



## **UNIVERSIDAD DE GRANADA**

MÁSTER DE GEOFÍSICA Y METEOROLOGÍA 2014-2015

**La validación de un procedimiento, basado en un magnetómetro de tres componentes embarcado, para incrementar el conocimiento de las anomalías magnéticas de nuestro planeta.**

Esther Rojo Pérez

Tutores:

Dr. Manuel Catalán Morollón

Dra. Yasmina Martos Martín

Trabajo Fin de Máster- Granada 2016

## RESUMEN

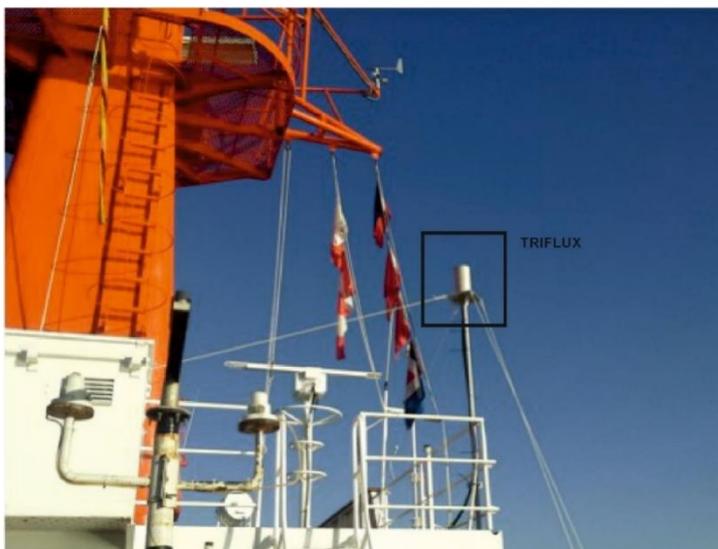
La armada española forma parte de la misión ATALANTA, que se desarrolla en el océano Índico bajo la dirección de una Fuerza Naval bajo el paraguas de la Unión Europea. Esto supone una oportunidad para obtener datos de anomalía magnética en áreas de escasa cobertura de los mismos.

Durante operaciones militares navales en áreas de especial peligrosidad, un instrumento desplegado por la popa del barco, como son los sistemas de medida de campo magnético que comúnmente se utilizan para la adquisición de datos de expansión de fondo oceánico, en trabajos de geofísica marina, corre riesgo de ser perdido o de ser dañado mientras se desarrolla una respuesta rápida a un ataque pirata, o al acudir en auxilio de otros barcos.

Bajo esas condiciones extremas, un sistema de medición de campo magnético montado sobre el barco puede ser más apropiado. Adicionalmente, el uso de tales sistemas, facilita la obtención de medidas continuas, sin mantenimiento adicional.

Este trabajo pretende describir la labor realizada a partir de las medidas obtenidas por el buque oceanográfico B.I.O-Hespérides durante la XX campaña antártica. En la cual se contó con la presencia a bordo de tres magnetómetros Fluxgate (Fig.1), que miden la intensidad del campo magnético descompuesto en tres componentes ortogonales.

Este tipo de magnetómetro se ve afectado no sólo por el magnetismo asociado al campo magnético terrestre, sino también por todo tipo de campo magnético externo al que se vea sometido. En su mayor parte inducido por los componentes metálicos del barco.



*Figura. 1: Magnetómetro Triflux instalado sobre el puente alto del B.I.O- "Hespérides".*

A partir de las medidas obtenidas con el Triflux, aplicando el procedimiento seguido por Isezaki (1986), el campo magnético neto observado, viene dado por la siguiente ecuación:

$$H_{ob} = F + H_i + H_p$$

Donde  $H_{ob}$  y  $F$  son respectivamente matrices columna de las componentes correspondientes a los campos magnéticos observado y al terrestre en cada punto de medida. Las matrices columna  $H_i$  y  $H_p$  describen respectivamente los campos magnéticos debidos a las aportaciones por campo magnéticos inducido y permanente del barco.

El momento magnético inducido por el campo magnético terrestre en el barco es proporcional a éste:

$$H_i = A * F$$

Donde  $A$  es una matriz de 3x3 que depende de varios factores, como la distribución de la susceptibilidad magnética en el barco o dónde estén localizados los sensores

El vector columna  $F$ , que describe las tres componentes del campo geomagnético. Se encuentra referido al sistema de referencia terrestre, y debe ser transformado al sistema de referencia del buque mediante el uso de matrices rotación:

$$(\gamma * \beta * \alpha) F$$

Donde  $\gamma$ ,  $\beta$  y  $\alpha$  dan cuenta de las matrices de rotación de balance, cabezada y rumbo del barco respectivamente.

Para la determinación de  $A$  y  $H_p$ , debe de realizarse una calibración. Ésta consiste en dos giros de 360° grados de la nave, conformando una figura de “ocho” (Fig.2) en un punto donde  $F$  sea conocido. A partir de estas calibraciones se obtendrán valores actualizados para los términos o coeficientes de la matriz  $A$  (9 términos), y los del vector columna  $H_p$  (3 términos), que dan cuenta del magnetismo permanente y semipermanente del buque. El signo y valor de la matriz  $A$  y el vector columna  $H_p$  dependerá de diferentes factores, entre ellos la latitud geomagnética a la que se realice la calibración, y de los valores de la inclinación y declinación que presente el campo magnético en ese momento.

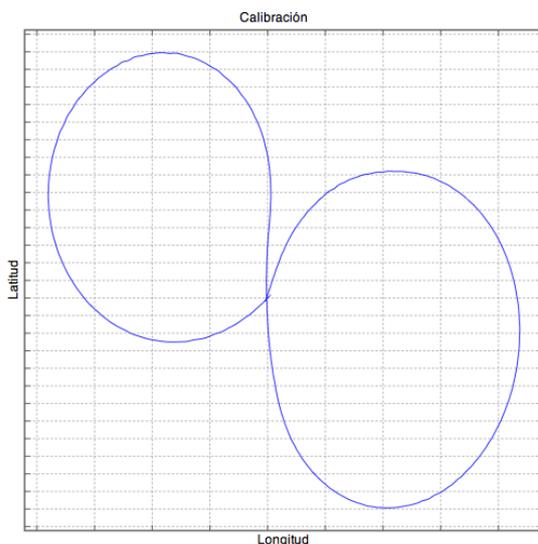


Figura. 2: Derrota seguida por el barco durante la calibración del día 30 de octubre 2014.

El objetivo de estas calibraciones es construir matrices de calibración únicas e individuales para cada uno de los días que vamos a procesar.

Un primer criterio a la hora de identificar los días a tratar, es el tiempo en el que el barco sigue una derrota constante, es decir, aquellos tramos largos en los que el buque no sufre caídas de rumbo que interfieren en la obtención de los valores de campo magnético.

Por tanto, los tramos que vamos a utilizar para mostrar resultados, son aquellos correspondientes a la ida entre los meses de octubre y noviembre, más concretamente los días que discurren entre la primera (25/10/2014) y la sexta calibración (6/11/2014); y regreso del buque Hespérides a la Antártida entre los meses de marzo y abril, que incluyen los días comprendidos entre la decimoquinta (11/3/2015) y la vigesimocuarta calibración (24/4/2014).

Para la obtención de las matrices de calibración diarias se procede a un ajuste por polinomios, que interpola aquellos valores ausentes para los días que faltan entre calibraciones. Con esta interpolación, se obtienen calibraciones diarias sintéticas que tienen su base en una variación paulatina de los diferentes coeficientes como consecuencia del desplazamiento del buque en su navegación.

El estudio de los coeficientes como elementos relacionados con las componentes X, Y, Z del sistema de coordenadas del barco proporciona una visión más amplia para entender la evolución de los mismos. La Figura.3 (König, 2006) muestra cómo afectan las líneas de fuerza del campo magnético a las diferentes componentes de la matriz (A).

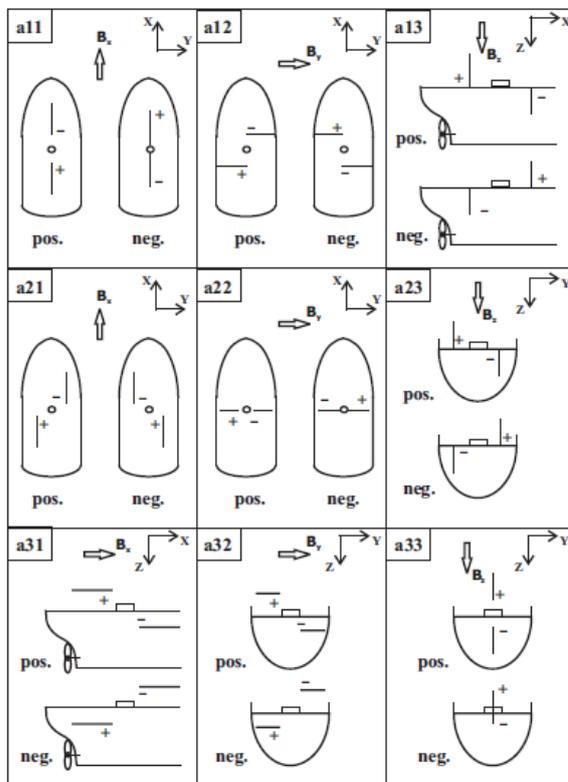


Figura. 3: Esquema representativo de la entrada y salida de las líneas de fuerza de campo magnético ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ) para los nueve coeficientes de la matriz de calibración.

Los coeficientes **a11**, **a21**, **a31** y **a12**, **a22** y **a32** hacen referencia a la componente X e Y respectivamente, y por tanto muestran las variaciones de campo magnético en el plano horizontal. Como consecuencia de alteraciones del rumbo y/o variaciones en la posición geográfica y por tanto en la orientación de las líneas de fuerza (Declinación magnética). Por otra parte los coeficientes **a13**, **a23** y **a33** hacen referencia a la componente Z, la componente vertical, cuyas variaciones muestran cambios en la inclinación magnética debida al cambio de hemisferio magnético.

La aplicación de las matrices de calibración, da como resultado la obtención de las tres componentes vectoriales X, Y, Z del triflux, a partir de las cuales se consigue un único vector de campo total ( $F_{triflux}$ ). El valor de la anomalía se obtiene restándole a  $F_{triflux}$  únicamente el vector de campo total del IGRF ( $F_{IGRF}$ ). En esta campaña la corrección por variación diurna no es necesaria, ya que los valores a eliminar son prácticamente despreciables, a lo cual hay que añadir la imposibilidad de obtener medidas de campo magnético diarias de observatorios cercanos.

Una vez obtenida la anomalía, ésta es sometida a un filtro digital de paso baja que suprime las longitudes de onda inferiores a 10 km, ello nos permite eliminar el ruido presente, consecuencia de la influencia del barco. El hecho de que el buque mantenga un rumbo fijo durante periodos largos, favorece la reorientación de los diferentes dipolos del buque, generándose un magnetismo denominado “viscoso” que afecta a las componentes de larga longitud de onda del registro de anomalía. Para eliminar este efecto, se aplica un filtro digital paso alta que suprima las longitudes de onda superiores a 200 km.

Posteriormente al filtrado de procede a la comparación con los anteriormente mencionados modelos globales de anomalías geomagnéticas **WDMAM**, y **EMAG-2**, así como el **MF7** (Fig.4)

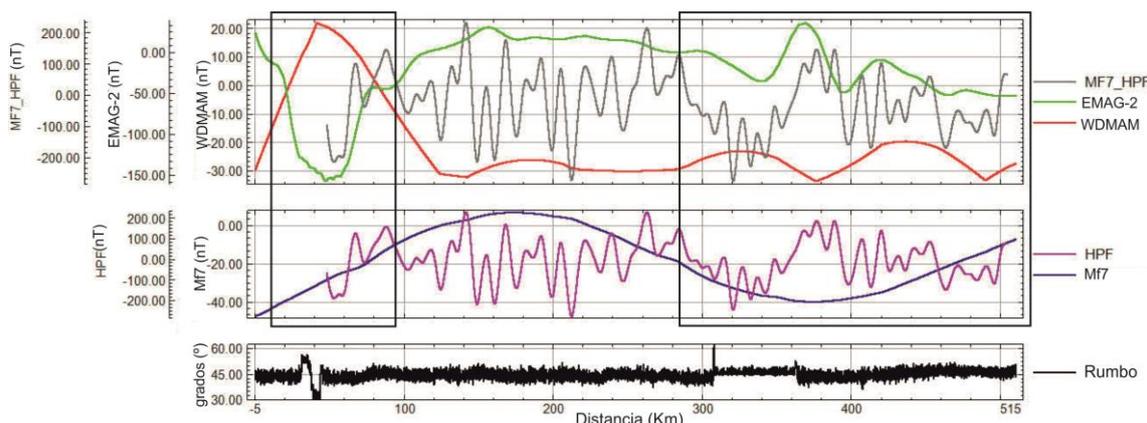


Figura. 4: Registro obtenido el día 22 de abril de 2015 con el Triflux. En color gris el perfil de anomalía magnética obtenido con el Triflux complementado con los datos del MF7. En rojo el WDMAM, y en verde el perfil del EMAG-2.

Al objeto de evaluar de una forma más objetiva la precisión de los registros de este equipo, se ha realizado una comparación de los registros obtenidos por el magnetómetro

Triflux con los adquiridos con un magnetómetro de protones remolcado por la popa durante la campaña ZEEE (Zona Económica Exclusiva Española) llevada a cabo durante el mes de Junio de 2015 (Fig.5).

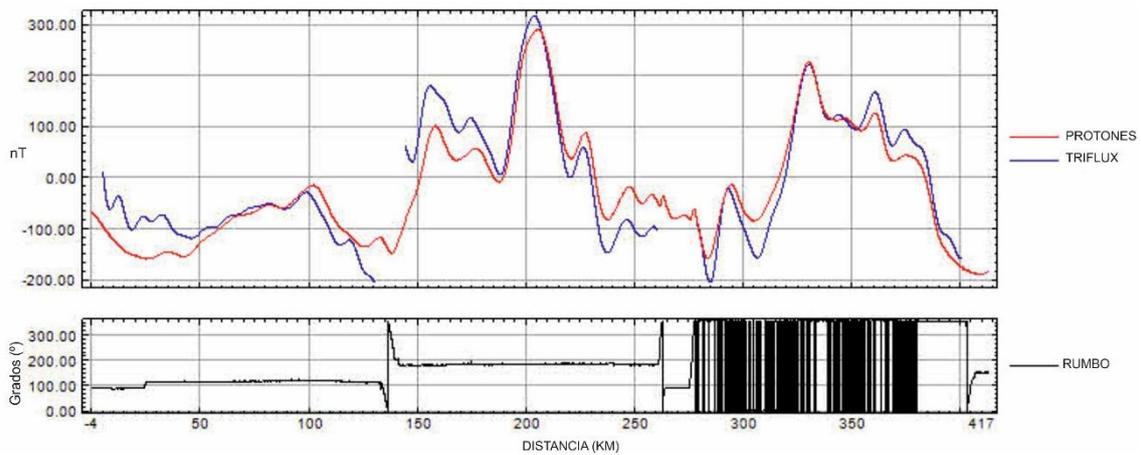


Figura 5: Comparativa entre el registro de anomalía obtenido con el magnetómetro Triflux (línea azul), y el obtenido con el magnetómetro de protones(rojo). En la figura inferior se representa en color negro el rumbo.

Realizando una estadística a partir de la diferencia entre las medidas de ambos sensores, representada gráficamente en la figura, se obtiene un valor medio de 7 nT y de 45 nT para la desviación estandar.

## Bibliografía

- Isezaki, N., 1986. A new shipboard three-component magnetometer. GEOPHYSICS, Vol. 51, NO. 10 (OCTOBER 1986), P. 1992-1998, 9 FIGS.
- König, M., 2006. Processing of shipborne magnetometer data and revision of the timing and geometry of the Mesozoic break-up of Gondwana”, 134 pp.

