

VOLTMETRO ELECTROSTATICO ABSOLUTO*

F. Alba y A. Fernández

Instituto de Física, Universidad Nacional de México

(Recibido: Diciembre 16, 1965)

RESUMEN

Se construyó un voltmetro electrostático absoluto para medir diferencias de potencial de 1 a 74.5 KV con una precisión del orden de 0.15%. La fuerza electrostática desarrollada entre dos electrodos coplanares se mide con una balanza ordinaria. En el diseño se tomó particular cuidado en la seguridad de operación manteniendo el electrodo de alto voltaje completamente rodeado por una caja conectada a tierra. Para potenciales de corriente directa la impedancia de entrada está determinada por los soportes aislantes del electrodo de alto voltaje y es ciertamente mayor que 5000 Megohms. El instrumento es de construcción sencilla y de bajo precio, pero requiere cierta habilidad para ser operado con precisión óptima.

*Trabajo auspiciado por la CNEN.

ABSTRACT

An absolute electrostatic voltmeter was built to measure potential differences from one to 74.5 KV with an accuracy of the order of 0.15%. The electrostatic force developed between two plane electrodes is measured by a standard laboratory balance. Particular care was taken in the safety of operation, keeping the high voltage electrode completely surrounded by an earthed case. For D.C. potentials the input impedance is determined by the insulating support of the high voltage electrode and is certainly larger than 5000 Megohms. The instrument is of very simple construction and low cost, but requires a fair amount of care and skill in the operation.

INTRODUCCION

Con objeto de medir potenciales con precisión superior a la obtenida con vóltmetros comerciales y al mismo tiempo tener la posibilidad de hacer mediciones en la región de varias decenas de kilovolts, se diseñó un vóltmetro absoluto de atracción electrostática que para corriente continua tiene impedancia de entrada mayor de 5000 M Ω .

En la realización del diseño se tomó en cuenta la forma de medir con la mayor precisión posible la geometría de los electrodos, se redujo al mínimo la tracción en las partes móviles, para que la evaluación de la fuerza de atracción entre los electrodos se hiciera con la mayor precisión y reproducibilidad posible. Además se tomó en cuenta la seguridad del dispositivo procurando evitar toda posibilidad de descargas al medio que lo rodea. Por estas razones se procedió al diseño de un instrumento de electrodos planos y paralelos de sección circular como se muestra en el diagrama, pudiendo ajustar la distancia entre ellos con los tornillos aislantes, para crear un campo interelectrónico lo suficientemente alto para que produzca una fuerza de atracción grande y fácilmente medible, pero no demasiado alto como para ocasionar corona o ruptura eléctrica.

CONSTRUCCION

El electrodo de alto voltaje está constituido por una placa de aluminio de bordes redondeados y protegido en todas direcciones por la caja del instrumento firmemente aterrizada. A dicho electrodo se le comunica el potencial directamente por el cable que viene de la fuente y que pasa a través de la caja de tierra por un orificio en su región inferior, haciendo el electrodo de alto voltaje un efecto de pantalla entre el plato sensible y el agujero. Esto permite dar la flexibilidad necesaria para variar la distancia interelectrónica.

El electrodo móvil es de 200.5 mm de diámetro y está situado en un agujero de 203.0 mm, se pone especial cuidado en el centrado de este electrodo para evitar que roce, produciendo errores por fricción y para mejorar la exactitud del cálculo como se verá posteriormente. Este electrodo fué hecho de aluminio de 3 mm de espesor el cual se torneó cuidadosamente para dejar una superficie plana, reduciendo el espesor hasta 1.5 mm. Durante el maquinado el disco se soportó contra un respaldo suficientemente rígido para evitar deformaciones por la presión del buril. En el centro del disco del lado no maquinado, se pegó una varilla de aluminio con resina poxil estableciendo contacto eléctrico, entre el plato y la varilla, con suspensión de plata. La longitud de esta varilla es de 60 mm y en el otro extremo se fijó un alambre de cobre del número 32 el cual atraviesa la caja de una balanza semi-automática y va soportado en el gancho que normalmente sostiene uno de los platillos. El diámetro del platillo móvil es pequeño comparado con el diámetro total de la placa superior del voltmetro, con objeto de que el campo interelectrónico sea paralelo y pueda aplicarse la fórmula 1. Para escoger las proporciones entre el diámetro del disco de guarda y del disco móvil, se tomó en cuenta la experiencia de varios autores resumida en el libro High Voltage Laboratory Technique¹.

El alambre de cobre se estiró durante 24 horas con una carga adicional de 200 gr. La nivelación del platillo móvil se llevó a cabo fuera del instrumento, torciendo ligeramente la varilla hasta que la superficie maquinada del plato quedó prácticamente paralela al plano horizontal, cuando se encontraba suspendida del alambre. Para asegurarse que el plato móvil no estaba rozando con el disco de guarda se conectó una diferencia de potencial de 125 volts entre ambos, en

serie con una pequeña lámpara neón y una resistencia de protección de tal manera que si se cierra el circuito al tocar guarda y electrodo la lámpara enciende. Este dispositivo probó ser muy útil para vigilar el centrado y que no existieran oscilaciones en el transcurso de la medida.

PROCEDIMIENTO DE MEDICION

En el platillo de la balanza se pusieron suficientes pesas para equilibrar el exceso de masa causado por el electrodo móvil y su soporte, que resultó ser mayor que el del platillo y estribo que se removió. Ya en equilibrio la balanza con lectura cero, se ajustan los tornillos de fierro que soportan toda la estructura hasta hacer coplanar la guarda y el electrodo móvil, esto se realiza con la ayuda de un telescopio. En seguida con los tornillos aislantes se ajustó la distancia y paralelismo entre los electrodos. Antes de aplicar alto voltaje se conecta el platillo móvil a tierra. Al aparecer potencial interelectródico se carga la balanza por medio del mecanismo semi-automático y el caballete que corre sobre una escala paralela al ástil hasta volver a llevar la balanza a cero. La fuerza de atracción así medida está relacionada con la expresión:

$$F = (A/CL^2)V^2 \quad (1)$$

en la que A es el área efectiva del disco sensible, L es la separación interelectródica y V^2 la diferencia de potencial aplicada, C es una constante función de las unidades empleadas. Si medimos la fuerza en gramos, el diámetro efectivo de disco sensible y la separación interelectródica en centímetros y el potencial en kilovolts, tendremos la expresión siguiente que nos permite calcular directamente el potencial aplicado.

$$F = (d^2/2825 L^2)V^2 \quad (2)$$

Con objeto de comparar potenciales medidos en esta forma con medidores de voltaje comerciales, se eligieron 10 resistencias de precisión de 10 Megohms cuyo valor se midió a 750 volts cada una, por el cociente de voltaje y corriente medidas por un voltmetro Goerz Wien tipo 134361 y un microamperímetro puente Portametric PVB300. Se conectaron en serie aplicándoseles el voltaje total medido por el voltmetro absoluto y se midió la corriente que pasaba por ellos con precisión de cuatro cifras, con el mismo microamperímetro puente PVB. El potencial fue proporcionado por dos fuentes de corriente continua reguladas a 1 en 1000 marca Atomic Mod. 319, las cuales se conectaron en cascada a través de un transformador de aislamiento y se alimentaron de un regulador electrónico Sorensen Mod. 5000S. Se efectuaron medidas de 1000 a 8000 volts existiendo buena coincidencia entre el voltmetro absoluto y las resistencias. Se obtuvieron diferencias del orden de 5 en 10,000 en el mejor de los casos.

ERRORES DE MEDIDA

La reproducibilidad de las medidas es seriamente afectada por inestabilidad en el potencial aplicado, no obstante todas las precauciones de regulación que se tomaron. En las condiciones óptimas se pudieron reproducir puntos con diferencia de 4 en 10,000.

Siguiendo el método de cálculo de errores en este tipo de voltímetros publicado por J.M. Malpica², tenemos que si:

$$F = (d^2 V^2 / CL^2) \quad (3)$$

$$V = (L\sqrt{FC}'/d) \quad (4)$$

entonces

$$\Delta V = (\sqrt{FC}'/d) \Delta L + (LC'/2d\sqrt{F}) \Delta F - (L\sqrt{FC}'/d^2) \Delta d \quad (5)$$

La sensibilidad aumenta a campos altos y naturalmente disminuye el porcentaje de error cometido en la medida de la fuerza. Con campos del orden de 800 volts/cm. que fueron los mínimos aplicados, la sensibilidad es de 2 mgr mejorando para campos de 3.2 kilovolts/cm a 0.5 miligramos. Por ejemplo, para $V = 5.383$ KV, $L = 2.500$ cm, $F = 0.6685$ gr, $d = 20.180$ cm, el error cometido por concepto de medida de fuerza es de 2.01 volts. La distancia y paralelismo entre los electrodos se midió utilizando tres separadores metálicos rectificadas en sus extremos y uno de ellos terminado en cuchilla para apreciar la luz entre el plato sensible y la propia cuchilla. Estos separadores se midieron con un micrometro de carátula sobre platina rectificada. La medida de separación puede reproducirse con errores del orden a 1 centésimo de mm. lo cual hace que el error en la medida de potencial por este concepto sea menor de 2.15 volts. El diámetro del electrodo sensible se puede medir a un centésimo de mm. pero es necesario interpolar el diámetro efectivo por el espacio que existe entre el disco de guarda y el propio electrodo, dicha interpolación se hizo tomando la media aritmética de los diámetros. Por las observaciones hechas parece razonable asumir que por este concepto se produzca un error de un décimo de mm. ocasionado 2.67 volts de error en el potencial medido. La suma aritmética de los errores sería 8.85 volts y comparado con el potencial aplicado:

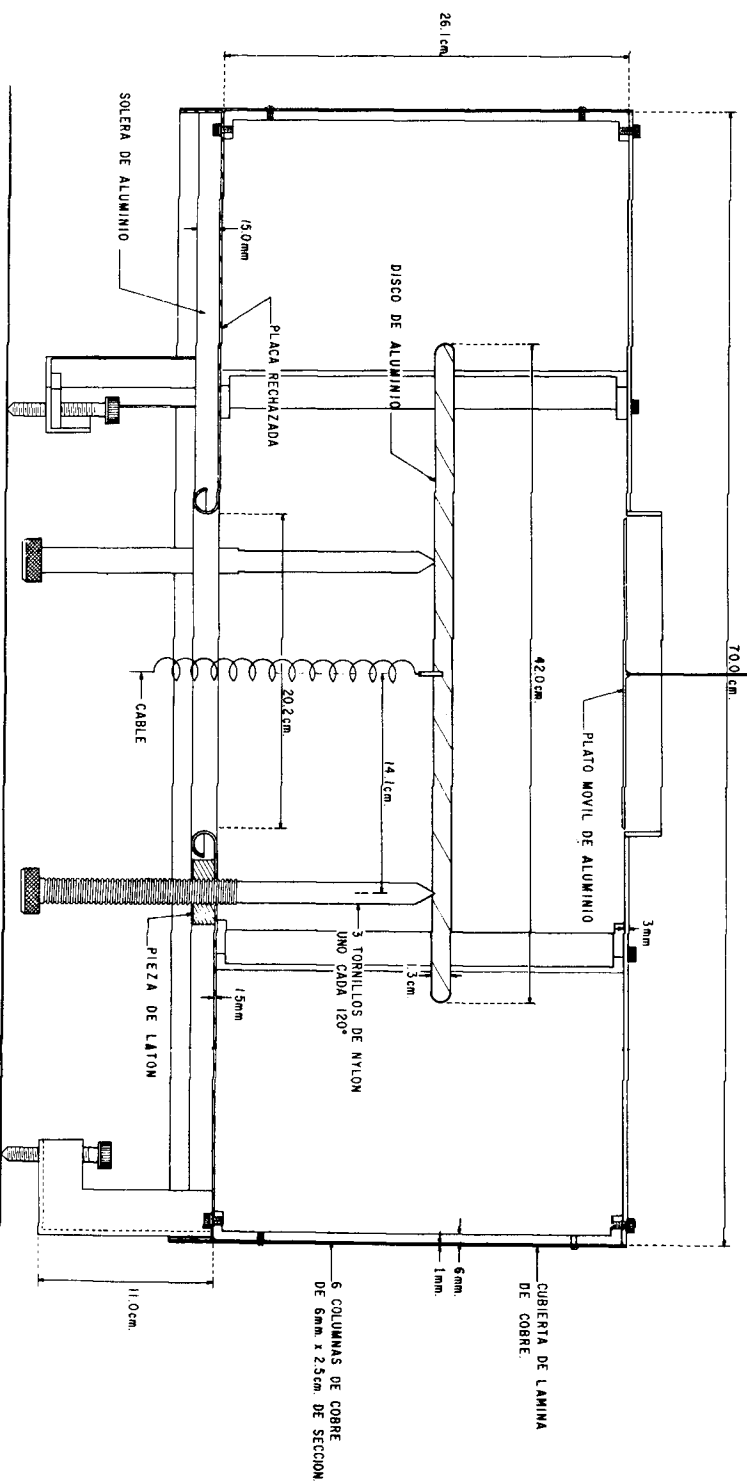
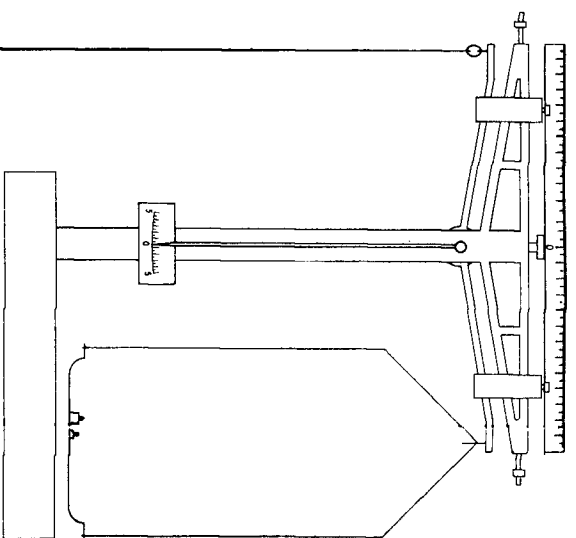
$$(\Delta V/V) = 1.65 \times 10^{-3}$$

El potencial máximo medido por el voltmetro fué de 74.5 KV. En esta región ya no se tiene punto de comparación para apreciar la exactitud comparada y solo se puede trabajar con los errores calculados. No se aumentó el potencial más allá de 74.5 KV por no disponer de una fuente regulada a mayores voltajes, por lo que no sabemos el voltaje máximo que queda aplicarse.

REFERENCIAS

1. J.D. Craags and J.M. Meek, High Voltage Laboratory Technique Butterworths (1954)
2. J.M. Malpica, Rev.Sci. Instr. **26**, 333 (1955).

Esta página está intencionalmente en blanco



VOLTMETRO ABSOLUTO



Esta página está intencionalmente en blanco