

TUTORIAL MAGNETISMO

Estando en pleno Agosto, parece razonable que el tutorial de hoy no trate sobre aspectos con un elevado aparato matemático o físico. Por ello, y pese a que su relación con la Ingeniería de Mantenimiento puede resultar difusa, hablaremos sobre el magnetismo terrestre, su naturaleza y características.

Obviamente para ello sí se usarán conceptos y formulaciones que sí podrían resultar de utilidad para vuestro trabajo futuro en mantenimiento, pues la propia ciencia del magnetismo surge de la observación de estos fenómenos de magnetismo terrestre.

MAGNETISMO

El magnetismo natural lo presentan ciertos óxidos de Fe, Co, Mn; siendo el primer material donde este fenómeno se observó la Magnetita (Fe_3O_4), con ese nombre por su descubrimiento en la ciudad de Magnesia.

Se entiende por imán cualquier cuerpo magnetizado, siendo los polos magnéticos las zonas donde el magnetismo se manifiesta con mayor intensidad. Se les representa por Norte y Sur porque una aguja que pudiera girar alrededor de un eje vertical dirigirá sus puntas o extremos hacia esas direcciones.

Tras multitud de teorías y estudios, hoy se sabe que el magnetismo es producido por el movimiento de cargas eléctricas, y ya no se habla de 2 conceptos independientes, electricidad y magnetismo, sino de interacción electromagnética.

MAGNETISMO TERRESTRE. DEFINICIONES.

Eje geomagnético: Eje del Imán terrestre. Forma un ángulo de $11^{\circ}30'$ con el eje terrestre.

Polos Magnéticos: Puntos en los que el eje geomagnético corta a la superficie terrestre.

- Sur Magnético: Tiera del Príncipe de Gales, Península de Boothia, Canadá ($100^{\circ}West, 70^{\circ}Norte$).
- Norte Magnético: Tierra de Adelaida, Sur de Australia. ($143 - 154^{\circ}East, 68 - 75^{\circ}Norte$)

Declinación Magnética: Ángulo que forma una aguja magnética con el meridiano de un lugar. Esta es occidental o negativa cuando el Polo Norte de el agua se sitúa al oeste del meridiano geográfico, y en caso contrario se llama oriental o positiva.

Variación Secular del Campo Magnético. Cambios en la Declinación originados por la rotación el eje magnético del imán terrestre (alrededor del eje terrestre).

Variaciones Diurnas del Campo Magnético. Cambios en la Declinación originados por el Movimiento Aparente del Sol y de la Luna, apareciendo dos máximos y dos mínimos diarios.

Isogonas: Líneas que recogen los puntos de la tierra en que es igual la declinación magnética.

- Línea de Isogona Nula pasa por el Lago Superior y la Costa Oriental de Florida, y divide a la Tierra en 2 hemisferios: el del Este o del Atlántico con declinación W, y el del Oeste o del Pacífico con declinación E.

Inclinación Magnética: ángulo que forma con la vertical del lugar una aguja magnética que puede girar alrededor de un eje horizontal. (perpendicular a la isógona).

Isoclinas: Líneas que recogen los puntos de la tierra en que es igual la inclinación magnética.

- Línea de Isoclina nula es el ecuador magnético.

Magnetosfera: parte del espacio a donde alcanzan los fenómenos magnéticos terrestres.

Homoesfera: Atmósfera homogénea (<80 Km); 78% N_2 , 21% O_2 . Compuesta por Troposfera, Estratosfera y Mesosfera.

Heterosfera: Atmósfera no homogénea (>80 Km); N_2 90 – 200Km, O atómico 200 – 1100 Km, He 1100 – 3500Km, 3500 – 10000 Km).

MAGNETISMO TERRESTRE. HISTORIA

La existencia del cambio magnético de la Tierra es conocida desde antiguo, concretamente en Occidente en el Siglo XII, aunque no se descarta su uso en culturas anteriores en China.

La declinación magnética fue observada por navegantes españoles y portugueses en los siglos XV y XVI, distinguiéndose los polos magnéticos de los geográficos.

En 1600 aparece la obra de W.Gilbert, titulada **De magnete**, en la que se describen los experimentos y teoría en base a una esfera de magnetita, afirmándose en ella por primera vez que el globo de la tierra es un inmenso imán.

En los Siglos XVII y XVIII se desarrollan los principios fundamentales del Geomagnetismo: Gesllibrand (1635, variaciones del campo magnético), Halley (mapas magnéticos 1700), Poisson (dipolo e intensidad de magnetización), Gauss (Magnetismo terrestre, 1839).

TEORÍA DE MAGNETISMO

CAMPO MAGNÉTICO

La intensidad del campo magnético terrestre es una variable vectorial. Se usa para su estudio un sistema de referencia XYZ en direcciones Norte (geográfico), Este, Nadir (sistema geográfico).

$$F = \text{Intensidad de Campo Magnético}$$

X, Y, Z componentes del campo magnético en el sistema de referencia

$$F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

por otro lado, H señala el Norte Magnético, siendo la declinación magnética (D) el ángulo que forma esta dirección con el Norte Geográfico.

$$H = \sqrt{X^2 + Y^2} \text{ (componentes según Norte Geográfico y Este)}$$

$$D = \tan^{-1} \frac{Y}{X}$$

el ángulo de inclinación (I) es el formado entre Z y la horizontal

$$I = \tan^{-1} \frac{Z}{H}$$

Para representar el Campo Magnético bastan tres cantidades:

- Madrid (1975) $F = 44050 \text{ nT}$ $D = -7,35^\circ$ $I = 56^\circ$

CARTAS MAGNÉTICAS

Los valores de F, Z, H, D, I representados sobre un mapa constituyen las cartas magnéticas:

- Isodinámicas: líneas de igual valor de F, H, Z.
- Isógonas: Líneas de igual declinación D. Ágona $D=0^\circ$
- Isoclinas: Líneas de igual inclinación I. Ecuador Magnético, $I=0^\circ$, Polos Magnéticos, $I=90^\circ$.

VARIACIONES

- Variación secular. Decenas de nT / año, aunque puede alcanzar valores de 150 n/año y para D e I valores de hasta 6- 10' / año.
- Variaciones periódicas con valores de hasta 100nT (períodos de 12 horas, 1 día, 27 días, 6 meses, 1 año).
- Variaciones no periódicas (efectos externos, tormentas magnéticas) de hasta 500 nT, y pulsaciones magnéticas.

PROMEDIOS DE MEDIDAS MAGNÉTICAS

Por todo lo anterior puede resultar conveniente establecer además de valores instantáneos, valores medios diarios y anuales.

- Si se está interesado en el campo interno de la Tierra se utilizan valores medios anuales. (variaciones seculares).

- Si se estuviera interesado en las medidas magnéticas sobre una región, se han de evaluar valores medios para dicho punto (200 Km) considerándose medidas en el observatorio magnético más cercano.

MODELO DEL DIPOLO TERRESTRE

Evidentemente el campo magnético terrestre se puede aproximar en un 90% por el que produce un dipolo situado en su centro, inclinado $11,5^\circ$ respecto a la dirección del eje de rotación, con polo negativo en la dirección del Polo Norte Geomagnético.

Concretamente un campo magnético dipolar se forma por una corriente eléctrica I , que circula por una espira de área S y su momento es $m=I*S$. Así para el caso del campo magnético terrestre se tiene:

- Momento Dipolar $m = 8* 10^{22} \text{ A m}^2$
- Polos Magnéticos intersección del eje del dipolo con la superficie:
 - Boreal (Negativo) $79^\circ \text{ N } 290^\circ \text{ E}$
 - Austral (Positivo) $79^\circ \text{ S } 110^\circ \text{ E}$

Las coordenadas tomadas con respecto al eje del dipolo se denominan coordenadas geomagnéticas:

- Latitud geomagnética (ϕ^*), medida desde el ecuador geomagnético (plano normal al eje del dipolo).
- Longitud geomagnética (λ^*): medida desde el meridiano geográfico que pasa por el polo geomagnético.

La importancia de esta aproximación matemática justifica que la intensidad de campo se divida en 2 partes, una debida al dipolo B_d , y la diferencia (campo no dipolar) B_{nd} . Aunque el primero representa el 90% del campo total, el no polar puede llegar a alcanzar en ciertos lugares valores de 10.000 nT.

CORRECCIONES AL MODELO

1. Existen influencias por las propiedades magnéticas de la parte más superficial de la corteza terrestre. Estas se suelen representar en forma incremental tanto en F (campo total geomagnético), como en H (componente horizontal), y en sus 3 direcciones geográficas ΔX , ΔY , ΔZ (norte-sur, este-oeste, y vertical).
El análisis de esta corrección permite detectar presencia de minerales que posean propiedades magnéticas o para estudiar la estructura a nivel regional del sustento base cristalino.
2. Las ya comentadas variaciones temporales han de cuantificarse en forma de su afección al campo dipolar (B_d), y al no-dipolar (B_{nd}). Así, se tendría:
 - a. En relación al campo dipolar:
 - i. Disminución continua del 0,5% anual en el momento magnético del dipolo.

- ii. Cambio en la orientación del eje del dipolo.
 - b. En relación al campo no dipolar:
 - i. Deriva en las características de este campo de este a oeste con velocidad de $0,2^\circ$ de longitud por año.
 - ii. Aumentos y disminuciones de intensidad del campo dipolar.
3. Existen componentes del campo magnético que no tienen origen interno, y que están originadas fundamentalmente por la actividad del sol. Su característica fundamental es que son de corta duración (en relación a las variaciones del interno), y se dividen en periódicas y no periódicas:
- a. Variaciones periódicas en días tranquilos, asociadas a la influencia del Sol y la Luna, por lo que su periodicidad se relaciona con los períodos de las órbitas de estos astros y de la rotación de la Tierra.
 - b. Variaciones no periódicas, conocidas como **tormentas magnéticas**. Pueden tener amplitudes de hasta 400 nT, y están originadas por la interacción de las partículas emitidas en las erupciones solares con el campo magnético terrestre.
 - i. Fase inicial con choques de las partículas emitidas por el Sol sobre la Magnetosfera.
 - ii. Giro de las partículas en torno a la tierra en órbitas situadas a distancias de unos cinco o seis radios terrestres.
4. Otras variaciones
- a. Fenómenos localizados en la Ionosfera.
 - i. Se trata de una capa ionizada de la atmósfera, es decir, una capa de partículas con carga eléctrica (carga total neutra).
 - ii. Su composición depende de la latitud tiempo local, época del año y número de manchas solares.
 - b. Variaciones de campo en la Magnetosfera.
 - i. Capa situada por encima de la ionosfera.
 - ii. La emisión continua de partículas solares (no solo por erupciones) constituye el plasma solar, y produce una deformación en las líneas del campo magnético terrestre (comprimido en la dirección frontal al Sol, y alargado en dirección opuesta).
 - iii. En la magnetosfera se confina el campo magnético, representando así su límite exterior, generándose en ella una serie de fenómenos por la interacción con el flujo de partículas.
 - 1. Partículas de alta energía (radiación cósmica) atraviesan el campo magnético sin ser afectadas por él.
 - 2. Partículas de baja energía (viento solar) se ven afectadas y desviadas por el campo geomagnético.
 - c. Anillos de radiación

- i. Existen unos anillos o cinturones de partículas en orbitas ecuatoriales alrededor de la tierra, con el nombre de su creador J.A. Van Allen. Se divide en:
 - 1. Protones de alta energía (> 30 meV).
 - 2. Protones y electrones de baja energía ($<$ de 6 MeV).
 - ii. Influyen como barreras para los rayos cósmicos o erupciones solares pues en su choque con estas partículas de la atmósfera producen neutrones que se desintegran en protones, electrones y neutrinos (quedando los 2 primeros capturados por el campo magnético).
- d. Auroras
- i. Fenómenos luminosos producidos por la excitación de los átomos de los gases de la alta atmósfera, N₂, O y H, por partículas que penetran en ella con gran energía.
 - ii. Los átomos así bombardeados pasan a un estado excitado y vuelven al estado de equilibrio, produciendo una radiación luminosa.
 - iii. Existen diferentes tipos: luminosas, radar, rayos X, absorción de ondas de radio, emisión a frecuencias bajas,