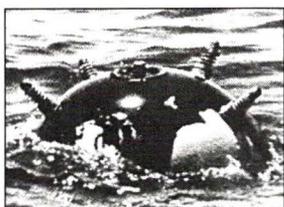


CALIBRACION DE LOS SISTEMAS DE DEGAUSSING

Luis A. Silberberg Schovelin *



Introducción.

Desde la segunda guerra mundial hasta nuestros días, la guerra de minas, en su doble aspecto

de minado y de medidas contra minas, ha cobrado mucho interés, ya que se ha reconocido la gran amenaza que ésta representa.

De modo de ejemplo debemos tener en cuenta la gran trascendencia que tuvieron en: la guerra de Corea (1950), la de Vietnam (1970), las minas de Nicaragua y del mar Rojo (1984), el golfo Pérsico (1990), etc.

Las minas podían ser provistas de dispositivos que dificultasen su rastreo, con sistemas de tipo reloj, mecánico, hidrostático o químico, pero lo más importante de todo lo anterior es que en la actualidad se encuentran minas versátiles y complejas de última tecnología que consideran dentro de sus partes fundamentales el uso de microprocesadores, y modernos sistemas de control que las convierten en "inteligentes".

El presente trabajo pretende resaltar la importancia de los sistemas de Degaussing y lograr una mayor conciencia en lo referente al magnetismo, de manera de poder estar preparados para contrarrestar el efecto magnético

que producen los buques en el medio marino.

Efectos del magnetismo en unidades navales.

a. Magnetismo Terrestre.

El campo magnético terrestre debe considerarse como un dipolo donde la intensidad del campo magnético en los polos es mayor que en el Ecuador formando un ángulo de 11.5° con el eje de rotación de la tierra y 23.5° con la normal al plano de la órbita terrestre respecto del sol. El polo norte terrestre es el polo sur del dipolo y al revés, el polo sur terrestre es el polo norte del dipolo. Por la Antártica salen las líneas de campo magnético las que cierran entrando por el polo norte terrestre pasando casi paralelas por el Ecuador.

La teoría del origen del magnetismo terrestre no está del todo comprendida, pero implica el siguiente efecto: la parte exterior del núcleo contiene minerales en estado líquido los cuales conducen la electricidad fácilmente. Un pequeño campo magnético inicial provoca que fluyan corrientes en este conductor en movimiento según la ley de inducción de Faraday produciéndose cambios en éste, tanto en magnitud como en dirección. De lo anterior se puede deducir por qué las líneas de equivalente campo magnético de las cartas isodinámicas de las figuras 1 y 2 no son paralelas.

* Teniente 2º. Ingeniero Naval Electricista, Armada de Chile.

Es importante también destacar que a medida que se aumenta la distancia a la Tierra, el campo disminuye y comienzan a existir modificaciones como consecuencia del viento solar, que es una corriente de partículas que vienen cargadas desde el sol.

Los factores anteriores y algunos otros hacen que el campo magnético terrestre sea distinto al modelo planteado del dipolo.

Un buque de acero crea una distorsión del campo magnético terrestre del lugar como resultado de los siguientes factores:
 - Magnetismo Inducido: Varía de acuerdo con la intensidad magnética del lugar y el rumbo del buque. El campo magnético terrestre induce en los buques un campo magnético temporal el cual también puede ser dividido en tres componentes ortogonales. Las componentes horizontal y vertical del campo magnético terrestre (Geomagnético) están dadas en las cartas Isodinámicas como se indica en las figuras 1 y 2.

El *magnetismo inducido vertical* tiene un

polo norte en la quilla cuando se navega en el hemisferio norte decreciendo si el buque navega hacia el sur. Si el buque cruza el Ecuador, el campo magnético inducido vertical es invertido no teniendo efecto el rumbo del buque. En la carta de la figura 1, el mundo es dividido en zonas "Z" que indican la componente vertical del campo magnético terrestre. Cada zona "Z" tiene un valor en Gauss. Los valores "Z" son mayores en altas latitudes y cero cerca del Ecuador.

La componente horizontal causa un *campo magnético inducido* horizontal y su valor depende de la latitud magnética teniendo su mayor valor en el Ecuador y el mínimo en los polos. En la carta de la figura 2, se hace la división del mundo en zonas "H" (componente horizontal del campo magnético inducido terrestre) considerando los mismos alcances explicados anteriormente con la diferencia de que el rumbo del buque sí tiene efecto sobre la componente horizontal del campo magnético inducido en el buque.

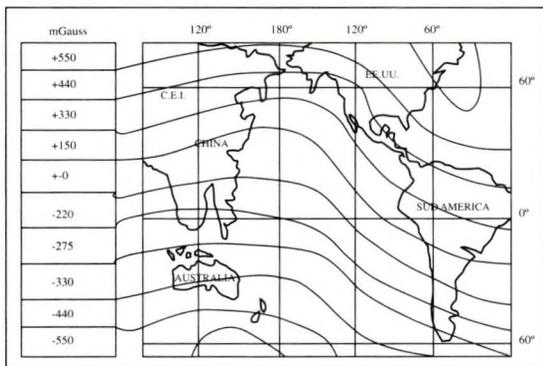


Fig.1 Carta Isodinámica de la Componente Vertical Geomagnética.

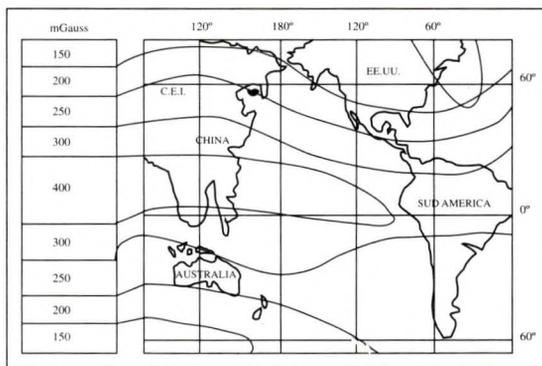


Fig.2 Carta Isodinámica de la Componente Horizontal Geomagnética.

Si el buque navega hacia el norte magnético se induce un *magnetismo longitudinal* con un polo norte en la proa y un polo sur en la popa. El magnetismo transversal es reducido a cero. Al navegar hacia el sur el campo magnético inducido longitudinal se invierte, en todos los demás rumbos varía de acuerdo a la función coseno del rumbo

magnético siendo cero para los rumbos Este-Weste.

El *magnetismo inducido transversal* ocurre para los rumbos Este-Weste generando polos en las bandas de babor y estribor, pero con valores menores que el magnetismo inducido longitudinal en rumbos norte-sur.

- Magnetismo Permanente: Una construcción de acero es magnetizada en forma permanente si es expuesta durante un cierto tiempo a un campo magnético. Lo anterior depende de la curva de Histéresis del material y de la intensidad del campo. Golpes (remachado durante la construcción) y vibraciones de la maquinaria son ejemplos del aumento de este campo magnético permanente. Un buque construido en el hemisferio norte posee un magnetismo vertical permanente con un polo norte en la obra viva (quilla) debido a la componente vertical del lugar. Durante la construcción el buque también influye la componente de magnetismo horizontal, cuya intensidad y dirección dependerá de la posición y orientación del dique o grada de construcción.

Este permanece constante por largos períodos de tiempo y depende también de:

- Los materiales usados en la construcción .
- La distribución de los materiales ferromagnéticos dentro del buque.

b. Curvas Teóricas:

El campo magnético total de un buque está compuesto por la sumatoria de las componentes vertical, longitudinal y transversal de los magnetismos permanente, inducido y el debido a las corrientes parásitas (no influyen demasiado), algunas de las cuales dependen del rumbo del buque, cabeceo y del balance.

El campo magnético generado por un buque es de gran interés debido a que puede accionar los detonadores magnéticos de las armas submarinas debiéndose medir sus componentes ortogonales.

A partir de estos valores es posible calcular su intensidad en las diferentes componentes axiales, que es lo más importante, ya que la protección óptima es lograda en base a ello.

La figura 3 muestra la forma de las líneas de intensidad de campo magnético de las componentes ortogonales consideradas en forma separada.

Lo interesante es ver cómo el análisis teó-

rico de las formas de las intensidades del magnetismo vertical, longitudinal y transversal de la figura 3 es similar a la forma de las curvas obtenidas de las mediciones reales efectuadas a una unidad de superficie.

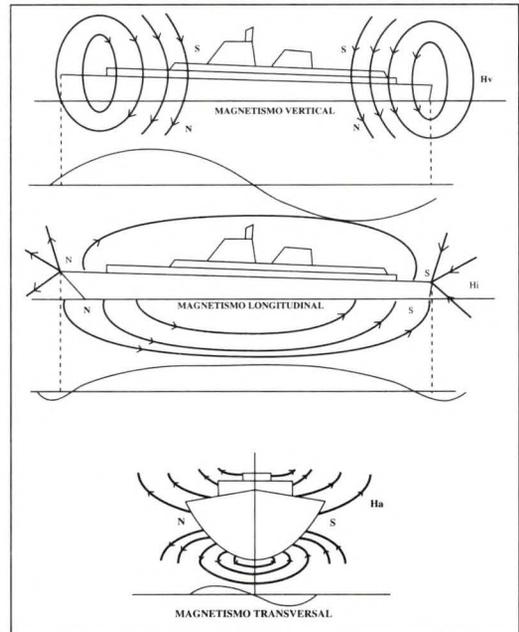


Fig. 3 Curvas Teóricas del Campo Magnético de las Componentes Ortogonales de Campo.

Generalidades de un sistema de Degaussing.

1. Medidas Para Reducir El Campo Magnético De Un Buque.

El objetivo principal de un Sistema de Degaussing es reducir el magnetismo del buque de manera que la firma magnética de éste no esté en el rango peligroso en el cual una mina magnética se activaría.

Para reducir el campo magnético de los buques se pueden desmagnetizar las unidades en canchas especiales o activar los sistemas de Degaussing internos de cada unidad que será lo considerado en este trabajo.

2. Generalidades de los equipos de Degaussing.

Los equipos de Degaussing instalados

a bordo comprenden disposiciones de bobinas instaladas paralelas a los principales planos del buque y que son energizadas con corriente continua controlada. Sus dimensiones y direcciones son tales que los campos que generan se oponen a las componentes del magnetismo del buque y de esta manera, en su efecto total, compensará las componentes permanente e inducida del campo del buque al máximo posible.

La base del funcionamiento magnético de una bobina de Degaussing es determinado por el producto de la intensidad de corriente y el número de vueltas (Ampere-Vuelta).

Las bobinas verticales M son efectivas para compensar el magnetismo vertical, pero éste puede ser constante si el buque está en una condición de equilibrio y opera en un área de latitud pequeña. También es usual la instalación de este tipo de bobinas pero divididas en tres partes, (MF, MM y MQ). La bobina MF puede aumentar su efectividad aumentando el número de Amperes-Vuelta localmente. Debido a la geometría estrecha y puntiaguda que tiene un buque, el área de la bobina MF se reduce y su efectividad decae. Esta bobina al igual que la anterior puede tener mejoras a su eficiencia aumentando los Amperes-Vuelta en forma local.

La magnetización vertical permanente puede alcanzar el equilibrio en diferentes proporciones en la proa, estribor y sección central si existen cambios en la latitud magnética. La combinación de la bobina M (MF MM y MQ) puede ayudar a hacer un ajuste y calibración individual. Las bobinas MF y MQ pueden también ser ajustadas para poder a ayudar a disminuir el PLM (magnetismo longitudinal permanente).

Igualmente las bobinas FI y QI son instaladas para compensar la magnetización longitudinal inducida. La corriente de estas bobinas está fijada para crear un campo en oposición al campo inducido y su amplitud posible es controlada mediante un selector que tiene como entrada de comparación el rumbo del buque. Son fáciles de instalar, pero no otorgan una compensación efectiva.

Si el buque opera donde la componente horizontal del campo es intensa, es usual que exista la bobina AI para la compensación de la magnetización inducida transversal. Nuevamente el controlador de ésta considera el rumbo de la unidad. El campo magnético permanente transversal es inestable y decae rápidamente siendo no compensado por las bobinas.

Es importante destacar que las bobinas producen un campo magnético perpendicular a su disposición física para eliminar las distintas componentes ortogonales.

a) *Bobina "M":*

Esta bobina rodea al buque en un plano horizontal, generalmente en su plano de flotación teniendo como objetivo principal producir un campo magnético que se oponga al campo magnético producido por la componente vertical de la magnetización permanente e inducida de éste de manera de minimizarlos.

La figura 4 nos indica el efecto teórico del campo magnético producido por la bobina "M". Si este campo fuera igual al producido por la componente vertical del campo magnético del buque el campo resultante sería cero. Las líneas punteadas verticales indican el sentido del campo magnético producido por esta bobina el cual dependiendo de la polaridad selectada cambiará el sentido. Por otro lado, tendrá mayor o menor intensidad dependiendo de la resistencia del circuito de control.

b) *Bobinas "F" y "Q":*

La bobina "F" rodea un tercio o un cuarto de la parte de proa del buque y por lo general se encuentra inmediatamente debajo del castillo. La bobina "Q" rodea un tercio o un cuarto de la parte de popa de un buque y por lo general se encuentra inmediatamente debajo de la toldilla como lo indica la figura 5. Las bobinas mencionadas tienen como objetivo principal minimizar la componente longitudinal y vertical permanente o inducida del campo magnético del buque.

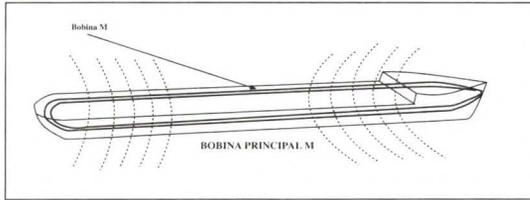


Fig. 4 Bobina tipo M.

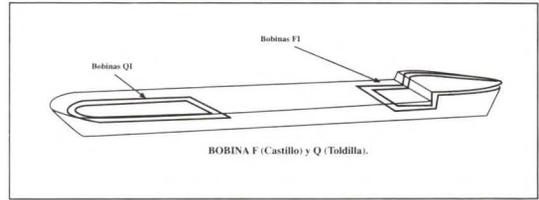


Fig. 5 Bobina tipo F y Q.

c) *Bobina "L":*

La bobina "L" corre con sus vueltas por planos verticales similares a las cuadernas del buque como es señalado en la figura 6. El campo magnético producido por esta bobina tiene como objetivo minimizar la componente longitudinal del campo magnético del buque tanto en su magnetización permanente e inducida.

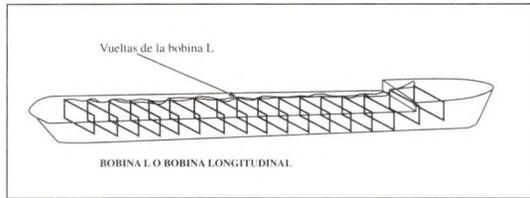


Fig. 6 Bobina tipo L.

d) *Bobina "A":*

La bobina "A" está canalizada con vueltas verticales que van de proa a popa como se muestra en la figura 7. Esta bobina tiene como función producir un campo magnético transversal opuesto al existente en el buque de manera de minimizar las componentes permanente e inducida de la magnetización.

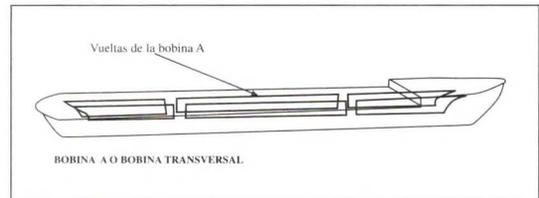


Fig. 7 Bobina tipo A.

Antes de ajustar las corrientes individuales de las bobinas de Degaussing, la condición magnética original debe ser medida en una cancha de calibramiento y a partir de estos resultados se especifican las corrientes. Posteriormente y después de ajustar las corrientes individuales el resultado del proceso debe ser verificado mediante una nueva medición en la cancha respectiva.

Fuera de los equipos mencionados, los sistemas de Degaussing están también compuestos por fuentes de poder controladas por sus respectivos sistemas de control electrónicos de corriente magnetizante y una bobina de compensación del compás magnético del buque.

De lo expuesto en este capítulo se desprende que el campo magnético existente bajo un buque depende de su situación

geográfica, su rumbo, su desplazamiento, de los materiales con que está construido y de las circunstancias que hayan precedido su vida. El paso de un buque por encima de un punto del fondo producirá una perturbación del magnetismo local cuya amplitud será función de los factores mencionados y que dependerá de la variación de la velocidad del buque y de sus dimensiones. A mayor eslora o menor velocidad, la influencia magnética del buque en el punto determinado tendrá una duración mayor.

La variación de magnetismo ocasionada por el paso de un buque puede representarse con lo que se llama *firma o huella magnética* característica de un buque a la profundidad de referencia. La unidad en que se mide la intensidad de campo magnético es en Gauss, pero en la práctica es en mili-

gauss debido a que son perturbaciones de baja intensidad con respecto al campo magnético terrestre. El campo magnético terrestre es del orden de 30 mGauss.

Mediciones reales.

a. Generalidades del Equipo de Mediciones.

1. Objetivo:

Verificar la eficacia y operatividad de los sistemas de Degaussing de las unidades navales, determinando los niveles y formas de las perturbaciones magnéticas producidas por los diferentes buques de guerra en las distintas condiciones de activación de los sistemas de Degaussing de estos.

2. Descripción general del Equipo de Medición.

El subsistema de detecciones de perturbaciones magnéticas forma parte de un sistema donde el dispositivo central es un detector electrónico. Además incluye un subsistema programador y un subsistema de adquisición de datos con fines de análisis.

Las funciones principales del equipo son: - Detectar las perturbaciones magnéticas; - Intercambio de información entre los sistemas para el envío de reportes; - Presentar, analizar y almacenar los datos de las mediciones.

La figura 8 muestra los componentes del equipo.

b. Plan de Operaciones.

Para lograr lo anterior, se hará pasar un

buque con cierto grado de precisión (misma velocidad y rumbo), por sobre un sensor magnético fondeado previamente. Durante las diversas pasadas, se opera el sistema de Degaussing del buque en distintas condiciones, para analizar los efectos del sistema sobre la firma magnética.

- 1. Instalación del Contenedor (sensor magnético).

El sistema a instalar tiene una autonomía aproximada de 100 horas, después de lo cual se debe cambiar la batería para quedar nuevamente operativo.

El peso del sistema es de 30 kilos y permanece unido a un cable de aproximadamente 1000 metros y para su fondeo basta con una embarcación menor. Es importante tener en cuenta de que el carrete con el cable tiene un peso aproximado de 200 kilos.

El Sensor Magnético con su respectivo contenedor se ubica en el fondo dejándose indicado el punto exacto de fondeo con el apoyo de una lancha y de buzos.

El sector de instalación del contenedor fue como se indica en la figura 9, el cual debe cumplir con las siguientes características:

- Profundidad máxima: 40 metros.
- Profundidad mínima: 25 metros.
- Distancia máxima a la estación de control en la lancha: 70 metros.

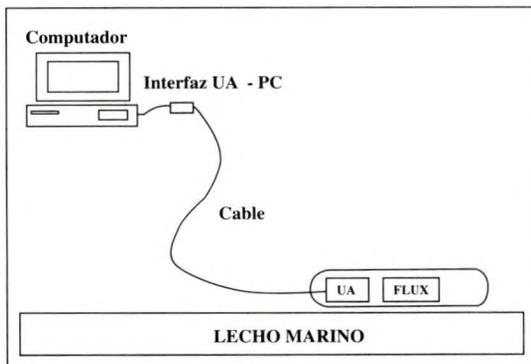


Fig. 8 Unidades del Sistema de Mediciones.

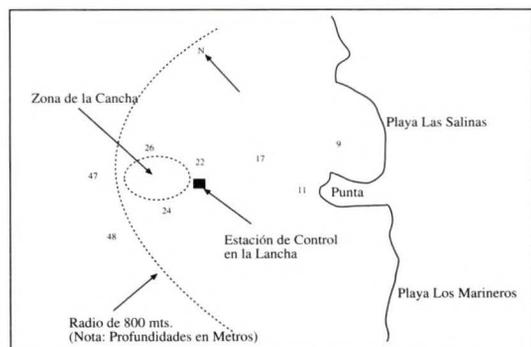


Fig. 9 Carta de posicionamiento del Contenedor con su Sensor Magnético.

- 2. Marcación de la Cancha.

Se colocan dos boyarines demarcatorios de la cancha como se indica en la figura 10.

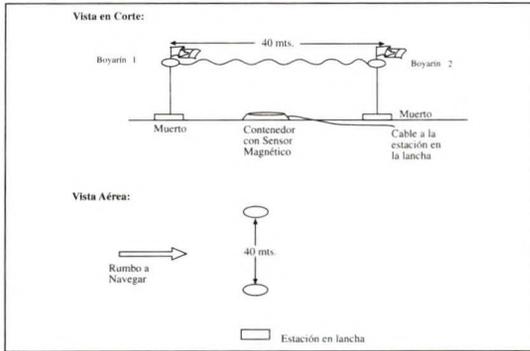


Fig. 10 Vista frontal y aérea del Contenedor con los Boyarines Demarcatorios.

- 3. Ejecución de la Prueba:

Se efectúa una medición longitudinal, es decir, la quilla del buque pasa por sobre el sensor con las siguientes consideraciones:

- a- Una vez marcada la cancha se hace navegar un buque entre los dos boyarines demarcatorios a una velocidad de 7 nudos.
- b- El buque navega a la misma velocidad en cada oportunidad para homologar las diferentes pruebas.
- c- Se navega lo más centrado posible respecto de los boyarines manteniendo un rumbo fijo.
- d- Se efectúan cinco pasadas con las siguientes condiciones del sistema de Degaussing como se observa en la siguiente tabla:

PASADA Nº	CONDICIONES DE DEGAUSSING
1	Sin Degaussing
2	Bobinas con polaridad positiva
3	Bobinas con polaridad negativa
4	MF (posit), MM (negat.), MQ (posit)
5	MF (negat), MM (posit.), MQ (negat)

Condiciones de Degaussing del buque en las distintas pasadas.

Condiciones de Degaussing del buque en las distintas pasadas.

e- En la estación de control a bordo de la lancha se grabaron las señales magnéticas producidas en cada pasada dejándose indicado el momento en que pasó la proa y luego la popa del buque sobre el sensor magnético.

Los resultados obtenidos permiten demostrar cómo los sistemas de Degaussing alteran la firma Magnética de una unidad, como se explicará más adelante en las figuras correspondientes a las mediciones ya mencionadas.

Se hará una superposición de curvas de las distintas condiciones.

En todas las figuras, las abscisas indican

tiempo y las ordenadas intensidad de campo magnético en los tres ejes x, y, z.

4. Análisis de Superposición del Efecto de las Bobinas de Degaussing:

Para la superposición de las señales se ha considerado lo siguiente: primero se comparará la huella sin Degaussing con las bobinas con polaridad positiva y con polaridad negativa en los ejes x, y, z (vertical, transversal y longitudinal) (figura 11). Después se comparará nuevamente la huella magnética del buque sin Degaussing con las bobinas con polaridades positiva - negativa - positiva y negativa - positiva - negativa en los eje x, y, z (figura 12).

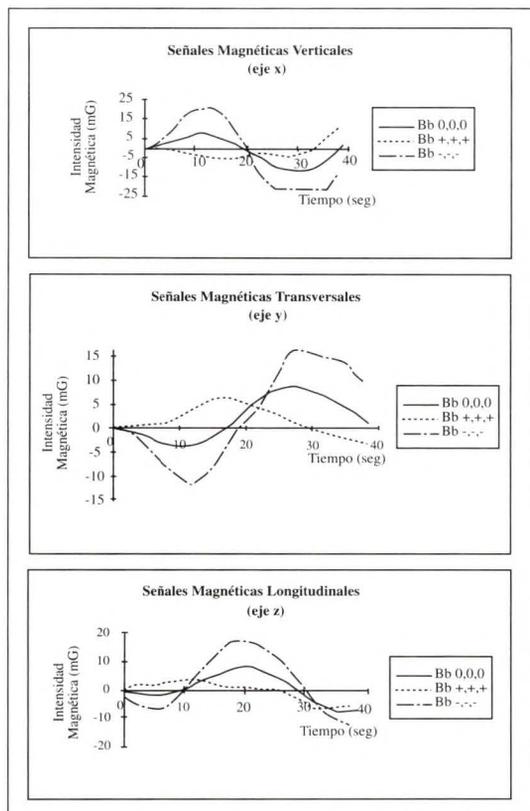


Fig. 11. Señales del Degaussing en los ejes Ortogonales con las Bobinas en : 0,0,0; +,+,+; y -,,-,.

En la figura 11 se observa en la posición vertical, transversal y longitudinal cómo se atenúa la señal con la polaridad positiva de las bobinas obteniéndose como clara conclusión que el buen ajuste de las bobinas puede crear una excelente protección magnética a cualquier unidad y un previo calibramiento.

En la figura 12 se observa que las bobinas no fueron correctamente ajustadas pudiéndose ver que la saturación puede causar un incremento de la intensidad magnética siendo esto tremendamente peligroso para la higiene magnética que deben tener las unidades navales.

Se puede observar que de las curvas obtenidas de las mediciones reales de los dis-

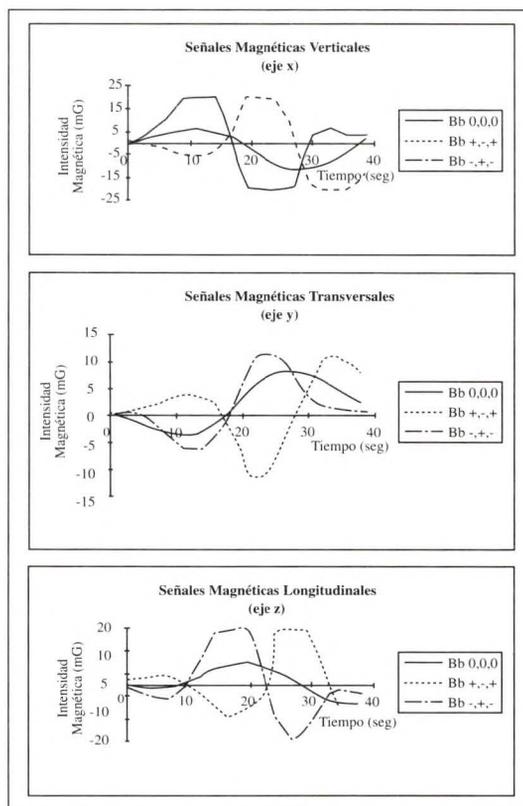


Fig. 12. Señales del Degaussing en los ejes Ortogonales con las Bobinas en : 0,0,0; +,+,+ y -,,-,.

tintos ejes, tienen la misma forma que las curvas teóricas de campo magnético (Fig. 3).

El análisis es el siguiente:

- 1) Magnetización Vertical (eje x): En esta magnetización aparece una sinusoide que fue positiva a proa para luego invertirse aproximadamente al centro del paso del buque. Lo anterior se debió a que en proa existió un polo norte lo que concuerda con las mediciones, ya que el rumbo de éstas fue norte.
- 2) Magnetización Transversal (eje y): En este caso resultó una sinusoide invertida a la de la magnetización vertical en donde la intensidad magnética en el centro del paso del buque también es cero.
- 3) Magnetización Longitudinal (eje z): Existe un pequeño valor negativo al paso de la proa

del buque debido a la inversión de las líneas magnéticas a proa de éste. Siguiendo hacia el centro del buque se llega a un máximo positivo, y al acercarse a popa a cero tomando un

valor negativo después de pasar la popa. Este tipo de curvas se les denomina "Curva Campana".

BIBLIOGRAFIA

- Silberberg SCH., Andrés, T2º I.Nv.El.: "Estudio de Ingeniería para el Mejoramiento de los Sistemas de Degaussing de las Fragatas Tipo Leander", 1995.
- BR. 825. (2) "Other than Counter Measures Vessels".
- BR. 825. (4) "Degaussing by Magnetic Treatment".
- Sandino C. CC.: "Proyecto de Instalación de una Cancha de Desmagnetización en la Bahía de Concepción", 1982.

