



DEPARTAMENTO de ELECTROTECNIA
Laboratorio de Alta Tensión
Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD DE EVA PERON

FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MATEMATICAS

DEPARTAMENTO DE ELECTROTECNIA

Informe de la Comisión designada
para el estudio, proyecto y la adquisición del
laboratorio de alta tensión

ING.FRANCO LICENI

ING.PEDRO MARCELIC

ING.REMO J.TOZZINI

CIUDAD EVA PERON, 28 de octubre de 1953

INDICE

- CAP. 1: Puntos de vista para el proyecto del laboratorio de Eva Perón.**
- CAP. 2: Generadores de impulsos de tensión y corrientes.**
- CAP. 3: Fuentes de alta tensión a frecuencia industrial.**
- CAP. 4: Analizadores de redes.**
- CAP. 5: Equipos complementarios.**
- CAP. 6: Dimensionamiento de los edificios.**
- CAP. 7: Descripción de laboratorios.**
- CAP. 8: Descripción de líneas experimentales y líneas industriales.**
- CAP. 9: Pliego de Licitación.**
- CAP.10: Bibliografía.**
- CAP.11: Tablas numéricas.**

CAP. I - PUNTOS DE VISTA PARA EL PROYECTO DEL LABORATORIO DE
" EVA PERON "

Necesidad del Laboratorio de Alta Tensión

El desarrollo del plan de electrificación de la República Argentina prevé la construcción de grandes centrales piroeléctricas en los centros industriales y de potentes centrales hidroeléctricas en las localidades, en que se disponga de energía hidráulica. Para asegurar un suministro continuo de energía eléctrica, es necesario conectar entre sí las centrales mediante líneas de altísima tensión. En consecuencia, se impone la necesidad de contar con un moderno laboratorio de alta tensión no solamente para ensayar las máquinas importadas y las que se producirán en el país según los programas del Segundo Plan Quinquenal, sino también para realizar las investigaciones vinculadas con el empleo de altísima tensión.

En conocimiento de todos estos problemas y de acuerdo a una propuesta del Departamento de Electrotécnica de la Facultad de Ciencias Fisico-Matemáticas de Eva Perón, la Dirección Nacional de la Energía decidió la construcción de un laboratorio de alta tensión en Eva Perón, como está estipulado en el Convenio firmado el 9 de diciembre de 1949 con la Universidad de Eva Perón (1).

El laboratorio tendrá los siguientes objetivos:

- 1) Ensayos y pruebas para Agua y Energía Eléctrica (ENDE) y para la industria argentina.
- 2) Investigaciones técnico-científicas de carácter general.
- 3) Enseñanza técnico-superior.

Objetivos de laboratorios de alta tensión

El objetivo principal de los laboratorios de alta tensión es el de analizar experimentalmente el comportamiento de materiales

y aparatos bajo la influencia de altísima tensión. Debido a que los objetos a ensayar se comportan de distintas maneras cuando están sujetos a tensiones unidireccionales de muy breve duración e altas tensiones alternas de frecuencia industrial, se aceptó como regla general que los laboratorios de alta tensión tienen que disponer de estos tipos de tensiones. Las altas tensiones unidireccionales se generan en los generadores de impulso de tensión, mientras que las altas tensiones de frecuencia industrial se producen mediante transformadores monofásicos.

Si bien el convenio y Decreto Superiores establecieron "a priori" el valor de 3000kV para la tensión de impulsos y el valor de 1000 kV para la tensión de frecuencia industrial, el problema más importante, que tiene que solucionar la Comisión encargada del proyecto del laboratorio, es la elección de los valores máximos de las tensiones convenientes.

Tensión de las líneas argentinas

El criterio más adecuado para la elección de los valores máximos mencionados se relaciona con la exigencia de que el laboratorio de Eva Perón tiene que disponer de tensiones tales que permitan realizar ensayos y pruebas correspondientes a las más altas tensiones de servicio, que Agua y Energía Eléctrica (ENDE) utilizará en sus sistemas de transmisión. La tensión más alta utilizada para la transmisión de la Energía Eléctrica es de 380 kV, hasta el presente empleada solamente en una línea de transmisión sueca en explotación. Además, dos líneas rusas actualmente en construcción usarán esta tensión. En Estados Unidos no se tiene por ahora la intención de emplear todavía una tensión tan elevada. Las líneas en estado de proyecto o construcción tendrán una tensión no mayor de 345 kV como se ilustra más detalladamente en el Cap. VIII.

De lo expuesto resulta evidente que una tensión de 380 kV, debe ser considerada como la máxima tensión de servicio a tomar en consideración para las líneas de transmisión a construirse en la

República Argentina hasta un futuro lejano.

Tensiones máximas del laboratorio de Eva Perón

La tensión de servicio de 380 kV define implícitamente las tensiones máximas, que es necesario producir en el laboratorio de Eva Perón, porque, como es generalmente sabido, para cada tensión de servicio corresponde una tensión de prueba definida por las normas correspondientes.

Para la tensión de servicio de 380 kV no existen normas generalmente aceptadas, ya que esta tensión se utilizó hasta el presente en un sólo caso. En consecuencia, la única guía para elegir la tensión de prueba en este caso puede ser la experiencia de las fábricas suecas, que construyeron los aparatos correspondientes actualmente en servicio.

El Convenio, firmado en 1949 (1), estableció que el laboratorio de Eva Perón deberá disponer de un generador de impulso de tensión de 3000 kV. Empero, considerado lo expuesto más arriba, tomadas en consideración las tensiones de ensayo utilizadas en la recepción de la línea sueca y de sus aparatos y con referencia a la experiencia recogida en la explotación de la línea, véase lo expuesto en el Cap. VIII, el valor de 3000 kV resulta ser demasiado elevado.

En consecuencia, la Comisión propone que el generador de impulsos de tensión sea construido para una tensión de 2000 kV.

En la elección de este valor conviene tomar en cuenta el hecho notable de que, si en un futuro todavía lejano se necesitara una tensión de impulso mayor, será posible obtenerla sin mayor dificultad, agregando al generador de impulsos unos capacitores. Esta construcción en dos etapas ha sido efectuada ya en varios laboratorios.

Por ejemplo, en el laboratorio industrial de la Oerlikon fué instalado en 1938 un generador de impulsos de tensión de 1250 kV y 7,8 kWs. Luego, para corresponder al desarrollo de la técnica, se

se agregaron algunos capacitores de manera que fué posible lograr una tensión de impulsos de 2000 kV con una energía de 12,5 kWs, como está ilustrado mas detalladamente en la pág. 11 del cap. VIII.

El laboratorio de Eva Perón dispondrá también de una fuente de alta tensión con frecuencia industrial, que permitirá realizar ensayos normales de rigidez dieléctrica y estudiar fenómenos de altísimas tensiones. Siendo generalmente aceptada una dependencia entre tensión de impulsos y tensión alterna y tomando en cuenta los ensayos de recepción realizados para la línea sueca, la Comisión propone la adquisición de una fuente con una tensión alterna de 900 kV, con una frecuencia de 50 Hz.

Ubicación del laboratorio de Eva Perón

La tensión de impulsos de 2000 kV permite también colocar el generador de impulsos de tensión en la sala de alta tensión del Departamento de Electrotecnia, que se está ya construyendo. La Comisión considera que esta ubicación no representa solamente una economía de inversión, sino que también significa una ventaja para el desarrollo de los trabajos de laboratorio, garantizando esta disposición mayores comodidades para las investigaciones científicas y la enseñanza que las obtenidas mediante la división de las plantas del laboratorio de alta tensión de los demás laboratorios del Departamento.

La planta para la producción de la tensión alterna de 900 kV será colocada en un pabellón especial a construirse frente a la entrada principal de la torre prevista para el generador de impulsos, de modo que entre ambos locales se formará un espacio para las pruebas a la intemperie, ver *Fig. 6/16*.

Analizador de redes

Sería muy conveniente que el laboratorio disponga, además, de un analizador de redes de corriente alterna, que permí-

tirá reproducir eléctricamente redes de transmisión y distribución. Gracias a esta instalación se podrán resolver los problemas que presentan las redes eléctricas y que se refieren a:

- 1) Explotación normal,
- 2) Sistemas con fallas,
- 3) Problemas relativos a aparatos y circuitos,
- 4) Problemas mecánicos, térmicos, acústicos y ópticos.

El tiempo necesario para realizar estos trabajos será solamente una fracción muy pequeña del tiempo requerido por su solución analítica. La Comisión considera que el analizador de redes será el elemento mas eficiente e importante del laboratorio por su valor inmediato y su empleo ininterrumpido.

Línea experimental

Además del laboratorio de alta tensión, el Convenio estableció la construcción de una línea experimental para el estudio de los problemas de transmisión de energía eléctrica propios de la Argentina.

Se emplean líneas experimentales con el objeto de analizar experimentalmente el comportamiento de altísimas tensión, cuando esta tensión sea mayor que la utilizada en líneas en explotación. Es obvio que la línea experimental es solamente un sucedaneo económico de líneas reales. Por eso, se construyen en la actualidad solamente líneas experimentales de 400 y 500 kV y no de tensiones menores.

El análisis experimental se refiere especialmente al campo eléctrico alrededor de los conductores múltiples de las líneas, que se forma por efecto de la tensión de servicio y de las sobretensiones. El estudio de las ondas de sobretensión y de su reflexión necesita líneas con una longitud mínima de 1,5 km. La investigación del fenómeno corona puede ser efectuado, en cambio, con cualquier longitud de la línea. La longitud mínima de las líneas experimentales, que

se hallan en servicio, corresponde al vano normal, pues disponiendo de un vano pueden analizarse también calidades mecánicas de la línea.

Es preciso tener presente que las condiciones para la construcción de líneas experimentales han cambiado mucho desde el año 1949, año en que se firmó el Convenio(1). En efecto, durante ese tiempo se construyó y se puso en servicio en 1952, la línea sueca de 380 kV con una longitud de 950 km, que representa una fuente mucho más rica de experiencia que todas las líneas experimentales existentes.

Los resultados que se podrían conseguir con una línea experimental de costo muy elevado, son modestos, siendo posible solamente la determinación del número óptimo y la mejor disposición de los cables que forman el conductor múltiple. Esta disposición para conductores múltiples ha sido ya analizada en las líneas experimentales norteamericanas(80) y francesa(89) y definitivamente sancionada en la línea de transmisión sueca(94). Considerando este cambio de circunstancias, la Comisión es de opinión que en la actualidad no se justifica más la construcción de una línea experimental.

Ensayos a realizar

Con los equipos, que se propone adquirir y que se ilustran en detalle en el pliego de especificaciones adjunto, se podrán realizar los siguientes trabajos:

A) PARA AGUA Y ENERGIA ELECTRICA(ENDE)

1) Pruebas de recepción y ensayos de los aparatos y materiales para tensiones hasta 380 kV bajo diversas condiciones atmosféricas.

2) Comportamiento de redes de muy alta tensión mediante el analizador de redes de corriente alterna.

B) PARA LAS INVESTIGACIONES TECNICO-CIENTIFICAS

1) Estudio de comportamiento de máquinas y sistemas con analizador de redes de corriente alterna.

2) Análisis de las características dieléctricas de materiales sólidos, líquidos y gaseosos, bajo distinta presión.

3) Investigación de las maderas argentinas con respecto a sus propiedades eléctricas y mecánicas.

4) Investigación de aislación formada con porcelana y materiales sintéticos empleando materiales disponibles en el país y su comparación con productos extranjeros.

C) PARA LA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA

1) Teoría y funcionamiento del analizador de redes.

2) Determinación de la distribución de corrientes y potenciales de la puesta a tierra.

3) Rigidez dieléctrica de materiales aislantes.

4) Determinación del campo electrostático de aisladores.

5) Comportamiento de los aisladores sujetos a ondas de impulso.

.....

CAP. II - GENERADORES DE IMPULSOS DE TENSION Y CORRIENTE

El material, empleado en las redes de distribución y en la construcción de máquinas y aparatos eléctricos, queda sometido en servicio a sobretensiones instantáneas que son a veces muy elevadas. Estos impulsos de corta duración son la consecuencia de accidentes, maniobras de enganche o desenganche en las redes, o bien la consecuencia de descargas atmosféricas, por ejemplo, golpes de rayo directos o indirectos.

La calidad del material de aislación, utilizado en las distintas partes de un sistema de transmisión, no puede apreciarse exactamente sino se conoce su comportamiento en laboratorio bajo el efecto de una tensión de choque. En los últimos decenios se ha hecho, por lo tanto, sentir la necesidad de completar los ensayos con frecuencia industrial de las máquinas, aparatos, bornes, aisladores etc., con los ensayos de choque realizados con generadores de impulso.

Generadores de impulsos de tensión

Onda de impulso

La tensión de impulso es una tensión unidireccional con la duración de unos μs , cuyo valor instantáneo aumenta rápidamente desde cero, fig. 2/1, hasta un valor máximo para disminuir luego en forma menos rápida hasta retornar a cero. En la onda de impulso se distinguen:

1. La duración del frente de onda t_1 , que es el lapso empleado por la tensión para aumentar desde cero hasta el valor de cresta U_{max} .

2. La duración hasta el valor medio de la cola de onda t_2 , que es el lapso empleado por la tensión para aumentar desde cero hasta el valor de cresta y disminuir hasta la mitad del valor de cresta de la tensión.

Se simboliza la onda de impulso mediante la escritura, por ejemplo, de $1 \times 5 \mu s$, fig. 2/1, donde el primer número representa la duración del frente y el segundo número la duración hasta el valor medio de la cola, ambos indicados en μs . Otra onda de ensayo tiene la característica de $1 \times 10 \mu s$, fig. 2/2.

Las investigaciones, realizadas durante un largo lapso de tiempo en países diferentes, demostraron que las sobretensiones de las líneas de transmisión, debidas a los rayos, en 25% de todos los casos logran su valor de cresta en $1 \mu s$ y que en 98% de todos los casos las sobretensiones hasta el valor medio de la cola en menos de $100 \mu s$ (17). En consecuencia, la onda de ensayo de $1 \times 50 \mu s$ representa con suficiente aproximación los fenómenos vinculados con las sobretensiones atmosféricas y puede ser empleada en los laboratorios durante el ensayo de los generadores de impulsos de tensión, fig. 2/2. Las normas inglesas, alemanas, suizas y suecas establecen la onda de ensayo de $1 \times 50 \mu s$, que ha sido fijada también por las normas internacionales de la CEI (2).

En cambio, la onda normalizada en Estados Unidos es de $1,5 \times 40 \mu s$, fig. 2/3.

Esquema del circuito

Para la producción de la tensión de impulso se utiliza con preferencia una disposición similar a la indicada en las figs. 2/4 y 2/5. El circuito se compone de:

1. Una fuente regulable \mathfrak{a} de corriente continua de alta tensión.
2. Un capacitor C_1 , que almacena la carga estática producida por la fuente \mathfrak{a} y destinado a producir el impulso.
3. Un resistor R , intercalado entre \mathfrak{a} y C_1 , que limita la intensidad de la corriente de carga y protege la fuente en el momento de la descarga del capacitor C_1 .
4. Un explosor a esferas \mathfrak{b} , correspondiente a la tensión de la fuente que se descarga, cuando la tensión en C_1 adquiere

re el valor deseado.

5. Un inductor L en serie con C_1 , cuya inductancia tiene el valor correspondiente al objeto a ensayar, aumentado por una inductancia regulable.

6. Un resistor de amortiguamiento R_1 en serie con el circuito de descarga.

7. Un resistor de descarga R_2 en paralelo con el objeto a ensayar g , conectado en una de las dos posiciones, indicadas tanto en la figura 2/4 como en la fig. 2/5.

8. Un capacitor C_2 , que comprende la capacidad total de circuito e incluye la del elemento ensayado.

Funcionamiento

La fuente de tensión continua carga progresivamente C_1 a través de R . Cuando la tensión en los bornes del capacitor adquiere el valor correspondiente a la calibración del explosor a esferas, éste se descarga y acopla C_1 al resto del circuito de ensayo. La tensión en los bornes del objeto a ensayar crece rápidamente a través de L y R_1 . Cuando la tensión alcanza su valor máximo, se obtiene el valor de cresta. Luego, la tensión disminuye lentamente, produciéndose la descarga de C_1 y C_2 a través de R_2 en paralelo. Al final de la descarga se extingue el arco en el explosor de esferas y el capacitor C_1 vuelve a cargarse.

Oscilaciones

Para conseguir durante la descarga del capacitor C_1 una oscilación amortiguada, correspondiente a la de la onda normal de ensayo según figs. 2/1 - 2/3, los valores de L y R_1 tienen que satisfacer la relación siguiente:

$$R_1 > 2 \sqrt{\frac{L(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}} \quad (2/1)$$

Cuando no se cumple esta condición, se producen en el circuito oscilaciones correspondientes a la frecuencia propia del

circuito.

En la forma de la onda de tensión, la norma IRAM 2069 admite deformaciones que no excedan un 5% del valor de cresta de la tensión de impulso.

Duración de la onda de impulso

La capacitancia del capacitor C_1 debe ser por lo menos igual a cinco veces la del capacitor C_2 . La resistencia del resistor de descarga R_2 sea por lo menos igual a la resistencia del resistor de amortiguamiento R_1 . Entonces, la caída de tensión en R_1 se mantiene dentro de límites muy estrechos.

Despreciando la inductancia L que es muy pequeña, se determina la duración del frente, por medio de la ecuación

$$t_1 = 2 C_2 R_1 \quad (2/2)$$

La duración hasta el valor medio de la cola vale, aproximadamente

$$t_2 = R_2 \ln 2(C_1 + C_2) \quad (2/3)$$

La duración del frente de onda y la duración hasta el valor medio de la cola no varían sensiblemente, cuando se modifica la tensión, siempre que los parámetros se mantengan constantes y que el efecto corona sea despreciable.

Conexión de Marx

La conexión ilustrada en las figs. 2/4 y 2/5 con la tensión de descarga igual a la de carga, no es suficiente para obtener las altísimas tensiones necesarias en el estado actual de la técnica, ya que se necesitan tensiones de varios centenares o hasta millares de kV. Prácticamente en todos los laboratorios de alta tensión del mundo se emplea hoy en día el esquema de multiplicación, que fué ideado por Marx en 1923(15). Este permite con una tensión de carga de 100 a 400 kV producir descargas en una tensión de hasta unos millares de kV. Un cierto número de capacitores se carga en paralelo, que luego sin cambio de conexión,

se descargan en serie.

Un número n de capacitores C , acoplados en paralelo por los resistores internos de carga R_1 , fig. 2/6, se carga simultáneamente por medio de un rectificador Q . Cuando la tensión de los capacitores logra un valor suficiente, se produce una serie de descargas entre los explosores de esferas S , realizando la puesta en serie instantánea de las diferentes etapas. En efecto, en el momento del con-
torneo el primer capacitor C queda cortocircuitado a través de R_1 . Como la resistencia del arco entre las esferas del explosor es casi nula y la resistencia de R_1 tiene un valor elevado, el punto B_1 será llevado instantáneamente al potencial de A_1 . El valor del potencial de A_2 se verá por este hecho duplicado. Como el fenómeno se repite en cada grupo, el punto A_n será finalmente llevado a una tensión contra tierra igual a la suma de los potenciales de todos los capacitores, es decir, igual a n veces la tensión del capacitor C ~~(17)~~.

La tensión total es así aplicada al capacitor de carga C_c y al objeto a ensayar P , dispuesto en paralelo con el primero. La forma de la onda de choque está determinada por la resistencia de amortiguamiento R_2 y la de descarga R_3 .

Tensión de carga

La elección de la tensión de carga o tensión por etapa, es el factor determinante para la construcción de un generador de impulsos de tensión. Una tensión de carga pequeña permite emplear un equipo de carga con corriente continua pequeño y de bajo costo. Sin embargo, requiere un número elevado de etapas. El costo total de los capacitores para una determinada energía acumulada, por lo general, no varía mucho con su número.

La tensión debería ser elegida en un 10 - 15% menor que la tensión con circuito abierto del grupo de carga, si se quiere obtener un valor conveniente para la duración de carga. Para los generadores de 1000 kV y más de una capacidad de descarga de 0,01 - 0,03 μ F Edwards aconseja una tensión de 170 kV (17).

Generalmente se elige una tensión de carga de 100 a 400 V

Así por ejemplo, la Westinghouse usa capacitores de 100 kV, tabla 2/1, mientras que la Metropolitan-Vickers construye los generadores de impulso de tensión para una tensión de carga (ambas polaridades) de 167 kV, tabla 2/2. En la práctica este valor puede ser regulado entre 20% y 105%, obteniendo entonces una tensión comprendida entre 35 y 175 kV. La primera columna de las tablas 2/1 y 2/2 indica la tensión nominal del generador de impulsos de tensión, vale decir, la tensión total de descarga a circuito abierto.

Tipos constructivos

Se distinguen dos tipos de construcción para los generadores de impulso de tensión: uno que utiliza un gran número de capacitores alejados en cubas de palastro y generalmente dispuestos en forma escalonada sobre soportes aislantes.

El otro tipo de construcción tiene los capacitores en cubas de material aislante, dispuestos en columnas y separados por soportes aislantes, que exteriormente no se distinguen de los capacitores. Posee la ventaja de presentar una base de superficie mucho menor. Las figuras 2/8 - 2/15 ilustran los detalles constructivos de los generadores de impulsos de tensión de la Westinghouse y General Electric en Estados Unidos, de la Metropolitan-Vickers y Ferranti en Inglaterra, de la Haefely y Micafil en Suiza y de la Asea en Suecia.

La tabla 2/4 indica las dimensiones de los generadores de impulsos de tensión construidos por la Metropolitan-Vickers, que tienen una base con una superficie de 2,4 x 1,5 m. y 2,3 x 1,2 m según el tipo de capacitores empleados. Las figs. 2/16 y 2/17 muestran las dimensiones de un generador de impulso de tensión Ferranti de 3500 kV a cuatro columnas y ocho etapas. Cada capacitor desarrolla una tensión de 440 kV. La capacitancia de cada capacitor es muy variable, como se deduce del examen de las tablas 2/1 y 2/2, ya que depende del servicio al que está destinado el generador de impulsos de tensión. La Metro-

litan-Vickers emplea capacitores tanto de 0,160 como también de 0,075 μF , tabla 2/2. La Westinghouse prefiere en la actualidad capacitores de 0,250 μF , tabla 2/1.

Un dispositivo permite cortocircuitar todos los capacitores en el momento de la puesta fuera de servicio, poniéndolos a tierra. El generador de impulsos de tensión está construido de manera de permitir la puesta en paralelo o en serie-paralelo de las etapas. Se puede también emplear sólo una parte del generador, desconectando un cierto número de etapas.

Para reducir el costo y espacio ocupado por la instalación, se puede recurrir a bobinas de cables en calidad de capacitores, sobre todo en caso de necesitarse una energía puesta en juego del orden requerido precisamente para ensayo de cables. A pesar de que este tipo ofrece algunas perspectivas interesantes, y existen varias instalaciones, entre ellas en la fábrica de cables de Felten y Guilleaume, de 1.400 kV y 110 kW, ~~no ofrece~~ no ofrece por el momento la flexibilidad de maniobra ni la seguridad del generador tipo Marx, ni la posibilidad de lograr tensiones muy altas.

Explosores de esferas

El acoplamiento en serie de los capacitores, se efectúa por medio de varios pares de explosores que tienen un diámetro determinado en relación con la tensión de carga, fig. 2/10. Una de las esferas es fija y la otra está sobre un eje aislante móvil. La distancia entre las esferas está regulada simultáneamente para todos los explosores por la rotación de ese eje, que generalmente está accionado por un motor eléctrico con dos sentidos de marcha, fig. 2/10.

Los pares de esferas están dispuestos horizontalmente en un plano vertical, fig. 2/14. La distancia entre las esferas de acoplamiento es indicada en el pupitre de maniobra por medio de unidades selsyn. Su transmisor está montado sobre el motor de accionamiento de los explosores, mientras que su indicador se encuentra en el pupitre de maniobra.

Tensión de descarga

La tensión máxima y la corriente, que son entregadas por el generador de impulsos de tensión al aparato a ensayar, dependen también de las características del circuito externo y de la forma de onda. Indicando con V_d la tensión de descarga del generador, con V su tensión nominal, con C_c su capacitancia y con C_p la capacitancia del aparato a ensayar, se obtiene la relación

$$V_d = V \frac{C_c}{C_c + C_p} \quad - - - - - (2/4)$$

En el instante, cuando la tensión sobre el objeto logra el valor máximo, la tensión de los capacitores de choque es ya disminuída levemente, por efecto de la energía perdida en la resistencia. Por lo tanto, la amplitud de la onda no alcanza el múltiplo de la tensión de carga correspondiente al número de etapas n .

Así, la tensión efectiva de descarga resulta algo inferior al valor calculado por medio de la ec.(2/4), siendo la reducción una función del valor de la impedancia total del circuito. Por lo general, la disminución es de algunos porcentos, cuando se trata de una onda de 50 μ s.

Si la capacitancia del aparato a ensayar es elevada, resulta conveniente emplear solamente una parte de las etapas del generador de impulsos de tensión. Así se aumenta la capacitancia del generador C_c y se reduce al mismo tiempo la tensión de descarga V_d según la ec.(2/4). Por ejemplo, si en una instalación constituída por un generador de impulsos de tensión de seis etapas con una tensión nominal de 1000 kV y con capacitores de 0,075 μ F cada uno, se emplean solamente cuatro etapas, tabla 2/2, resultan una capacitancia de 0,018 μ F y una tensión de descarga de 670 kV.

Si en cambio se necesita una capacitancia mayor, se emplean todos los seis capacitores, disponiendo en paralelo dos grupos de tres capacitores en serie. La capacitancia total resulta igual a 0,050 μ F, mientras que la tensión de descarga disminuye hasta 500 kV.

Energía de choque

La energía acumulada en un generador de impulsos de tensión, está indicada por la ecuación

$$E = 0,0005 C_c V^2 \text{ kWs} \text{ - - - - - (2/5)}$$

siendo C_c la capacitancia del generador en μF y V la tensión de carga en kV.

Se puede duplicar o triplicar los valores de la energía acumulada en la tabla 2/2, construyendo el generador de impulsos de tensión con cuatro o seis columnas en lugar de dos. Se disponen entonces dos o tres capacitores en paralelo, de manera de aumentar en modo correspondiente la capacidad total del generador.

La capacitancia del generador de impulsos de tensión se determina de manera empírica, debiendo ser, por lo menos, igual a 4 ó 5 veces la del objeto a ensayar. Tiene que ser suficiente para permitir el ensayo de los pararrayos con una corriente relativamente elevada durante un lapso determinado.

Por efecto de la repartición no lineal de la tensión de impulso en el arrollamiento de un transformador, la capacitancia efectiva, que se debe considerar en el proyecto del generador de impulsos de tensión, resulta solamente el 10-20% de la capacitancia estática.

Generadores de impulsos de repetición

El generador de impulsos de repetición da la posibilidad de estudiar la distribución del potencial originado por una onda de impulso sobre un arrollamiento. Se construyen dos tipos principales: uno con tensiones de 200-400 kV y otro con tensiones inferiores a 1 kV.

Generadores de impulsos de repetición de alta tensión

En el aparato las resistencias de carga del sistema Marx normal, fig. 2/6, están sustituidas por inductancias, fig. 2/19. Así es posible una carga rápida, mientras que el generador de impulsos de tensión de tipo normal instalado, por ejemplo, en el la-

laboratorio de Bangalore/India, necesita 30s para la carga.

La descarga se inicia mediante electrodos móviles, accionados por un motor sincrónico, de manera de producir una descarga por ciclo de la tensión de línea. Resultan entonces 50 impulsos por s. La tensión y la forma de la corriente de descarga se observan en un osciloscopio a rayos catódicos.

Un generador de impulsos de repetición de 210 kV para una onda de $0,2 \times 10^{-6}$ s ha sido instalado por la General Electric en 1951 en el laboratorio de Bangalore. Otro aparato para una tensión de cresta de 400 kV se halla en el laboratorio de la Universidad de São Paulo. Sin embargo, la General Electric no construye más este tipo de generador.

Generador de impulsos de repetición de baja tensión

La experiencia ha puesto en evidencia que mediante ondas de impulsos con frente inferior a 1 kV, repetidas 50 veces por s, se obtiene la misma distribución del potencial sobre el arrollamiento de transformadores. Este sistema tiene la ventaja de poder ser empleado en el aire antes de colocar el arrollamiento en la cuba y de dar sobre la pantalla del oscilógrafo una imagen persistente compuesta de la repetición de 50 veces por s del mismo trazado. La diferencia entre las medidas efectuadas en el aceite o en el aire, con o sin cuba, en alta o en baja tensión, es prácticamente insignificante.

El generador de impulsos de repetición, que trabaja con tensión reducida, fig. 2/20, no presenta peligro para el personal. Permite mediciones sumamente rápidas de la repartición de la tensión de impulsos. Los bornas de medición no deben estar aislados más que para algunos centenares de V.

El generador de impulsos de repetición es indispensable para determinar las sollicitaciones de la aislación en el momento del ensayo con onda cortada. Con un circuito de retardo regulable, que varía el tiempo hasta el corte, el generador de impulsos de re

petición permite encontrar el momento más peligroso y medir las sollicitaciones máximas, observando simplemente la repartición de la tensión en ^{el} oscilógrafo de rayos catódicos. El aparato puede ser empleado también como generador piloto para el desenganche de un generador de impulsos de tensión. Puede servir igualmente para el estudio de fenómenos muy rápidos relacionados con una frecuencia de aproximadamente de 50 Hz, debidas a rectificadores, conmutadores. Un primer Thiratrón A produce por la descarga de un capacitor un impulso piloto sincronizado con la red de alimentación, fig. 2/27. Un variador de fase permite producir el impulso piloto en un instante cualquiera de la onda fundamental. Un segundo thiratrón comandado por el primero, da el impulso de desenganche del oscilógrafo catódico C. Un circuito retardador permite regular el retardo de desenganche de 0 a 15 μ s.

El circuito de choque propiamente dicho se compone de un capacitor de choque, un capacitor de carga y resistencias, que determinan el frente de onda y la duración de la semiamplitud. La descarga del capacitor de choque se hace por medio de un thiratrón comandado por el impulso piloto con un retardo de 2 μ s. Un cuarto thiratrón comandado directamente por la tensión de impulso con un retardo regulable, puede cortar la onda en el momento deseado.

Generador de impulso de corriente

El arco producido por el generador de impulso de tensión está alimentado por una corriente de poca intensidad, a causa de la alta impedancia del circuito formado por éste. Por eso con él no se puede reproducir la acción de golpes de rayos, caracterizados por corrientes de 50 a 100 kA, que ejercen devastadores efectos térmicos y mecánicos. Para reproducir y estudiar tales efectos, fig. 2/22, es menester generar corrientes del mismo orden de magnitud con un generador de impulso de corriente.

Este está compuesto de una batería de 10 hasta 20 capacitores conectados en paralelo, fig. 2/23. En el esquema de principio de la fig. 2/7 los capacitores en paralelo están representados por el capacitor C_w . Cuando la tensión de los capacitores C_w alcanza el valor correspondiente a la distancia del explosor S, se produce una descarga

de muy alta intensidad sobre el objeto de ensayo P. Mediante el capacitor C_0 y la resistencia R_3 puede regularse la forma de la onda de corriente, como se ilustró en el párrafo del generador de impulsos de tensión. De lo dicho resulta evidente que el generador de impulsos de corriente, funciona con iguales tensiones de carga y de acción.

La tensión de carga es de 50 hasta 100 kV y puede efectuarse mediante el mismo dispositivo, que sirve para el generador de impulsos de tensión. Los dos generadores se ubican, por lo tanto, uno cerca del otro, por ejemplo, en el laboratorio de Purdue University Estados Unidos.

Cada capacitor en paralelo tiene una capacitancia de 1 a 2 μF . Según el número de los capacitores, se pueden conseguir impulsos de corriente de hasta 300 kA. Por efecto de la acción mecánica de la corriente de tal intensidad, el generador de impulsos de corriente tiene que ser construido muy solidamente. El aparato se encierra en una caja para evitar la proyección de los fragmentos producidos por la ruptura de los materiales ensayados, fig.2/22.

El generador de impulsos de corriente puede actuar sobre un objeto solo o vinculado al generador de impulsos de tensión. En este último caso el generador de impulsos de corriente se conecta después de producirse el arco por el impulso de tensión, o sea, en el momento cuando la onda de tensión llega a un valor algo menor que el correspondiente a la tensión de carga del generador de impulsos de corriente.

Dispositivo de carga

La corriente continua, necesaria para la carga de un generador de impulsos, puede ser entregada en principio por cualquier tipo de rectificador, que permite conmutar la tensión alterna a una polaridad positiva o negativa contra tierra.

Según las preferencias del fabricante del generador de impulsos de tensión se emplean:

1. Rectificadores mecánicos de aguja,
2. Rectificadores con válvulas electrónicas,

3. Rectificadores secos.

Los rectificadores mecánicos rotativos son económicos y de gran robustez, pero tienen el inconveniente de ser ruidosos y requieren un mantenimiento continuo, fig. 2/24. Su polaridad puede ser cómodamente cambiada a distancia.

Los rectificadores con válvulas electrónicas convienen gracias a su poco peso, principalmente para las tensiones poco elevadas fig.2/25. Empero, las válvulas tienen una vida limitada.

Los rectificadores secos de óxido de cobre o selenio son completamente estáticos y de duración prácticamente ilimitada, pero presentan el inconveniente de ser mas caros, fig.2/26. Permiten alcanzar tensiones de 400 kV y se vislumbran aún mayores.

En general, puede decirse que los rectificadores mecánicos son usuales en los generadores de impulsos suizos, los electrónicos en los generadores norteamericanos y los secos en los generadores ingleses.

Para limitar la corriente máxima del rectificador en el momento de la carga del generador de impulsos de tensión, es necesario intercalar entre el generador y rectificador un resistor suficientemente grande . Una parte de su resistencia puede sin inconveniente intercalarse en el circuito del arrollamiento primario del transformador de alimentación. A fin de obtener una carga regular de todas las etapas del generador, particularmente cuando éstas son muy numerosas es necesario observar una relación determinada entre el valor de la resistencia limitadora y las resistencias en paralelo con las etapas.

La potencia del rectificador depende de la potencia del generador de impulsos de tensión, y de la secuencia de las descargas. Para el control industrial de la fabricación de porcelana, los impulsos deben repetirse rápidamente. En las instalaciones de altísimas tensión, en cambio, se prefiere trabajar con una frecuencia menor. El rectificador debe ser conmutable para dar a la tensión de impulso una polaridad positiva o negativa respecto tierra.

Medición de la tensión de impulso

La tensión de impulso se mide con los métodos siguientes:

1. Amperímetro y resistor,
2. Voltímetro electrostático,
3. Capacitor variable,
4. Espinterómetro,
5. Oscilógrafo de rayos catódicos.

Amperímetro y resistor

Se puede medir la tensión utilizando un resistor conectado entre el terminal de alta tensión y tierra, en serie con un amperímetro, que se conecta en el lado puesto a tierra. La tensión aplicada es igual al producto de la intensidad, indicada por el amperímetro, por la suma de las resistencias del resistor y amperímetro. El amperímetro debe tener un blindaje metálico, puesto a tierra, o estar colocado fuera de la zona reservada para la alta tensión y estar protegido contra la acción de los campos magnéticos exteriores, que podrían dar lugar a lecturas erróneas. Las mediciones son aproximadas

Voltímetro electrostático

La tensión continua puede ser medida por medio de un voltímetro electrostático, conectado directamente o por medio de un divisor de tensión.

Capacitor variable

Consiste esencialmente en un capacitor variable, cuya capacitancia se varía cíclicamente entre cero y un valor máximo fijo. El capacitor variable se conecta a la tensión continua a medir, midiendo su carga o descarga a través de un sistema adecuado de interrupciones y cierres. Faltan todavía experiencias suficientes con este tipo de mediciones.

Espinterómetro

Para realizar la medición con un espinterómetro, fig.2/11, la elección de la distancia entre las esferas, el diámetro de las mismas así como el método de contraste han sido reglamentados por las especificaciones de la CEI (11). Se debe señalar que el uso del espinterómetro es limitado y que la tensión de impulso no puede ser

medida por este medio mas aproximadamente que unos porcentos, también por personas de mucha experiencia.

El error de medición es del 3% si la distancia de formación del arco g entre las esferas de diámetro d es igual a $0,5 d$, fig.2/28. El error de medición crece hasta el 5% para $s = 0,75 d$. Según la norma IRAM 2038 el error de medición para $s = d$ es aún mayor, de manera que los valores de la tensión de cresta, dados en dicha norma, son solamente aproximados.

El espinterómetro se utiliza para la medición del valor de cresta de la tensión y para el control y la calibración de instrumentos de medición de tensión en los ensayos de altas tensiones continuas, tensiones unidireccionales de impulse y tensiones alternas de frecuencia industrial.

Los resultados de las mediciones son influenciados por la presión y temperatura ambiente. La humedad del aire, en cambio, tiene un efecto despreciable hasta que no ocurra condensación sobre la superficie de las esferas. Para esferas de un determinado diámetro la tensión del arco disminuye al disminuir la presión y al crecer la temperatura ambiente por efecto de la variación de la densidad del aire indicada por la relación

$$\delta = \frac{0,392 p}{273 + t} \text{ --- (2/6)}$$

siendo p la presión varométrica en mm Hg y t la temperatura ambiente en °C.

La exactitud de medición depende del estado del campo electrostático entre las esferas. Puesto que el espinterómetro no puede ser completamente aislado, resulta una distorsión del campo por la presencia de cuerpos aislantes y conductores en las cercanías de las esferas. Los valores calculados para la tensión de descarga no coinciden entonces con los valores medidos. Cuando la distorsión del campo electrostático es limitada y controlada, empleando las distancias mínimas y máximas de los objetos en la cercanía del espinterómetro establecidas por las normas (13), es posible medir la tensión en la región del frente o de la cresta con exactitud suficiente.

Espinterómetros verticales

La Micafil construye espinterómetros verticales con esferas de un diámetro de 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 y 2000 mm, fig. 2/12, mientras que la Metropolitan-Vickers se limita a los cuatro modelos de 500, 750, 1000 y 2000 mm, ~~ver fig. 2/12~~. La tensión máxima, que se puede medir con el espinterómetro depende de la distancia máxima admisible entre las esferas. Según las normas inglesas esta distancia límite es de 0,5 d. El límite inferior de la tensión depende, en cambio, de consideraciones mecánicas, ya que distancias pequeñas no pueden ser medidas con exactitud entre esferas muy grandes.

La fig. 2/11 muestra como la esfera superior está suspendida de un aislador, mientras que la esfera inferior, conectada a tierra, puede ser reemplazada verticalmente por medio de un motor eléctrico, que tiene dos velocidades. La velocidad menor se emplea para ^{la} regulación fina de las esferas. Hay un indicador mecánico de la distancia entre las esferas, fig. 2/13, cuya indicación puede ser transmitida mediante una unidad seisyn. El indicador se instala en el pupitre del comando de la instalación de impulsos. El eje de los soportes de las esferas es coincidente.

La distancia r en m. entre cualquier cuerpo conductor externo al espinterómetro y las esferas de éste fig. 2/23, no se elige nunca inferior al diámetro de la esfera y excederá al valor dado por la ecuación siguiente:

$$r = 0,25 + \frac{U}{300} \text{ m} \text{ - - - - - (2/7)}$$

siendo U el valor de cresta de la tensión a medir en kV.

La distancia entre el eje de los soportes de las esferas y las paredes de la sala no debe ser menor que la existente entre el punto de descarga de la esfera de alta tensión y la estructura que sostiene la esfera conectada a tierra.

Las esferas se hacen de cobre, latón, bronce, acero, aluminio o aleaciones livianas. Por lo general, la instalación de los espinterómetros verticales es fija, fig. 2/11. Empero, se usan también espinterómetros verticales transportables, fig. 2/29.

Espinterómetros horizontales

Los espinterómetros horizontales se emplean para la medición

de tensiones entre 2 y 530 kV, tabla 6/3. El espinterómetro, ilustrado en la fig. 2/27, está compuesto por dos soportes aisladores g para las esferas y por un micrómetro g calibrado para indicar la distancia entre ellas. Los soporte cilíndricos de las esferas deben tener un diámetro tal que no se produzca el efecto corona a la tensión máxima admisible para las correspondientes esferas. Por lo tanto, se elige un diámetro igual a $0,1 d - 0,2 d$. Hay una manija de accionamiento g para desplazar horizontalmente una esfera, mientras que la otra es fija sobre el soporte aislador. Los soportes aisladores se hacen generalmente de porcelana. La tabla 6/2 muestra la relación existente entre el diámetro de las esferas y la tensión máxima medible.

Mediciones con el espinterómetro

Conectando el espinterómetro y un resistor en paralelo con el aparato a ensayar, se obtiene una protección del aparato contra sobretensiones y oscilaciones provocadas por la capacitancia del circuito, distorsión de la onda de tensión, tensión inestable del generador, falla de aislación, etc.

Durante las mediciones pueden resultar descargas molestas, que obligan a interrumpir la investigación para apagar el arco. Las mediciones no se realizan directamente y necesitan, por consiguiente, un cierto tiempo.

Oscilógrafo de rayos catódicos

El oscilógrafo de rayos catódicos es el único aparato que permite medir simultáneamente la tensión máxima de impulso y su duración. Sirve para visualizar sobre pantallas fluorescentes o placas fotográficas fenómenos eléctricos transitorios que se desarrollan en el lapso de algunos μs , fig. 2/30. Está compuesto de un tubo de rayos catódicos 1, donde una alta tensión continúa aplicada entre el ánodo y cátodo produce rayos electrónicos. La trayectoria de los electrones puede ser influenciada por campos eléctricos e magnéticos, colocados sobre el camino de éstos, resultando un desplazamiento del haz electrónico, que corresponde perfectamente al

cambio de los campos mencionados y que se produce sin atraso. En nuestro caso se transmiten las variaciones de los campos eléctricos de muy alta tensión mediante el potenciómetro, al que están conectadas rejillas de control, colocadas cerca de la trayectoria del haz. Los oscilógrafos modernos disponen de dos o cuatro haces.

Para medir la duración de los fenómenos visualizados, los oscilógrafos están provistos de una fuente de oscilaciones constante de muy alta frecuencia.

La característica más importante de los oscilógrafos es la velocidad con que se puede desplazar el haz sobre las pantallas fluorescentes o placas fotográficas. Es obvio que para fenómenos que se desarrollan en unos μ s, ésta tiene que ser muy alta. Hasta hace pocos años, las más altas velocidades podían conseguirse solamente con el oscilógrafo de cátodo frío y evacuación continua, fig. 2/30. Para obtener trazas suficientemente claras deben emplearse tensiones de aceleración mínima de 30 a 40 kV, llegando en algunos casos a 100 kV. Sin embargo, hoy en día se logran velocidades muy elevadas también con el oscilógrafo de cátodo caliente, fig. 2/31, que necesita tensiones entre cátodo y ánodo menores que las empleadas en el oscilógrafo de cátodo frío. Por eso, su precio resulta menor.

A pesar de que en algunos laboratorios aún se prefiere utilizar el oscilógrafo de cátodo frío, el oscilógrafo de cátodo caliente y de tubo hermético, introducido para este uso por el 1936, viene reemplazando continuamente al de cátodo frío en todos los casos en que son suficientes velocidades de inscripción del orden de 3000 km/s. La General Electric ha logrado construir un oscilógrafo de rayos catódicos de cátodo caliente con una velocidad de inscripción de 10000 km/s, que fué instalado en el laboratorio de Bangalore (20). Teniendo en cuenta que para registrar el frente de una onda de 0,5 μ s bastaría una velocidad de unos 100 km/s, velocidad 30 veces mayor sería completamente adecuada para observarla en todos sus detalles. De este modo no sólo se reduce el costo sensiblemente, sino que se simplifica su empleo y aumenta el tiempo de utilización, ya que no hace falta renovar el vacío, cada vez que se reemplaza la placa fotográfica.

Por otra parte, la sensibilidad a los campos exteriores, que se logra utilizando altísimas tensiones en el oscilógrafo de cátodo frío, se obtiene en el oscilógrafo del cátodo caliente con solo tensiones de 15 a 25 kV mediante blindajes adecuados.

El oscilógrafo de cátodo frío es construido en Estados Unidos por la Westinghouse, en Suiza por Tüb Täuber, fig. 2/30. El de cátodo caliente es fabricado en Estado Unidos por la General Electric y Du Mon, fig. 2/31, en Suiza por Haefely, fig. 2/32, y en Inglaterra por Ferranti. Digno de mención es el hecho de que la Westinghouse instala ahora el oscilógrafo de rayos catódicos de cátodo caliente Du Mon en lugar del propio de cátodo frío.

En consecuencia, la Comisión aconseja la adquisición del oscilógrafo de rayos catódicos de cátodo caliente.

Conexión del oscilógrafo de rayos catódicos

El tubo del oscilógrafo de rayos catódicos no soporta mas que una tensión limitada. Entonces, hay que reducir la tensión de impulsos a medir. Esto se consigue conectando el aparato a un reductor de tensión. Los principales tipos de reductores de tensión son:

1. Divisor de tensión con resistores fig. 2/34.

La distribución de tensión no es mejorada por medio de capacitores adicionales.

2. Divisor de tensión combinado con resistores y capacitores, fig. 2/35.

Tiene capacitores adicionales y está construido de manera que la distribución de tensión entre la parte resistiva y la capacitiva sea idéntica.

3. Divisor de tensión capacitivo, fig. 2/36.

El funcionamiento de los tres divisores de tensión se desprende del examen de las figs. 2/34 - 2/36. La fig. 2/37 muestra un divisor de tensión capacitivo, construido por la Westinghouse. La instalación del divisor de tensión capacitivo de construcción Metropolitana Vickers en un laboratorio está indicada la fig. 2/10. La fig. 2/14 ilustra el divisor de tensión capacitivo de construcción Micofil.

La tensión a medir se transmite al oscilógrafo u otro instrumento mediante el divisor de tensión. El cable de conexión tiene que estar blindado. Su blindaje debe estar aislado con respecto a tierra y conectado con uno de sus extremos a la puesta a tierra del objeto a ensayar; el otro extremo del blindaje se conecta a la puesta a tierra del aparato, fig. 2/34.

Cuando se emplea el divisor de tensión capacitivo, se lo conecta con un extremo del cable mediante una resistencia óhmica, cuyo valor es igual al de la impedancia característica del cable. El otro extremo se conecta directamente al instrumento de medida.

El divisor de tensión capacitivo puede dar origen a una elevación de tensión, producida por la concurrencia de las reactancias del divisor y del cable, lo que implica un error en la medición. La amplitud de la oscilación producida por la capacitancia, es:

$$\frac{C e}{C_1 + C_2} \text{ -----(2/8)}$$

Su frecuencia es

$$\frac{1}{2 T} \text{ -----(2/9)}$$

siendo C_1 la capacitancia del cable de conexión, e el valor medido y T el tiempo que precisa la oscilación para propagarse a lo largo del cable.

El tipo de reductor de tensión a emplear se elige de acuerdo con las condiciones de la medición, vale decir nivel de tensión, intensidad disponible y respuesta de frecuencia. Se recomienda el divisor de tensión capacitivo, fig. 2/36, cuando la corriente disponible es pequeña y se requiere registrar sobretensiones de corta duración junto con la onda fundamental y las armónicas. El divisor de tensión capacitivo debe ser construido de modo de presentar una relación de división constante, cualquiera sea el valor de la tensión a medir y la forma de la onda. El dimensionamiento del divisor de tensión capacitivo depende del valor de la tensión, de la capacitancia del generador de impulsos de tensión y de la capacitancia del objeto a en-

sayas. El divisor de tensión de la Metropolitan-Vickers consta de capacitores con una capacitancia de 900 pF y con una tensión de 333 kV, montados en una columna sobre una caja de acero.

Para las medidas, que no exigen una gran precisión, se puede utilizar simples resistores metálicos en forma de cintas. Para las medidas de precisión es recomendable emplear un divisor de tensión combinado, compuesto de resistencias óhmicas, que son completamente blindadas de los campos exteriores.

El divisor de tensión a resistores tiene la ventaja de estar menos sujeto a interferencias y de una calibración más fácil. El valor de la resistencia debe ser elegido de acuerdo con la frecuencia a medir, eliminando el efecto corona a lo largo del resistor.

Normalmente el oscilógrafo de rayos catódicos y el generador de impulsos de tensión se acoplan de tal modo que el rayo catódico sea liberado instantáneamente por el impulso. Esto exige el montaje de un cable retardador entre el potenciómetro y las placas de medición. Inversamente, uno puede igualmente servirse del oscilógrafo de rayos catódicos para comandar el generador de impulsos de tensión. Con este fin, se provoca el estallido en el primer par de esferas de acoplamiento por efecto de una tensión adicional por medio de una esfera auxiliar. El momento de salida del rayo del oscilógrafo debe en este caso ser regido por el retardo del acercamiento de la esfera auxiliar de acoplamiento.

CAP. III. - FUENTES DE ALTA TENSION DE FRECUENCIA INDUSTRIAL

Sirven para realizar ensayos normales de rigidez dieléctrica y estudiar fenómenos propios de las altas tensiones, como efecto corona, influencia radiotelefónica, etc, fig. 3/1.

Fuente constituida por transformador único

Prácticamente todos los ensayos se realizan con un terminal puesto a tierra. A partir de 1920 comenzaron a hacerse usuales transformadores con un borne a tierra y el otro aislado para la tensión total. Como resultado de la puja para llevar tal tensión cuanto más alta, se hicieron varios transformadores de 1000 kV, fig. 3/2. La Brown Boveri instaló en 1943 en su laboratorio un transformador para una tensión de 1200 kV, fig. 3/2. El costo de tales unidades crece más que linealmente con la tensión obtenida; además, una falla es tanto más posible cuanto más alta la tensión, inmovilizando con ello todo el equipo y provocando una reparación costosa. Tampoco pueden transportarse armado por tren dada su gran altura, por lo que debiendo montarse en el lugar de destino, se encarece su costo de instalación. Por último, la regulación de tensión se hace difícil y la tensión de cortocircuito resulta proporcionalmente demasiado elevada cuando se debe trabajar con tensión igual a una pequeña fracción de su valor nominal.

Consideremos, por ejemplo una fuente de alta tensión de frecuencia industrial de 1000 kV, que tenga una tensión de cortocircuito del 5% a la tensión nominal y para una corriente inferior a 1 A. A una tensión de 100 kV la tensión de cortocircuito resulta entonces enorme, logrando el 50%. El funcionamiento resultará notablemente más difícil para esta tal elevada tensión de cortocircuito. Puesto que en la sala de alta tensión se trabaja las más de las veces con tensiones parciales, este inconveniente resulta muy molesto. Además, la regulación de la tensión entre 0 y 10 % de su valor nominal se hace difícil.

Fuente con dos o tres transformadores

La General Electric, construye hoy en día las fuentes de

alta tensión para frecuencia industrial con sólo un transformador únicamente para una tensión máxima de ensayo de hasta 350 kV, como está indicado en la tabla 3/1.

Cuando se trata de tensiones de ensayo mayores de 350 kV, se prefiere instalar grupos de dos o tres transformadores conectados en cascada según el método de Dessauer, fig. 3/3. Así se dispone de un método eficiente y económico para duplicar o triplicar los valores normales de tensión y potencia según tabla 3/1.

Además de evitar los inconvenientes anteriormente citados se puede conectar con los tres transformadores monofásicos una línea experimental o cualquier otra instalación trifásica.

La fig. 3/4 ilustra las conexiones para la disposición en cascada de 3 transformadores. Las dos primeras unidades tienen un bobinado de excitación, que es particular para esta aplicación. La tercera unidad es, en cambio, un transformador normal, idéntico a los contruidos para plantas de ensayo estacionario. Cuando se quiera hacer ensayos con una tensión baja, se desconectan los transformadores de las últimas etapas y se trabaja con el transformador de la primera. Otra ventaja de esta disposición resulta por el hecho de que es posible aumentar la tensión de ensayo de una planta existente instalando otro transformador en cascada, empleando el transformador existente como unidad final de la conexión en cascada. Puesto que según la tabla 3/1 la potencia de la fuente de alta tensión resulta duplicada o triplicada con excepción de la unidad de 1000 kVA, tiene que adquirirse un regulador de mayor capacidad.

Debajo del transformador existente hay que instalar además un cilindro aislante, fig. 3/5, para obtener la aislación necesaria entre la unidad existente y la tierra.

Así por ejemplo el laboratorio de la Universidad de São Paulo disponía inicialmente de tres transformadores de 350 kV, en cascada con una tensión máxima de 1050 kV. Luego, se instaló un cuarto transformador de 250 kV, para aumentar la tensión hasta 1300 kV, figs. 7/1 y 7/2. En el laboratorio de la Brown Boveri se instaló inicialmente un

transformador de 1200 kV, fig. 3/2, y luego otro de 400 kV para alcanzar la tensión total de 1600 kV.

Conexión de los transformadores en cascada

Las fuentes de alta tensión de frecuencia industrial, constituidas por tres transformadores en cascada, presentan la ventaja de poder conectar en varias maneras sus transformadores:

1. CADA TRANSFORMADOR SEPARADAMENTE: La tensión y potencia son iguales a las de los bobinados secundarios.

2. DOS TRANSFORMADORES EN CASCADA: La tensión y la potencia resultan iguales a la suma de los valores correspondientes a los bobinados secundarios.

3. TRES TRANSFORMADORES EN CASCADA: La tensión y la potencia resultante se calculan como en el caso anterior.

4. DOS TRANSFORMADORES EN PARALELO: La tensión es igual a la de cada transformador y la potencia igual a la suma de las de los dos bobinados secundarios.

5. TRES TRANSFORMADORES EN PARALELO: La tensión y la potencia resultante se determinan en modo igual al adaptado en el caso anterior.

6. DOS TRANSFORMADORES DISPUESTOS EN OPOSICION: La tensión contra tierra es igual a la de cada transformador, y la tensión entre los bornes es igual a la suma de las de los dos transformadores. La potencia es igual a la suma de sus potencias.

7. DOS TRANSFORMADORES EN V: La tensión trifásica compuesta es igual a la de cada transformador, siendo la potencia igual a la suma correspondiente.

8. TRES TRANSFORMADORES EN ESTRELLA: El punto neutro es puesto a tierra, de manera que la tensión trifásica compuesta es igual a $1,73 U$, siendo U la tensión de un sólo transformador. La potencia resulta igual a la suma de las tres potencias.

La disposición en cascada tiene por fin la ventaja de hacer funcionar dos de los transformadores, mientras que el tercero está en reparación. La fig. 3/3 muestra los tres transformadores de 350 kV

de construcción General Electric, conectados en cascada según el esquema de la fig. 3/4, que fueron instalados en 1949 en su laboratorio de Pittsfield, el más grande del mundo.

La fig. 3/5 representa los tres transformadores de una tensión total de 1000 kV con 50 Hz, que la Cerlikon construyó e instaló en su laboratorio industrial de Zurich.

ALIMENTACION

Para regular la tensión de las fuentes de alta tensión con frecuencia industrial se utiliza comunmente:

1. Un grupo convertidor sincrónico.
2. Un transformador regulable.

GRUPO CONVERTIDOR SINCRONICO:

El motor generador permite controlar la forma de la onda, actuando sobre el campo de excitación. Así se evita que disturbios de tensión, debidos a otras cargas, se transmitan en el sistema del campo. Además, el empleo del grupo evita la carga desequilibrada sobre la red trifásica por efecto de la carga monofásica de la fuente de alta tensión con frecuencia industrial.

La desventaja del grupo convertidor sincrónico es de ser más caro y ruidoso que el transformador regulable. Se instala, por lo tanto, en una sala de máquinas, separada de la de alta tensión, fig. 7/5, para evitar la transmisión de vibraciones y ruidos, que molestarían durante la investigación del efecto corona.

Es preferible elegir un generador trifásico, que pueda ser empleado también para otros fines y que entregue en monofásica $2/3$ de su potencia nominal. En trifásica su tensión se elige, por lo general, entre uno y tres kV, de manera que la corriente corresponda a los tipos de interruptores, transformadores de medida y relevadores disponibles en el comercio. Una tensión mayor haría crecer el costo de instalación.

La tensión del generador debe ser regulable entre Cero y su valor nominal a todas cargas, lo que se puede lograr únicamente mediante una excitatriz con excitación separada. La potencia del motor de

accionamiento se elige de manera de cubrir todas las pérdidas de la instalación.

Para la medición de la capacitancia y las pérdidas dieléctricas en la frecuencia industrial con el puente Schering, ilustrado en el Cap. V, conviene disponer de una frecuencia constante, que se obtiene fácilmente por medio de un motor sincrónico con arranque asíncronico.

La fig. 3/6 ilustra la alimentación de la fuente de alta tensión en frecuencia industrial, instalada en el laboratorio Gerlikon y representada en la fig. 3/5. Un transformador de 320 kVA y de 11/0,38 kV alimenta el motor sincrónico de 320 HP, que acciona el generador trifásico de 500 kVA y 1 kV.

Transformador regulable

La tensión de la fuente de alta tensión en frecuencia industrial puede ser regulada empleando también un transformador regulable. Este método presenta la ventaja de un menor costo y de no producir el ruido que resulta del empleo del motor-generador. Por otra parte, tiene el inconveniente de la imposibilidad de controlar el contenido de armónicas de la tensión y el de aplicar una carga monofásica demasiado desequilibrada sobre la red.

La potencia del transformador regulable resulta muy elevada, debiendo corresponder a la potencia de los transformadores en cascada. En cambio, la potencia activa del motor del grupo motor-generador tiene que ser igual solamente a la potencia representada por la pérdida del sistema.

La Comisión de proyecto aconseja la instalación de un grupo motor-generador.

Potencia

La potencia de la fuente de alta tensión con frecuencia industrial se determina en base a la capacidad de los objetos a ensayar, para los cuales se indican los valores siguientes:

Aisladores, soportes de aisladores, etc.	unos pF
Aisladores de travesaño	150 - 250 pF

Transformadores de corriente	200 - 400 pF
Transformadores de hasta 1 MVA	1.000 pF
Transformadores de 1-20 MVA	1.000 - 4.000 pF
Cables	150 - 300 pF/m

Indicando con U la tensión en kV y con C la capacitancia en pF, se obtiene la potencia N en kVA

$$N = 314 U^2 C 10^{-9} \dots\dots\dots (3/1)$$

Resulta entonces una potencia relativamente grande con una tensión variable. Es conveniente alimentar la fuente por medio de un generador, que entregue 1/3 de la potencia necesaria, mientras que el resto de la potencia se obtiene de 1 ó 2 inductores. La inductancia de los inductores puede ser regulada desde el pupitre del comando. La regulación se efectúa de manera que la corriente del generador se haga más pequeña posible. Para los ensayos en trifásica, los inductores son conectados sobre dos fases.

Los valores normales de la potencia de las fuentes de alta tensión en frecuencia industrial, ^{que} construye la General Electric, van gradualmente creciendo con la tensión desde 10 hasta 100 kVA, tabla 3/1. Además se construyen unidades con una potencia normal de 1000 kVA.

Roth (33) aconseja, en cambio, los valores indicados en la tabla 3/2.

Características de la fuente de alta tensión

Las fuentes de alta tensión con frecuencia industrial deben corresponder a las condiciones siguientes:

1. Facilidad de adaptación a empleo diferentes.
2. Potencia relativamente elevada para tensiones pequeñas.
3. Posibilidad de una ampliación ulterior.
4. Facilidad de transporte y montaje.

Las fuentes de alta tensión en frecuencia industrial, constituidas por dos o tres transformadores en cascada, presentan la ventaja de ser transportadas enteramente montadas, o bien cuando se trate de unidades unidas de un borne de alta tensión, se saca simplemente este último, lo que simplifica el montaje en el laboratorio.

Medición de la tensión alterna

La tensión alterna, generada por la fuente de alta tensión a frecuencia industrial, puede medirse con los métodos indicados a continuación: (33, 34) : (1, 2)

1. Espinterómetro y voltímetro.
2. Voltímetro de cresta.
3. Voltímetro electrostático.
4. Voltímetro acoplado con un transformador de tensión.
5. Corriente capacitiva rectificada.
6. Voltímetro a válvula de vacío.
7. Voltímetro en el bobinado terciario de la fuente de alta tensión.
8. Voltímetro en el bobinado primario de la fuente de alta tensión.

ESPINTEROMETRO Y VOLTIMETRO

La medición de la alta tensión alterna mediante espinterómetro y voltímetro se realiza en modo similar a la medición de la tensión de impulsos, que fué ya ilustrada en el Cap. II. El error de medición con tensiones alternas es menor que el correspondiente a la medición de tensiones continuas y tensiones de impulsos.

VOLTIMETRO DE CRESTA

El voltímetro de cresta sirve para medir el valor de cresta de la tensión alterna. Es constituido por un microamperímetro de corriente continua, un rectificador, un capacitor y un resistor de resistencia prácticamente no inductiva. Su error de medición es de $\pm 1\%$. La medición no está influenciada por el espécimen a ensayar. Una notable ventaja de este sistema es de poder efectuar lecturas continuas de la alta tensión, mientras que con el espinterómetro es necesario apagar el arco, que cortocircuita la instalación.

VOLTIMETRO ELECTROSTATICO

Para medir el valor eficaz de la tensión alterna se puede usar un voltímetro electrostático, que a causa de su alta impedancia requiere corrientes muy pequeñas para el funcionamiento. El voltímetro se conecta con preferencia directamente al secundario

de la fuente de alta tensión a frecuencia industrial.

VOLTIMETRO ACOPLADO CON UN TRANSFORMADOR DE TENSION

Se puede usar también un voltímetro acoplado con un transformador de tensión, que debe estar especialmente construido para asegurar la exactitud de medición requerida. Debe tener una relación de transformación prácticamente constante para todo el campo de medición.

Este dispositivo permite obtener el valor eficaz de la tensión. Empero, sirve también para la medición del valor de cresta, determinando el factor de cresta mediante la observación de la forma de onda de tensión, que se obtiene por medio de un oscilógrafo.

CORRIENTE CAPACITIVA RECTIFICADA

Se utiliza un capacitor de características conocidas, dos válvulas rectificadoras y un amperímetro, protegiendo el circuito mediante un descargador a gas. Se conecta el capacitor a la tensión a medir. La intensidad de la corriente rectificada del capacitor permite calcular su tensión. Si cada medio período la corriente no es igual a cero más de una vez, el valor medio así medido es directamente proporcional al valor de cresta de la tensión.

VOLTIMETRO A VALVULA DE VACIO

Se emplea un voltímetro a válvula de vacío juntamente con un divisor de tensión capacitivo, por ser pequeña la corriente que circula por el instrumento de medición. El voltímetro necesita una fuente de baja tensión y debe poseer un dispositivo, que lo mantenga cuidadosamente blindado.

VOLTIMETRO EN EL BOBINADO TERCARIO

Cuando las fuentes de alta tensión a frecuencia industrial disponen de un arrollamiento terciario, se puede conectar un voltímetro, aplicando las correcciones necesarias para la relación de tensión y forma de onda.

VOLTIMETRO EN EL BOBINADO PRIMARIO

Se puede usar un voltímetro conectado con el bobinado primario de la fuente de alta tensión a frecuencia industrial, cuando se conozcan y apliquen las correcciones apropiadas para la relación de transformación de forma de ondas.

Conclusiones de la Comisión

La Comisión de proyecto eligió las siguientes características para la fuente de alta tensión a frecuencia industrial:

1. Tres transformadores monofásicos en cascada,
2. Tensión de ensayo 900 kV,
3. Potencia de los tres transformadores: 600 kVA,
4. Medición de la tensión mediante:
 - a) Espinterómetro y voltímetro,
 - b) Voltímetro de cresta,
 - c) Voltímetro electrostático,
 - d) Oscilógrafo de rayos catódicos.

...

CAP. IV - ANALIZADORES DE REDES

La verificación o más aún el proyecto de una red eléctrica de alta tensión crece en complejidad fuera de toda proporción con lo intrincado de ésta. Una vez que los problemas específicos, planteados por las altísimas tensiones que se deben usar para salvar grandes distancias, hayan sido resueltos, se presenta la necesidad de prever una correcta y estable circulación de energía en caso de funcionamiento normal y una adecuada protección en caso de accidentes eventuales(40).

Estados estacionarios y transitorios

De hecho se presentan dos situaciones:

1. Un estado estacionario, correspondiente al funcionamiento normal.

2. Un estado transitorio, que para los fines prácticos se puede considerar producido como consecuencia de un cambio brusco en la circulación de energía desde un orden de magnitud correspondiente a la conexión o desconexión instantánea de la impedancia de transferencia del sistema.

Característica de los problemas del primer tipo es la regulación de tensión necesaria, en las barras de generación o en las subestaciones consumidoras, considerando las cargas actuales y previendo las futuras. Entre los del segundo tipo se destaca el de la estabilidad dinámica del funcionamiento en paralelo de las máquinas sincrónicas.

Un caso particular se presenta en el cálculo de los cortocircuitos. En realidad resulta tan importante conocer el proceso del establecimiento del cortocircuito de naturaleza transitoria hasta el valor que alcanzaría una vez en estado de régimen. Sin embargo, gracias a la normalización, con que los reglamentos de los diversos países especifican la elección y el ensayo de los medios de protección, principalmente mediante las curvas de decrecimiento, todo el problema se reduce al cálculo en instantes aislados. Se considera el siste

na como funcionando cada vez en estado estacionario y se emplea el método de paso por paso. (36).

Cálculo numérico del cortocircuito

El análisis teórico de este problema permitió establecer de una época temprana bases suficientemente firmes como para obtener de los cálculos resultados muy aproximados a los determinados en la práctica. El método de las componentes simétricas y la inversión de los circuitos equivalentes para las máquinas eléctricas y las líneas de transmisión fueron factores decisivos de ese desarrollo. Precisamente este éxito obtenido con las analogías eléctricas motivó luego su extensión a los sistemas mecánicos, térmicos, acústicos, etc.

Sin embargo, subsiste la dificultad de resolver el gran número de ecuaciones simultáneas que se plantean a poco que las redes se compliquen. Aún los problemas más sencillos, como la resolución de mallas o el cálculo de las caídas de tensión, se convierten en repeticiones tediosas, ya que prácticamente en ningún caso la síntesis o sea el proyecto puede realizarse en forma directa, sino por medio de aproximaciones sucesivas. Por lo mismo, la solución óptima resulta frecuentemente inalcanzable mediante el cálculo.

Empleo de modelos

Inspirándose en realizaciones de otras ramas de la técnica, se realizaron intentos de mediciones sobre modelos. Pero éstos resultaron demasiado onerosos, por aplicarse sólo a casos particulares típicos, teniendo así para todos los casos semejantes un valor solamente cualitativo. En cambio, surgió desde un comienzo la idea de construir dispositivos de aplicación completamente general, que pudiesen realizar a una gran velocidad el mayor número posible de operaciones del tipo que comprendían los cálculos antes mencionados. El programa de tales construcciones condujo por el camino de la analogía directa a aparatos simuladores como el analizador de redes (tipo a corriente continua y a corriente alterna, fig. 4/1), y el ana-

lizador de fenómenos transitorios; por el camino de la analogía indirecta, al analizador diferencial, y al calculador electrónico continuo, que resuelven los problemas sobre sistemas matemáticamente análogos a los que se desea considerar. Por fin, la experiencia ganada con tales aparatos y la evolución paralela sufrida por las máquinas digitales de calcular, condujeron a que se llegaran a las modernas computadoras universales de altísima velocidad(41).

Analizador a corriente continua

Es de uso común calcular en primera aproximación las corrientes de cortocircuito despreciando la componente activa de las mismas. Por lo tanto, se pueden emplear resistencias para representar las inductancias de un circuito. Este sistema de resistencias variable constituye el analizador de redes a corriente continua. Los resultados son satisfactorios siempre que los factores de potencia de los elementos de la red sean menores que 0,4. El error máximo de 10-20 % en los resultados obtenidos con el analizador de redes a corriente continua está justificado en muchos casos, cuando se toman en cuenta las varias incertidumbres del problema. Por otra parte, cuando se admite un error máximo del 2-3 %, es necesario recurrir al analizador de redes a corriente alterna.

Con el analizador a corriente continua se obtiene el valor de la corriente de cortocircuito mediante un circuito equivalente, en que las máquinas rotativas son representadas por su reactancia subtransitoria o transitoria, según se trate de alternadores, capacitores o motores sincrónicos. Los transformadores son representados por su reactancia de dispersión. En general, todos los elementos de una red son simulados por una reactancia capaz de producir la misma caída de tensión que la que ocurriría en la realidad.

Funcionamiento

El analizador de redes a corriente continua realiza preci-

samente eso en forma material. Consiste en una fuente de tensión constante, que se hace corresponder a la tensión adoptada como base en la red real. Las reactancias de la red se representan mediante resistencias, cuyo valor puede ajustarse por escalones sucesivos calibrados e mediante un óhmetro, según los modelos. Una vez elegidas las escalas de tensión e impedancia, las de corriente y potencia efectivas e reactiva quedan luego determinadas.

Usualmente dada la sencillez del equipo, las resistencias vienen dispuestas en un tablero, que puede disponerse fácilmente en forma de escritorio o pupitre. Para evitar excesivos entrecruzamientos entre los cables que se usan para las conexiones, se recurre a diversos artificios, como el de utilizar para tal objeto conectores tipo conmutador telefónico. Además de los receptáculos, en que rematan los extremos de cada resistencia y que permiten la conexión en serie de los elementos, se disponen usualmente barras o grupos de nudos interconectados, para facilitar las conexiones en paralelo.

Mediciones

Las mediciones se efectúan mediante un miliamperímetro de reducido consumo, que para simplificar los cálculos se dispone calibrado en varias escalas directamente en VA. Para medir el efecto de un corto-circuito, se lo provoca en el analizador haciendo la conexión correspondiente. En el caso de investigarse fallas desequilibradas, se recurre al método de las componentes simétricas, representando sucesivamente independientemente los circuitos correspondientes a cada una de las secuencias, y conectándolos entre sí según el tipo de falla de que se trate.

Limitaciones de empleo

Se advierten de inmediato las limitaciones del aparato ya que las mediciones de tensión son de valor relativo y no es posible medir los ángulos de fase. Los resultados obtenidos tienen solamente un valor aproximado y el empleo del analizador de redes ^{de corriente} continua para el estudio de la circulación de las potencias activas

es posible solamente gracias a una simplificación. Las hipótesis que constituyen la base del funcionamiento del aparato, son las siguientes:

1. La tensión tiene el mismo valor en amplitud y fase en toda la red.
2. No hay circulación de potencia reactiva.
3. Las líneas y los transformadores están constituidos por reactancias puras.

No ocurren entonces pérdidas en la red, todas las corrientes están en fase entre sí y con la tensión. Las caídas de tensión x_i están en cuadratura con las corrientes. La ampliada ley de Kirchhoff de las corrientes alternas se reduce de vectorial a escalar. La ley de Kirchhoff de las tensiones lleva a la simple relación escalar.

$$\sum x_i = 0 \dots \dots \dots (4/1)$$

Por ser la tensión constante en toda la red, las corrientes medidas en las varias ramas son proporcionales a las potencias activas en circulación. Para reproducir un generador o una carga de una determinada potencia basta construir un elemento, que entregue o absorba la corriente correspondiente, cualquier sea la red a la cual está conectado.

El uso del analizador de redes a corriente continua resulta ventajoso para el proyecto de las redes de distribución urbanas en media y baja tensión, donde el múltiple entrecruzamiento de las mallas da lugar a cálculos excesivamente engorrosos.

Analizador a corriente alterna

El analizador de redes a corriente alterna fué construído por primera vez en el año 1929 por el Massachusetts Institute of Technology en colaboración con la General Electric(35). En la actualidad existen muchos analizadores de redes a corriente alterna, la mayor ^{parte} de los cuales se halla en Estados Unidos, fig.4/1, como está indicado en las tablas 4/1 y 4/2. Hay tales aparatos tam-

bión en la India, Australia, Sudáfrica, Brasil, Chile y Perú.

Empleo de elementos simuladores

Los sistemas eléctricos se representan por combinaciones de elementos, que permiten su ajuste rápido para acomodarlos a diferentes condiciones, fig. 4/2. Las combinaciones de elementos se arman en cajas o bastidores, fig. 4/3 y 4/4, montados a su vez en paneles, de los que pueden ser retirados fácilmente para inspecciones o reparaciones, fig. 4/5. Cada parte de la red efectiva es simulada por un circuito eléctrico que le es equivalente, fig. 4/2. El analizador de redes a corriente alterna trabaja sobre una sola tensión de referencia, a la que deben reducirse los diferentes valores nominales usados en la red real.

Alternadores

Así, cada alternador tiene su equivalente en dos pequeños reguladores de inducción y una reactancia con pérdidas reducidas, conectados en cascada, fig. 4/6. El primer regulador de inducción b de primario fijo trifásico y secundario móvil monofásico es conectado directamente sobre las barras generales a . El segundo regulador de inducción c de primario móvil y secundario fijo ambos monofásicos, tiene su primario directamente acoplado con el secundario del primer regulador. Los elementos son ajustables independientemente, permitiendo la obtención de una tensión de amplitud regulable entre cero y su valor máximo con cualquier defasaje entre 0 y 360°. Esa tensión se aplica a la red respectiva para representar la tensión generada por el alternador real. Un equivalente similar se utiliza para los capacitores sincrónicos.

Líneas de Transmisión

Las líneas de transmisión se representan por un circuito de constantes concentradas equivalente, ya sea en la conexión en "pi" o en "te" según el grado de semejanza que se necesite. Los analizadores modernos poseen cajas con elementos ajustables conectados

ya en "pi", lo que disminuye el tiempo necesario para montar las conexiones, fig. 4/4.

Transformadores de potencia

De igual modo, los transformadores de potencia, capacitores estáticos y consumidores tienen su equivalente en combinaciones de autotransformadores, bancos de capacitores y grupos de resistencias respectivamente, con reactancias ajustables que introducen los defasajes adecuados.

Los autotransformadores tienen una relación de transformación variable en una pequeña gama al rededor del valor 1:1 (por ej $\pm 30\%$ por escalones de 1%). El campo de regulación permite tomar en consideración en primer lugar el hecho que las relaciones en vacío de los transformadores, que interconectan dos redes en puntos diferentes, no deben ser siempre iguales. En segundo lugar corresponde a las variaciones de relación bajo carga.

Cargas activas e inductivas

La carga activa e inductiva es un órgano destinado a sacar en un punto del modelo de la red una potencia activa y una potencia reactiva regulables. Está constituida por resistencias e inductancias calibradas b , fig. 4/7, conectadas en paralelo por medio de combinadores. Gracias a la elección oportuna de calibres permite una variación por escalones iguales de la potencia activa y de la potencia reactiva consumidas. Para mantener constante dicha potencia al variar la tensión de barras, se regula el valor nominal la tensión en las barras de la carga por medio de un autotransformador a relación variable insertado entre las barras y la carga.

Cargas inductivas y capacitivas

La carga inductiva y capacitiva está destinada a sacar o inyectar una potencia reactiva regulable sin absorber potencia

activa. Simula los órganos de compensación estática (bobinas de reactancia y baterías de capacitores) o los de compensación rotativa (capacitores sincrónicos). Es similar a la carga activa e inductiva, salvo que las resistencias son reemplazadas por capacitores.

Alimentación

La alimentación del analizador de redes a corriente alterna se realiza con corriente trifásica, cuya frecuencia y tensión son mantenidas rigurosamente constantes según el esquema de funcionamiento indicado en la fig. 4/8.

En la elección de la tensión se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Conveniencia de disponer de una tensión lo más alta posible con referencia a la seguridad del personal.
2. Necesidad de que los elementos no tengan una resistencia demasiado pequeña con respecto a la del contacto.
3. Compromiso entre la conveniencia de tener corrientes pequeñas (entonces caídas de tensión pequeñas en la red y elementos más económicos) y la necesidad de no perturbar con las mediciones el régimen eléctrico, sin deber por eso recurrir a amplificadores u otros aparatos de costo elevado.

Las tensiones usadas son del orden de los 100 a 200 V.

Frecuencia

Para la elección de la frecuencia de alimentación existen cuatro tendencias:

1. Frecuencia real de la red de 50 a 60 Hz, que permite el empleo de material común con instrumentos de medición de consumo suficientemente bajo. Sin embargo, las inductancias aún en hierro resultan costosas. Los primeros analizadores utilizaron esta frecuencia (51).
2. Frecuencia entre 400 y 500 Hz, que sin necesitar blindajes permite reducir sensiblemente el peso de las reactancias, todavía con núcleo magnético, y emplear grupos de alimentación y regulación del tipo usual. Gracias al uso de amplificadores para alimentar los instrumentos

de medición ésta se hace con poco consumo. Es la frecuencia más usada actualmente, tablas 4/1 y 4/2.

3. Frecuencia entre 1 y 2 MHz, que con pequeños blindajes y particular cuidado en las conexiones permite emplear bobinas en aire y generadores electrónicos y recurrir todavía a wattímetros y otros instrumentos del tipo electrodinámico .

4. Frecuencia de 10 kHz, con inductancias en aire, circuitos blindados y generadores electrónicos. La ventaja consiste en un menor costo, sin embargo se empleó una sola vez (53).

Los analizadores, que funcionan en una frecuencia mayor de la de la red, están acoplados a ésta mediante un grupo motor generador.

Instrumento de medición

Cada elemento figurativo del analizador suele llevar ciertos instrumentos directamente conectados para hacer así más rápida la lectura. Así cada generador tiene un wattímetro (cambiable a varímetro) y un voltímetro. De igual modo los elementos simuladores de cargas tienen un voltímetro que permite ajustar rápidamente los autotransformadores (representando a transformadores regulables) para obtener los valores de tensión de consumo deseado. Además, en un pupitre de mando existen igualmente wattímetros, fasímetros y amperímetros, que pueden ser conectados o transferidos a cualquier punto de la red, fig.4/1. Como por principio el analizador de redes tiene por objeto la economía de tiempo, se introducen en cada nueva versión refinamientos para facilitar y acelerar las mediciones. Resulta, por ejemplo, muy práctica la conexión para mediciones mediante una instalación automática tipo telefónica, 4/9.

Requisitos de la medición

Para lograr el éxito de la investigación, el analizador de redes a corriente alterna debe tener los siguientes requisitos fundamentales:

1. Instrumentos de consumo suficientemente bajo para no perturbar los valores medidos.

2. Posibilidad de efectuar mediciones directas de todas las magnitudes que interesan.

3. Posibilidad de insertar rápidamente los aparatos de medición en un punto requerido. Se comprende la importancia del primer punto recordando que un watt ~~consumido~~ consumido en el modelo puede corresponder también a unos MW en la red real.

Realización de los trabajos

Para representar una red en el analizador, se comienza por dibujar un esquema unifilar de la misma, fig. 4/10. Se numeran los elementos y barras cuyas características interesan medir, haciendo corresponder esos números con los elementos figurativos correspondientes. Se elige un valor básico de potencia, a la que se reducen las características de todos los aparatos, por ejemplo, 100 MVA; a ese valor se hace corresponder la potencia base del analizador, que suele ser del orden de los 100 VA, fig. 4/11-13.

Una vez efectuadas las conexiones, se pasa a hacer lecturas según las características del problema a resolver. En todos los casos se tratan de determinaciones en estado estacionario. Los fenómenos de carácter transitorio pueden ser estudiados sea por una sucesión de estados estacionarios idealizados o recurriendo al procedimiento descrito mas adelante. En el primer caso se representa el sistema para cada uno de los instantes en que se juzga conveniente dividir el desarrollo del fenómeno, modificando luego de cada paso los elementos cuyos valores resulten afectados, así por ejemplo, para la verificación de la estabilidad dinámica de una red.

El aparato fué ideado para funcionar esencialmente en sistema monofásico. Sin embargo, en caso particulares se pueden realizar circuitos trifásicos. El estudio de las redes asimétricas se efectúa con el método de las componentes simétricas, construyendo los circuitos equivalentes monofásicos para las diversas secuencias y conectándolos entre sí según el tipo de asimetría.

Mientras que el analizador de redes a corriente continua permite resolver sistemas de ecuaciones escalares, el aparato a corriente alterna es un calculador de ecuaciones vectoriales del tipo $r \pm j x$.

Error de Medición

Las mediciones, efectuadas con este aparato, presentan un error máximo de 2-3 % y en algunos casos aún de 1%. Estos valores son por demás satisfactorios y suficientes, dadas las necesidades y condiciones técnicas de los proyectos.

Empleo del analizador de redes

Los problemas de estabilidad, que surgen en redes de muy gran magnitud y complejidad, pusieron en evidencia la necesidad de un mejor conocimiento de las tensiones transitorias en el sistema, puesto que el servicio de las líneas está afectado notablemente por éstas. La primera tentativa de calcular las tensiones transitorias fué realizada empleando métodos convencionales basados en ecuaciones diferenciales. Resultaron en seguida evidentes las limitaciones de los métodos matemáticos convencionales a causa de la enorme cantidad de tiempo necesario para los cálculos numéricos. Fué entonces que la Westinghouse logró adaptar el analizador de redes a corriente alterna para el estudio del funcionamiento del sistema durante condiciones transitorias. (39).

La fig. 4/14 representa el circuito equivalente de un simple sistema de transmisión para el estudio de los fenómenos electromagnéticos transitorios por medio del analizador de redes a corriente alterna. El sistema está constituido por el generador a , el transformador b y la línea de transmisión c . El generador a está representado en este caso por tres impedancias en serie d para que el sistema en miniatura tenga una impedancia igual a la del sistema efectivo. La impedancia de secuencia cero está representada por un transformador de tierra e de baja impedancia, conectado a tierra a través de una reactancia f o resistencia según el tipo de puesta a tierra empleado. En el circuito equivalente de la fig. 4/8 la línea de transmisión está representa

da por una conexión equivalente "pi". Después de haber trazado el circuito en miniatura, indicado en la fig. 4/15, se emplea el equipo representado esquemáticamente en la fig. 4/16 para provocar fallas o bien para hacer funcionar los interruptores. Este no es otra cosa que un conmutador sincrónico múltiple. Cada elemento consta de un segmento conductor, un segmento aislante y dos escobillas móviles, una para regular el cierre del intermedio de un engranaje sobre un arco de 360°.

*interruptor y
otra para su
apertura. Las
escobillas
pueden ser
giradas por*

Para representar fallas en el sistema los elementos se conectan entre línea y tierra o bien entre línea y línea según el tipo de falla estudiada. Cuando hay que simular el funcionamiento de interruptores, los elementos se insertan en serie con las líneas. Las conexiones o desconexiones se repiten una vez por revolución del tambor. Por ser rotado el tambor por un motor sincrónico, las operaciones de conexión ocurren siempre con los mismos valores momentáneos de la tensión. En consecuencia, la tensión transitoria, producida por las manibras, es repetida una vez por cada revolución del tambor. Se visualizan todas las tensiones transitorias mediante un osciloscopio a rayos catódicos conectado con el simulador de la red. Repitiendo el fenómeno transitorio un cierto número de veces por segundo, resulta una imagen estacionaria sobre la pantalla del osciloscopio a rayos catódicos. Esto permite estudiar el fenómeno transitorio ^{durante} mediante una fracción de un ciclo sin tomar oscilogramas.

Se puede investigar el efecto, que produce la iniciación del fenómeno transitorio en puntos diferentes sobre la onda normal de tensión, variando simplemente la posición de las escobillas en el elemento respectivo. El lapso entre dos fenómenos transitorios es así elegido para llevar el sistema otra vez a su estado normal.

Objeto del analizador de redes.

Con el analizador de redes a corriente alterna un gran número de variaciones en las conexiones de la red puede ser realizado con la máxima facilidad y estudiado en tiempo brevísimo. Así es posible determinar las condiciones, que podrían provocar dificultades en la explotación y que fácilmente podrían ser pasados por alto en un

estudio puramente analítico. De esta manera es factible llegar con el analizador de redes a una solución óptima en un completo sentido técnico y económico.

El detalle de los problemas, cuya solución puede encararse con el analizador de redes a corriente alterna, es el siguiente:

SISTEMA EN FUNCIONAMIENTO NORMAL (estacionario)

1. Distribución óptima de las cargas activas y reactivas.
2. Regulación de la tensión en las barras principales.
3. Características de los capacitores sincrónicos, necesarios para mejorar el factor de potencia o las condiciones de tensión.
4. Potencia óptima de los transformadores.
5. Relación de transformación de los transformadores a relación fija o regulable bajo carga.
6. Mejoramiento debido a equipos de control de la distribución de carga.
7. Mejoramiento ocasionado por el control de la potencia reactiva.
8. Ubicación óptima de generadores adicionales.
9. Nuevas líneas de transmisión.
10. Modificación del circuito existente.
11. Ubicación óptima de las subestaciones.
12. Conmutación de circuitos en carga.
13. Variación de la reactancia de los transformadores.
14. Variación de consumo.
15. Consecuencia de interrupciones en las interconexiones.
16. Consecuencia de pérdidas temporáneas de generadores.
17. Variación de la tensión del sistema o variación de las características de las líneas.
18. Métodos para reducir las pérdidas en el sistema.

SISTEMA EN DEFECTO

1. Máximas corrientes de cortocircuito para la deter-

minación de la capacidad de ruptura de los interruptores.

2. Tensiones en las barras principales durante las fallas y sus efectos sobre el sistema.

3. Máximas y mínimas tensiones y corrientes durante los cortocircuitos para la aplicación de los relevadores de protección, selectiva.

4. Puesta a tierra del neutro.

5. Determinación de las reactancias para limitar las corrientes de cortocircuito.

6. Determinación de las corrientes a tierra durante los cortocircuitos con respecto a la interferencia telefónica.

7. Efecto del acoplamiento de los circuitos sobre las corrientes y tensiones durante la fallas.

8. Bobinas Petersen.

9. Efecto de fallas simultáneas sobre los dispositivos de protección.

Estabilidad

1. Límites de régimen estacionario.

2. Límites de fenómenos transitorios para varios tipos de fallas.

3. Modificación de conexiones para diferentes tipos y situaciones de fallas.

4. Reenganche rápido.

5. Variación del momento de inercia de las máquinas.

6. Efecto de los dispositivos de conmutación y de las reactancias en las barras principales.

7. Amortiguación de las máquinas.

8. Tiempo requerido para la pérdida de sincronismo de un generador después de perder la excitación y sus efectos sobre el sistema.

Otras aplicaciones ^{del} analizador

La versatilidad del analizador de redes se comprueba con su aplicación a problemas no específicamente propios de grandes redes eléctricas, así por ejemplo:

PROBLEMAS DE APARATOS Y CIRCUITOS

1. Arranque de motores y capacitores sincrónicos de gran potencia.
2. Corrientes y tensiones trifásicas con consumo no equilibrado.
3. Generación de armónicas por los transformadores y rectificadores.
4. Solución de grandes redes primarias, redes de baja tensión o de características especiales.
5. Efecto de los grandes equipos de soldadura y de los hornos eléctricos sobre las tensiones del sistema y la carga normal.

PROBLEMAS NO ELECTRICOS

Muchos problemas mecánicos, térmicos, acústicos, etc. pueden ser expresados en función de equivalencias eléctricas. Por lo tanto, el estudio puede ser realizado con el analizador de redes a corriente alterna, que reduce enormemente el trabajo de cálculo. En algunos problemas, que no se pueden estudiar con los métodos normales de cálculos, existe la posibilidad de que el analizador de redes a corriente alterna, proporcione soluciones satisfactorias. Se indican a continuación unos de los numerosos problemas no eléctricos, que se pueden estudiar:

1. Solicitaciones en estructuras estáticas con miembros repetidos.
2. Velocidad crítica de los árboles.
3. Resolución de ecuaciones diferenciales simultáneas.
4. Circulación del calor en cuerpos complejos.
5. Amortiguación de mecanismos vibrantes giratorios.
6. Sistemas acústicos.

Aplicación práctica del analizador

En las tablas $4/1$ y $4/2$ están indicadas las características de los principales analizadores de redes a corriente alterna, instalados en el mundo, y, precisamente, en los siguientes países: Estados Unidos, Canadá, Rusia, Inglaterra, Francia, Austria, Italia, Yugoslavia, Sudáfrica, Australia, India, Brasil, Perú y Chile, fig. 4/6. Casi todos los

países del mundo, que no poseen todavía el analizador de redes a corriente alterna, hacen en la actualidad proyectar sus redes en los aparatos existentes. Así, por ejemplo, las redes de Suecia, Finlandia, España, Argelia, Egipto, Japón, etc., fueron estudiadas detenidamente con el analizador.

El costo relativamente elevado del analizador de redes a corriente alterna ha motivado su instalación preferentemente en las grandes compañías productoras de maquinarias eléctricas, las grandes compañías de electricidad o bien univers^{idades}~~idades~~, donde, además de prestarse para fines de investigación, resulta accesible por temporadas para resolver los problemas planteados por la explotación y ampliación.

Así por ejemplo, el analizador de redes a corriente alterna de la Purdue University/USA, fué adquirido para el servicio de siete compañías de electricidad (47). El de Illinois Technology Institute/USA pertenece hasta quince compañías (48). En Inglaterra, en cambio, fueron las fábricas British Thomson-Houston, Ferguson Pailin y Metropolitan-Vickers, quienes por sí mismas y para su propio uso proyectaron y construyeron en forma cooperativa su analizador de redes a corriente alterna.

El analizador más grande del mundo entrará en servicio en 1954 en el Franklin Institute (49), habiéndose ^{ido} adquirido por un consorcio de siete compañías de electricidad. Constará de 580 circuitos en dos unidades separadas, poseyendo la primera 1/3 y la segunda 2/3 de los circuitos disponibles. Las dos unidades podrán funcionar separadamente o bien en conjunto, simulando hasta 28 centrales eléctricas y 270 líneas de transmisión, tabla 41.

Personal para el analizador

El analizador de redes a corriente alterna de la Purdue University está operado continuamente por un equipo de tres ingenieros, cada uno de los cuales dedica el 50 % de su tiempo al analizador de redes y el resto a la enseñanza. Los trabajos prácticos de los estudiantes se realizan los sábados por la mañana cuando el aparato no está en uso de las compañías de electricidad. Un notable trabajo de in

investigación es realizado con el analizador de redes por los estudiantes y el personal de enseñanza durante los fines de semana y durante los períodos ocasionales cuando no se efectúan trabajos de análisis de redes industriales.

Línea sueca de 380 kV

Con el analizador de redes fué particularmente estudiada la línea de 380 kV y su interconexión con las líneas de 200, 132 y 70 kV existencia en Suecia (95). Dicho estudio, que fué de importancia fundamental para el proyecto y se realizó contemporáneamente en Inglaterra y Francia entregó los siguientes resultados:

1. Ventaja de construir el segundo tramo de 380 kV en la parte oriental de Suecia. Trazado de líneas de refuerzos de 200, 132 y 70 kV para su conexión con la línea principal.

2. Gran cantidad de aparatos reactivos para el control de la tensión en la parte occidental de Suecia, que no está servida por la línea de 380 kV. Se eligieron ubicación y dimensiones de los capacitores estáticos y sincrónicos y reactores.

3. Relación de transformación para los sistemas de 380, 200, 132 y 70 kV.

4. Conveniencia de tener algunas transformaciones directa entre las redes de 380 y 70 kV.

5. Necesidad del control del ángulo de fase para transferir la carga desde las líneas de 200 kV, que son sobre-cargadas, al sistema de 380 kV.

6. Los ingenieros suecos, que debían proyectar y explotar las líneas de 380 kV, pudieron interiorizarse perfectamente de los complejos problemas de servicio. El estudio del analizador de redes tuvo para los ingenieros una utilidad mucho mayor de la que se habría podido conseguir con una permanencia muy larga en las sala de comando del sistema durante su servicio.

Ejemplo numérico

Para demostrar la practicidad excepcional del analizador de redes a corriente alterna, consideramos la red ilustrada en la fig.

4/10. Se trata de determinar los funcionamientos siguientes:

1. Conexión como indicada en la fig. 4/10 con todos los generadores y todas las cargas salvo las cargas sincrónica indicada en K y con las tensiones en todas las barras, a las cuales están conectados los capacitores sincrónicos, mantenidos al valor de 100 %. Se debe determinar:

a) La corriente, potencia y tensión en todos los puntos importantes.

b) La carga de cada capacitor sincrónico necesaria para mantener la tensión.

2. Conexión como indicada en la fig. 4/10, salvo un transformador en la línea CI ubicado en la subestación C. Un transformador de relación variable es empleado para aumentar en un 5% la tensión entre las barras y las líneas de transmisión. Bajo las mismas condiciones terminales de la red hay que medir:

a) Las cargas de los capacitores sincrónicos, necesarias para mantener la tensión, fig. 4/17.

b) La corriente de distribución en los ramales principales.

Este ejemplo numérico fué resuelto con el aparato instalado en el laboratorio de Massachusetts Institute of Technology (MIT). Se necesitaron los tiempos siguientes(35):

1. Trabajos preparatorios

Elección de la escala, conversión de las constantes a la escala del analizador, preparación de los diagramas de conexión, preparación de las tablas de datos.

Total (un ingeniero) 15,0 h

2. Empleo del analizador

a) Realización de las conexiones, ubicación de los elementos, su identificación. 1,5 h

b) Determinación de las condiciones del primer funcionamiento (todas las cantidades con un error interior a 1 %)

1,5 h

c) Determinación de cada condición adicional de funcionamiento.	0,5 h
d) Resolución del primer problema.	3,0 h
e) Resolución del segundo problema.	0,5 h
Total (dos ingenieros y el analizador)	<hr/> 7,0 h

3. Preparación de los resultados

Determinación de los datos, reconversión a la base del sistema, preparación del informe.

Total (Un ingeniero) 15,0 h

Por lo tanto, en menos de una semana de trabajo, en la cual trabajaron en parte dos y en parte un ingeniero solamente, se resolvieron dos problemas, cuya solución numérica había requerido muchas largas semanas de trabajo tedioso.

Merece particular mención el hecho de que el estudio de un cierto número de conexiones similares bajo muchas condiciones diferentes de explotación no hace aumentar en modo proporcional el tiempo de investigación. Por lo tanto, resultaría aun mayor la ya elevada ventaja del analizador con respecto al cálculo numérico, que fué determinada en el ejemplo ilustrado.

Experiencia durante la guerra

El analizador de redes a corriente alterna resultó de valor y utilidad incalculables para la industria norteamericana durante la segunda conflagración mundial. La abundancia de energía eléctrica durante la guerra no fué el resultado de un caso fortuito, sino la consecuencia de las interconexiones, que fueron detenidamente estudiadas y encontradas realizables en el analizador de redes. Está demostrado que su amplio empleo evitó la construcción de nuevas centrales eléctricas, subestaciones y líneas de transmisión. (42). Solamente gracias a este aparato fué posible explotar hasta la máxima capacidad todas las instalaciones existentes, de manera que a la industria de guerra norteamericana no faltó nunca la energía eléctrica.

La importancia del analizador de redes resulta evidente, cuando se considere que toda una tarde de la América Power Conference del año 1953 le ha sido dedicada ~~(12)~~.

Investigaciones con el analizador de redes de Eva Perón

Para lograr la máxima eficiencia del analizador de corriente alterna, el laboratorio de Eva Perón deberá disponer de dos ingenieros especialistas, que se ocupen exclusivamente de su uso en colaboración con los ingenieros de Agua y Energía Eléctrica (ENDE) y de los otros organismos nacionales, provinciales y privados interesados en el proyecto y la explotación de las redes eléctricas. El analizador de redes es un nuevo tipo de regla de cálculo, a la cual no se puede más renunciar hoy en día para lograr un cálculo racional y económico de las redes de transmisión y distribución.

Debido a su costo e importancia deberá ser operado en la manera más eficaz y perfeccionada según los dictámenes de la experiencia y los inventos de la técnica en continuo desarrollo.

El analizador de redes a corriente alterna no es un sustituto de cerebro, sino debe ser empleado por ingenieros, que comprendan el problema, proyecten y analicen el sistema y efectúen las investigaciones. Tiene, naturalmente, sus limitaciones y no puede resolver problemas, para los cuales no existen soluciones matemáticas.

Conclusiones de la Comisión

La Comisión de proyecto eligió las siguientes características para el analizador de redes a corriente alterna:

1. Tensión de alimentación del grupo convertidor de frecuencia: 380 V.
2. Frecuencia de alimentación del analizador: 500 Hz.
3. Tensión de alimentación del analizador 100 V.
4. Cantidad de generadores: 12.
5. Cantidad de transformadores: 36.
6. Cantidad de cargas activas e inductivas: 48.
7. Cantidad de cargas inductivas y capacitivas: 12.
8. Cantidad de líneas: 120.

La instalación será construída de manera que ^{se} pueda ampliar fácilmente, cuando se presentara la necesidad.

CAP. V - EQUIPOS COMPLEMENTARIOS

Generador tipo Tesla

El esquema básico del generador tipo Tesla está representado en la fig. 5/2. El secundario del transformador T está compuesto de un circuito oscilante formado por uno o dos capacitores C , un esplosor a esferas E y una inductancia L_1 de pocas espiras. Esta inductancia está acoplada magnéticamente a otra L_2 que contiene muchísimas espiras y que está conectada con un extremo directamente a tierra. El transformador carga el capacitor del circuito oscilante hasta que llega a saltar la chispa, entonces descarga el circuito y se forma una oscilación amortiguada. Gracias a la elevada relación de transformación L_1/L_2 y a la alta frecuencia de las oscilaciones producida en el arrollamiento secundario, se originan corrientes inducidas de altísima tensión y de elevada frecuencia. Estas producen en el espacio circundante acciones de inducción muy intensas, *fig. 5/3.*

Es notable el hecho que el cuerpo humano no resulta perjudicado por las corrientes de Tesla a pesar de la altísima tensión. Las corrientes de Tesla pueden ser utilizadas para efectuar rápidos ~~campos~~ ^{ensayos} de aisladores. Esta posibilidad resulta de las circunstancias que las descargas lentas sobre superficies aislantes defectuosas, producidas por altas tensión de frecuencia industrial, no son siempre rápida y fácilmente registrables. Empero, cuando están sujetas a altas tensiones de elevada frecuencia, las descargas, causadas por defectos de la superficie aislante, se manifiestan en seguida, produciéndose una descarga bien visible, en lugar de la descarga lenta.

Puente Schering

El puente Schering fué ideado para medir el ángulo de pérdida de los cables bajo alta tensión. Más tarde fué empleado también para capacitores de alta tensión y por fin para el examen de los dieléctricos, midiendo su capacitancia y su *ángulo de pérdida*. La diferencia entre las pérdidas dieléctricas medidas con corriente continua y las con corriente alterna se explica con la circunstancia de que los materiales aislantes utilizados en aparatos eléctricos no tienen una estructura idealmente uniforme. En las puntas de los materiales aislantes, donde existe una heterogeneidad (estos puntos son numerosos) la distribución del gradiente del campo eléctrico es

diferente según se aplique una tensión continua o bien alterna. La diferente forma del campo eléctrico produce diferentes pérdidas dieléctricas.

El puente Schering, que fué denominado según el nombre de su inventor, fig. 5/1, consta de dos capacitores C_2 C_3 y de dos resistencias R_3 R_4 calibradas, conectadas en un puente. El capacitor C_3 que es regulable, se halla en paralelo con la resistencia R_3 . Los capacitores C_2, C_3 tienen que ser sin pérdidas, lo que se alcanza solamente empleando el aire como dieléctrico. C_1 representa el objeto, cuya capacidad y pérdida dieléctrica tienen que ser determinadas. Las resistencias R_3 R_4 son muy pequeñas en comparación con las susceptancias $1/\cos C_1$, $1/\cos C_2$.

Aplicando una alta tensión alterna al puente, el objeto de medición C_1 absorbe casi toda la tensión del puente.

Las impedancias de los cuatro tramos del puente son:

$$Z_1 = \frac{1}{\sigma \cos C_1 + j \cos C_1}$$

$$Z_2 = \frac{1}{j \cos C_2}$$

$$Z_3 = \frac{R_3}{1 + j \cos C_3 R_3}$$

$$Z_4 = R_4$$

Regulando C_3 y R_4 de manera que el amperímetro A quede sin corriente, resulta:

$$\frac{Z_2}{Z_3} = \frac{Z_1}{Z_4}$$

El ángulo de pérdida

$$\operatorname{tg} \delta = \cos C_3 R_3$$

La capacitancia

$$C_1 = \frac{C_2 R_3}{R_4 (1 + \delta^2)} = \frac{C_2 R_3}{R_4}$$

Como indicador se emplea un galvanómetro de vibración. Se pueden usar también un rectificador, ~~(Schering)~~ y un galvanómetro de corriente continua.

Equipo para ensayo de aceite

Los ensayos eléctricos del aceite son muy importantes para la seguridad del servicio, porque la duración de los transformadores y el funcionamiento de los interruptores depende de las calidades eléctricas del aceite. Estas se comprueban averiguando la tensión a la que se produce la perforación.

Según las normas I.R.A.M. 2101 la perforación del aceite tiene que producirse con gradientes no menores de 3,5 kV/cm. Los explosores sumergidos en el aceite están normalizados y formados por dos cabezas de cobre con un radio de 25 mm, 13 mm de espesor máximo y 36 mm de diámetro. La corriente después de la perforación tiene que ser de 0,5 A y la resistencia de circuito de alta tensión unos 30 k Ω .

El aparato para realizar los ensayos descriptos está formado de un tanque para el aceite.

Oscilógrafo a bucles

El oscilógrafo a bucles sirve, como el oscilógrafo de rayos catódicos para visualizar fenómenos oscilatorios, pero mientras el segundo se usa para oscilaciones de frecuencia del orden de MHz, el oscilógrafo a bucles puede utilizarse solamente para frecuencias hasta el orden de 10 kHz.

Este es en lo esencial un galvanómetro con espejo cuya bobina móvil está constituida por dos conductores de bronce de fósforos e de plata que en el campo de un iman permanente forma un bucle, fig. 5/4. Los dos conductores están suspendidos mediante una roldana de material aislante a un resorte y abajo están fijados sobre dos cilindros de material aislante. Cuando la corriente recorre el bucle cada uno de los dos conductores está empujando en dirección opuesta y en el sentido normal a la dirección de fuerza magnética. El pequeño espejo fijado sobre el bucle se pone en movimiento y un haz de luz proyectado sobre él, es reflectado aumentando considerablemente las desviaciones. El haz reflectado por el espejo móvil se proyecta sobre un espejo *rotativo*.

Por medio de un sistema óptico la imagen del espejo rotativo se transmite a una pantalla o aparato fotográfico. El bucle tiene que ser ajustado de manera que su frecuencia ~~de~~ *de* ~~esta~~ *esta* sea siempre mucho mayor

que la de los fenómenos estudiados.

Los oscilógrafos a bucles son generalmente contruídos con algunos bucles de manera que se puedan visualizar más fenómenos a la vez. El oscilógrafo a bucles es especialmente apropiado para estudiar fenómenos transitorios producidos por el cierre o la apertura de los interruptores, ~~fenómenos transitorios~~ que ^{se} manifiestan con una frecuencia del orden de algunos kHz mientras no es apto para registrar ondas de duración de unos μ s.

Klydonógrafos

El klydonógrafo es un aparato, que permite registrar el diagrama de sobretensiones de breve duración y determinar su magnitud y polaridad. Se funde en el principio descubierto por Lichtenberg en 1777, por lo cual los campos eléctricos de altísimo gradiente pueden ser visualizados por efecto de la ionización de choque producida por ellos. Mientras que Lichtenberg cambia polvo de azufre para conseguir este fenómeno, en el klydonógrafo moderno, contruído por el americano Peters en 1921, la visualización se produce sobre placas fotográficas.

En la fig. 5/11 se representa el esquema de funcionamiento. Alrededor del electrado cilíndrico a, sobre el cual actúa la sobretensión, se forma un campo eléctrico de altísima gradiente, que produce la ionización del aire. En la capa aislante b, colocada entre el electrodo y la tierra c se forma a causa del mayor valor de su constante dieléctrica un campo con un gradiente mayor que el existente en el aire. Por consiguiente, los iones recorren trayectorias a lo largo de la superficie del material aislante, siendo su energía cinética demasiado pequeña para que los iones puedan penetrar en éste. La ionización se produce sobre la superficie del material aislante de manera que las figuras reproducidas sobre la película fotográfica pueden ser consideradas como proyecciones de los canales de ionización formados en el espacio.

La acción química de los electrones sobre la película se realiza mediante choques directos con las moléculas del bromuro de argento, de que está compuesta la emulsión, y mediante la luz, que produce la descarga lenta. Las figuras presentan una intensidad luminosa casi constan

te de los canales de ionización. El aumento de ionización se manifiesta en las figuras con un alargamiento de los canales.

Con el klydonógrafo pueden visualizarse solamente tensiones de muy breve duración, puesto que si la tensión aplicada al electrodo durara mucho tiempo, se produciría una destrucción completa de la película.

La longitud de las figuras indica el valor máximo de la tensión, que actúa sobre el electrodo. La forma es completamente distinta para tensiones de polaridad positiva e negativa. Por lo tanto, el klydonógrafo puede ser utilizado para estimar los valores y las polaridad de la tensión.

El valor de las tensiones visualizadas puede estimarse con un error no mayor del 25%, si el klydonógrafo está sujeto a tensiones que producen la ionización y no chispas. Por lo tanto, el electrodo puede ser directamente conectado a tensiones de 1,7 a 18 kV. Para registrar valores mayores, hay que conectar el klydonógrafo a un divisor de tensión capacitivo.

En lugar de películas fotográficas se pueden emplear películas cinematográficas, que permiten extender el estudio a superficies no planas, por ejemplo, cables. Se puede también determinar la influencia de pequeñas capas aislantes.

Según Roth (33) las indicaciones del klydonógrafo tienen que ser interpretadas con mucho cuidado.

Instalación de ensayo de media tensión

El objetivo de la instalación es de facilitar ensayos sobre aparatos y materiales, cuya tensión de prueba es menor que la mínima que se puede conseguir con la fuente de alta tensión a frecuencia industrial. Además, resulta más práctica y económica para ensayos de media tensión, evitando el empleo de la fuente de alta tensión, que es de manejo complicado. Por fin, tiene también la ventaja de poder ser puesta en servicio por personal ayudante.

La Comisión propone la adquisición de una instalación de ensayo hasta 15 kV.

Imitación de las influencias atmosféricas

Según lo previsto en las normas para ensayos de aisladores y otros materiales, las pruebas tienen que ser efectuadas bajo las condiciones más desfavorables, a las que estos están sujetos durante su funcionamiento normal. Así los aisladores tienen que conservar una resistencia dieléctrica satisfactoria no solamente bajo lluvia sino también después de haberse formado sobre partes de superficie una película de polvo.

El comportamiento de los aisladores bajo estas condiciones puede analizarse solamente si el laboratorio dispone de los artefactos necesarios para reproducirlos. Por eso se prevé en el laboratorio de Eva Perón:

1. Un equipo para la producción de lluvia artificial.
2. Una instalación de aire acondicionado.

Equipo para la producción de lluvia artificial

Las normas para ensayos de aisladores prescriben ya las características de la lluvia artificial: conductancia del agua, intensidad de la lluvia, y método para medirla, ^{Dimensiones} ~~alineaciones~~ y trayectorias de las gotitas. Los dispositivos mecánicos para realizar los valores prescriptos son muchos.

La fig. 2/3 muestra el equipo empleado en el laboratorio industrial de Oerlikon. Consta de 48 toberas, distribuidas en seis planos. Es transportable sobre ruedas. Los tejidos metálicos horizontales delante de las toberas aíslan el campo eléctrico. La resistividad del agua de lluvia es de $10 \text{ k}\Omega/\text{cm}$ según las normas. Este valor se logra mezclando agua destilada con agua de pozo mediante una bomba de circulación. Hay un tanque inoxidable para cada tipo de agua.

Instalación de aire acondicionado

En esta instalación existe la probabilidad de regular la temperatura, por ejemplo desde -25 hasta $+50^\circ\text{C}$ y la humedad del aire desde 60 hasta 100%. Inyectando en la cámara vapor saturado mezclado con ceniza o tierra es posible producir una niebla mezclada con partículas muy finitas. Así se pueden reproducir las condiciones más desfavorables que se pueden formar sobre la superficie de materiales aislantes.

Además, se analiza la influencia de la humedad sobre el interior

los materiales aislantes dejando el espécimen a ensayar por un tiempo más largo bajo la acción de una atmósfera con una humedad relativa hasta 100%.

Por fin, se emplea la instalación de aire acondicionado para el examen de las partes mecánicas y neumáticas de los interruptores sin corriente con el objeto de estudiar su funcionamiento bajo todas las condiciones atmosféricas en límites extremos de temperatura y humedad, desde el sol tropical hasta el frío ártico, acompañado por nieve e hielo, fig. 5/5. A temperatura muy bajas ocurren dificultades por efecto de:

1. Aumento de viscosidad del aceite y de la grasa de lubricación.
2. Congelación de la humedad condensada sobre las cañerías y válvulas de aire comprimido.
3. Reducción del juego en las articulaciones.
4. Solicitaciones elevadas en los aisladores de porcelana, debidas a la contracción de los elementos metálicos de los soportes.
5. Fragilidad del material plástico.
6. Dificultad en la apertura y el cierre de los interruptores por efecto del hielo.
7. Aumento del tiempo necesario para abrir y cerrar los contactos.

Instalación de la Oerlikon

La fig. 5/5 muestra en la instalación de aire acondicionado, que la Oerlikon construyó en Zurich/Suiza junto con el laboratorio de alta tensión. Como se desprende de las figs. 5/5^{5/9} la instalación consta de un local de ensayo, separado del local con el pupitre de Comando 19 y los compresores de aire acondicionado 16 y 17. Pequeñas ventanas en la puerta y la pared, figs. 5/7 y 5/5, permiten observar los objetos a ensayar desde la sala de alta tensión y desde el local de comando sin necesidad de entrar en el local de ensayo.

Se efectúan ensayos tanto con tensiones de impulso como también con tensiones alternas de frecuencia industrial. La conexión eléctrica con la sala de alta tensión se efectúa por medio de un aislador pasan-

te, figs. 5/7 y 5/5. La fig. 5/7 muestra un seccionador Oerlikon de 50 kV durante el ensayo de congelación.

Para satisfacer todas las exigencias del servicio de acondicionamiento, hay dos circuitos de refrigeración completamente separados, que empero pueden ser conectados en paralelo. Uno de los circuitos, alimentado por el compresor 16, figs. 5/8 y 5/10, trabaja con temperaturas de vaporización bajas con respecto a la temperatura ambiente y sirve para secar el aire. El otro circuito, alimentado por el compresor 17, trabaja con una diferencia pequeña entre la temperatura de vaporización y la temperatura ambiente. Sirve entonces para refrigerar el aire. Los evaporadores 5 y 6 de los dos circuitos de refrigeración son montados en dos canales separados. El canal de acondicionamiento correspondiente al evaporador 5 puede ser cerrado parcial o totalmente mediante el registro 4. Así se regula el caudal y entonces el grado de refrigeración del aire.

La planta de aire acondicionado puede ser comandada automáticamente mediante el termóstato 13 y el higróstato 14, fig. 5/8. Empero, es posible también el comando manual. El tablero de visualización indica en el local de comando, fig. 5/9, el estado momentáneo del aire.

La planta de refrigeración puede funcionar con los dos compresores 16 y 17 separados, fig. 5/9, o bien en paralelo o por fin en tandem. La regulación automática está comandada por el termóstato 15.

Para los ensayos con viento caliente la instalación es mantenida en su servicio normal de acondicionamiento y el viento caliente es enviado desde el exterior sobre el objeto a ensayar.

La fig. 5/10 ilustra el esquema del principio de funcionamiento de toda la instalación.

CAP. VI - DIMENSIONAMIENTO DE LOS EDIFICIOS

Las dimensiones de los edificios para laboratorios están determinadas no solamente por la cantidad y dimensiones de los aparatos, sino también por la distancia de seguridad, que corresponde al valor de la tensión.

En la tabla 6/1 están indicadas las distancias de seguridad, aconsejadas por la Metropolitan-Vickers. Valen en la hipótesis de que la tensión de descarga del generador de impulsos de tensión sea por lo menos en 10 % menor que la tensión nominal de carga. Sus valores se refieren a la distancia mínima desde las partes vivas del generador ^{hasta} ~~para~~ las paredes y el cielorraso de la sala de alta tensión. Según la tabla 2/1 establecida por la Westinghouse, las distancias de seguridad deberían ser mayores.

La distancia de seguridad se entiende medida lateralmente y sobre la plataforma superior de generador de impulso de tensión. La distancia de seguridad, medida horizontalmente del generador, disminuye en proporción directa ^{con} ~~per~~ la altura, como está indicada en la fig. 6/5. Es por eso que el generador de impulso de corriente, instalado en el laboratorio de la Purdue University, gracias a su altura de solamente 1,8 m se halla cerca de la base de generador de impulso de tensión de 3.300 kV, que tiene una altura de 9 metros.

La Haefely aconseja un espacio libre de 2 m/MV.

En las figs. 6/1 y 6/2 se indican las distancias de seguridad para una fuente de alta tensión a frecuencia industrial de 1050 kV.

El divisor de tensión debe ser instalado a una distancia desde el generador de impulsos de tensión no menor del valor indicado en la última columna de la tabla 6/1. La fig. 6/4 muestra las dimensiones de la sala, que la Ferranti aconseja para la instalación de un generador de impulsos de tensión de 3200 kV. En la tabla 2/8 están indicadas las dimensiones adoptadas en algunos laboratorios universitarios e industriales.

El edificio del Instituto de Electrotecnia de Eva Perón, tiene ^{sala con una} una planta de 13 x 15 m, con una altura de 13 m, destinada al

laboratorio de alta tensión. De lo expuesto más arriba se deduce que la tensión máxima admisible para estas dimensiones es la de 2.000 kV. Este valor coincide con el valor que la Comisión aconseja adoptar en el laboratorio de Eva Perón.

Sin embargo las dimensiones de la sala a disposición no permiten instalar en ella la fuente de alta tensión a frecuencia industrial junto con el generador de impulsos de tensión. Por lo tanto, se optó para instalar en la sala ya existente solamente el generador de impulsos de tensión. En consecuencia, resulta necesario construir un galpón para colocar la fuente de alta tensión a frecuencia industrial de 900 kV. Con referencia a la distancia de seguridad, la sala de ensayo de frecuencia industrial tendrá una planta de 16 x 20 m con una altura libre de 12 m.

La sala tiene que estar lo más cerca posible a la sala de impulsos, de manera que la Comisión aconseja la ubicación indicada en el plano LAT-2. La conexión de la fuente de alta tensión a frecuencia industrial con la sala de impulsos se efectúa mediante cable de aceite.

Puesta a tierra

Una perfecta puesta a tierra del laboratorio de alta tensión es absolutamente necesaria por tres razones:

- a) La seguridad personal de los participantes a los trabajos.
- b) La exactitud de las mediciones efectuadas especialmente con ondas de impulsos.
- c) la eliminación de los disturbios producidos por los ensayos del generador de impulsos, sobre las mediciones efectuadas en los otros laboratorios del Instituto. En efecto las ondas de impulsos que en un intervalo ^{de 1} μ s, alcanzan valores de millares de kV, representan ondas de alta frecuencia.

La más pequeña inductancia del dispositivo de la puesta a tierra forma una muy alta impedancia, que cambia los valores medidos. Por eso, la puesta a tierra tiene que formar una capacitancia que compense la inevitable inductancia de sus conductores. En otras palabras la puesta a tierra tiene que ser un contrapeso.

La experiencia mostró que la mejor puesta a tierra está formada por una red de barras de cobre de sección mínima 2 x 20 mm o de barras de hierro de diámetro de 20 mm. Es muy importante que las uniones sean soldadas para conseguir la menor posible resistencia de paso. La distancia de las barras es de 2 hasta 3 m, ver figs. 6/8 y 6/9. Sobre esta red con grandes mallas se sobrepone una de pequeñas mallas de hierro galvanizado. La malla de esta red es de alrededor de 25 cm. Las dos redes tienen que ser unidas con la menor resistencia posible.

La red con grandes mallas está conectada con *jabalinas* o tubos clavados en la tierra a una distancia de 3 hasta 4 m y en una profundidad de alrededor de 3 m.

Las *jabalinas* serán clavadas en el suelo del sótano y unidas a la red de tierra, que se ha colocado en el primer piso. La conexión de la red a las *jabalinas* se efectuará con conductores lo más cortos posible. La red de tierra será colocada también sobre las paredes del laboratorio hasta la altura que tiene el generador de impulsos.

Para la conexión de los aparatos, que no están permanentemente conectados a la puesta a tierra, se colocará barras con tornillos o mariposas a lo largo de las paredes y eventualmente sobre el suelo. La puesta a tierra colocada bajo la sala de generador de impulsos no puede utilizarse como conexión a tierra de la fuente de alta tensión a frecuencia industrial siendo las dos salas demasiado alejadas. En consecuencia, se colocará en la misma otra puesta a tierra como la descripta.

El edificio del Instituto fué construído según proyectos anteriores. La sala de alta tensión debía tener una planta de 12,9 x 13,1 m con una altura de 16,3 m. Cuando la construcción estaba ya muy adelantada, fué formada la Comisión para el estudio, proyecto y la adquisición del laboratorio de alta tensión. En la sala con dichas dimensiones habría podido colocarse a lo máximo un generador de impulsos de tensión de 1500 kV y una fuente de alta tensión a frecuencia industrial de 600 kV, como está representado en la fig. 6/15 y 6/6.

Cabe destacar el hecho de que esta disposición no es una solu

ción aceptable, porque no habría ^{lugar} para los objetos a ensayar.

Por lo tanto, la Comisión, tan pronto como fué constatada, propuso ampliar la sala desplazando ^{en} 0,6 m una pared hasta el muro externo del edificio de manera de obtener una planta de 12,9 x ^{21,7} 21,7 m, fig. 6/6. Sin embargo, por razones arquitectónicas esta solución no fué aceptada. Se permitió una ampliación de 2,7 m obteniendo las dimensiones de 12,9 x 15,9 m, fig. 6/6 y 6/44.

Potencia de conexión

Para la alimentación del laboratorio de alta tensión de Eva Perón, se necesitará la siguiente potencia:

1. Generador de impulso de tensión.

20 kW

2. Fuente de alta tensión a frecuencia industrial de 1000 kVA. Potencia activa igual a las pérdidas estimadas en 10 % o sea

100 kW

Pérdidas en el grupo motor-generador

100 kW

3. Analizador de redes

3 kW

4. Varios motores

20 kW

5. Alumbrado

5 kW

Potencia total a instalar

250 kW

Por lo tanto, la Comisión, aconseja efectuar la conexión del laboratorio a la red de la CADE en alta tensión mediante un transformador de 300 kVA y 6900/380 V. Este transformador alimentará solamente el generador de impulsos de tensión y la fuente de alta tensión a frecuencia industrial mediante el grupo motor-generador. En cambio, el analizador de redes, los varios motores y el alumbrado serán alimentados desde la red de distribución a 380/220 V propia del Instituto.

CAP. VII - DESCRIPCION DE LABORATORIOS
A - LABORATORIOS UNIVERSITARIOS
PURDUE UNIVERSITY/USA

El edificio de 37x18 m con techo en estructura metálica, tiene una altura de 18 m. La sala de ensayo sin ventanas, es de 37x15 m, siendo los tres metros restantes del ancho destinados para taller, celda de transformadores, sala oscura de fotografía, galería de observación etc.

Un generador de impulsos de tensión

Tensión nominal	3390 kV
33 capacitores	100 kV
Estructura: base 3 x 3 m, altura 9 m.	

Un generador de impulsos de tensión

Tensión nominal	200 kV
-----------------	--------

Un generador de impulsos de tensión

Tensión nominal	50 kV
-----------------	-------

Un generador de impulsos de corriente:

Corriente de cortocircuito	300 kA
4 grupos de 16 capacitores	64 μ F a 50 kV
	16 μ F a 100 kV

Una fuente de alta tensión a frecuencia industrial

Dos transformadores dispuestos en serie	200 kVA 600 kV
Potencia, Frecuencia	135 kVA, 60 Hz
Alternador de alimentación	50 kW

Varias fuentes de alta tensión a frecuencia industrial

Tensiones	hasta 50 kV
Frecuencia	60 Hz

Un oscilógrafo a rayos catódicos

Espinterómetros

Divisores de tensión

Un analizador de redes Westinghouse

Sus características están indicadas en la tabla 4/1. Fue adquirido en colaboración por siete compañías de electricidad.

Los generadores de impulsos de tensión y corriente son alimentadas por rectificadores en vacío. Control de la tensión por medio de reguladores de inducción. El generador de impulsos de corriente, que tiene una altura de solamente 1,8 m pudo ser ubicado cerca de la base del generador de impulso de tensión de 3300 kV. Por lo tanto, se emplea el mismo equipo para la carga de ^{los} generadores de impulso. El generador de impulso de corriente está encerrado en una caja para evitar la proyección de los fragmentos producidos por la ruptura de los materiales ensayados.

UNIVERSIDAD DE SAO PAULO/BRASIL

El laboratorio tiene una sala de ensayo de 35x19 m, servida por un puente-^{grúa}gata, figs.7/1 y 7/2. Hay desvío ferroviario para el transporte de las piezas pesadas. Entrará en servicio en 1953.

Un generador de impulsos de tensión HAEFELY

Tensión	2400 kV
Energía	35 kWs
Capacidad	0,012 μ F
Onda de ensayo	1,5 x 40 μ s
Número de impulsos	4 imp./min
Transformadores de alimentación	120 kV 8 kVA
Rectificador mecánico	250 kV 20 mA

Un oscilógrafo a rayos catódicos

Una fuente de alta tensión a frecuencia industrial

4 transformadores conectados en cascada, tres de 350 kV y uno de 250 kV, que fué pedido más tarde

Tensión máxima	1300 kV
Potencia	300 kVA
Frecuencia	50 Hz

Espinterómetros de esferas

Diámetro	750, 1500 mm
----------	--------------

Tanque de ensayo de aceite

Un puente Schering

Klydonógrafos

Una cámara de Boy para fotografiar las descargas atmosféricas

Un equipo de lluvia artificial

Un generador de impulsos de tensión de repetición

Tensión de cresta	400 kV
-------------------	--------

Un generador de alta tensión continua

Un medidor de interferencia

Una cámara oscura

Una línea experimental

Un dispositivo magnético

Para registrar las descargas intensas sobre una torre de la línea de transmisión.

UNIVERSIDAD DE BANGALORE/INDIA

La construcción del edificio y el montaje de sus instalaciones ^{fuero}n realizados en tres años, siendo el laboratorio en servicio desde 1951. La mayor parte del material fué entregado por la General Electric. Sala de alta tensión 37x27 m con una altura de 28 m, figs. 7/3 y 7/4. Las paredes y el piso tienen incorporado una malla de hierro galvanizado soldado a la estructura metálica para lograr una protección eléctrica. Tres galerías de observación en varios pisos para el estudio de las descargas eléctricas. En la sala de alta tensión hay ventanas con persianas accionadas por motor. Dos puertas de acceso de 6x6 m. Además de la sala de alta tensión hay también seis salas auxiliares para ensayos de aislación, aires acondicionado, distribuidas en los dos pisos del edificio.

Un generador de impulsos de tensión

Tensión	3000 kV
Energía	50 kW
30 capacitores de	0,33 μ F, 100 kV
4 columnas con una altura de	9 m
Tiempo de carga	30 s

Este tipo de generador de impulsos de tensión no viene más construido por la General Electric, por ser de costo elevado. Ha sido sustituido recientemente por otro tipo.

Un generador de impulsos de tensión

De tensión menor para el arranque del generador de impulsos de tensión de 3000 kV.

Un oscilógrafo a rayos catódicos de cátodo caliente

Tensión de aceleración	25 kV
Velocidad de inscripción	10000 μ m/s

Una cámara fotográfica de alta velocidad

Tamaño	35 mm
--------	-------

Un generador de impulsos de corriente

Corriente	200 kA
Tensión nominal continua	100 kV
Energía	29 kW
48 capacitores	0,5 μ F 50 kV

2 shunts

50 y 150 μ A

La corriente máxima de descarga, que se obtiene con resistencia muy baja en el circuito de descarga, es oscilatoria. Instalando una resistencia suficiente para evitar oscilaciones en el circuito, la corriente máxima se reduce hasta el 60 %. El equipo tiene conexiones de descargas para 50 y 100 kV.

Un motor-generador

Para la alimentación del generador de impulsos de tensión de 3000 kV

Generador monofásico potencia	31,3 kVA, 25 kW
Velocidad	1500 rev/min
Tensión	240 V
Frecuencia	50 Hz
Motor trifásico potencia	40 HP
Tensión	220 V
Excitatriz directamente acoplada	125 V

Una fuente de alta tensión a frecuencia industrial

Tres transformadores

Tensión	350 kV	
Potencia monofásica y trifásica	1000 kVA	
Frecuencia	50 Hz	
Corriente monofásica o trifásica	0,95 A	
Tensión de alimentación	2,3/4,6 kV	
Dispuestos en cascada	respecto tierra	1050 kV
Dispuestos en tres fases	entre fase y fase	660 kV

En paralelo con los tres transformadores un reactor de 700 kVA y 350 kV permite efectuar ensayos a cualquier potencia con preñda entre 0 y 1000 kVA sin sobrecargar el generador, con la condición de limitar los ensayos a cables u otros aparatos de factor de potencia similar.

Un motor-generador

Para la alimentación de la fuente de alta tensión a frecuencia industrial.

Generador monofásico potencia	1000 kVA, 200 kW
Tensión	550/1100 V

Frecuencia	50 Hz
<i>inducción</i>	
Motor a inducción trifásico potencia	300 HP
velocidad	1500 rev/min
tensión	2200 V
frecuencia	50 Hz
Excitatriz directamente acoplada	125 V
Produce una corriente puramente senoidal.	
<u>Dos espiñerómetros</u>	
Diámetro de las esferas	100 y 2000 μ
<u>Un voltímetro electrostático</u>	
Tensión efectiva	75 kV
Tensión máxima	129 kV
<u>Un generador de impulsos de repetición de tensión.</u>	
Número de impulsos por s	50
Tensión	210 kV
Forma de la onda	$0,2 \times 10^{-6}$ s
Consta de siete capacitores de 30 kV y 0,007 μ F conectados según el sistema Marx, que entregan una tensión de 210 kV a circuito abierto con una capacidad de 0,001 μ F, fig. 2/19. La tensión y la forma de la corriente de descarga se observan en un osciloscopio a rayos catódicos de 10 kV. La General Electric no construye más este tipo de aparato.	
<u>Un motor-generador</u>	
Para la alimentación del generador de impulsos de tensión de repetición.	
Generador potencia	6,2 kVA, 5 kW
velocidad	1500 rev/min \times
tensión	240 V
frecuencia	50 Hz
monofásico	
Motor potencia	7,5 HP \times
velocidad	1500 rev/min \times
tensión	220 V
trifásico	
Excitatriz directamente acoplada	125 V
<u>Un puente Schering</u>	

Capacidad 0,000.025 - 2,0 μ F
Un capacitor en aire 100 kV

A la tensión mínima de servicio de 1 kV con una capacidad de 100 μ F producirá una corriente de 400 A. Por lo tanto, la capacidad máxima medible es de 2 μ F.

Un capacitor patrón de gas comprimido

Capacidad 0,0001 μ F
Tensión 300 kV

para la medición del factor de potencia y de la capacidad de materiales aislantes y equipos de alta tensión. Se usa en conexión con el puente Schering.

Tres celdas para el ensayo de aceite

Un instrumento para la medición de aislación

Constituido por un megger accionado por un motor generador a tensión constante y corriente continua de 1kV.

Resistencia 4 - 2000 M Ω

Resistencia 0,4- 200 M Ω

Resistencia 0,04- 20 M Ω

Un kenotrón

Para la medición de corriente continua débil de alta tensión. Está formado por un equipo de alimentación:

Corriente 25 mA

Tensión 250 kV

Además hay cuatro tubos kenotrón, un transmisor de 1 kW con amplitud modulada para aplicaciones radiofónicas (solamente y no para uso industrial) y un transmisor de 1 kW con un campo de regulación desde 2,4 hasta 18 M Hz. El kenotrón tiene resistencias en aceite para la medición de la tensión. Se halla en un rincón de la sala de alta tensión.

Un equipo para la variación de la susceptancia

Constituido por un voltímetro oscilador de 1 - 50 M Hz.

Un aparato para medir la resistencia de la aislación eléctrica

Campo de variabilidad

0 - 5 M Ω a la tensión continua de 250 V
5 - 200 M Ω " " " " " 500 V

50 - 2000 M Ω a la tensión continua 500 V

500 - 20000 M Ω a la tensión continua 500 V

Permite determinar la resistencia de aislación en función del tiempo en aparatos ya instalados.

Efectuando las mediciones antes de las pruebas de impulso de tensión, se pueden descubrir los puntos de baja resistencia, que podrían producir fallas. Estas mediciones permiten establecer materiales aislantes de mala calidad y materiales recubiertos por polvo o humedad, indicando así a veces una falla mecánica. Además, se pueden estudiar los efectos de la temperatura y humedad sobre la aislación (VII).

Un transformador Thordarson

Para la alimentación del aparato anterior.

Tensión	220/110 V
Potencia	150 VA
Frecuencia	50 Hz

Un voltímetro de cresta

Para una tensión menor de 500 kV.

Un equipo para la producción de lluvia artificial

Una línea experimental

Longitud	2400 m
Tensión	380 kV

Una fuente de alta tensión a frecuencia industrial

Tres transformadores en cascada	330 kV
Potencia de cada uno	10 kVA

Hornos de acondicionamiento

Frecuencia	50 Hz - 5 M Hz
------------	----------------

Una sala de aire acondicionado

6 x 6 m con una altura de 6 m.

Temperatura	desde -6 hasta + 60° C
Humedad relativa	desde 60 hasta 100 %

Una sala de aire acondicionado

Para calibraciones y trabajo de rutina

Temperatura	20° C
Humedad relativa	60 %

Un taller

Un equipo para cámara oscura

Un proyector de microfilm

Un ampliador

Repuestos

El laboratorio de Bangalore adquirió los siguientes repuestos:

1. Juego de resistencias para el control de la onda ~~completa~~ del generador de impulsos de tensión.
2. Cinco capacitores para el generador de impulsos de tensión, que tiene instalado 30 capacitores.
3. Un juego completo de resistencias de carga del generador de impulsos de tensión.
4. Doce tubos para el kenotrón.
5. Cien rollos de 18 exposiciones para la cámara fotográfica de alta velocidad.
6. Cinco tubos del oscilógrafo a rayos catódicos.
7. Dos tubos kenotrón para el generador de impulsos de corriente.
8. Un juego de resistencias de carga para el generador de impulsos de corriente.
9. 24 capacitores para dicho generador.

B. LABORATORIOS INDUSTRIALES

Oerlikon - Suiza

El laboratorio industrial de la Oerlikon en Zurich, Suiza, fué construído para poder ensayar pararrayos e interruptores de una capacidad de ruptura de hasta 1000 MVA en una sala de 20x20 m fig. 7/5. Fué ampliado en 1938 con la construcción de una sala de alta tensión de 30x13 m con una altura de 14 m. Se instaló inicialmente un generador de impulsos de tensión de 1250 kV y 7,8 kWs que fué ampliado en 1939 para lograr una tensión de 2000 kV y una energía de 12,5 kWs, fig. 2/12. Por fin en 1952 este generador de impulsos de tensión fué sustituído por otro de 2400 kV y 35 kWs, fig. 2/13.

El edificio de la sala de alta tensión es de madera, mientras que el edificio de la sala de ensayo de los interruptores es de mampostería. La sala de alta tensión es sin ventanas con grandes aberturas de ventilación. El pupitre de comando de la fuente de alta tensión a frecuencia industrial se encuentra en una sala adyacente con una ventana de vidrio para poder observar la sala de alta tensión durante las maniobras, fig. 7/6. La ventana puede ser abierta para determinar los ruidos de las descargas.

La sala de ensayo de los interruptores está dividida en dos mitades por una ^{pl}red de hormigón $\frac{1}{2}$, fig. 7/5. En una mitad se encuentra el generador de cortecircuito $\frac{1}{2}$ con su motor de accionamiento. Paralelamente está dispuestas las excitatrices principal y auxiliar. Los reactores se hallan en una cabina de hormigón.

Actualmente en el laboratorio se encuentran los siguientes aparatos:

Un generador de impulsos de tensión, fig. 2/13

Constructor	Haefely
Tensión	2400 kV
16 capacitores	150 kV
Capacitancia por etapa	190 pF
Energía	35 kWs

Un generador de impulsos de tensión

Tensión	400 kV
---------	--------

Un oscilógrafo a rayos catódicos

Constructor	Trüb Tüber
Cátodo	frío
Haces	2

Transportable con un transformador de alimentación de 0,2/50 kV.

Un oscilógrafo a rayos catódicos, fig. 2/32

Constructor	Haefely
Cátodo	caliente

Una fuente de alta tensión a frecuencia industrial, fig. 3/5

Constructor	Oerlikon
Tensión	1000 kV
Número de etapas	2
Potencia	1200 kVA
Frecuencia	50 Hz

Alimentación de la fuente de alta tensión

La fuente de alta tensión está alimentada por un transformador trifásico de 6,3/0,22 kV y 320 kVA a través de un motor generador de 360 kVA. El generador sincrónico tiene el bobinado de excitación subdividido con bobinado de amortiguación. El motor generador se encuentra en el sótano debajo de la sala de comando para evitar ruidos en la sala de alta tensión, fig. 3/5. La fig. 3/6 muestra el esquema de conexión de la fuente de alta tensión a frecuencia industrial.

Espinterómetros

Diámetro	1000 y 500 mm
----------	---------------

Un generador de cortocircuito

Potencia	62 MVA
Tensión	12 kV
Corriente	3 kA
Velocidad	1500 rev/min

Un motor de accionamiento del generador

Potencia normal	1,7 MW
Potencia máxima	3,4 MW
Tensión	6 kV

Excitatriz principal del generador de cortocircuito

Corriente permanente	0,8 kA
Corriente de impulso	8 kA
Tensión	1 kV
Potencia motor	560 kW

Un tanque para ensayos de aceite

Una cámara de aire acondicionado

Variación de temperatura de -25 hasta +50 C°

Puesta a tierra

La puesta a tierra del generador de impulsos de tensión se realizó inmediatamente debajo del aparato con cuatro jabalinas de hierro con una longitud de 7 m, conectadas entre sí. Una cinta metálica, provista de tornillos α mariposa y fijada en las paredes de la sala, permite efectuar la conexión a tierra de los aparatos, que no tienen puesta a tierra permanente.

Hay la posibilidad de conectar esta tierra con la del generador de impulsos de tensión.

La red de iluminación está conectada a la del resto de la fábrica a través de un transformador de aislación.

BROWN BOVERI - Suiza

El laboratorio de la Brown Boveri en Baden, que fué puesto en servicio en 1943, tiene una sala principal con una planta de 24 x 31 m y con una altura de 15 m, figs. 7/7 y 7/8. El edificio es de hormigón armado con amplias ventanas, fig. 7/9, y con dos galerías de observación a una altura de 3,6 y 7,3 m respectivamente, fig. 7/10. A causa de las grandes dimensiones, no hay puente a grúa. Los transformadores a ensayar son transportados hasta el interior del laboratorio sobre un vagón, y quedan sobre el mismo durante el ensayo. Para los aparatos livianos hay en el collarazo de la sala dos aparejos, fijados sobre monorraíles, con una capacidad de 1 t. (74).

Las principales instalaciones del laboratorio son:

Un generador de impulsos de tensión, fig. 2/14

Constructor	Micafil
Tensión	2400 kV
8 capacitores	300 kV
Energía	25 kW
Columnas	4

La forma de la onda de impulsos puede ser regulada de manera de obtener una duración mínima de 0,5/us para el frente de onda y una duración máxima de 1000/us para el tiempo hasta el valor medio de la cola de onda.

Un generador de impulsos de tensión, transportable

Tensión	300 kV
---------	--------

Una fuente de alta tensión a frecuencia industrial, fig. 3/2

Constructor	BROWN BOVERI
Potencia	1200 kVA
Tensión de dos transformadores	400 y 1200 kV
Tensión total	1600 kV
Corriente	1 A
Tensión de cortocircuito	6 %

Una fuente de alta tensión a frecuencia industrial

Tensión	150 kV
---------	--------

Dos oscilógrafos a rayos catódicos de cátodo frío, fig. 7/8

Un generador de impulsos de corriente

Energía 5 kW

Corriente 35 kA

Una instalación de aire acondicionado

Una línea experimental, fig. 8/1 y 8/3

Longitud 500 m

Conductores 2

Una línea experimental, fig. 8/2

Longitud 55 m

Conductores 3

Espinterómetros, fig. 3/2

Diámetro 1750 mm

Un equipo de lluvia artificial

Un capacitor a gas comprimido

Un rectificador de aguja

Constructor Micafil

Las agujas, fig. 7/10, son accionadas por un motor sincrónico, cuyo estado puede ser retado mediante un motor regulable desde el pupitre de maniobra. Así es posible modificar la posición de las agujas respecto al ángulo de fase de la tensión de la fuente de alta tensión a frecuencia industrial, de manera de obtener un funcionamiento prácticamente sin chispas. Para la epuración de la forma de la tensión continua se halla una batería de capacitores de 1 nF. El rectificador con una longitud de 10 m y un peso de 2 t se levanta hasta el cielorraso de la sala de alta tensión para dejar completamente libre el plan de maniobra.

Los oscilógrafos se hallan en una sala adyacente a la de alta tensión y aislada electrostáticamente, fig. 7/8. Uno de los oscilógrafos 5 es de cuatro haces y seis sistemas de medición para medir directamente una tensión de 50 kV respecto tierra. Permite la registración contemporánea de cuatro magnitudes diferentes e independientes entre sí. El segundo oscilógrafo 6 tiene un solo haz y también un sistema de medición de 50 kV respecto tierra. La fig. 7/8 muestra la

disposición de la sala de los oscilógrafos, que sirve para:

1. La registraci3n c3moda y r3pida de los fen3menos, que ocurren en la sala de alta tensi3n.

2. La realizaci3n independiente de una serie de investigaciones especiales, que no necesitan ni una muy alta tensi3n ni una muy elevada potencia. Se trata de estudios en el campo de la traslaci3n de ondas m3viles en el bobinado de m3quinas, en el campo de las sobretensiones debidas a las maniobras y a las descargas atmosf3ricas, en el campo de los pararrayos de las descargas el3ctricas y de la alta frecuencia. Para realizar investigaciones tan diferentes, el laboratorio posee un conmutador γ con 100 l3neas, que permite la conexi3n con todas las fuentes de corriente de los otros laboratorios.

La fuente de alta tensi3n a frecuencia industrial de 150 kV y el generador de los impulsos de corriente se encuentran en una sala 3 con una superficie de 500 m², fig.7/7. La instalaci3n de aire acondicionado est3 ubicada en el s3tano.

El grupo de alimentaci3n del generador de impulsos de tensi3n consta de un transformador y un rectificador. El regulador de alimentaci3n de 10 kVA y 0 - 250 V a 50 Hz es accionado por un motor Ferranti sumergido en aceite. La salida del regulador es conectada con el primario de un transformador de 6 kVA, 80 kV. El capacitor en aceite se encuentra sobre la tapa del transformador y tiene una capacidad de 15 nF a 100 kV. Hay dos rectificadores al selenio en aceite, cada uno para 200 kV. Hay cuatro aisladores, obteniendo tensi3n positiva o negativa mediante conexi3n con la extremidad superior o inferior del grupo, mientras se pase a tierra la otra extremidad.

SIEVERTS KABELVERK - Suecia

El laboratorio está destinado a los ensayos de cables y capacitores, fig. 2/15. Superficie de la sala principal 13 x 33 m con una altura de 14 m. Además, hay una pequeña sala de 7 x 10 m con una altura de 6 m para realizar pruebas con altas tensiones moderadas. A lo largo de una pared de la sala principal, se encuentran cuartos para reguladores de inducción, interruptores, transformadores, etc.

Una fuente de alta tensión a frecuencia industrial

Tensión	510 kV
Frecuencia	50 Hz
Potencia	200 kVA

Un generador de impulsos de tensión

Tensión	2000 kV
Constructor	ASEA

Varios puentes Schering

Un oscilógrafo de rayos catódicos a cátodo caliente

Tres instalaciones de aire acondicionado

con una altura de 3,6 m para el ensayos de grandes tambores de cables y capacitores de 220 kV.

Tensión máxima de ensayo	80 kV a 50 Hz
--------------------------	---------------

ASEA - Suecia

Se trata de un laboratorio industrial construido en 1933 en Ludvika, Suecia, destinado principalmente al control de la capacidad de ruptura de interruptores contruidos en serie.

El edificio tiene una planta de 50 x 25 m con una altura libre de 14 m. Hay un puente a grúa de 100 t, fig. 7/12.

Un generador para ensayos de cortocircuito

Potencia	80 MVA
Tensión	13 kV
Velocidad	1500 rev/min \times

Permite ensayos para una capacidad de ruptura de hasta 250 MVA a una tensión de 220 kV.

Tres transformadores monofásicos de alta intensidad

Potencia	3 MVA
Tensión secundaria	300 - 150 V
Corriente secundaria	10 - 20 kA

Una fuente de alta tensión a frecuencia industrial

Tensión	1000 kV
Número de etapas	1
Frecuencia	50 Hz

Un generador de impulsos de tensión

Tensión	2400 kV
Número de etapas	8

HENLEY - Inglaterra

El laboratorio de Henley en Gravesend-Inglaterra, permite realizar todos los ensayos con una tensión eficaz de hasta 304 kV en todos los cables con una tensión nominal de 132 kV.

Un generador de impulsos de tensión

Constructor	Ferranti
Tensión	1200 kV
Número de columnas	4
Altura	4,5 m
Base	2,4 x 2,4 m
Número de etapas	7
Capacidad de las etapas	175 pF
Energía total	17 kWs
Díametro explosores a esferas	150 mm

Un grupo de alimentación

Potencia	10 kVA
Tensión del regulador	0-250 V
Frecuencia	50 Hz
Transformador, Potencia	6 kVA
Tensión	80 kV
Capacitor	100 kV
Rectificadores al selenio	2
Tensión de cada uno	200 kV
Corriente de cada uno en servicio continuo	5 mA
" " " " " durante 1 h	20 mA

Un divisor de tensión capacitivo

Capacitores cantidad	2
Tensión de cada uno	600 kV

Un oscilógrafo de rayos catódicos a cátodo frío

Velocidad de registro	2000 km/s
Tensión	40 kV

Un equipo transportable de corriente continua

Para el ensayo de cables en el laboratorio e in situ.

Constructor	Ferranbi
Tensión	400 kV
Corriente en servicio continuo a 400 kV	5 mA
Corriente durante 1 h a 400 kV	20 mA
Corriente en servicio continuo a 200 kV	10 mA
Max Corriente durante 1 h a 200 kV	40 mA

GENERAL ELECTRIC - U.S.A.

Edificios

En el año 1949 se puso en servicio el nuevo laboratorio de alta tensión de la General Electric, que consta de dos edificios (78):

1. Edificio principal de 50 x 29 m con una altura total de 26 m y con una altura libre de 23 m entre piso y estructura metálica del techo, fig. 7/14. Su base es de 1500 m².

2. Edificio secundario de 66 x 26 m con una altura total de 17 m, siendo la altura libre de 13 m entre piso y estructura del techo. La base tiene una superficie de 3300 m².

Los edificios tienen una estructura metálica con doble pared de chapa aislada con un estrato de lana de vidrio con un espesor de 38 mm, fig. 7/15. Para la protección eléctrica las paneles de las paredes y el hierro del piso de hormigón armado están soldados a la estructura metálica del edificio, formando una jaula de Faraday.

El edificio principal tiene una sala con solamente dos ventanas de observación, de manera que resulta más fácil el oscurecimiento del ambiente fig. 7/14. La grúa a puente de 23 t es accesible por medio de un ascensor a causa de la gran altura. Numerosas otras grúas jib y grúas, que operan sobre el piso, facilitan el transporte de la maquinaria, fig. 2/9.

El edificio secundario, fig. 7/14, está dividido en tres partes:

1. Una gran sala de ensayo h, i, i, ~~h~~ de 26 x 26 m que se extiende hasta el techo del edificio, cuya altura es de 17 m. Está servida por una grúa a puente de 9 t.

2. Una sala para los motores-generadores, interruptores y la cámara de aire acondicionado, que tiene dos pisos.

3. Una área a tres pisos: dos para las oficinas y el tercero para la investigación de los pararrayos.

Sala de motor-generadores e interruptores

Esta sala tiene paredes dobles con una capa intermedia de 90 cm de aire para reducir al mínimo la transmisión de ruidos, que podrían molestar durante la investigación del efecto corona.

Cámara de aire acondicionado

La cámara de aire acondicionado está aislada mediante varios estratos de chapa de aluminio con capas intermedias de aire. El piso consta de una capa inferior de cemento con un espesor de 20 cm, luego una chapa de material aislante y una capa superior de cemento de 23 cm de espesor. Las puertas son del tipo cámara de refrigeración. Grandes ventanas thermopane permiten una fácil observación. El equipo de acondicionamiento permite variar la temperatura entre -18 y $+38^{\circ}$ C con un amplio campo de variabilidad de la humedad.

Calefacción y ventilación

La calefacción de los edificios se efectúa por medio de vapor a 1,8 at. En la sala de alta tensión se realiza con caños de fundición de 32 mm de diámetro sumergidos en el piso de hormigón a 110 mm de su superficie. Permite obtener una temperatura ambiente de 21° C, cuando la temperatura externa es de -18° C. El edificio secundario es calentado por medio de radiadores.

El aire es filtrado antes de entrar en las salas de ensayo, siendo instalados ventiladores debajo del techo para su extracción.

Se puede aumentar la humedad del aire introducido en la sala de alta tensión.

Aparatos instalados

Las dos salas de ensayos está divididas en nueve áreas, que contienen los aparatos indicados en la fig. 7/14.

Las varias áreas están divididas por rejillas, figs. 2/23 y 7/15. El laboratorio dispone en total de:

a) Seis generadores de impulsos de tensión desde 200 hasta 5100 kV.

b) Siete fuentes de alta tensión a frecuencia industrial desde 100 hasta 1750 kV.

e) Un generador de impulsos de corriente de 260 kA.

Generadores de impulsos de tensión

Los dos generadores de impulsos de tensión nominal de 5100 kV, figs. 1/1 y 2/9, puedan producir una tensión máxima de 7500 kV. Cuando los generadores está cargados con polaridades opuestas, se logra un arco con una longitud de 17 m. Sus capacitores de 100 kV y 330 pF son dispuestos en seis columnas con una altura de 13 m. La distancia de seguridad es de 10 m. La tensión de carga es de 300 kV.

Generador de impulsos de corriente

Se dispone de un generador de impulsos de corriente capaz de producir 260 kA, a 50, 100 y 150 kV, fig.2/23.

Fuentes de alta tensión a frecuencia industrial

El equipo principal ubicado en el área de ensayos N°1 consta de tres transformadores de 350 kV y 1000 kVA, conectados en cascada, que pueden entregar una tensión eficaz de 1050 kV respecto tierra, fig. 3/ 4. Hay en el área de ensayo n°2 otro equipo, formado por dos transformadores similares que permite ensayos a una tensión eficaz de 700 kV, ~~1000 kVA~~. Conectando los cinco transformadores se obtiene entonces una tensión eficaz de 1750 kV.

Además otras cinco fuentes de alta tensión a frecuencia industrial permiten investigaciones con tensiones máximas de 100 a 300 kV.

Oscilógrafos a rayos catódicos

Todos los oscilógrafos a rayos catódicos tienen el cátodo caliente. Dos de ellos son de construcción especial, conteniendo dos tubos de rayos catódicos para la registraci3n simultánea de dos fenómenos transitorios, fig. 2/23. Para la fotografía se emplean cámaras de 35 mm.

Tanque para ensayos bajo alta presión

Para el estudio de gases bajo alta presión y en vacío hay un tanque de 14 at, que permite ensayos con una tensión de 115 kV.

Equipo de lluvia artificial

Para el estudio de la lluvia sobre el funcionamiento de los aparatos agua de resistividad determinada es entregada a todas las áreas de ensayo. La resistividad correcta del agua es regulada automáticamente mediante un control electrónico.

Analizadores transitorios

Con el objeto de estudiar la distribución de las sobrecargas en los aparatos, se dispone de varios analizadores transitorios, que son generadores de impulsos de tensión en miniatura. Permiten medir la distribución de la tensión en los bobinados, la transferencia de tensiones entre bobinados y el estudio de fenómenos transitorios en redes eléctricas.

Espinterómetros

Son disponibles numerosos espinterómetros con esferas de un diámetro desde 62,5 hasta 2000 mm para la medición de las tensiones, fig. 1/1. Divisores de resistencia y un divisor de resistencia de aislación especial permiten medir los impulsos.

Cámaras fotográficas y oscilógrafos

Numerosas cámaras fotográficas de alta velocidad y normales permiten el estudio de los rayos y arcos. Hay, además, una gran cantidad de oscilógrafos automáticos de alta y baja velocidad para el estudio de los rayos y fenómenos transitorios.

Area de ensayo al aire libre

Se pueden efectuar investigaciones al aire libre sobre una superficie de 6.70 m², fig. 7/14. Uno de los generadores de impulsos de tensión de 5100 kV es transportable sobre un carro, saliendo de la sala de alta tensión a través de una puerta con una altura de 15 m y con un ancho de 4,2 m, fig. 2/9.

Un aislador pasante de 161 kV y dc de 15 kV permiten conectar el generador de impulsos de tensión con la sala de alta tensión.

Línea experimental

Tiene una longitud de 3200 m.

Alimentación del laboratorio

La energía necesaria para los ensayos de alta tensión a frecuencia industrial es entregada por tres generadores.

a) Un generador de 1000 kVA

b) Dos generadores de 500 kVA.

Además son disponibles dos generadores de corriente continua de 500 kW y 500 V.

Un grupo de transformadores con una potencia total de 4300 kVA alimenta al laboratorio.

**CAP.VIII - LINEAS EXPERIMENTALES E INDUSTRIALES DE
ALTISIMA TENSION**

A. LINEAS EXPERIMENTALES

Las líneas experimentales se construyen con el objeto principal de analizar el efecto, que las muy altas tensiones alternas y las tensiones de impulsos producen sobre los conductores y aisladores. El estudio se refiere a los siguientes puntos:

a) Disposición de los conductores en relación con el efecto corona.

b) Distribución de las tensiones de impulsos a lo largo de la línea y los efectos que las ondas primarias y las reflejadas producen sobre los aisladores y aparatos conectados a la línea.

Los fenómenos indicados en el punto b pueden estudiarse solamente si la línea tiene una longitud mayor que la de las ondas de impulso. Para las ondas normales de impulso ésta es de alrededor de 1,5 km. Los efectos de las sobretensiones pueden estudiarse a fondo, si la línea experimental está provista con los aparatos (transformadores, interruptores, etc.) que suelen ser utilizados en estaciones transformadoras en explotación, porque los efectos sobre la línea no pueden ser separados de los efectos sobre los aparatos conectados.

En lo siguiente se ilustran algunas líneas experimentales.

LINEAS BROWN BOVERI - SUIZA

La Brown Boveri instaló en 1943 dos líneas experimentales con las siguientes características (SS):

Longitud de la línea	490	55 m
Número de conductores	2	3 -
Altura de suspensión	19	11 m
Flecha a 20°C	6	1,5 m
Tipo de conductor	Al hueco	Cu macizo
Diámetro de conductores	50	20 mm
Distancia de conductores	7,5	3,5 m

Las líneas son alimentadas por medio de cables blindados, para evitar que el campo eléctrico en el tramo de conexión influya sobre el resultado de las mediciones. Las pérdidas por el efecto corona se miden con un puente Schering de construcción Trüb Täuber, cuyo esquema de funcionamiento está ilustrado en las figs. 8/1 y 8/2. Los capacitores C tienen como dieléctrico gas comprimido. La capacitancia de los cables de alimentación fué eliminada mediante un circuito compensador.

En la línea monofásica, fig. 8/3, se puede medir exactamente la pérdida por efecto corona en base a la medición sobre un conductor sólo, siempre que las tensiones de ambos conductores estén en fase y sean iguales. Una diferencia de fase altera el resultado de la medición y puede eliminarse mediante dos mediciones en conexiones opuestas del transformador. Con el transformador empleado por la Brown Boveri resulta una pérdida por asimetría de 0,01 kW/km, cuando la tensión respecto tierra sea de 200 kV. Es suficiente determinar la pérdida por asimetría de un solo conductor.

Las pérdidas de los aisladores tienen que ser medidas por separado mediante un puente Schering para todas las condiciones climáticas y luego consideradas en la determinación de las pérdidas por efecto corona de la línea.

LINEA DE LA BEA - INGLATERRA

La British Electrical Authorities (BEA) construyó en Leatherhead/Inglaterra, una línea experimental de 275 kV, que es alimentada por tres transformadores monofásicos de construcción Ferranti, fig. 8/4.

LINEAS DE TIDD - U.S.A.

Características de las líneas

La instalación realizada en 1947 por la American Gas y Electric comprende tres líneas experimentales para una tensión máxima de 500 kV. Dos de las líneas tienen una longitud de 2200 m con siete vanos de unos 310 m, fig. 8/5. La tercera línea tiene solamente un vano de 240 m. Las líneas están directamente conectadas con la subestación sin interposición de interruptores, siendo alimentadas por tres transformadores monofásicos con una potencia total de 5 MVA (80 hasta 83).

Transformadores

Los transformadores, alimentados a 66 kV, entregan una tensión regulable desde 264 hasta 500 kV entre los conductores. La regulación de la tensión secundaria se efectúa en 24 escalones. Los transformadores están conectados en delta en el lado de 66 kV y en estrella con puesta a tierra directa en el lado de 500 kV. Su impedancia de 6,6 % es muy pequeña, si se compara con la de transformadores de potencia de igual tamaño o con transformadores de ensayo. Así se logra más fácilmente una onda sinusoidal. Los transformadores están protegidos por medio de tres pararrayos.

Conductores

Las barras conductoras de la subestación están constituidas por conductores huecos con un diámetro de 51 mm. La distancia entre los conductores de las líneas puede ser establecida en 9,8 - 11,7 y 13,7 m. Los conductores están suspendidos en la subestación con cadenas de 26 aisladores, ubicados a 146 mm entre sí, y en las líneas con cadenas de 26 a 36 aisladores.

Instrumentos de medición

Registadores de medición continua permiten la determinación de las pérdidas por efecto corona durante todos los estados atmosféricos. Los wattímetros están directamente conectados con las líneas sin interposición de transformadores de medida. Los instrumentos fueron ubicados sobre los bornes de los transformadores, efectuando

la medición por medio de un anteojo larga vista desde una casilla de observación ubicada a una distancia de 15 m, figs. 8/6 y 8/7. Los instrumentos sobre los transformadores son accesibles por medio de una plataforma móvil sobre rieles.

Generador de impulsos de tensión

A la extremidad libre de las dos líneas de 2200 m se encuentra al aire libre un generador de impulso de tensión Westinghouse de 2200 kV con 20 etapas de dos capacitores de 50 kV. Puede entregar impulsos positivos y negativos con un valor de cresta de 1800 kV y con una onda de $0,6 \times 7/\mu s$. El impulso se aplica a uno o más conductores (81).

Oscilógrafos

Dos oscilógrafos a rayos catódicos de cátodo caliente Du Mont con una velocidad de inscripción de 1600 km/s son acoplados a los conductores de las líneas o bien a las barras colectoras de la subestación por intermedio de divisores de tensión. Uno de los oscilógrafos se encuentra cerca del generador de impulsos de tensión. El otro oscilógrafo es portátil y puede ser conectado en un punto cualquiera de las líneas o barras colectoras de la subestación.

Interruptores

La instalación dispone de tres interruptores monofásicos para una tensión nominal de 360 kV y una corriente nominal de 800 A. Fueron ensayados con un impulso de tensión de 1300 kV.

Ensayos realizados

Se efectúan los siguientes ensayos:

1. Atenuación de la tensión de impulso, que se transmite a lo largo de las líneas.
2. Variación del pendiente del frente de onda de impulso.
3. Factores de acoplamiento entre los conductores.
4. Elección del nivel de aislación de la subestación.
5. Ubicación más eficiente de los pararrayos en la subestación.
6. Investigaciones tanto con altísimas tensiones como

también tensiones menores.

LINEA DE CHEVILLY - FRANCIA

Características de la línea

La línea trifásica, que fué puesta en servicio en 1946, tiene las siguientes características (89):

Números de vanos	1
Longitud	500 m
Distancia entre fases	14,5 m
Altura de los conductores sobre el terreno en el punto de suspensión	24,0 m
En el punto medio del vano	8 m

Como conductores múltiples de fase se pueden emplear las siguientes disposiciones:

a) Dos cables de aluminio-acero con una sección de 411 mm² (sección útil 325 mm²), diámetro 26,4 mm, dispuestos en un plano horizontal o vertical con distanciadores de madera baquelizada.

b) Cables huecos con diámetro de 40 - 45 - 50 mm.

Como conductores de tierra puestos a 14 m sobre los conductores de fase *se emplean dos cables de acero con una sección de 70 mm².* ~~y separados eléctricamente por una cadena doble de aisladores.~~

Subestación de alimentación

Tres transformadores ^{“M”} monofásicos de 106 kVA y bobinado primario de 11 kV con dos reguladores de la relación de transformación permiten variar la tensión secundaria en escalones desde 178 hasta 289 kV respecto tierra, o sea desde 398 hasta 500 kV entre fases.

El bobinado secundario tiene un terminal aislado y el otro permanentemente a tierra a través de un transformador. Cuando funcionan las tres fases, el primario es conectado en triángulo y el secundario en estrella con el neutro puesto a tierra.

Aparatos indicadores de medición

El extremo abierto de la línea está provisto de una campana metálica, que contiene:

- 1) Un transformador de corriente,
- 2) Un capacitor,

3) Un wattímetro,

para medir directamente las pérdidas. La campana protege eléctricamente los aparatos de medición de la influencia de los campos eléctricos y tiene una abertura horizontal para su observación por medio de un anteojo largavista.

El elemento de alta tensión del divisor de tensión capacitivo está constituido por capacitores de acoplamientos conectados en serie.

El elemento de baja tensión del divisor de tensión capacitivo puede ser ubicado en la campana sobre el aislador de alta tensión del transformador de medición o bien a nivel de tierra.

Los transformadores de corriente y tensión a 11 kV conectados en serie y paralelo con el bobinado primario sirven para efectuar mediciones en el extremo de alimentación.

Aparatos registradores

La línea dispone de los siguientes aparatos registradores de control meteorológico:

- 1) Barómetro,
- 2) Termómetro,
- 3) Hidrómetro,
- 4) Pluviómetro.

La conexión de los aparatos de medición está ilustrada en la fig. 8/8.

Objetivo de la línea

Con la línea experimental descrita se estudió la posibilidad de transformar la línea Breuil-Chevilly de 400 km de longitud, constituida por una doble terna de conductores a 220 kV, en un circuito de una terna de 400 kV.

Se eligió para la línea experimental un vano de 500 m que es la longitud de vano de la línea de 220 kV mencionada ahora. Empleando un solo vano resulta la desventaja de no poder reducir a un valor medio la incidencia de los fenómenos accidentales de todos los vanos. Por otra parte, hay la ventaja de ser más fácil el cambio

de conductores y menor el costo de instalación.

La línea sirve sobre todo para el estudio de las pérdidas por efecto de corona y de la disposición y del número de conductores por fase.

LINEA DE MANNHEIM - ALEMANIA

Imitando el ejemplo de U.S.A. también en Alemania se construyó una línea experimental de 500 kV que fué puesta en servicio en 1952(86). La línea con una longitud de 2100 m tiene la finalidad de estudiar la variación de las pérdidas por efecto corona y ^{valores} ~~los valores~~ durante un largo período de funcionamiento. La línea y la subestación tienen características muy similares a las líneas americanas de Tidd.

Cada fase de la línea tiene conductores múltiples con cables de aluminio-acero con un diámetro de 21 mm. El número de cables puede ser variable de 1 a 4. Se efectúan investigaciones con varias distancias entre los conductores y con varios tipos de suspensión a las torres.

La alimentación se efectúa por medio de tres transformadores monofásicos, cada uno de 1,2 MVA. El primario a 10 kV está conectado en triángulo, mientras que el secundario en estrella tiene el neutro puesto directamente a tierra, exactamente como en las líneas de Tidd. Los transformadores monofásicos, proyectados para 10/260 kV, pueden entregar una tensión máxima de 300 kV. La tensión entre fases de la línea puede ser regulada desde 95 hasta 500 kV en escalones de 5 kV.

En un edificio se encuentran los tableros de control y comando, los instrumentos de medición de las pérdidas por efecto corona y los instrumentos para la registración de las condiciones atmosféricas. Particular estudio se empleó para evitar que las pérdidas de los aparatos pudieran sumarse a las pérdidas en la línea durante la medición de estas últimas. Hay, además, instrumentos para medir las tensiones perturbadoras en la banda de frecuencia, que interesa las telecomunicaciones a ondas guiadas y las radiotransmisiones. La lectura de los aparatos a la tensión de línea se efectúa mediante un anteojo largavista.

ORGANIZACION DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE LINEAS EXPERIMENTALES

Particular atención necesita la organización de las ~~ca~~ condiciones, que son de dos tipos:

1. Mediciones individuales,
2. Mediciones estadísticas.

Las mediciones individuales sirven para completar los co nocimientos sobre ^{el} efectos corona y para examinar críticamente los re sultados de los valores utilizados. Se fundan en la lectura de los apa ratos indicadores, debiendo los instrumentos, conectados directamente con la línea energizada, ser leídos por medio de un anteojo largavista.

Ahora bien, los datos empleados para el proyecto de las líneas de altísima ^{de mediciones bajo distintas condiciones} tensión tienen que resultar de un gran número. Es tas mediciones se ejecutan mediante medidores eléctricos o aparatos similares. El medidor entrega en general el producto de un valor medi do por el tiempo. De ahí se puede calcular el valor medio, haciendo variar a voluntad el lapso de tiempo, durante el cual se efectúa la in tegración. Para la registración se emplean los principios conocidos de medición a distancias. Todos los medidores reciben impulsos proporcio nales a los valores medidos, que accionan el mecanismo medidor. Los re sultados pueden luego ser interpretados, por ejemplo según el sistema Hollerith. Como se ha mencionado en la primera parte del informe, mu chos problemas, que se han estudiado con líneas experimentales pueden ser ahora averiguados y eventualmente corregidos por la experiencia ob tenida de la línea sueca de 380 kV, que se ilustra a continuación. Es obvio que la experiencia recogida en la explotación de líneas industria les, tiene un peso mucho mayor, que los resultados obtenidos con líneas experimentales, ya que a causa de la pequeña longitud de éstas, las con diciones de servicio son siempre limitadas. Por eso, se considera neces ario ilustrar los puntos salientes de las experiencias suecas.

B. LINEAS INDUSTRIALES DE ALTISIMA TENSION

LINEA SUECA DE 380 kV

Objetivo de la línea

En 1946 se presentó el problema de transportar la energía producida por la central hidroeléctrica Harspranget con una potencia de 350 MW desde un punto situado al norte del círculo polar ártico hasta la zona central de consumo en el sur de Suecia a través de una distancia de 950 km, fig. 8/11. Para su solución se tomaron en cuenta tanto el transporte con corriente continua de altísima tensión, como también la transmisión por corriente alterna a 220, 330, 380 y 440 kV. Después de largas y muy profundas investigaciones técnicas se eligió la tensión trifásica de 380 kV, la más alta del mundo en aquel tiempo.

En su primera etapa de construcción el sistema consta de una subestación elevadora de 16/380 kV en Harspranget, fig. 8/11 y de las subestaciones reductoras de 380/220 kV, en Midskog, punto medio de la línea, y en Hallsberg, punto terminal. En Midskog la línea de 380 kV está conectada a través de líneas relativamente cortas de 220 kV, con centrales hidroeléctricas de una potencia total de 1200 MVA. El tramo meridional de la línea 380 kV funciona en paralelo con las numerosas líneas de 220 kV, que conectan la zona central con el sur de Suecia.

Aislación del sistema

Los transformadores, interruptores y demás aparatos de maniobra de los sistemas de altísima tensión deben ser ensayados antes de ser puestos en servicio. Según las normas suecas SEN 31 el grado de aislación de un sistema de 380 kV debe corresponder a la clase 1770 kV. Por lo tanto, los transformadores, interruptores y otros aparatos de maniobra deben resistir a una prueba con el generador de impulso de tensión, en la cual se aplique una onda completa de impulso de $1x50/\mu s$ con un valor de frente de 1770 kV.

Sin embargo, estas normas son demasiado exigentes para una red con el punto neutro sólidamente ^{puesto a tierra, como es} el caso de la línea sueca de 380 kV. De conformidad con la prácti-
neutro

ca estaría permitido reducir el grado de aislación en un 20%. Por tratarse del primer sistema del mundo a funcionar con esta enorme tensión, se decidió efectuar los ensayos de recepción con la tensión de impulso de 1770 kV.

En cambio, los ensayos sobre los modelos, que sirvieron para desarrollar el nuevo tipo de transformador, fueron realizados con una onda de impulso de 2080 kV.

La aislación de la línea debe proporcionar una garantía adecuada contra las descargas debidas a los agentes atmosféricos y a las sobretensiones de maniobra. Los elementos inferiores de la cadena de aisladores no deben estar sometidos a tensiones excesivas. El tipo usado en Suecia es el aislador de cadenas con 20 elementos, un paso de 170 mm y con una longitud de 4,2 m, para los cuales se permite una capacidad de resistencia a los impulsos de tensión de 1580 kV y una resistencia a la tensión alterna a 50 Hz en ambiente seco de 940 kV y bajo lluvia de 760 kV.

Ampliación del sistema

El sistema actual deberá ser ampliado mediante la construcción de las siguientes líneas de 380 kV, fig. 8/10:

1. Conexión con las dos centrales hidroeléctricas Storfinnforsen y Kilforsen de una potencia total de 340 MW a través de dos líneas con una longitud total de 90 km.
2. Línea Hallsberg-Göthenborg-Malmö.
3. Línea Storfinnforsen-Göthenborg.
4. Línea Kilforsen-Enköping-Norrköping.

La capacidad de transporte del tramo Midskog-Hallsberg sefa aumentada desde 450 hasta 700 MW mediante la instalación de capacitores en serie a la línea. Al mismo tiempo habrá que aumentar la sección de transporte mediante la instalación de un tercer conductor por fase.

Resultados de explotación

La línea fué puesta en servicio en 1952. Desde entonces se realizaron extensos ensayos para determinar las condiciones de maniobra, que pueden ocurrir durante la explotación. Se midieron también

los disturbios provocados en la recepción de la radio telefonía, la radio transmisión en la zona a lo largo de la línea ^(y el empleo de la línea) para la transmisión de ondas guiadas.

Durante los ensayos fueron transportados 150 MW a lo largo total de la línea. La simulación de las condiciones de maniobra, como pueden presentarse en el funcionamiento tanto normal como anormal, permitió establecer la exactitud de los cálculos matemáticos y la de los estudios realizados con el analizador de redes en corriente alterna con referencia a la estabilidad, aumento de tensión y potencia reactiva. También se midieron los disturbios parásitos y las pérdidas por efecto corona así como el incremento de tensión que se produce cuando se suprime toda la carga de la línea. Se ensayaron los interruptores y otros equipos de maniobra.

Los resultados de los primeros meses de explotación demostraron de modo seguro, que las sobretensiones máximas en las condiciones de trabajo más adversas resultan notablemente inferiores a los valores límites considerados en el proyecto. En consecuencia, se decidió emplear la aislación de 1500 kV para la ampliación del sistema.

La reducción de la tensión de ensayo de impulso en un 18 % desde 1770 hasta 1500 kV significará una reducción del 8% en el costo de una subestación con dos transformadores y tres líneas de 380 kV(97). A esta clase de aislación corresponde una prueba de tensión alterna a 50 Hz en ambiente seco de 840 kV y bajo lluvia de 660 kV. Conviene recordar que durante los últimos 30 años el mejoramiento en el proyecto y la técnica de la aislación ha permitido duplicar casi la resistencia a los impulsos de tensión de los transformadores de alta tensión sin aumento apreciable en la aislación(94).

LINEAS RUSAS DE 420 kV

En Rusia se están construyendo dos líneas de 420 kV que transportarán a Moscú la energía producida por las dos centrales hidroeléctricas Kujbyschew y Stalingrad. A continuación indicamos las características de la línea Kujbyschew-Moscú(92):

Tensión nominal	400 kV
Tensión máxima	420 kV
Número de ternas	2
Potencia de cada terna	600 MW
Longitud de la línea	920 km
Longitud de los vanos	420-460 m
Conductores	Al acero
Densidad de corriente de conductores	0,5-0,6 A/mm ²
Diámetro de los cables	30,2 mm
Cables por fase	3
Elementos de la cadena de aisladores	22
Pérdida de energía para transporte de 6,1 TWh/año	4,0-4,5 %
Potencia de los transformadores reductores	300 MVA
Tensión de los transformadores reductores	410/115/11 kV

La fig. 8/12 ilustra el esquema de la doble línea de transmisión con tres estaciones intermedias para la conexión entre las dos ternas. En la central hidroeléctrica y en el punto medio de la línea hay reactores para reducir la corriente reactiva capacitiva. Los transformadores elevadores tienen el bobinado primario en triángulo y el bobinado secundario en estrella con el neutro puesto a tierra a través de un resistor de pequeña resistencia óhmica.

En las torres de anclaje, que tienen una altura de 29,8 m, los conductores se encuentran a una altura de 27 m sobre el terreno, fig. 8/13.

LINEAS NORTEAMERICANAS DE 330 kV

Merece particular mención el hecho de que en Estados Unidos no se tiene todavía la intención de emplear la tensión de 380 kV. La tensión máxima es de 345 kV. Fue adoptada para una línea con una longitud de 100 km, que la British Electric puso en servicio en 1953 para el transporte de la energía producida por la central hidroeléctrica Wahleach con una turbina de 60 MW (93).

Por su pequeña longitud esta línea puede ser considerada como destinada para el estudio de su comportamiento en explotación. Los ingenieros norteamericanos quieren tener propias experiencias en una línea ^{de} reducida longitud para poderlas aplicar en la construcción de líneas con longitudes correspondientes a esta tensión.

Las otras líneas de transmisión actualmente en construcción o en fase de estudio y proyecto tendrán una tensión igual o inferior a 330 kV (98). Así por ejemplo las líneas que conectarán la central hidroeléctrica de 1200 MW de la Indiana Kentucky Electric con la central hidroeléctrica de 1000 MW de la Ohio Valley Electric y que empezarán a funcionar en 1954, tendrán una tensión de solamente 330 kV.

LINEAS INGLESAS A 275 kV

La tensión máxima adoptada en Inglaterra es de 275 kV. El primer transformador de esta tensión entró en servicio en 1952. Dadas las características del país no se tiene actualmente la intención de construir líneas de transmisión con una tensión mayor (96).

CAP. IX - PLIEGO DE LICITACION

RUBRO 1. Instalación de impulsos de tensión

Art. 1. - 1.- OBJETO.- Este rubro comprende la provisión, montaje y puesta a punto de una instalación de impulsos de alta tensión para el ensayo de aparatos eléctricos hasta una tensión nominal de 380 kV compuesta de:

- a) Un generador de impulsos de tensión,
- b) Un grupo de carga del generador de impulsos,
- c) Un pupitre de control,
- d) Instrumentos de medición y registro,
- e) Materiales complementarios.

Art. 1. 2.- UN GENERADOR DE IMPULSOS DE TENSION. Será de conexión tipo Marx para producir impulsos de tensión de hasta 2000 kV (cresta) y capaz de almacenar una energía de alrededor de 25 kWs, compuesto de capacitores para una tensión entre 100 y 200 kV, explosores y resistencias de carga de los capacitores, todo provisto para generar una onda normal $1 \times 50 \mu s$, según prescripto en la Norma IRAM nº 2069.

Cada capacitor deberá soportar durante 1 min una tensión doble de la normal y habrá de permitir por lo menos tres descargas por min a la tensión máxima. La corriente máxima de descarga será de por lo menos 20 kA. La inductancia propia del generador y su circuito acoplado será mantenida lo más baja posible.

El accionamiento de los explosores se hará a motor coman- dable desde el pupitre propio del generador. Un cuadrante a aguja, legible desde la sala de medición y graduado en cm, indicará la se- paración entre los explosores.

El generador podrá ser cebado mediante un explosor auxi- liar, debiendo dicha operación ser sincronizada con el funciona- miento del oscilógrafo a rayos catódicos, mencionado en el Art. 1. 8.

Art. 1. 3. RESISTORES DE AMORTIGUACION. Serán adecuados para producir las ondas normales de ensayo e irán conectadas entre el generador de impulsos y el espinterómetro de medición y entre el generador de im-

pulsos y el objeto a ensayar.

Art.1. 4. CAPACITORES Y RESISTORES. Se suministrará junto con el generador de impulsos de tensión un juego de capacitores y resistencias de descarga para conectar en paralelo con el objeto a ensayar, calculado para formar una onda normal de $1 \times 50 \mu s$. No obstante con el mismo juego podrán efectuarse combinaciones de modo de poder obtener cualquier otra onda normal, sea 1×5 ; 1×10 ; $1,5 \times 40 \mu s$ etc. También servirá dicho juego para formar las ondas normales con el generador de impulsos de tensión utilizado sólo en forma parcial o en combinaciones de por ejemplo 2 grupos en paralelo y 5 capacitores dispuestos en serie.

Art.1. 5. UN GRUPO DE CARGA DEL GENERADOR DE IMPULSOS. Estará compuesto de:

a) Un transformador monofásico en baño de aceite, transportable sobre ruedas, que servirá para cargar el generador de impulsos de tensión mediante el respectivo rectificador. Su tensión primaria será de 220 V, regulable mediante reóstato instalado en el pupitre. Su tensión secundaria y potencia nominal serán adecuadas a la instalación.

b) Un rectificador, preferentemente mecánico, con conmutador para inversión de la polaridad, accionado a mano sin tensión, con bloque respectivo de seguridad e indicación luminosa de polaridad. Su tensión de salida será de por lo menos 20% superior a la necesaria.

c) Elementos complementarios, como capacitores, resistencias, potenciómetro para el voltímetro, etc.

Art.1. 6. PUPITRE DE CONTROL DEL GENERADOR DE IMPULSOS. Será metálico, transportable sobre ruedas, con cable piloto de conexión flexible de 20 m de largo con ficha múltiple para los tomacorrientes detallados en el Art.1. 8. En el pupitre se instalarán:

a) Una llave de comando a distancia del interruptor principal del grupo de carga.

b) Un interruptor para los servicios auxiliares del rectificador, si los hubiere.

c) Un reóstato para la regulación de tensión del grupo rectificador.

d) Un voltímetro indicador de la tensión rectificada.

e) Una botenera para accionamiento del meter del espinterómetro de medición (Ver art. 4. 5. a).

f) Un lugar previsto para el instrumento indicador de la separación del espinterómetro de medida.

g) Un pulsador para cebar el generador de impulsos de tensión, e iniciar el registro del oscilógrafo.

h) Un artefacto completo con pantalla para iluminar el pupitre.

Art.1. 7. INSTRUMENTOS DE MEDICION Y REGISTRO

a) Un oscilógrafo de rayos catódicos. Será a dos haces a cátodo caliente con tubo hermético. El oscilógrafo junto con sus comandos y elementos auxiliares irá montado sobre un carro transportable sobre ruedas neumáticas. Será apto para la medición y registro fotográfico de impulsos de tensión, para la cual su tensión de aceleración será del orden de 20 kV. Se alimentará con 220 V, 50 Hz.

Vendrá provisto de sus instrumentos de medición, dispositivos de barrido no repetitivo lineal y logarítmico,, con conmutador de la duración respectiva. El tiempo de barrido de duración mínima será del orden de 0,5/us. Asimismo se podrá conmutar a barrido repetitivo.

b) Divisor de tensión. Servirá para la conexión del oscilógrafo a rayos catódicos. Será preferentemente del tipo a resistencias, blindadas completamente de los campos exteriores mediante capacitores. Tendrá por lo menos tres etapas de alta tensión.

Serán comprendidos en el suministro dos cables de retardo y una antena con su cable para el caso de tener que registrar un fenómeno cuya ocurrencia es incierta. Asimismo se tendrá que prever el equipo necesario para la coordinación con el cebado del generador de impulsos de tensión y la máquina fotográfica con su adaptador y lente respectiva. Además, se podrá superponer sobre la pantalla una serie de impulsos de alta frecuencia regulable para la medición de tiempos.

Art.1. 8. MATERIALES COMPLEMENTARIOS. El Contratista deberá proveer e instalar todos los materiales complementarios para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación, por ejemplo:

a) Todos los equipos de uniones directas entre los capacitores del generador de impulsos de tensión, cuando se necesite reemplazar las resistencias de carga .

b) Equipos para cortocircuitar los explosores.

c) Un seccionador para puestas a tierra de todas las partes del generador de impulsos de tensión, aún cuando el generador funciona con sólo parte de los capacitores.

d) Cuatro tomacorrientes múltiples, tres de ellos para interior y uno para intemperie a instalarse; dos en la planta baja, uno en el subsuelo y uno en la planta de ensayo a la intemperie.

e) Los otros materiales complementarios que sean necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación.

Art.1.9. - DATOS.- Junto con la oferta se deberán presentar los siguientes datos:

Generador de impulsos de tensión

Tensión de cresta,
Energía almacenable,
Número de escalones,
Capacidad de cada capacitor,
Tensión de prueba de los capacitores,
Remanencia de la tensión,
Intensidad máxima admisible de la descarga,
Construcción de los diversos elementos,
Valor de las resistencias de descarga ,
Diámetro de los explosores,
Descripción del mecanismo de cebado,
Inductancia propia del generador,
Dimensiones totales,
Estructura resistente,
Peso.

Resistores de amortiguación:

Valores nominales,
Tipo de construcción,

Dimensiones,

Peso.

Capacitores y resistores de descarga:

Valores nominales,

Tensiones de ensayo,

Tipe de construcción,

Dimensiones,

Peso.

Grupo de carga:

Características,

Valores nominales de cada componente,

Aislación,

Dimensiones,

Peso.

Oscilógrafo de rayes catódicos:

Tipo,

Tensión de placa,

Tensión de aceleración,

Tensión y corriente de calefacción,

Velocidad de inscripción,

Dimensiones de la pantalla,

Construcción de las diversas componentes,

Sensibilidad,

Tensión de las placas de barrido,

Escalas de barrido,

Margen de las escalas de tiempo de calibración,

Características de los cables de retardo,

Tamaño del film y distancia focal de la lente,

Esquema completo,

Consumo,

Dimensiones,

Peso.

Divisor de tensión:

Tipo,

Número de etapas,

Valores nominales de cada componente,

Aislación de la parte de baja tensión,

Dimensiones,

Peso.

RUBRO 2 - Fuente de alta tensión a frecuencia industrial

Art. 2. 1 .- OBJETO.- Este rubro comprende la provisión, montaje y puesta a punto de una instalación de alta tensión de frecuencia industrial para ensayos de aparatos eléctricos con una tensión nominal de hasta 380 kV, compuesta de:

A.- Instalación de ensayos hasta 900 kV.

constituida por:

- a) Transformadores de ensayos hasta 900 kV,
- b) Resistencias de amortiguación y protección,
- c) Aisladores,
- d) Un grupo motor-generador de alimentación,
- e) Instrumentos de medición,
- f) Un pupitre de control,

B.- Instalación de ensayos hasta 15 kV

INSTALACION DE ENSAYO HASTA 900 kV

Art.2. 2. - CARACTERISTICAS.- El Proponente deberá ofrecer:

a) Un transformador de primera etapa. Será monofásico en baño de aceite, a tres arrollamientos, provistos de soporte de aislación, con el centro del bobinado de alta tensión conectado a masa y ejecutado con aislación especial para países tropicales. El mismo será equipado con cárcamos para el traslado, válvulas para descarga de aceite, soportes aislados y demás accesorios. Los valores nominales serán del orden:

Tensión primaria	750 kV
Tensión secundaria	300 kV
Tensión terciaria	750 V
Potencia permanente del primario.	1200 kVA
Potencia permanente del secundario.	800 kVA
Potencia permanente del terciario.	400 kVA

Frecuencia 50 Hz

Tensión de prueba con

excitación propia du-

rante 5 min. 360 kV

b) Un transformador de segunda etapa. Será similar al transformador principal, pero con los siguientes valores nominales aproximados:

Tensión primaria 750 V

Tensión secundaria 300 kV

Tensión terciaria 750 V

Potencia permanen

te del primario 800 kVA

Potencia permanen

te del secundario 400 kVA

Potencia permanen

te del terciario 400 kVA

Frecuencia 50 Hz.

Tensión de prueba

con excitación pro

pia durante 5 min. 360 kV

c) Un transformador de tercera etapa. Será similar al transformador principal, pero sin enrollamiento terciario y con los siguientes valores nominales aproximados:

Tensión primaria 750 V

Tensión secundaria 300 kV

Potencia permanen-

te del primario 400 kVA

Potencia permanente del secundario	400 kVA
Frecuencia	50 Hz
Tensión de prueba con excitación propia durante 5 min.	360 kV

Los tres transformadores funcionarán en cascada; no obstante se podrán usar otras combinaciones como ser un transformador solo, dos transformadores en cascada, dos en paralelo, dos en V, tres en estrella, tres en paralelo, dos en oposición, etc.

Art. 2 3.- RESISTENCIAS DE AMORTIGUACION Y PROTECCION.- Se instalarán las siguientes resistencias:

a) Una resistencia de amortiguación para conectar entre el transformador y el objeto de prueba, 3600 ohm, 1 A.

b) Una resistencia de amortiguación para conectar entre el objeto de prueba y el divisor de tensión capacitivo a que se hace mención en el Art. 2 6, de valor adecuado al mismo.

c) Una resistencia de protección para los espínterómetros de medición, citados en el Art. 3 4, 0, 6 megahom, 0,05 A.

Todas las resistencias serán metálicas, bobinado no autoinductivo, debiéndose adoptar las precauciones necesarias para asegurar su inalterabilidad durante el servicio o debido a las con-

diciones atmosféricas.

Art.2. 4. AISLADORES Además del aislador necesario para suspender las resistencias se proveerán:

a) Un aislador pasante interior- exterior, a instalarse en el techo o pared lateral ~~según plan~~ para poder conectar a la instalación de ensayo a la intemperie una tensión monofásica de hasta 900 kV, 50 Hz o una tensión de impulso hasta 2000 kV (cresta).

b) Dos aisladores como el anterior pero para una tensión trifásica nominal de 420 kV.

c) Aislador pasante para interior para poder conectar a la instalación de prueba en la cámara de aire acondicionado una tensión hasta de 150 kV, 50 Hz o una tensión de impulso hasta 350 kV.

Art.2. 5.-GRUPO MOTOR-GENERADOR DE ALIMENTACION.-El equipo de alimentación de los transformadores estará compuesto por:

a) Un motor sincrónico con arranque asincrónico, construido sobre una misma base con el alternador, tipo abierto, conexión de 220/380 V, con potencia adecuada para el alternador, excitación por propia máquina excitatriz.

b) Una excitatriz para el motor sincrónico.

c) Un arrancador automático accionado por su propio servomotor de 220 V, para el arranque del motor de manera asincrónica y con conmutador para corriente continua.

d) Un alternador para la alimentación de los transformadores de alta tensión, sincrónico, abierto, 1500 rev/min, 750 V, 50 Hz, potencia aparente a justificar por el Proponente, reactancia transitoria total del alternador y transformadores en cascada no mayor de 25%, forma de onda sinusoidal con no más del 3% de contenido de armónicas.

e) Una excitatriz para el alternador anterior con su reóstato de regulación gruesa con servomotor para accionamiento a distancia. Será provisto un inversor de polaridad para la excitatriz con el objeto de anular prácticamente la tensión remanente del alternador a plena velocidad.

f) Dos bobinas con núcleo de hierro, una de ellas con inductancias fija, y la otra regulable a distancia desde el pupitre de control, para compensación de la carga capacitiva suministrada por los transformadores de alta tensión durante los ensayos.

Art.2.6. INSTRUMENTOS DE MEDICION.-Se suministrarán:

a) Un divisor de tensión capacitivo para la medición del valor eficaz de la tensión alterna por medio de un voltímetro electrostático y para la medición de la tensión de cresta mediante un voltímetro de cresta especial.

Será apto para todas las condiciones de funcionamiento previstas para la instalación. Tensión primaria: 900 kV, tensión secundaria: 500 V.

b) Un voltímetro electrostático para la medición de la tensión eficaz, calibrado en kV con tres escalas y conmutador respectivo para conexión de la derivación de 500 V del divisor de tensión.

c) Un voltímetro de cresta electrónico, completo para mediciones mediante conexión a la derivación de 500 V del divisor de tensión; alimentación mediante 220 V, 50 Hz. Como mínimo tendrá dos escalas siendo el error del galvanómetro no mayor de 0,5%.

Art.2.7. PUPITRE DE CONTROL.- Será metálico, transportable sobre ruedas, con cable piloto flexible de conexión de 20 m de largo y con ficha múltiple para los tomacorrientes que se detallan en el Art.2.8. En el pupitre se instalarán:

a) Una llave para el comando a distancia del interruptor del alternador.

b) Una botonera para el accionamiento a distancia del reóstato de regulación gruesa.

c) Un reóstato de regulación fina del alternador con accionamiento manual de manera de poder obtener de 1 a 1 kV a la máxima tensión de 900 kV.

d) Un voltímetro de 0 a 750 V con conmutador de por lo menos dos escalas y sobre las tres fases (los transformadores de ten-

sión con relación 750/110 V se instalarán en un tablero.

e) Un amperímetro con conmutador de fases (con transformadores de corriente a instalar en dicho tablero).

f) Una botonera para accionamiento a distancia de la bobina de inductancia regulable.

g) Un botón de desconexión de toda la instalación para casos de emergencia, señalado de una manera especial.

h) Un frecuencímetro a lenguetas, 47 - 53 Hz, con lectura de 0,2 Hz.

i) Una botonera para el accionamiento de los espinterómetros de medida.

j) Lámparas de señalización para indicar la puesta en servicio de los aparatos de conexión.

k) Un artefacto completo con pantalla para la iluminación exclusiva del pupitre.

Art.2. 8. MATERIALES COMPLEMENTARIOS.- El Contratista deberá proveer e instalar todos los materiales complementarios para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación como ser:

a) Tres tomacorrientes, de ellos dos para interior a instalar en la sala de medición y en la cámara de aire acondicionado y uno para exterior a instalar en la playa de ensayo a la intemperie.

b) Elementos de conexión.

c) Un conmutador accionable a mano desde la sala de medición para conectar o no el grupo a los transformadores de alta tensión o a la instalación de corrientes fuertes.

d) Un conmutador, accionable a mano desde la sala de medición, para conectar sobre el transformador principal o bien sobre los primarios de los otros transformadores en triángulo.

El resto de las conexiones posibles se efectuará a mano.

Art.2. 9. NORMAS.- Los aparatos a proveerse deberán ajustarse a las normas IRAM Nº 2038, 2044, 2101.

Art.2. 10.-DATOS.- El Proponente deberá suministrar los siguientes datos:

Transformadores de alta tensión:

Valores nominales,
Tensiones de cortocircuito,
Tensión de ensayos,
Pérdidas,
Tipo de construcción y materiales empleados,
Dimensiones,
Peso del aceite,
Peso total.

Resistores de amortiguación y protección:

Valores nominales,
Disipación,
Tipo de construcción y materiales empleados,
Alterabilidad con la temperatura,
Dimensiones,
Peso.

Aisladores:

Valores nominales,
Resistencia mecánica,
Tensión de contorneamiento,
Tensión de perforación,
Tipo de construcción y materiales empleados,
Dimensiones(incluso del perno si lo hubiere),
Peso.

Motor sincrónico con excitatriz:

Valores nominales,
Características,
Dimensiones,
Peso.

Alternador con excitatriz:

Valores nominales,
Reactancia sincrónica y transitoria,
Resistencia ohmica,
Rendimiento,
Forma de onda,

Dimensiones,

Peso.

Bobinas:

Valores nominales,

Tipo de construcción,

Dimensiones,

Peso.

Instrumental de medición:

Valores nominales,

Precisión,

Escalas,

Tipo de construcción y esquema de conexiones,

Dimensiones,

Peso.

RUBRO 3 - ANALIZADOR DE REDES EN CORRIENTE ALTERNA

Art.3. 1.- OBJETO.- Este rubro comprende la provisión, montaje y puesta a punto de un equipo completo para el análisis de redes de alta tensión, compuesto de:

a) Un tablero armado sobre una estructura de hierro perfilado con frente de chapa, provisto de guías para soportar chasis o bastidores intercambiables conteniendo aparatos simuladores de elementos de una red, según se detalla en los Art.3.7 hasta 3.9.

b) Un pupitre en forma de consola con estructura y recubrimientos metálicos, conteniendo los instrumentos de medida y aparatos de control de la instalación.

c) Un grupo convertidor de frecuencia para la alimentación del equipo.

Art.3. 2.- CARACTERISTICAS.- El equipo analizador de redes será del tipo a corriente alterna, permitiendo la representación en escala reducida de los elementos de una red de alta tensión, con el objeto de poder efectuar estudios y mediciones rápidas sobre la misma. Mediante este equipo deberá ser posible resolver directamente los problemas que se plantean durante el funcionamiento en estado estacionario, a saber: Repartición de cargas activas y reactivas, regulación de tensión, elección de relaciones de transformación, cálculo de pérdidas, determinación de límites de estabilidad(estática) como así aquellos otros debidos a fenómenos transitorios como ser: cálculo de corrientes de cortocircuito, cálculo de tensiones renacientes, y estudio de la estabilidad dinámica de un sistema.

Art.3. 3.- TENSION DE FUNCIONAMIENTO.- La tensión de funcionamiento será monofásica 100 V, 500 Hz, provista por un grupo convertidor de frecuencia, según se especifica en el Art.3. 15.

Art.3. 4.- NUMERO DE ELEMENTOS SIMULADORES.- El número de los elementos simuladores, cuya designación corresponde a las de los elementos que respectivamente representan, será el siguiente:

12 generadores,

36 transformadores,

48 cargas activas e inductivas,
12 cargas inductivas y capacitivas,
120 líneas.

La instalación será prevista de modo que estas cantidades puedan ser ampliadas en un futuro por lo menos en un tercio.

Art.3. 5.- GENERADORES.- Serán aptos para obtener en sus bornes de salida una tensión monofásica regulable entre 0 y 170 V introduciendo cualquier defasaje entre 0 y 360°. Esta regulación podrá hacerse manualmente desde el frente del tablero mediante sendas perillas con cuadrantes graduados, que permitan la apreciación de 1 V y 20' respectivamente. La corriente nominal a plena tensión será tal que las impedancias de los elementos simuladores de las líneas y aparatos sean suficientemente elevadas como para que las conexiones introduzcan errores despreciables. Se tenderá por otra parte a obtener un reducido contenido de armónicas y a suprimir las caídas de tensión y defasajes internos.

Cada generador deberá tener directamente conectado un instrumento combinado wattímetro-varímetro y un miliamperímetro pudiendo mediante una llave ser cortocircuitado a voluntad.

Art. 3.6.- TRANSFORMADORES.- Serán constituidos por:

a) Un autotransformador regulable en más o menos 30% con respecto a la relación nominal 1:1 en vacío por escalones de 1%.

b) Una reactancia en serie compuesta por elementos calibrados que, teniendo en cuenta la propia dispersión del autotransformador pueda representar las reactancias de dispersión de los transformadores reales.

Art.3. 7.- CARGAS ACTIVAS E INDUCTIVAS.- Son las destinadas a absorber una potencia activa y una potencia reactiva regulables en un punto de la red representada. Serán constituidas por resistencias e inductancias calibradas, conectadas en paralelo por medio de combinadores. La alimentación de las mismas se hará por medio del autotransformador mencionado en el Art. 3.6. a. Sobre el secundario irá conectado un voltímetro.

Art.3.8.- CARGAS INDUCTIVAS Y CAPACITIVAS.- Serán similares

a las descritas en el artículo anterior, salvo que las resistencias serán reemplazadas por capacitores.

Art. 3.9.- LINEAS.- Serán constituidas por circuitos pi, con capacitores como montantes y resistencias e inductancias en serie como arquitraba. Todos los elementos serán calibrados y ajustables por escalones; en particular, los capacitores de ambos montantes se ajustarán simultáneamente.

Art. 3.10.- ERROR DE CALIBRACION.- El error de calibración de los elementos del analizador será en todos los casos como máximo de 0,5%. Además, deberá garantizarse la máxima variación de los valores nominales con la temperatura y tensión. El factor de mérito de las inductancias $Q = \omega L/R$ deberá ser un valor fijo y garantizado.

Art. 3.11.- VALORES NOMINALES.- Los elementos simuladores a proveerse serán propuestos con valores nominales tales que pueden satisfacer los requisitos previsibles normalmente para representar en una escala adecuada redes de alta tensión de todo tipo. Se admitirán para ellos transformadores, líneas, etc. con dos o más valores nominales topes para cada uno de sus componentes;

Art. 3.12.- MONTAJE.- Cada elemento simulador irá montado sobre un chasis o bastidor intercambiable, que podrá correr sobre guías instaladas en el tablero. La parte delantera será de chapa haciendo juego con el resto del tablero y contendrá las perillas de ajuste, los instrumentos especificados y bornes para contraste. La parte trasera será abierta.

Art. 3.13.- CONEXIONES.- Se proveerá un método sencillo para realizar las interconexiones entre los elementos simuladores que permita intercalar rápidamente instrumentos de medición para hacer lectura en los puntos deseados.

Art. 3.14.- PUPITRE.- El pupitre, según se indica en el Art 3.1, contendrá los instrumentos de precisión para efectuar las mediciones directas siguientes:

- a) Tensión entre dos puntos del circuito o entre un punto y tierra.
- b) Corriente en un punto cualquiera del circuito.

e) Potencia activa y reactiva en un punto cualquiera del circuito.

d) Defasaje de una corriente o tensión con respecto a una tensión de referencia.

e) Impedancia entre dos puntos del circuito.

Las mediciones se efectuarán preferentemente utilizando divisores de tensión, shunts o amplificadores electrónicos de modo de reducir a un mínimo, el consumo de los instrumentos.

Además, el pupitre contendrá los aparatos para el comando a distancia del grupo convertidor, permitiendo el control exacto de la tensión y frecuencia.

Art.3. 15.- GRUPO CONVERTIDOR DE FRECUENCIA.-El alternador sincrónico trifásico de 100 V y 500 Hz será accionado de modo de permitir una regulación automática de la velocidad con una desviación de 1 Hz y una regulación automática de tensión con una desviación menor de 0,5 V. Se dispondrá para ello de una toma de fuerza motriz trifásica de 220/380 V, 50 Hz.

Art. 3.16.- DATOS.- Junto con la oferta se deberán suministrar los siguientes datos:

Elementos simuladores:

Esquemas de conexión,

Valores nominales,

Precisión de la calibración,

Alterabilidad de los valores nominales,

Materiales empleados en su fabricación,

Dimensiones,

Peso.

Instrumentos:

Marca,

Tipo,

Precisión,

Escalas,

Dimensiones,

Grupo convertidor de frecuencia:

Funcionamiento,

Marca de cada componente,

Precisión de la regulación,

Materiales empleados en su fabricación,

Dimensiones,

Peso.

Tablero armado:

Dimensiones.

RUBRO 4.- APARATOS E INSTRUMENTOS ELECTRICOS COMPLEMENTARIOS

Art.4. 1.-OBJETO.- Este rubro comprende la provisión, montaje y puesta a punto de las siguientes instalaciones y aparatos para el ensayo de aislación y la medición de resultados obtenidos con las instalaciones que forman el objeto de los rubros 1 y 2.

- a) Un generador tipo Tesla
- b) Un puente Schering,
- c) Un equipo para ensayo de aceite,
- d) Espinterómetros,
- e) Un oscilógrafo a bucles,
- f) Siete klidenógrafos,
- g) Instalación de ensayo hasta 15 kV.

Art.4. 2.- UN GENERADOR TIPO TESLA.- Será transportable sobre ruedas e incluirá el tablero de maniobra completo con posibilidad de regular la tensión y frecuencia. Los valores nominales serán:

Fuente de alimentación	220 V, 50 Hz
Tensión secundaria regulable	100-500 kV
Frecuencia regulable	100-1000 kHz

Art.4. 3.- UN PUENTE SCHERING.- Se suministrará un puente Schering completo para la medición de capacidades y ángulos de pérdida de materiales aislantes. Será blindado adecuadamente para evitar las capacidades parásitas entre los componentes. La tensión nominal de ensayo podrá variarse hasta 100 kV, pudiendo aplicarse a aparatos que necesariamente deban tener potencial de tierra. Será dispuesto, además, de modo de poder efectuar rápidamente mediciones sobre series de hasta 12 aparatos. Se proveerán los medios necesarios para eliminar la influencia de armónicas en las mediciones, que se realizarán a la frecuencia industrial.

Art.4. 4.- UN EQUIPO PARA ENSAYO DE ACEITE.- Se proveerá un equipo transportable para ensayos de aceites aislantes completo de acuerdo a lo prescripto a la norma IRAM Nº 2101. Tendrá las previsiones necesarias para ser utilizado sin peligro para el personal.

Art.4.5.- ESPINTEROMETROS.- Se proveerán e instalarán los

siguientes juegos:

a) Un espinterómetro vertical con esferas de 1500 mm de diámetro. El espinterómetro deberá ser suministrado en forma completa con su aislador de suspensión, con el soporte de la esfera inferior, motor y mecanismo de accionamiento de la esfera inferior y del indicador mecánico de distancia entre las esferas. Se proveerá además de un transmisor e indicador de la distancias entre esferas, a instalarse este último en el pupitre de comando de la instalación de impulsos.

b) Un espinterómetro horizontal compuesto de una base con ruedas, dos aisladores soportes para esferas, un micrómetro calibrado para indicar las distancias entre aquellas combinado con la manija de accionamiento y dos esferas de 500 mm de diámetro.

c) Dos esferas de 250 mm de diámetro intercambiables con las de 500 mm indicadas en el punto b). Por lo tanto, el micrómetro indicado anteriormente deberá tener el cambio de escala correspondiente.

d) Un espinterómetro horizontal similar al del punto b), pero sin micrómetro y apto para uso de esferas de 20-50-62,5 y 125 mm de diámetro. Se suministrará un juego de cada esfera.

Todas las esferas serán de cobre electrolítico pulido con tolerancias prescriptas en la norma IRAM N°2038. Los soportes aisladores deberán ser preferentemente de porcelana y podrán ser sometidos a tensiones de ensayos correspondientes a las tensiones máximas utilizables con las esferas respectivas.

Art.4. 6.- OSCILOGRAFO A BUCLES.- Será transportable con por lo menos seis elementos registradores y posibilidades de intercambio de bucles. Constará de equipo inscriptor de la escala de tiempo, siendo la velocidad variable *a voluntad en la* relación 10 a 1, permitiendo la observación y registro fotográficos simultáneos. Será apto para conectar a 220 V, corriente continua o alterna. Dispondrá de control de la intensidad luminosa y posibilidad de efectuar la carga y descarga a la luz del día.

Se suministrarán doce bucles, de los cuales 2 será wattimétricos y 10 amperimétricos, para distintos valores nominales de corriente y frecuencia natural. Se proveerán asimismo resistencias calibradas

para la medición de 1 hasta 750 V y shunts para corrientes hasta 1 kA.

Art.4. 7.-KLIDONOGRAFOS.- Se suministrarán:

a) Un klidenógrafo trípolar para intemperie con mecanismo horario, de accionamiento de la película, velocidad 1 cm/h, con su correspondiente divisor de tensión para intemperie para ser conectado a una tensión de 420 kV.

b) Seis klidenógrafos unipolares.

INSTALACION DE ENSAYO HASTA 15 kV

Art.4.8.- CARACTERISTICAS.- Constará de un equipo completo transportable, con un interruptor, fusibles y lámparas de señalización resistencia de cursor para regulación de tensión (en serie con el primario), una pértiga con punta aislada para pruebas con un voltímetro indicador, escala hasta 18 kV, todo instalado en un cajón metálico, con borne de tierra sobre el mismo y los siguientes valores nominales.

Tensión primaria	220 V
Tensión secundaria entre punta aislada y tierra.	15 kV
Regulación	0,75-15 kV
Potencia permanente	3 kVA
Frecuencia	50 Hz
Tensión de prueba con excitación propia durante 5 min	50 kV

Art.4. 9.- DATOS.- El Proponente deberá suministrar los siguientes datos:

Generador tipo Tesla:

Valores nominales,

Detalles constructivos (refrigeración),

Estabilidad de la frecuencia,

Esquema de conexión,

Precisión de los instrumentos,

Dimensiones,

Peso.

Puente Schering

Valores nominales de los diversos componentes;

Esquema de conexiones posibles,

Características del galvanómetro,

Características de los componentes;

Dimensiones,

Espinterómetros:

Dimensiones,

Detalles constructivos y materiales empleados,

Detalles de accionamiento,

Detalles de los indicadores de separación,

Peso.

Oscilógrafo a bucles:

Valores nominales de los bucles (inclusive sensibilidad y frecuencia natural),

Número de elementos registradores,

Velocidad de registro,

Dimensiones de la película fotográfica,

Tensión de la fuente de alimentación,

Características del equipo inscriptor de escalas de tiempo,

Dimensiones totales,

Peso.

Klydenógrafos y divisor de tensión:

Valores nominales,

Detalles constructivos,

Dimensiones,

Instalación de ensayo hasta 15 kV:

Valores nominales,

Tensión de cortocircuito,

Tensión de ensayo,

Pérdidas,

Tipo de construcción y materiales empleados,

Dimensiones,

Peso.

RUBRO 5 - DISPOSITIVOS AUXILIARES PARA EL SERVICIO DEL LABORATORIO

Art.5. 1.- OBJETO.- Este rubro comprende la provisión, montaje y puesta a punto de los siguientes dispositivos auxiliares para el servicio del laboratorio.

- a) Instrumentos meteorológicos,
- b) Un equipo para cámara oscura,
- c) Un equipo para la producción de lluvia artificial,
- d) Un tanque de ensayos bajo alta presión y en vacío,
- e) Una instalación de aire acondicionado,
- f) Una puesta a tierra,
- g) Un transformador trifásico.

Art.5.2.- INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS.- Se suministrarán:

- a) Cinco termómetros de mercurio con escala - 10 a + 50°C con lectura de 0,5°C,
- b) Un barómetro de mercurio para presiones atmosféricas con lectura en mm,
- c) Un higrómetro tipo Daniell,
- d) Un barómetro, tipo Bourdon con escala en mm,
- e) Un higrómetro a cuadrante,
- f) Un anemómetro hasta 150 km/h.

Art.5. 3.- UN EQUIPO PARA CAMARA OSCURA.- Se suministrará un equipo completo de revelación, fijado, secado y ampliación de películas fotográficas.

Art.5.4.- EQUIPO DE LLUVIA ARTIFICIAL.- Será apto para objetos con tensión de ensayo hasta 500 kV. Será provisto un equipo completo transportable sobre ruedas, compuesto de:

- a) Un tanque de chapa de hierro revestido de plomo, de 300 l de capacidad, para agua destilada, con su tapa, indicador de nivel y conexión al tanque de mezcla.
- b) Un tanque similar al anterior, de 100 l para agua acidulada.
- c) Un tanque cerrado de mezcla, de 10 l con su instrumento medidor directo de resistividad del agua a instalar sobre el tablero de control provisto de válvulas para la conexión a ambos tanques y a

la bomba.

d) Una electrobomba centrífuga con posibilidad de regular la velocidad, conexión según criterio del Proponente a 220/380 V, 50 Hz y potencia adecuada para obtener una lluvia a la presión indicada en la norma IRAM Nº 2066.

e) Un caño telescópico de hasta 6 m de altura con pulverizadores en sus extremos inclinados a 45°, de acuerdo a la mencionada norma con posibilidad de utilizarlos en forma parcial y con manómetros ubicados a la entrada de cada grupo de pulverizadores.

f) Un tablero completo de maniobra y control.

g) Un pluviómetro normalizado.

Art. 5. 5.- TANQUE DE ALTA PRESION.- Se proveerá un equipo transportable sobre ruedas, completo para efectuar ensayos con gases comprimidos hasta 20 at y en vacío; y con tensiones hasta 150 kV, 50 Hz, compuesto de:

a) Un tanque de acero con una puerta para cambio de electrodos en el interior, conexión a tubo de gas con manómetro respectivo y una ventana de inspección de 100x100 mm. Este tanque será provisto para su conexión a tierra.

b) Un aislador pasante instalado en un extremo del tanque con un perno previsto para contener en su cabezal interior los electrodos que luego se especifican. El cabezal exterior servirá para conectar a una fuente externa de tensión.

c) Un perno unido eléctricamente a masa, desplazable y accionado desde afuera con un micrómetro indicador de movimiento y previsto para soportar los electrodos que luego se especifican.

d) Juego de electrodos, a saber: esferas de 5 y 10 mm, puntas y placas cuadradas de 5 x 5 y 10 x 10 mm de lado y circulares de 5 y 10 mm de diámetro.

Art. 5. 6.- INSTALACION DE AIRE ACONDICIONADO.- Se proveerá e instalará un equipo de aire acondicionado para las dos cámaras de 6 m de largo, 4 m de ancho y 3 m de alto, capaz de mantener en forma continua una temperatura regulable a voluntad entre - 10 y + 40°C y una humedad regulable a voluntad entre 60 y 100 %. La fuerza motriz

disponible es trifásica 380 V. Los instrumentos de regulación serán ubicados en el exterior de las cámaras. Deberá poderse cumplir las condiciones de las normas IRAM Nº 2082 y 2089.

Junto con el equipo de acondicionamiento será entregadas las dos cámaras de ensayo, una para pruebas de impulsos a instalar en el sótano de la sala de alta tensión de impulso, y la segunda cámara en la sala de frecuencia industrial.

EQUIPO PARA CAMARA OSCURA.

Características,

Dimensiones,

Equipo de lluvia artificial

Características,

Detalles constructivos,

Dimensiones,

Peso.

Tanque de alta presión

Características,

Detalles constructivos,

Dimensiones,

Peso.

Instalación de aire acondicionado

Características,

Detalles constructivos,

Dimensiones,

Peso.

CAP. X. - BIBLIOGRAFIA

(1) Facultad de Ciencias Fisico-Matemáticas de Eva Perón: Convenio entre la Universidad Nacional de la Plata y la Dirección de la Energía. Eva Perón 1950.

A. NORMAS

(2) American Standards Association: Measurement of test voltage in electric tests. C 68. 1-1942.

(3) American Institute of Electrical Engineers: Measurement of test voltage in electric tests. A I E E 4-1943.

(4) EEL-NEMA Subcomitee: Recomendations for high voltage testing. Transactions AIEE vol.59 (1940) págs.598/602.

(5) Lightning and Insulator Subcomitee: Recommendations for impulse voltage testing. Trans. AIEE vol. 52 (1938).pág.16.

(6) British Standard Institution: Impulse voltage testing. B S 923 - 1940.

(7) IDEM: Rules for the measurement of voltage by sphere gaps. B S 358 - 1939.

(8) Swedish Electrotechnical Commission: Voltage tests. S E N 26-1950.

(9) Comisión Electrotécnica Internacional: Norma para la medición de la tensión de ensayos a frecuencias industriales en las pruebas dieléctricas por medio de explosores de esferas. Publicación nº 16 del Comité Electrotécnico Argentino, aparecida en Revista Electrotécnica vol. 28 (1942) pags.

(10) IDEM: Especificaciones generales para los ensayos de choques. Publicación Nº 17 del Comité Electrotécnico Argentino, aparecida en Revista Electrotécnica vol. 28 (1942) pags.

(11) Instituto Argentino de Racionalización de Materiales: Explosor a esferas. Norma IRAM 2039.

(12) IDEM: Medición de altas tensiones continuas. Norma IRAM 2068.

(13) IDEM: Ensayos dieléctricos con tensiones de impulso NORMA IRAM 2069.

(14) IDEM: Medición de altas tensiones alternas. Norma IRAM 2044-P.

B. GENERADORES DE IMPULSOS DE TENSION

(15) E. MARK: Hochspannungs - Praktikum. 2a. edición. Editor Springer, Berlin 1952.

(16) LIECHTI: Générateur de choc de 5.000.000 volts. Rev. Micafil (1945) págs. 23/24.

(17) F. EDWARDS: The development and design of high-voltage impulse generators. Proceedings Institution Electrical Engineers vol. 98 (1951) part. I págs. 155/80.

(18) A. S. HUBSBANDS: The controlled tripping of high-voltage impulse generators. Journal Scientific Instruments vol. 28. (1951) págs. 242/45.

(19) P. L. BELLASCHI: Impulse testing, a power transformer routine. Westinghouse Engineer mayo 1945 págs. 1/6.

(20) N. NARAYAN: Production of standard waves with 3000 kV impulse generator. Journal Indian Institute Science (Bangalore) vol. 34 (1952) Nº 4 págs. 113/22.

(21) EIN KABEL: Stossgenerator für grosse Leistung und 1 Million Volt Stossspannung. Bull. Schweiz. Elektotechn. Verein vol. 24 (1933) pág. 325.

(22) A. BOUWERS: Ein Generator für 3 Millionen Volt Gleichspannung. Zeitschrift Technische Physik vol. 18 (1937). pág. 299.

(23) A. LIECHTI: Générateurs de choc. Rev. Micafil diciembre 1939 págs. 21/25.

C. GENERADORES DE IMPULSOS DE CORRIENTE

(24) P. L. BELLASCHI: Heavy surge currents, generation and measurement. Transactions A I E E vol. 53 (1934) págs. 86/94.

(25) P. L. BELLASCHI: Lightning stroke generators. Electric Journal (1935) págs. 237/40.

(26) P. L. BELLASCHI: Laboratory lightning, the microsecond switch. Electric Journal (1936) págs. 273/75.

(27) A. LMHOF: Un redresseur de courant a très haute tension. Rev. Micafil (1945) págs. 17/21.

(28) F.S. EDWARDS: The calibration of the sphere spark-gas for voltage measurement. Journal Institution Electrical Engineers (London) vol. 82 (1938) págs. 655/78.

(29) A. LIECHTI: Diviseurs de tensions dans les installations de choc. Rev. Micafil (1945) págs. 25/30.

D. OSCILOGRAFOS DE RAYOS CATODICOS

(30) G. IDUNI: Der Präzisions-Vierstrahl-Hoch-Spannungs Oszillograph. BBC Mitt. vol. 30 (1943) págs. 22/23.

(31) Westinghouse Corporation: Electronic oscillograph. Descriptive data 38-281.

(32) O. ACKERMAN: Electronic oscillograph, time microscope. Westinghouse Engr. vol. 4 (1944) Nº 6 págs. 169/73.

E. FUENTES DE ALTA TENSION A FRECUENCIA INDUSTRIAL

(33) A. ROTH: Hochspannungstechnik. Editor Springer, Wien 1950.

(34) High voltage measurement. Electrical Times. 28/11/46/.

F. ANALIZADORES DE REDES

(35) Massachusetts Institute of Technology: The MIT network analyzer. The Technology Press, Cambridge 1930.

(36) R. MAIDANIK: Uso de simuladores para el proyecto de redes eléctricas. Rev. Electrotécnica vol. 36 (1952) págs. 21/24.

(37) G. CATENACCI: L'analizzatore di reti come strumento di calcolo per migliorare la stabilità e la continuità del servizio delle reti elettriche. Quaderni Studi Notizie vol. 9 (1953) Nº 138 - págs. 22/25.

(38) G.D. McCANN: El calculador, Merlin de las matemáticas. Ingeniero Westinghouse vol. 6 (1949) Nº 3 - págs. 82/87.

(39) WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION: Electrical transmission and distribution reference book. 4a. edición. Pittsburg 1950 - págs. 475/79, 502/03.

(40) F.N. BEAUMONT: Maintenance of distribution plant and mains in A.C. network. Journ. Instn. Electr. Engrs. vol. 91 (1944) part. II págs. 108/31.

(41) P.O. BOBO: Use of the a.c. network calculator in planning and operating electric power systems. CIGRE 1948, in forme N° 328.

(42) D. BRAYMER: Today's network calculators will plan tomorrow's systems. Electric World vol.125 (1946) N° 1 págs. 172.

(43) L.B. LEVESCONTE: Power system problem is solved by a.c. network calculator. Electric Light & Power vol.24 (1946) N° 4 págs. 46/50.

(44) E.E. GEORGE: Coordination of fuel cost and transmission loss by use of the network analyzer to determine plant loading. Trans.-AIEE vol. 68 (1949) págs. 11/52.

(45) W.H. OSTERLE: New d.c. board is replica of West Penn system. Electric light & Power vol.30 (1952) N° 4 págs. 110/13.

(46) G.P. WILSON: A new aid to network calculator operation. Electric Light Power vol. 28 (1950) N° 1 págs.78/79.

(47) G.E. PARKS: Purdue network analyzer exemplifies joint sponsorship. Electric Light & Power vol.24 (1946) N° 2 págs. 50/51.

(48) Network analysis. Blackburn analyser utilizes a voltage analogue method for power system studies. Electric Times (1950) N° 9 pág. 307.

(49) R. ROBERT: Micromachines at microréseaux. CIGRE (1950) Informe N° 338.

(50) G. LYON: Some experience with a British a.c. network analyser. Proc. I.E.C. vol.97 (1950) parte II págs. 697/725.

(51) W.W. PARKER: A dual a.c. network calculator. Electric Engng. vol.64 (1945) págs. 182.

(52) F. CAHEN: Une nouvelle table á calcul á courant alternatif. Rev. Générale Electricité vol.58 (1949) págs. 49/61.

(53) W.A. MORGAN: An improved a.c. network analyser. Trans. A.I.E.E. vol.68 (1949) págs. 891.

(54) E.L. HARDER: A large-scale general-purpose electric analog computer. Trans A.I.E.E. vol.67 (1948) págs. 664.

G. GENERADOR TIPO TESLA

(55) E. MARX: Die Abhängigkeit der Ueberchlagspannung und der Durchschlagspannung von Isolatoren vom Spannungsverlauf. *Hescho Mitt.* (1926) № 21. pág. 627.

(56) P. HOCHHAUSLER: Der Teslatransformator als Hochfrequenzprüfgenerator und seine Untersuchung mit dem Kathodenoszillographen. *Arch. Electrotechn.* vol. 26 (1932) pág. 518.

(57) A. WEBER: Die Stoss- und Hochfrequenzanlagen des Höchstspannungsversuchsfeldes der Hescho. *Hescho Mitt.* (1930) № 51 pág. 1617.

(58) A. BOUWERS: Elektrische Höchstspannungen. Editor Springer, Berlin 1939 pág. 26.

H. PUENTE SCHERING

(59) F. ALTEN: Ein graphischer Beitrag zur Scheringbrücke. *E T Z* vol. 57 (1936) pág. 807.

(60) H. SCHERING: Die Empfindlichkeit einer Wechselstrombrücke. *E T Z* vol. 52 (1931) pág. 1133.

(61) R. VIEWEG: Zwanzig Jahre Scheringbrücke. *E T Z* vol. 61 (1940) pág. 1045.

(62) A. PALM: Schering-Messbrücken. *Arch. Techn. Messen* (1932) J 921-3.

I. ESPINTEROMETROS

(63) V. GERMANN: Quelques exemples d'éclateurs à sphères. *Rev. Micafil* diciembre 1939 págs. 36/39.

J. KLYDONOGRAFOS

(64) G. DRAGU: Untersuchungen von Gleitfiguren im Klydonographgebiet durch Strom- und Spannungsmessungen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen. *Arch. Electrotechn.* vol. 31 (1937) pag. 131.

(65) F. HERTGER: Eine Verbesserung des Klydonographen *E T Z* vol. 53 (1932) pág. 939.

(66) M. TOEPLER: Zur Struktur der Leuchtfäden des positiven Polbüschels beim Klydonographen. *Arch. Electrotechn.* vol 27 (1933) pág. 374.

(67) J. L. CANDLER: Developments in surge recording by means of the klydonograph. *Journal Institution Electric. Engrs.* vol 87 (1940) pags. 597/614.

K. INSTALACION DE AIRE ACONDICIONADO

(68) Low temperature operation of the aerofet circuit-breaker. B T H Activities vol. 19 (1947) N° 7 págs. 196/99.

L. DESCRIPCION DE LABORATORIOS

(69) ASEA: Kortslutnings och högspänningslaboratorium i Ludvika. Folleto N° 5676.

(70) H. PUPPIKOFER: Forschungs laboratorien für Hochspannung und Hochleistung der Maschinenfabrik Oerlikon. Bull. Schweiz Elektr. Verein vol. 33 (1942) N° 2.

(71) Electrical engineering and research at Queen Mary College. Engineer (1951) N° 4997 págs. 569/70.

(72) J. T. LUSIGNAN Y H. L. BORDEN: A new laboratory for high voltage testing. Elect. Engng. vol. 53 (1934) pág. 1255.

(73) G. K. M. PEESTORF: India's high voltage laboratory. Electr. Engng. vol. 72 (1953) págs. 320/24.

(74) W. WANGER: Das neue Brown Boveri Hochspannungs-Laboratorium. BEC Mitt. vol. 30 (1943) págs. 212/17.

(75) F. BELDI: Die Einrichtungen des neuen Laboratoriums. BBC Mitt. Vol. 30 (1943) págs. 218/21.

(76) V. GERMANN: Les laboratoires á haute tension de la Micafil. Rev. Micafil diciembre 1939 págs. 2/9.

(77) R. NORDELL: Los laboratorios de la Sieverts Kabelverk. Ericsson Review 1950 N° 3 págs. 70/76.

(78) J. H. HAGEMUTH: New high-voltage engineering laboratory. General Electric Review vol. 52 (1949) N° 9 págs. 9/14.

(79) E. MIGLIAU: Sguardo generale agli sviluppi tecnici della Ercole Marelli. Marelli (1952) N° 3 págs. 5/22.

M. LINEAS EXPERIMENTALES

(80) C. F. WAGNER: Corona considerations on high-voltage lines and design features of Tidd 500-kV test lines. Trans. A I E E vol. 66 (1947).

(81) P. SPORN: Field surge testing of extra-high-voltage lines. Electr. Engng. vol. 72 (1953) N° 4 págs. 287/88.

- (82) P.SPORN: Transmission of electric power at extra high voltage. Transactions A I E E vol. 66 (1947).
- (83) R.L.TREMAINE: Instrumentation and measurement, Tidd 500-kV lines .Transactions A I E E vol. 66 (1947).
- (84) W. W. LEWIS: Some transmission line tests. Transactions A I E E vol. 40 (1921) págs. 1079/119 y 1302/08.
- (85) J.S.CARROLL: Corona loss measurements on a 220-kV 60-cycle 3-phase experimental line. Transactions A I E E vol.50. marzo 1931 págs. 36/43.
- (86) R.E.BARTENSTEIN: Einweihung der 400 kV-Forschungsanlage in Mannheim-Rheinau. E T Z vol 73.(1952) págs.297/98.
- (87) Nuovo impianto sperimentale a 500 kV. Quaderni Studi Notizie vol.9 (1953) N° 144 pág. 244.
- (88) P.GEISER: Der Einfluss der Witterung auf die Koronaverluste von Hochspannungs-Leitungen. BBC-Mitt.vol.30 (1943) págs. 250/55.
- (89) P.AILLERET: 500 kV experimental station at Chevilly. Results of a year's tests. CIGRE (1948) informe N° 410.
- N. LINEAS INDUSTRIALES**
- (90) E.STENKVIST: The transformers for the Swedish 380 kV network.ASEA Journal vol. 26 (1953) N° 5 págs. 71/86.
- (91) B.HANSEN: The first 380 kV power cable in Sweden. ASEA Journal vol. 26 (1953) N° 5 págs. 87/96.
- (92) F.STUMPF: Die 400-kV Energieübertragung Kujbyschew-Moskau. Bull.Schweiz.Elektr.Verein. vol43. (1952) N° 24.págs.993/94.
- (93) B.C.Electric completes 345-kV line.Electrical World vol. 139 (1953) N° 4 pág. 123.
- (94) A.RUSCK The Swedish 380 kV system. CIGRE (1952) informe N° 404.
- (95) 380 kV power-transmission system in Sweden.Engineering vol.174 (1952) N° 4533 págs. 75/50 y 4534 págs.781/84.
- (96) 275 kV transformer for supergrid.BTH Activities vol. 24 (1953) N° 2 págs. 44/47.
- (97) The Swedish 380 kV system in operation.ASEA Journal

vol. 25 (1952) N° 4 pág. 43.

(98) Sites on Ohio River selected for largest generating stations. *Electric Engng.* vol. 72 (1953) N° 1 pág. 98.

(99) E. STENKVIST: Voltage testing of the first 380 kV transformers. *ASEA Journal* vol. 25 (1953) N° 4 págs. 67/69.

CAPITULO XI. TABLAS NUMERICAS

TABLA 1/1. Relación entre las tensiones nominales y las tensiones de ensayo según el Comité Electrotécnico Internacional (10~~X~~).

Tensión nominal	kV	60	85	110	130	220
Ensayo a 50 Hz durante 1 min	kV	140	180	220	260	440
Ensayo con onda 1 x 50 μ s	kV	325	450	550	650	1050

TABLA 2/1. Características de los generadores de impulso de tensión de cuatro columnas construídos por la Westinghouse. Capacitores de 100 kV y 250 nF. La capacidad total y la energía acumulada pueden ser dobladas, instalando dos capacitores por etapa.

Tensión nominal	Número etapas	Capacid. descarg.	Energía descarg.	Altura total	Distancia de seguridad
kV		nF	kWs	m	m
800	8	31	10,0	3,6	1,8
1000	10	25	12,5	4,1	2,4
1200	12	21	15,0	4,6	3,0
1600	16	16	20,0	5,6	3,7
2000	20	13	25,0	6,6	4,9
2400	24	10	30,0	7,6	6,1
3000	30	8	37,5	9,2	7,3

TABLA 2/2. Características de los generadores de impulsos de tensión de dos columnas de construcción Metropolitan - Vickers. La tensión de carga (ambas polaridades) de 167 kV puede ser aumentada hasta 175 kV. La energía de descarga se duplica o triplica empleando unidades de cuatro o seis columnas.

Tensión nominal	Número etapas	Capacidad etapa 160 nF		Capacidad etapa 75 nF	
		Capacid. descarg.	Energía descarga	Capacid. descarg.	Energía descarga
kV		nF	kVs	nF	kWs
500	3	53,3	6,7	25,0	3,1
670	4	40,00	8,9	18,8	4,2
830	5	32,0	11,1	15,0	5,2
1000	6	26,7	13,3	12,5	6,3
1170	7	22,9	15,6	10,7	7,3
1330	8	20,0	17,8	9,4	8,4
1500	9	17,8	22,0	8,3	9,4
1670	10	16,0	24,2	- -	- -
1830	11	14,5	24,4	- -	- -
2000	12	13,3	26,7	- -	- -

TABLA 2/3. GENERADORES DE IMPULSOS DE TENSION INSTALADOS EN LABORATORIOS UNIVERSITARIOS

UNIVERSIDAD	LOCALIDAD	AÑO	C A P A C I T O			TENSION TOTAL kV	kws
			Nº	kV	nF		
Technische Hochschule	Viena/Austria	1933	10	100	20	1000	1
Instituto Técnico	Bienne/Suiza	1935	3	100	7	300	
Eidgen, Technische Hochschule	Zurich/Suiza	1945	8	125		1000	25
Ecole d'Electrotechnique	Le Locle/Suiza	1946	3	120		360	1
Escuela Superior Técnica	Praga/Checoosl.	1947	4	50		200	1
Escuela Técnica Montefiore	Liege/Bélgica	1949	12	100	250	1200	15
Fouad Ist University	El Cairo/Egipto	1950	8	175		1400	16
Escuela Superior Técnica	Turquía	1951	6	184		1100	12
Sección Técnica Universidad	Bruselas/Bélgica	1952	8	192		1550	19
Escola Politécnica	Sao Paulo/Brasil	1952	16	150	12	2400	35
Purdue University	Lafayette/USA		33	100		3300 200 50	
Facultad de Ingeniería	Montevideo/Uruguay	1952				1000	
Indian Institute of Science	Bangalore/India	1952	30	100	330	3000	50
Liverpool University	Liverpool/Inglaterra	1940	8	125	25	1000	12,5

TABLA 2/4. Generadores de impulsos de tensión instalados en laboratorios industriales

COMPANIA	LOCALIDAD	CAPACITORES				Energía kMs
		AÑO	Nº	kV	µF	
Ateliers Construct. Electr. Delle	Lyon/Francia	1933	8	125	30	
Cie. Gén. Electro-Céramique	Paris/Francia	1933	106	25	500	
Association Suisse Electriciens	Zürich/Suiza	1935	13	100	130	
Kabelwerke Brugg	Brugg/Suiza	1935	6	165	17	
Fabrique de Porcelaine	Langenthal/Suiza	{ 1935 1942	{ 5 5	{ 80 120	{ 4 -	{ 400 600
Cortaillod Electr. Cable Works	Cortaillod/Suiza	1937	6	200	14	1200
Maschinenfabrik Oerlikon	Zürich/Suiza	1952	16	150	190	2400
KEMA Porcelain Mfg. Co.	Amnhem/Holanda	1947	85	37,5	540	3200
Emil Haefely	Basilea/Suiza	{ 1936 1948	{ 10 12	{ 80 125	160	{ 800 1500
Ansaldo-San Giorgio	Genova/Italia	1939	14	142	130	2200
Terni	Roma/Italia	1938	8	125	250	1000
Sprecher & Schuh	Aarau/Suiza	{ 1942 1948 1951	{ 6 4 12	{ 180 62 167	30	{ 1080 250 2000
Ateliers de Sécheron	Ginebra/Suiza	1942	8	125		1000
Bratislava Cable Works	Bratislava/Checosl	1943	4	375		1500
Isolawerke	Breitenbach/Suiza	1945	8	125		1000
Ceskomoravske Strojizny	Praga/Checosl.	1947	16	125		2000

COMPANIA	LOCALIDAD	AÑO	Nº	kV	nF	Tensión total kV	Energía kWh
Bruce Peebles & Cº	Edimburgo/Ingl.	1947	12	80		1000	8
Kobenhavns Belysningsvaesen	Copenhague/Di-nam.	1948	6	84		500	3
Ministerio de Electrificación	Belgrado/Yugoeslav.	1948	6	84		500	3
Electro-Cerámica Gaia	Gaia/Portugal	1949	6	84		500	3
Electricité de France	París/Francia	1949	10	225		2250	45
Skodovy Zavody	Praga/Checoesl.	1949	4	62		250	1
Soulé	Bagnères/Francia	1950	16	63		1000	10
Le Transformateur	Petit-Quévilly/Francia	1950	12	84		1000	10
Atel.Constr.Electr.Jeumont	Jeumont/Francia	1950	10	225		2250	23
Porcelanas Giral	Madrid/España	1950	6	84		500	3
Industria Eléctrica F.B.Delgado	Madrid/España	1950	12	92		1100	7,2
Ceramic Industry	Laufen/Suiza	1950	6	84		500	1,2
Cie.Electro-Industielle	Fourcambault/Francia	1951	6	84		500	6
Cable Mfg. Co.	Le Havre/Francia	1951	8	207		1650	36
Henley	Gravesend.Inglaterra		7	167	175	1200	17
Magrini	Bergamo/Italia					3200	32
Metropolitan-Vickers	Manchester/Inglaterra	1936	12	167	10	2000	20
	terra	1953	15	167	21	2500	66,5

COMPANIA	LOCALIDAD	AÑO	Nº	KV	nP	Tensión total KV	Energía kWh
Taylor Funncliffe	Stoke-on-Trent/ Ingl.	1940	8	150	6	1200	4,3
Brit. Insulated Callenders	London/Inglat.	1950	12	167	19	2000	97,5
Micafil	Luvick/Suiza		5	300		1500	12,5
Fábrica de Porcelana	Francia					5500	60

TABLA 2/5. Generadores de impulsos de corriente en laboratorios universitarios e industriales.

	LOCALIDAD	AÑO	Capacitores		KV	KA	KWS
			Número				
Purdue University	Lafayette/U.S.A.		64		100	300	
Indian Institute of Science	Bangalore/India	1957	48		100	200	29
General Electric	Pittsfield/U.S.A.	1949			150	260	
Brown Boveri	Baden/Suiza	1943				35	5
Electricité de France	París/Francia	1950	24		200	50	60

TABLA 3/1. Valores unificados de la tensión máxima de ensayo y de la potencia para las fuentes de alta tensión a frecuencia industrial de construcción General Electric. Disposición de los transformadores en cascada según Fig. 3/4.

UNA UNIDAD		DOS UNIDADES EN CASCADA		TRES UNIDADES EN CASCADA	
Tensión kV	Potencia kVA	Tensión kV	Potencia kVA	Tensión kV	Potencia KVA
100	10	200	20	300	30
150	25	300	50	450	75
200	50	400	100	600	150
250	100	500	200	750	300
350	100	700	200	1050	300
350	1000	700	1000	1050	1000

TABLA 3/2. Relación entre la tensión y potencia de las fuentes de alta tensión a frecuencia industrial según Roth (33).

100 kV	20 kVA
400 kV	150 kVA
1000 kV	500 kVA

TABLA 3/3. FUENTES DE ALTA TENSION A FRECUENCIA INDUSTRIAL, INSTALADAS EN LABORATORIOS UNIVERSITARIOS.-

UNIVERSIDAD	LOCALIDAD	TRANSFORMADORES	TENSION KV	POTENCIA KVA	FRECUENCIA Hz
Ecole Technique	Bienne/Suiza	1	120	10	
Ecole Technique Cantonale	Burdorf/Suiza	1	150	30	
Ecole d'Electrotechnique	Le Locle/Suiza	1	120	10	
Eidg. Technische Hochschule	Zürich/Suiza	1	120	10	
Université de Lyon	Lyon/Francia	1	130	10	300
Scuola d'Ingegneria	Bologna/Italia	1	120	10	
University	Warszawa/Polonia	1	110	6,5	
Institut de Physique	Beograd/Yugoeslavia	1	120	10	
Purdue University	Lafayette/USA	1	130	15	400
Escola Politécnica	Sao Paulo/Brasil	2	600	100	60
Indian Institute of Science	Bangalore/India	4	1300	300	60
National Physical Laboratory	Teddington/Inglaterra	3	1050	1000	50
		3	1000	170	

TABLA 3/4. Características de las fuentes de alta tensión con frecuencia industrial instaladas en laboratorios industriales

COMPANIA	LOCALIDAD	Transformadores.	Tensión total kV	Potencia kVA
Brown Boveri	Baden/Suiza	2	1600	1200
Emile Haefely	Basilea/Suiza	1	150	
Metropolitan-Vickers	/Inglaterra	2	1000	
Hermesdorf-Schömburg Isolatoren	Hermesdorf/Alemania	2	1000	
Handard Telefon og Kabelfabrik	Oslo/Noruega	1	600	1200
Bureau Fédéral Poids Mesures	Berna/Suiza	2	150	35
SBB-Betriebsdirektion	Lucerne/Suiza	1	120	10
Keramische Industrie	Laufen/Suiza	1	120	10
Cie. Chemin de Fer Metropolitan	Laufen/Suiza	1	200	50
Cie. Française Thomson-Houston	Paris/Francia	1	250	50
Société Condensateurs de Trévoux	Paris/Francia	1	450	35
Canalisation Electrique St.Maurice	Paris/Francia	1	280	75
Société Electro-Cable	Paris/Francia	2	450	275
Dr. Alex Wacker	Münchenberg/	1	300	1200
Qumipol	Praga/Checoeslovaquia	3	500	100
Arbed	Esch/Luxenburgo	1	350	50
Elektrim	Varsovia/Polonia	1	500	800
Porcelanas Giralt	Madrid/España	1	120	10
		2	350	90
		1	200	50

COMPANIA	LOCALIDAD	Trans- forma- dores	Tensión kV	Potencia kVA
Metallimport	Bucarest/Rumania	1	250	100
Tréfilerie et Laminoire du Havre	St.Maurice/Francia	1	120	6
Sprecher & Schuh	Aarau/Suiza	1	110	6
Guirel Industries Eléctricas	Zaragoza/España	1	300	50
Soc Belges Fabrication Cables	Buysinghen/Belgica	1	400	400
Industria Eléctrica B.F.Delgado	Madrid/España	1	400	100
Cia.Générale Electro-Céramique	Paris/Francia	3	1000	125

Tabla 6/1. Dimensiones y distancias de seguridad de los generadores de impulsos de tensión a dos columnas y de los divisores de tensión de construcción Metropolitan-Vickers.

Tensión Nominal kV	Número etapas	Capacidad etapa 160 nF		Cap. etapa 75 nF		Div. tens.	
		Altura	Distancia seguridad	Alt.	Distancia seguridad	Alt.	Dist. Gener.
	---	m	m	m	m	m	m
500	3	1,7	1,1	1,7	1,1	1,5	0,6
670	4	2,2	1,4	2,2	1,4	2,1	0,9
830	5	2,7	1,7	2,7	1,7	3,0	1,2
1000	6	3,3	2,0	3,3	2,0	3,0	1,5
1170	7	3,8	2,4	---	---	4,0	1,8
1330	8	4,3	2,7	---	---	4,0	2,1
1500	9	4,8	3,0	---	---	4,9	2,4
1670	10	5,3	3,4	---	---	4,9	2,7
1830	11	5,9	3,7	---	---	5,8	3,0
2000	12	6,4	4,1	---	---	5,8	3,4
Area de base		2,4 x 1,5 m		2,3 x 1,2 m		0,3 x 0,3 m	

Tabla 6/2. Tensión de cresta y tensión mínima de ruptura de espinterómetros, fig. 2/28, con una de las esferas conectada a tierra, en función de la distancia de la descarga s según la norma IRAM Nº 2038. Valor mínimo medible de la tensión y distancia de seguridad según la norma inglesa BS 358-1939. Tensiones alternas a frecuencia industrial, tensiones de impulso negativas y tensiones unidireccionales negativas, temperatura del aire 20°C, presión barométrica 760 mm Hg.

Diámetro esferas	Valor de cresta			Tensión mínima- $s=0,5 d$	Distanc. segurid.
	$s=0,5 d$	$s=0,75 d$	$s=d$		
mm	kV	kV	kV	kV	m
20	31	40	46		0,25
50	67	85	98		
125	150	190	216		
250	282	352	396		2,0
500	530	660	740	100	
750	780	950	1060	150	2,7
1000	1010	1240	1370	200	3,5
1500	1470	1800	1980		6,7
2000	1930	2350	2580	400	

Tabla 6/3. Tensión de cresta y tensión mínima de ruptura de espinterómetros horizontales con las dos esferas aisladas según la norma inglesa BS 358-1939, fig. 2/27. Tensiones alternas a frecuencia industrial, de impulso negativas y unidireccionales negativas, temperatura del aire 20°C, presión barométrica 760 mm Hg.

Díametro esferas	Tensión de cresta			Tensión mínima	Distancia seguridad
	$s = 0,5 d$	$s = 0,75 d$	$s = d$	$s = 0,5 d$	
mm	kV	kV	kV	kV	m
20	31	40	46		0,25
50	67	86	98		
62,5	81	103		10	
125	150	190	216	25	1,25
250	282	352	396	50	
500	530	660	738	100	

TABLA 6/4. Dimensiones de la sala de alta tensión de algunos laboratorios universitarios industriales.

LABORATORIO	LOCALIDAD	Generador impulsos tensión KV	Fuente alta tens frec. in- dust. KV	Long m	Ancho m	Altura m
Indian Institute of Science	Bangalore/India	3000	1050	37	27	28
Purdue University	Purdue/USA	3300	600	37	15	18
Instituto de Electrotécnica	Sao Paulo/Brasil	2400	1300	30	19	
Oerlikon	Zürich/Suiza	2000	1050	30	13	14
Brown Boveri	Baden/Suiza	2400	1600	31	24	15
Sieverts Kabelwerk	/Subela	2000	510	33	13	14
General Electric	Pittsfield/USA	5100	1050	50	29	26
Laboratorio de Eva Perón	Eva Perón/Argentina	2000	--	15	13	13
" " "	" "	--	900	20	16	12