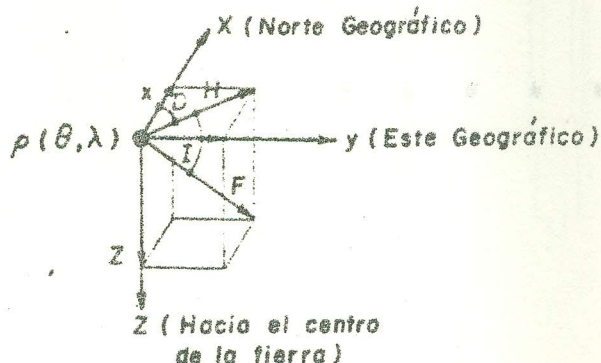


LA BOBINA EXPLORADORA Y LA INCLINACION MAGNETICA

Alejandro Godínez*

Dado que el Campo Magnético Terrestre es una magnitud vectorial, éste, como todas las magnitudes vectoriales, es susceptible de descomponerse en varias componentes relativas a un Sistema de referencia. La finalidad de este trabajo consiste en describir los principios de operación en los que se basa la determinación de una de ta-

les componentes, cuando el Campo Magnético Terrestre es referido a un Sistema Geográfico local como el mostrado en la figura No. 1. La componente a la que se hace referencia, es la *Inclinación Magnética* (I) misma que representa el ángulo formado entre el Vector de Campo total y la componente Horizontal del mismo (Ver figura No. 1).



- x = Componente en la dirección del Norte Geográfico
- y = Componente en la dirección del Este Geográfico
- z = Componente Vertical
- H = Componente Horizontal
- F = Intensidad total del C.M.
- D = Declinación Magnética
- I = INCLINACION MAGNETICA
- θ = Colatitud Geográfica
- λ = Longitud Geográfica

FIGURA No. 1

El equipo necesario para llevar a cabo la Observación consiste básicamente, de un Inductor Terrestre (Bobina) y un Galvanómetro de tipo Balístico interconectados.

Descripción del equipo y antecedentes históricos

Inductor Terrestre.- Es una Bobina montada en un bastidor provisto de manibela (para

hacer girar la bobina), limbo con vernier horizontal y vertical, y tripie.

Bobina.- Es un conjunto de espiras (de forma geométrica cualquiera) de hilo conductor, que tienen la propiedad de estar contenidas en una distancia mucho menor, comparada con su diámetro (Ver figura No. 2).

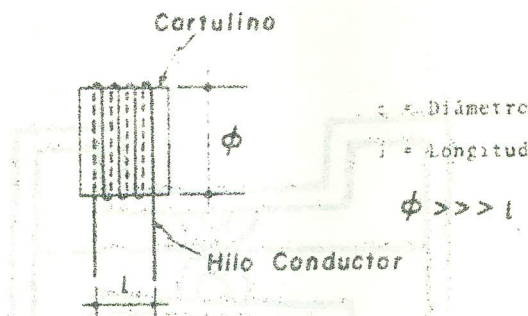


FIGURA No. 2

Galvanómetro.- Es un dispositivo que sirve para medir intensidades de corriente del orden de los microamperes.

El primer Galvanómetro fué ideado por Hans Christian Oersted, y consiste en una aguja imantada colocada atrás de un conductor por el que circula la corriente que se desea medir (En el reposo, es decir cuando no hay circulación de corriente, la guja y el conductor están alineados en la dirección Norte-Sur, según se indica en la figura No. 3. a), siendo una medida de la Intensidad de corriente, la Deflexión observada en la aguja (Ver figura No. 3). Posteriormente

William Thomson (Lord Kelvin) lo modificó, colocando la guja imantada en el centro de una bobina fabricada con el material conductor empleado en el dispositivo de Oersted (Ver figura No. 4) obteniendo una mayor sensibilidad en el instrumento, del orden de $10^{-10}A$ y menores. Tiempo después, arribaron los Galvanómetros de cuadro (Bobina, construida con material conductor) móvil o pivotado, girando alrededor de un eje en el interior de un Campo Magnético generado por un imán permanente (Ver figura No. 5), éste tipo de dispositivos son conocidos como Galvanómetros tipo D'Arsonval.

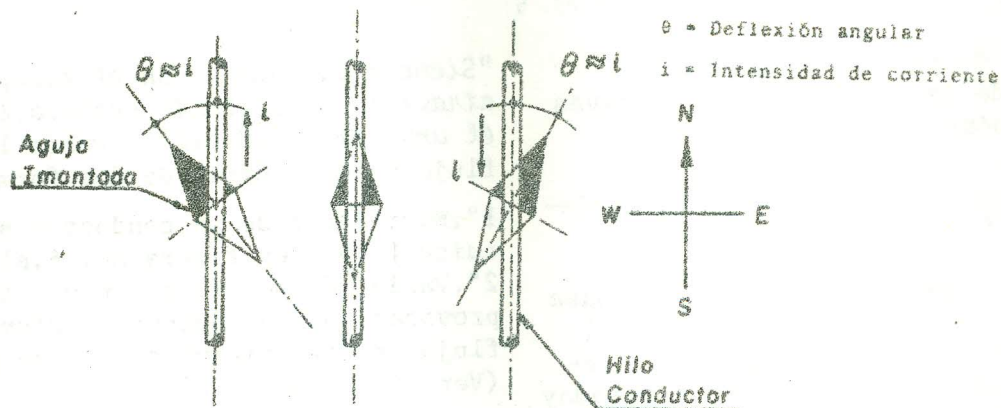


FIGURA NO. 3

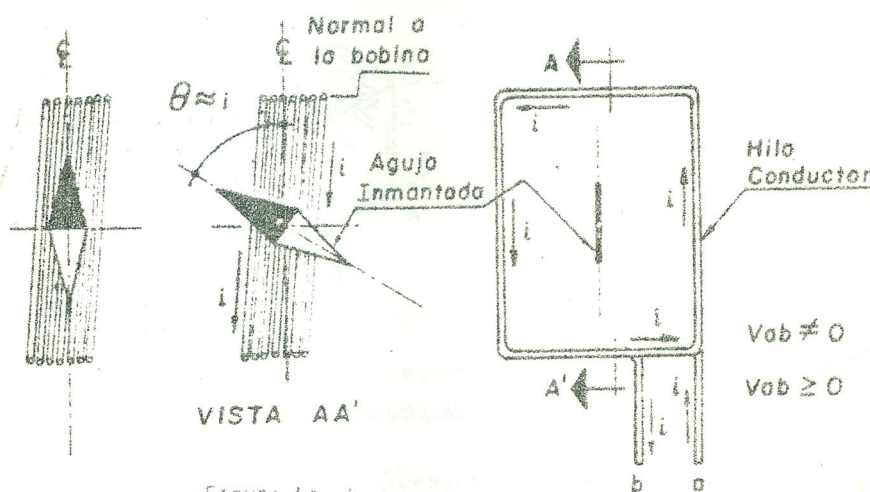


FIGURA NO. 4

El Galvanómetro empleado en la obtención de la Inclínación Magnética, es uno de tipo Balístico, el cual es una variante de los del tipo D'Arsonval, y éstos miden la cantidad de electricidad o carga eléctrica transportada por una corriente de corta duración, esto es, mide:

$q = \int i \cdot dt$ en lugar de $i =$ Intensidad de Corriente

En este dispositivo, la Desviación máxima es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por él, esto es:

$$\phi = \frac{1}{C} q$$

donde:

$\phi =$ Desviación observada

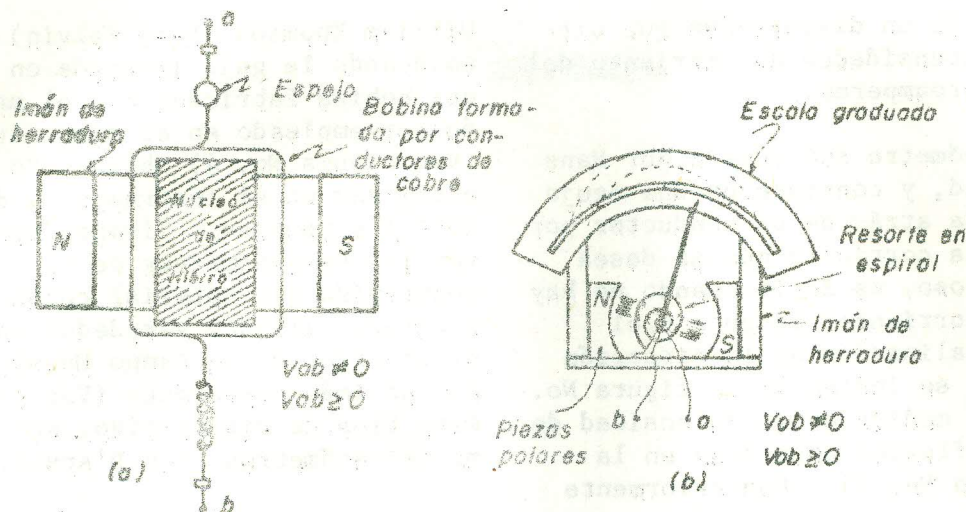


FIGURA No. 5

C^* = Constante de proporcionalidad

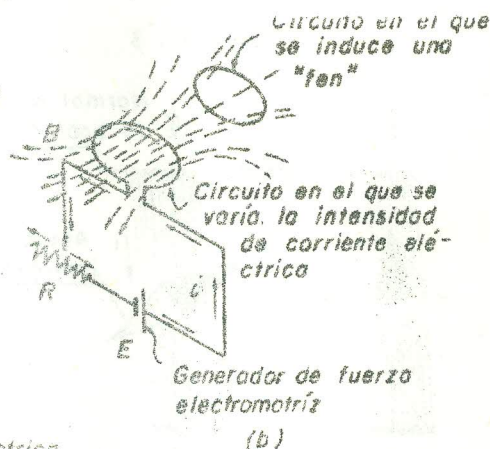
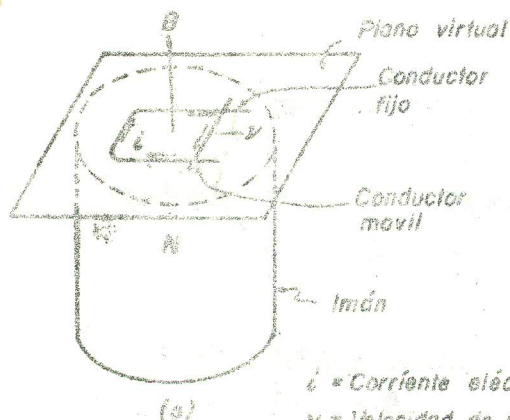
q = Cantidad de carga desplazada a través del Galvanómetro.

Principios de operación empleados en la determinación de I

El principio de operación en el que se basa la obtención de la Inclínación Magnética, mediante el Galvanómetro y el Inductor terrestre interconectados, es la Ley de Faraday la cual establece lo siguiente:

"Siempre que varía con el tiempo el flujo que atraviesa un circuito cerrado, se produce en él una fem** inducida". Donde la variación del flujo puede ocurrir de dos formas que son:

- 1°. Movimiento de un conductor sobre un circuito fijo (Ver figura No. 6.a).
- 2°. Variación del flujo en un circuito fijo, provocado por el aumento o disminución del flujo en otro circuito cercano al primero (Ver figura No. 6.b).



- i = Corriente eléctrica
 v = Velocidad de desplazamiento
 R = Resistencia
 E = Fuerza electromotriz
 B = Densidad de flujo

FIGURA No. 6

* La constante de proporcionalidad se encuentra experimentalmente, observando la desviación ocasionada por el paso, a través del Galvanómetro, de una carga conocida tal como la de un Capacitor de capacitancia conocida, cargado a una diferencia de potencial también conocida.

** fem = fuerza electro-motriz.

La expresión matemática del enunciado anterior es la siguiente:

$$\epsilon = Blv \sin \theta \cos \phi = - \frac{d\phi}{dt}$$

1er caso

2° caso

Donde:

ϵ = fem

B = Inducción Magnética o Densidad de Flujo

l = Longitud del conductor

v = Velocidad de desplazamiento del conductor.

θ = Angulo formado entre el conductor y las líneas de fuerza.

ϕ = Angulo formado entre el vector velocidad y la normal al plano determinado por el conductor y el campo.

Φ = Flujo Magnético.

Para el caso de una espira girando alrededor de un eje de rotación perpendicular a un campo magnético (Ver figura No. 7), la fuerza electromotriz inducida, puede calcularse a partir de la derivada del flujo que atraviesa el cuadro de la espira, o bien, por medio de las velocidades de sus lados perpendiculares al Campo Magnético.

Si calculamos la "fem" generada por la rotación de la espira señalada en la figura anterior, a partir de las velocidades de sus lados perpendiculares a las líneas de fuerza, se tiene:

$$v = w \frac{m}{2}; \text{ donde:}$$

v = Velocidad tangencial de los lados 12 y 34 de la espira

w = Velocidad angular del cuadro

m = Anchura del cuadro de la espira

$$\epsilon = Blv \sin \theta \cos \phi; \text{ pero } \theta = 90^\circ$$

por lo tanto:

$$\epsilon = Blv \cos \phi = \frac{1}{2} Blwm \sin \alpha$$

ya que según se observa de la figura No. 7 que $\cos \phi = \sin \alpha$

Puesto que cada lado del cuadro perpendicular a las líneas de fuerza genera una fem y éstas están en serie según se indica en la figura No. 8, se tiene que la fem total presente en la espira valdrá:

$$\epsilon = Blwm \sin \alpha; \text{ pero } lm = A =$$

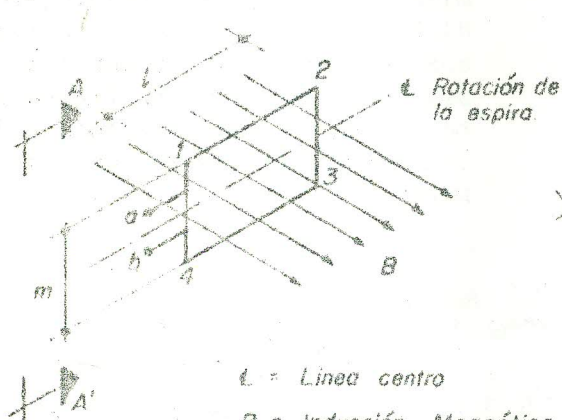
Area del cuadro de la espira.

Por lo tanto:

$$\epsilon = BAw \sin \alpha$$

Ahora bien, si se tratara de una bobina de N espiras, se tendría una fem total igual a:

$$\epsilon = NBAw \sin \alpha$$



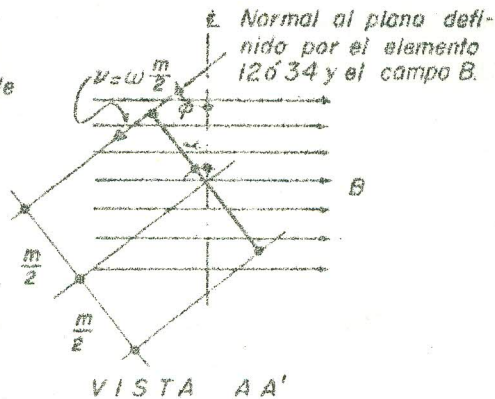
l = Línea centro

B = Inducción Magnética

l = Longitud de la espira

m = Anchura de la espira

v = Velocidad



VISTA AA'

FIGURA No. 7

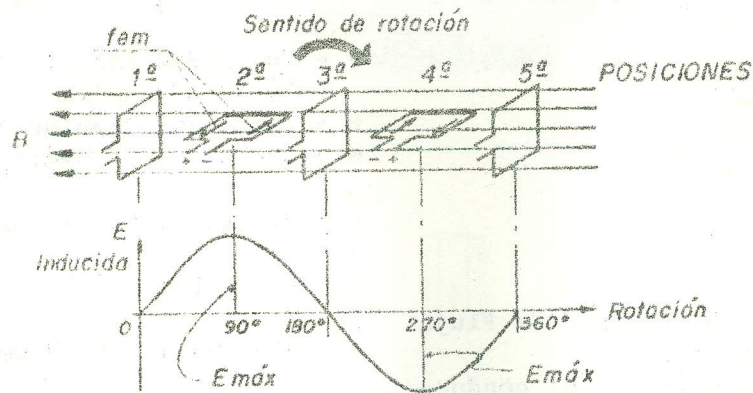


FIGURA No. 8

Según ésta ecuación, el valor de la fem es máxima cuando el plano de la bobina es paralelo al campo, y nula cuando es perpendicular al mismo, ésto es:

$$\epsilon = \epsilon \text{ máx. ; cuando } \alpha = 90^\circ$$

por tanto $\epsilon \text{ máx.} = NBA\omega$

también se tendrá $\epsilon = 0$; cuando $\alpha = 0^\circ$

Además, si la velocidad angular de la bobina es constante, se tiene que:

$\alpha = \omega t$; pero ω = velocidad angular = frecuencia angular = $2\pi f$

Donde:

f = frecuencia cíclica

Por tanto se tiene que:

$$\alpha = 2\pi f t$$

Por todo lo anterior, la expresión que proporciona el valor instantáneo de la fem de una bobina en rotación, puede escribirse finalmente como:

$$\epsilon = \epsilon \text{ máx. sen } 2\pi f t$$

Si los extremos de la espira señalados con los puntos "a" y "b" en la figura No. 7, fueran conectados cada uno a la mitad de un anillo partido llamado "colector" o "conmutador" según se indica en la figura No. 9, la salida de onda sinusoidal observada en la figura No. 8, cambiaría a la mostrada en la figura No. 9, puesto que en el instante en que se invierte en el cuadro de la espira la fem, se intercambiarán las conexiones al circuito exterior, y la fem entre las terminales, aunque pulsante, tiene siempre el mismo sentido. Finalmente, podemos concluir diciendo que si se conecta a un circuito cualquiera el conmutador (mediante carbones) según se indica en la figura No. 9, por éste circulará una corriente pulsante o directa), generada por la fem calculada anteriormente.

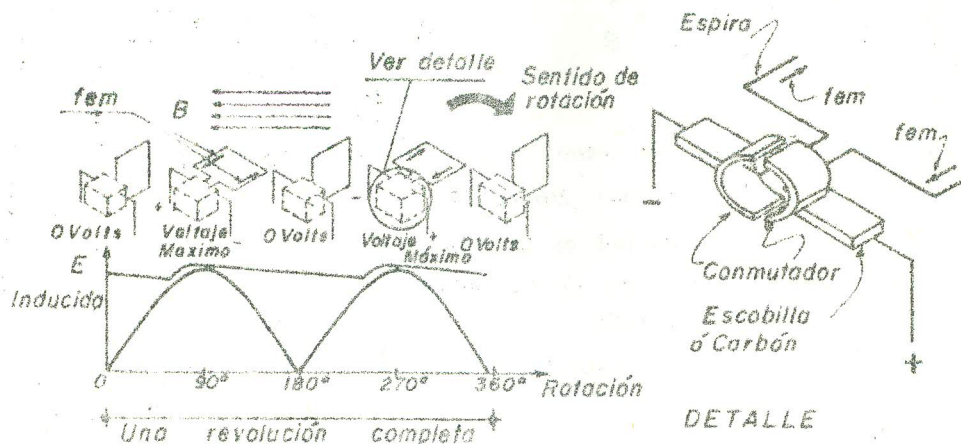


FIGURA No. 9

Descripción del método seguido en la obtención de I

En este momento estamos en la posibilidad de comprender lo que ocurre cuando interco-

nectamos un Galvanómetro con una Bobina en rotación (Inductor Terrestre), con su eje de rotación paralelo a un Meridiano Geomagnético*, tal como se ilustra en la Figura No. 10.

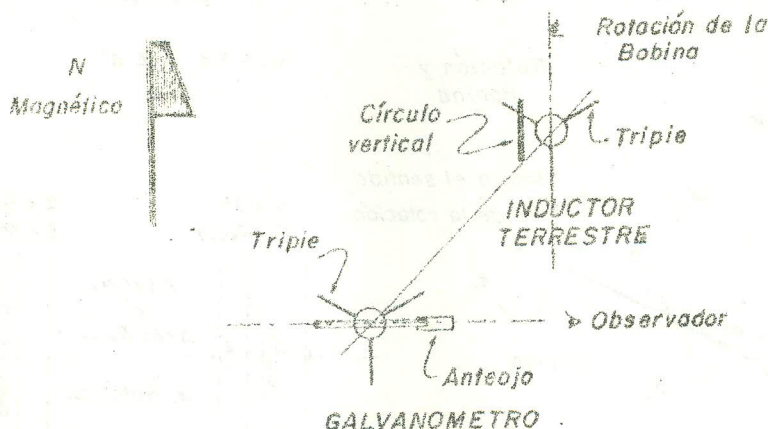


FIGURA No. 10

Antes de entrar en detalle con el método, es importante mencionar que el meridiano magnético del punto en donde se pretende obtener la Inclinación Magnética, se localiza con la ayuda de una aguja imantada (Declinómetro) colocada en dicho punto. Los detalles de operación No serán descritos, pues no es la finalidad de este trabajo.

Inicialmente el eje de rotación de la bobina se encuentra en una posición horizontal, y a partir de esta posición se hace girar (mediante un dispositivo mecánico) siempre en el mismo sentido, y si en esta primera posición el eje de rotación No es colineal con las líneas de fuerza, la componente del cuadro de la bobina perpendicular al campo, las Cortará con cierta velocidad, engendrándose de esta manera una fem inducida por movimiento (Ver Figura No. 11).

De la Figura No. 11 se observa que el área A sen θ del plano de la bobina, va a cortar líneas de fuerza del campo magnético terrestre, engendrando como se dijo, una fem igual a:

$\epsilon = NBWA \sin \theta \sin \alpha$; y en consecuencia, la corriente enviada al Galvanómetro será igual a:

$i = \frac{\epsilon}{R}$; donde R = Resistencia conjunta del Galvanómetro y la Bobina.

De las expresiones anteriores se deduce que la corriente enviada al Galvanómetro será máxima para valores de $\alpha = 90^\circ$, y nula para valores de $\alpha = 0^\circ$, y la corriente instantánea quedará representada mediante la siguiente expresión:

$$i = \frac{\epsilon_{\text{máx}}}{R} \sin 2\pi ft ; \text{ donde:}$$

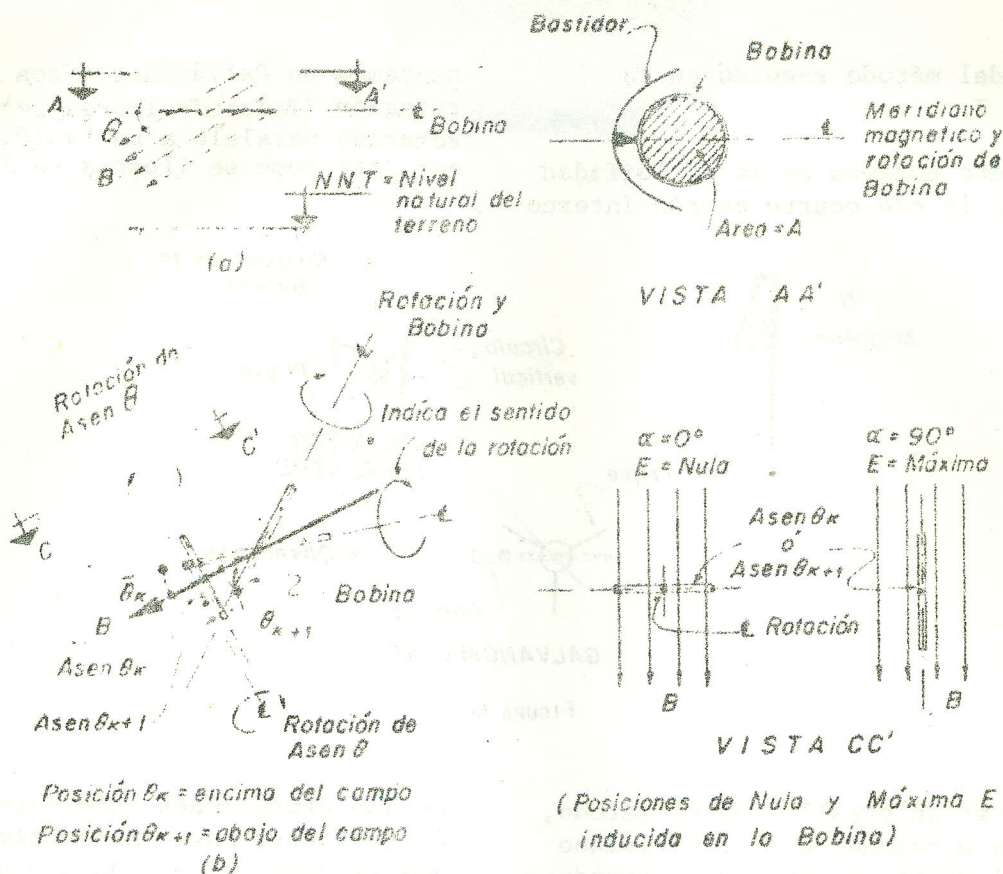
$$\epsilon_{\text{máx}}: NBWA \sin \theta$$

$$\text{y } 2\pi ft = \alpha$$

Cabe mencionar que para que exista una corriente, se debe tener una $\epsilon \neq 0$, y para que esto ocurra, el ángulo θ observado en la Figura No. 11 debe ser también diferente de cero. Por otro lado, puesto que el Galvanómetro empleado es como se dijo de tipo balístico, éste mide la cantidad de electricidad transportada por una corriente de corta duración, y éste es nuestro caso, pues la fem tiene la misma duración que la rotación de la bobina, por tanto, la cantidad de electricidad transportada por esta corriente será igual a:

$$q = \int i dt$$

*Meridiano Geomagnético. - Son los semicírculos máximos que unen los Polos Geomagnéticos.



Nota: Obsérvese que el sentido en el que se pone a girar la bobina, NO cambia en la posición θ_k y en la θ_{k+1} , pero este sentido SI cambia, cuando se toma en cuenta la rotación de la PROYECCION DE LA BOBINA SOBRE UN PLANO PERPENDICULAR AL CAMPO, es decir que se tiene un sentido en la posición θ_k y otro en la posición θ_{k+1} . Lo anterior significa que el SENTIDO de la fem CAMBIA, de ahí que se observe a través del anteojo del Galvanómetro lo mostrado en la figura No. 13.b.

FIGURA No. 11

Y es precisamente esta carga, la que ocasiona una Desviación Angular en el espejo que se encuentra suspendido en el interior del Galvanómetro, la cual se registra en el anteojo del mismo. Dicha desviación angular está dada por la relación:

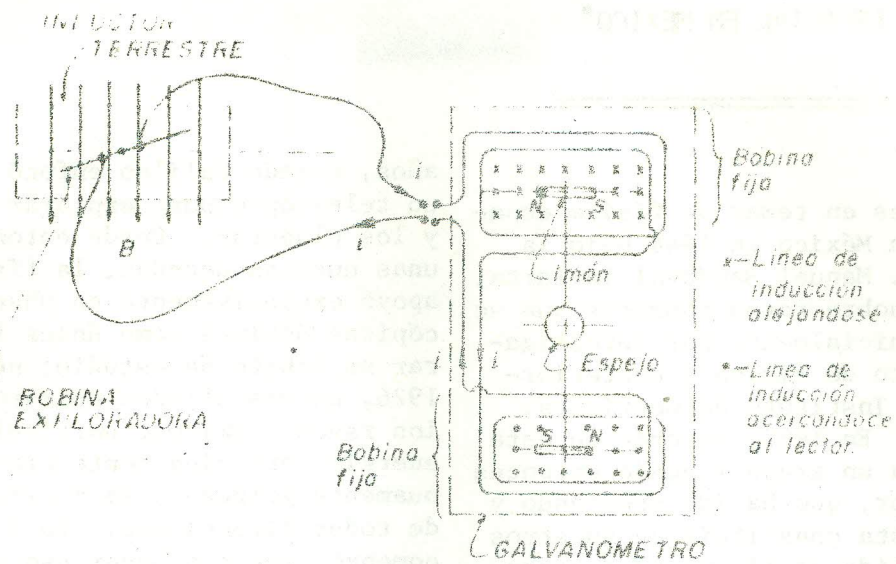
$$\phi = \frac{1}{C} q$$

La representación esquemática de lo anterior se ilustra en la Figura No. 12.

Finalmente podemos resumir lo siguiente:

Para cada inclinación θ que se tenga entre el eje de rotación de la bobina y el campo (representado por líneas de fuerza) se observará a través del anteojo del Galvanómetro, una deflexión del centro del espejo,

respecto de la marca central del anteojo, según se indica en la Figura No. 13. La inclinación del eje de rotación de la bobina se va modificando mediante tornillos de ajuste colocados en el limbo del Inductor Terrestre (recuerde que en él se encuentra la bobina), y en cada nueva posición se comprueba la existencia de una fem engendrada por el movimiento de la bobina, y si en una de estas posiciones los centros del espejo y el anteojo coincidieran, se puede afirmar que el eje de rotación de la bobina y las líneas de fuerza son colineales y por tanto la lectura observada en el Vernier vertical del Inductor Terrestre equivaldría al ángulo de Inclinación Magnética.



En el esquema se puede observar que los imanes superior e inferior, se alinearán en la dirección de las líneas de campo, originando una TORSION en el hilo que los sostiene, y como consecuencia una DEFLEXION en el espejo. Lo anterior ocurre sólo cuando $I \neq 0$.

FIGURA No. 12

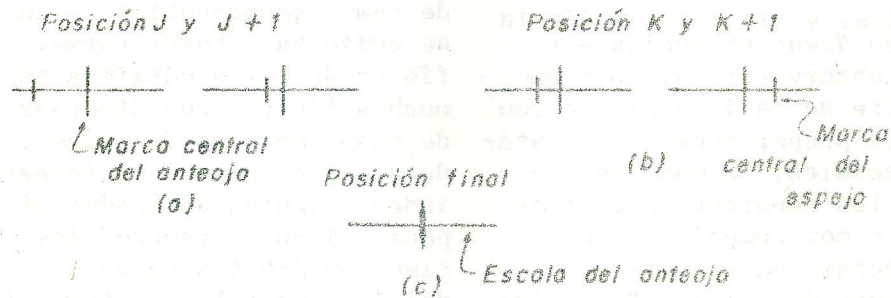


FIGURA No. 13