

ANÁLISIS DE NECESIDADES ENERGÉTICAS DE UN BUQUE EN PUERTO

ARCE FARIÑA, María Elena ⁽¹⁾; CARRASCAL VILLAR, Francisco Manuel ⁽¹⁾

CACABELOS REYES, Antón ⁽¹⁾; Álvarez Feijoo, Miguel Ángel ⁽¹⁾

elena.arce@tud.uvigo.es

⁽¹⁾Centro Universitario de la Defensa. Escuela Naval Militar (Marín).

RESUMEN

Las demandas energéticas de una edificación, para lograr unas adecuadas condiciones térmicas de habitabilidad, vienen determinadas principalmente por las características de su envolvente, su uso y su ubicación, entre otros. En cambio, en un buque, las condiciones de contorno varían considerablemente, y es que aunque se mantenga constante la envolvente, la orientación de la misma y las condiciones atmosféricas bajo las que se encuentra el buque constituyen variables que influyen en las necesidades de consumo de energía.

Bajo estas premisas, este trabajo se enfoca al análisis de las necesidades térmicas de un buque de vela en diferentes contextos (climatologías) para mantener unas condiciones de confort térmico apropiadas en su interior. Para ello, a través de un entorno de simulación (TRNSYS), se determinó el comportamiento del sistema en puerto, valorando las diferentes demandas energéticas de los dos compartimentos analizados en función de la orientación del atraque del buque, y analizando los posibles sombreados que pudieran influir en el consumo energético. De esta manera, se puede determinar la diferencia de la demanda térmica del buque cuándo éste se encuentra atracado en un dique o fondeado en un puerto.

El software TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation) está diseñado para resolver sistemas energéticos complejos. Además, la estructura modular del programa genera un entorno amigable que facilita al usuario la definición de nuevos componentes de análisis.

Las conclusiones de este trabajo se basan en analizar la influencia de la orientación y la sombra del dique proyectada sobre el casco en el consumo de energía necesario para la climatización de un buque.

Palabras clave: Trnsys, confort térmico, necesidades energéticas, buque.

1. Introducción

Las herramientas informáticas para simulación en el campo energético han evolucionado enormemente en las últimas décadas, por lo que cada vez es más común y asequible la realización de simulaciones energéticas aplicadas a edificaciones (viviendas, oficinas, etc.) [1], puesto que son lugares en los que los usuarios permanecen mucho tiempo en su interior. Sin embargo, estos estudios no son tan comunes para analizar las necesidades de climatización de buques.

Desde un punto de vista del confort térmico y del consumo energético, las capacidades de movilidad de un buque le confieren unas mayores posibilidades de eficiencia de las que una edificación no dispone. Por este motivo, el atraque de un buque en un puerto, se podría seleccionar en función de su orientación en dicho puerto o de la contribución del sombreamiento del dique sobre el casco de dicho buque. Si se realiza un análisis energético detallado previo al atraque del buque en puerto y dependiendo de la duración de dicha estancia, se puede obtener una importante reducción del consumo de energía a lo largo de este período de atraque.

La realización de modelos energéticos en la edificación normalmente requiere el manejo de diferentes herramientas de simulación que facilitan la incorporación de las distintas características geométricas y parámetros de funcionamiento. En este sentido, el entorno de simulación TRNSYS (TRAnSient SYstem Simulation) se configura como una herramienta que permite resolver sistemas energéticos complejos [2]. Además, la estructura modular del programa facilita la definición de nuevos componentes, lo que posibilita una fácil adaptación al sistema concreto de estudio [3]. Aunque TRNSYS ha sido ampliamente empleado en la simulación de edificaciones [4,5], existen antecedentes en los que se ha empleado para el análisis de buques [3].

Un punto importante en la simulación es la definición de las condiciones de confort en el recinto a simular. Es importante destacar que éstas dependen de diferentes aspectos, entre ellos el de las cargas térmicas que se generen en el interior y de los flujos de calor que entren o salgan a través de la envolvente. El objeto, por tanto, es tener un ambiente agradable, es decir, que la sensación térmica de las personas que ocupan una zona térmica sea neutra, de tal forma que puedan regular su temperatura corporal interna con poco esfuerzo para la actividad que estén realizando. Así, en base a las especificaciones recogidas por un amplio número de autores, se estima el rango entre 20-26°C como el de sensación de confort térmico [6,7].

El barco objeto de análisis es el Buque Escuela Juan Sebastián Elcano (1.927) [8]. Se trata de un buque a vela de 94,1 metros de eslora, 13 de manga y 9 de puntal. Aunque navega de media unos 170 días cada año [9], una parte del año se encuentra atracado en su puerto base (Arsenal de la Carraca, San Fernando, Cádiz, España). Para realizar la estimación del consumo energético de los diferentes sistemas de climatización de los que dispone el buque, resulta trascendental conocer la influencia de la orientación y la sombra del dique proyectada sobre el costado del buque.

2. Objetivos

Los objetivos del presente estudio se describen a continuación. Por una parte, conocer la influencia de la orientación del buque y demostrar que el efecto de la radiación solar y la orientación de cada superficie de la envolvente son determinantes para el cálculo de la demanda térmica. Cuando se indica orientación, ésta debe ser entendida tanto como la alineación de la proa del buque (dique a estribor o babor) como la ubicación del buque dentro del Arsenal (puerto base). Por otra, también se fijó como objetivo comprender la influencia de la sombra del dique sobre el buque.

3. Método de trabajo

Para poder llevar a cabo la realización del modelo energético fue necesario emplear varios programas. En concreto, en este trabajo, se emplearon un total de cuatro: SketchUp, Meteonorm, Panoply y TRNSYS.

El software SketchUp de Trimble se utilizó para la definición de la geometría y de las superficies de sombra. El buque se dividió en un total de 21 zonas térmicas. Para el presente trabajo se seleccionaron dos (marcadas en la Figura 1) en donde se realizó un estudio detallado. La zona térmica Alojamiento fue seleccionada por encontrarse en la obra muerta del buque (por encima de la línea de flotación, marcado de color rojo en la siguiente figura), por lo cual recibe radiación solar directa sobre una parte de su envolvente. Además, esta zona cuenta con tambuchos (ventanas), por lo que de influir el efecto de la sombra del dique sobre la construcción debería notarse en mayor medida sobre esta zona térmica. En concreto, un total de 6 tambuchos con 0,25m de diámetro cada uno, lo que supone una superficie de 2.35 m². Si se compara esta superficie con la total del compartimento resulta despreciable; sin embargo, al ser las ventanas las que permiten la incidencia de los rayos solares en el interior del compartimento el efecto de la sombra del dique sobre la construcción se percibe sobre mayor grado en las zonas térmicas que cuentan con tambuchos. En el compartimento de Máquinas Principales también se notará el efecto de la sombra del dique pero de forma diferida. Es decir, al no tener influencia de la radiación solar en las ventanas del compartimento Alojamiento, éste pierde temperatura, con lo que la tasa de transferencia de calor a los compartimentos colindantes se ve afectada. La superficie total de esta zona es de 137,65 m². Por su parte, la zona térmica Máquinas principales se encuentra situado por debajo de la línea de flotación del buque (marcada en rojo en la Figura 1), es decir, en la obra viva. Esta zona tiene una superficie de 140,3 m², muy similar a la de Alojamiento, lo que facilita la comparación de los resultados obtenidos.

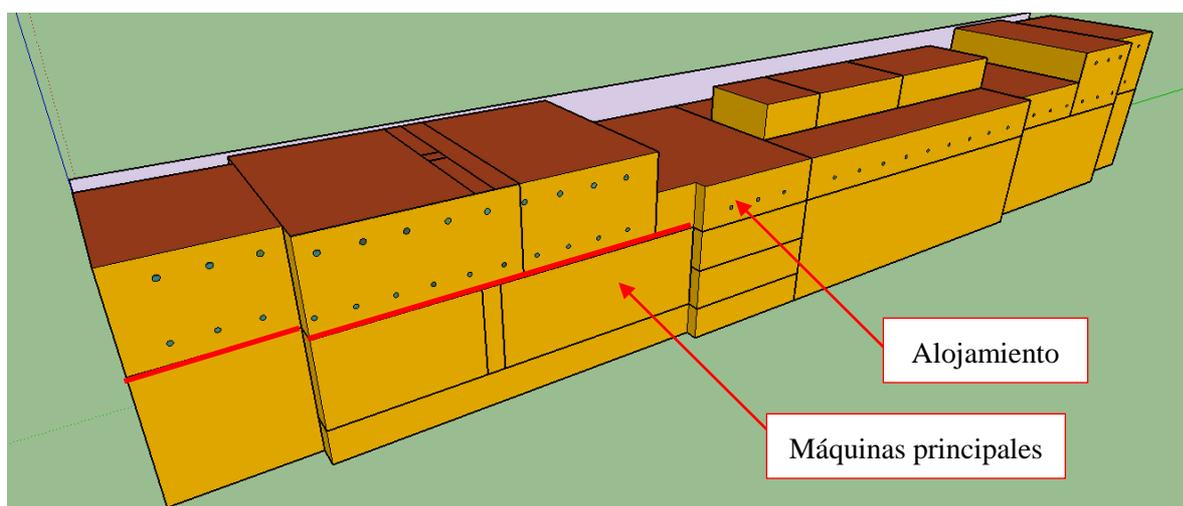


Figura 1. Buque Escuela Juan Sebastián Elcano. SketchUp.

La base de datos de Meteonorm (versión 7) permitió obtener las condiciones meteorológicas en el puerto base del buque. A través del programa se generó un archivo meteorológico TMY2 (Typical Meteorological Year), con los datos correspondientes a un año tipo, que se utilizó en la simulación.

Las condiciones de contorno, en este caso la temperatura del agua, se determinaron empleando el software Panoply. Se trata de una herramienta visual gráfica en lenguaje de programación Java, que permite producir gráficos de datos de referencia geográfica. Para la simulación se utilizaron fuentes descargadas desde la página web Community Data Portal, administrada por el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (National Center for Atmospheric Research, NCAR) en Boulder (Colorado, Estados Unidos) [10].

Por último, el programa de simulación de sistemas transitorios (TRNSYS) fue utilizado para analizar el buque en su conjunto. Para poder realizar las simulaciones fue necesario definir la composición de los cerramientos del buque, para lo cual se han considerado datos de embarcaciones de similares características. Además, dadas las limitadas capacidades de espacio que presentan estos buques, el nivel de ocupación de las diferentes estancias representa una importante ganancia térmica que también

se considera. En la Figura 2 se muestra el entorno de simulación con los diferentes componentes utilizados.

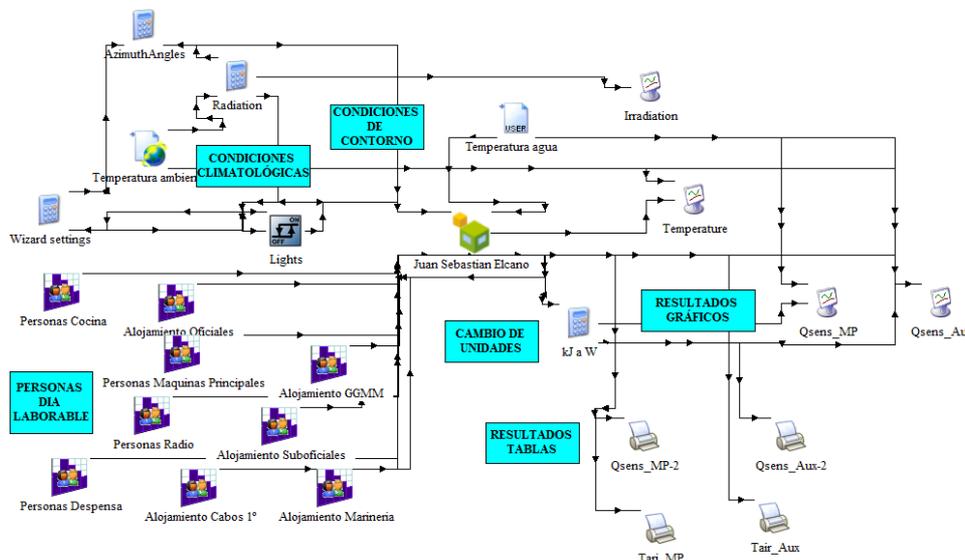


Figura 2. Simulación en TRNSYS realizada con Simulation Studio aplicada al Buque Escuela Juan Sebastián Elcano.

3.1. Orientación del buque

Tal y como se indicó, uno de los aspectos a considerar dentro de la simulación fue el efecto de la orientación del buque en las necesidades térmicas del mismo. En la Figura 3 se muestra una imagen con las dos posibles ubicaciones del buque en el puerto base. En verde se indica la ubicación actual y en rojo una nueva posible ubicación.



Figura 3. Arsenal de la Carraca, San Fernando (Cádiz).

Para el desarrollo de este punto, en primera instancia, se utilizó la herramienta Google Earth (versión 7). A través de Google Earth se determinó el ángulo respecto del norte magnético de las dos posibles ubicaciones, así como la Latitud y Longitud de las mismas. Este último dato fue necesario para poder conocer la declinación magnética y, con ello, calcular el ángulo respecto del norte verdadero o norte

geográfico (Ecuación 1). La declinación magnética se obtuvo de la aplicación web del Centro Nacional de Información Geográfica [8]. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos.

$$\text{Ángulo}_{\text{Norte verdadero}} = \text{Ángulo}_{\text{Norte magnético}} + \text{Declinación magnética} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Considerando declinación magnética positiva hacia el Este y negativa hacia el Oeste

Tabla 3: Resultados parámetros ubicación buque.

		Longitud	Latitud	Declinación magnética	Ángulo Norte magnético	Ángulo Norte verdadero
Ubicación actual Arsenal la Carraca	Dique a estribor	6°10'55'' W	36°29'53'' N'	1°39'W	63°16'48''	61°37'48''
	Dique a babor				243°16'48''	241°37'48''
Nueva ubicación Arsenal de la Carraca	Dique a babor	6°10'53'' W	36°10'53'' N	1°39'W	146°45'	145°5'60''
	Dique a estribor				326°45'	325°6'

3.2. Sombra del dique

Con objeto de comprobar la influencia de la sombra, se estudió variación de la marea. Para ello, se analizó el registro de datos del anuario de mareas del Instituto Hidrográfico de la Marina, para el puerto de La Carreca situado en el Arsenal de San Fernando (Cádiz). En base a los datos de nivel medio del mar y la obra muerta del buque se determinó que en pleamar el dique se encuentra prácticamente a la altura de la línea de flotación del buque y que en bajamar se cubre la primera línea de tambuchos.

4. Resultados alcanzados

Esta sección del presente trabajo se estructura en torno a dos puntos: influencia del sombreado producido por el dique y la orientación/ubicación del buque. Los análisis de energía demandada (calefacción y refrigeración) en las dos zonas térmicas objeto de estudio fueron calculados para un periodo de un año.

4.1. Influencia del efecto sombra del dique

Antes de estudiar el efecto de la orientación, se analizó la influencia de la sombra del dique sobre el buque en los dos compartimentos. En la Tabla 2 se muestra la variación porcentual en la energía demandada (en vatios) en la zona térmica Alojamiento. Tal y como se esperaba el efecto de la sombra fue mayor en la zona térmica "Alojamiento", que cuenta con tambuchos, siendo nulo o prácticamente nulo en el compartimento de Máquinas principales, que carece de ventanas. Si se comparan los distintos meses, se observa que las mayores variaciones porcentuales corresponden a los meses de junio y diciembre, lo que refleja el efecto del azimut y la altura solar. Al tratarse de un buque simétrico respecto de su línea de crujía, no se observa diferencia en el efecto de la sombra al ubicarlo a babor o estribor.

Tabla 4: Variación mensual porcentual promedio en la demanda térmica derivada del efecto de la sombra del dique sobre el buque en la ubicación actual con el dique a estribor

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Zona Térmica Alojamiento(%)	0,6	-0,1	-3,1	-2,1	-1,5	-7,2	-2,0	-3,1	-1,6	-0,5	-4,5	-14,5

4.2. Orientación y ubicación del buque

Dique a babor o estribor

En este apartado se analiza la influencia de la selección del costado de atraque sobre el consumo energético ((Demanda energ. dique a estribor-Demanda energ. dique a babor)/Demanda energ. dique a babor). Del análisis de los resultados (Tabla 3) se desprende que resulta más conveniente tener el buque atracado con el dique a babor.

Tabla 5: Variación mensual porcentual promedio en la demanda térmica. Diferencia entre tener el dique a estribor o a babor.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Zona Térmica Alojamiento (%)	-1,1	-0,7	-0,3	0,7	0,5	1,1	3,1	0,5	2,1	0,4	-0,9	-0,9
Zona Térmica Máquinas principales (%)	0,2	0,5	0,7	1,1	0,9	0,6	0,9	1,3	6,3	2,9	1,1	0,3

Ubicación actual y nueva ubicación

Tomando como referencia los resultados obtenidos en el anterior apartado, se compararon las necesidades energéticas de las dos zonas térmicas objeto de estudio, en relación a la orientación más ventajosa en cada una de las ubicaciones. Es decir, en la ubicación actual tener el dique a babor, contrariamente a cómo está atracado en la actualidad el buque, y en la nueva ubicación propuesta tener dique a babor (325°6' respecto del norte verdadero). De los datos de la Tabla 4 se concluye que resulta energéticamente más rentable ubicar el buque en la nueva ubicación propuesta, lo que supondría un ahorro energético de aproximadamente un 6% y un 1% en la zona térmica de Alojamiento y en la de Máquinas principales, respectivamente.

Aunque hasta ahora se han comparado porcentualmente las modificaciones en las demandas energéticas, resulta conveniente señalar que la zona térmica de Máquinas principales, por encontrarse bajo la línea de flotación y, por tanto influida por la temperatura del agua, tiene una mayor demanda

energética que la zona de Alojamiento, pese a tener una superficie muy similar. Cuando el fluido es líquido, una aproximación habitual, como la que se ha hecho en este estudio, es considerar que la temperatura del fluido es la misma que la temperatura de la capa de la pared de contacto, debido al elevado coeficiente de transferencia de calor que tienen los líquidos en comparación con los gases. En la Figura 4 se muestra el efecto de la temperatura del agua en la demanda energética.

Tabla 6: Variación mensual porcentual promedio en la demanda térmica. Diferencia entre tener el buque en la actual ubicación y en la nueva propuesta.

Mes	1 Ene.	2 Feb.	3 Mar.	4 Abr.	5 May.	6 Jun.	7 Jul.	8 Ago.	9 Sep.	10 Oct.	11 Nov.	12 Dic.
Zona Térmica Alojamiento (%)	0,5	1,2	4,1	15,6	6,7	14,5	9,0	8,5	3,3	2,3	2,7	3,6
Zona Térmica Máquinas principales (%)	0,8	4,9	2,8	13,4	-2,1	-5,9	-6,3	-4,4	4,4	-0,4	0,4	4,2

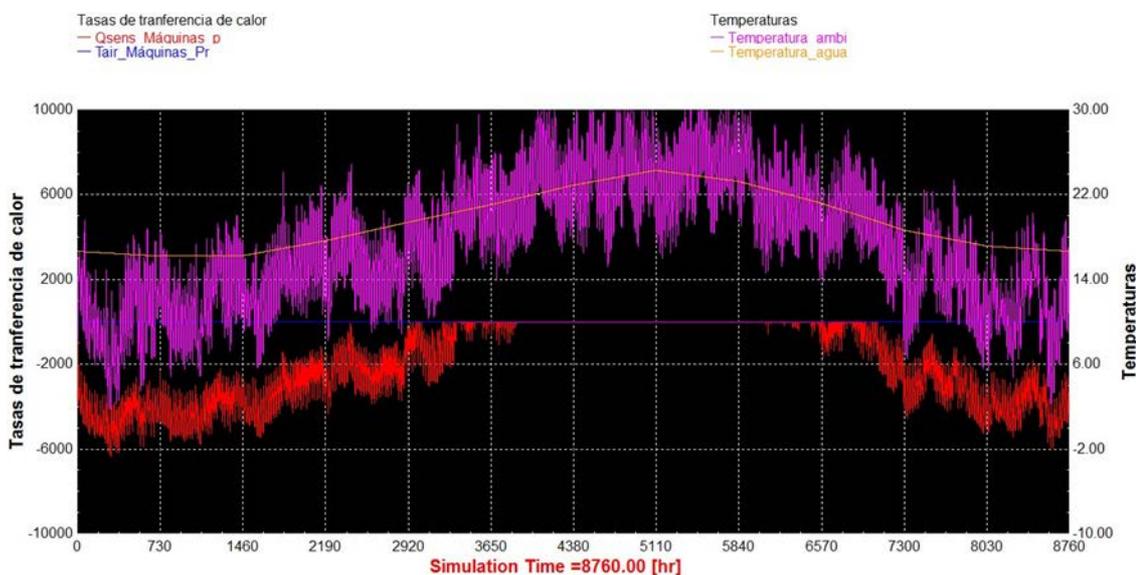


Figura 4. Gráfica de simulación para el compartimento de Máquinas Principales

5. Conclusiones

El modelo térmico desarrollado para el Buque Escuela Juan Sebastián Elcano permite analizar las demandas energéticas en diferentes ubicaciones.

Una de las principales utilidades que se pueden obtener de este modelo, es poder planificar los datos de demanda de frío y de calor en puerto y, conociendo el consumo de las diferentes instalaciones de HVAC (i.e. caldera, sistema de aire acondicionado), estimar un coste económico del mismo.

Asimismo, es importante destacar la influencia que tiene la ubicación y la sombra del dique en la demanda energética. El no considerar su efecto puede llegar a suponer en algún mes un incremento de más de un 10% en la demanda energética del buque.

De esta manera, de existir la posibilidad de selección de dique de atraque en puerto y atendiendo a la época y duración de la estancia, la selección del mismo puede suponer reducciones de emisiones atmosféricas e importantes ahorros energéticos.

Como línea futura se prevé obtener los datos experimentales del Buque Escuela para la validación del modelo térmico.

6. Referencias

[1] CRAWLEY, D.B., HAND, J.W., KUMMERT, M., GRIFFITH, B.T. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 2008, vol. 43(4), pp. 661-673.

[2] BECKMAN, W.A., BROMAN, L., FIKSEL, A., KLEIN, S.A., LINDBERG, E., SCHULER, M., THORNTON, J. Trnsys the most complete solar energy system modeling and simulation software. *Renewable Energy*, 1994, vol. 5(1), pp. 486-488.

[3] ULLOA, C., EGUÍA, P. MIGUEZ, J.L. PORTEIRO, J. POUSSADA-CARBALLO, J.M. AND CACABELOS, A. Feasibility of using a Stirling engine-based micro-CHP to provide heat and electricity to a recreational sailing boat in different European ports. *Appl. Therm. Eng.*, 2013, vol. 59, pp. 414-424, 2013.

[4] BURATTI, C., MORETTI, E., BELLONI, E. and COTANA, F. Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings. *Building and Environment*, 2013, vol. 59, pp. 482-491.

[5] PEETERS, L., DE DEAR, R., HENSEN, J. and D'HAESELEER, W. Thermal comfort in residential buildings: comfort values and scales for building energy simulation. *Applied Energy*, 2009, vol. 86(5), pp. 772-780.

[6] LAGE FERRÓN, M. DÍAZ JIMÉNEZ, J. GESTAL OTERO, J.J. PAJARES ORTÍZ, M. ALBERDI ODRIOSOLA, J.C. Influencia de los factores ambientales en el número de ingresos por urgencias en el complejo hospitalario " Juan Canalejo" de La Coruña: elaboración de un modelo de predicción. *Revista Española De Salud Pública*, 1999, vol. 73, pp. 45-60.

[7] GÓMEZ-AZPEITIA, G., MORALES, G.B., TORRES, R.P.R. El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa*, 2007, vol. 2(1), pp. 45-57.

[8] CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. MINISTERIO DE FOMENTO. <http://www.ign.es/ign/layoutIn/visorgeomagnetismo.do> [Consulta: 09 marzo 2015].

[9] ARMADA ESPAÑOLA (ACTIVIDADES). http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buques_principal/prefLang_es/. [Consulta: 20 enero 2015].

[10] COMUNITY DATA PORTAL, administrado por el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (National Center for Atmospheric Research, NCAR) en Boulder (Colorado, Estados Unidos). <http://cdp.ucar.edu/index.jsp> [Consulta: 26 enero 2015].