

**Sistema de Climatización Geotérmico de Baja Entalpía**

ESPARZA-DELGADO, Carmen†\*, HERRERA-PERAZA, Eduardo Florencio, SOLORIO-RODRÍGUEZ, Luis Enrique

*Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV), Universidad Tecnológica de Chihuahua*

Recibido Mayo 13, 2017, Aceptado Noviembre 04, 2017

**Resumen**

De acuerdo al consejo mundial de energía, el 40% de los recursos energéticos mundiales se destinan a calefacción, refrigeración e iluminación de edificios. El presente artículo muestra el estudio para determinar la funcionalidad de un sistema de transferencia de calor geotérmico de baja entalpía que busca mantener de manera natural una temperatura estable y reducir la demanda eléctrica por enfriamiento o calefacción, económico y de bajo costo de mantenimiento. El sistema consiste en una serie de tubos enterrados por donde circula aire, éste se temporiza con la inercia térmica de la Tierra y se deposita en una habitación con ayuda de un extractor eléctrico. Se acompaña de un sistema electrónico que permite monitorear las variables: temperatura, humedad relativa y viento. El resultado muestra que la diferencia de temperatura en el exterior en promedio fue 28°C y en el interior del aula 14°C, el periodo de medición abarcó 153 días. En conclusión el sistema redujo la diferencia entre temperaturas máximas y mínimas, considerando que la temperatura de confort se extiende de 20°C a 25 °C.

**Intercambiador geotérmico, Entalpía, Geotermia****Abstract**

According to the World Energy Council, approximately 40% of the world's energy resources go to the heating, cooling and lighting of buildings. The present article shows the study to determine the functionality of a low enthalpy geothermal heat transfer system that seeks to naturally maintain a stable temperature and reduce the electric demand by cooling or heating, economic and low maintenance cost. The system consists of a series of buried pipes in which the air circulates; it is timed with the thermal inertia of the Earth and deposited in a room with the help of an electric extractor. It is accompanied by an electronic system that allows checking the variables: temperature, relative humidity and air speed. The result shows that the outside temperature difference was on average 26 ° C and within the classroom 8 ° C, the measurement period spanned 153 days. In conclusion the system reduced the difference between maximum and minimum temperatures, considering that the comfort temperature extends from 20° to 25°C.

**Ground heat exchanger, Enthalpy, Geothermal**

**Citación:** ESPARZA-DELGADO, Carmen, HERRERA-PERAZA, Eduardo Florencio, SOLORIO-RODRÍGUEZ, Luis Enrique. Sistema de Climatización Geotérmico de Baja Entalpía. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 2017, 3-10: 1-7.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: maria.esparza@cimav.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El cambio climático es la alteración relevante y perdurable de la distribución de los patrones climáticos, es el resultado del incremento de temperatura del planeta ocasionado por los gases de efecto invernadero, producto de la contaminación ambiental.

El principal gas de efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por su capacidad de absorber la energía calorífica, el incremento de éste gas en la atmósfera ha provocado el aumento de la temperatura del globo terráqueo conocido este efecto como calentamiento global.

El dióxido de carbono proviene tanto de la naturaleza como de la actividad antropogénica, las fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> atribuibles a la actividad humana provienen del uso de combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón, denominados fuentes primarias, otra fuente de emisión es la energía eléctrica que se obtiene mayormente a partir de estos combustibles y se clasifica como fuente secundaria.

Los sectores que preferentemente utilizan la electricidad como fuente de energía son transporte, industria, residencia y comercio. El recurso energético en el sector residencial se utiliza en la producción de agua caliente, iluminación, cocina, funcionamiento de electrodomésticos y en mayor medida para climatización (AIE/SENER, 2011).

Lo anterior muestra que se enfrenta un problema energético que requiere buscar fuentes de energía menos contaminantes que satisfagan la demanda y en este rubro se cuenta con las energías renovables, de modo que es necesario acelerar las acciones de respuesta en proyectos de energías alternativas (Mejias-Brizuela, 2016), dentro de las que se encuentra la energía geotérmica. Por lo que se pronostica que esta fuente de energía desempeñará un papel muy importante en el futuro (Santoyo, 2010).

La energía geotérmica se obtiene mediante el aprovechamiento del calor interno de la Tierra, no precisa quemar combustibles, por consiguiente no contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (LLOPIS TRILLO & ANGULO, 2008). Tiene aplicaciones térmicas y eléctricas, dentro de las primeras destaca la climatización geotérmica que consiste en un sistema que utiliza la inercia térmica para atemperar los excesos de calor o frío en el interior de las habitaciones.

No requiere excavaciones profundas, ni estar cerca de zonas volcánicas porque aprovecha la estabilidad térmica del subsuelo (ATECYR, 2010). La estructura consiste en circuito situado a cierta profundidad por el que se hace pasar un fluido, éste adquiere la temperatura del subsuelo antes de ser transferido a la habitación para lograr su acondicionamiento (ZIGURAT, 2013).

De acuerdo al Consejo Mundial de la Energía (WEC) aproximadamente un 40% de los recursos energéticos mundiales se destinan a calefacción, refrigeración e iluminación de edificios por tanto el uso racional y eficiente de la energía es una herramienta útil para disminuir las emisiones contaminantes.

Hoy en día, alrededor de 78 países reportan experiencia sobre la utilización de la geotermia (Gehring, 2012) y a través de los años se han desarrollado modelos para tal fin (Chen, Wang, Maloney, & Newman, 1983), (Flores & Lesino, 2000), y más recientemente (Ji, 2015) han presentado trabajos para predecir el comportamiento de los intercambiadores de calor, en este contexto se desarrolla el sistema de climatización geotérmico de baja entalpía, que permitirá mantener la temperatura estable en una habitación expuesta a las diferentes condiciones climatológicas naturales, el objetivo es, crear un modelo e implementar un sistema de climatización geotérmico de baja transferencia de calor que utiliza el aire del interior de la habitación para tratarlo e introducirlo de nuevo, estudiar las variables y condiciones para la viabilidad teórica de la implementación del sistema.

## Metodología

El presente estudio permite determinar la funcionalidad del sistema de transferencia de calor geotérmico de baja entalpía, el proyecto busca mantener de manera natural un ambiente estable que permita reducir la demanda eléctrica por enfriamiento o calefacción, que sea económico y bajo costo de mantenimiento.

El sistema de climatización geotérmico propuesto consiste en una serie de tubos de policloruro de vinilo (PVC) enterrados a una profundidad de 2.5m, con diámetro de 0.1m y longitud de 20m, dispuestos en forma de serpiente, por donde circula aire, el cual se atempera con la inercia térmica de la Tierra.

La entrada y la salida de aire del sistema se conectan a la habitación, es decir, el aire es tomado del interior de la habitación y se regresa a la misma después de ser temporizado con ayuda de un extractor eléctrico, la temperatura promedio del suelo a 2.5m se consideró a 21°C (Dickson, 2004).

Otros de los elementos a considerar son los materiales de construcción de la habitación donde aplica el sistema, se diseña para una habitación con muros de bloque de concreto común, las propiedades térmicas del bloque son: 760 kg/m<sup>3</sup> y conductividad térmica 0.24 W/mK (CAMACHO-IXTA, 2016). Se considera una superficie de ventanas de 5m<sup>2</sup>, con vidrio sencillo de 0.006m de espesor. Las medidas para el diseño de la habitación son 5m de ancho, 4.5m de largo y 3m de alto.

Dado que parte del sistema de climatización geotérmica se encuentra en el subsuelo, se tiene que conocer bajo qué circunstancias se va a trabajar, ya que cada tipo de suelo tiene diferentes características, Tabla 1, tanto para ser tratado como también para hacer uso de su extracción o manipulación. (Llopis Trillo, 2008)

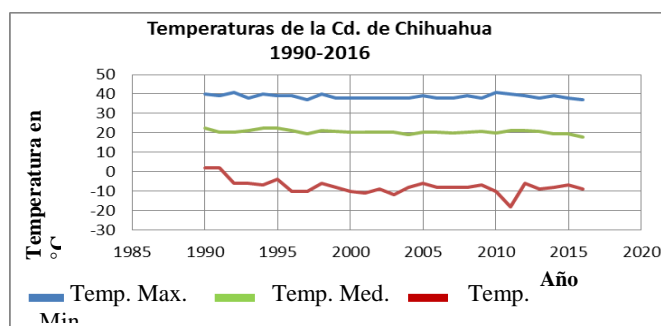
Tipo de suelo	Permeabilidad (m/s)	Conductividad térmica (W/mK)		Capacidad térmica volumétrica (MJ/m <sup>3</sup> K)	
		seco	saturado	seco	saturado
		Arcilla	10 <sup>-8</sup> -10 <sup>-10</sup>	0.2-0.3	1.1-1.6
Limo	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-8</sup>	0.2-0.3	1.5-2.5	0.6-1.0	2.1-2.4
Arena	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-4</sup>	0.3-0.4	1.7-3.2	1.0-1.3	2.2-2.4
Grava	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>-3</sup>	0.3-0.4	1.8-3.3	1.2-1.6	2.2-2.4

**Tabla 1** Permeabilidad, conductividad y capacidad térmica para cada tipo de suelo

Fuente: Llopis Trillo, 2008

Para el diseño se consideró suelo mixto seco, una combinación de arcilla, limo, arena y grava, con capacidad térmica volumétrica de 1.2 MJ/m<sup>3</sup>K.

Se efectuó un análisis del comportamiento de temperaturas de la ciudad de Chihuahua en un periodo de 27 años para determinar las temperaturas; máxima de 41°C, mínima de -18°C y promedio de 21 °C.



**Gráfico 1** Gráfico que muestra las temperaturas máxima, mínima y media de la Cd. de Chihuahua en el periodo 1990-2016

Fuente: Estación Aeropuerto GENERAL R FIERRO VILLALOBOS INTL (MMCUI)

## Diseño del sistema

Las simulaciones del modelo se realizan en software COMSOL, la información considerada para el desarrollo del sistema es: Presión atmosférica de 84500 N/m<sup>2</sup>, a 1500 MSNM, la densidad del aire se calcula. Como gas real obedece la ecuación de estado:

$$PV = nRT \quad (1)$$

La ecuación utilizada para transferencia de calor en sólidos es:

$$\rho C_p u \nabla T = \nabla(k \nabla T) + Q \quad (2)$$

La ecuación incluye las siguientes propiedades del material: densidad  $\rho$ , capacidad calorífica  $C_p$ , conductividad térmica  $k$ , el campo de velocidad  $u$  y una fuente de calor  $Q$ .

La conductividad térmica describe la relación entre el campo vectorial de flujo calor  $q$  y el gradiente de temperatura  $\nabla T$  como en la ley de Fourier de conducción de calor. Para el cálculo de la transferencia de calor en sólidos se utiliza la ecuación.

$$q = -k\nabla T \quad (3)$$

**Aislamiento térmico:** Esta condición límite significa que no hay flujo de calor a través del límite, específicamente donde el dominio está bien aislado, nos muestra que el gradiente de temperatura a través del límite es cero. Para que esto sea cierto, la temperatura en un lado del límite debe ser igual a la temperatura del otro lado. Debido a que no hay diferencia de temperatura a través del límite, el calor no puede transferirse a través de él.

$$-n(-k\nabla T) = 0 \quad (4)$$

**Flujo de calor convectivo:** Flujo de calor en el interior de la tubería de PVC se rige por la siguiente ecuación.

$$-n(-k\nabla T) = h(T_{ext} - T) \quad (5)$$

**Coefficiente de transferencia de calor del aire.** La ley de enfriamiento de Newton establece que la tasa de transferencia de calor que abandona una superficie a una temperatura  $T_s$  para pasar a un fluido del entorno a temperatura  $T_f$  se establece por la ecuación:

$$Q_{convección} = hA(T_s - T_f) \quad (6)$$

La siguiente tabla muestra algunos valores típicos para el coeficiente de transferencia de calor por convección:

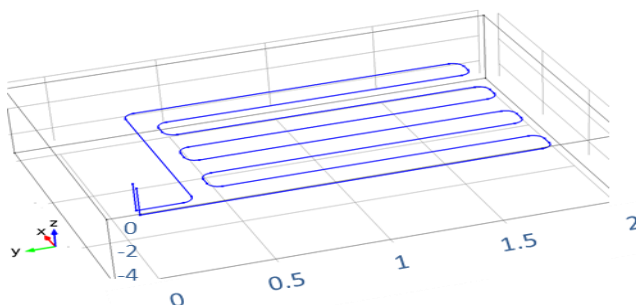
Medio	Coefficiente de transferencia de calor $h$ (W/m <sup>2</sup> K)
Aire (convección natural)	5-25
Aire/vapor supercalentado (convección forzada)	20-300
Petróleo (convección forzada)	60-1800
Agua (convección forzada)	300-6000
Agua (en ebullición)	3000-60,000
Vapor (en condensación)	6000-120,000

**Tabla 2** Coeficiente de transferencia de calor por convección  
Fuente: Librería de Solidworks

## Resultados

Se diseñó e implementó un sistema de climatización geotérmico de baja entalpía o baja transferencia de calor para un aula de la Universidad Tecnológica de Chihuahua.

Se creó un modelo en software COMSOL para simular el comportamiento del sistema de climatización geotérmico de baja entalpía dispuesto en forma de serpentín localizado bajo la superficie de la tierra por el que se hace pasar aire que toma de la habitación a climatizar y lo regresa atemperado, ver Ilustración 1



**Figura 1** Diseño del sistema de climatización geotérmico.  
Fuente: Elaboración propia

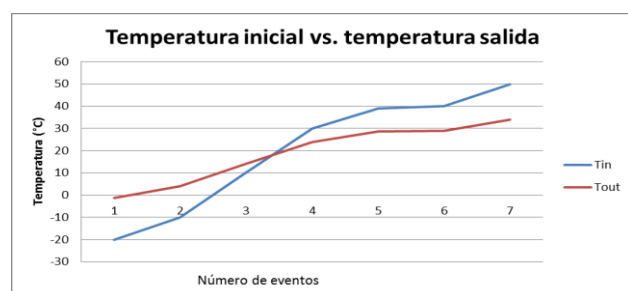
En la Tabla 3 se muestran las diferentes pruebas de funcionamiento del sistema donde se efectuaron variaciones a la temperatura de entrada. Se consideraron temperaturas de  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta  $50^{\circ}\text{C}$ , lo que nos da un rango de  $70^{\circ}\text{C}$ , el sistema en funcionamiento arrojó temperaturas de salida de  $-1.17^{\circ}\text{C}$  a  $34^{\circ}\text{C}$  lo que reduce el rango a  $35^{\circ}\text{C}$ .

Parámetros considerados para el desarrollo del sistema de climatización.			
Profundidad 2.5m, Diámetro 0.1m, Long 20m			
	Temp.	Temp.	
	Entrada	Salida	$ T_e - T_s $
	°C	°C	°C
1	-20	-1.17	18.83
2	-10	4	14
3	10	14	4
4	30	24	6
5	39	28.6	10.4
6	40	29	11
7	50	34	16

**Tabla 3** Parámetros de prueba para el desarrollo del sistema de climatización

*Fuente: Elaboración propia*

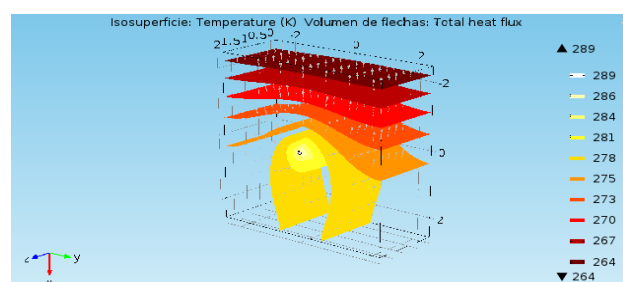
El gráfico 2 muestra el comportamiento del sistema ante los siete eventos de prueba, en donde las temperaturas extremas son atenuadas y se logra el objetivo de contribuir a mantener una temperatura estable en el interior de la habitación.



**Gráfico 2** Temperatura en la entrada del sistema y temperatura de salida

*Fuente: Elaboración propia*

La Figura 2 representa el evento 2 de la tabla 3, muestra los contornos isotérmicos del comportamiento del sistema, para un flujo de aire que entra a una temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  y sale a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ . Los vectores denotan el sentido de la transferencia de calor.



**Figura 2** Contornos Isotérmicos

*Fuente: Elaboración Propia*

Se levantó un registro de temperaturas máximas y mínimas mensuales durante el año de 2015 y se proporcionó la información al modelo, la información proporcionada por el sistema es como se muestra en las tablas 4 y 5.

La tabla 4 contiene las temperaturas máximas registradas de cada mes (TMAXI), la temperatura máxima a la salida del sistema (TMAXS) y la diferencia de temperatura (DT).

El mes 1 presentó una temperatura máxima de  $24^{\circ}\text{C}$ , es la temperatura con la que se alimenta el sistema como temperatura inicial, a la salida del sistema se reporta una temperatura de  $20.85^{\circ}\text{C}$ , la diferencia de temperatura es el efecto de temporización y en este caso fue  $3.15^{\circ}\text{C}$ . El sexto mes presentó la temperatura más alta del año  $38^{\circ}\text{C}$  y el efecto de temporización reflejó una atenuación de  $10.28^{\circ}\text{C}$ , obteniendo a la salida del sistema una temperatura de  $27.72^{\circ}\text{C}$ .

Mes	Tmaxi °c	Tmaxs °c	Dt °c
1	24	20.85	3.15
2	30	23.79	6.21
3	30	23.79	6.21
4	32	24.77	7.23
5	36	26.74	9.26
6	38	27.72	10.28
7	35	26.24	8.76
8	37	27.23	9.77
9	35	26.24	8.76
10	33	25.26	7.74
11	29	23.3	5.7
12	27	22.32	4.68
Prom	32.17	24.85	7.31

**Tabla 4** Temperatura máxima (TMAXI) y temperatura temporizada a la salida del sistema (TMAXS), Año 2015

*Fuente: Elaboración propia*

La tabla 5 contiene las temperaturas mínimas registradas de cada mes (TMINI), la temperatura mínima a la salida del sistema (TMINS) y la diferencia de temperatura (DT).

El mes 1 presentó una temperatura mínima de  $-7^{\circ}\text{C}$ , es la temperatura con la que se alimenta el sistema como temperatura inicial, a la salida del sistema se reporta una temperatura de  $5.76^{\circ}\text{C}$ , la diferencia de temperatura es el efecto de temporización y en este caso fue  $12.76^{\circ}\text{C}$ .

El sexto mes presentó una temperatura de 15°C y el efecto de temporización reflejó una atenuación de 1.46°C, obteniendo a la salida del sistema una temperatura de 16.46°C.

Mes	Tmini °c	Tmins °c	Dt °c
1	-7	5.76	12.76
2	-1	8.68	9.68
3	-2	8.18	10.18
4	4	11.1	7.1
5	6	12.08	6.08
6	15	16.46	1.46
7	14	15.97	1.97
8	14	15.97	1.97
9	12	15	3
10	6	12.08	6.08
11	-2	8.18	10.18
12	-6	6.23	12.23
Prom.	4.42	11.31	6.89

**Tabla 5** Temperaturas mínimas (TMINI) durante los 12 meses del año 2015 y temperatura temporizada (TMINS)  
Fuente: *Elaboración Propia*

La tabla 6 muestra la diferencia de temperatura promedio en el exterior fue 28°C y en la salida del sistema 14°C, el periodo de medición abarcó 153 días. La mayor atenuación registrada por el sistema fue en las temperaturas mínimas en el mes 1 y para las temperaturas máximas la mayor atenuación se presentó en el mes 6.

Intervalos de temperatura máxima y mínima		
Mes	Rango de Temperatura externa °C	Rango de Temperatura acondicionada
1	31	15.09
2	31	15.11
3	32	15.61
4	28	13.67
5	30	14.66
6	23	11.26
7	21	10.27
8	23	11.26
9	23	11.24
10	27	13.18
11	31	15.12
12	33	16.09
Diferencia promedio	28	14

**Tabla 6** Intervalos de temperatura máxima y mínima externa y temperatura acondicionada por el sistema.  
Fuente: *Elaboración Propia*

## Conclusiones

El clima extremo de la localidad reporta temperaturas que van desde -18°C hasta 41°C, el modelo se probó con el comportamiento mensual de las diferentes temperaturas registradas durante 2015, la temperatura mínima fue de -7°C en invierno y la máxima en verano fue 38°C dando así una variación de temperatura de 45°C.

El rango de temperatura exterior promedio es de 28°C, el rango atemperado promedio es 14°C lo que significa que el sistema reduce un 48% esa diferencia de temperatura. Variaciones en la longitud del sistema de tubos no genera variaciones de temperatura mayores a 1°C. Por cambio de diámetro la variación de temperatura es hasta 4°C.

El sistema de tubos con longitud de 20m presenta una mejor respuesta ante las variaciones del diámetro en el 50% de los casos. La mejor comportamiento del sistema se presentó bajo las siguientes características:  $d = 14''$  o 0.35m,  $L = 30m$ . La característica del sistema con un comportamiento menos favorable es:  $d = 4''$  o 0.10m,  $L = 40m$ . En todos los escenarios se obtuvo mejora. El modelo no es un sistema de enfriamiento o calentamiento, es un complemento a los sistemas tradicionales de climatización. El beneficio que reporta es no tener que enfriar o calentar una habitación desde una temperatura extrema.

## Referencias

AIE/SENER. (2011). *Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos*. Agencia Internacional de Energía / Secretaria de Energía. British Embassy, México City: Gobierno Federal.

ATECYR. (2010). *Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica*. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. Madrid: IDAE.

CAMACHO-IXTA, I. B.-M.-B. (2016). . Propuesta de. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 22-26.

Cengel, Y. (2004). *Termodinámica*. MC GRAW HILL.

ESPARZA-DELGADO, Carmen, HERRERA-PERAZA, Eduardo Florencio, SOLORIO-RODRÍGUEZ, Luis Enrique. Sistema de Climatización Geotérmico de Baja Entalpía. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 2017.

Flores, S., & Lesino, G. (2000). Intercambiadores tierra-aire: uso del suelo para reenfriamiento pasivo. Buenos Aires, Salta, Argentina.

GARCÍA-MEJÍA, J. Z.-S.-S.-G. (2016). Aprendizaje de variables ambientales de las condiciones de un micro invernadero en la producción de vegetales. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 1-12.

Gehring, M. L. (2012). *Geothermal handbook: planning and financing power generation. Technical Report 002/12*,. The World Bank Group, Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP),.

Iannelli, L., & Gil, S. (March de 2012,). Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 6(1), 99-105.

IGME, I. p. (2008). *Manual de Geotermia*. Madrid: IDAE.

Ji, B. (Mayo de 2015). Disipación de calor en un sistema geotérmico de baja entalpía. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.

León, J. L. (2007). *MANUAL DE GEOTERMIA Ciencias de la Tierra e Ingeniería de Reservorios*. México.

LLOPIS TRILLO, G., & ANGULO, V. R. (2008). *Guía de la Energía Geotérmica*. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

Mejias-Brizuela. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2-6.

Santoyo, E. (2010). *Estrategias de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios en el tema de la energía geotérmica*. México: UNAM.

Sitiosolar. (2013). *Sitiosolar.com*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2016, de <http://www.sitiosolar.com/contacta-con-sitiosolar/>

WEC. (2013). *WORLD ENERGY COUNCIL*. Recuperado el 10 de 10 de 2016, de [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/04/WEC\\_16\\_page\\_document\\_21.3.14\\_ES\\_FINAL.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/04/WEC_16_page_document_21.3.14_ES_FINAL.pdf)

ZIGURAT. (2013). Recuperado el 09 de octubre de 2016, de Global Institute of Technology: <http://www.e-zigurat.com/noticias/soluciones-bioclimaticas-pozos-provenzales-canadienses/>