

CÁLCULO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA BASE NAVAL DE INFANTERIA DE MARINA “BATERIAS” A PARTIR DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA

Oscar Coriale¹, José Casado¹ y María Fernanda Lopolito¹

¹Instituto Nacional del Agua (INA). Dirección de Servicios Hidrológicos (DSH). Aut. Ezeiza Cañuelas, tramo J. Newbery km 1,620. Ezeiza. Buenos Aires. Email: ocoriale@ina.gob.ar
Tel/FAX: (+54 11 44800862)

RESUMEN

La Base Naval de Infantería de Marina “Baterías”, se encuentra ubicada en el partido Coronel de Marina Leonardo Rosales, en la costa sudoeste de la provincia de Buenos Aires, que limita al este con Coronel Dorrego y al oeste con Bahía Blanca, al norte, Coronel Pringles y por el sur el límite natural de la bahía del Mar Argentino.

La principal provisión de agua de la Base se obtiene de perforaciones al acuífero artesiano denominado Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca (SHP).

La cuenca bahiense, de 10.000 Km² de extensión aproximada, es considerada como una de las más importantes de la Argentina y de referencia mundial por sus características geológicas e hidrogeológicas, dada la presencia de aguas termales surgentes, cuya temperatura oscila entre los 55 y 72 °C.

En el marco de las actividades realizadas para la readecuación y optimización del sistema de abastecimiento de agua potable y usos complementarios de la Base, se acondicionó un pozo surgente de 60 m³/h e instalaciones accesorias, con el objetivo de desarrollar procesos de investigación en el campo de la energía no convencional a través del aprovechamiento de la energía geotérmica.

Como ejemplo de eficientización energética se está trabajando en el diseño e implementación del sistema de calefacción y abastecimiento del natatorio cubierto de estudios y prácticas de la Base de Infantería de Marina.

Hasta el momento, nunca se ponderó económicamente la temperatura del agua, y por el contrario, fue un perjuicio en cuanto a que fue necesario enfriarla para su distribución.

En el presente análisis se realizó un balance de costo-beneficio entre la obra realizada y el costo de instalación y consumo de nuevos equipos destinados a la calefacción del natatorio.

Además se cuantificó el costo que hubiese demandado alcanzar las condiciones naturales de surgencia (caudal, temperatura) mediante el uso de gas y energía eléctrica, lo cual generará beneficios económicos.

Palabras Clave: Eficiencia energética; Energía Geotérmica; Baja Entalpía; Bahía Blanca

INTRODUCCION

La cuenca bahiense de 10.000 Km² de extensión aproximada, es muy importante dada la presencia de aguas termales surgentes en todos los casos conocidos, cuya temperatura oscila entre los 55 y 72 °C. Se ha comprobado que el acuífero de interés presentaría una extensión de 2.000 Km² con un espesor de 300 a 400 m., sin considerar posibles áreas improductivas por razones tectónicas y de sedimentación (Coriale, et al; 2014).

La energía geotérmica es aquella que se puede obtener mediante el aprovechamiento de calor del interior de la Tierra. Existen diferentes tipos de geotermia, llamadas de baja, media o alta entalpía. Este tipo de tecnología se diferencia de otras energías renovables en el sentido de que está disponible en casi cualquier lugar y en que su aporte energético es constante.

Los recursos geotérmicos de baja entalpía pueden utilizarse para la producción de agua caliente sanitaria en viviendas, equipamientos, oficina, industria, comercio y a la climatización de edificios, industrias y parques agrarios, entre otras aplicaciones (Noguera, 2011).

Hasta mediados del 2014, la Base Naval de Infantería de Marina, más precisamente “Escuadrón Baterías”, contaba como única fuente de abastecimiento de agua para usos múltiples, con un pozo surgente, denominado “Surgente 2”, de 1.274 m de profundidad, con un caudal de surgencia de 60 m³/h y temperatura de 68 °C. En la actualidad, la Base se abastece de agua de 3 perforaciones someras realizadas en la zona de dunas costeras destinadas para consumo. Además del pozo Surgente 2, ya mencionado, Baterías contaba con otro surgente profundo, denominado “Surgente 1”, de similares características fisicoquímicas y de temperatura, aunque con un caudal menor, de 30 m³/h y que se encontraba sin utilizar derramando sus aguas al océano Atlántico.

El objetivo de este trabajo es poner en evidencia la importancia del acuífero de Bahía Blanca en función de sus condiciones de surgencia y energéticas, que permite hacer un cálculo económico donde se analiza la inversión de cada obra en función de su costo – beneficio.

La Tabla 1 presenta las características del pozo mencionado:

Tabla 1. Características del pozo "Surgente 2"

Profundidad	1274 m
Caudal de surgencia	60 m ³ /h
Presión de surgencia	11 mca
Temperatura de surgencia	68 °C

El presente trabajo describe las tareas de campo realizadas y los balances de eficientización energética debido a la readecuación de funciones y puesta en servicio de los pozos surgentes.

OBJETIVOS

A partir de los aspectos generales mencionados en el punto anterior y del estado de situación del servicio actual de agua, se planteo el siguiente objetivo:

- Desarrollar los procesos de investigación en el campo de la energía no convencional, como ejemplo de eficientización energética mediante el aprovechamiento de la energía geotérmica de los pozos surgentes en el diseño e implementación del sistema de calefacción y abastecimiento del natatorio cubierto de estudios y prácticas de la Base de Infantería.

METODOLOGIA DE TRABAJO

A partir del planteo de los objetivos básicos, se propuso dividir el estudio en las siguientes etapas:

Recopilación y análisis de antecedentes

Se efectuó inicialmente una recopilación de antecedentes primarios, que sumados a una inspección del campo, permitió establecer las condiciones actuales del surgente 2 y obras complementarias como torres de enfriamiento, cisternas y estaciones de bombeo, lo que determinó como realizar un proyecto de readecuación e implementación de los mismos.

La información básica e imprescindible que se recopiló fue la siguiente:

- Información sobre las características topográficas de la zona, principalmente sobre la base de cartografía e imágenes satelitales.
- Cartografía y planos básicos de la infraestructura existente.
- Caracterización de la fuente, información general e histórica sobre la calidad, temperatura, caudal y presión.
- Ubicación y características del sistema actual de abastecimiento, almacenamiento y distribución. (Tanques, cisternas, sistemas de bombeo, etc.).
- Ubicación y características de las interferencias tanto naturales como artificiales, ubicadas en la traza del proyecto.

Investigación y desarrollo en energías no convencionales

El proyecto se enfocó en la aplicación de metodologías para investigación y desarrollo en el campo de la energía no convencional, como ejemplo de eficientización energética mediante el aprovechamiento de la energía geotérmica de los pozos surgentes. Para ello, se realizó el diseño y puesta en marcha del sistema de calefacción y abastecimiento del natatorio cubierto de estudios y prácticas de la Base de Infantería.

En primer lugar se realizó el análisis de la oferta de agua del surgente mediante la medición en campo de los parámetros hidráulicos característicos, tales como caudal y presión, como así también se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la determinación de la calidad del agua y capacidad calorífica a través de la medición de temperatura.

A partir de esto se pudo constatar un caudal de surgencia de 60 m³/h y una presión de 11 mca (metros de columna de agua); en tanto que las determinaciones analíticas permitieron concluir la no potabilidad por exceso de fluoruros. La medición de temperatura se mantuvo estable en 68 °C.

En la situación actual el agua proveniente del Surgente 2 se utiliza para diversos usos complementarios de la Base Naval, entre los que se menciona en particular el abastecimiento de agua para la pileta de natación ubicada a unos 470 m. aproximadamente del mismo, objeto de este

estudio. Dicho abastecimiento se realiza durante 4 horas diarias, con el fin de mantener la temperatura del agua, y se deriva de la línea que alimenta el resto de las instalaciones de la Base.

Es importante destacar que previamente al bombeo el agua proveniente del surgente atraviesa un sistema de enfriamiento al aire libre, el cual permite reducir la temperatura del agua a 52 °C en promedio anual. En lo que respecta al sistema de calefacción del natatorio, se destaca que con anterioridad al proyecto el mismo se realizaba mediante energía convencional (equipos a gas natural), aunque en la actualidad los sistemas de calefacción se encuentran totalmente en desuso.

En virtud de las condiciones de surgencia analizadas, se decidió proponer un proyecto de investigación para la eficientización energética a partir del recurso geotermal de baja entalpia (68 °C), con el objetivo de abastecer el natatorio en forma continua y por otro lado utilizar la temperatura de surgencia directa para calefaccionar el recinto.

A fin de lograr los objetivos propuestos, se proyectó el circuito de alimentación mediante una bifurcación aguas arriba del sistema de enfriamiento, llegando al edificio del natatorio con la temperatura de surgencia (68 °C).

Constructivamente, el circuito se realizo de manera que el agua circule por el perímetro interno del natatorio y luego alimentar el mismo en forma continua manteniendo la temperatura del agua constante durante todo el día, lo cual deberá ser ensayado y verificado para garantizar la eficientización energética prevista.

Descripción de la instalación

La instalación está compuesta por un recinto cubierto de 3.000 m², mientras que la pileta tiene una superficie de 1.000 m², aproximadamente. La Figura 1 muestra las instalaciones.



Figura 1. Sitio de emplazamiento de la pileta

Descripción de las obras desarrolladas

Como se mencionó precedentemente las condiciones de surgencia que presentó el pozo denominado “Surgente 2” determinaron la posibilidad de alimentación del natatorio cubierto en forma directa sin la necesidad de utilizar la estación de bombeo. En virtud de esto se realizó el

lineamiento de la traza más conveniente, por lo cual se diagramó que la misma atravesase la pista de combate urbano por el terreno en línea recta e ingrese al natatorio por la parte posterior del mismo.

En primer lugar se realizaron las tareas de limpieza de terreno y colocación de la bifurcación desde el surgente hacia la pileta. El primer tramo desde el surgente hacia la pileta de una longitud aproximada de 180 m, se realizó en cañería roscada de acero de 6". En dicho tramo, se realizó la excavación y posterior hormigonado del cruce de calle dentro la pista de combate urbano y readecuación del escalón de entrada al gimnasio de entrenamiento.

El resto del tramo hasta el natatorio se realizó con 100 m de cañería de acero roscada en 7" y 180 m de cañería de acero roscado de 5". La entrada al natatorio se realizó en cañería de acero roscado de 4" y se colocaron dentro del mismo 30 m de esta cañería en forma enterrada con una rejilla de material desplegado como cubierta de zanja.

Además de la cañería de 4" dentro del natatorio se colocaron 120 m de cañería de acero roscada de 7", distribuida a lo largo de los laterales de la pileta en forma superficial, con el objetivo principal de alimentar en forma continua la pileta y calefaccionar la misma mediante la irradiación de calor debido a la temperatura propia del agua circulante.

Para la alimentación propiamente dicha se colocaron 4 salidas independientes realizadas en cañería de PVC de 2" con una válvula esclusa cada una, para el manejo individual del sistema.

Como complemento de accesorios se colocó en la bifurcación del surgente 2 una válvula esclusa de 6" y a la entrada del natatorio una válvula esclusa de 4", en ambos casos las mismas permitirán darle al sistema un manejo adecuado de funcionamiento.

Además de las válvulas mencionadas a lo largo de toda la traza se distribuyeron 14 juntas de dilatación Gibault (3 interiores al natatorio y 11 exteriores), las cuales fueron readecuadas a las originales de manera de darle al sistema mayor potencial de dilatación ya que la diferencia de temperatura entre el ambiente y el fluido resulta importante.

Se presentan las Figuras 2 a 4 que muestran las diferentes instancias de montaje de las instalaciones descritas anteriormente.



Figura 2. Montaje en campo del sistema de cañerías



Figura 3. Tendido del sistema de cañerías



Figura 4. Instalación en el natatorio

RESULTADOS

Análisis técnico económico de la obra

El presente análisis técnico económico del proyecto, surge a partir de la realización de balances: por un lado los costos de obra, y por otro, el ahorro de energía generados por la implementación de la obra.

Los puntos a considerar dentro del análisis son los siguientes:

- Costo de la Obra
- Ahorro de energía por eliminación de bombeo durante 4 horas diarias debido aporte de agua caliente para el llenado del natatorio en forma directa.
- Ahorro de energía por aprovechamiento del recurso geotermal:

- Calefacción del natatorio mediante radiación de temperatura.
- Aporte de energía calórica debido a la temperatura constante del agua dentro de la pileta.

La obra fue realizada en un plazo de dos meses y tuvo un costo total de \$500.000 (quinientos mil pesos), considerando dentro del mismo proyecto, provisión de materiales y mano de obra.

El bombeo de agua caliente hacia el natatorio se realizaba mediante una bomba centrífuga horizontal modelo 5003CZM Czerwemy; caudal de 110 m³/h; altura manométrica de 40 m. Bombas acopladas a motores 30 CV de 2.800 rpm, con un consumo horario estimado de 21,70 KW/h (31.682 KW/año). El costo anual de consumo eléctrico del sistema asciende a un valor aproximado de \$ 12.650 año.

Dentro del balance de energía generada por el sistema instalado, lo cual se traduce en ahorro de energía que debiera ser aportado por un sistema externo al surgente, se deberán considerar los siguientes factores:

- Área y volumen del recinto, orientación del mismo
- Superficie de la pileta
- Temperatura del agua de la pileta
- Temperatura de ingreso al sistema
- Longitud, diámetro y material de la cañería instalada
- Coeficientes necesarios para los cálculos, tales como: calor de vaporización, coeficiente de orientación, coeficiente de renovación de aire, coeficiente de transmisión en cañería de acero, etc.

A partir de los factores intervinientes se plantean como hipótesis las siguientes consideraciones:

- Calculo del flujo calórico aportado al recinto únicamente por la masa líquida en la pileta, considerando una temperatura constante de 25 °C
- Calculo del caudal calórico aportado por radiación de la cañería instalada
- Perdida de calor en el recinto en función de la diferencia de temperatura con el medio exterior.

Se pretende brindar como resultado el incremento de temperatura (delta) entre el exterior y el recinto que genere una pérdida de calor dentro del mismo que iguale a los aportes de calor generados por la masa líquida y por la cañería instalada. Este cálculo determinaría cual es la mínima temperatura exterior para la cual el sistema queda equilibrado a la temperatura que uno se proponga alcanzar.

Se presenta el siguiente balance:

$$Q_{\text{cañería}} + Q_{\text{pileta}} (25\text{ °C}) - Q_{\text{pérdida estructura}} = 0$$

Donde:

$Q_{\text{cañería}}$ = Flujo de calor en la cañería (Kcal/h)

$Q_{\text{pileta}} (25\text{ °C})$ = Flujo de calor de evaporación del agua de la pileta (Kcal/h)

$Q_{\text{perdida estructura}}$ = Flujo de pérdida de calor por la estructura del recinto (Kcal/h)

El cálculo de cada uno de los términos que componen se determinó de la siguiente manera:

Q cañería

En el caso del cálculo del flujo de calor de la cañería se toma en consideración las características físicas de la misma, como longitud, perímetro y materia y por otro lado las condiciones asociadas a la difusión de calor a saber el coeficiente total de transmisión de la cañería (acero) y la diferencia de temperatura entre el flujo interno y la temperatura ambiente. Los valores se presentan en la Tabla 2.

Para este caso en particular se adoptaron los siguientes valores:

Material: Acero
Perímetro: Cañería de 4" y 7"
Longitud: 30 m de cañería de 4" y 120 m de cañería de 7"
Temperatura del agua en el interior de la cañería: 68 °C
Temperatura ambiente: 18 °C; 20 °C; 22 °C y 24 °C
Coeficiente total de transmisión de la cañería: 39

Q pileta

Para estimar el calor debido a la evaporación del agua de la pileta, se aplicó la fórmula de Bernier (Noguera, 2011):

$$Q_e = S \times (16 + 133 n) \times (W_e - G_a \times W_{as}) \times C_{vap}$$

Donde:

C_{vap} = calor de vaporización del agua
= 677,8 Wh/kg a 25 °C

S = superficie de pileta (m^2)
= 1.000 m^2

W_e = humedad absoluta del aire saturado a la T del agua (kg_{agua} / kg_{aire}) a 25 °C
= 0,0200 kg_{agua} / kg_{aire}

W_{as} = humedad absoluta del aire saturado a la T del aire interior (kg_{agua} / kg_{aire})
= 0,0225 kg_{agua} / kg_{aire}

G_a = grado de saturación
= 65%

Si bien la fórmula de Bernier considera para el cálculo el número de nadadores por m^2 de superficie de lámina de agua (n), en nuestro caso no consideraremos este parámetro, ubicándonos en una situación conservadora en cuanto a la cantidad de calor debido a la evaporación de la pileta.

De acuerdo a este cálculo, el calor debido a la evaporación de la pileta está en el orden de las 50.000 Kcal/h.

Q perdida por la estructura

Como se mencionó precedentemente este valor se obtuvo indirectamente y verificando dentro de las diferentes ecuaciones de cálculo que el delta de temperatura entre el exterior y el interior del natatorio, verifica la condición de equilibrio térmico. En el caso del cálculo del flujo de pérdida de calor por la estructura del recinto se toman en consideración las características geométricas del

mismo; esto es área, volumen, material y espesores de los muros externos, los cuales tiene asociado diferentes coeficientes y por otro lado las condiciones asociadas a la orientación geográfica de cada una de las áreas consideradas y por ultimo un porcentaje de renovación de aire que se produce debido a la apertura y cierre de las diferentes aberturas que componen el recinto (portones y ventanas).

Para este caso en particular se adoptaron los siguientes valores:

Área efectiva: 4.206 m²
 Volumen: 12.015 m³
 Espesor de los muros: 0,30 m
 Orientaciones del recinto: NE, SE y NO
 Temperatura ambiente: 18 °C; 20 °C; 22 °C y 24 °C.
 Coeficiente de renovación: 0,313

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos del balance de los distintos caudales calóricos y el delta de temperatura que equilibra el sistema, considerando temperaturas en el interior del recinto entre 18°C y 24°C, respectivamente.

Según se aprecia en la Tabla 2 los valores obtenidos considerando valores internos entre 18°C a 24°C, van desde 11,10 °C hasta 9,75 °C. Como consecuencia de los resultados y a modo de análisis de eficiencia calórica del sistema instalado, podemos decir que dicho sistema resulta eficiente con temperaturas exteriores iguales o superiores a los 9 °C.

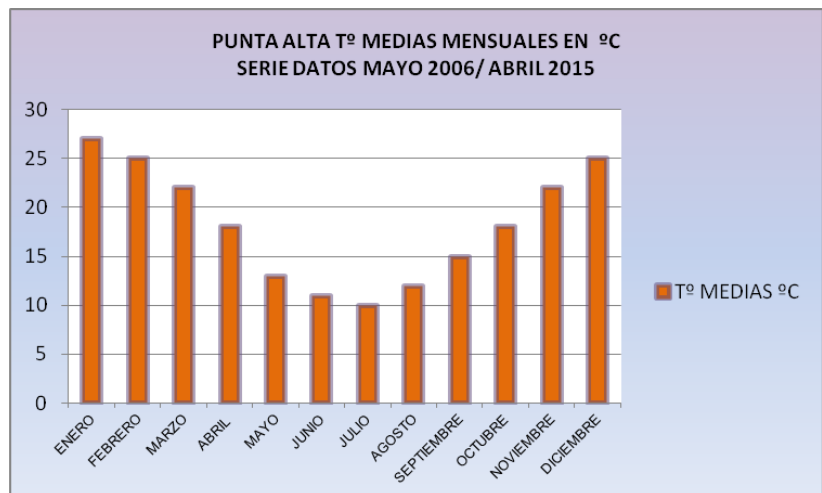
Tabla 2. Balance de flujo calórico

Temperatura del natatorio (°C)	Caudal por cañería (Kcal/h)	Caudal por pileta (Kcal/h a 25 °C)	Temperatura de equilibrio (°C)
18	149.378,9	50.000	11,10
20	143.403,8	50.000	10,70
22	137.428,6	50.000	10,40
24	131.453,4	50.000	9,75

Si consideramos un promedio estadístico medio mensual de los últimos 10 años, las temperaturas en la Base Naval entre las 7 am y 19 pm se puede decir que el sistema resulta eficiente para todos los meses del año.

En la Figura 5 se presentan los datos de temperatura registrados en los últimos 10 años

MESES	Tº MEDIAS ºC
ENERO	27
FEBRERO	25
MARZO	22
ABRIL	18
MAYO	13
JUNIO	11
JULIO	10
AGOSTO	12
SEPTIEMBRE	15
OCTUBRE	18
NOVIEMBRE	22
DICIEMBRE	25
AÑO	18



Fuente: es.windfinder.com

Figura 5. Temperaturas medias registradas en el período mayo 2006 a abril 2015

Siguiendo con el balance de energía y teniendo que asociar un costo al sistema debemos decir que en el caso de tener que calefaccionar el recinto con un equipo destinado a tal función el mismo debe tener una capacidad calórica igual a la del sistema instalado el cual se equilibra con 400.000 Kcal/h aproximadamente ya que debe realizar tanto el aporte calórico para calefaccionar como el aporte que se pierde por la estructura.

En virtud de los resultados obtenidos, el valor económico asociado al ahorro energético en la instalación del sistema mediante el aprovechamiento de energía de baja entalpía es del orden de los 110.376 \$/año.

Cabe mencionar que para el cálculo del balance final costo-beneficio de la obra en su totalidad, será necesario considerar el costo que implica la adquisición de los equipos de calefacción

Es importante destacar que el recinto originalmente contaba con dos equipos cada uno de 250.000 Kcal/h alimentados a gas natural que fueron removidos para la readecuación del natatorio. La Figura 6 muestra uno de los equipos en donde puede observarse su condición de deterioro total.



Figura 6. Detalle de los equipos de calefacción en desuso

Por otro lado también deberá considerarse dentro del balance económico del aprovechamiento la puesta en valor del propio surgente, es decir cuánto cuesta reproducir las condiciones que proporciona el mismo, este dato se obtuvo a partir de mediciones in situ aforando el caudal de desborde que se obtiene como consecuencia de mantener una temperatura constante en la pileta de 25 °C.

El caudal que ingresa a la pileta es del orden de los 30 m³/h a una temperatura de 68 °C. Podemos considerar que para obtener un recurso de características similares, se necesitaría contar con una bomba que produzca dicho caudal (sin considerar el valor de la perforación o de la obra de toma si fuese desde un curso de agua superficial) y un sistema a gas o eléctrico que elevara la temperatura desde un agua desde 20 °C hasta 68 °C.

Para este caso, considerando una bomba de 30 m³/h a 60 m se requeriría de 131.400 kW/año por energía de bombeo, equivalente a un costo de 52.560 \$/año. En relación al costo que implicaría elevar la temperatura del agua desde 20 °C en boca de pozo, hasta 68 °C (temperatura de surgencia), se requeriría de 570.276 \$/año, correspondiente a un consumo de gas de 17.108 m³/año (LENNTECH, Water Treatment Solutions). Para los cálculos se ha considerado como costo de la electricidad 0,4 \$/kWh y 0,3 \$/m³ gas.

CONCLUSIONES

- La Base Naval de Puerto Belgrano, utilizaba con anterioridad al desarrollo de este estudio agua proveniente del pozo “Surgente 2” exclusivamente para usos complementarios de la Base, sin aprovechar su potencial energético. De hecho, el agua era enfriada previamente a su utilización.
- A partir de los resultados de campo obtenidos, se determinó la factibilidad del aprovechamiento energético del recurso para alimentar y calefaccionar instalaciones de instrucción de la Base (natatorio).
- Se diagramó y realizó una obra mediante la instalación de 460 m de cañería de acero desde el surgente hasta el natatorio. Asimismo, dentro del mismo, se instalaron 150 m adicionales de cañería con el objetivo de calefaccionar y alimentar el recinto y la pileta.
- El balance energético indica que el aprovechamiento de energía de baja entalpía permite un ahorro de 110.376 \$/año en la instalación del sistema, de 52.560 \$/año en energía de bombeo y de 570.276 \$/año en elevar la temperatura del agua desde 20 °C en boca de pozo, hasta 68 °C (temperatura de surgencia).
- Teniendo en cuenta la sumatoria de los costos de ahorro de energía, se puede obtener una amortización de la obra en menos de 1 año (aún no considerando los costos de equipamiento y de perforación).

BIBLIOGRAFIA

- Coriale, O.A. et al. 2014.** “Eficiencia Energética: Evaluación en la explotación del acuífero artesiano de Bahía Blanca”. XIII Simpósio Iberoamericano de Redes de Água, Esgoto e Drenagem. Línguas Ibéricas como Instrumento de Conhecimento, Ciência e Tecnologia. 03 a 06 de Novembro de 2014. Fortaleza. Brasil
- Instituto Nacional del Agua, Dirección de Servicios Hidrológicos. 2009.** “Estudio de fuentes de agua subterránea para proveer de agua potable a la Base Naval de Infantería de marina “Baterías”.

Noguera Sebastián J. 2011. “Climatización de una piscina cubierta mediante la combinación de energía solar térmica, geotermia y caldera de apoyo de biomasa”. Tesis Màster Interuniversitari UB-UPC d’Enginyeria en Energia. Universitat de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.

TEXTO DE INTERNET

LENNTECH, Water Treatment Solutions. Calculadora del gasto energético y monetario necesario para calentar agua
<http://www.lennotech.es/calculadoras/energia/coste-energia-agua.htm>

Pronóstico de viento y tiempo
es.windfinder.com