

**XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**ENERGÍA GEOTÉRMICA:
APROVECHAMIENTO DE POZOS PROFUNDOS SURGENTES**

José M. Casado, M. Fernanda Lopolito y Oscar A. Coriale
Instituto Nacional del Agua (INA). Dirección de Servicios Hidrológicos (DSH).
Aut. Ezeiza Cañuelas, tramo J. Newbery km 1,620. Ezeiza. Buenos Aires, Argentina.
jcasado@ina.gob.ar; mflopolito@ina.gob.ar; ocoriale@ina.gob.ar

RESUMEN:

La energía geotérmica se obtiene por aprovechamiento de calor del interior de la tierra; pudiendo ser clasificada en baja, media o alta entalpía (Dickson y Fanelli, 2003).

La cuenca bahiense es una de las más importantes de Argentina por la presencia de aguas termales surgentes, con temperaturas entre 55 y 72 °C.

La Base Naval Infantería de Marina "Baterías" (BNIM), se ubica en el partido Coronel de Marina Leonardo Rosales, costa sudoeste de la Provincia de Buenos Aires.

Su principal fuente de agua proviene de perforaciones al acuífero artesiano denominado Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca (SHP).

En el marco de las actividades realizadas para readecuación y optimización del sistema de abastecimiento de agua potable y usos complementarios, se investigó el aprovechamiento de la energía geotérmica en el campo de la energía no convencional.

El estudio propone un balance costo-beneficio de las obras realizadas, y costos asociados al consumo para la calefacción de instalaciones de entrenamiento.

ABSTRACT:

Geothermal energy is obtained by the earth heat use and exploitation. It can be classified as low, medium or high enthalpy (Dickson and Fanelli, 2003).

The Bahia basin is one of the most important in Argentina due the presence of hot springs, with temperatures between 55 and 72 °C.

The Marine Infantry Naval Base named "Batteries" (BNIM –from Spanish, Base Naval de Infantería de Marina) is located in the "Coronel de Marina Leonardo Rosales" district, at southwestern coast of Buenos Aires Province.

The main water source of BNIM comes from the artesian aquifer named Deep Hydrothermal System of Bahía Blanca (SHP- from Spanish, Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca).

Within the framework of the activities carried out for adequacy and optimization of the drinking water supply system, the use of geothermal energy in the field of non-conventional energy was investigated.

The study proposes a cost-benefit balance of the works, and consumption costs for the heating of training facilities.

PALABRAS CLAVES: energía geotérmica; eficiencia energética; pozos surgentes

INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica de aporte energético constante es aquella que se puede obtener del aprovechamiento del calor interior de la Tierra, pudiendo ser clasificada en baja, media o alta entalpía (Dickson y Fanelli, 2003).

Los recursos geotérmicos de baja entalpía pueden utilizarse para producción de agua caliente en viviendas, oficina, industria, comercio y climatización de edificios, entre otras aplicaciones.

La cuenca bahiense de aproximadamente 10.000 km², es muy importante por la presencia de aguas termales surgentes, con temperatura en el rango de 55 a 72 °C, extensión aproximada de 2.000 km² y espesor de 300 a 400 m (Coriale, et al, 2014).

La Base Naval de Infantería de Marina (BNIM) cuenta con un pozo profundo surgente, denominado “Surgente 2”, de 1.274 m de profundidad, con un caudal de surgencia de 60 m³/h y temperatura de 68 °C, como fuente de abastecimiento de agua para usos múltiples (INA-DSH, 2009).

OBJETIVOS

- Desarrollar un proyecto para el aprovechamiento de la energía no convencional geotérmica de los pozos surgentes mediante la implementación de un sistema de calefacción y abastecimiento del natatorio cubierto de la BNIM.
- Poner en evidencia la importancia del acuífero Bahía Blanca en función de sus condiciones energéticas y de surgencia, a través de un cálculo económico donde se analiza la inversión de cada obra en función de su costo – beneficio.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se realizó la recopilación de antecedentes e inspección de las condiciones del pozo “Surgente 2” y obras complementarias, para definir una estrategia de readecuación de las instalaciones.

La información básica recopilada incluyó los siguientes ítems:

- 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 histórica sobre calidad, temperatura, caudal y presión.
- Ubicación y características del sistema de abastecimiento, almacenamiento y distribución (tanques, cisternas, sistemas de bombeo, etc.) y de las interferencias naturales y artificiales en la traza del proyecto.

Investigación y desarrollo en energías no convencionales

El proyecto se enfocó en la aplicación de metodologías de aprovechamiento eficiente 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 la Base de Infantería.

Se realizó el análisis de la oferta de agua del surgente midiendo parámetros hidráulicos característicos en campo (caudal, presión) y temperatura para estimar su capacidad calorífica.

Las determinaciones analíticas que se realizaron en laboratorio permitieron evaluar su calidad fisicoquímica y microbiológica, resultando no potable por exceso de fluoruros.

La Tabla 1 presenta las características del pozo “Surgente 2”:

Tabla 1.- Características del pozo "Surgente 2"

Profundidad	1.274 m
Caudal de surgencia	60 m ³ /h
Presión de surgencia	11 mca
Temperatura de surgencia	68 °C

Al momento de la realización del estudio, el agua proveniente del “Surgente 2” se utilizaba para diversos usos, entre los que se menciona en particular el abastecimiento del natatorio durante sólo 4 horas diarias, lo que no permitía mantener la temperatura para el uso previsto.

Descripción de las instalaciones y obras desarrolladas

La Figura 1 muestra la instalación, compuesta por un recinto cubierto de 3.000 m², con pileta de aproximadamente 1.000 m².



Figura 1.- Sitio de emplazamiento del natatorio

El proyecto consistió en abastecer el natatorio en forma continua y aprovechar la temperatura de surgencia (68 °C) para calefaccionar el recinto. Para ello se instaló una conducción en cañería de acero desde el surgente al natatorio (500 m.) y en el interior del mismo (150 m).

Las Figuras 2 a 5 presentan diferentes instancias de montaje de las instalaciones en campo y en el recinto del natatorio.



Figura 2.- Montaje en campo



Figura 3.- Tendido de cañerías en el terreno



Figura 4.- Instalación de juntas de dilatación en el natatorio



Figura 5.- Instalación del sistema de distribución de agua en el natatorio

Se destaca que el agua proveniente del surgente atraviesa un sistema de enfriamiento al aire libre que reduce la temperatura del agua a 52 °C en promedio anual. Respecto del antiguo sistema de calefacción del natatorio, se utilizaban equipos a gas natural, actualmente en desuso.

En el circuito propuesto, el agua circula en forma continua por el perímetro interno del natatorio manteniendo la temperatura del agua constante durante todo el día, lo cual fue ensayado y verificado para garantizar la eficiencia energética prevista.

Balance Energético

El balance de energía considera como principales factores los siguientes: área y volumen del recinto, orientación del mismo; superficie y temperatura del agua de la pileta y de ingreso al sistema; longitud, diámetro y material de la cañería instalada y coeficientes (calor de vaporización, coeficiente de orientación, coeficiente de renovación de aire, coeficiente de transmisión en cañería de acero, etc.).

El balance plantea las siguientes hipótesis:

- Cálculo del flujo calórico aportado al recinto únicamente por el agua en la pileta, con temperatura constante de 25 °C.
- Cálculo del caudal calórico aportado por radiación de la cañería instalada.
- Pérdida de calor en el recinto en función de la diferencia de temperatura con el medio exterior.

Se pretende obtener como resultado la diferencia de temperatura entre el exterior y el recinto que genere una pérdida de calor dentro del mismo igual a los aportes de calor generados por la masa líquida y por la cañería instalada. Este cálculo determina cual es la mínima temperatura exterior para la cual el sistema queda equilibrado a la temperatura interna que se proponga alcanzar.

Se presenta el siguiente balance:

$$Q_{\text{cañería}} + Q_{\text{pileta}} (25\text{ °C}) - Q_{\text{pérdida estructura}} = 0 \quad [1]$$

Donde:

$Q_{\text{cañería}}$ = Calor en la cañería (kcal/h)

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

$Q_{\text{pérdida estructura}}$ = Pérdida de calor por la estructura del recinto (kcal/h)

Q cañería

Se consideran las características físicas de la cañería, longitud, perímetro y material; condiciones asociadas a la difusión de calor, coeficiente total de transmisión de la cañería (acero) y diferencia de temperatura entre el flujo interno y la temperatura ambiente.

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 a diferentes condiciones: 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):

$$Q_e = S \times (16 + 133 n) \times (W_e - G_a \times W_{as}) \times C_{vap} \quad [2]$$

Donde:

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

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

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

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

G_a = grado de saturación = 65%

Es necesario mencionar que la fórmula de Bernier considera para el cálculo el número de nadadores por m^2 de superficie de lámina de agua (n), sin embargo en este caso no se considera este parámetro, siendo ésta una situación conservadora en cuanto a la cantidad de calor debido a la evaporación de la pileta.

Según este cálculo, el calor debido a la evaporación de la pileta es del orden de 50.000 kcal/h.

Q perdida por la estructura

Este valor se obtuvo indirectamente con las ecuaciones de cálculo que verifican la condición de equilibrio térmico, es decir, el delta de temperatura entre el exterior y el interior del natatorio.

El cálculo del flujo de pérdida de calor por la estructura del recinto tiene en cuenta las características geométricas del natatorio (área, volumen, material y espesores de los muros externos), coeficientes que dependen de la orientación geográfica de las áreas consideradas, y un porcentaje de renovación de aire debido a la apertura y cierre de aberturas del recinto.

Se adoptaron los siguientes valores:

- Área efectiva = 4.206 m^2
- Volumen: 12.015 m^3
- Espesor de los muros: 0,30 m
- Orientaciones del recinto: NE, SE y NO
- Temperatura ambiente a 18 °C; 20 °C; 22 °C y 24 °C
- Coeficiente de renovación: 0,313

La Tabla 2 presenta los resultados del balance de los 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.

Los valores obtenidos varían en el rango 11,10 - 9,75 °C, por lo que puede concluirse que el 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

Considerando un promedio estadístico medio mensual de los últimos 10 años de temperaturas en la Base Naval entre 7AM y 19PM, el sistema resulta eficiente para todos los meses del año.

La Figura 6 presenta los datos de temperatura registrados en los últimos 10 años (Pronóstico de viento y tiempo).

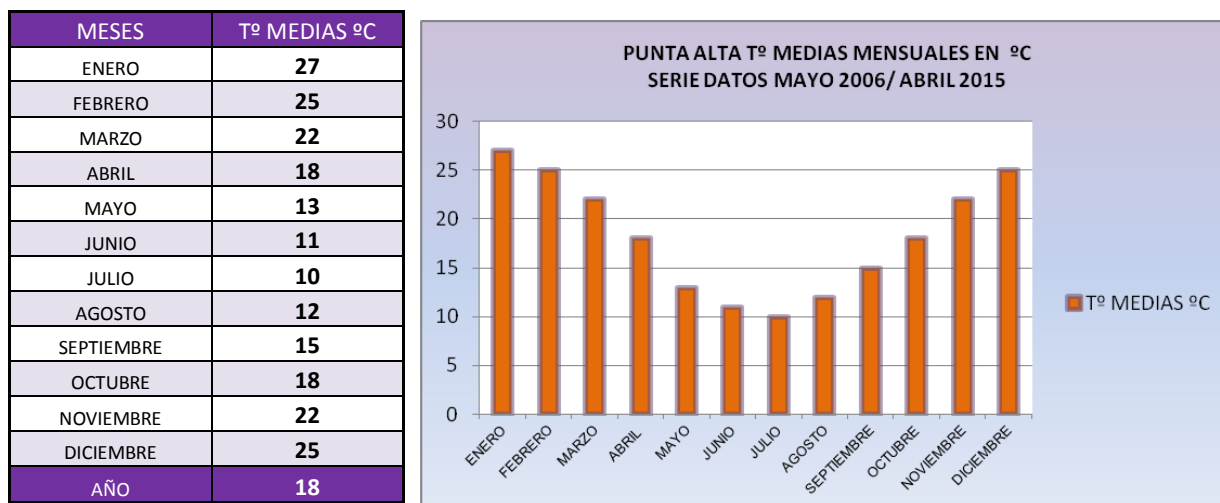


Figura 6.- Temperaturas medias registradas en el período mayo 2006 - abril 2015

Análisis técnico económico de la obra

El análisis técnico económico 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 en el análisis son los siguientes:

Costo de la obra

La obra se realizó en un plazo de dos meses, con costo total de \$500.000, incluyendo la provisión de materiales y mano de obra.

Ahorro de energía por bombeo

El bombeo se realizaba durante 4 horas diarias para el llenado del natatorio en forma directa con bomba centrífuga horizontal de 110 m³/h, siendo el consumo horario estimado de 17 kW/h (24.982 kW/año).

El costo anual de consumo eléctrico del sistema asume un valor aproximado de 34.473 \$/año.

Ahorro de energía por aprovechamiento del recurso geotermal

En caso de calefaccionar el recinto con un equipo, el mismo debería tener una capacidad calórica igual a la del sistema instalado, que se equilibra con 400.000 kcal/h.

Los resultados obtenidos indican que el valor económico del ahorro energético en la instalación es del orden de 451.400 \$/año.

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

Del mismo modo, deberá considerarse también la puesta en valor del pozo surgente, es decir, cuánto cuesta reproducir las condiciones que proporciona el mismo.

El caudal que ingresa a la pileta es del orden de 30 m³/h a 68 °C; para obtener un recurso de características similares, se necesitaría contar con una bomba que produzca dicho caudal y un sistema a gas o eléctrico que elevara la temperatura de 20°C a 68 °C. Para ello, considerando una bomba de 30 m³/h a 60 m se requeriría de 61.320 kW/año por energía de bombeo, equivalente a un costo de 91.880 \$/año.

El costo que implicaría elevar la temperatura del agua de 20°C en boca de pozo, a 68°C (temperatura de surgencia), requeriría de 1.591.845 \$/año, correspondiente a un consumo de gas de 1.326.537 m³/año (LENNTECH, Water Treatment Solutions), considerando costos de 1,5 \$/kWh y 1,2 \$/m³ gas.

CONCLUSIONES

- La Base Naval de Puerto Belgrano, utilizaba con anterioridad al estudio el pozo “Surgente 2” para usos complementarios, sin aprovechar su potencial energético.
- A partir de los resultados de campo, se determinó la factibilidad del aprovechamiento energético del recurso para alimentar y calefaccionar el natatorio de la Base.
- El balance energético indica que el aprovechamiento de energía de baja entalpía permite un ahorro de 451.400 \$/año en la calefacción del sistema, de 129.453 \$/año en energía de bombeo y de 1.591.845 \$/año en elevar la temperatura del agua de 20 °C a 68 °C.
- Teniendo en consideración la sumatoria de los costos de ahorro de energía, es posible amortizar la obra a corto plazo (aun no considerando los costos de equipamiento y de perforación).

REFERENCIAS

Coriale, O.A.; Casado J.M.; Valdes S.P. and Lopolito M.F. (2014). “Eficiencia Energética: Evaluación en la explotación del acuífero artesiano de Bahía Blanca”. *Proceedings of the XIII Simpósio Iberoamericano de Redes de Água, Esgoto e Drenagem. Línguas Ibéricas como Instrumento de Conhecimento, Ciência e Tecnologia*. Fortaleza, Brasil.

Dickson M. and Fanelli M. (2003) *Geothermal Energy: utilization and technology*. UNESCO Publishing, Renewable Energies Series. Bangalore, India.

Instituto Nacional del Agua, Dirección de Servicios Hidrológicos (INA-DSH). (2009) “Estudio de fuentes de agua subterránea para proveer de agua potable a la Base Naval de Infantería de Marina “Baterías”. Buenos Aires, Argentina.

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

Noguera S.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.

Pronóstico de viento y tiempo (<http://es.windfinder.com>)