

EL CAMPO MAGNETICO EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

Alejandro Godínez Luna*

Analizando el campo magnético en cualquier punto de la superficie terrestre se observa que éste presenta variaciones temporales y espaciales. Al estudiar este tipo de variaciones se tienen que analizar las dos componentes del campo que son el campo magnético interno y el campo magnético externo. A continuación se describirán brevemente estas componentes:

I. CAMPO MAGNETICO INTERNO

El campo magnético de origen interno, por su contribución al campo magnético en conjunto, es el más importante, pues representa entre el 97% y 99% del total y es a su vez la resultante de dos campos distintos que son el campo geomagnético y el campo cortical.

1) Campo Geomagnético:

El campo geomagnético equivale al de un imán de barra hipotético, con momento magnético de alrededor de 8.0×10^{25} u.e.m. colocado a cierta distancia del centro de la tierra, con su eje ligeramente inclinado respecto del eje de rotación de la misma, siendo la intensidad de este campo en la superficie terrestre variable, dentro de un rango que va de aproximadamente 30000 nT en el Ecuador, a 60000 nT en los Polos Magnéticos, aproximadamente. Como puede verse, este momento magnético tan grande, no lo justifican los elementos ferromagnéticos de la corteza, como tampoco los elementos ferromagnéticos del núcleo (hierro y níquel con algunos materiales más densos), pues éstos se encuentran a una temperatura comprendida entre los 2000 y 6500°C, misma que es superior a la temperatura crítica o de Curie para la cual los materiales ferromagnéticos se vuelven paramagnéticos. (En el hierro la temperatura de Curie es de $1043^\circ\text{K} = 770^\circ\text{C}$). En consecuencia la hipótesis más aceptada en la actualidad es la correspondiente a la existencia de corrientes eléctricas en el cuerpo mismo de la tierra, ya

que, como es bien sabido, un campo magnético puede ser producido tanto por un imán permanente como por corrientes eléctricas. Por tanto, se puede concluir diciendo que el campo geomagnético tiene su origen muy probablemente en el interior del núcleo por las siguientes razones:

- a) alta conductividad en los materiales constituyentes
- b) movimientos convectivos en su parte fluida
- c) giro de la parte fluida en torno al eje de rotación de la tierra.

La teoría más aceptada hasta el momento, relativa a la generación del campo geomagnético es la de E. C. Bullard conocida como LA DINAMO AUTOEXCITADA, y está basada a su vez en la DINAMO DE DISCO, de M. Faraday, siendo la representación esquemática de esta última la ilustrada en la figura 1.

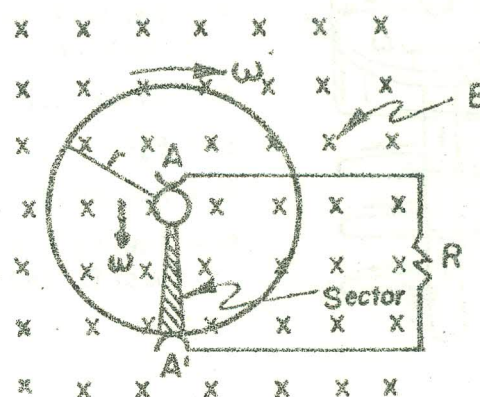


FIGURA 1

La figura 1 representa un disco metálico de radio r , girando alrededor de un eje que pasa por su centro, ambos inmersos en un campo magnético uniforme perpendicular al plano de la figura. Las escobillas o carbones A y A' hacen contacto deslizante con el eje y el borde de disco y están conectadas exteriormente a una resistencia R. La fuerza electromotriz inducida en cada sector diferencial del disco (como el mostrado en la figura) está dada por:

* Grupo de Geomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM,
Dibujos: Selma Campos y Mauro Pérez

$$E = \frac{B\omega r^2}{2}$$

donde:
 E = fem

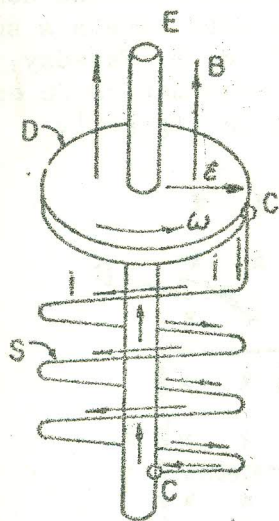
B = Densidad de Flujo o Inducción Magnética

ω = Velocidad angular

r = Radio del disco.

Dado que todos los sectores diferenciales del disco, se encuentran conectados en paralelo, el disco entero puede considerarse como un origen de "fem" (fuerza electromotriz), cuya magnitud se obtiene mediante la expresión anterior, y su sentido mediante la regla de la mano derecho o mediante la ley de Lenz, siendo para este caso particular del eje hacia el borde, según se señala en la figura 1.

En función de lo anterior el principio de la dínamo autoexcitada de E. C. Bullard se ilustra en la figura 2.



donde:

B = Inducción Magnética o Densidad de flujo

C = Escobillas o carbones

D = Disco circular

E = Eje

S = Solenoide

E = Fuerza electromotriz inducida

FIGURA 2

Según puede observarse en la figura 2, el disco está sujeto al eje y forma un sistema móvil respecto del solenoide, el cual se encuentra fijo, y ambos están inmersos en un campo magnético uniforme de densidad de flujo B y con dirección paralela al eje del dispositivo. Por lo mencionado anteriormente, se tiene que la fem, vale:

$$E = \frac{B\omega r^2}{2}, \text{ siendo su sentido el señalado en la misma figura.}$$

Ahora bien, si los materiales de los que están hechas las partes constituyentes del dispositivo tienen una buena conductividad eléctrica, debido a la fem circulará una corriente eléctrica a través de D , S , E y D formando un circuito eléctrico cerrado, y como consecuencia de esta circulación de corriente a través del solenoide, se produce un campo magnético paralelo al campo inicial (por la ley de Ampere), dado por:

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2} \frac{N i}{\ell}; \text{ donde: } \mu_0 = 12.57 \times 10^7 \text{ wb/A.m}$$

N = Número de espiras del arrolamiento helicoidal

ℓ = longitud del solenoide.

De lo anterior se deduce que el campo inicial se ve reforzado por este último, y así el campo resultante induce una fem cada vez mayor mientras el par de fuerzas que hace girar el eje con el disco continúe actuando. De esta manera, un campo magnético pequeño generado de alguna forma, sería mantenido e incrementado mediante este tipo de dínamo con autoexcitación. El campo magnético anterior no tiende al infinito como podría suponerse y esto es debido a la resistencia eléctrica de los materiales; pero sí llega a un nivel estacionario, en el que las pérdidas se compensan con los incrementos.

Lo que sucede en la tierra no es tan simple como el modelo anterior; más bien aquí se tiene una combinación en cadena de 4 tipos distintos de dínamos impulsados por dos patrones diferentes de movimientos dinámicos que razonablemente podrían existir en el núcleo terrestre, siendo el primero de ellos el giro relativo de la parte fluida del núcleo en torno al eje de rotación de la tierra (Ver figura 3a) y el segundo los movimientos convectivos presentes en la parte fluida del núcleo como consecuencia del gradiente de temperatura entre la parte superior e inferior de éste. (Ver figura 3b).

SECCIONES TRANSVERSALES

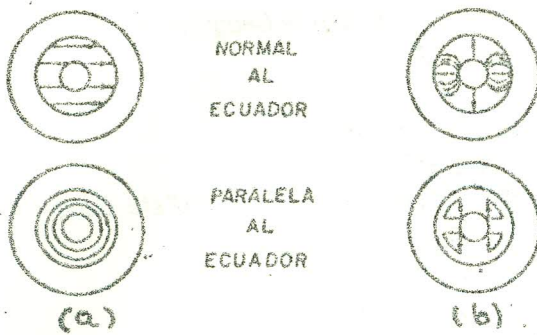


FIGURA 3

Estos movimientos dinámicos en el interior del núcleo interactúan con un campo magnético como el mostrado en la figura 4a, el cual es generado por corrientes eléctricas uniformes que circulan en dirección oeste en el núcleo, tal como sucede en el caso de una espira circular en cuyo interior circula una corriente eléctrica i (Ver figura 4b*).

El resultado de dicha interacción es el campo geomagnético, dado que al actuar el campo B_1 con el primer movimiento se generará una fem igual a $\mathcal{E}_1$ y a su vez esta fem induce un campo B_2 . Cuando B_1 interacciona con el segundo movimiento se genera una fem $\mathcal{E}_2$, la cual induce un campo B_3 . Finalmente cuando interacciona el campo B_2 con el segundo movimiento, se genera una $\mathcal{E}_3$ que in-

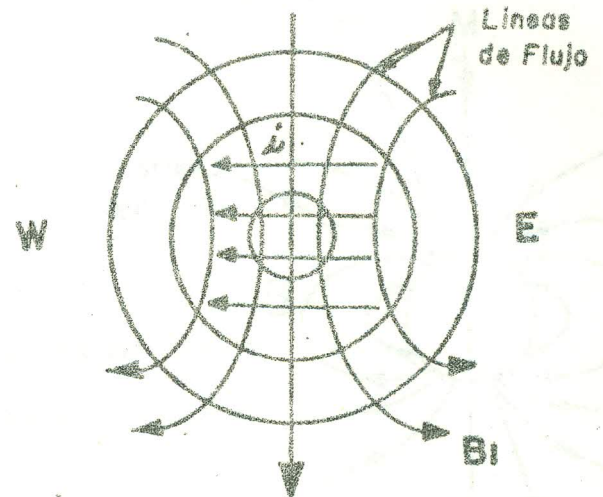


FIGURA 4a

duce un campo B_4 . Lo anterior define el comportamiento de un sistema de dínamo autoexcitante compuesto por 4 tipos de generadores y de dos tipos de motores. Cabe mencionar que sólo el campo B_1 surge del núcleo y es susceptible de medirse en superficie, en tanto que los otros tres están confinados al interior del núcleo.

Un diagrama idealizado de las líneas de inducción asociadas con el campo geomagnético, tanto en superficie como por encima de ella, sería el esbozado en la figura 5.

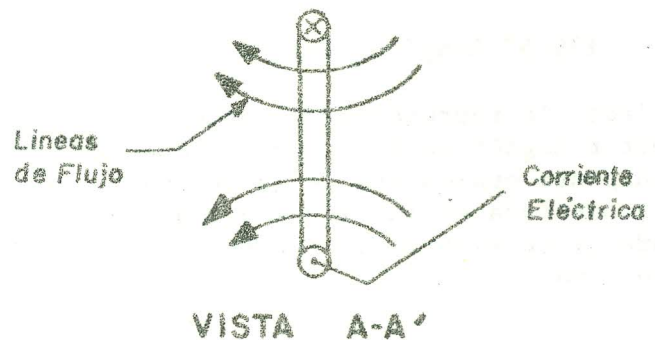
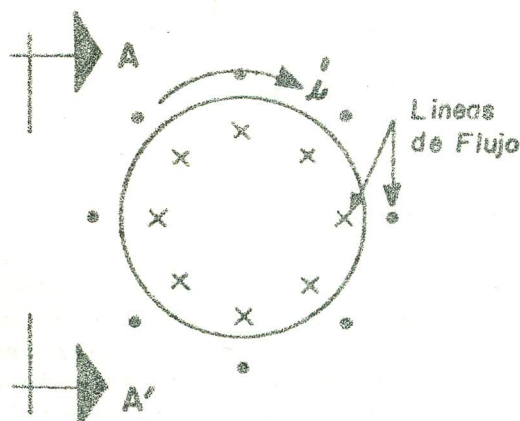


FIGURA 4b

* Notas respecto a la figura 4b: 1) Todas las líneas de inducción son líneas curvas cerradas; 2) Una cruz (x) indica que el

sentido es tal que se aleja del lector; 3) Un punto (.) indica que el sentido es tal que se dirige al lector.

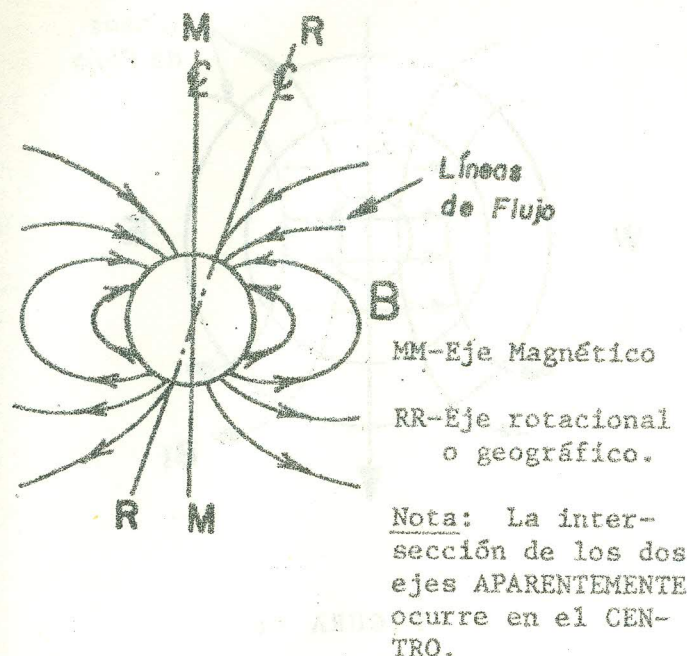


FIGURA 5

En la figura anterior se observan dos puntos, que quedan definidos por la intersección entre la superficie terrestre y el eje magnético, denominados Polos Magnéticos (dipolo excéntrico). La ubicación geográfica de éstos es variable, siendo sus coordenadas geográficas para la época de 1980 las siguientes*:

Polo Norte: 76.8° Latitud Norte (ϕ)

101.4° Longitud Oeste (λ)

Polo Sur: 65.4° Latitud Sur (ϕ)

139.5° Longitud Este (λ)

Por otro lado, la representación esquemática del vector magnético B_1 y sus componentes, en un punto cualquiera de la superficie, es la mostrada en la figura 6, la cual está basada en un sistema de referencia geográfico local.

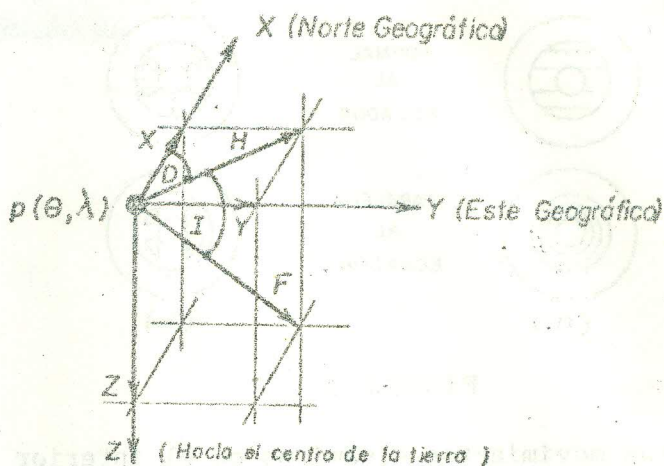


FIGURA 6

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 = Inclinación Magnética

θ = Colatitud Geográfica

λ = Longitud Geográfica.

2) Campo Cortical:

El campo cortical es llamado así porque lo generan los yacimientos de material magnetizado presentes en la corteza terrestre. En algunos lugares, la concentración de tal material es tan grande que se generan polos magnéticos secundarios, en donde la inclinación magnética tiene un valor de $\pm 90^\circ$, al igual que en los polos magnéticos que fueron definidos en la parte correspondiente al campo geomagnético.

El campo cortical es de gran interés en la prospección geofísica ya que los cambios o

* Debido a las perturbaciones magnéticas, el punto donde $I = \pm 90^\circ$ sufre pequeños desplazamientos diarios.

anomalías que presenta al pasar de un punto a otro sobre la corteza, permiten conocer la desigual distribución de los materiales en la misma. Del análisis de las cartas magnéticas, y en especial de la carta de líneas isoclínicas*, se obtiene la ubicación de los polos magnéticos secundarios producto del campo cortical.

II. CAMPO MAGNETICO EXTERNO

Actualmente el campo magnético terrestre es susceptible de medirse en forma continua en un punto en particular de la tierra mediante la instalación de un observatorio Magnético permanente en dicho punto. El registro del campo se obtiene mediante magnetogramas** y del análisis de éstos se concluye que la contribución pequeña al campo magnético terrestre proveniente de fuentes externas es debida al sol, dado que lo observado en estos registros es un incremento durante las horas en que el sol está presente.

La tesis aceptada en la actualidad y comprobada mediante satélites artificiales, que han efectuado durante un largo período de tiempo mapeos extensos del campo magnético terrestre, es la que sostiene la existencia de corrientes eléctricas generadas por la interacción entre el viento solar*** y el campo geomagnético, mismas que a su vez inducen un campo llamado Magnetosférico y es al que nos referimos cuando se habla del campo magnético externo.

Cabe resaltar que la interacción entre el viento solar y el campo magnético terrestre no sólo induce el campo magnético externo

acabado de describir, sino que también origina el confinamiento del campo magnético terrestre dentro de una cavidad llamada Cavidad Magnetosférica. En la figura 7 se muestra una representación esquemática de la concepción moderna del campo magnético terrestre total.

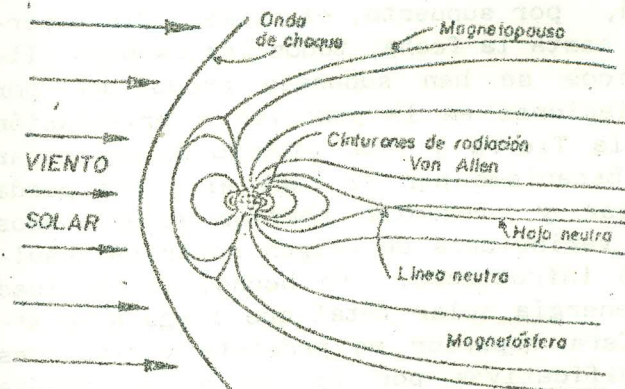


FIGURA 7

- * Isoclina.- Lugar geométrico formado por todos los puntos que presentan la misma inclinación magnética.
- ** Magnetograma.- Registro fotográfico de las variaciones del campo magnético terrestre en forma continua durante todos los días del año. Generalmente se obtiene un registro por día en los observatorios magnéticos tradicionales.
- *** Viento Solar.- Plasma de hidrógeno totalmente ionizado, cuya conductividad eléctrica es muy elevada.

* * * *

GEOCAPSULA

SORPRESAS MARCIANAS

A la luz de las exploraciones espaciales recientes, los canales de Marte resultaron ser una ilusión y los marcianos no parecen existir ni siquiera en forma microscópica. Sin embargo, la superficie marciana ha mostrado características sorprendentes, pues posee la montaña más alta que se conoce, el Monte Olimpo, tres veces más alta que el Everest, y un cañón tan profundo que hace parecer al cañón del Colorado como un rasguño de alfiler.