

UNIVERSIDAD PAÍS VASCO/EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS NAVALES

MÁSTER EN INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

ANÁLISIS DE LOS DESVÍOS DE UNA AGUJA NÁUTICA MEDIANTE EL ESTUDIO DE SUS VALORES CUADRANTALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

JUNIO-2015

AUTOR: NICOLÁS RAMSDEN SAN JUAN

DIRECTOR: AITOR MARTÍNEZ LOZARES

Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento al director del Trabajo Fin de Máster, Aitor Martínez Lozares, Capitán de la Marina Mercante y Compensador.

Además, se agradece la colaboración del también Capitán de la Marina Mercante y Compensador Jokin Alberdi Antuñano y del profesor de matemáticas de la E.T.S. de Náutica y Máquinas Navales de Portugalete Juan Carlos Gorostizaga.

Todos ellos han contribuido y me han apoyado para que se haya llevado a cabo el presente trabajo.

Además, merecen un agradecimiento las personas que forman parte de la E.T.S. de Náutica y Máquinas Navales de Portugalete ya que desde que inicié mis estudios he podido aprender de ellos. Gracias a ellos también ha sido posible llegar hasta aquí y de esta manera poder alcanzar este objetivo.

Agradecer también a la familia por apoyarme y animarme durante estos años.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	página 7
2. OBJETIVOS.....	página 8
3. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	página 9
3.1 Normativa.....	página 9
3.1.1 Código de Comercio de 1886.....	página 9
3.1.2 Orden 11 de marzo 1950.....	página 9
3.1.3 Convenio SOLAS 1974. Capítulo 5. Regla 12.....	página 10
3.1.4 Resolución A.382 (X) de la IMO.....	página 11
3.1.5 Resolución 560 (14) de la IMO.....	página 17
3.1.6 Orden 14 de diciembre de 1992.....	página 18
3.1.7 Resolución 16 de febrero de 1993.....	página 25
3.1.8 Convenio STCW 78/95.....	página 26
3.1.9 ISO 25862.....	página 29
3.1.10 Real Decreto 1837/2010.....	página 31
3.1.11 Orden FOM/3479/2002.....	página 31
3.2 Teoría relacionada con el desvío de la aguja.....	página 33
3.2.1 Magnetismo terrestre.....	página 33
3.2.2 Campos magnéticos que actúan sobre la aguja náutica.....	página 35

3.2.3 Magnetismo permanente.....	página 36
3.2.3.1 Sustitución del magnetismo permanente por imanes P, Q y R.....	página 38
3.2.3.2 Significación y signo del magnetismo permanente.....	página 40
3.2.3.3 Desvíos de los imanes P, Q y R.....	página 41
3.2.4 Magnetismo inducido.....	página 46
3.2.4.1 Significación y signo del magnetismo inducido.....	página 49
3.2.4.2 Desvíos producidos por las varillas.....	página 52
3.2.5 Efectos del cambio de latitud magnética en los desvíos producidos por el magnetismo permanente.....	página 60
3.2.5.1 Efectos del cambio de latitud magnética en los desvíos producidos por el magnetismo accidental.....	página 61
3.2.6 Correctores utilizados en la compensación.....	página 63
3.2.6.1 Correctores de hierro duro.....	página 63
3.2.6.2 Correctores de hierro dulce.....	página 67
4. METODOLOGÍA.....	página 72
5. DESARROLLO.....	página 73
5.1 HÖEGH JACKSONVILLE.....	página 75
5.1.1 EXCEL HOEGH JACKSONVILLE.....	página 83

5.1.2 MATLAB HOEGH JACKSONVILLE.....	página 88
5.2 ALLURE OF THE SEAS.....	página 98
5.2.1 EXCEL ALLURE OF THE SEAS.....	página 102
5.2.2 MATLAB ALLURE OF THE SEAS.....	página 108
6. CONCLUSIONES.....	página 115
BIBLIOGRAFÍA.....	página 117

1. INTRODUCCIÓN.

En el primer cuatrimestre del Máster en Ingeniería Náutica y Transporte Marítimo se ha cursado la asignatura “Navegación Avanzada” impartida por el profesor Aitor Martínez Lozares. En ella pudimos estudiar lo relacionado con los desvíos de la aguja náutica y su compensación.

El tema además de interesante, debido al hecho de que “no hay práctica sin teoría, ni teoría sin práctica”, se decide llevar a cabo el presente trabajo para profundizar en este tema ya que para poder realizarlo es necesario participar en compensaciones reales y de esta manera aprender y poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos.

Además, se cuenta con la ayuda y colaboración de experimentados compensadores como José Pascual Baró, Jokin Alberdi Antuñano y el propio profesor Aitor Martínez Lozares.

2. OBJETIVOS.

El principal objetivo del presente trabajo es realizar un estudio en profundidad de los desvíos cuadrantales a partir de la fórmula del matemático inglés Archibald Smith relacionando los ocho datos de los rumbos (los cuatro cardinales y los cuatro cuadrantales) obteniendo los cinco coeficientes generados a partir de las cinco ecuaciones.

Para poder llevar a cabo lo mencionado anteriormente, se trabaja en la creación de dos programas informáticos, uno en Excel y otro en Matlab. De este modo, es un objetivo prioritario el hecho de crear estos programas correctamente para el posterior análisis de los resultados obtenidos.

Con los resultados obtenidos vinculados a radianes representaremos a modo de curva y en polares, para poder analizarlos y de esta manera obtener una serie de conclusiones.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO.

3.1 Normativa

Este apartado, está basado fundamentalmente en toda la normativa, legislación y reglamentación relativa a la compensación y figura del compensador.

3.1.1 Código de Comercio de 1886.

El artículo 574 dice: Los constructores de buques podrán emplear los materiales y seguir en lo relativo a su construcción y aparejos los sistemas que más convengan a sus intereses. Los navieros y la gente de mar se sujetarán a las leyes y reglamentos de Administraciones públicas que dispongan sobre navegación, Aduanas, Sanidad, seguridad de las naves y demás objetos análogos.

3.1.2 Orden 11 de marzo 1950 (Ministerio de Industria y Comercio). MARINA MERCANTE. Compensación de agujas náuticas de buques.

Siempre que en un buque sea preciso efectuar la compensación de sus agujas náuticas, esta operación habrá de efectuarse por un Jefe u Oficial del Cuerpo General de la Armada procedente de la Escuela Naval Militar o Capitán de la Marina Mercante designado por el Armador del buque y ajenos a la Comandancia; en su defecto, y cuando por cualquier circunstancia no pueda ser así, por el Jefe u Oficial que sea designado a tales efectos por el señor Comandante de Marina entre el personal a sus órdenes en la provincia marítima de su mando que tengan los títulos antes mencionados.

Digamos que Compensador es la persona experta en la compensación de agujas náuticas, y compensar una aguja náutica es instalar cerca de ella y en forma conveniente imanes y masas de hierro dulce con objeto de rodearla de un campo magnético uniforme, igualando su fuerza directriz a todos los rumbos reduciendo al mínimo posible sus desvíos para que permanezca inmóvil en el plano meridiano magnético y que el ángulo descrito por la proa

del buque durante una evolución sea el mismo señalado por la rosa, condición ésta que no podría cumplirse, al menos momentáneamente, en el caso de oscilar la aguja por variaciones de su fuerza directriz.

3.1.3 Convenio SOLAS 1974. Capítulo 5. Regla 12 relativo a aparatos náuticos de a bordo. Enmendada según Orden de 31/01/1986.

El párrafo b) i) dice: Los buques de arqueo bruto igual o superior a 150 toneladas irán provistos de:

- 1) Un compás magnético magistral, con la salvedad prevista en el apartado iv);
 - 2) Un compás magnético de gobierno, a menos que la información de arrumbamiento dada por el compás magistral prescrito en el apartado 1) aparezca también en el puesto de gobierno principal y el timonel pueda leerla claramente;
 - 3) Medios de comunicación adecuados, que la Administración juzgue satisfactorios, entre el puesto del compás magistral y el puesto normal de control de la navegación; y
 - 4) Medios que permitan tomar marcaciones en un arco de horizonte que en la mayor medida posible sea de 360°.
- ii) El compás magnético a que se hace referencia en el apartado i) estará debidamente compensado y su tablilla o curva de desvíos residuales estará disponible en todo momento.
- iii) Se llevará un compás magnético de respeto que sea intercambiable con el compás magistral, a menos que haya instalado a bordo el compás de gobierno mencionado en el apartado i) 2) o un girocompás.
- iv) La administración, cuando estime irrazonable o innecesario prescribir un compás magnético magistral porque la naturaleza del viaje, la proximidad del buque a tierra o el tipo de buque no justifiquen la utilización de ese compás, podrá eximir a determinados buques o clases de buques de estas prescripciones, a condición de que se lleve siempre un compás de gobierno adecuado.

- c) Los buques de arqueo bruto inferior a 150 toneladas irán provistos en la medida que la Administración lo estime razonable y factible, de un compás de gobierno y de medios para tomar marcaciones.
- d) Los buques de arqueo bruto igual o superior a 500 toneladas construidos el 1 de septiembre de 1984 o posteriormente irán provistos de un girocompás que permita cumplir con las siguientes prescripciones:
- i) las indicaciones del girocompás magistral o de un repetidor giroscópico habrán de ser claramente legibles para el timonel en el puesto de gobierno principal;
 - ii) en cuanto a los buques de arqueo bruto igual o superior a 1600 toneladas, habrá que contar con un repetidor giroscópico o con varios de estos repetidores adecuadamente emplazados para tomar marcaciones en un arco de horizonte que en la mayor medida posible sea de 360°.
- e) Los buques de arqueo bruto igual o superior a 1600 toneladas construidos con anterioridad al 1 de septiembre de 1984 irán provistos, cuando efectúen viajes internacionales, de un girocompás que cumpla con lo prescrito en el párrafo d).

3.1.4 Resolución A.382 (X) de la Organización Marítima Internacional.

Fue aprobada el 14 de noviembre de 1977. Considerando lo dispuesto en la Regla 12 del Capítulo V del Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en la mar (SOLAS), resuelve aprobar las Recomendaciones sobre emplazamiento a bordo de compases magnéticos y sobre normas de rendimiento de los mismo.

ANEXO 1. RECOMENDACION SOBRE EL EMPLAZAMIENTO A BORDO DE COMPASES MAGNETICOS

Se recomienda a los Gobiernos Miembros que se aseguren de que:

1. Todos los buques van dotados de:

- a) un compás magnético magistral, tal como éste queda definido en el Anexo II;

b) un compás magnético de gobierno, tal como éste queda definido en el Anexo II, a menos que la información sobre rumbo dada por el compás magistral prescrito en el apartado a) le sea facilitada en forma claramente legible al timonel que se halle en el puesto de gobierno principal;

c) medios adecuados de comunicación, que la Administración habrá de hallar satisfactorios, entre el puesto de emplazamiento del compás magistral y el puesto normal de control de la navegación.

2. Se lleva a bordo un compás magnético de respeto, intercambiable con el compás magistral, salvo que el buque lleve el compás de gobierno mencionado en el apartado 1 b) o un girocompás.

3. Todo compás magnético está compensado adecuadamente y que en todo momento se dispone a bordo, próximas al compás, de su tablilla o curva de desvíos residuales.

NOTA: Si la Administración no considera razonable o necesario exigir un compás magnético magistral podrá eximir a cualquier buque de las presentes prescripciones si la naturaleza del viaje, la proximidad del buque a tierra o el tipo de buque no justifican la necesidad de un compás magistral, a condición de que en todos los casos se prescriba un adecuado compás de gobierno.

ANEXO 2. RECOMENDACIÓN SOBRE NORMAS DE RENDIMIENTO DE LOS COMPASES MAGNÉTICOS

1. Definiciones

1.1 El compás magnético es un instrumento concebido de modo que tienda a señalar cierta dirección azimutal y a mantenerla permanentemente, y cuyas propiedades direccionales dependen del magnetismo de la Tierra.

1.2 El compás magistral es un compás magnético que se utiliza para la navegación, montado en una bitácora adecuada que contiene los necesarios dispositivos compensadores y dotado de un dispositivo apropiado de lectura azimutal.

1.3 El compás de gobierno es un compás magnético empleado para el gobierno del buque, montado en una bitácora adecuada que contiene los necesarios dispositivos compensadores.

NOTA: Si la imagen transmitida de un sector de la rosa náutica del compás magistral que se extienda al menos 15° a cada lado de la línea de fe es claramente legible a fines de gobierno en el puesto principal de gobierno, tanto con luz diurna como con luz artificial ajustada a lo dispuesto en el párrafo 7.1, el compás magistral podrá considerarse también como el compás de gobierno.

2. Rosa náutica

2.1 La rosa náutica deberá estar dividida en 360 grados. Cada diez grados, partiendo del Norte (000°) en el sentido de las agujas del reloj, hasta 360°, habrá una indicación numérica. Los puntos cardinales se indicarán por las mayúsculas N, E, S y W. Para indicar el punto Norte se podrá utilizar también un símbolo adecuado.

2.2 El error direccional de la rosa náutica, compuesto por inexactitudes de graduación, la excentricidad de la rosa en relación a su centro de giro y su defecto de orientación con respecto al sistema magnético, no deberá exceder de 0,5° en ninguna dirección.

2.3 La rosa náutica del compás de gobierno deberá ser claramente legible con luz diurna y con luz artificial a una distancia de 1 A m. Está permitido utilizar una lente de aumento.

3. Materiales

3.1 Los imanes empleados en el sistema direccional y los imanes compensadores destinados a corregir los campos magnéticos permanentes del buque tendrán una coercividad alta; lo menos de 11,2 kA/m.

3.2 Los materiales empleados para corregir los campos inducidos tendrán una remanencia y una coercividad bajas.

3.3 Todos los demás materiales empleados en el compás magnético y en la bitácora serán amagnéticos, en la medida en que esto sea razonable y posible, y de una naturaleza tal que la desviación de la rosa ocasionada por ellos no exceda de $(9/H)^\circ$, donde H es el componente horizontal de la densidad del flujo magnético en μT (micro Tesla) en el sitio en el que se halle el compás.

4. Funcionamiento

El equipo constitutivo del compás magnético deberá funcionar satisfactoriamente y ser utilizable en las condiciones operacionales y ambientales que puedan darse a bordo de los buques en que está instalado.

5. Error de construcción

5.1 Con el compás girando a una velocidad uniforme de $1,5^\circ$ por segundo y a una temperatura del compás de $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ la desviación de la rosa no excederá de $(36/H)^\circ$, si el diámetro de la rosa es inferior a 200 mm. Si este diámetro es igual o superior a 200 mm. la desviación de la rosa no excederá de $(54/H)^\circ$, donde H se define como en el párrafo a 3.3.

5.2 El error debido al rozamiento, a una temperatura de $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$, no excederá de $(3/H)^\circ$, donde H se define como en el párrafo 3.3.

5.3 Con un componente horizontal del campo magnético de $18 \mu\text{T}$ el semiperiodo de la rosa náutica será al menos de 12 segundos después de una desviación inicial de 90° . El tiempo invertido en regresar al meridiano magnético con discrepancia máxima de $\pm 1^\circ$ no excederá de 60 segundos después de una desviación inicial de 90° . Los compases aperiódicos sólo tendrán que cumplir con lo prescrito en último lugar.

6. Dispositivos compensadores

6.1 La bitácora irá provista de dispositivos con los que compensar las desviaciones semicirculares y cuadrantales debidas:

- a) a las componentes horizontales del magnetismo permanente del buque;
- b) al error provocado por la escora;
- c) a la componente horizontal del magnetismo horizontal inducido;
- d) a la componente horizontal del magnetismo vertical inducido.

6.2 Los dispositivos compensadores prescritos en el párrafo 6.1 asegurarán que no se produzcan cambios importantes de desviación a causa de las condiciones señaladas en el párrafo 4 y especialmente una alteración considerable de la latitud magnética.

7. Construcción

7.1 Se instalarán medios de iluminación principal y de emergencia que permitan leer la rosa náutica en todo momento, así como dispositivos para atenuar la luz.

7.2 Salvo en lo que respecta a la iluminación, para el funcionamiento del compás magnético no se necesitará suministro de energía eléctrica.

7.3 Cuando una reproducción eléctrica de la indicación del compás magistral esté considerada como compás de gobierno, el sistema transmisor irá provisto de suministro de energía eléctrica principal y de emergencia.

7.4 El equipo estará construido e instalado de modo que resulte fácilmente accesible a fines de corrección y mantenimiento.

7.5 El compás, la bitácora y el dispositivo de lectura azimutal irán marcados de un modo que la Administración juzgue satisfactorio.

7.6 El compás magistral llevará suspensión cardán, de manera que el anillo de fijación permanezca horizontal con la bitácora inclinada en una dirección cualquiera hasta 40° y

que el compás no pueda salirse de su alojamiento sea cual fuere el estado del mar o del tiempo. Los compases de gobierno con suspensión cardán cumplirán con las mismas prescripciones. Si no llevan esa suspensión permitirán que la rosa náutica se mueva al menos 30° en cualquier dirección.

7.7 Los materiales empleados en la fabricación de compases magnéticos tendrán resistencia suficiente y serán satisfactorios a juicio de la Administración.

8. Emplazamiento

8.1 El compás magnético se instalará, si es posible y razonable, en el eje longitudinal del buque. La línea de fe principal indicará el rumbo del buque con una precisión de $\pm 0,5^\circ$.

8.2 El compás magistral se instalará de manera que desde su emplazamiento la visión sea lo más ininterrumpida posible, a efectos de efectuar marcaciones horizontales y astronómicas. El compás magistral será claramente visible para el timonel desde el puesto de gobierno principal.

8.3 Los compases magnéticos se instalarán lo más lejos posible del material magnético.

Las distancias mínimas entre el compás magistral y el material magnético que forma parte de la estructura del buque serán satisfactorias a juicio de la Administración. En el diagrama dado a continuación aparece una orientación general en cuanto a las distancias mínimas que, según lo que se juzga conveniente, deberán mediar desde el compás magistral.

Las distancias mínimas convenientes para el compás de gobierno podrán reducirse al 65% de los valores indicados en el diagrama, a condición de que ninguna distancia sea inferior a 1 metro. Si sólo hay un compás de gobierno, en la medida de lo posible se aplicarán las distancias mínimas que rigen para el compás magistral.

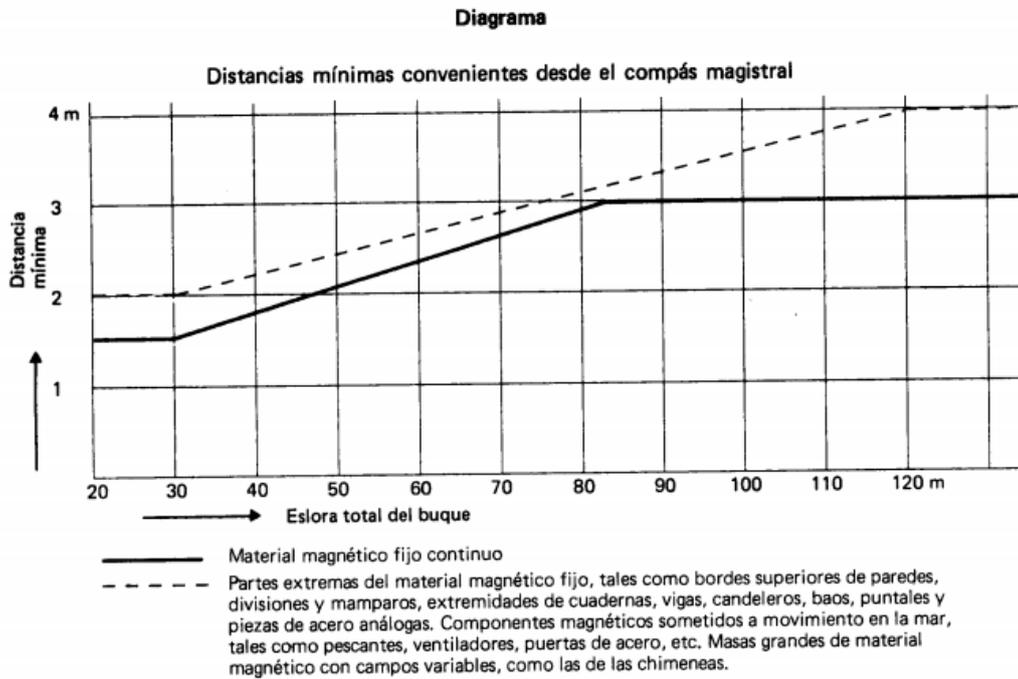


Figura 1. Distancia mínima conveniente desde el compás magistral. [11]

8.4 La distancia entre el compás magnético y el equipo eléctrico o magnético será como mínimo igual a la distancia especificada como de seguridad para el equipo y la que a juicio de la Administración sea satisfactoria.

3.1.5 Resolución 560 (14) de la Organización Marítima Internacional.

Aprobada el 20 de noviembre de 1989. Dispone entre otras cosas, que la tablilla de desvíos se mantendrá debidamente actualizada.

3.1.6 Orden 14 de diciembre de 1992 sobre compensación de agujas náuticas. Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

SEGURIDAD DE LA VIDA HUMANA EN EL MAR (Deroga la Orden 11 de marzo 1950)

La Regla V/12 del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, hecho en Londres el 1 de noviembre de 1974 y ratificado por España mediante Instrumento de Ratificación de 16 de agosto de 1978, en su forma enmendada, dispone que todos los buques deben ir provistos de un compás magnético que estará debidamente compensado y que su tablilla o curva de desvíos residuales estará disponible en todo momento.

La Orden del Ministerio de Industria y Comercio de 11 de marzo de 1950 sobre compensación de agujas náuticas, se limitó a determinar las personas que debían llevar a cabo la compensación de las agujas náuticas de un buque cuando ello fuera preciso.

Dado el tiempo transcurrido desde entonces, y considerando las sucesivas resoluciones de la Asamblea de la Organización Marítima Internacional que instan a los Gobiernos a hacer efectivas las recomendaciones sobre las operaciones de compensación, es necesario regular esta actividad náutica, determinando la cualificación profesional que han de poseer las personas que vayan a realizar dichas operaciones y la formación específica que han de recibir para la obtención del certificado de aptitud que les habilite para su ejercicio, las funciones propias del compensador de agujas náuticas y la expedición y condiciones de validez de los certificados acreditativos de las compensaciones realizadas por los habilitados para ello.

El fundamento sustantivo de esta Orden, aparte del Convenio Internacional citado, se halla en el artículo 574 del Código de Comercio, que ordena a los navieros y gente de mar que se sujeten a lo que las leyes y reglamentos de la Administración Pública dispongan, entre otras cuestiones, sobre navegación, seguridad de las naves y demás objetos análogos. La competencia para su regulación viene atribuida al Ministerio de Obras Públicas y Transportes, en virtud de lo dispuesto en el artículo 2. del Real Decreto 1661/1982, de 25 de junio, que faculta a este Departamento para establecer las normas de aplicación de los

preceptos del Convenio Internacional sobre Seguridad de la Vida Humana en el Mar y de su Protocolo modificativo de 17 de febrero de 1978.

Primero. Objeto.-Esta Orden tiene por objeto la determinación de la formación específica exigible para realizar la actividad de compensación de las agujas náuticas, la expedición del certificado de aptitud necesario para ello, las funciones del compensador y el modo de acreditar los procesos de compensación efectuados y las condiciones necesarias para su validez.

Segundo. Definiciones.-A los efectos de esta Orden se entiende por:

a) Compás magnético: Es un instrumento concebido de modo que tienda a señalar cierta dirección azimutal y a mantenerla permanentemente, y cuyas propiedades direccionales dependen del magnetismo de la Tierra.

b) Compás magistral: Es un compás magnético que se utiliza para la navegación, montado en una bitácora adecuada que contiene los necesarios dispositivos compensadores y dotado de un dispositivo apropiado de lectura azimutal.

c) Compás de gobierno: Es un compás magnético empleado para el gobierno del buque, montado en una bitácora adecuada que contiene los necesarios dispositivos compensadores.

d) Aguja magnética: Es un compás magistral o de gobierno, tal y como éstos se definen en los apartados b) y c) anteriores.

e) Dispositivos compensadores: Elementos instalados en la bitácora y utilizados para compensar las desviaciones semicircular y cuadrantal debidas a los componentes horizontales del magnetismo permanente del buque, al error provocado por la escora, y a los componentes horizontales de los magnetismos horizontal y vertical inducidos.

f) Compensador: Persona física en posesión del certificado de aptitud previsto en esta Orden y capacitado para ejercer la actividad de compensación de agujas náuticas.

Tercero. Curso de formación específica:

1. Para poder desempeñar la actividad de compensación de agujas náuticas será necesaria la realización y superación de un curso de formación específica y estar en posesión del correspondiente Certificado de Aptitud de Compensador.

2. El curso de formación específica tendrá una duración mínima de treinta horas lectivas y en él se impartirán enseñanzas teórico-prácticas sobre las siguientes materias:

- a) La figura del Compensador.
- b) Idea general del magnetismo terrestre.
- c) Agujas magnéticas.
- d) Estudio de los desvíos.
- e) Corrección de los desvíos.
- f) Método para compensar.
- g) Formación de una tablilla de desvíos.

3. Podrán realizar el curso de formación para la obtención del Certificado de Compensador los españoles o nacionales de otros Estados Miembros de la Comunidad Europea o de terceros Estados que estén en posesión del título de Licenciado o Doctor en Náutica y Transportes Marítimos, o equivalente, expedido en España, o de la titulación superior equivalente a aquélla debidamente homologada por la Administración española.

Cuarto. Centros que pueden impartir los cursos de formación.

a) Podrán impartir los cursos de formación para la obtención del Certificado de Aptitud de Compensador tanto los Centros públicos como privados, previa autorización de la Dirección General de la Marina Mercante.

En el caso de los Centros privados, la autorización se otorgará una vez que el Centro solicitante acredite que dispone de los medios humanos y materiales idóneos para la celebración de los cursos.

En todo caso, la Dirección General de la Marina Mercante podrá inspeccionar el funcionamiento de estos Centros, tanto públicos como privados, al objeto de controlar el desarrollo de los cursos y su adecuación a las exigencias de formación y profesionalidad necesarios para el ejercicio de las funciones de compensación de agujas náuticas.

b) No obstante lo dispuesto en el número anterior, si los cursos de formación fueran impartidos por las Universidades, la autorización para organizar e impartir los cursos y el control de su desarrollo y calidad de la enseñanza se efectuará de conformidad con el régimen especial de cooperación que se acuerde entre aquéllas y la Dirección General de la Marina Mercante.

Quinto. Certificado de Aptitud de Compensador.-Aquellos titulados que hayan superado el curso de formación obtendrán el Certificado de Aptitud de Compensador de Agujas Náuticas, que será expedido por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, a través de la Dirección General de la Marina Mercante, previa acreditación documental de la titulación requerida en el número 3 del apartado tercero de esta Orden, y que les facultará para ejercer todas las funciones propias de esta actividad.

Sexto. Funciones de los Compensadores.-Corresponderá a los Compensadores de agujas náuticas el ejercicio de las siguientes funciones:

a) Dirigir el desarrollo de las operaciones de compensación de compases magistrales o de gobierno instalados a bordo de los buques, de conformidad con la Regla V/12 del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar.

b) Realizar los cálculos precisos y actuar sobre los dispositivos compensadores de los compases magistrales o de gobierno en la forma precisa para realizar la compensación de los mismos.

c) Valorar la necesidad de realizar o no el proceso completo de compensación.

Este proceso no podrá omitirse, en ningún caso, si hubieran transcurrido más de dos años desde la última compensación, se hubieran realizado reparaciones o alteraciones de

importancia en construcción del buque o en partes de naturaleza magnética, o si el buque hubiera permanecido atracado en un mismo rumbo durante un período superior a seis meses.

En todo caso, el compensador deberá realizar igualmente el proceso completo de compensación si a resultas de una inspección, revisión o reconocimiento por la Inspección de Seguridad Marítima de una Capitanía Marítima, se hubiera determinado dicha necesidad.

d) Certificar los desvíos obtenidos durante el proceso de compensación, según el modelo que figura como anexo de esta Orden.

Séptimo. Certificaciones de compensación.-Todo proceso de compensación que se realice deberá acreditarse mediante la expedición de la correspondiente certificación firmada por el Compensador de Agujas Náuticas con el conforme del Capitán o Patrón del buque. Estas certificaciones deberán ser firmadas y selladas por el Capitán marítimo que corresponda, sin cuyo requisito carecerán de validez para acreditar el proceso de compensación ante cualquier inspección o reconocimiento por parte de las Autoridades marítimas.

Octavo. Disposición transitoria.-Quienes a la entrada en vigor de esta Orden vinieran realizando operaciones de compensación de agujas náuticas, podrán continuar ejerciendo esta actividad y solicitar de la Dirección General de la Marina Mercante del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, durante un plazo de seis meses, la expedición del correspondiente Certificado de Aptitud de Compensador, el cual les será otorgado siempre que acrediten el ejercicio continuado de esta actividad desde al menos dos años antes de la entrada en vigor de esta Orden.

Dicho extremo será acreditado mediante la oportuna certificación expedida por la Capitanía Marítima correspondiente.

Noveno. Disposición derogatoria.-Queda derogada la Orden del Ministerio de Industria y Comercio de 11 de marzo de 1950, sobre compensación de agujas náuticas.

Décimo. Habilitación al Director general de la Marina Mercante.-Se faculta al Director general de la Marina Mercante para dictar las resoluciones necesarias para el cumplimiento de esta Orden, en particular para desarrollar y especificar el contenido de las materias objeto del curso de formación, así como para establecer la cualificación académica y profesional que deba poseer el profesorado que imparta tales cursos.

Undécimo. Entrada en vigor.-Esta Orden entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el Boletín Oficial del Estado (B.O.E. 8 de enero 1993).

ANEXO

CERTIFICADO DE COMPENSACION DE AGUJAS NAUTICAS

D.....en posesión del Certificado de Aptitud de Compensador de Aguja Náutica registrado bajo el número.....

CERTIFICA:

Que al buque..... Señal distintiva Folio de la.....Lista de..... se le ha procedido a efectuar la compensación de las agujas magnéticas de acuerdo con la Orden del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de fecha anotándose los datos obtenidos en la tablilla de desvíos que figura al dorso.

Dado en..... a.....de.....mil novecientos noventa y.....

YDDE
El Capitán Marítimo

Conforme:
El Capitán o Patrón del Buque

(firma y sello)

TABLILLA DE DESVIOS

Rumbos de aguja	Desvíos	Rumbos de aguja	Desvíos
00 (N)		180 (S)	
015 (N15E)		195 (S15W)	
030 (N30E)		210 (S30W)	
045 (N45E)		225 (S45W)	
060 (N60E)		240 (S60W)	
075 (N75E)		255 (S75W)	
090 (E)		270 (W)	
059 (S75E)		285 (N75W)	
120 (S60E)		300 (N60W)	
135 (S45E)		315 (N45W)	
150 (S30E)		330 (N30W)	
165 (S15E)		345 (N15W)	

Figura 2. Tablilla de desvíos [18]

3.1.7 Resolución 16 de febrero de 1993.

Dirección General Marina Mercante. Marina Mercante homologa curso de Compensador de Agujas Náuticas que imparte el Colegio de Oficiales de la Marina Mercante Española.

Primero.

Homologar el curso de formación de Compensador de Agujas Náuticas. Previamente a la celebración de cada curso, el Colegio de Oficiales de la Marina Mercante (Inspección General de Enseñanzas Superiores Náuticas), para su realización, comunicando el lugar y fecha de celebración del curso, y relación nominal del profesorado con su currículum profesional. Para poder impartir los citados cursos deberán ser profesores de Navegación de las Escuelas Superiores de la Marina Civil o Compensadores en ejercicio, con una antigüedad mínima de dos años a la fecha de impartición del curso.

Segundo.

Al personal náutico superior que haya finalizado con aprovechamiento el curso impartido se le expedirá por la Dirección General de la Marina Mercante (Inspección General de Enseñanzas Superiores Náuticas) el oportuno certificado de aptitud de Compensador de Agujas Náuticas, a la vista de la certificación emitida por el Colegio de Oficiales de la Marina Mercante Española en la que conste que han superado las pruebas establecidas.

Tercero.

Esta homologación tendrá validez por un año a partir de la fecha de publicación de esta Resolución, pudiéndose prorrogar a la vista de la Memoria, planes de estudio, prácticas y demás documentación que presente el Colegio de Oficiales de la Marina Mercante Española, sobre el curso realizado en base a esta homologación.

Cuarto.

Al objeto de comprobar que el desarrollo de los cursos se adecua a los niveles de calidad y profesionalidad necesarios, la Inspección General de Enseñanzas Superiores Náuticas efectuará inspecciones periódicas de los mismos (B.O.E. 18 de marzo 1993).

3.1.8 Convenio Internacional de la Organización Marítima Internacional sobre Normas de Formación, Titulación y Guardia para la Gente de Mar 1978/1995.

El compás magnético continúa utilizándose, siendo hoy en día un instrumento esencial en la navegación marítima de superficie. En las puertas del siglo XXI, y a pesar de disponer de modernas agujas giroscópicas, la utilidad de la aguja magnética ha sido reconocida por la Organización Marítima Internacional, debiendo su estudio formar parte del currículo de los actuales pilotos.

Así se recoge en las Secciones A-II/1 (Requisitos mínimos aplicables a la titulación de los oficiales que hayan de encargarse de la guardia de navegación en buques de arqueo bruto igual o superior a 500) y A-II/2 (Requisitos mínimos aplicables a la titulación de capitanes y primeros oficiales de puente de buques de arqueo bruto igual o superior a 500) del Convenio Internacional sobre Normas de Formación, Titulación y Guardia para la Gente de Mar 1978/1995.

Cuadro A-II/1

Especificación de las normas mínimas de competencia aplicables a los oficiales encargados de la guardia de navegación en buques de arqueo bruto igual o superior a 500

Función: Navegación, a nivel operacional

Competencia	Conocimientos, comprensión y aptitud	Métodos de demostración de la competencia	Criterios de evaluación de la competencia
Planificar y dirigir una travesía y determinar la situación	<p>Compases: magnéticos y giroscópicos</p> <p>Conocimiento de los principios del compás magnético y del girocompás.</p> <p>Aptitud para determinar errores del compás magnético y giroscópico empleando medios astronómicos y terrestres, y para compensar tales errores.</p>		Los errores del compás magnético se determinan y aplican correctamente a los rumbos y marcaciones

Tabla 1. Normas mínimas de competencia [9]

Cuadro A-II/2

Especificación de las normas mínimas de competencia aplicables a los oficiales encargados de la guardia de navegación en buques de arqueo bruto igual o superior a 500

Función: Navegación, a nivel de gestión

Competencia	Conocimientos, comprensión y aptitud	Métodos de demostración de la competencia	Criterios de evaluación de la competencia
<p>Determinar y compensar los errores del compás</p>	<p>Aptitud para tener en cuenta los errores de los compases magnéticos y giroscópicos.</p> <p>Conocimiento de los principios de los compases magnéticos y giroscópicos.</p> <p>Comprensión de los sistemas comprobados por el giróscopo principal, y conocimiento del funcionamiento y cuidados de los principales tipos de compases giroscópicos.</p>	<p>Examen y evaluación de los resultados obtenidos en una o más de las siguientes modalidades formativas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Experiencia aprobada en el empleo 2. Formación aprobada con simulador si procede 3. Formación aprobada con equipo de laboratorio <p>Utilizando observaciones astronómicas, marcas terrestres y la comparación entre el compás magnético y el girocompás</p>	<p>El método y la frecuencia de las comprobaciones para detectar errores del compás magnético y del girocompás garantizan la exactitud de la información</p>

Tabla 2. Normas mínimas de competencia [9]

3.1.9 ISO 25862 Buques y tecnología marina – compases magnéticos marinos, bitácoras y dispositivos de lectura de azimut. Primera edición 15 de mayo de 2009.

Anexo G (normativa). Ajustes de los desvíos del compás magnético.

G1. General.

Un compás correctamente ajustado tendrá una desviación residual máxima de 3° en buques con una eslora de 82,5 metros o más y, de 4° en buques con una eslora de menos de 82,5 m. Las precisiones deberán estar dentro de 2° para una navegación segura.

G2. Cuándo ajustar el compás.

Los compases magnéticos deben ajustarse cuando:

- a) se instalan por primera vez;
- b) se convierten en poco fiables;
- c) se han hecho reparaciones o alteraciones estructurales al barco que podrían afectar a su magnetismo permanente y / o inducido;
- d) se añaden, se suprimen o se alteran equipos eléctricos o magnéticos situados cerca de la brújula;
- e) el registro (compass record book) muestra excesivos desvíos o cuando el compás muestra defectos físicos;
- f) en cualquier otro momento en el que el Capitán considere necesario para la seguridad de la navegación;

Todos los compases magnéticos deben ser ajustados con una frecuencia de:

- cada dos años, como máximo;
- después de dique seco ; o
- después de un trabajo estructural importante.

G3. Compensadores del compás.

La compensación deberá ser llevada a cabo por un compensador cualificado o por el Capitán del barco.

G4. Compensación mediante la barra Flinders.

Dicha compensación deberá incluir la compensación para todas las latitudes magnéticas en la que el buque puede operar, por lo que la desviación residual no debe exceder de 5° si seguidamente a ser construido el barco, éste realiza un cambio de latitud.

G5. Medios para corregir el rumbo a un rumbo verdadero.

Los medios para corregir el rumbo a un verdadero deberán estar disponibles en todo momento.

Por ejemplo, estos medios pueden ser la tabla desvíos residuales o la información de la curva y la variación magnética.

G6. Descripción de la compensación.

La compensación se llevará a cabo para las desviaciones semicirculares y las cuadrantales debido a:

- a) las componentes horizontales del magnetismo permanente del buque;
- b) el error de escora;
- c) la componente horizontal del magnetismo inducido horizontal;
- d) la componente horizontal del magnetismo inducido vertical utilizando respectivamente los dispositivos beneficiosos.

G7. Curva o tablilla de desvíos.

Cada compás magnético se ajusta correctamente y su tablilla o curva de desvíos residuales estará disponible a bordo en todo momento cerca de la unidad de visualización del compás.

3.1.10 Real Decreto 1837/2010, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de inspección y certificación de buques civiles.

CAPÍTULO II Actividades de inspección y procedimiento

Artículo 20. Firma y visado de documentos.

1. Todos los documentos, informes o manuales que a requerimiento de la Administración deban ser elaborados por los interesados, excepción hecha de los proyectos de construcción, de transformación, reforma o reparación de buques y de los asociados a la dirección de obra de estos mismos procesos, requerirán, en función de su naturaleza y contenido, la firma de un ingeniero naval, de un titulado superior de la Marina Civil, de un ingeniero técnico naval, o bien de un diplomado de Marina Civil, todos ellos en el ámbito de su especialidad y legalmente capacitados para el ejercicio de su profesión. Asimismo, deberán ser visados por el Colegio Oficial correspondiente del profesional que los haya firmado.

2. En todo caso los profesionales firmantes deberán acreditar la cobertura de la responsabilidad civil que pueda derivarse de sus actuaciones profesionales.

3.1.11 Orden FOM/3479/2002, de 27 de diciembre, por la que se regula la firma y visado de documentos a que se refiere el Real Decreto 1837/2000.

Artículo 4. Cobertura de responsabilidad civil.

Se entenderá acreditada la cobertura de la responsabilidad civil que pudiera derivarse de las actuaciones de los profesionales firmantes de los documentos, informes y manuales relacionados en el anexo al que se hace referencia en el artículo 2 de la presente Orden, de acuerdo con el artículo 20.2 del Real Decreto 1837/2000, de 10 de noviembre, mediante la exhibición de un documento que haga fe de tener vigente la suscripción de un contrato de seguro para este tipo de riesgos.

La suscripción del contrato de seguro podrá realizarse individualmente por el profesional o colectivamente por el Colegio Oficial correspondiente.

Dicho contrato de seguro podrá realizarse con empresas nacionales, o extranjeras que tengan la autorización administrativa correspondiente para operar en España en ese ramo de la actividad aseguradora, y estará sometido a la normativa específica española en esta materia.

El contrato de seguro tendrá por objeto cubrir la responsabilidad civil, ya sea derivada de una relación contractual o extracontractual, en cuantía suficiente, que no podrá ser inferior a quinientos mil euros, para hacer frente al pago de las indemnizaciones que les fueran imputables, por daños y perjuicios ocasionados por las acciones u omisiones del asegurado en el ejercicio de su actividad profesional.

ANEXO.

k) Compensación de agujas:

Titulado Superior de la Marina Civil (Licenciado en Náutica y Transporte Marítimo u otro título equivalente).

Apunte: Actualmente sustituida en la DGMM por Master en Ingeniería Náutica o Capitán de la Marina mercante.

3.2 Teoría relacionada con el desvío de la aguja.

A lo largo de los siguientes puntos se va a tratar la parte de teoría relacionada con la aguja y sus desvíos.

3.2.1 Magnetismo terrestre.

La Tierra se comporta como un gran imán, pero las líneas de campo magnético no se distribuyen uniformemente. El polo norte magnético (N) está cercano al polo sur geográfico y el polo sur magnético (S), lo está del polo norte geográfico.

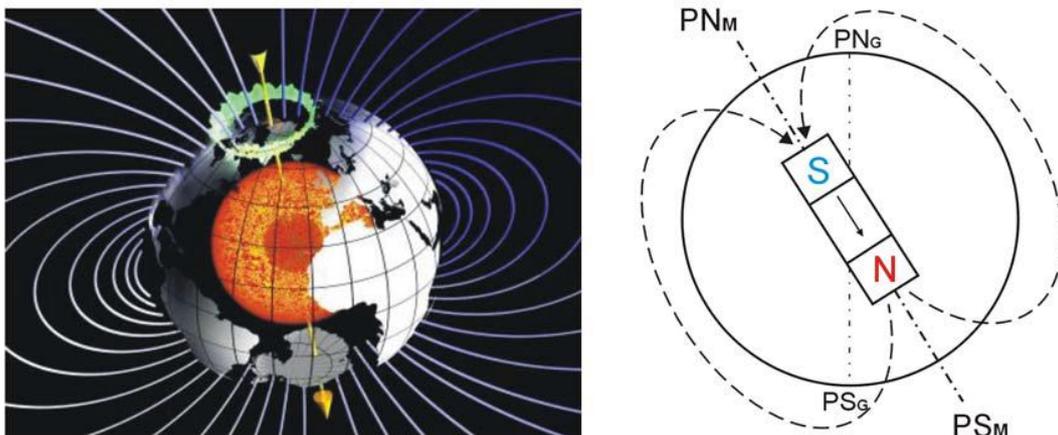


Figura 3. Relación entre Polos Geográficos y Polos Magnéticos [1]

Por conveniencia, se acuerda que los polos magnéticos se corresponden con los hemisferios geográficos por lo que el polo norte magnético de la Tierra está en el hemisferio norte y el polo sur magnético en el hemisferio sur.

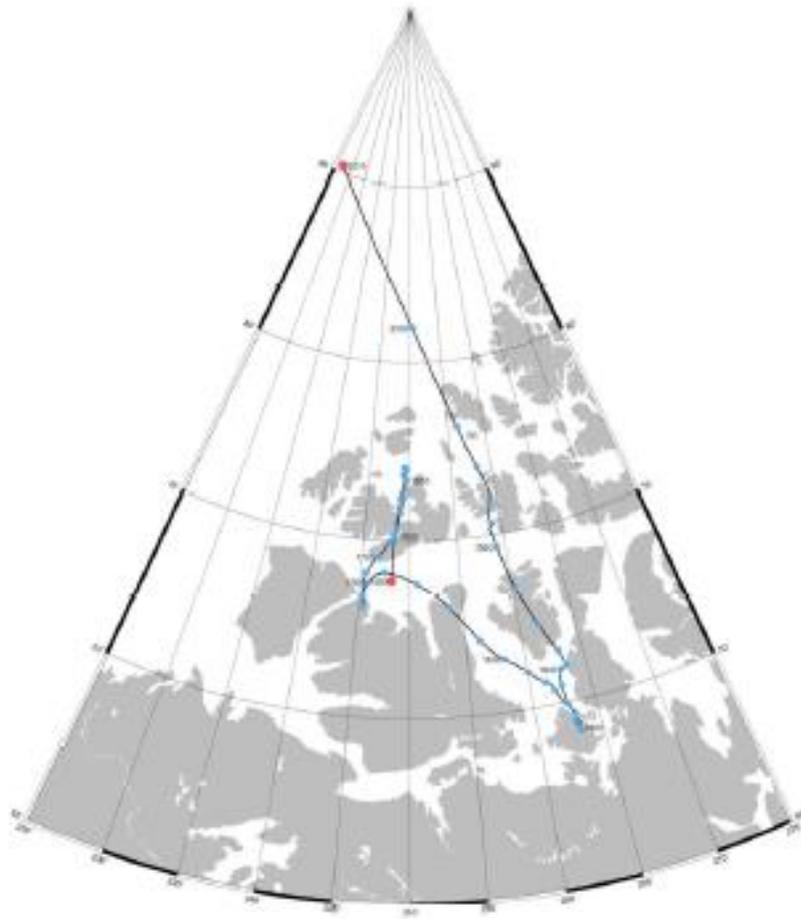


Figura 4. Evolución del Polo Magnético terrestre. [1]

Sobre una partícula situada en la superficie terrestre, actúa una fuerza total producida por la intensidad de campo magnético terrestre sobre este punto.

Esta fuerza que sigue la línea del campo magnético (F) se puede descomponer en una componente vertical (Z) y otra horizontal (H).

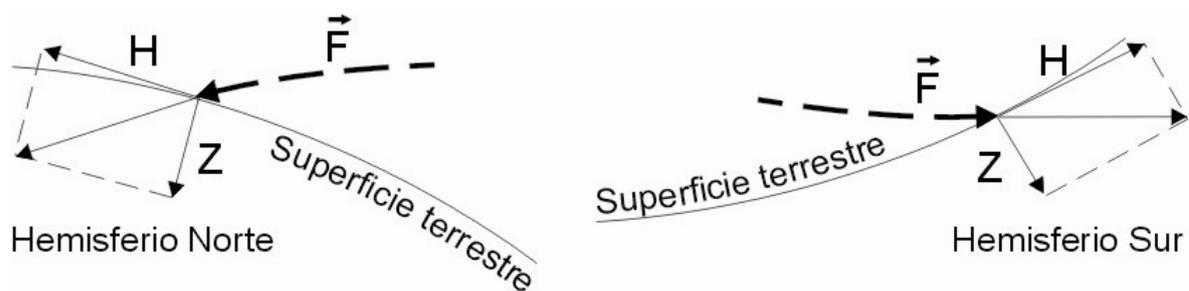


Figura 5. Descomposición de la fuerza total en H y en Z [7]

La componente horizontal (H) va paralela al horizonte, mientras que la componente vertical (Z) hace inclinar la aguja e imantará los hierros dulces verticales de a bordo.

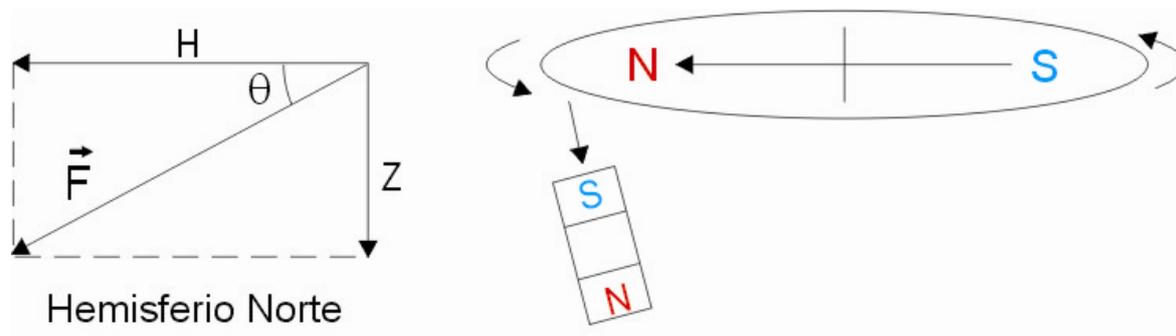


Figura 6. Efectos de H y Z sobre la aguja de a bordo. [1]

El ángulo entre la fuerza F y el horizonte es la inclinación magnética (θ). En el plano horizontal, Dentro del plano horizontal, el ángulo que forma el meridiano magnético con el geográfico se denomina declinación magnética (dm).

3.2.2 Campos magnéticos que actúan sobre la aguja náutica.

La aguja náutica se encuentra sometida a la acción de tres campos magnéticos. La fuerza resultante de los tres hace que la dirección del norte de la aguja forme un ángulo con el meridiano magnético llamado desvío (Δ).

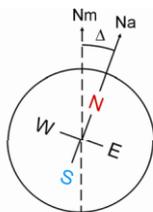


Figura 7. Desvío [1]

a) Campo magnético terrestre: Está representado por su componente horizontal H y es el responsable de la orientación de la aguja según el meridiano magnético. Es constante en magnitud independientemente de la dirección del buque. Varía si se cambia de situación geográfica.

b) Campo magnético permanente: es el debido a los hierros duros del buque. Es constante en intensidad y en posición respecto a la aguja, pero su acción sobre ella varía en función del rumbo.

c) Campo accidental o inducido: es variable en intensidad y dirección tanto en función del propio buque (cantidad y ubicación de hierro dulce a bordo) como en el rumbo.

3.2.3 Magnetismo permanente

Los hierros duros que intervienen en la construcción de un buque permanecen en una dirección en la grada durante mucho tiempo por lo que están sometidos a la acción del campo magnético terrestre. Esto, unido a las operaciones mecánicas ejercidas sobre ellos, tiene como resultado la aparición de un magnetismo permanente en el casco del buque. Este magnetismo se altera posteriormente cuando se arma el buque por lo que la polaridad no queda establecida definitivamente hasta que el buque lleve un tiempo navegando. Por eso se realiza una primera compensación inicial y al cabo de 2 años se realiza la siguiente.

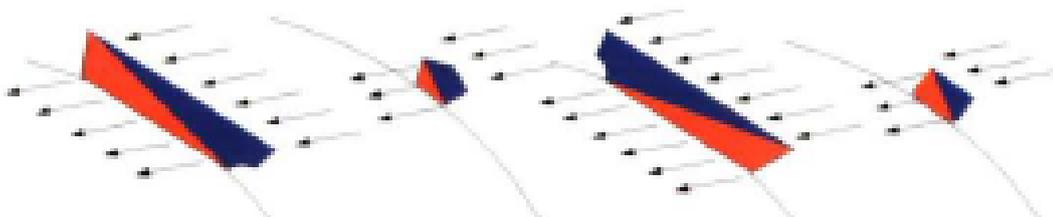


Figura 8. Magnetismo permanente vertical en la grada [7]

El magnetismo adquirido en la grada durante la construcción es el más influyente y varía en función del rumbo de grada. Hay que tener en cuenta que la polaridad azul o sur aparece en la parte por donde entran las líneas de fuerza y la polaridad roja por donde salen. Se supone que el buque de la figura anterior está construido al norte del Ecuador Magnético.

Los buques construidos en el H.N. magnético adquieren polaridad roja en la quilla y azul en cubierta. En los buques construidos en el H.S. magnético sucede lo contrario, polaridad azul en la quilla y roja en cubierta.

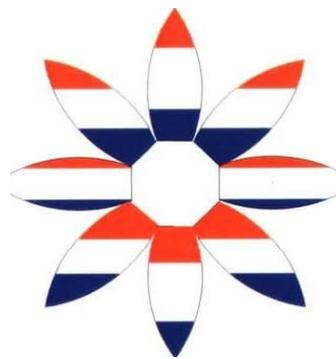


Figura 9. Magnetismo horizontal en la grada [7]

En la siguiente figura podemos observar como quedaría el magnetismo permanente en los diferentes rumbos de grada en el hemisferio norte magnético.

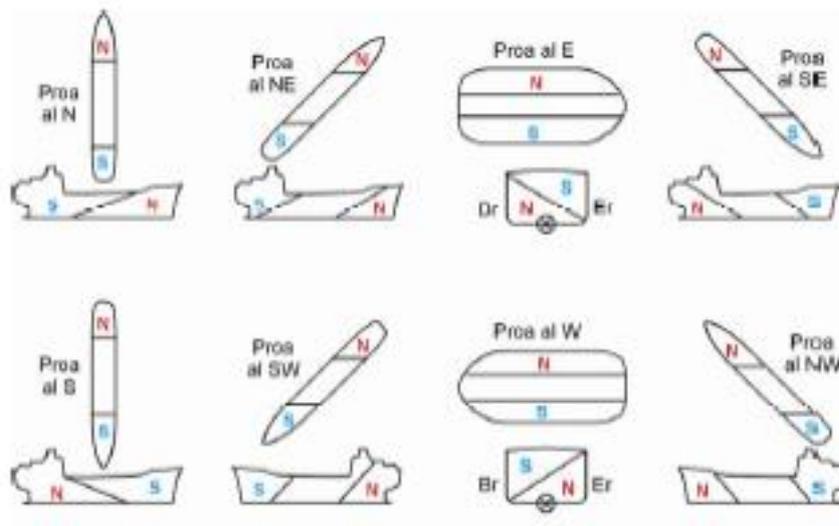


Figura 10. Magnetismo permanente en el hemisferio norte magnético [1]

Se observa que con rumbos al Norte el buque adquiere polaridad roja en la proa y azul en la popa. Además, con rumbos del primer y segundo cuadrante (NE, E y SE), la polaridad roja o norte queda a babor y la sur o azul a estribor. También se aprecia en los rumbos E y W que los buques construidos en el hemisferio norte magnético adquieren polaridad roja en la quilla y azul en cubierta.

Se puede establecer como norma que, la polaridad vertical de la quilla de un buque es la misma que el hemisferio magnético donde se ha construido, es decir, construido en el norte, polaridad roja en la quilla.

El buque cuando adquiere su polaridad definitiva se comporta como un imán de grandes dimensiones (como la Tierra), por lo que las fuerzas ejercidas por sus polos sobre la aguja se pueden considerar iguales y paralelas. De esta manera solamente se estudia la acción de un solo polo, el más cercano a la aguja.

3.2.3.1 Sustitución del magnetismo permanente por imanes P, Q y R.

Para el estudio de la fuerza ejercida por el polo más cercano sobre la aguja, se descompone ésta según los 3 ejes (X, Y, Z) que representan las direcciones proa-popa, babor-estribor y vertical.

Tomando como ejemplo un buque con rumbo en el segundo cuadrante (SSE), vemos las componentes de los 3 imanes permanentes (P, Q y R) y su efecto sobre la aguja magnética.

Para compensar la aguja náutica hay que colocar los imanes de tal manera que contrarresten los efectos de los imanes permanentes del buque. Para ello hay que colocarlos con la polaridad invertida respecto a los imanes permanentes del buque.

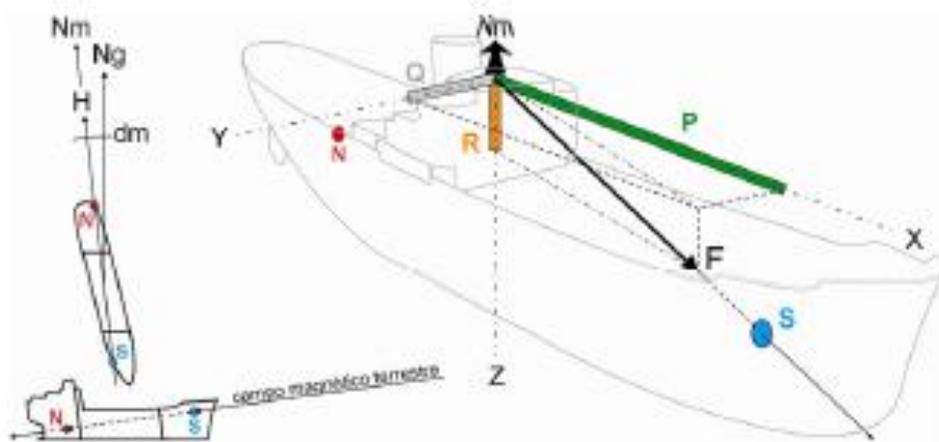


Figura 11. Descomposición en imanes P,Q y R [1]

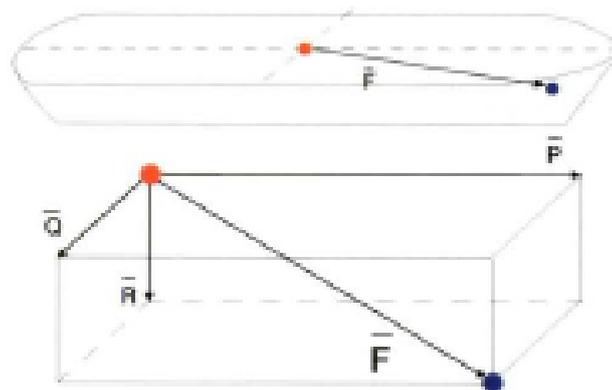


Figura 12. Paralelogramo imanes P, Q y R [1]

El buque de la figura anterior se corresponde a un buque con un rumbo de grada del 2° cuadrante (SSE) construido en el hemisferio norte magnético. F es la fuerza total que atrae a la aguja magnética. Esta fuerza F se descompone según la regla del paralelogramo, en las fuerzas P , Q y R consideradas respectivamente los imanes P , Q y R . El polo azul es el que se considera más cercano a la aguja.

Los imanes P (ya que son una pareja), están colocados longitudinalmente bajo el compás y se aproximan o se alejan verticalmente a la aguja hasta que el norte de la aguja (N_a) coincida con el Norte magnético (N_m).

El imán Q, que también está situado bajo la aguja, se acerca o se aleja verticalmente a la aguja hasta que el Na coincide con el Nm.

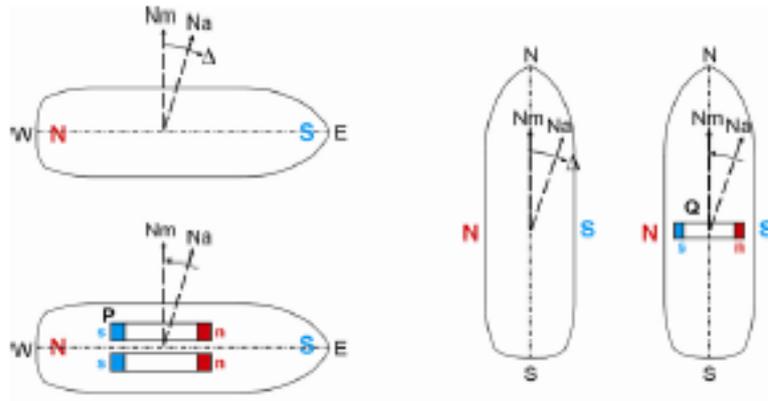


Figura13. Magnetismo permanente [1]

3.2.3.2 Significación y signo del magnetismo permanente.

El imán P es positivo cuando desplaza la aguja hacia proa y negativo cuando lo hace hacia popa. Un imán "P+" indica que un buque ha sido construido con un rumbo de grada del 1er o 2º cuadrante, mientras que un "P-" indica un rumbo de grada del 3er o 4º cuadrante.

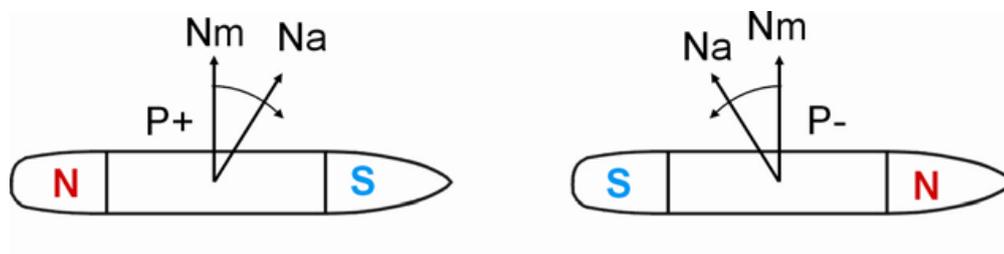


Figura 14. Imán P [1]

El imán Q es positivo cuando desplaza la aguja hacia estribor y negativo cuando lo hace hacia babor. Un "Q+" significa que un buque ha sido construido con un rumbo de grada del 1er. o 4º cuadrante y un "Q-" cuando el rumbo de grada es del 2º o 3er cuadrante.

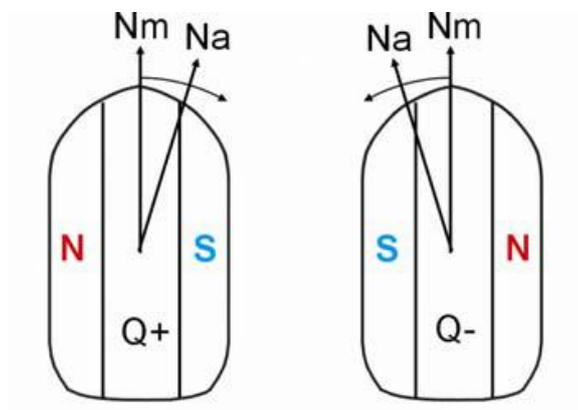


Figura 15. Imán Q [1]

El imán R es positivo cuando desplaza la aguja hacia la quilla y negativo cuando lo hace en sentido contrario, es decir, hacia arriba. Un "R+" significa que ha sido construido al norte del Ecuador magnético y un "R-" significa que ha sido construido al Sur del Ecuador magnético.

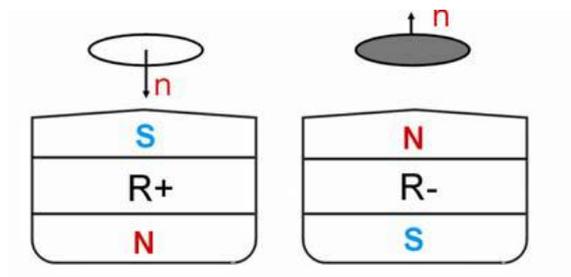


Figura 16. Imán R [1]

3.2.3.3 Desvíos de los imanes P, Q y R.

a) Imán P.

Se encuentra en el eje longitudinal y sus desvíos son máximos con rumbos magnéticos E y W, mientras que la fuerza directriz es máxima con rumbos magnéticos N y S. En la siguiente figura se analiza un imán +P (rojo en la popa) y se pueden observar sus desvíos a los diferentes rumbos.

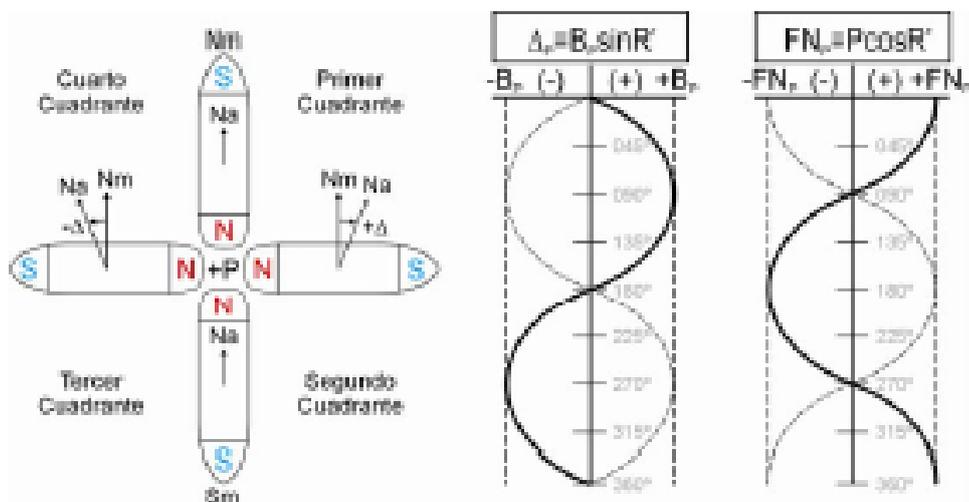


Figura 17. Imán P [1]

Se observa que para un imán $+P$, los desvíos en el primer y segundo cuadrante son positivos, mientras que en el tercer y cuarto cuadrante son negativos; esto queda reflejado en la figura mediante la senoide del desvío, con una traza gruesa y continua. También se observa que el desvío es nulo en los rumbos magnéticos N y S .

En el caso de analizar un imán $-P$, los desvíos son negativos en el primer y segundo cuadrante y positivos en el tercer y cuarto cuadrante; en la misma figura, queda reflejado mediante una traza fina y discontinua sobre la senoide del desvío del imán $+P$. En este caso, al igual que sucede con el imán $+P$, el desvío es nulo en los rumbos magnéticos N y S .

En cuanto al análisis de la fuerza directriz del imán $+P$, se observa que tiene un máximo positivo con rumbo magnético N y un máximo negativo con rumbo magnético S , mientras que su valor es nulo con rumbos magnéticos E y W . En el caso de un imán $-P$, su máximo positivo es con rumbo magnético S y su máximo negativo es con rumbo magnético N . Además mantiene sus valores nulos con rumbos magnéticos E y W .

Y sobre el signo de la fuerza al norte, en un imán $+P$ se observa que es positiva en el primer y cuarto cuadrante mientras que es negativa en el segundo y tercer cuadrante.

Lógicamente, para un imán -P ocurre lo contrario, es negativa en el primer y cuarto cuadrante y es positiva en el segundo y tercer cuadrante.

Para corregir el efecto desviador del imán P y restablecer la fuerza al norte, se colocan bajo el compás y dentro de la bitácora, una pareja o más (parejas) de imanes longitudinales a babor y estribor del cajetín o taladro central por donde corre el estuche del corrector de escora, encargado de la corrección del desvío de escora.

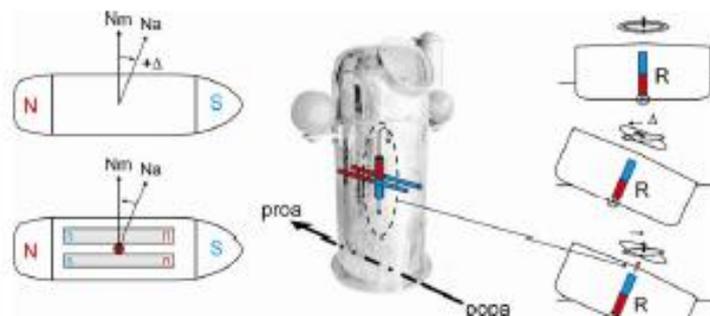


Figura 18. Corrector longitudinal [1]

La anterior imagen nos hace intuir cómo compensa el imán de escora el efecto producido por el imán R de a bordo. Este caso está representado para un buque construido en el hemisferio norte, donde la polaridad roja queda sobre la quilla. Para compensar el desvío, el corrector o correctores verticales deben tener la polaridad contrapuesta, es decir, azul abajo.

b) Imán Q.

Está situado en el eje transversal y sus desvíos máximos son con rumbos magnéticos N y S, mientras que la fuerza al norte es máxima con rumbos magnéticos E y W. En la siguiente figura, se analiza un imán +Q (rojo en la banda de babor) donde se pueden observar los desvíos a cada rumbo.

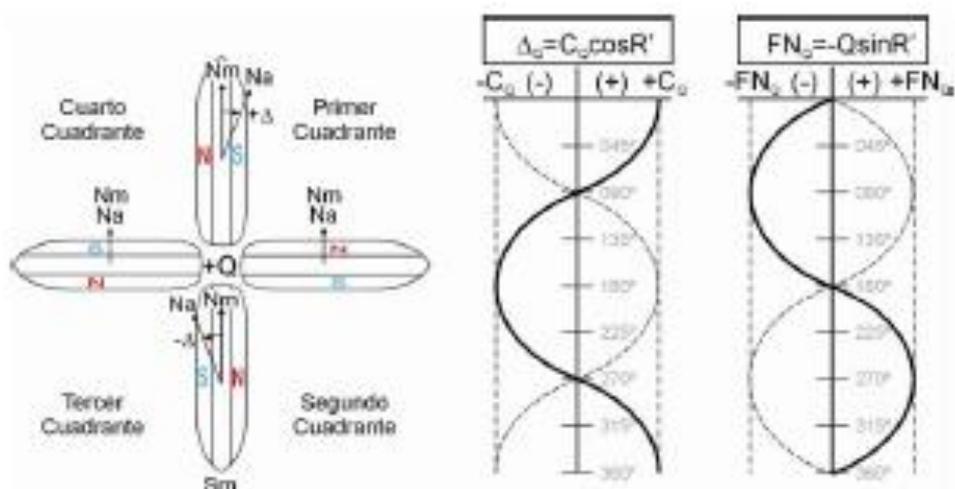


Figura19. Imán Q [1]

En la parte analítica, observamos que en un imán +Q los desvíos en el primer y cuarto cuadrante son positivos, mientras que son negativos en el segundo y tercer cuadrante. Se representa la curva de +Q, con traza gruesa y continua. Se aprecia que el desvío es nulo para rumbos magnéticos E y W.

En el caso de un imán -P (traza delgada y discontinua), los desvíos son negativos para rumbos magnéticos del primer y cuarto cuadrante y positivos para rumbos magnéticos del primer y cuarto cuadrante. Además, se observa que para rumbos magnéticos E y W los desvíos son nulos.

Sobre la fuerza directriz, en el imán +Q hay un máximo con rumbo magnético W, un mínimo con rumbo magnético E (traza gruesa y continua), y es nula con rumbos magnéticos N y S. Se observa que es negativa con rumbos magnéticos del primer y segundo cuadrante y positiva con rumbos magnéticos del tercer y cuarto cuadrante. En un imán -Q, sucede lo contrario, hay un máximo con rumbo magnético E y un mínimo con rumbo magnético W. Además se observa que es positiva para rumbos magnéticos del primer y segundo cuadrante y negativa para rumbos magnéticos del tercer y cuarto cuadrante.

Para corregir los desvíos producidos por el imán transversal Q se colocan uno o más imanes transversales (en este caso no van en parejas, como los correctores longitudinales) a popa de la vertical del compás y con la polaridad opuesta respecto al imán Q, es decir que en caso de compensar un imán +Q, el imán transversal se coloca con rojo a estribor y si se trata de compensar un imán -Q, el imán transversal se coloca con rojo a babor.

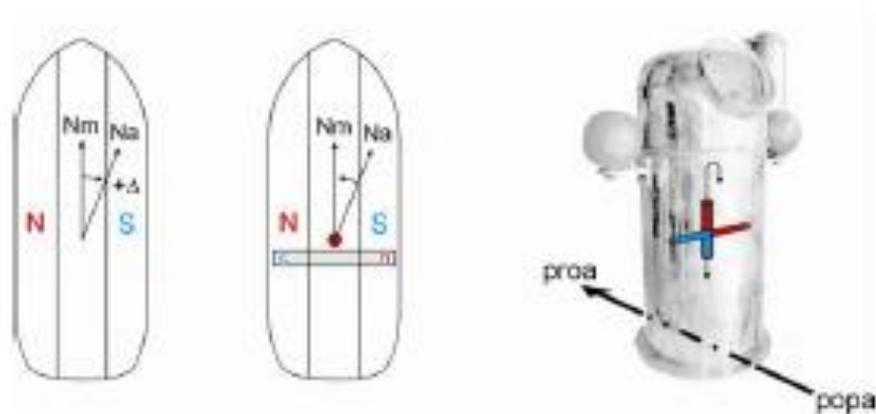


Figura 20. Corrector transversal [1]

c) Imán R.

La siguiente imagen, que ha aparecido anteriormente cuando hablábamos del imán P, nos hace intuir cómo compensa el imán de escora el efecto producido por el imán R de a bordo. Este caso está representado para un buque construido en el hemisferio norte, donde la polaridad roja queda sobre la quilla. Para compensar el desvío, el corrector o correctores verticales deben tener la polaridad contrapuesta, es decir, azul abajo.

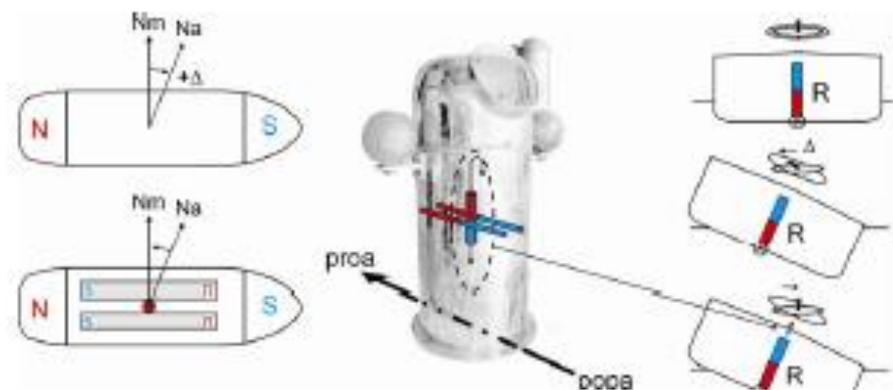


Figura 21. Corrector vertical [1]

La gráfica que se muestra a continuación representa los desvíos producidos por un imán de escora (R) positivo. Se observa como son máximos sus desvíos en los rumbos magnéticos N y S y nulos a los rumbos magnéticos E y W. Su fuerza directriz es máxima a los rumbos magnéticos E y W y nula en los rumbos magnéticos N y S.

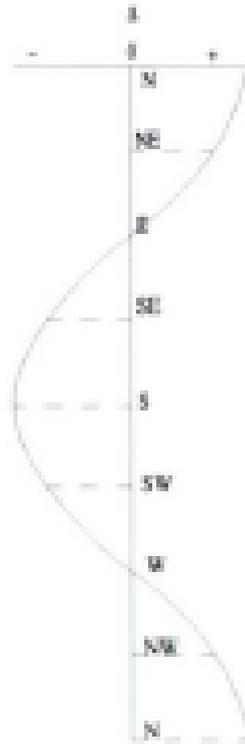


Figura 22. Desvío imán R [7]

3.2.4 Magnetismo inducido.

El magnetismo inducido es aquel producido por materiales considerados hierros dulces (imantados por influencia). Varía su intensidad en función de la posición que ocupen los hierros dulces dentro del campo magnético terrestre. Al igual que en el magnetismo permanente, el efecto del magnetismo inducido es el producido por un polo, que atrae o repele a la aguja. Este polo, a diferencia del polo del magnetismo permanente, es un polo de intensidad variable. Las fuerzas que genera el magnetismo inducido se representan sobre tres ejes, conocidos como X', Y' y Z'

Los hierros dulces del buque capaces de adquirir magnetismo inducido son los que constituyen fundamentalmente la estructura donde se apoyan las planchas de acero por lo que su posición está ubicada en los planos longitudinal, transversal y vertical. De esta manera se pueden descomponer sus componentes en los referidos planos.

Estas estructuras en forma de barras delgadas en comparación con las dimensiones del buque, se pueden asimilar a varillas de longitud indefinida, por lo que sólo se tiene en cuenta la acción del polo más cercano a la aguja. La mayor parte de los hierros dulces del buque tienen una distribución simétrica respecto a la aguja, por lo que sus acciones se anulan. La fuerza ejercida por los restantes elementos se descomponen según los ejes rectangulares X, Y, Z; que bien podrían ser las direcciones de proa, estribor y abajo. No obstante, cuando uno de estos elementos no esté en uno de los planos anteriores se puede descomponer y proyectar en los ejes anteriores.

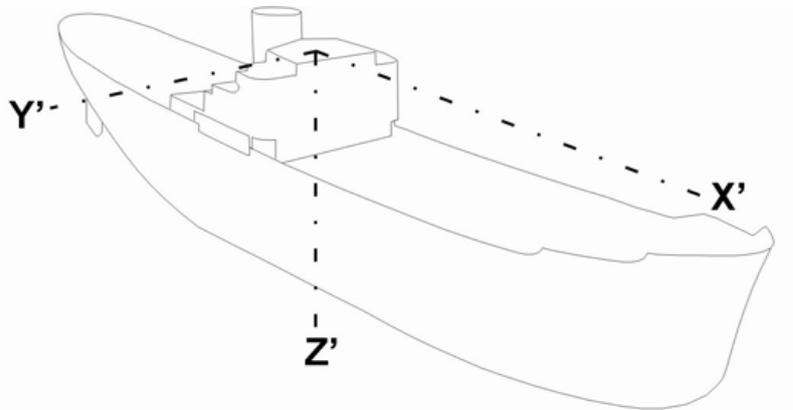


Figura 23. Descomposición en 3 ejes [7]

Debido a la complejidad de estos hierros, esta descomposición no es suficiente, por lo que es necesario volver a descomponer los hierros de cada eje predominante en otras tres nuevas componentes. De esta manera surge la tradicional división del magnetismo inducido en las llamadas "nueve varillas ideales", con la certeza de que todo el magnetismo inducido está representado en alguna de ellas.

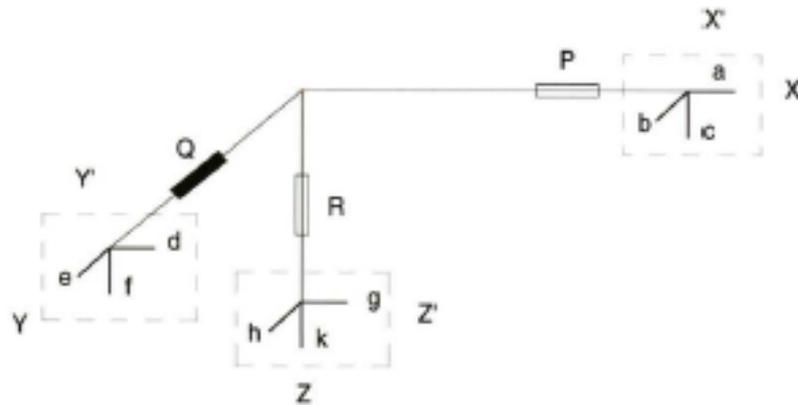


Figura 24. Varillas [7]

Las letras que representan estas varillas "a", "b", "c", "d", "e", "f", "g", "h" y "k", además de indicar su posición respecto a la aguja, representan la susceptibilidad magnética de cada una de ellas.

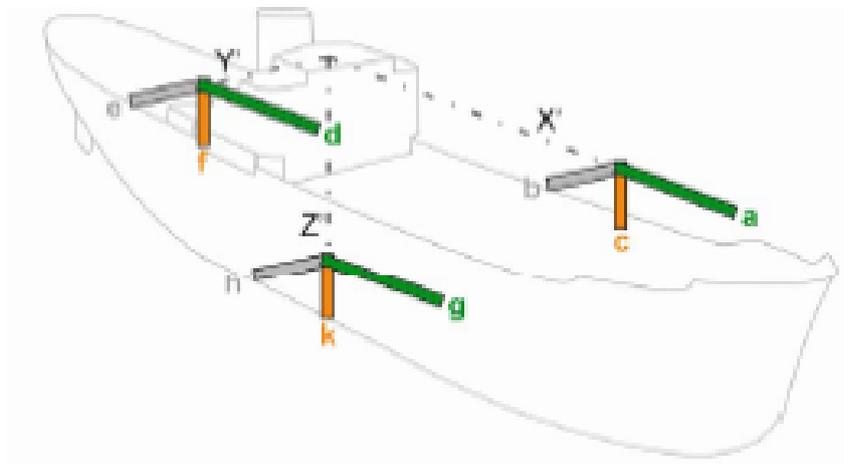


Figura 25. Varillas [1]

Las varillas a, d y g, y b, e y h son inducidas por la componente horizontal del campo magnético terrestre (H), pero las varillas c, f y k lo son por la componente vertical del mismo (Z).

Por ejemplo, en un buque con rumbo magnético N, la varilla a tiene una inducción máxima por estar en paralelo al campo H, mientras que las inducciones de las varillas b y c son nulas por estar en perpendicular.

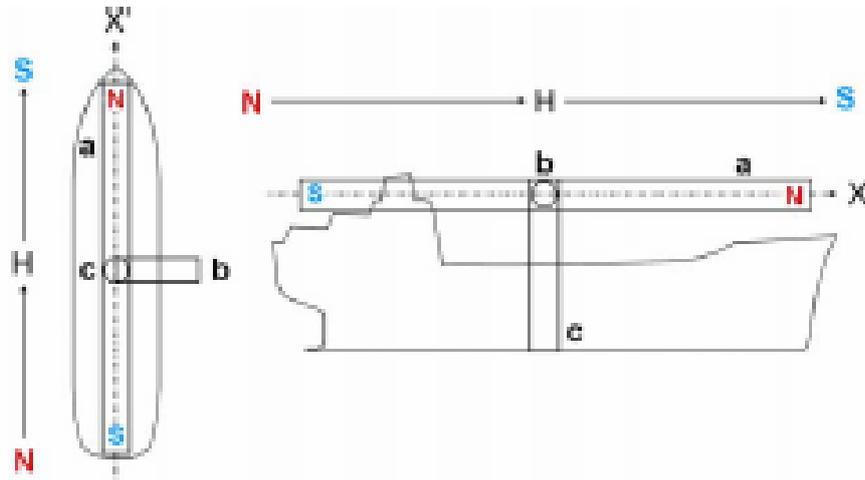


Figura 26. Varillas a, b y c [1]

3.2.4.1 Significación y signo del magnetismo inducido.

El signo del magnetismo inducido no se determina igual que en el magnetismo permanente, ya que la misma varilla, dependiendo del rumbo del buque y del hemisferio donde navegue, varía su inducción y, por tanto, su polaridad.

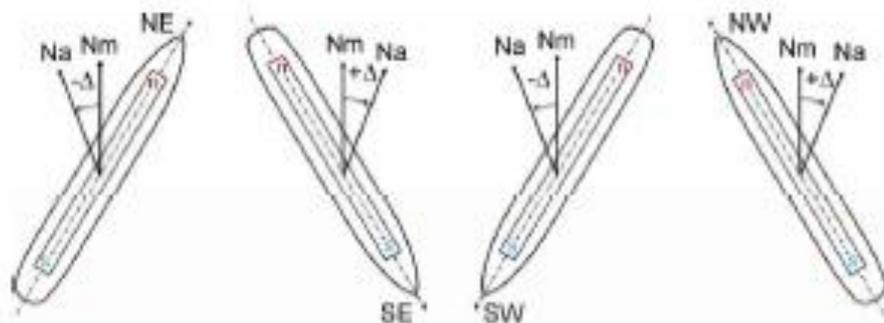


Figura 27. Desvíos varilla a [1]

En la figura anterior se observa como la varilla a es inducida por la componente H del campo magnético terrestre, con el norte en proa y el sur en popa con rumbos magnéticos del primer y cuarto cuadrante, mientras que con rumbos magnéticos del segundo y tercer cuadrante, la varilla es inducida de forma contraria, con el norte en la popa y el sur en la proa.

En la siguiente figura se aprecia como la varilla c está inducida en función del hemisferio donde navegue el buque, en vez de por su rumbo. Por lo tanto, está afectada por la componente Z del campo magnético terrestre. En el hemisferio norte, la varilla c es inducida con el sur en la parte superior y norte en la inferior mientras que en el hemisferio sur ocurre lo contrario. De esta manera se corrobora la norma que dice que la parte inferior de la varilla c es de igual nombre que el hemisferio.

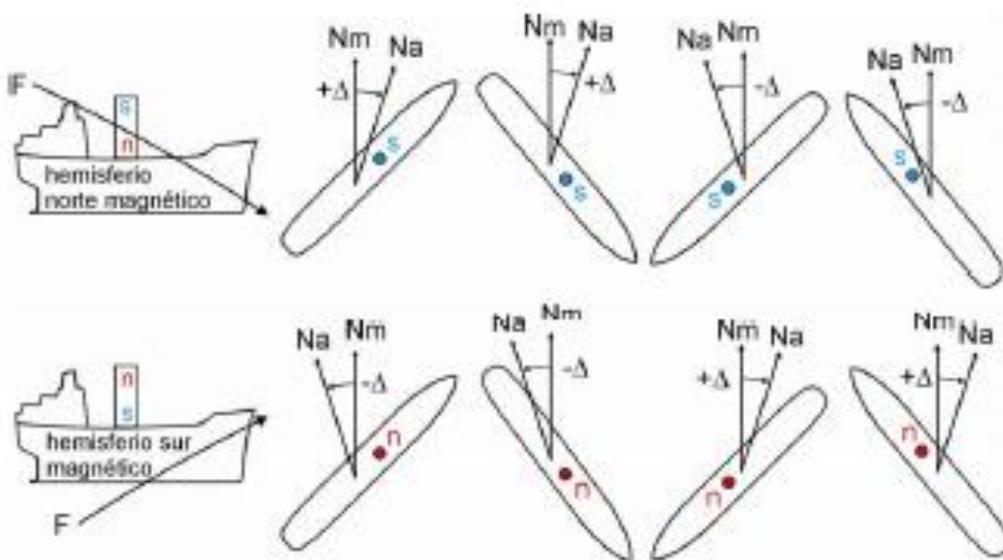


Figura 28. Varilla c [1]

En la imagen anterior se observa que la varilla c produce en el hemisferio norte magnético desvíos positivos con rumbos magnéticos del primer y segundo cuadrante y negativos con rumbos magnéticos del tercer y cuarto cuadrante. En el hemisferio sur magnético, se invierte la polaridad y, consecuentemente, se invierte el signo del desvío producido por la varilla c, es decir que con rumbos magnéticos del primer y segundo cuadrante se producen

desvíos negativos y con rumbos magnéticos del tercer y cuarto cuadrante se producen desvíos positivos.

A las varillas se les asigna un signo convencional de acuerdo con su posición respecto a la aguja náutica.

Las varillas "a", "e" y "k" son positivas cuando son cortas, es decir, con los dos polos al mismo lado de la aguja y negativas cuando son corridas, es decir, si pasan de un lado a otro de la aguja ya los desvíos que actúan sobre la aguja son de signo contrario

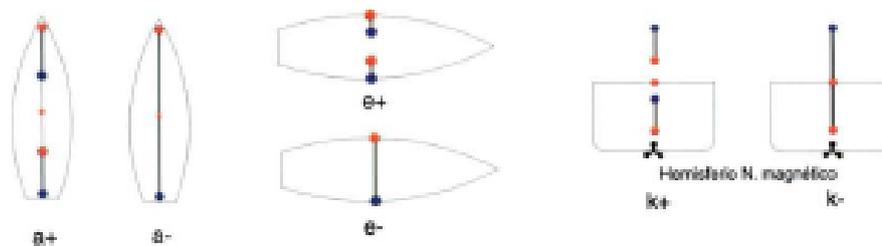


Figura 29. Signo varillas a, e y k [1]

Al resto de varillas se les aplica el producto de signos a partir de su posición respecto a la aguja y teniendo en cuenta que las direcciones proa, estribor y abajo se asigna el signo positivo y popa, babor y arriba el signo negativo.

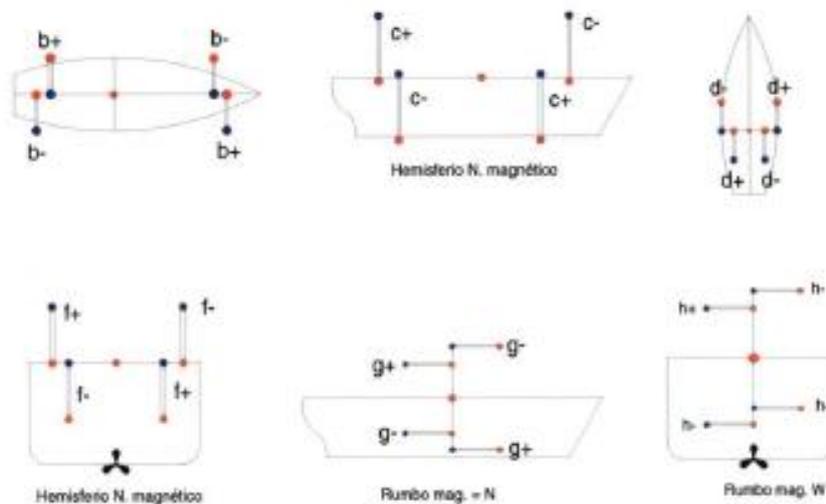


Figura 30. Signo resto de varillas [1]

- La varilla "a" representa el hierro dulce longitudinal proyectado simétricamente en el eje proa-popa, como la quilla, mamparos longitudinales etc. Estos hierros generalmente son corridos, por lo tanto la varilla "a" es negativa.
- La varilla "e" representa el hierro dulce transversal simétrico como baos y mamparos transversales. Estos hierros son generalmente corridos de babor a estribor, por lo tanto la varilla "e" es negativa.
- La varilla "k" representa el hierro dulce vertical proyectado simétricamente en el eje vertical de la aguja como la chimenea, el palo mayor, etc. Generalmente es positiva.
- Las varillas "b", "d", "f" y "h" representan el hierro dulce asimétrico. En una aguja correctamente instalada en el plano de crujía y en buques de construcción simétrica no tienen razón de existencia. Aún así, en caso de existir, tienen poco valor.
- La varilla "c" representa el hierro dulce vertical sobre el plano longitudinal como palos, grúas etc. Generalmente es negativa.
- La varilla "g" representa el hierro dulce longitudinal por debajo del plano de la aguja. Estos hierros suelen estar en la sala de máquinas y por su posición respecto de la aguja, ejercen una acción muy limitada.

3.2.4.2 Desvíos producidos por las varillas.

- **Varilla a**

Es una varilla longitudinal, generalmente negativa o corrida (de proa a popa), es decir que tiene cada una de sus dos polaridades a proa y popa de la aguja. Forma parte del coeficiente D. Produce un desvío de tipo cuadrantal, es decir, con dos máximos, dos mínimos y cuatro valores nulos. Su inducción está en función exclusiva de la componente

horizontal del campo magnético terrestre (H), es decir, en función de la situación geográfica y del rumbo.

Se va a analizar una varilla $-a$. De su expresión del desvío “ Δa ” y de la fuerza al norte “ FN_a ”, se deduce el siguiente análisis gráfico y analítico.

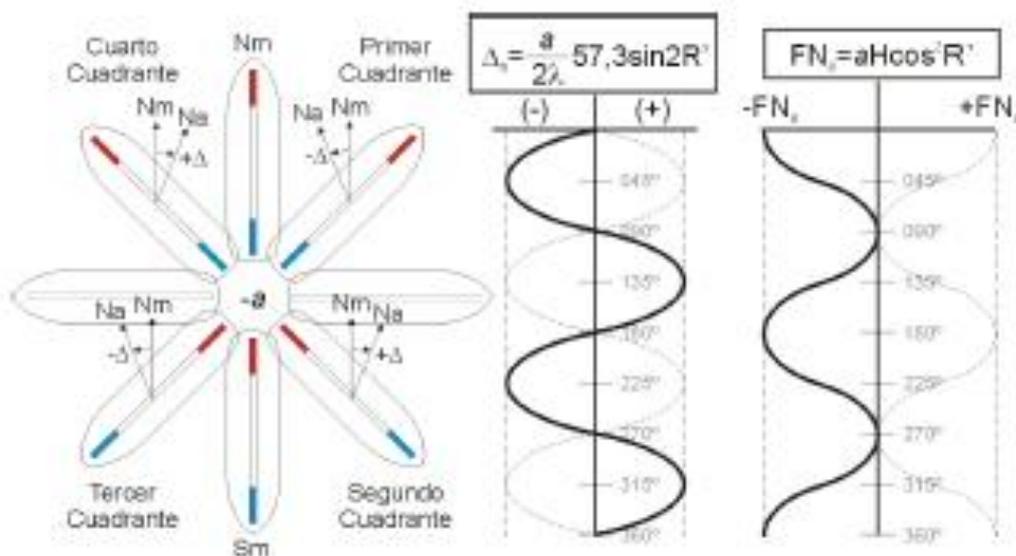


Figura 31. Varilla a [1]

En el análisis de una varilla $-a$, se observa que sus dos desvíos máximos negativos se producen a los rumbos cuadrantales NE y SW, sus dos máximos positivos se producen a los rumbos cuadrantales SE y NW y son nulos a rumbos cardinales. Por tanto, los desvíos son positivos en el segundo y cuarto cuadrante, y negativos en el primero y el tercero.

En el caso de una varilla $+a$ (traza fina y discontinua), todos los desvíos que produzca son de signo contrario a la varilla $-a$ analizada.

En cuanto a su fuerza directriz, al estar multiplicada la varilla negativa por el cuadrado del coseno del rumbo, nunca alcanza un valor positivo, oscilando entre el valor “ $-a \cdot H$ ” y 0. Es máxima a rumbos cardinales N y S, y nula a rumbos cardinales E y W.

En cuanto a una varilla +a (línea discontinua), la fuerza directriz nunca alcanza valores negativos, oscilando entre el valor “a·H” y cero. Es máxima a rumbos cardinales N y S, y nula a rumbos cardinales E y W.

● Varilla b

La varilla b forma parte del coeficiente constante A y del coeficiente cuadrantal E y suele ser positiva.

Del análisis gráfico y analítico de una varilla +b, se puede deducir, respecto al desvío, que sus valores son siempre negativos (debido a “-b” y al $\sin 2R'$), exceptuando a los rumbos N y S, que es nulo ya que no ejerce inducción el campo H sobre la varilla. El valor del desvío es máximo con rumbos E y W.

Con traza discontinua se analiza una varilla -b, donde en este caso el desvío es siempre positivo con excepción de los rumbos N y S, por el mismo motivo.

Respecto a la fuerza directriz, su valor oscila entre positivo y negativo, con máximos a los rumbos cuadrantales y valores nulos a los cardinales.

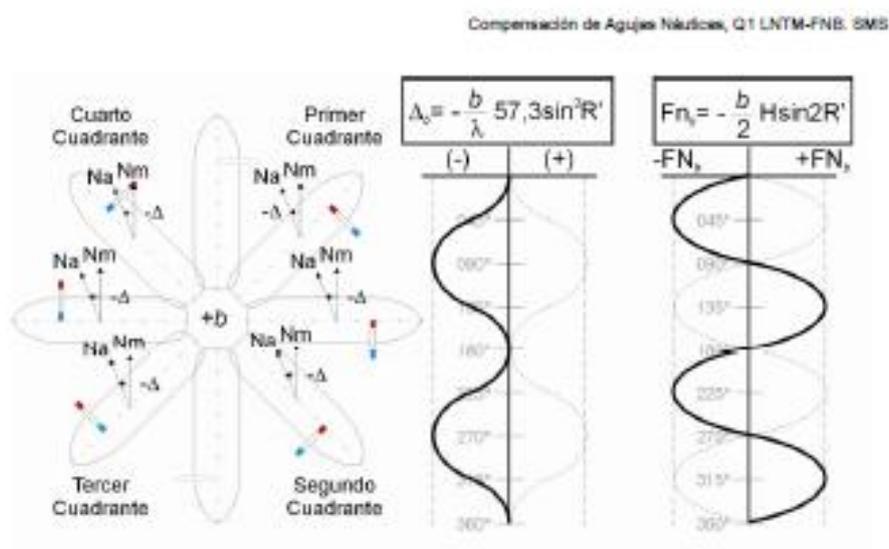


Figura 32. Varilla b [1]

● Varilla c

Es una varilla vertical situada sobre la línea de crujía, que corresponde a hierros dulces verticales como palos, puntales, chimeneas, etc. Puede ser negativa “-c” si está a popa de la bitácora (caso más frecuente), o bien positiva “+c” si lo está a proa. Su polarización está en función del hemisferio magnético por donde navegue el buque. En este caso se analiza una varilla -c con la polarización que tiene en el hemisferio norte.



Figura 33. Varilla c [1]

Con independencia de su polarización, la varilla c produce desvíos máximos a rumbos magnéticos E y W, y nulos a rumbos magnéticos N y S.

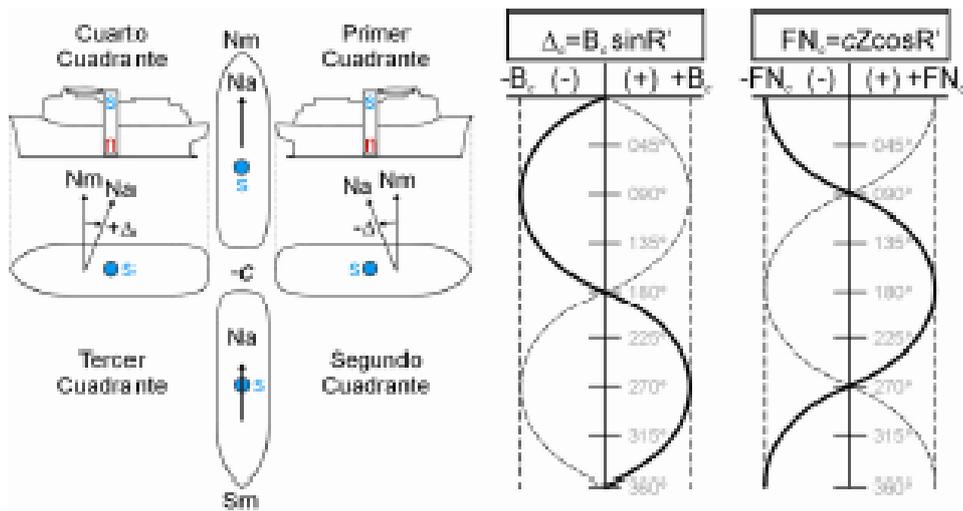


Figura 34. Desvíos varilla c [1]

En el análisis de una varilla -c en el hemisferio norte magnético, se observa que su desvío máximo negativo se produce al rumbo magnético E y su desvío máximo positivo al rumbo magnético W. Los desvíos son nulos con rumbos magnéticos N y S.

En cuanto a sus signos, el desvío de la varilla -c (traza gruesa y continua) es negativo en el primer y segundo cuadrante, y positivo en el tercer y cuarto cuadrante.

En el caso de una varilla +c (traza fina y discontinua), en el mismo hemisferio norte magnético, el desvío es positivo en los dos primeros cuadrantes y negativo en los dos últimos.

En cuanto a su fuerza directriz, es máxima a rumbos magnéticos N y S, mientras que se anula al E y W magnéticos (traza gruesa y continua). En una varilla +c (traza fina y discontinua), en el hemisferio norte magnético, su fuerza es máxima en los mismos puntos, pero con el signo invertido.

La corrección del desvío de una varilla -c se realiza situando la barra Flinders a proa del compás (caso más habitual), mientras que para corregir una +c se sitúa la barra a popa del compás.

- Varilla d

La varilla d suele ser positiva, y forma parte del coeficiente constante A y del coeficiente cuadrantal E. A continuación veremos el análisis gráfico y analítico de esta varilla.

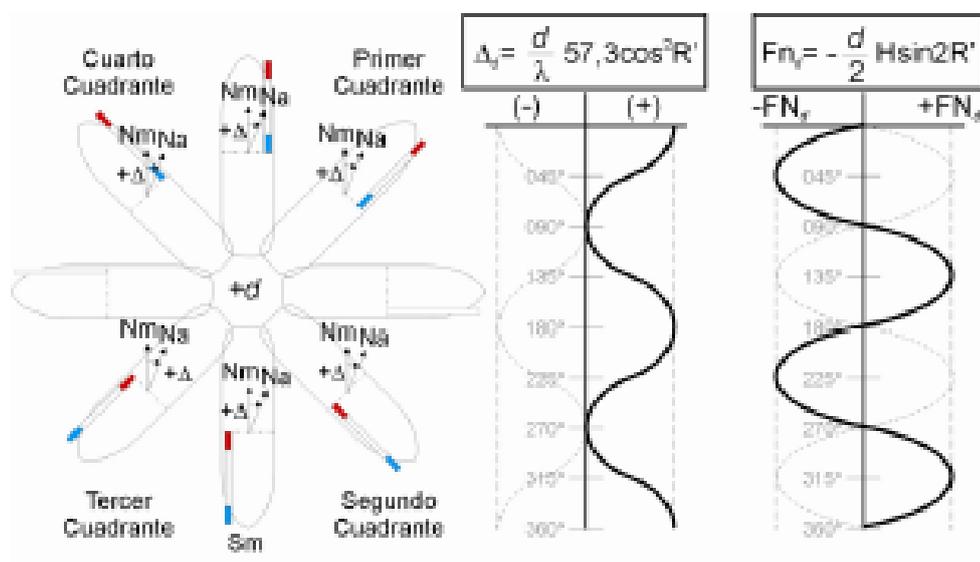


Figura 35. Varilla d [1]

Respecto al desvío, se observa que, en el caso analizado (varilla +d), es siempre positivo (debido a “+d” y al $\cos^2 R'$), exceptuando a rumbo E y W, donde la varilla no queda inducida. Sus valores máximos se producen con rumbo al N y S. En el caso de analizar una varilla -d, los desvíos son siempre negativos, exceptuando a los rumbos E y W que son nulos.

Sobre la fuerza al norte de esta varilla, fluctúa entre valores positivos y negativos por estar en función del seno de $2 \cdot R'$, siendo su valor máximo a los rumbos cuadrantales y nulo a los cardinales.

● Varilla e

Es una varilla transversal y, al igual que la varilla a, es generalmente negativa o corrida (de babor a estribor). Tiene cada una de sus dos polaridades a banda y banda de la aguja. Al formar parte del coeficiente aproximado D, produce un desvío de tipo cuadrantal, con dos máximos, dos mínimos y cuatro valores nulos. Su inducción, al igual que con la varilla a, está en función exclusiva de la componente horizontal del campo magnético terrestre (H): función de la situación geográfica y del rumbo.

A continuación se analiza el efecto de una varilla -e.

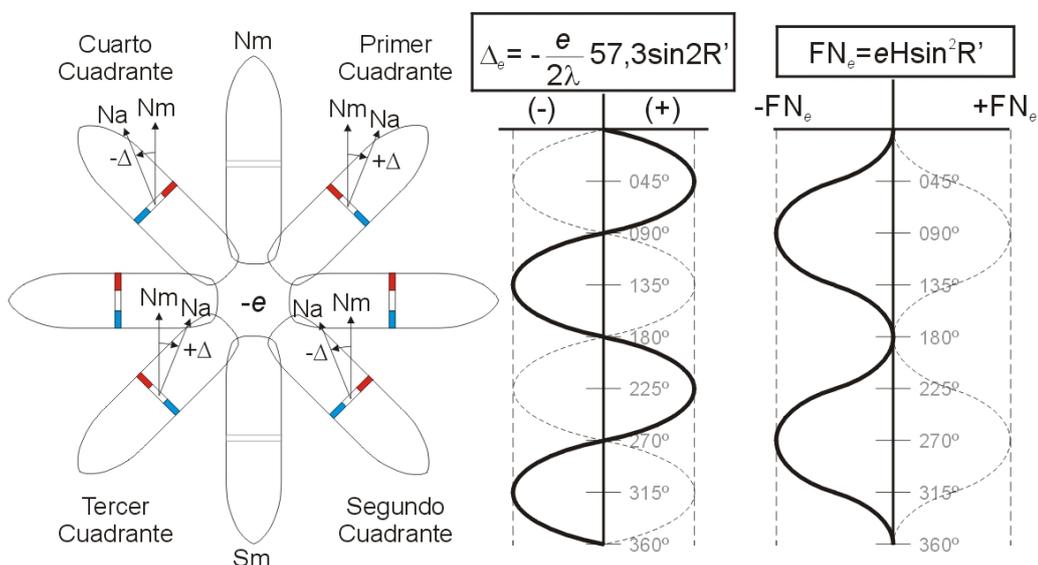


Figura 36. Varilla e [1]

Al analizar la varilla $-e$, se observa que sus dos desvíos máximos positivos se producen a los rumbos cuadrantales NE y SW, y sus dos máximos negativos a los rumbos cuadrantales SE y NW, siendo nulos a rumbos cardinales. Por lo tanto, los desvíos son positivos en el primer y tercer cuadrante, y negativos en el segundo y el cuarto.

En el caso de una varilla $+e$ (traza fina y discontinua), los desvíos que produce son de signo contrario a la varilla $-e$ analizada.

En cuanto a su fuerza directriz, al estar multiplicada la varilla negativa por el cuadrado del seno del rumbo, nunca alcanza un valor positivo, oscilando entre el valor “ $-e \cdot H$ ”. Es máxima a rumbos cardinales E y W, y nula a rumbos cardinales N y S.

En una varilla $+e$ (línea discontinua), la fuerza directriz nunca alcanza valores negativos, oscilando entre el valor “ $e \cdot H$ ” y cero. Es máxima a rumbos cardinales E y W, y nula a rumbos cardinales N y S.

● Varilla f

Es una varilla vertical situada al través de la bitácora, que en buques simétricos tiene un valor muy pequeño, o casi nulo. La varilla puede ser negativa “-f” en el caso de estar a babor de la bitácora (caso más frecuente), o bien positiva “+f” si está a estribor. Su polarización por inducción, al igual que la varilla c, está en función del hemisferio magnético por donde se navegue. Se va a analizar una varilla -f con la polarización del hemisferio norte por ser el caso más frecuente.

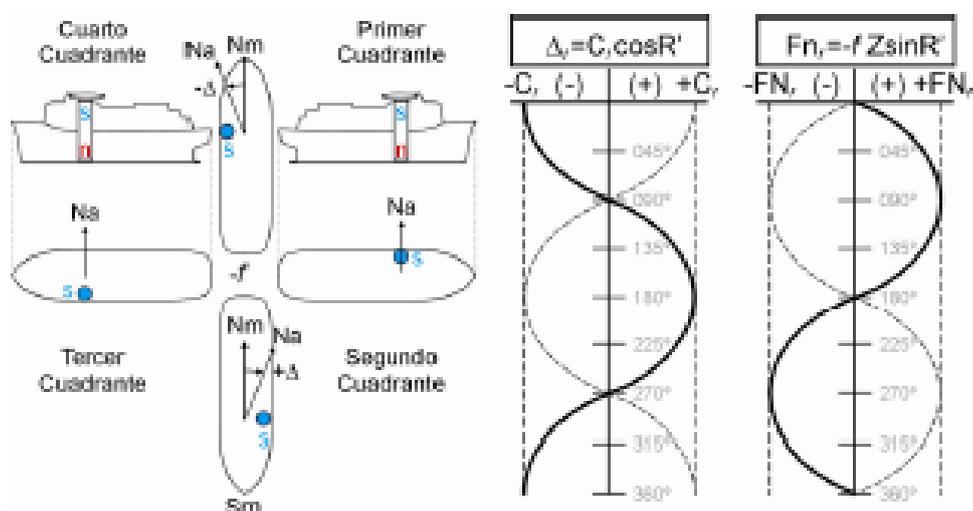


Figura 37. Varilla f [1]

En el análisis de una varilla -f en el hemisferio norte magnético, se observa que su desvío máximo negativo se produce al rumbo magnético N y su máximo positivo al rumbo magnético S. Los desvíos son nulos con rumbos magnéticos E y W. En cuanto a sus signos, el desvío de la varilla -f (traza gruesa y continua) es negativo en el primer y cuarto cuadrante, y positivo en el segundo y tercer cuadrante.

En el caso de una varilla +f (traza fina y discontinua), en el mismo hemisferio, el desvío es positivo en el primer y cuarto cuadrante y negativo en los otros dos.

En cuanto a su fuerza directriz, es máxima a rumbos magnéticos E y W, mientras que se anula al N y S magnéticos (traza gruesa y continua). En una varilla +f (traza fina y discontinua), en el mismo hemisferio, su fuerza sería máxima en los mismos puntos, pero con signo contrario.

En buques simétricos el valor de esta varilla es muy pequeño. La corrección del desvío de una varilla -f se realiza situando la barra Flinders ligeramente a estribor del compás (caso más habitual), mientras que para corregir una +f se sitúa la barra ligeramente a babor del compás.

3.2.5 Efectos del cambio de latitud magnética en los desvíos producidos por el magnetismo permanente

El magnetismo permanente del buque no varía en función de su localización geográfica. En cambio, sí lo hace el desvío producido por éste. Los imanes P, Q y R de a bordo (no los correctores), se consideran constantes e independientes del rumbo, latitud o hemisferio magnético, al no depender de la inducción del campo magnético terrestre.

No obstante, al centrarnos en los desvíos provocados por los imanes P y Q, vemos como ambos están en función de la componente horizontal (H) del campo magnético terrestre.

$$\Delta P = (P/\lambda H) * 57,3 * \text{sen} R \quad (1)$$

$$\Delta Q = (Q/\lambda H) * 57,3 * \text{sen} R \quad (2)$$

Si consideramos al desvío como una resultante vectorial de la componente horizontal H y la componente propia de cada imán, siendo esta última constante, la magnitud del desvío sólo depende del campo H. En el siguiente dibujo, se aprecia como el desvío resta en función exclusiva de la componente H del campo magnético terrestre.

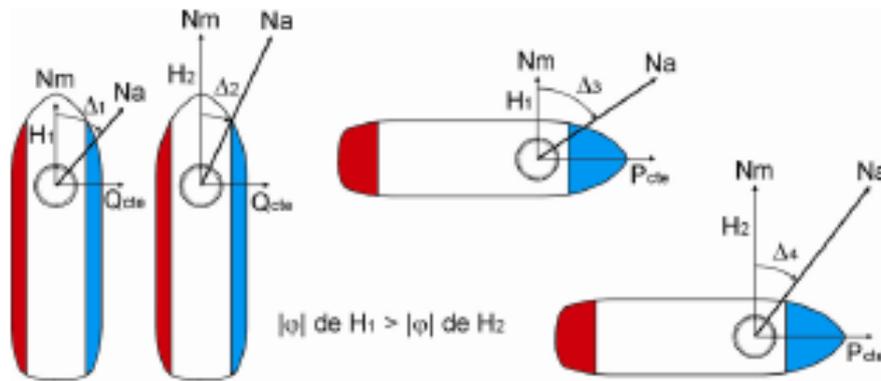


Figura 38. Variación desvío magnetismo permanente por cambio de latitud [1]

A la izquierda se muestra el desvío generado por el imán Q en un mismo buque proa al norte, en función del vector del campo H. H1 pertenece a una latitud magnética inferior a la correspondiente a H2.

A la derecha se muestra el desvío generado por el imán P del mismo buque, proa al este, de nuevo en función del vector del campo H, calculado en las mismas latitudes anteriores.

Como conclusión, el incremento del valor absoluto del desvío es directamente proporcional al incremento en latitud, con independencia del hemisferio.

3.2.5.1 Efectos del cambio de latitud magnética en los desvíos producidos por el magnetismo accidental

A continuación, se muestran las distintas expresiones del desvío de cada varilla.

$$\Delta c = (cZ/\lambda H) * 57,3 * \text{sen } R \quad (3)$$

$$\Delta f = (fZ/\lambda H) * 57,3 * \text{cos } R \quad (4)$$

$$\Delta a = (a/2\lambda) * 57,3 * \text{sen } 2R \quad (5)$$

$$\Delta e = (e/2\lambda) * -57,3 * \text{sen } R \quad (6)$$

$$\Delta d = (d/\lambda) * 57,3 * \text{cos}^2 R \quad (7)$$

$$\Delta b = (b/\lambda) * -57,3 * \text{sen}^2 R \quad (8)$$

En las varillas verticales c y f, se observa como el desvío de ambas está en función del la componente vertical (Z) y horizontal (H) del campo magnético terrestre, mientras que no sucede lo mismo en las varillas a, e, d y b, que sólo están en función del coeficiente de la fuerza directriz media (λ).

Por tanto, la variación del desvío de las varilla c y f está en función de la latitud magnética del buque. Es importante recordar que la componente vertical Z varía de signo en función del hemisferio donde se navegue: Z es un valor positivo en el hemisferio norte y negativo en el hemisferio sur.

Si analizamos el desvío de una varilla -c y una -f en el hemisferio norte, en un lugar próximo al ecuador magnético (por ejemplo $l_m = 10^\circ N$), y realizamos el mismo análisis en una latitud sur muy elevada (por ejemplo $l_m = 60^\circ S$), se observa que para un mismo rumbo, existe un cambio de magnitud en el desvío, así como un cambio en su signo.

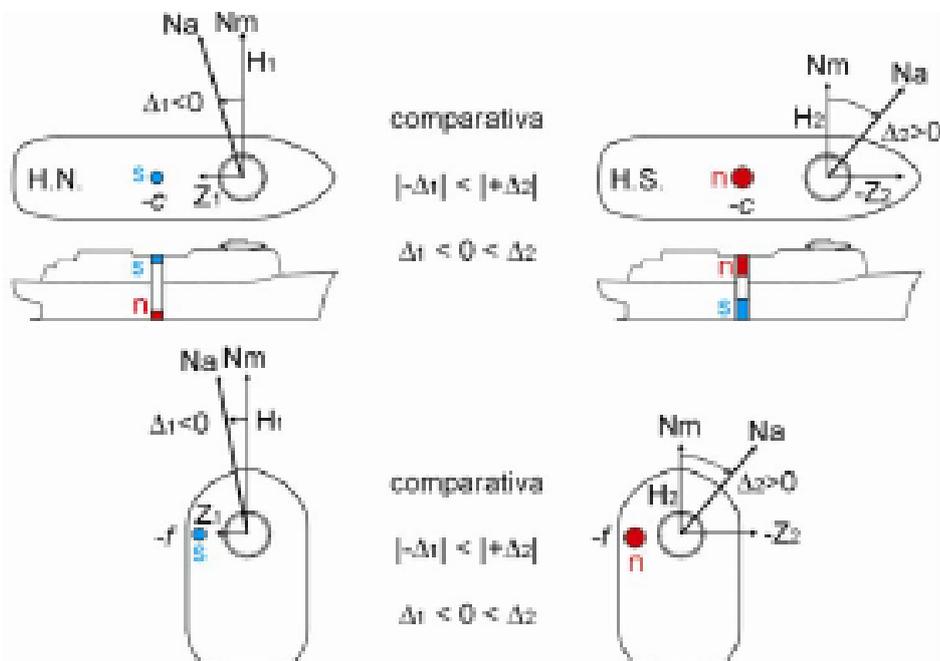


Figura 39. Variación desvío magnetismo inducido cambio de latitud [1]

En la imagen anterior se observa a la izquierda un barco en el hemisferio norte (cercano al ecuador) con rumbo este magnético y otro con norte magnético y a la derecha lo mismo pero en el hemisferio sur (alta latitud). Se aprecia claramente como aumenta el desvío cuanto mayor es la latitud a la que se encuentra el buque.

3.2.6 Correctores utilizados en la compensación.

Para anular los desvíos producidos por los diversos imanes y varillas descritos anteriormente, se utilizan correctores de hierro duro y hierro dulce respectivamente. Son hierros de la misma clase que se colocan a la distancia adecuada para que ejerzan un efecto igual y contrario a los hierros perturbadores del buque.

3.2.6.1 Correctores de hierro duro.

Son unas varillas imantadas pintadas en el extremo de polaridad norte de color rojo y en el extremo de polaridad sur de color azul. Normalmente se emplean imanes de acero al cobalto, aunque antiguamente se utilizaban imanes de acero al tungsteno.

En una bitácora nunca deben mezclarse los de cobalto con los de tungsteno porque tienen diferente grado de coercitividad y unos desmagnetizan a los otros. Algunos imanes pueden ir dentro de estuches individuales de latón para evitar su oxidación.

Los imanes también se pueden dividir en imanes horizontales y verticales. Los horizontales se pueden clasificar a su vez en longitudinales y transversales. Los imanes longitudinales se colocan de dos en dos uno a cada lado del centro del tronco de la bitácora mientras que los transversales se colocan de uno en uno ligeramente a popa del tronco central de la bitácora.

Los imanes longitudinales y transversales son idénticos. Sus dimensiones en unidades inglesas son:

- Longitud: 8 pulgadas.
- Diámetro: de 3/8 de pulgada a 3/16 de pulgada.

El número de imanes que conforman un juego para las bitácoras de los buques mercantes es de 12 de 3/8" y 4 de 3/16". El efecto de los imanes pequeños es cuatro veces menor que los imanes de 3/8".



Figura 40. Casilleros de los imanes longitudinales y transversales [1]



Figura 41. Disposición de los casilleros [1]



Figura 42. Colocación de los imanes longitudinales [1]

La distancia del centro del imán al sistema de agujas no debe ser inferior al doble de la longitud del imán para de esta manera tener un campo magnético más uniforme. Todos ellos han de ser capaces de corregir un coeficiente B y/o un coeficiente C de hasta 40° de desvío.



Figura 43. Distancia mínima a la que deben estar los imanes respecto al sistema de agujas va en función de la longitud de estos ($d > 2L$). [1]

Los imanes verticales son de características similares a los anteriores pero de longitud 9". Se suministran en juegos de 7 unidades de 3/8" de diámetro cada uno.

Van alojados dentro de un estuche cilíndrico de latón que puede llegar a tener 7 orificios. Cuando se colocan los imanes necesarios en su interior en función del desvío de escora a corregir, se colocan de forma simétrica, tal y como se observa en la siguiente imagen.

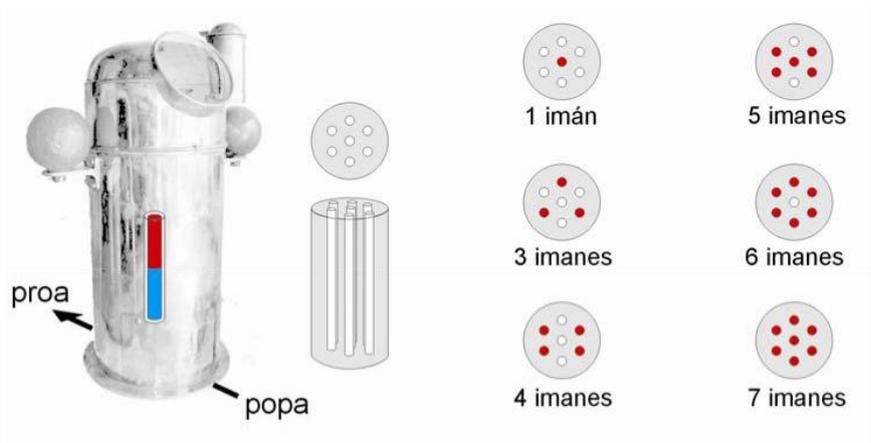


Figura 44. Ubicación del estuche de los imanes verticales correctores del desvío de escora en la bitácora y posibles distribuciones de éstos en su interior [1]



Figura 45. Ubicación del imán de escora en la bitácora (izq.). Estuche con su cadena graduada e imán (dcha.) [1]

3.2.6.2 Correctores de hierro dulce.

Los correctores de hierro dulce empleados en la compensación son la barra Flinders y las esferas.

a) Barra Flinders.

Es un conjunto de cilindros de hierro dulce colocados dentro de un estuche o cartucho de latón normalmente a proa de la bitácora. Se emplea para corregir los efectos de la varilla c y f y el material empleado tiene que ser de escasa remanencia y gran susceptibilidad magnética, para que de esta manera se acusen con rapidez los cambios de intensidad del campo magnético terrestre y su inducción.

Normalmente se emplean barras de hierro dulce con dos diámetros, de 3" ($\approx 76\text{mm}$) y de 2" ($\approx 51\text{mm}$). El resto del estuche por debajo se llena con tacos cilíndricos de madera de forma que la parte superior de los cilindros de hierro dulce queden a la misma altura que la rosa.

La barra Flinders se suministra en trozos de longitudes variables para establecer la longitud deseada. Un juego completo de barra Flinders (en total 24" de longitud) consta de los siguientes trozos:

- 1 de 12"
- 1 de 6"
- 1 de 3"
- 1 de 1,5"
- 2 de 3/4"

Un equipo de tacos de madera consta de los siguientes trozos:

- 1 de 5,5"
- 1 de 2,75"
- 2 de 3/4".



Figura 46. Barra Flinders a proa del compás (izq.) Hierro dulce y tacos de madera complementarios (dcha.) [1]

b) Esferas.

Sus diámetros están comprendidos entre 2" (≈ 51 mm) y 12" (≈ 305 mm). Las pequeñas, que son las de entre 2" y 6" (≈ 152 mm) son macizas y las grandes, las de entre 6" y 12" son huecas por dentro.



Figura 47. Esferas [1]

Las esferas se colocan sobre unos brazos de bronce en unas ranuras graduadas por las que pueden discurrir para acercarse o alejarse del centro de la rosa. . El centro de las esferas debe quedar a la altura del plano de la aguja.



Figura 48. Esfera colocada [1]

Las esferas correctoras no deben cambiarse nunca una por la otra. Además, no se deben girar sobre sí mismas para modificar su distancia respecto al centro de la rosa sino que se debe conservar la orientación de cada esfera.

Las esferas deben ser capaces de corregir un coeficiente D de hasta $+14,5^\circ$.

Las esferas de las bitácoras de los buques mercantes se corresponden con las de mayor diámetro.

Como es necesario evitar que sean inducidas por el campo magnético creado por la aguja se deben colocar lo más alejadas posibles del centro.



Figura 49. Bitácora [1]

Las esferas se utilizan para corregir los desvíos producidos por las varillas a y e del buque. Hay que tener en cuenta que en un buque mercante las varillas a y e son negativas y que el valor de la varilla e es mayor que el de la varilla a (por tener los polos más cercanos a la aguja), por lo que la compensación del coeficiente D se efectúa modificando estos valores hasta igualarlos. Para anular el coeficiente D hay que aumentar el valor de a y rebajar el valor de e hasta igualarlos.

Una esfera ejerce la misma función que tres varillas iguales y perpendiculares entre sí.

En la siguiente figura se puede apreciar la sustitución física del efecto de la esfera hueca con respecto a las varillas que realmente representa.

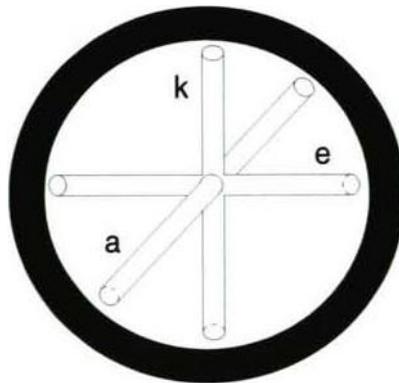


Figura 50. Efecto de una esfera hueca [7]

Su representación se corresponde a las siguientes varillas:

- 1 varilla a negativa.
- 1 varilla e positiva y
- 1 varilla k negativa. Ésta no ejerce influencia con el buque adrizado pero si cuando está escorado.

El valor de las varillas es el mismo y por lo tanto su desvío corrector solamente depende de la distancia a la que se coloquen de la aguja.

4. METODOLOGÍA

En este apartado se va a explicar la metodología seguida para el desarrollo del presente trabajo.

Para poder empezar a desarrollar el trabajo, la primera fase por así decirlo, ha consistido en adquirir los conocimientos teóricos sobre la compensación de la aguja náutica.

Este proceso es fundamental para poder entender y analizar los resultados de la posterior parte práctica.

Además, se ha realizado una búsqueda de la normativa actual relacionada con la compensación de la aguja náutica.

Estos aspectos son los que se han desarrollado en el punto anterior titulado fundamento teórico.

Una vez se han adquirido estos conocimientos teóricos necesarios para la posterior interpretación de los resultados de la parte práctica, se ha realizado un programa en Excel, el cual calcula, introduciendo los diferentes desvíos a cada rumbo, las respectivas curvas con sus correspondientes tablillas de desvíos.

Se ha creado también un programa en Matlab que, de la misma manera que el anterior, al introducir los datos de los desvíos a cada rumbo, representa las correspondientes curvas de desvío.

Para el presente estudio, se han realizado las compensaciones de la aguja náutica a bordo de los buques “HOEGH JACKSONVILLE” Y “ALLURE OF THE SEAS” con los compensadores Aitor Martínez y Jokin Alberdi.

Con los datos obtenidos de las compensaciones se realiza el estudio de los desvíos informáticamente para analizar y tratar los resultados obtenidos.

Con la interpretación de estos resultados se tratan de obtener una serie de conclusiones.

5. DESARROLLO

A continuación se muestran las ecuaciones matemáticas utilizadas para el cálculo de los desvíos y de los coeficientes.

La ecuación aproximada del desvío en función del rumbo de aguja " de Archibald Smith es:

$$\Delta = A + B \operatorname{sen}(R) + C \operatorname{cos}(R) + D \operatorname{sen}(2R) + E \operatorname{cos}(2R) \quad (9)$$

A = constante

B y C: magnetismo permanente

D y E: magnetismo inducido

$B \operatorname{sen}(R) + C \operatorname{cos}(R)$: Desvío semicircular

$D \operatorname{sen}(2R) + E \operatorname{cos}(2R)$: Desvío cuadrantal

A: le afectan varillas d y b

B: le afectan imán P y varilla c

C: le afectan imán Q y varilla f

D: le afectan varillas a y e

E: le afectan varillas d y b

Una frase para recordar esto es la siguiente:

“don benito Perez carrasco Que fue alcalde electo de bilbao”

$$\Delta N = A + B \sin 000^\circ + C \cos 000^\circ + D \sin (2 \times 000^\circ) + E \cos (2 \times 000^\circ) \quad (10)$$

$$\Delta NE = A + B \sin 045^\circ + C \cos 045^\circ + D \sin (2 \times 045^\circ) + E \cos (2 \times 045^\circ) \quad (11)$$

$$\Delta E = A + B \sin 090^\circ + C \cos 090^\circ + D \sin (2 \times 090^\circ) + E \cos (2 \times 090^\circ) \quad (12)$$

$$\Delta SE = A + B \sin 135^\circ + C \cos 135^\circ + D \sin (2 \times 135^\circ) + E \cos (2 \times 135^\circ) \quad (13)$$

$$\Delta S = A + B \sin 180^\circ + C \cos 180^\circ + D \sin (2 \times 180^\circ) + E \cos (2 \times 180^\circ) \quad (14)$$

$$\Delta SW = A + B \sin 225^\circ + C \cos 225^\circ + D \sin (2 \times 225^\circ) + E \cos (2 \times 225^\circ) \quad (15)$$

$$\Delta W = A + B \sin 270^\circ + C \cos 270^\circ + D \sin (2 \times 270^\circ) + E \cos (2 \times 270^\circ) \quad (16)$$

$$\Delta NW = A + B \sin 315^\circ + C \cos 315^\circ + D \sin (2 \times 315^\circ) + E \cos (2 \times 315^\circ) \quad (17)$$

Por lo tanto:

$$\Delta N = A + C + E \quad (18)$$

$$\Delta NE = A + 0,7B + 0,7C + D \quad (19)$$

$$\Delta E = A + B - E \quad (20)$$

$$\Delta SE = A + 0,7B - 0,7C - D \quad (21)$$

$$\Delta S = A - C + E \quad (22)$$

$$\Delta SW = A - 0,7B - 0,7C + D \quad (23)$$

$$\Delta W = A - B - E \quad (24)$$

$$\Delta NW = A - 0,7B + 0,7C - D \quad (25)$$

Las fórmulas que se aplican para calcular los coeficientes son las siguientes:

$$A = (\Delta N + \Delta E + \Delta S + \Delta W) / 4 \quad (26)$$

$$B = (\Delta E - \Delta W) / 2 \quad (27)$$

$$C = (\Delta N - \Delta S) / 2 \quad (28)$$

$$D = \frac{1}{4} (\Delta NE + \Delta SW - (\Delta SE + \Delta NW)) \quad (29)$$

$$E = \frac{1}{4} (\Delta N + \Delta S - (\Delta E + \Delta W)) \quad (30)$$

5.1 HÖEGH JACKSONVILLE



Figura 51. Buque HÖEGH JACKSONVILLE

Buque Car Carrier. Construido en Corea del Sur en Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering. Rumbo de grada: 40°.

A continuación se muestra la ship particulars del buque.

HÖEGH JACKSONVILLE			
PARTICULARS		COMMUNICATION	
CALL SIGN	LATA7	RADIO ACNT CODE	NO01
IMO NUMBER	9673379	FBB PHONE	+870 773238790
DNV ID NUMBER	32918	FBB FAX	+870 783205350
PANAMA ID NUMBER	Pending	INMARSAT C #1	425897710
SUEZ ID NUMBER	041924	INMARSAT C #2	425897711
PORT OF REGISTRY	OSLO	VSAT PHONE - 1	+47 23960860
NATIONALITY	NORWEGIAN	VSATPHONE - 2	+44 2036950767
CLASSIFICATION	DNV, +1A1	MMSI	258977000
TYPE	Car Carrier (Ro/Ro, MCDK)	GSM	+47 92405050
OWNER	LH SHIPLEASE 1 AS	E-MAIL	jack@hoegh.no
CHARTERER	Höegh Autoliners AS	ANSWER BACK	LATA
BUILDER	DMHI		
STEEL CUTTING	11 MAR 2013	CARGO GEARS/EQUIPMENT	
KEEL LAYING	05 AUG 2013	STERN RAMP	TTS L38.0xW7.0xH5.0m Cap 150mt /Axle Load 55mt/4wh
LAUNCHED	18 JAN 2014	SIDE RAMP	TTS L25.0xW6.5xH5.0m Cap 22mt /Axle Load 13.6mt/4wh
Scheduled DELIVERY	30 APR 2014		
DIMENSIONS in meters			
LENGTH OVER ALL	199.90	CARGO SPACE	
LENGTH Register		CAR CAPACITY	6542 units (Small Cars 8.3M ³)
LENGTH between Perpendicular	190.00	TOTAL CAR SPACE	54303.4 m ²
BREADTH (Moulded)	32.26	PROPULSION / MACHINERIES	
DEPTH (Freeboard Deck/Dk #5)	13.95	MAIN ENGINE	Bore 600mm/Stroke 2292mm
DEPTH (Upper Deck/Dk # 12)	32.59	B&W 5S60ME-8.2	MCR 8,330 kW at 89.0 rpm NCR 5,830 kW at 79.0 rpm HFO cons 28m ³ /day at MCR
DEPTH (Bridge Deck/Dk 'B')	37.97	PROPELLER	Samwoo Heavy Ind. 6600mm x 4 blades
DRAFT (Ballast)	7.11	BOW THRUSTER	2285mm x 4 blades 1800kW (2413 HP)
AIR DRAFT	47.10	KTE-NAKASHIMA	26.2 tons at 316.6 rpm
With Foldable Antenna	49.37	AUX ENGINE	Bore 280mm/Stroke 320mm MCR 1470 kW at 720 rpm HFO cons
TONNAGES in metric tons		RUDDER	Twisted Flap Rudder
	GROSS	NET	Becker rudder
INTERNATIONAL '69	58531.00	19378.00	67.5 degrees/ 34.1 m ²
OSLO '47 (DNV)			MOORING WINCH
SUEZ	63126.76	58600.52	Rolls Royce Marine 26ton at 10/20m/min
PANAMA	Pending	Pending	ANCHOR WINCH
JAPAN	37951.00		Rolls Royce Marine 29.9ton at 9 m/min
WEIGHT / DISPLACEMENT in metric tons			
	DRAFT(m)	DISP	DWT
Trop Fresh	10.408	39350.8	22636.1
Fresh	10.200	38849.4	21534.7
Tropical	10.226	38986.6	21671.9
Summer	10.018	37892.3	20577.6
Winter	9.810	36806.9	19492.2
Light Ship	17314.75		
ANCHOR CHAIN			
Dai Han Chain Manuf. ø81 PS 13 shackles ø81 SB 12 shackles			

Figura 52. Ship particulars HOEGH JACKSONVILLE

En el atraque calculamos la corrección de la Giro:

$$\text{Corrección Giro} = R_v - R_g = 205,8 - 205,7 = 0,1$$

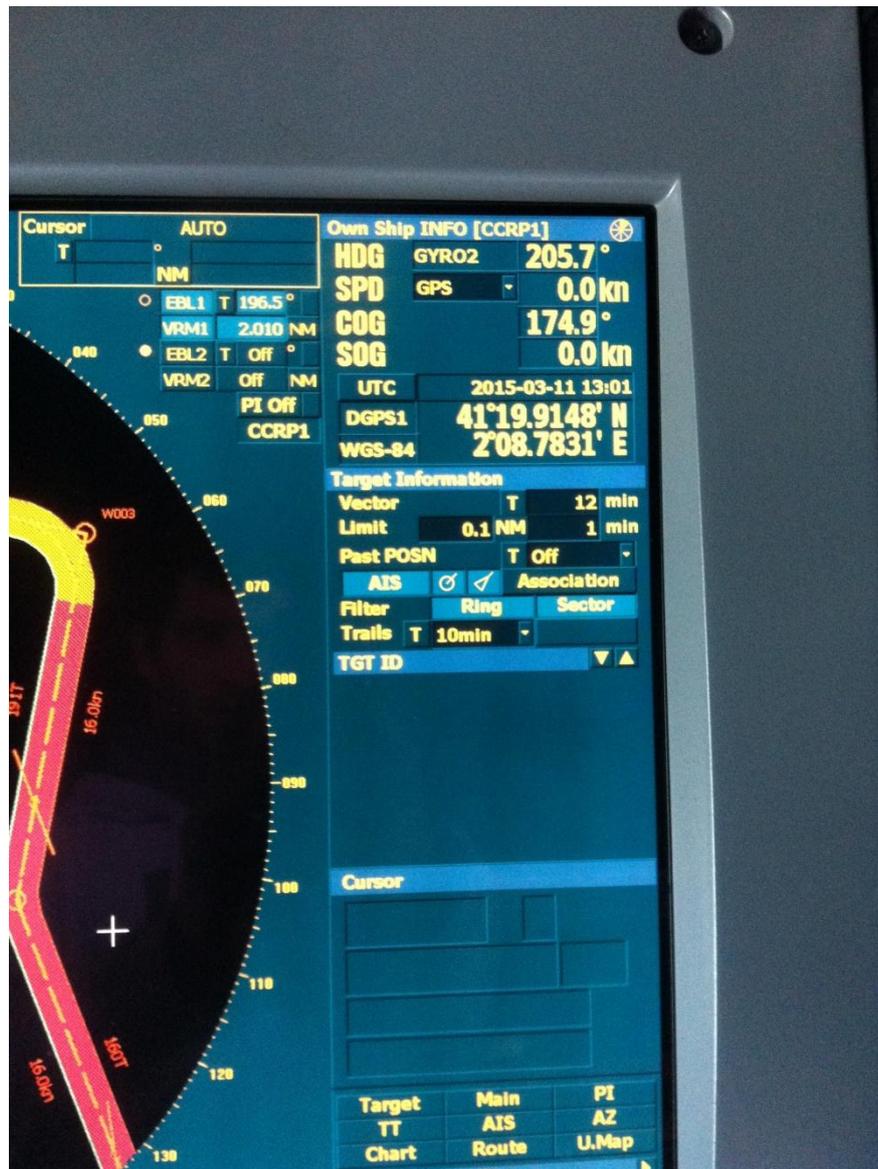


Figura 53. Rumbo de Giro

La declinación magnética en la situación de atraque en el puerto de Barcelona es: 0,5

Por lo tanto, por ejemplo, para hacer un rumbo magnético 000, R_g tiene que ser 000,6 ya

que: $R_g = R_m + d_m + C_{giro} = 000 + 0,5 + 0,1 = 000,6$

Se calcula el desvío en el atraque para tener una idea de cómo está.

En este caso: $CT = R_v - R_a = 205,8 - 194,5 = 11,3$

$CT = \Delta + d_m$;

$\Delta = 11,3 - 0,5 = 10,8$



Figura 54. Bitácora buque HOEGH JACKSONVILLE

A continuación se anotan las posiciones iniciales de los correctores para que en caso de que algo salga mal, dejarlo como estaba al principio.



Figura 55. Bitácora sin tapas

La posición inicial de los imanes es la siguiente:

Imanes transversales:

De la casilla 14 a la 8 - rojo a estribor

Imanes longitudinales:

Casilla 13: rojos a proa en babor y en estribor

Casilla 12: rojo a proa en estribor

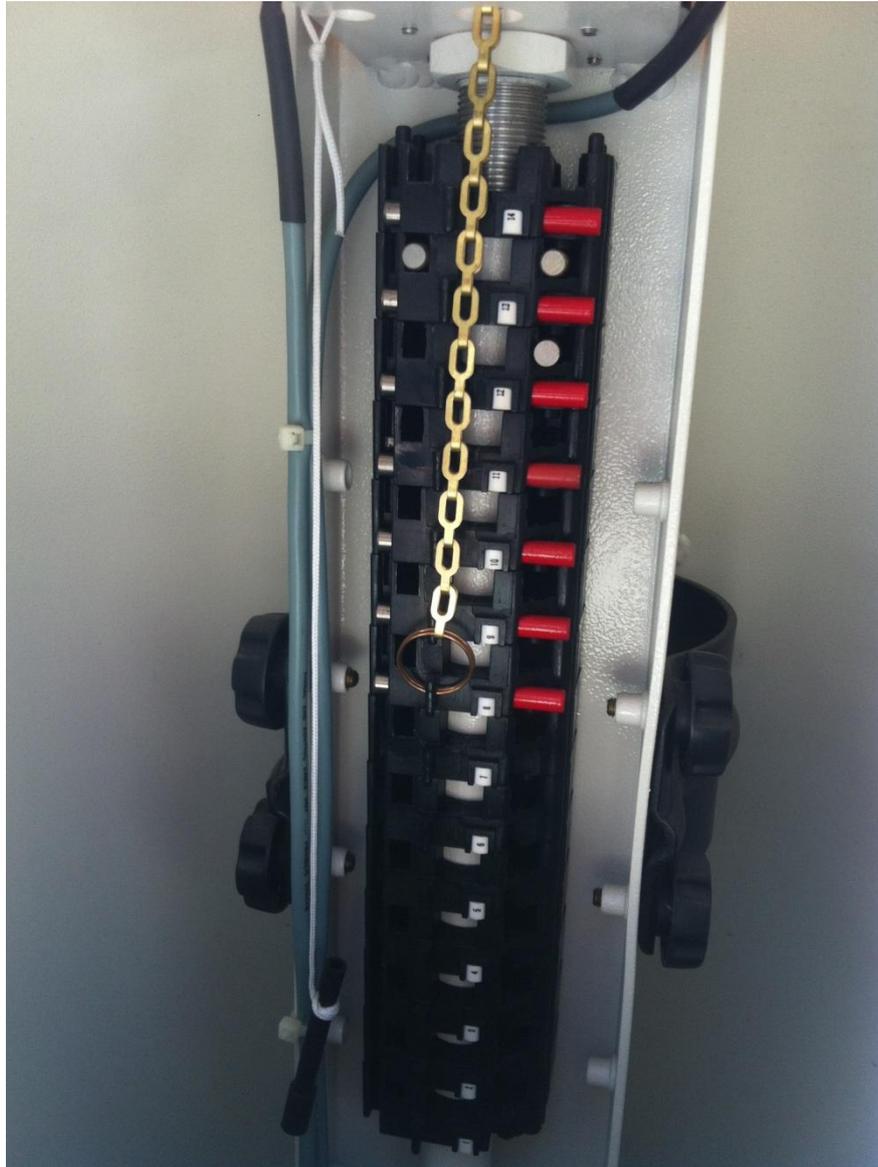


Figura 56. Posición inicial de los imanes

En este caso, en el muelle se mueven imanes para intentar dejar el desvío a cero.

A continuación, ya en la mar, se comienza a dar la primera vuelta aproando a los ocho rumbos para ir ajustando en la medida de lo posible a cero los desvíos para cada rumbo con los correctores.

Anotamos los desvíos a cada rumbo.

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos durante la primera vuelta:

Rg	Rm	Ra	Δ
000,6	000	359	1
045,6	045	44,5	0,5
090,6	090	090	0
135,6	135	136,5	-1,5
180,6	180	180	0
225,6	225	224,5	0,5
270,6	270	270	0
315,6	315	315	0

Tabla 3. Desvíos primera vuelta

Hay que mantenerse 2 o 3 minutos a cada rumbo para comprobar el Ra.

Una vez completada la primera vuelta damos la segunda vuelta para ver cómo están los desvíos a cada rumbo y anotamos los desvíos a cada rumbo.

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos durante la segunda vuelta:

Rg	Rm	Ra	Δ
000,6	000	359	1
045,6	045	45	0
090,6	090	089	1
135,6	135	133,5	1,5
180,6	180	179	1
225,6	225	225	0
270,6	270	269	1
315,6	315	314	1

Tabla 4. Desvíos definitivos

La posición final de los imanes es la siguiente:

Imanes transversales:

Casillas 3 a 11 rojo a estribor.

Imanes longitudinales:

Casilla 11: rojos a proa en babor y estribor

Casilla 13:rojo a estribor

En la siguiente imagen se muestra la posición final de los imanes.

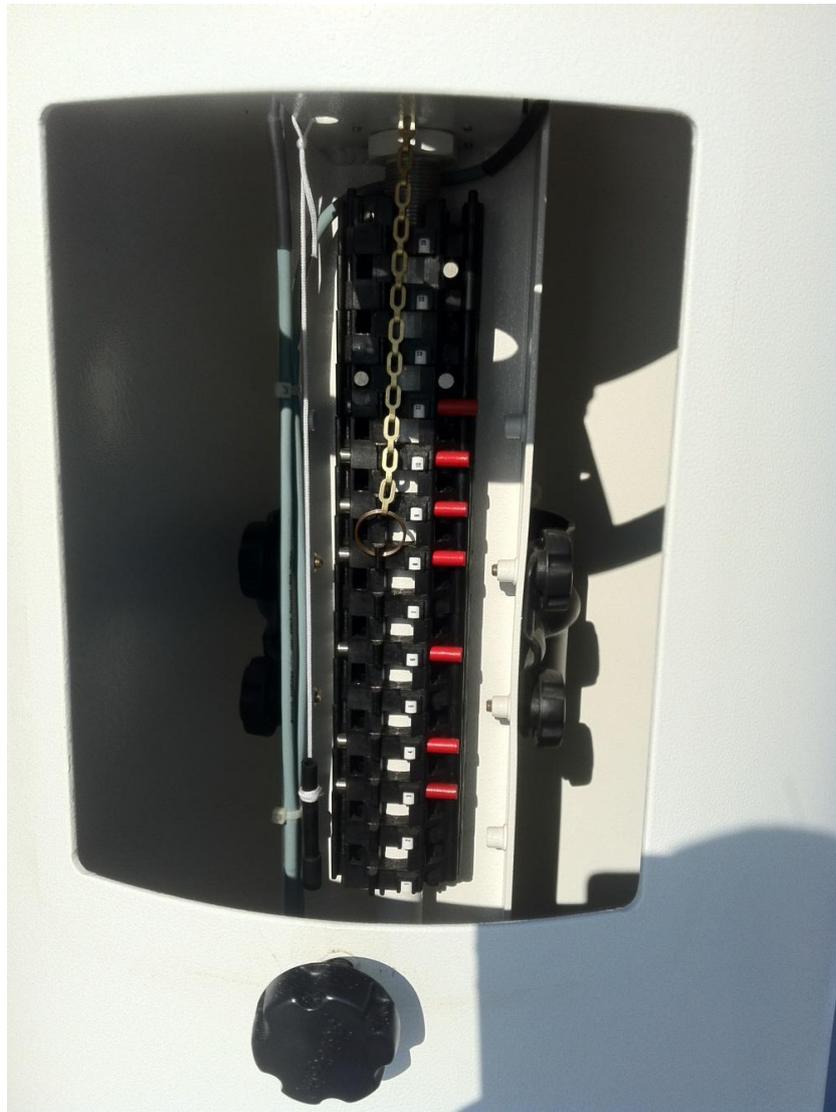


Figura 57. Posición final de los imanes

5.1.1 EXCEL HOEGH JACKSONVILLE

Con los datos definitivos de los desvíos a cada rumbo en la compensación realizada, se hace el estudio de cuadrantales en la plantilla de Excel creada.

En la siguiente tabla se muestran los desvíos a los 8 rumbos, los 4 cardinales y los 4 cuadrantales.

	DESVIO
DESVIO N	1
DESVIO NE	0
DESVIO E	1
DESVIO SE	1,5
DESVIO S	1
DESVIO SW	0
DESVIO W	1
DESVIO NW	1

Tabla 5. Desvíos

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos para las curvas de desvíos de cada cuadrantal, el promedio y el interpolado (cada 45° utilizando los datos de la curva promedio).

		curva de desvíos HOEGH JACKSONVILLE					
	Rumbo de aguja	45	135	225	315	Promedio	Interpolado
0	000	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,26179939	015	0,5	0,8	0,5	1,0	0,7	0,8
0,52359878	030	0,1	0,6	0,1	1,0	0,5	0,6
0,78539816	045	0,0	0,5	0,0	1,0	0,4	0,4
1,04719755	060	0,1	0,6	0,1	1,0	0,5	0,6
1,30899694	075	0,5	0,8	0,5	1,0	0,7	0,8
1,57079633	090	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,83259571	105	1,5	1,3	1,5	1,0	1,3	1,2
2,0943951	120	1,9	1,4	1,9	1,0	1,5	1,4
2,35619449	135	2,0	1,5	2,0	1,0	1,6	1,6
2,61799388	150	1,9	1,4	1,9	1,0	1,5	1,4
2,87979327	165	1,5	1,3	1,5	1,0	1,3	1,2
3,14159265	180	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3,40339204	195	0,5	0,8	0,5	1,0	0,7	0,8
3,66519143	210	0,1	0,6	0,1	1,0	0,5	0,6
3,92699082	225	0,0	0,5	0,0	1,0	0,4	0,4
4,1887902	240	0,1	0,6	0,1	1,0	0,5	0,6
4,45058959	255	0,5	0,8	0,5	1,0	0,7	0,8
4,71238898	270	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4,97418837	285	1,5	1,3	1,5	1,0	1,3	1,2
5,23598776	300	1,9	1,4	1,9	1,0	1,5	1,4
5,49778714	315	2,0	1,5	2,0	1,0	1,6	1,6
5,75958653	330	1,9	1,4	1,9	1,0	1,5	1,4
6,02138592	345	1,5	1,3	1,5	1,0	1,3	1,2
	A=	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	B=	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C=	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	D=	-1,00	-0,50	-1,00	0,00	-0,63	-0,63
	E=	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 6. Datos curvas desvíos

CURVA DE DESVÍOS

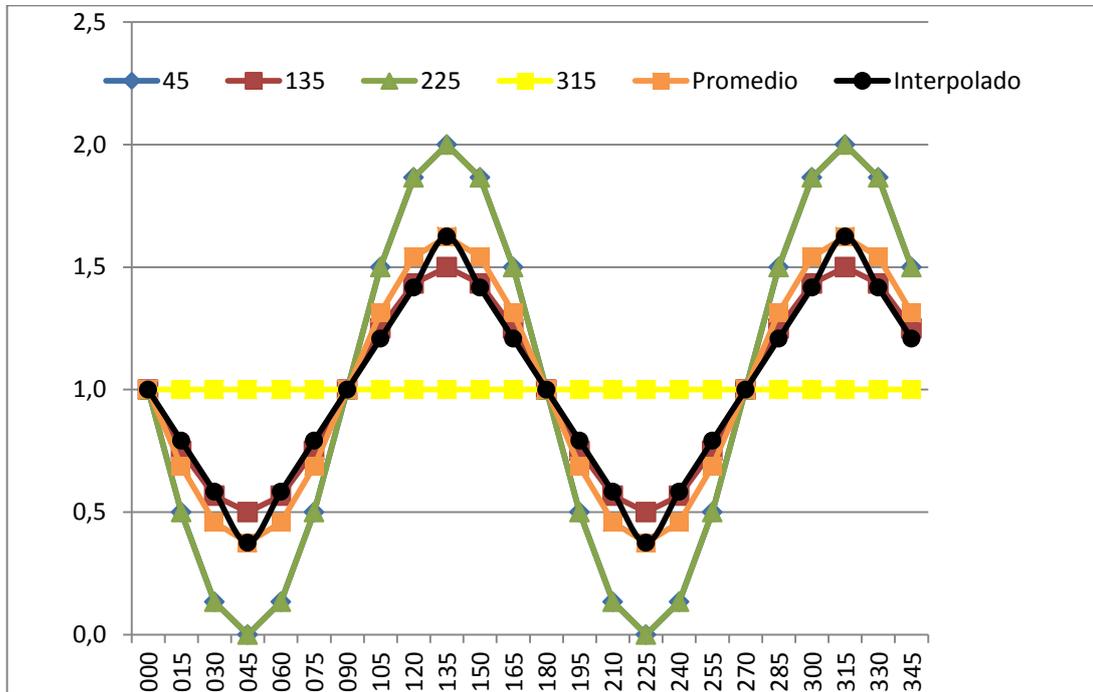


Figura 58. Curvas desvíos

GRÁFICA EN POLARES

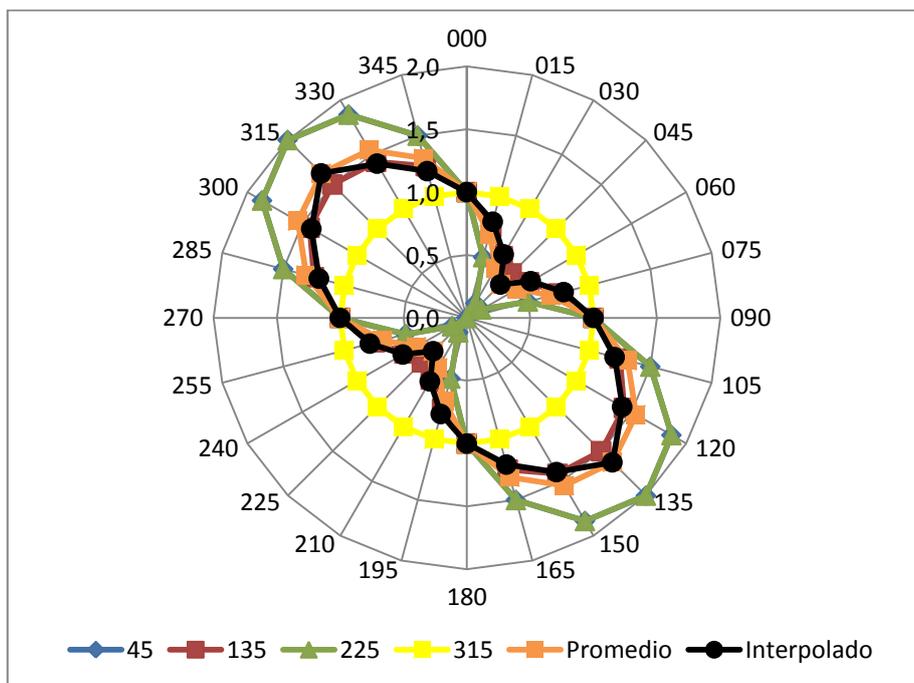


Figura 59. Gráfico en polares

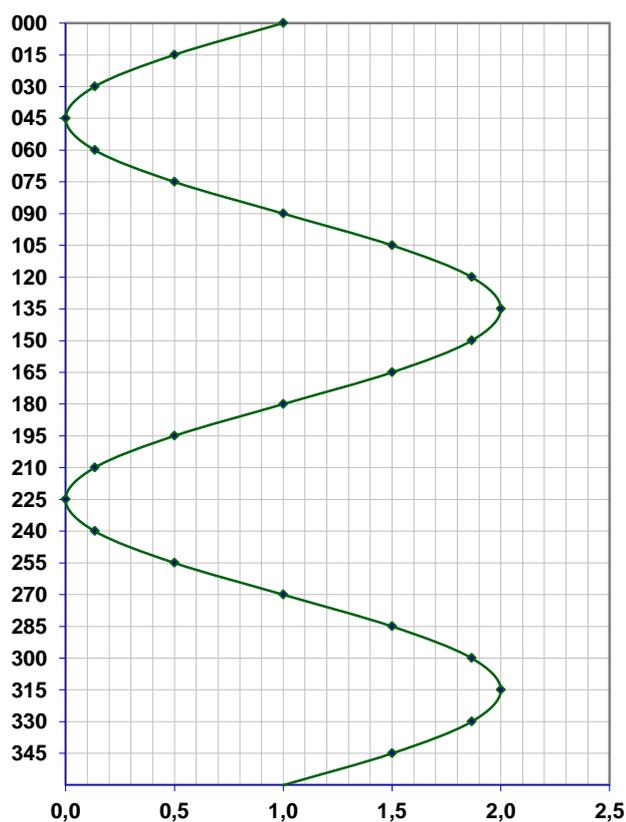
En las gráficas anteriores se pueden observar las gráficas para cada cuadrantal. Además se ha añadido otra que representa el promedio de los 4 cuadrantales y otra que interpola los valores promediados cada 45°.

De esta manera se puede levantar la tablilla de desvíos seleccionando para cada cuadrantal.

Se van a mostrar a continuación las 4 tablillas pero solamente debería seleccionarse una, la que más se ajuste.

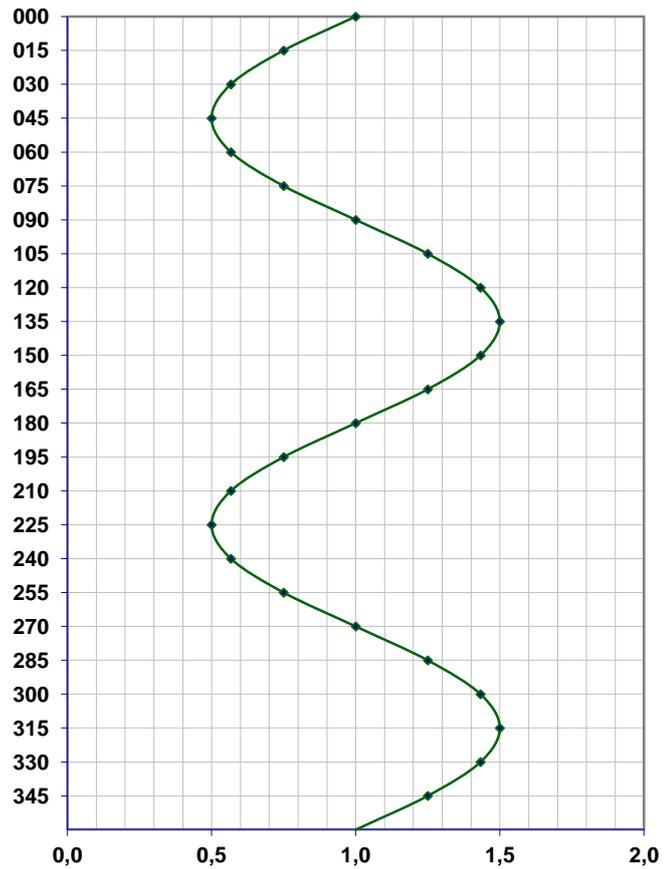
- Tablilla para 4 rumbos cardinales y cuadrantal NE y SW por ser iguales.

Mag. Head	Deviations
N 000°	1,0
015°	0,5
030°	0,1
NE 045°	0,0
060°	0,1
075°	0,5
E 090°	1,0
105°	1,5
120°	1,9
SE 135°	2,0
150°	1,9
165°	1,5
S 180°	1,0
195°	0,5
210°	0,1
SW 225°	0,0
240°	0,1
255°	0,5
W 270°	1,0
285°	1,5
300°	1,9
NW 315°	2,0
330°	1,9
345°	1,5
N 360°	1,0



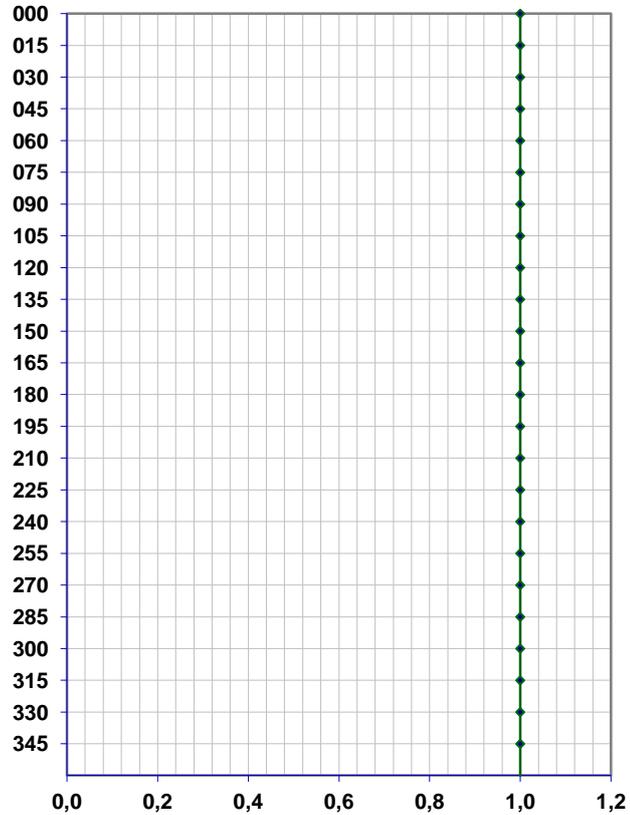
- Tablilla para 4 rumbos cardinales y cuadrantal SE.

Mag. Head	Deviations
N 000°	1,0
015°	0,8
030°	0,6
NE 045°	0,5
060°	0,6
075°	0,8
E 090°	1,0
105°	1,3
120°	1,4
SE 135°	1,5
150°	1,4
165°	1,3
S 180°	1,0
195°	0,8
210°	0,6
SW 225°	0,5
240°	0,6
255°	0,8
W 270°	1,0
285°	1,3
300°	1,4
NW 315°	1,5
330°	1,4
345°	1,3
N 360°	1,0



- Tablilla de desvíos para 4 cardinales y cuadrantal NW

Mag. Head	Deviations
N 000°	1,0
015°	1,0
030°	1,0
NE 045°	1,0
060°	1,0
075°	1,0
E 090°	1,0
105°	1,0
120°	1,0
SE 135°	1,0
150°	1,0
165°	1,0
S 180°	1,0
195°	1,0
210°	1,0
SW 225°	1,0
240°	1,0
255°	1,0
W 270°	1,0
285°	1,0
300°	1,0
NW 315°	1,0
330°	1,0
345°	1,0
N 360°	1,0



5.1.2 MATLAB HOEGH JACKSONVILLE

A continuación se muestra el programa realizado en Matlab que calcula y representa las curvas de desvíos para cada cuadrantal y la promedio. También la representa en polar como en el Excel. Además da los datos de desvíos cada 15°.

```
% Prueba1.m
```

```
R = 0:15:360; % Rumbo
```

```
%----- Datos -----
```

```
DeltaN=1;
```

```
DeltaE=1;
```

DeltaS=1;

DeltaW=1;

DeltaNE = 0;

DeltaSW = 0;

DeltaSE = 1.5;

DeltaNW = 1;

% ----- Coeficientes (5 Desvíos : N, S, E, W, NE ---

A = (DeltaN+DeltaE+DeltaS+DeltaW)/4;

B = (DeltaE - DeltaW)/2;

C = (DeltaN-DeltaS)/2;

D = 0.25*(DeltaNE + DeltaSW - (DeltaSE + DeltaNW));

D1 = DeltaNE+ 0.5*(- 1.2*(DeltaN+DeltaE) + 0.2*(DeltaS+DeltaW)); % -- deducido ---

D2 = -0.1* (DeltaN+DeltaW) + 0.6*(DeltaE+DeltaS) - DeltaSE;

D3 = DeltaSW + 0.1*(DeltaN+DeltaE) - 0.6*(DeltaS+DeltaW);

D4 = 0.6*(DeltaN+DeltaW) - 0.1*(DeltaE+DeltaS) - DeltaNW;

E = 0.25*(DeltaN+DeltaS - (DeltaE + DeltaW));

Delta = A + B*sind(R) + C*cosd(R)+ D*sind(2*R) + E*cosd(2*R);

Delta1 = A + B*sind(R) + C*cosd(R)+ D1*sind(2*R) + E*cosd(2*R);

Delta2 = A + B*sind(R) + C*cosd(R)+ D2*sind(2*R) + E*cosd(2*R);

Delta3 = A + B*sind(R) + C*cosd(R)+ D3*sind(2*R) + E*cosd(2*R);

Delta4 = A + B*sind(R) + C*cosd(R)+ D4*sind(2*R) + E*cosd(2*R);

% La desviacion cuadratica DDNE

```
DD1 = (Delta - Delta1).^2;
```

```
s1 = 0;
```

```
for i =1:25
```

```
    s1 = s1 + DD1(i);
```

```
end;
```

```
% La desviacion cuadratica DDSE
```

```
DD2 = (Delta - Delta2).^2;
```

```
s2 = 0;
```

```
for i =1:25
```

```
    s2 = s2 + DD2(i);
```

```
end;
```

```
% La desviación cuadrática DDSW
```

```
DD3 = (Delta -Delta3).^2;
```

```
s3 = 0;
```

```
for i =1:25
```

```
    s3 = s3 + DD3(i);
```

```
end;
```

```
%La desviación cuadrática DDNW
```

```
DD4 = (Delta - Delta4).^2;
```

```
s4 =0;
```

```
for i = 1:25
```

```
    s4 = s4 + DD4(i);
```

```
end;
```

```
disp('La desviación cuadrática NE es ....');
```

```
disp(s1);
```

```
% polar(R*pi/180, Delta3, 'm'); grid on;
```

```
plot(R,Delta, 'r', R, Delta1, 'b', R, Delta2, 'g', R, Delta3, 'm', R, Delta4, 'c' ); grid on; xlabel  
( '0°-360°'); ylabel ('Desvío');
```

```
disp('La desviación cuadrática es SE....');
```

```
disp(s2);
```

```
disp('La desviación cuadrática es SW....');
```

```
disp(s3);
```

```
disp('La desviación cuadrática es NW....');
```

```
disp(s4);
```

```
Tabla = [R;Delta];
```

```
Tabla1 = [R; Delta1];
```

```
Tabla2 = [R; Delta2];
```

```
Tabla3 = [R; Delta3];
```

```
Tabla4 = [R; Delta4];
```

```
%disp(Tabla);
```

```
%disp(Tabla1);
```

```
%disp(Tabla2);
```

```
%disp(Tabla3);
```

```
%disp(Tabla4);
```

Resultado del programa:

La desviación cuadrática NE es

1.6875

La desviación cuadrática es SE....

0.1875

La desviación cuadrática es SW....

1.6875

La desviación cuadrática es NW....

4.6875

Estos valores representan la desviación de cada curva con respecto a la curva promedio.
Cuanto más grande es el valor, mayor es el desvío.

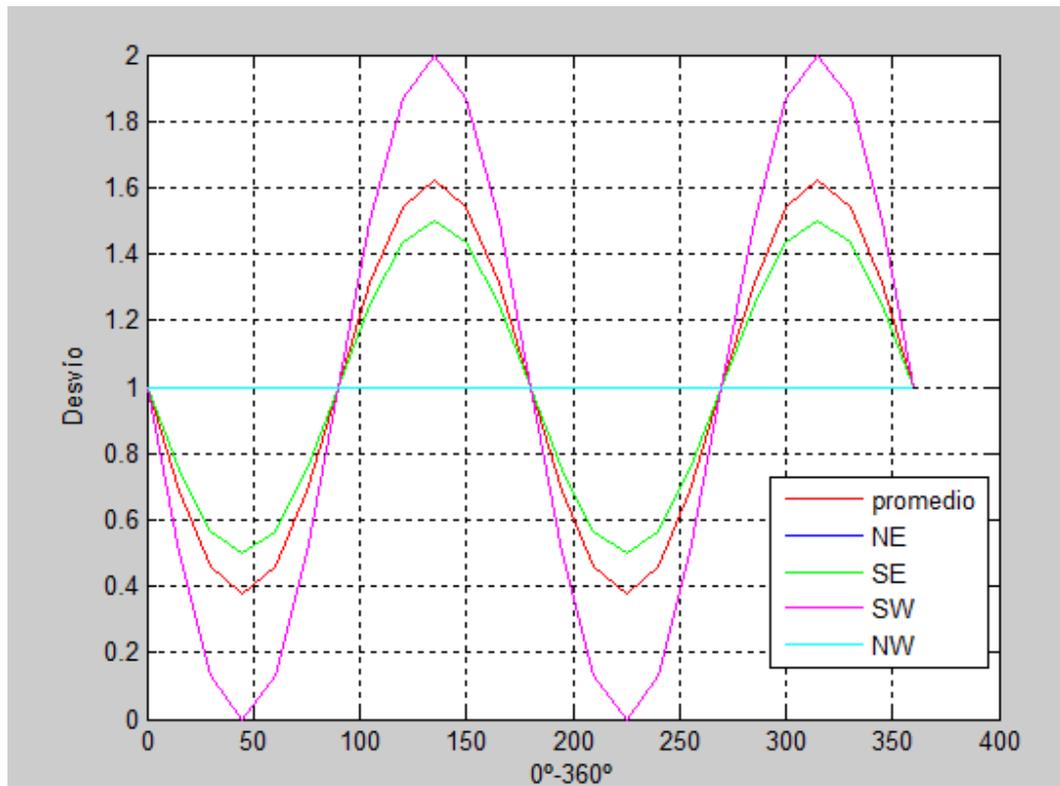


Figura 60. Curvas de desvíos

La NE no se puede ver en la imagen ya que es la misma que SW.

Además, proporciona los desvíos para cada rumbo, de 15° en 15°.

- Desvíos para la curva promedio:

Tabla =

Columns 1 through 12											
0	15.0000	30.0000	45.0000	60.0000	75.0000	90.0000	105.0000	120.0000	135.0000	150.0000	165.0000
1.0000	0.6875	0.4587	0.3750	0.4587	0.6875	1.0000	1.3125	1.5413	1.6250	1.5413	1.3125
Columns 13 through 24											
180.0000	195.0000	210.0000	225.0000	240.0000	255.0000	270.0000	285.0000	300.0000	315.0000	330.0000	345.0000
1.0000	0.6875	0.4587	0.3750	0.4587	0.6875	1.0000	1.3125	1.5413	1.6250	1.5413	1.3125
Column 25											
360.0000											
1.0000											

Figura 61. Datos curva promedio

- Desvíos para la curva NE:

```

Tabla1 =
Columns 1 through 12
      0  15.0000  30.0000  45.0000  60.0000  75.0000  90.0000  105.0000  120.0000  135.0000  150.0000  165.0000
1.0000  0.5000  0.1340      0  0.1340  0.5000  1.0000  1.5000  1.8660  2.0000  1.8660  1.5000

Columns 13 through 24
180.0000 195.0000 210.0000 225.0000 240.0000 255.0000 270.0000 285.0000 300.0000 315.0000 330.0000 345.0000
1.0000  0.5000  0.1340      0  0.1340  0.5000  1.0000  1.5000  1.8660  2.0000  1.8660  1.5000

Column 25
360.0000
1.0000
    
```

Figura 62. Datos curva NE

- Desvíos para la curva SE:

```

Tabla2 =
Columns 1 through 12
      0  15.0000  30.0000  45.0000  60.0000  75.0000  90.0000  105.0000  120.0000  135.0000  150.0000  165.0000
1.0000  0.7500  0.5670  0.5000  0.5670  0.7500  1.0000  1.2500  1.4330  1.5000  1.4330  1.2500

Columns 13 through 24
180.0000 195.0000 210.0000 225.0000 240.0000 255.0000 270.0000 285.0000 300.0000 315.0000 330.0000 345.0000
1.0000  0.7500  0.5670  0.5000  0.5670  0.7500  1.0000  1.2500  1.4330  1.5000  1.4330  1.2500

Column 25
360.0000
1.0000
    
```

Figura 63. Datos curva SE

- Desvíos para la curva SW:

```

Tabla3 =
Columns 1 through 12
      0  15.0000  30.0000  45.0000  60.0000  75.0000  90.0000  105.0000  120.0000  135.0000  150.0000  165.0000
1.0000  0.5000  0.1340      0  0.1340  0.5000  1.0000  1.5000  1.8660  2.0000  1.8660  1.5000

Columns 13 through 24
180.0000 195.0000 210.0000 225.0000 240.0000 255.0000 270.0000 285.0000 300.0000 315.0000 330.0000 345.0000
1.0000  0.5000  0.1340      0  0.1340  0.5000  1.0000  1.5000  1.8660  2.0000  1.8660  1.5000

Column 25
360.0000
1.0000
    
```

Figura 64. Datos curva SW

- Desvíos para la curva NW:

Tabla4 =

Columns 1 through 20

0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Columns 21 through 25

300	315	330	345	360
1	1	1	1	1

Figura 65. Datos curva NW

También muestra las curvas de desvíos en polares, pero de 1 en 1. Hay que seleccionar la que se quiera ver.

- Curva polar promedio:

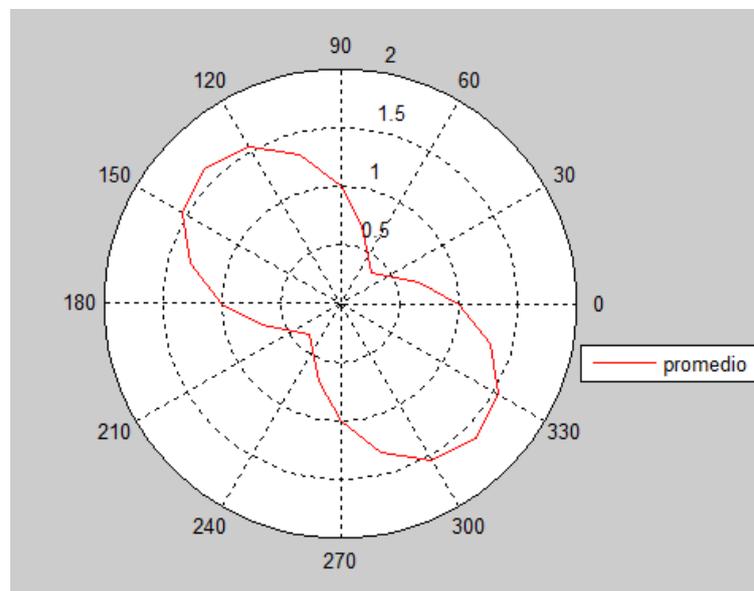


Figura 66. Gráfico polares promedio

- Curva polar NE:

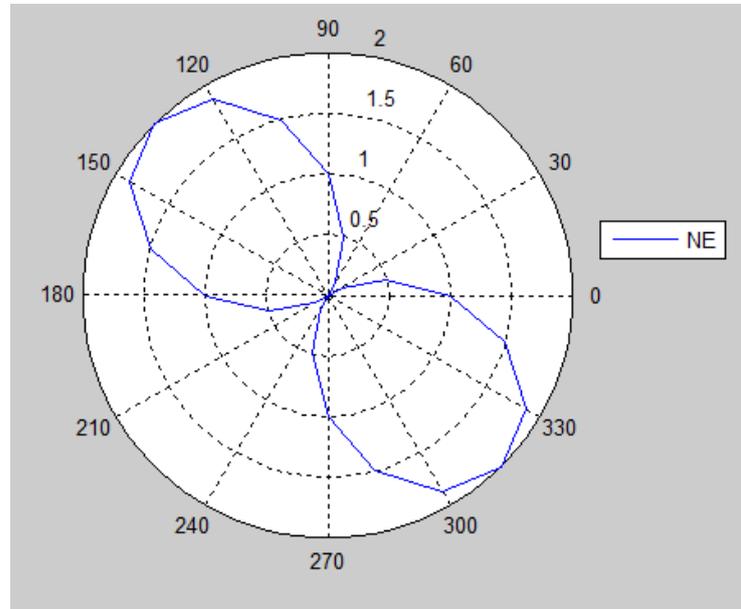


Figura 67. Gráfico polares NE

- Curva polar SE:

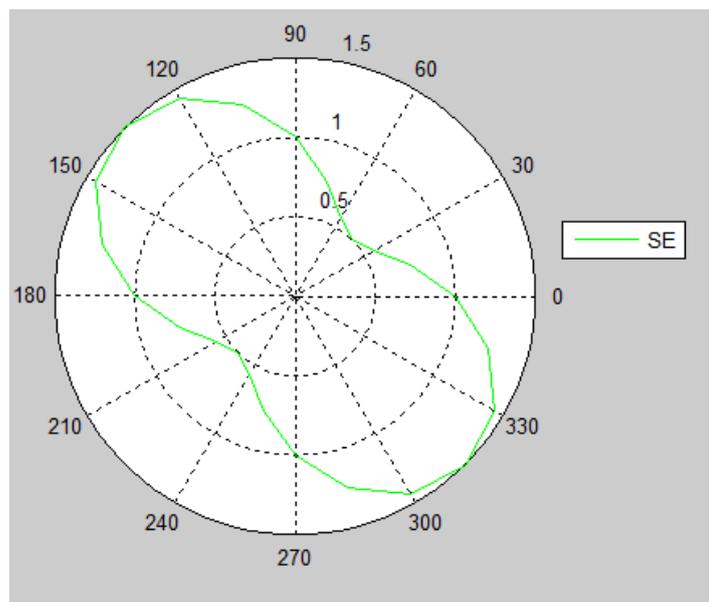


Figura 68. Gráfico polares SE

- Curva polar SW:

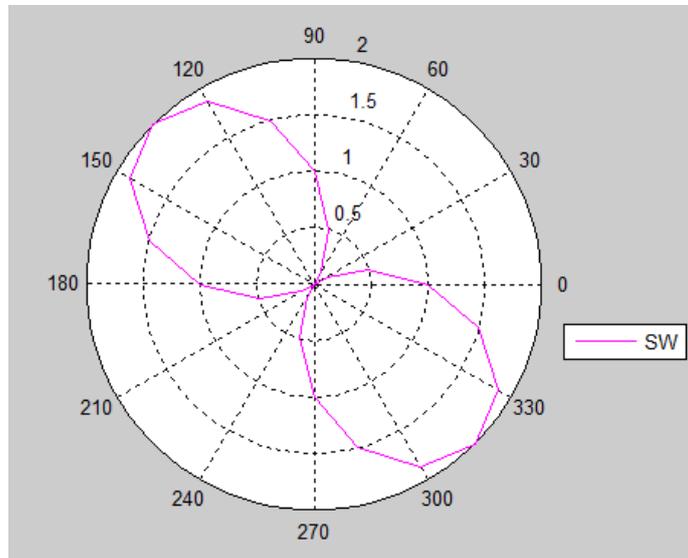


Figura 69. Gráfico polares SW

- Curva polar NW:

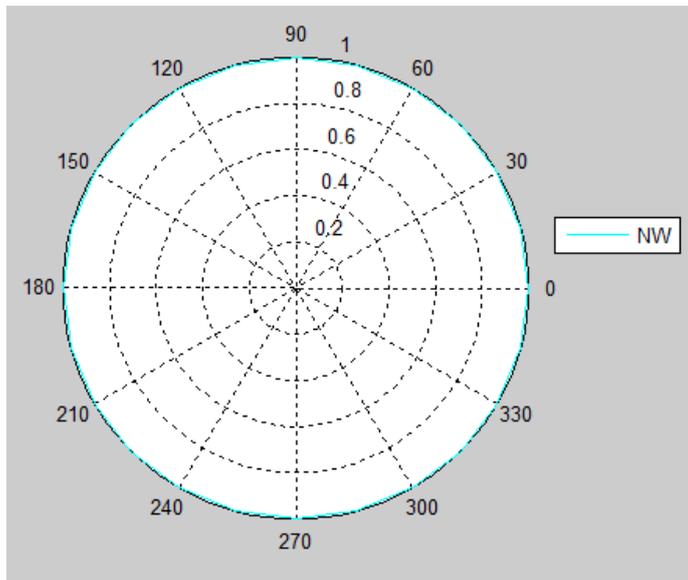


Figura 70. Gráfico polares NW

5.2 ALLURE OF THE SEAS



Figura 71. Buque ALLURE OF THE SEAS

Es un crucero de la Royal Caribbean.

Construido en Meyer Turku, Finlandia.

Rumbo de grada: 218°



Figura 72. Cubierta de proa

El método seguido es el mismo que en el caso anterior del buque “HOEGH JACKSONVILLE”.

Se analiza el desvío que tiene la aguja en el muelle de atraque.

Corrección de la giro = $R_g - R_v = 025,7 - 025,7 = 0$

$R_g = R_m + dm + C_{giro} = 000 + 0,5 + 0, = 000,5$

$R_v - R_a = CT ; 025,7 - 021,7 = 5$

$CT = \Delta + dm$

$\Delta = 5^\circ - 0,5^\circ = 4,5^\circ$

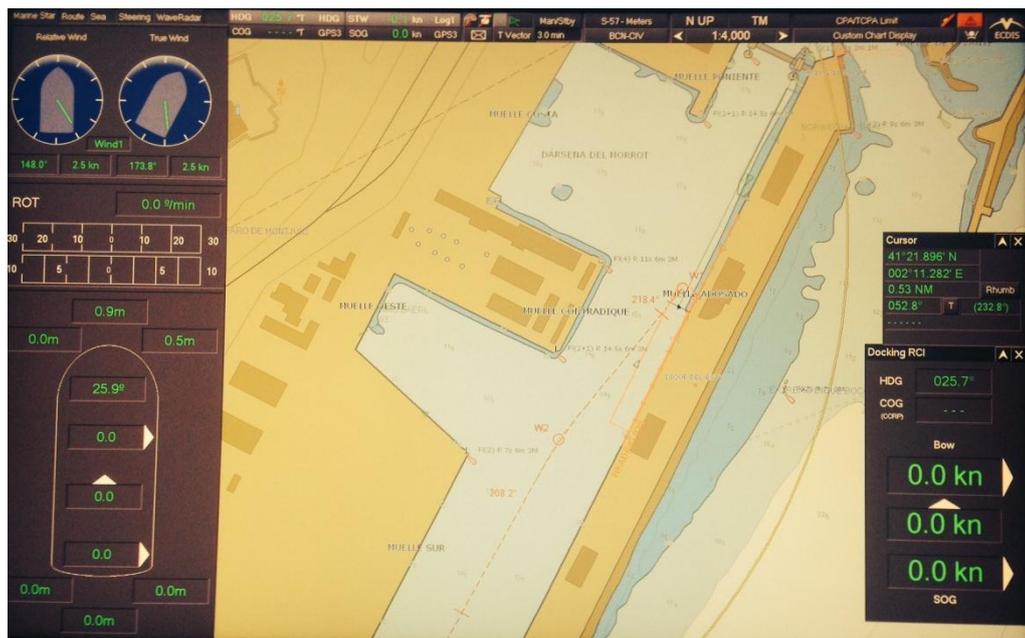


Figura 73. Rumbo en el muelle de atraque



Figura 74. Rumbo de aguja atracados

Después de realizar las 2 vueltas se obtienen los desvíos en los rumbos cardinales y cuadrantales. En la primera vuelta se ajustan los desvíos con los correctores y en la

segunda se observan los desvíos definitivos tras haber ajustado los desvíos con los correctores.

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los datos obtenidos durante la segunda vuelta y definitiva. Estos datos son los que se utilizan para llevar a cabo las distintas curvas de desvíos.

Rg	Rm	Ra	Δ
000	000	359	1
045	045	48	-3
090	090	091	-1
135	135	134	1
180	180	178	2
225	225	223	2
270	270	269,5	0,5
315	315	315	0

Tabla 7. Datos desvíos deinitivos

A continuación se muestra una imagen de la posición final de los imanes correctores.

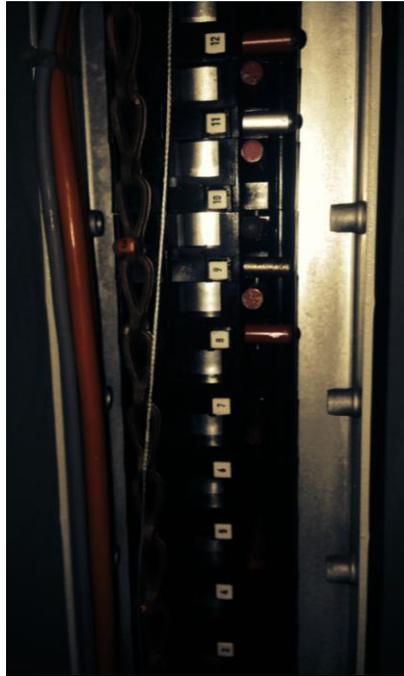


Figura 75. Posición final imanes

5.2.1 EXCEL ALLURE OF THE SEAS

	DESVIO
DESVIO N	1
DESVIO NE	-3
DESVIO E	-1
DESVIO SE	1
DESVIO S	2
DESVIO SW	2
DESVIO W	0,5
DESVIO NW	0

Tabla 8. Desvíos

		curva de desvíos ALLURE OF THE SEAS					
	Rumbo de aguja	45	135	225	315	Promedio	Interpolado
0	000	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,26179939	015	-0,7	0,4	1,0	1,1	0,5	0,4
0,52359878	030	-2,1	-0,2	0,7	0,9	-0,2	-0,2
0,78539816	045	-3,0	-0,8	0,2	0,5	-0,8	-0,8
1,04719755	060	-3,1	-1,2	-0,3	0,0	-1,1	-0,8
1,30899694	075	-2,4	-1,3	-0,7	-0,6	-1,2	-0,9
1,57079633	090	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
1,83259571	105	0,6	-0,5	-1,0	-1,1	-0,5	-0,4
2,0943951	120	2,2	0,3	-0,6	-0,9	0,2	0,3
2,35619449	135	3,2	1,0	0,0	-0,4	0,9	0,9
2,61799388	150	3,5	1,6	0,7	0,4	1,6	1,3
2,87979327	165	3,0	1,9	1,4	1,3	1,9	1,6
3,14159265	180	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
3,40339204	195	0,7	1,8	2,3	2,5	1,8	1,7
3,66519143	210	-0,5	1,4	2,3	2,6	1,4	1,3
3,92699082	225	-1,2	1,0	2,0	2,3	1,0	1,0
4,1887902	240	-1,3	0,6	1,5	1,8	0,7	0,8
4,45058959	255	-0,6	0,4	1,0	1,1	0,5	0,7
4,71238898	270	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4,97418837	285	1,8	0,7	0,2	0,1	0,7	0,8
5,23598776	300	3,0	1,1	0,2	-0,1	1,0	1,0
5,49778714	315	3,5	1,4	0,3	0,0	1,3	1,3
5,75958653	330	3,4	1,5	0,6	0,3	1,4	1,2
6,02138592	345	2,5	1,4	0,8	0,7	1,3	1,1
	A=	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
	B=	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75
	C=	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
	D=	-2,74	-0,55	0,49	0,80	-0,50	-0,50
	E=	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88

Tabla 9. Datos desvíos cuadrantales

CURVA DE DESVÍOS

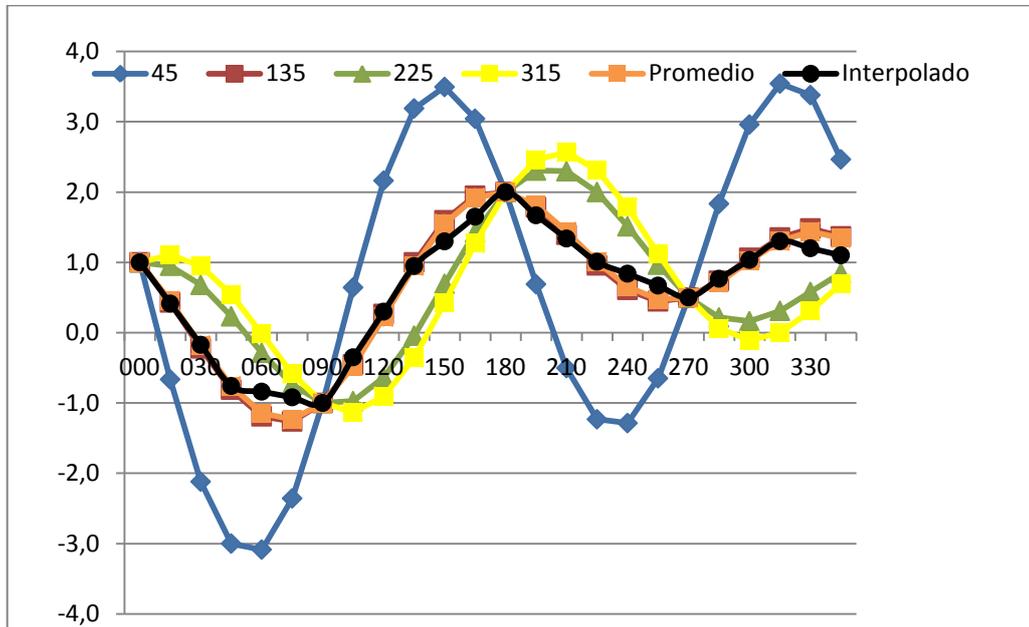


Figura 76. Curvas de desvíos

GRÁFICA EN POLARES

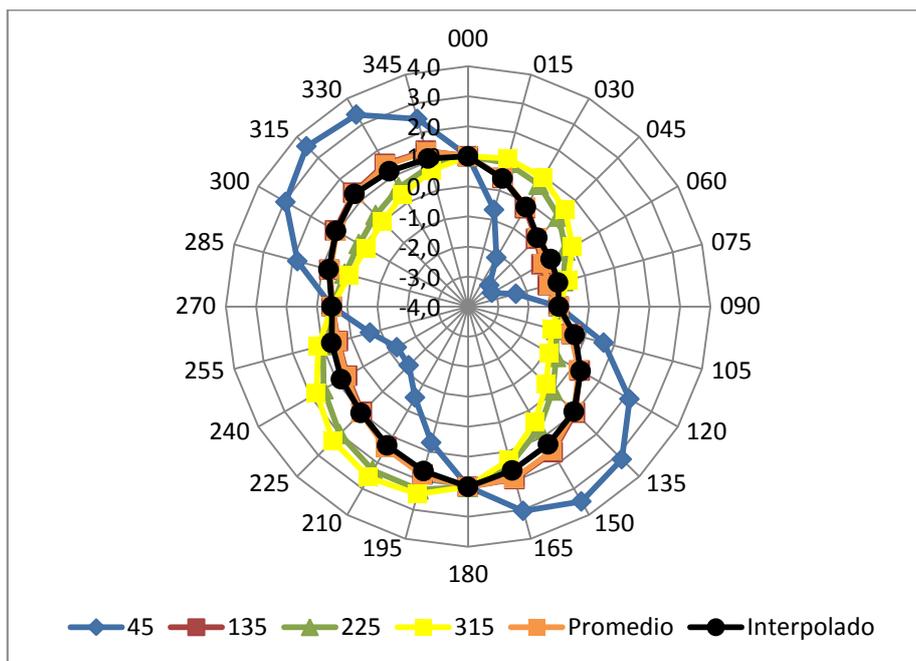


Figura 77. Curva desvíos en polares

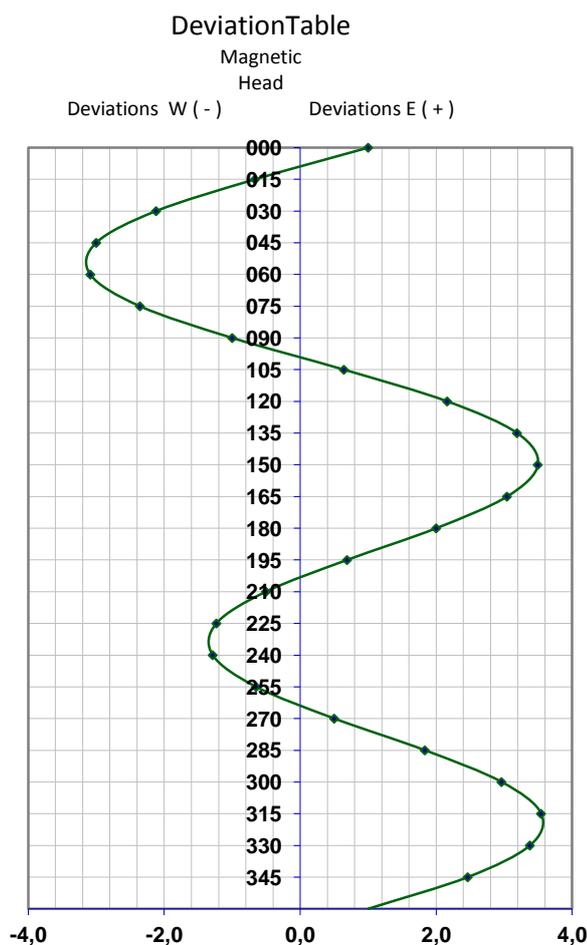
En las gráficas anteriores se pueden observar las gráficas para cada cuadrantal. Además se ha añadido otra que representa el promedio de los 4 cuadrantales y otra que interpola los valores promediados cada 45°.

De esta manera se puede levantar la tablilla de desvíos seleccionando para cada cuadrantal.

Se van a mostrar a continuación las 4 tablillas pero solamente debería seleccionarse una, la que más se ajuste.

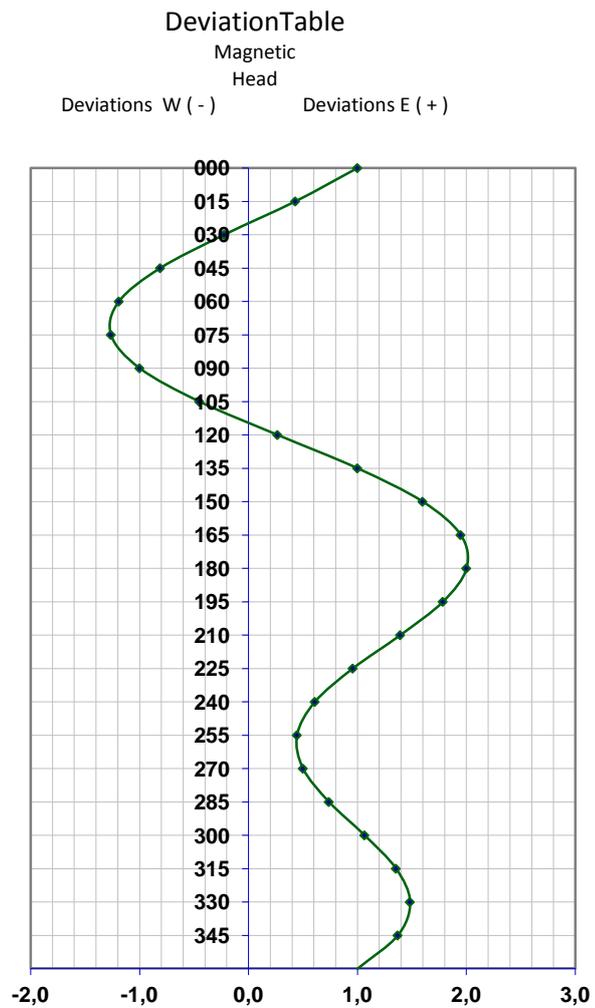
- Tablilla para 4 rumbos cardinales y cuadrantal NE.

Mag. Head	Deviations
N 000°	1,0
015°	-0,7
030°	-2,1
NE 045°	-3,0
060°	-3,1
075°	-2,4
E 090°	-1,0
105°	0,6
120°	2,2
SE 135°	3,2
150°	3,5
165°	3,0
S 180°	2,0
195°	0,7
210°	-0,5
SW 225°	-1,2
240°	-1,3
255°	-0,6
W 270°	0,5
285°	1,8
300°	3,0
NW 315°	3,5
330°	3,4
345°	2,5
N 360°	1,0



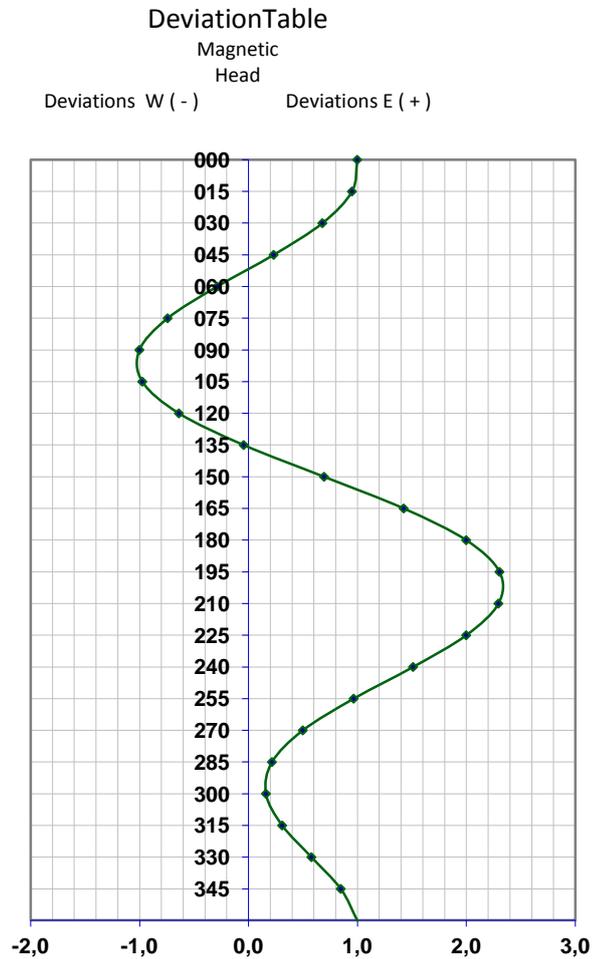
- Tablilla para 4 rumbos cardinales y cuadrantal SE.

Mag. Head	Head	Deviations
N	000°	1,0
	015°	0,4
	030°	-0,2
NE	045°	-0,8
	060°	-1,2
	075°	-1,3
E	090°	-1,0
	105°	-0,5
	120°	0,3
SE	135°	1,0
	150°	1,6
	165°	1,9
S	180°	2,0
	195°	1,8
	210°	1,4
SW	225°	1,0
	240°	0,6
	255°	0,4
W	270°	0,5
	285°	0,7
	300°	1,1
NW	315°	1,4
	330°	1,5
	345°	1,4
N	360°	1,0



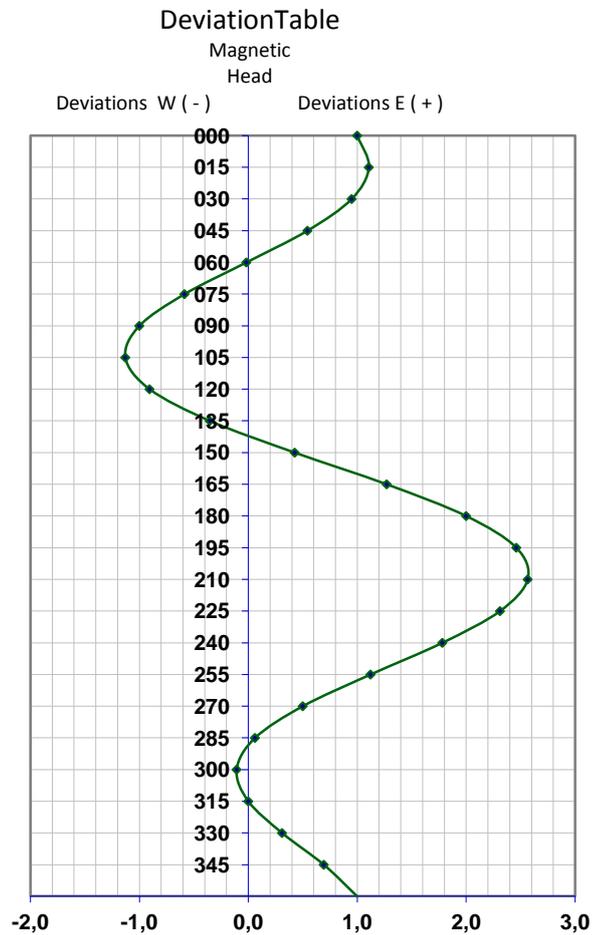
- Tablilla para 4 rumbos cardinales y cuadrantal SW.

Mag. Head	Deviations
N 000°	1,0
015°	1,0
030°	0,7
NE 045°	0,2
060°	-0,3
075°	-0,7
E 090°	-1,0
105°	-1,0
120°	-0,6
SE 135°	0,0
150°	0,7
165°	1,4
S 180°	2,0
195°	2,3
210°	2,3
SW 225°	2,0
240°	1,5
255°	1,0
W 270°	0,5
285°	0,2
300°	0,2
NW 315°	0,3
330°	0,6
345°	0,8
N 360°	1,0



- Tablilla para 4 rumbos cardinales y cuadrantal NW.

Mag. Head	Deviations
N 000°	1,0
015°	1,1
030°	0,9
NE 045°	0,5
060°	0,0
075°	-0,6
E 090°	-1,0
105°	-1,1
120°	-0,9
SE 135°	-0,4
150°	0,4
165°	1,3
S 180°	2,0
195°	2,5
210°	2,6
SW 225°	2,3
240°	1,8
255°	1,1
W 270°	0,5
285°	0,1
300°	-0,1
NW 315°	0,0
330°	0,3
345°	0,7
N 360°	1,0



5.2.2 MATLAB ALLURE OF THE SEAS

El programa es el mismo que para el HOEGH JACKSONVILLE.

Simplemente hay que introducir los datos de los desvíos a rumbos cardinales y cuadrantales.

El resultado del programa para el buque ALLURE OF THE SEAS es el siguiente:

La desviación cuadrática NE es

60.7500

La desviación cuadrática es SE....

0.0300

La desviación cuadrática es SW....

12

La desviación cuadrática es NW....

20.2800

Estos valores representan la desviación de cada curva con respecto a la curva promedio.
Cuanto más grande es el valor, mayor es el desvío.

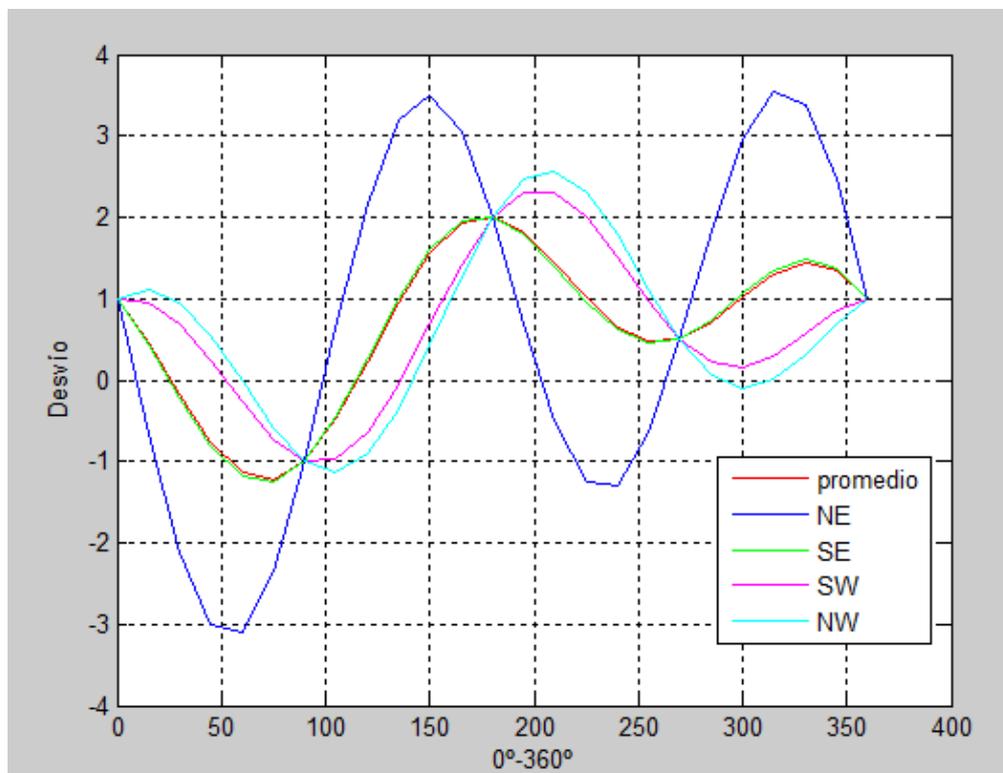


Figura 78. Curvas de desvíos

Además, proporciona los desvíos para cada rumbo, de 15° en 15°.

- Desvíos para la curva promedio:

```

Tabla =
Columns 1 through 12
    0    15.0000    30.0000    45.0000    60.0000    75.0000    90.0000    105.0000    120.0000    135.0000    150.0000    165.0000
1.0000    0.4557    -0.1785    -0.7589    -1.1450    -1.2366    -1.0000    -0.4778    0.2210    0.9482    1.5535    1.9216

Columns 13 through 24
180.0000    195.0000    210.0000    225.0000    240.0000    255.0000    270.0000    285.0000    300.0000    315.0000    330.0000    345.0000
2.0000    1.8098    1.4375    1.0089    0.6540    0.4711    0.5000    0.7123    1.0200    1.3018    1.4375    1.3439

Column 25
360.0000
1.0000
    
```

Figura 79. Datos curva promedio

- Desvíos para la curva NE:

```

Tabla1 =
Columns 1 through 11
    0    15.0000    30.0000    45.0000    60.0000    75.0000    90.0000    105.0000    120.0000    135.0000    150.0000
1.0000    -0.6693    -2.1271    -3.0089    -3.0936    -2.3616    -1.0000    0.6472    2.1696    3.1982    3.5021

Columns 12 through 22
165.0000    180.0000    195.0000    210.0000    225.0000    240.0000    255.0000    270.0000    285.0000    300.0000    315.0000
3.0466    2.0000    0.6848    -0.5111    -1.2411    -1.2946    -0.6539    0.5000    1.8373    2.9686    3.5518

Columns 23 through 25
330.0000    345.0000    360.0000
3.3861    2.4689    1.0000
    
```

Figura 80. Datos curva NE

- Desvíos para la curva SE:

```

Tabla2 =
Columns 1 through 11
    0    15.0000    30.0000    45.0000    60.0000    75.0000    90.0000    105.0000    120.0000    135.0000    150.0000
1.0000    0.4307    -0.2218    -0.8089    -1.1883    -1.2616    -1.0000    -0.4528    0.2643    0.9982    1.5968

Columns 12 through 22
165.0000    180.0000    195.0000    210.0000    225.0000    240.0000    255.0000    270.0000    285.0000    300.0000    315.0000
1.9466    2.0000    1.7848    1.3942    0.9589    0.6107    0.4461    0.5000    0.7373    1.0633    1.3518

Columns 23 through 25
330.0000    345.0000    360.0000
1.4808    1.3689    1.0000
    
```

Figura 81. Datos curva SE

- Desvíos para la curva SW:

```

Tabla3 =
Columns 1 through 11
    0    15.0000    30.0000    45.0000    60.0000    75.0000    90.0000    105.0000    120.0000    135.0000    150.0000
1.0000    0.9557    0.6875    0.2411    -0.2790    -0.7366    -1.0000    -0.9778    -0.6450    -0.0518    0.6875

Columns 12 through 22
165.0000    180.0000    195.0000    210.0000    225.0000    240.0000    255.0000    270.0000    285.0000    300.0000    315.0000
1.4216    2.0000    2.3098    2.3035    2.0089    1.5200    0.9711    0.5000    0.2123    0.1540    0.3018

Columns 23 through 25
330.0000    345.0000    360.0000
0.5715    0.8439    1.0000
    
```

Figura 82. Datos curva SW

- Desvíos para la curva NW:

```

Tabla4 =
Columns 1 through 11
    0    15.0000    30.0000    45.0000    60.0000    75.0000    90.0000    105.0000    120.0000    135.0000    150.0000
1.0000    1.1057    0.9473    0.5411    -0.0192    -0.5866    -1.0000    -1.1278    -0.9048    -0.3518    0.4277

Columns 12 through 22
165.0000    180.0000    195.0000    210.0000    225.0000    240.0000    255.0000    270.0000    285.0000    300.0000    315.0000
1.2716    2.0000    2.4598    2.5633    2.3089    1.7798    1.1211    0.5000    0.0623    -0.1058    0.0018

Columns 23 through 25
330.0000    345.0000    360.0000
0.3117    0.6939    1.0000
    
```

Figura 83. Datos curva NW

También muestra las curvas de desvíos en polares, pero de 1 en 1. Hay que seleccionar la que se quiera ver.

En este caso hay que tener en cuenta que las gráficas muestran la figura correcta pero los desvíos a cada grado tienen un desfase de $+5^\circ$ ya que no se ha conseguido que dibuje correctamente los desvíos negativos. De esta manera, al sumarle esos 5° , todos los desvíos quedan positivos y por lo tanto la curva queda bien representada, teniendo en cuenta que en realidad para interpretar de manera correcta el gráfico hay que restar 5° al desvío de cada rumbo para obtener el desvío real.

- Curva polar promedio:

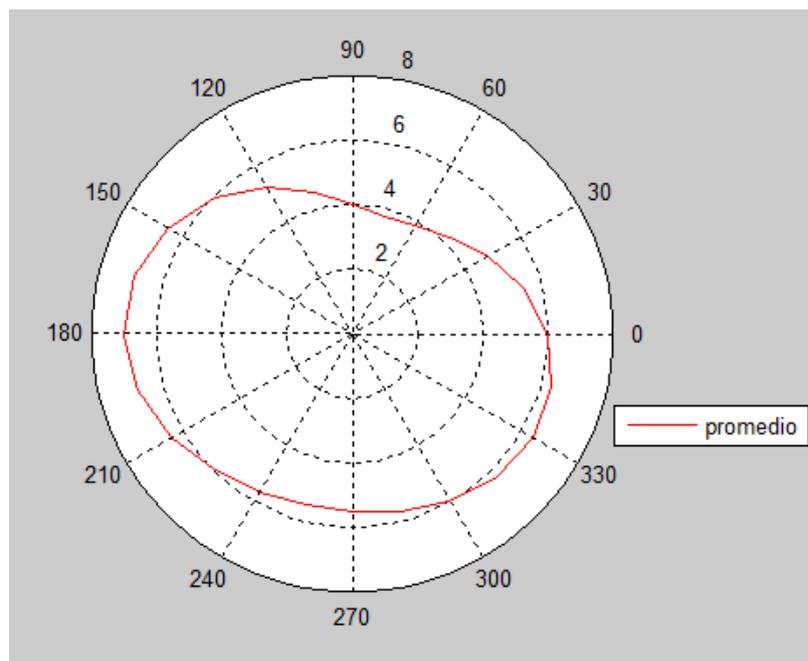


Figura 84. Gráfico polar promedio

- Curva polar NE:

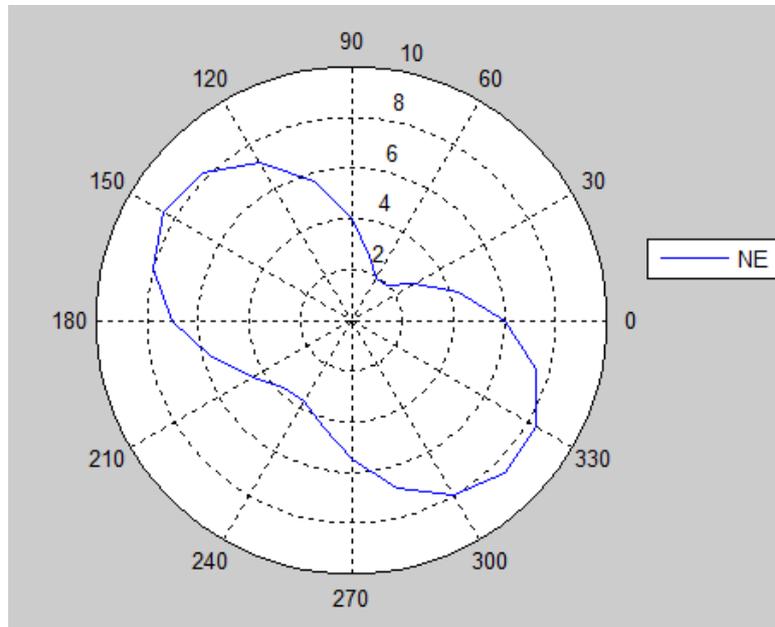


Figura 85. Gráfico polar NE

- Curva polar SE:

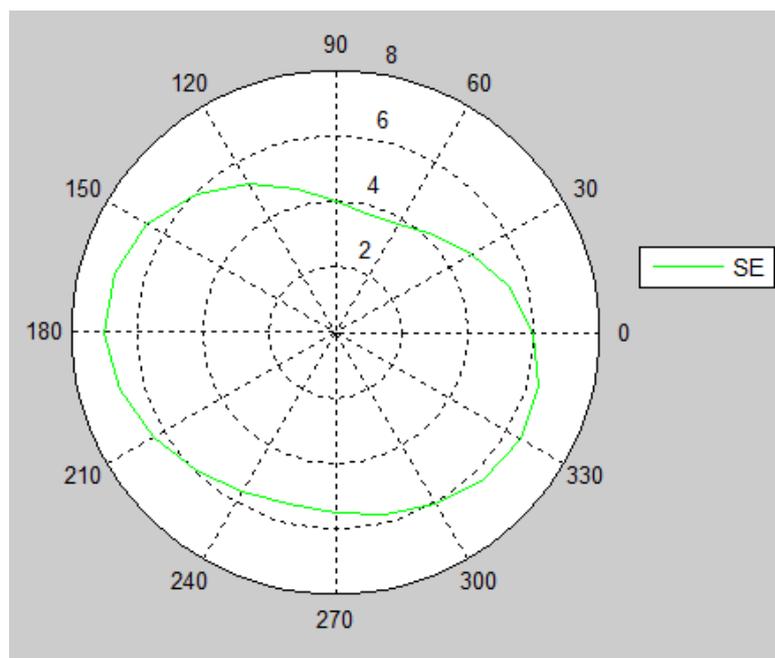


Figura 86. Gráfico polar NW

- Curva polar SW:

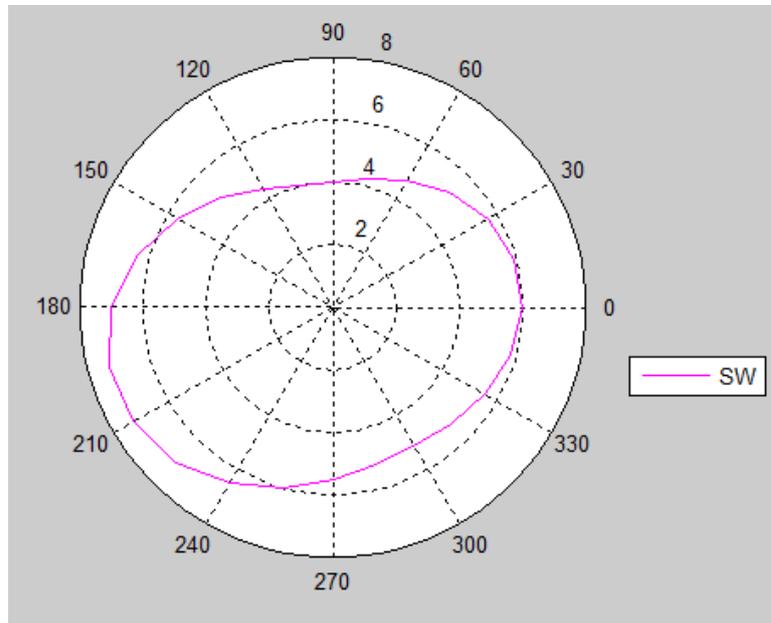


Figura 87. Gráfico polar SW

- Curva polar NW:

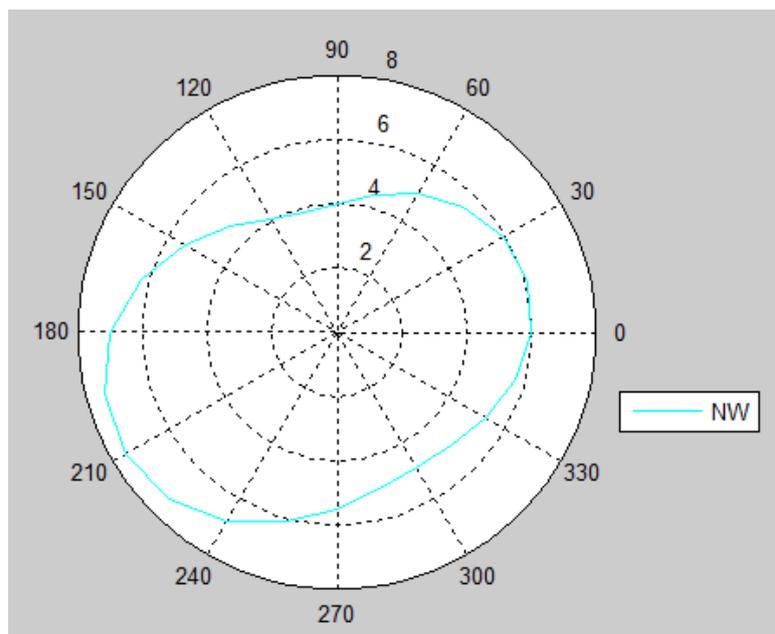


Figura 88. Gráfico polar NW

6. CONCLUSIONES.

1.- Sería lógico pensar que la curva de desvíos con el mayor desvío es la que se obtiene a partir de los datos de los cuatro desvíos cardinales junto con el mayor desvío cuadrantal pero se ha demostrado que esto no siempre se cumple. En el caso del ALLURE OF THE SEAS como en otros tantos, hemos podido comprobar en el análisis del HOEGH JACKSONVILLE no se cumple ya que la curva con los mayores desvíos casualmente se corresponde con la que posee el menor desvío cuadrantal.

Además, se ha comprobado que el mayor valor del desvío no tiene porqué ser en un rumbo cuadrantal o en un rumbo cardinal.

2.- Se ha podido comprobar que si se consiguen anular los desvíos cardinales, los máximos desvíos tienen lugar en los rumbos cuadrantales. Es decir que, por ejemplo, para una curva de desvíos con desvíos nulos a rumbos cardinales y desvío 2 a rumbo NE, la curva sinusoidal tiene sus valores máximos en los rumbos cuadrantales (desvío 2 positivo en NE y SW y desvío 2 negativo en SE y NW).

3.- De los desvíos obtenidos a los cuatro cuadrantales, cualquier compensador experimentado aprecia que tres de ellos suelen ser bastante acordes y coherentes, pero uno de ellos siempre se “dispara” o se “aleja” muchísimo de la curva correspondiente. En el análisis realizado se aprecia claramente este hecho característico y puede ser que esté relacionado con el rumbo de grada.

4.- Otra conclusión de este estudio es la incidencia que tiene en la aguja el tipo de navegación que se lleve a cabo. Como se ha explicado, el desvío en la aguja varía en función de la latitud geográfica por lo que la aguja de un buque que haga navegaciones sin

variar en exceso su latitud geográfica no se verá igual de afectada que la de otro buque que haga navegaciones en dirección “norte-sur”.

5.- Por otra parte también es importante recalcar el hecho de que en función del tipo de carga que transporte el buque, el compás puede verse afectado en mayor o menor medida. En el caso del buque HOEGH JACKSONVILLE, al ser un Car Carrier en el cual se tuvieron que colocar muchos correctores en el inicio, antes de los dos años de caducidad del Certificado de aguja presenta unos desvíos superiores a 10 grados.

6.- En el caso del buque ALLURE OF THE SEAS, que hizo una varada en el dique de Puerto Real de únicamente 20 días, adquirió desvíos que superaban los 5 grados, lo cual es muy significativo ya que se comprueba la influencia que tienen en el magnetismo del buque las reparaciones o modificaciones que se lleven a cabo. Lo que constata que pocos buques actúan como este explotado por la Royal Caribbean, efectuando una compensación a salida de varadero, no esperando a la caducidad de su Certificado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Apuntes de Compensación de Agujas Náuticas, 2009 FNB
- [2] Código de Comercio, 1886. Artículo 574. BOE 289/1885
- [3] Dirección General Marina Mercante. Marina. Resolución 16 de febrero de 1993
- [4] GAZTELU-ITURRI, R. Colección Itsaso N°21. Compensación de la Aguja Náutica. Curso de compensador. Vitoria: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 1999
- [5] GAZTELU-ITURRI, R. Compensación de la Aguja Náutica (Curso de Compensador). Vitoria: Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 1999
- [6] GAZTELU-ITURRI, R. Influencia del Magnetismo del Buque en los Desvíos de la Aguja Náutica. Métodos de Compensación. Tesis inédita, Bilbao, 1999
- [7] GEA, P. Compensación del magnetismo accidental del desvío de escora mediante una tercera esfera; su influencia sobre el desvío cuadrantal. Tesis Doctoral. Universidad de A Coruña. Departamento de Energía y Propulsión Marina. Enero, 2003
- [8] IBAÑEZ, I., GAZTELU-ITURRI, R. Fundamentos de Navegación Marítima. Servivio Editorial UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO, 2002.
- [9] IMO. Convenio Internacional de la Organización Marítima Internacional sobre Normas de Formación, Titulación y Guardia para la Gente de Mar 1978/1995
- [10] IMO. Convenio SOLAS 1974. Capítulo 5. Regla 12 relativo a aparatos náuticos de a bordo
- [11] IMO. Resolución A.382 (X)
- [12] IMO Resolución 560 (14)

- [13] ISO 25862. Buques y tecnología marina – compases magnéticos marinos, bitácoras y dispositivos de lectura de azimut. Primera edición 15 de mayo de 2009
- [14] MARTÍNEZ, A. Compás magnético integral para la obtención de desvíos en tiempo real a partir de un sistema global de navegación por satélite (GNSS). Tesis doctoral. Universidad del País Vasco. Bilbao, 2008
- [15] MARTÍNEZ, A., PEÑA, J., VILA, J.A. La Aguja Magnética y su compensación. Comportamiento de la aguja náutica. Editorial académica española, 2010
- [16] MARTÍNEZ-HIDALGO y TERÁN, J.M. Magnetismo del buque y compensación de la aguja Náutica. Barcelona: Ediciones Garriga, 1958.
- [17] MILLET, S. Manual práctico del desvío de la aguja náutica. Ed. Bota, 1892.
- [178] Ministerio de Industria y Comercio. Orden 11 de marzo 1950 MARINA MERCANTE. Compensación de agujas náuticas de buques
- [19] Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Orden 14 de diciembre de 1992 sobre compensación de agujas náuticas. BOE 457/1992
- [20] Orden FOM/3479/2002, de 27 de diciembre, por la que se regula la firma y visado de documentos a que se refiere el Real Decreto 1837/2000. BOE 22/2003
- [21] Peña, J. Apuntes Magnetismo. Primer Curso de Licenciatura en Náutica y Transporte Marítimo. E.T.S. de Náutica y Máquinas Navales de Portugalete
- [22] Real Decreto 1837/2010, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de inspección y certificación de buques civiles. BOE 285/2000