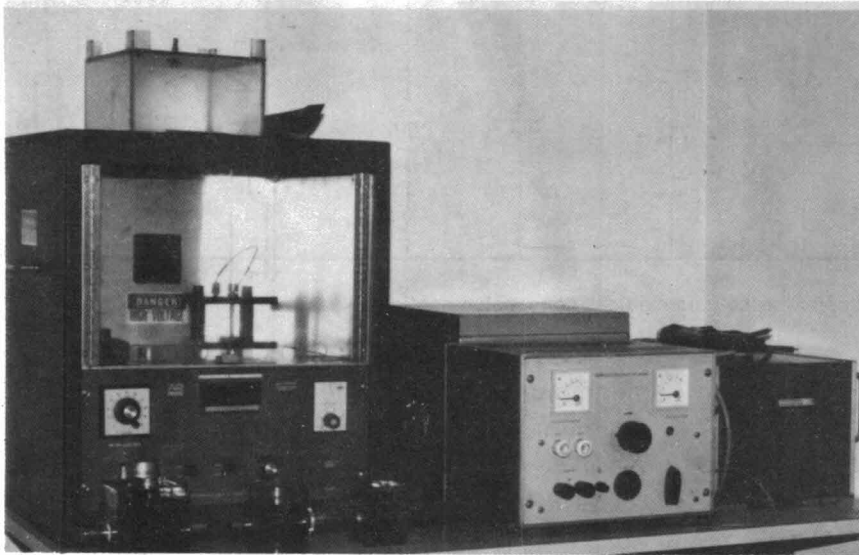


FIGURA 11. Equipo para ensayo de sólidos y líquidos.

con electrodos de disco y VDE para el aceite [12] el estudiante realiza el ensayo con cualquiera de los dieléctricos mencionados, siguiendo las formulaciones de la norma. El equipo empleado para la práctica en un transformador AC con regulación de la aplicación de la tensión mediante un motor eléctrico. Se presenta uno de tales equipos en la figura N° 11.

MEDICION DE CAPACIDAD Y TANGENTE DELTA

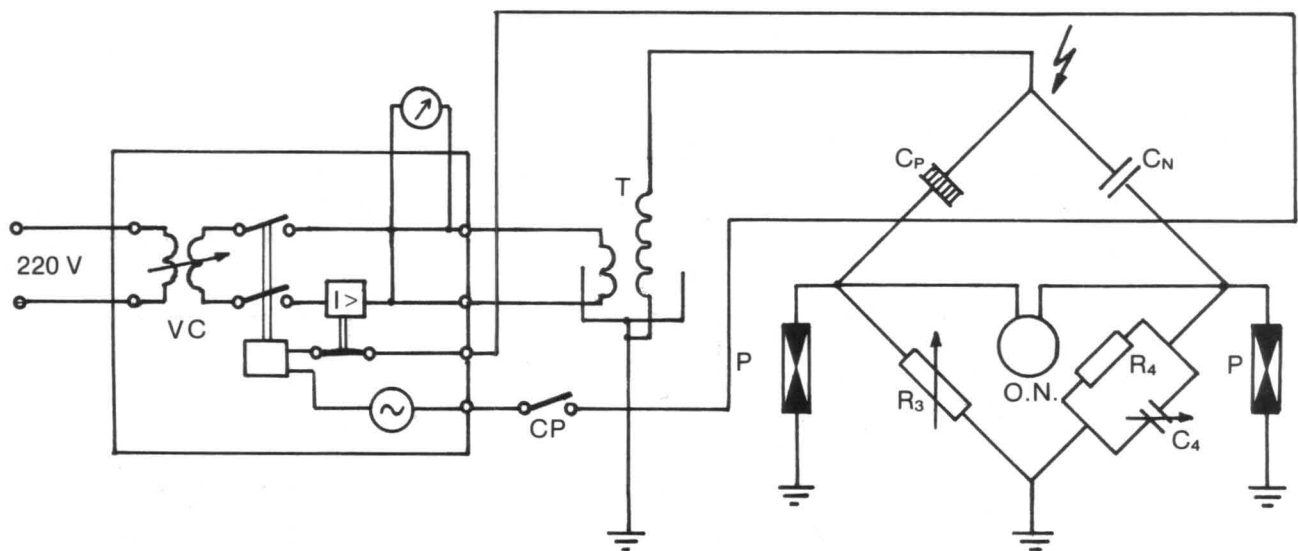
Esta práctica permite al estudiante realizar mediciones de la capacidad y tangente Delta en objetos de prueba reales, como son por ejemplo los cables, los transformadores, etc. El estudiante explica cómo son los mecanismos de pérdidas dieléctricas y describe la operación y los errores

que puede generar el sistema de medida empleado en la práctica. Adicionalmente debe nombrar los diferentes métodos existentes para realizar las mismas mediciones; se recomiendan para este objetivo consultar Schwab [5].

Es imprescindible para esta práctica contar con un puente de medida tipo Schering o cualquier otra variante, que permita medir con el objeto de prueba preferiblemente energizado en alta tensión.

Durante la práctica el estudiante debe medir la capacidad y tangente Delta de aislamientos de materiales, tales como cables mono y tripolares, que pueden ser conseguidos localmente.

Véase montaje en la figura 12.



- | | |
|-------------------------------------|---|
| VC = Variac | CN = Condensador normal |
| V = Voltímetro | R ₃ , R ₄ = Resistencias de baja tensión del puente |
| I = Relé de sobrecarga | C ₄ = Condensador del puente para medir Tang. Delta |
| CP = Contacto en la puerta | P = Pararrayos de protección |
| T = Transformador de alta tensión | ON = Medidor de cero para equilibrar puente |
| CP = Condensador -objeto de prueba- | |

FIGURA 12. Montaje para la medida de capacidad y tangente Delta de objetos libres de tierra. Tomado de [3].

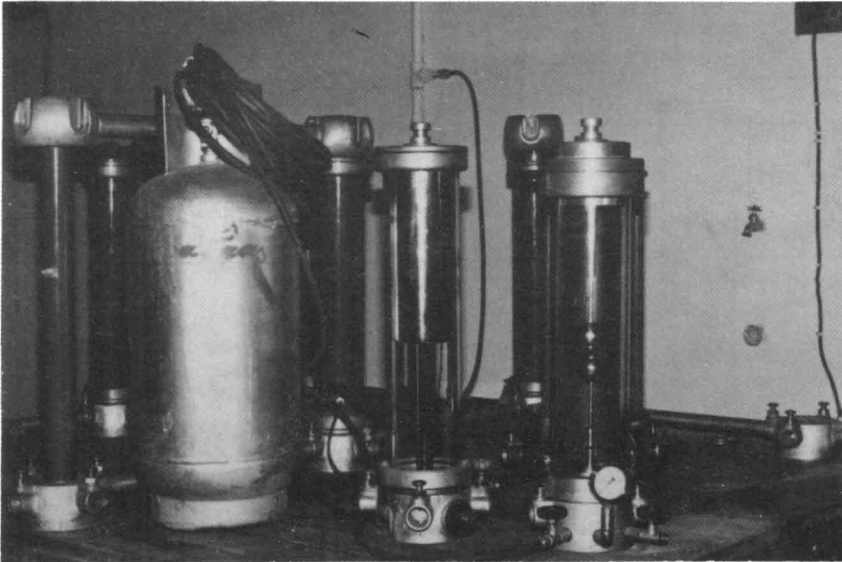


FIGURA 13. Elementos para obtener característica de Paschen.

COMPROBACION DE LA LEY DE PASCHEN

El propósito de esta práctica es el identificar los diferentes mecanismos de disrupción en gases —aire y SF₆— y su comportamiento ante las variaciones de la presión.

Al final de la práctica el estudiante debe dibujar la característica tensión contra presión para un arreglo de electrodos esfera-esfera a una distancia constante. Se recomienda electrodos de esfera de 50 mm. de diámetro a una distancia de 2 mm.

Para esta práctica se requiere un cilindro que soporte 5 atmósferas, el cual puede ser construido localmente. Otros aditamentos que requieren son: compresor, bomba de vacío y manómetros. Véase figura 13. El montaje puede verse en la figura 14.

VISUALIZACION Y MEDIDA DEL EFECTO CORONA

Esta práctica tiene por objeto lograr que el estudiante identifique las diferentes etapas que se presentan en la producción del efecto corona positivo y negativo. Igualmente que describa y haga los montajes de medida necesarios y mida

las variaciones de la frecuencia de los pulsos trichel contra la tensión.

Para lograr esto se emplean electrodos tipo punta-placa, con alimentación DC, con el montaje de la figura 15 [3]. Adicionalmente se usa en esta práctica el cilindro a presión de la experiencia de comprobación de la ley de Paschen.

El ensayo puede complementarse estudiando el efecto de las pantallas graficando las variaciones de la tensión disruptiva, dependiendo de la separación de la pantalla respecto a los electrodos.

En una etapa posterior puede realizarse la medición del corona en conductores, empleando cilindros coaxiales para formar la llamada línea enmallada, con la cual pueden obtenerse las características carga contra voltaje, captando la corriente que ingresa en la malla, en función de la tensión de alimentación del sistema.

Por último puede mencionarse que esta práctica permitirá hacer medidas posteriores de radio interferencia. Para explicaciones a nivel docente, puede hacerse con un receptor de radio, captan-

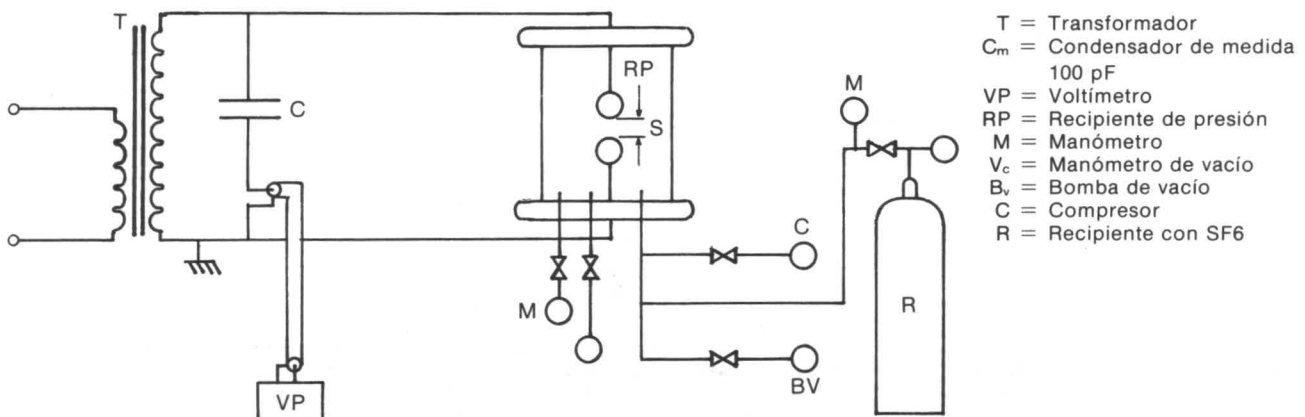


FIGURA 14. Montaje para la obtención de la curva característica de Paschen. Tomado de [4].

- CN = Conector de gas
- L = Lámpara de seguridad
- PA = Picoamperímetro
- P = Pararrayos
- M = Manómetro de vacío
- BV = Bomba de vacío
- V = Voltímetro
- S = Instalación de seguridad
- V_c = Variac
- IP = Interruptor
- T = Transformador de alta tensión
- R₁, R₃ = Resistencia de agua
- D = Diodo
- R₂ = Resistencia de filtro 500 K
- C₁, C₂ = Condensadores de filtro
- R₄ = Resistencia de medida 140 M
- R_p = Recipiente a presión

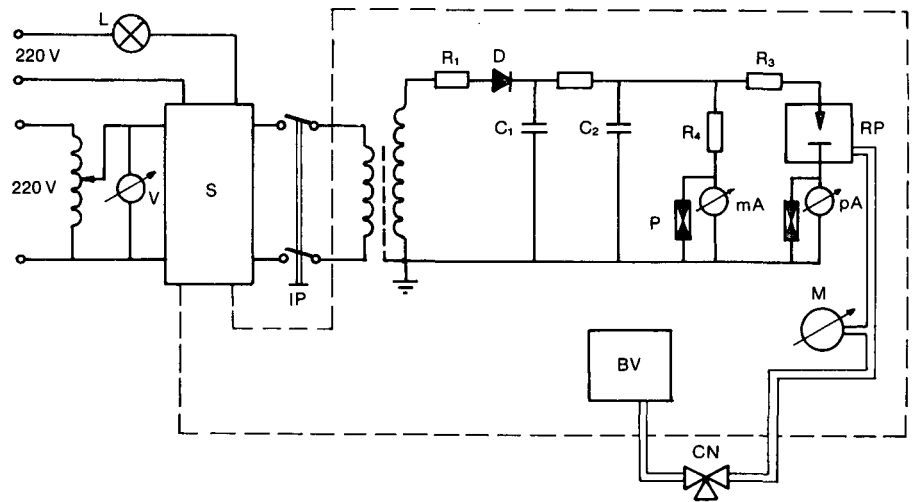


FIGURA 15. Circuito para la medida del efecto corona. Generación de pulsos Trichel y variación de la frecuencia de generación de los pulsos Trichel con la tensión.

- St.Tr. = Variac
- P = Objeto de prueba
- G1 = Neón
- C = Condensador
- U_a = Alta tensión nominal
- VK = Tensión de compensación
- N.Tr. = Transformador de red
- H.Tr. = Transformador de prueba
- R = Resistencia
- V = Voltímetro
- U' = Tensión
- S = Interruptor

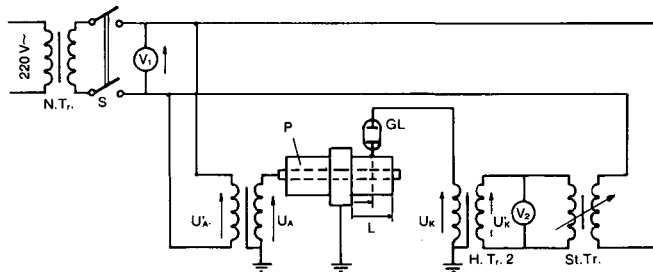


FIGURA 16. Montaje para medir la distribución de campo eléctrico en un buje o pasatapas mediante el método del neón. Tomado de [3].

do la interferencia al sintonizar emisoras en FM. Para el montaje véase la figura 15.

VISUALIZACION Y MEDIDA DEL CAMPO ELECTRICO

Se pueden considerar dos etapas: 1) el estudiante encuentra la distribución de los campos eléctricos con ayuda de los campos de corriente, y 2) realiza la medición del campo en objetos a tensión nominal.

En la medida con campos de corriente se puede emplear como mejor método el del tanque electrolítico. Es un equipo de laboratorio que puede ser construido en la Universidad y que puede tener una aplicación muy justificada en distribución de campo eléctrico en puestas a tierra y en transformadores.

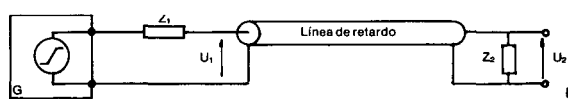


FIGURA 17a. Montaje para la medida de las tensiones U₁ y U₂ para Z₁ = 0 ó Z y Z₂ = 0, ∞ Z. La longitud del cable de retardo debe ser calculada para sincronizar U₁ y U₂ en el osciloscopio - Figura tomada de [3].

Para la medición del campo en objetos a tensión nominal, se recomienda el empleo del método del neón, en especial para la medida de la distribución de campo en un pasamuros. Se recomienda el montaje de la figura 16.

En la práctica el estudiante encuentra y grafica la distribución del campo y determina si se trata o no de un buje apantallado.

VISUALIZACION Y MEDIDA DE ONDAS VIAJERAS

El objetivo de esta práctica es que el estudiante pueda relacionar las ecuaciones matemáticas que definen las ondas viajeras con las respuestas experimentales. A través de esta práctica se demostrarán los conceptos de ondas viajeras, las definiciones de impedancia característica, impul-

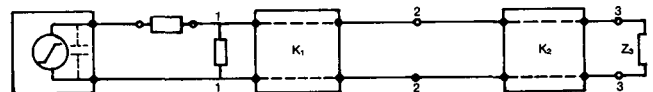


FIGURA 17b. Montaje para el estudio de ondas viajeras en conductores (K₁, K₂) con el empleo de G = generador de pulsos repetitivos de baja tensión. K₁, K₂ = cables coaxiales con Vel = 4 m/μs, largo = 12 metros, medida en los puntos 1,1'; 2,2'; 3,3'. En el punto 2,2' puede instalarse un diodo Zenner. Figura tomada de [4].

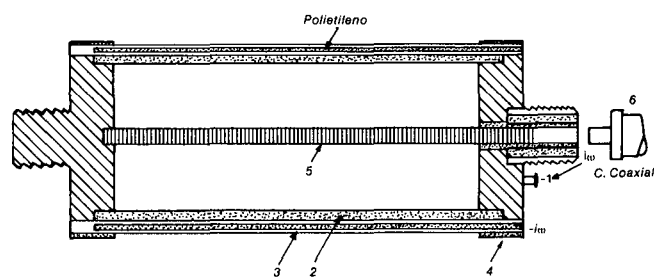


FIGURA 18. Resistencia tubular de medida. 1- Entrada de la corriente. 2- Cilindro interior de papel aluminio. 3- Cilindro exterior. 4- Anillo colector. 5- Conductor interno para la medida de la señal entre los puntos 1 y 5.

sos de voltaje, acoplamiento de impedancia, etc. en forma experimental.

Como ejemplo para lograr estos objetivos generales, se pueden realizar dos montajes diferentes [4]:

- Medida en conductores mediante un generador de impulso repetitivo [3] y su limitación con un diodo Zener.
- Distribución de tensiones de impulso en los arrollamientos de un transformador.

Los implementos requeridos para esta práctica son:

- Conductores coaxiales de diferentes impedancias características;
- Acoples de impedancias de diferentes valores;
- Generador de impulsos repetitivos de bajo voltaje;
- Sonda 1:10 para acople al osciloscopio y osciloscopio de dos canales con ancho de banda mayor a 10 Mhz.

Los montajes se presentan en la figura 17

GENERACION Y MEDIDA DE CORRIENTES DE IMPULSO

En esta práctica aprende el estudiante a distinguir las ondas de choque de corriente, a identificar sus tiempos característicos y a aplicar estas ondas en las pruebas de equipos en especial para obtener la tensión residual. El estudiante, adicionalmente podrá realizar los montajes para medición de altas corrientes familiarizándose con las resistencias coaxiales de bajo valor inductivo.

En la figura N° 18 se presentan aspectos de la fabricación de dichas resistencias y su forma final. El circuito de prueba para realizar esta práctica, se aprecia en la figura 16.

Para esta práctica pueden construirse las resistencias de medida y demás implementos del circuito [14]. El condensador del generador se forma con condensadores de los empleados en bancos de distribución de 6000 voltios y 100 o 200 KVAR.

SOBRETENSIONES DE MANIOBRA

Esta práctica tiene por objeto hacer que el estudiante se familiarice y vea el origen experi-

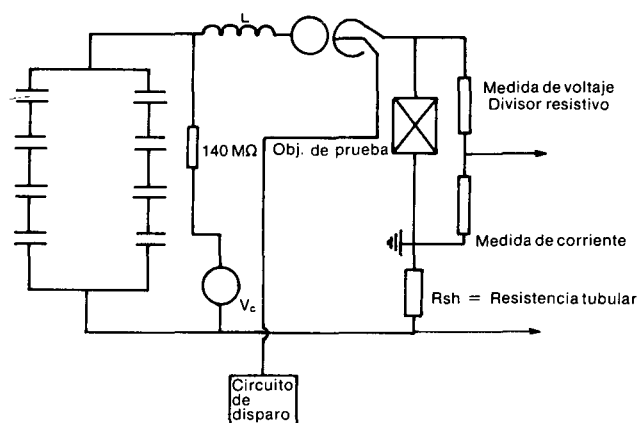


FIGURA 19. Montaje para la práctica del generador de impulsos de corriente. El estudiante obtiene la característica V vs. I y la tensión residual.

mental de las diferentes sobretensiones que pueden presentarse en los sistemas por efecto de las maniobras. El estudiante puede comprobar de esta forma que las respuestas esperadas de los circuitos por los métodos de Laplace o numéricos o con el circuito real, son exactamente iguales.

Esta práctica se hará en alta o baja tensión definiendo los modelos de los diferentes equipos que desee simularse, por ejemplo, líneas o transformadores.

Los diferentes elementos para esta práctica pueden ser construidos localmente. Se presenta en [16] una serie de montajes y pruebas que pueden ser implementados.

CONCLUSIONES

Una de las mayores preocupaciones del Grupo de Investigación en Alta Tensión ha sido el poder revertir los resultados y experiencias adquiridos en las investigaciones de las sobretensiones del sistema eléctrico [20] con el objetivo de reforzar la formación de los ingenieros electricistas en el área de Alta Tensión, ya que la situación actual del desarrollo en el sector eléctrico así lo demanda. Para el cumplimiento de este objetivo instruccional, se plantea la formación del estudiante en la teoría de alta tensión con un fuerte refuerzo experimental, el cual le permitirá realizar con seguridad mediciones de alta tensión a fin de comprobar la exactitud de pruebas de equipos o estudiar la influencia de ciertos fenómenos en el diseño del aislamiento de equipos o líneas de transmisión.

Estos conocimientos guían al estudiante hacia un mayor dominio de la alta tensión aplicada a la coordinación del aislamiento, que a nuestro modo de ver, es la aplicación final y más elaborada de la alta tensión en unión con los programas propios de los sistemas de potencia, como son los de corto circuito.

En este orden de ideas, se presentó en este artículo una serie de montajes básicos que

permitirán organizar un verdadero laboratorio docente de alta tensión, que seguramente será la base para la solución de los problemas que tienen su origen en el aislamiento de los equipos y en el control adecuado del campo eléctrico.

La conclusión final de este trabajo y siguiendo los comentarios del profesor Ivanoff [2] es imprescindible para la realización de los laboratorios, el apoyo de las empresas locales de electricidad, los fabricantes y la universidad.

AGRADECIMIENTOS

Muchas veces es labor de personas y no de instituciones, el poder realizar esa simbiosis de la universidad con las empresas de energía; ya que se requiere mucha credibilidad en las posibilidades de este trabajo conjunto que es lento pero siempre productivo y edificante. Por estas razones queremos agradecer al ingeniero Jorge Gutiérrez de la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá quien desde nuestras primeras iniciativas ha creído en los frutos de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- MEJIA, A.; ROMAN, F.; TORRES, N. **Teoría de la alta tensión**. Asignatura dictada en el Postgrado de Sistemas de Potencia en la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1984.
- DIMETRI, Ivanoff. **Laboratorios Didácticos para Ensino de Técnicas de Alta Tensão en Escolas de Engenharia**. IEEE Electrolatina. Trabajo presentado en Iaticon 74. Sao Paulo, Brasil. Pág. 6-13, diciembre 1974.
- HEINRICH, SCHWAB, A. **Hochspannungs praktikum** (Prácticas de Alta Tensión). Asignatura dictada en la Universidad Fridericiana de Karlsruhe (República Federal de Alemania). Semestre Invierno 1980-81.
- KIND, Dieter. **Einführung in die Hochspannungs versuchstechnik für Elektrotechniker** (Introducción a la Técnica de Ensayos de Alta Tensión para Electricistas). 2a. Edición. Braunschweig, Wiesbaden. Editorial Friedr. Vieweg & Sohn. 1985.
- SCHWAB, Adolf. **Hochspannungsmesstechnik** (Medidas de Alta Tensión) Berlin, Heidelberg, New York. Segunda Edición, 1981.
- IEC. International Electrotechnical Commission High Voltage Test Techniques". Norma IEC 60 en 4 partes:
IEC 60-1: Definiciones generales y requerimientos de las pruebas.
IEC 60-2: Procedimiento de prueba
IEC 60-3: Dispositivos de medida
IEC 60-4: Aplicaciones de los elementos de medida.
Ginebra, Suiza, 1973.
- TUR-DRESDEN. **Hochspannungspruefanlagen** (Instalaciones de Prueba de Alta Tensión) Catálogo de Equipos de Prueba de Alta Tensión. República Democrática Alemana.
- PRINZ, Hans y ZAENGLL, Walter. **Ein 100 KV - Experimentierbaustein** (Módulos Experimentales de 100 KV). **Elektrizitätswirtschaft**. Heft 20 Band 59, p.p. 728-734. 20 Oct. 1960.
- IEEE. **IEEE Standard techniques for high Voltage Testing** An American National Standard. Published by The Institute of Electrical Engineers, Inc. Distributed in cooperation with Wiley-Interscience, a Division of John Wiley & Son, Inc. 1982.
- ICONTEC. **Normas Técnicas Colombianas de Transformadores Eléctricos**. Normas:
836 Transformadores. Niveles de aislamiento
837 Transformadores. Ensayo del Dieléctrico.
Vol. 1 Nº 1. 1976. Bogotá.
- ASTM. D1816. **Standard Method of Test of dielectric Breakdown Voltage of Insulation Oils of Petroleum origin using VDE Electrodes**. 1976.
- IEC International Electrotechnical Commission. "Insulation Coordination. Norma IEC 71 en dos partes:
Parte 1: Términos, definiciones, principios y reglas.
Parte 2: Guía de aplicación.
Ginebra, Suiza, 1976.
- OLARTE CARO, L. A. "Guía para el ingeniero docente". **Revista ACIEM Cundinamarca**. Boletín Nº 69. pp. 13-14. Abril-Mayo 1983.
- ROMAN, AMORTEGUI, BOJACA, GOMEZ. "Construcción de un generador de impulsos de corriente para ensayo de pararrayos y del sistema asociado de medida". **Revista Ingeniería e Investigación**. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá. Colombia. Vol. 12, pp. 30-39, 2º Trimestre 1985.
- ROMAN, MELO, PONCE y TRIVIÑO **Control de generación de la onda de choque y medición de sus tiempos característicos**. **Revista Ingeniería e Investigación**. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá. Colombia. Vol. 11, pp. 33-42, 1º Semestre 1985.
- TORRES, Horacio. **Estudio teórico experimental del reencendido**, presentado a las Terceras Jornadas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de ACIEM-Cundinamarca. Bogotá. Mayo 7-9, 1986.
- OLARTE, Luis Alberto. **Un punto de apoyo en la docencia: cómo formular objetivos instruccionales**. **Revista Ingeniería e Investigación**. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá. Colombia. Vol. 12 pp. 59-62, 2º Trimestre de 1985.
- VDE 0370. **Normas para aceites de transformadores, transformadores de medida e interruptores**.
- ASTM D 877-76. **Test for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Liquids using Disk Electrodes**. 1976.
- Estudio teórico experimental de las sobretensiones en el sistema de potencia eléctrico colombiano**. Aprobado por el Consejo de Investigación y Desarrollo Científico CINDEC de la Universidad Nacional y COLCIENCIAS, 1985.