

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN VIVIENDA UNIFAMILIAR

FEASIBILITY ANALYSIS OF A GEOTHERMAL ENERGY SYSTEM IN A SINGLE FAMILY HOME

Roberto Antoni Ayala Mamani¹, Adriano Peña Rolando Wilder²

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, E.A.P. Ingeniería Mecánica de Fluidos, Av. Carlos Germán Amezaga 375 – Cercado, Lima, Perú, roberto.ayala@unmsm.edu.pe

RESUMEN

La disminución de las reservas de combustibles fósiles, así como la contaminación y el efecto invernadero (causante del cambio climático) que estas producen, han promovido el aumento del uso de energías renovables. En este ámbito, el Perú empezó a aprovechar estas energías, pero de este grupo, la que menos mención, investigación y proyectos tiene es la energía geotérmica, aun cuando se tiene una gran fuente de esta energía, sobre todo en la zona sur de nuestro país. Este proyecto nace ante el poco aprovechamiento que se da a esta energía y como una propuesta se presenta el estudio de la posibilidad de utilizar una bomba de calor geotérmica, así como el cálculo de cargas térmicas y dimensionamiento de ésta, para la producción de ACS, calefacción y refrigeración por suelo radiante/refrescante instalada en una vivienda unifamiliar que se encuentra en el distrito de Calacoa, provincia de Sánchez Cerro, departamento de Moquegua. La instalación de geotermia se dimensiona a partir de las cargas térmicas calculadas (5.07 KW en verano y 4.66 KW en invierno). Estas son halladas a partir de las características de la vivienda, condiciones exteriores e interiores, actividad realizada en el local, habitantes, etc. El presente trabajo incluye un estudio económico que compara los costos que implica la instalación geotérmica con los de otros sistemas convencionales. Además, se analiza el tiempo requerido para amortizar dicha instalación. Por otro lado, se realiza un estudio ambiental fundamentado en la comparación de las emisiones de CO₂ que produce cada sistema, los cuales nos da como resultado una mayor emisión en los casos de Gas natural y BC aerotérmica de 5.54 tCO₂/kWh y 3.8329 tCO₂/kWh respectivamente, comparado con la BC geotérmica el cual nos da 2.0207 tCO₂/kWh.

Palabras clave: Geotermia, energía, bomba de calor, carga térmica, estudio económico-ambiental.

ABSTRACT

The decrease of fossil fuel reserves as well as the pollution and the greenhouse effect (causing climate change) that they produce, have promoted the increased use of renewable energies. In this area, Peru began to take advantage of these energies, but of this group, the one that has less mention, research and projects is geothermal energy, even though it has a great source of this energy, especially in the southern part of our country. This project was born in view of the little use that is given to this energy and as a proposal we present the study of the possibility of using a geothermal heat pump, as well as the calculation of thermal loads and sizing of it, for the production of DHW, heating and cooling by underfloor heating/cooling installed in a single-family house located in the district of Calacoa, province of Sanchez Cerro, department of Moquegua. The geothermal installation is sized based on the calculated thermal loads (5.07 KW in summer and 4.66 KW in winter). These are found based on the characteristics of the house, exterior and interior conditions, activity carried out in the premises, inhabitants, etc. The present work includes an economic study that compares the costs involved in the geothermal installation with those of other conventional systems, resulting in a value of s/130 749.2 in the case of geothermal BC and s/86 722.5 and s/104 625 in the cases of natural gas and aerothermal BC, respectively. In addition, the time required to amortize the installation is analyzed. On the other hand, an environmental study is carried out based on the comparison of CO₂ emissions produced by each system, which results in higher emissions in the cases of natural gas and aerothermal BC of 5.54 tCO₂/kWh and 3.8329 tCO₂/kWh respectively, compared to geothermal BC, which gives us 2.0207 tCO₂/kWh.

Keywords: Geothermal, energy, heat pump, thermal load, economic-environmental study.

*Autor para correspondencia: roberto.ayala@unmsm.edu.pe



INTRODUCCIÓN

La población rural del Perú de las zonas altoandinas representa al sector más vulnerable del país. Uno de los problemas latentes es el descenso de la temperatura por debajo de 0°C (en muchas localidades se registran temperaturas de -20°C). Esta variabilidad climática, conocida en la sierra como helada meteorológica, producen en gran medida la incidencia de enfermedades broncopulmonares (neumonías o infecciones respiratorias agudas) (Gutiérrez 2018). Precisamente, esta situación climática representa una de las principales causas de muertes infantiles (0 a 5 años) y de adultos mayores, así como la pérdida de la producción pecuaria y agrícola (Mori, D (2017). Proyecto de viabilidad de climatización y electrificación en viviendas de comunidades rurales en zonas altoandinas (Puno-Perú). [Tesis de maestría]. Universidad de Barcelona) (Corbeau 2007).

La necesidad del proyecto parte de difundir la aplicación de tecnologías maduras en la generación de energía renovables y sostenibles con el medio ambiente, así como la aplicación de técnicas de arquitectura bioclimáticas en la construcción de viviendas confortables y eficiente energéticamente (Escobar *et al.* 2016).

La energía geotérmica es la que produce el calor interno de la Tierra, esta energía puede concentrarse en el subsuelo, en lugares conocidos como reservorios geotermales, que si son bien manejados pueden producir energía limpia de forma renovable. Cuando no existe

un reservorio geotermal, se puede intercambiar calor con el subsuelo para aprovechar la temperatura estable de este (Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA)) (Espada 2012).

Para la utilización de energía geotérmica se emplean bombas de calor geotérmicas (BCG). Una bomba de calor es un sistema conformado por un compresor, un condensador, un evaporador y una válvula de expansión por el que circula un fluido de trabajo o refrigerante, el que es usualmente un hidrocarburo con bajo punto de ebullición, con objetivo de ocupar la energía de los cambios de fase en el proceso de entregar o remover calor del espacio a climatizar (Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables (CIFES)) (Gamio 2016).

La climatización residencial corresponde al proceso que tiene como objetivo dar condiciones de comodidad higrotérmica para el ambiente de la vivienda. La comodidad higrotérmica se define como el estado de satisfacción pleno que tiene una persona con el ambiente, en relación a términos como la temperatura y humedad del ambiente residencial. El término climatización engloba a dos términos, donde cada uno de estos realizan tareas opuestas, como los son la calefacción y refrigeración. En temporadas frías, la climatización actúa calefaccionando y en temporadas calurosas, la climatización actúa refrigerando el ambiente (Gutiérrez 2018).

El trabajo realizado tiene como objetivo el análisis técnico-económico de climatización, el

dimensionado de una instalación geotérmica, así como la posible utilización de esta, para la producción de ACS, calefacción y refrigeración por suelo radiante/refrescante instalada en una vivienda unifamiliar en el distrito de Calacoa, provincia de Sánchez Cerro, departamento de Moquegua (Mori 2017).

PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

El proyecto consiste en analizar la viabilidad de un sistema geotérmico en una vivienda unifamiliar, aprovechando la energía geotérmica, una energía renovable y abundante en la localidad. Con la instalación del sistema geotérmico se producirá ACS (Agua caliente sanitaria), calefacción y refrigeración por suelo radiante/refrescante. La instalación de este sistema se muestra como solución al problema latente descenso de temperatura, mejorando la calidad de vida y confort de los pobladores, así como promover la investigación y formulación de proyectos sobre la energía geotérmica, la cual se tiene grandes fuentes, pero es poco aprovechada.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de viabilidad técnico-económico de climatización, el dimensionado de una instalación geotérmica, basado en bombas de calor geotérmicas, así como la posible utilización de esta, para la producción de ACS, calefacción y refrigeración por suelo radiante/refrescante instalada en una vivienda unifamiliar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer técnicas viables para la modificación y/o construcción de la vivienda en climas fríos, mejorando su temperatura y confort en sus interiores.

Definir el tamaño de la vivienda a evaluar, así como sus características en cuanto a eficiencia energética.

Evaluar los elementos requeridos en el sistema de distribución de calor en la vivienda.

Detallar los parámetros fundamentales de una bomba de calor geotérmica y seleccionar una acorde a las cargas térmicas de la casa.

Dimensionar y estimar los elementos necesarios en el sistema de captación.

Realizar un estudio económico de la instalación geotérmica enfrentándola con otros sistemas convencionales.

Analizar el tiempo requerido para amortizar dicha instalación geotérmica en contraste con los sistemas convencionales.

Examinar y comparar las emisiones de CO₂ que producen tanto la instalación de geotermia como los sistemas convencionales.

MATERIALES Y PRESUPUESTO

Nuestro sistema geotérmico está compuesto por 3 partes:

Sistema de captación

BCG

Sistema de Distribución

SISTEMA DE CAPTACIÓN

Costos de los tubos, el agua glicolada y los accesorios del sistema de captación

363 m Tubo de Polietileno 1.5" sondas

60 m Tubo de Polietileno 1.5" colector

147 L Agua con glicol 30,5 %

Válvula y sondas T

BOMBA DE CALOR GEOTERMICA(BCG)

bomba de calor geotérmica ECOFOREST
ECOGEO C3 de 3 - 12 kW monofásica



Figura 1. BCG ECOFOREST ECOGEO C3 (3 - 12 kW).

SISTEMA DE DISTRIBUCION

Tubos y materiales aislantes del sistema de distribución



Figura 2. Tubo de polietileno.

PERFORACIÓN



Figura 3. Agua con glicol 30,5 %.

1181 m Tubo de Polietileno 16 mm

48 m Tubo distribución de agua

18 paneles SD 25/25

3 zócalos

Accesorios y dispositivos de regulación y control del sistema de distribución 363 m de perforación con circulación directa 140 mm y relleno de sondeos.



Figura 4. Perforación.

7 Clips tubo 16 mm

4 Aditivos mortero

8 Soportes para curvas

1 Caja control interior

1 Placa electrónica de expansión

1 Sensor temperatura del suelo

1 Sonda rocío

Colectores y accesorios del

sistema dedistribución.

1 Colector 10 vías

3 Colectores 8 vías

1 Colector 6 vías

20 Conexiones al colector

1 Válvula de presión diferencial

1 Caja metálica 600 de 3 a 6 vías

2 Cajas metálica 800 de 7 a 12 vías

Tabla 1. Presupuesto total.

	Elementos	Precio (S/.)	Precio (S/.)
Sistema de captación	Tubos, agua caliente y accesorios	6565,94	79165,94
	Perforaciones	72600	
BCG	ECOGEO C3	35859,09	35859,09
	Tubos y materiales aislantes	27298,47	
Sistema de Distribución	Accesorios y regulación y control	2709,33	32739,07
	Colectores y sus accesorios	2731,27	
TOTAL			147764.1

MÉTODOS

Potencial geotérmico estimado para

Las zonas geotermales de la región Moquegua.

Tabla 2. Zona geotérmica

Provincia	Zona geotérmica	Potencia de recurso (Mwe)	Capacidad de planta (Mwe)
Mariscal Nieto	Puente Bello	39,7	35
Mariscal Nieto	Jesús María	17,3	10
Mariscal Nieto	Calacoa	108,2	100
Gral. Sánchez Cerro	Ullucan	27,4	25
Gral. Sánchez Cerro	Ubinas	-	-
Mariscal Nieto	Crucero	79,4	70

Evaluar los elementos requeridos en el sistema de distribución de calor en la vivienda

Detallar los parámetros fundamentales de una

bomba de calor geotérmica y para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos trazados se estableció una metodología de investigación que detalla los pasos seguidos desde la elaboración de la Línea base

(Caracterización climatológica de la zona) hasta el reporte de resultados finales.

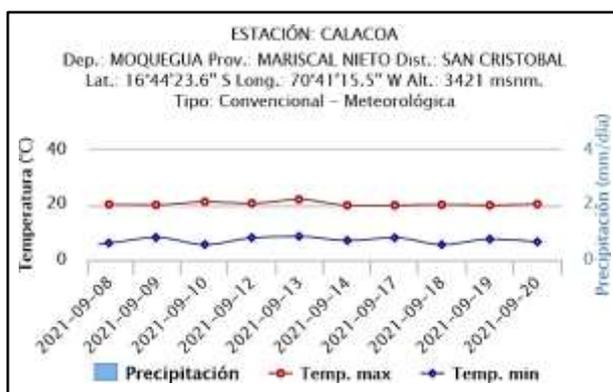
Características climatológicas de la zona de estudio

UBICACIÓN DE LA ZONA GEOTERMAL DE CALACOA

Está ubicada en la zona geotermal de Calacoa. Esta zona está localizada a unos 10 km aproximadamente al oeste del volcán Ticsani

(5408 m s. n. m.), a una altitud entre los 2950 y 4200 m.s.n.m., en el distrito de Calacoa, provincia Sánchez Cerro en el departamento de Moquegua. (ANEXO 1) (ANEXO 2). Seleccionar una acorde a las cargas térmicas de la casa, así como dimensionamiento y estimación de los elementos necesarios en el sistema de captación.

CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS



$$Q_{trans} = U_m \cdot A \cdot (T_{int} - T_{ext})$$

Figura 5. Cargas térmicas.

Donde:

Q: es el calor intercambiado en W.

U: es el coeficiente global de transmisión en W/m² K.

A: es el área expuesta a esa transmisión

en m².

T_{int}: es la temperatura del interior del local en K.

T_{ext}: es la temperatura que existe en el exterior en K.

Ventilación

$$Q_{vent_{sen}} = V_a \cdot \rho_a \cdot C_{pa} \cdot (T_{int} - T_{ext})$$

Donde:

Q vent_{sen}: carga de ventilación o infiltración sensible en W.

V_a: caudal de aire en m³/s.

ρ_a: densidad del aire en kg/m³.

C_{pa}: calor específico del aire en J/kg K.

T_{int}: temperatura en el interior en K.

T_{ext}: temperatura en el exterior en K.

Tabla 2. Cargas térmicas de cada localde la vivienda.

		VERANO (W)	INVIERNO (W)
PLANTA 1	BODEGA	870	632
	CUARTO DE JUEGOS	1043	884
	W.C. 1	133	263
	DISTRIBUIDOR 1	70	46
	COCINA	545	611
PLANTA 2	SALON	1506	1110
	HALL	177	48
	W.C. 2	251	501
	DISTRIBUIDOR 2	47	24
	DORMITORIO	436	544
		5078	4663

Para seleccionar la bomba de calor se requieren las cargas térmicas de calefacción y refrigeración previamente mostradas de cada local de la vivienda. En este caso 5078 W en verano y 4663 W en invierno, esto sería **5.078 KW** en verano y **4.663 KW** en invierno.

Realizar un estudio económico

Respecto a las instalaciones geotérmicas comparándolas con otros sistemas convencionales, analizar el

tiempo requerido para amortizar dicha instalación geotérmica en contraste con sistemas convencionales.

Los sistemas con los que se va a comparar la geotermia son:

- Gas Natural.
- Bomba de calor aerotérmica.

Combustible	Precio (S./kWh)
Gas Natural	0.3
Electricidad	0.75

Figura 6. Combustible y precios.

GAS NATURAL

El aporte anual de energía, en kWh, por parte de la caldera de Gas Natural se calcula:

$$AAE = ERES_{total} - AAE_{enfriadora} + \text{energía solar}$$

Donde:

AAE: Aporte Anual de Energía

El consumo anual de energía, en kWh, por parte de la caldera de Gas Natural se halla a partir de: calor geotérmico ECOFOREST ECOGEO C3 de **3 - 12 kW** monofásica.

$$CAE_{\text{gas natural}} - AAE_{\text{gas natural}} =$$

$\eta_{caldera}$



CAE: Consumo Anual de Energía

AAE: Aporte Anual de Energía

Figura 7. BCG ECOFOREST ECOGEO C3 (3 - 12 kW)

Datos:

- ERES = 27687,184 KWh
- $\eta_{caldera}$ = 92 %

- A. anual de enfriadora = 6750 KWh
- EER de enfriadora = 2,5

Tabla 3. Aporte, consumo y costo anual de la energía por la instalación total de gas natural.

	Aporte Anual Energía (KWh)	Consumo anual de energía (KWh)	Coste anual Energía (S/)
Gas natural	19471,58	21164,76	6349,428
Enfriadora	6750	2700	2025
Energía Solar	1465,6	-	-
TOTAL	27687,184	23864,76	8617,428

Tabla 4. Costo instalación global de gas natural

Costos	Precio (S/)
Instalación Gas natural	34642,5
Instalación Enfriadora	37200
Instalación Solar térmica	14880
TOTAL	86722,5

BC AEROTÉRMICA

En esta situación, el aporte anual de energía, el rendimiento hace referencia al COP en modo

de calefacción y al EER en modo de refrigeración. Se establece un COP y un EER de 2,5.

Tabla 5. Aporte, consumo y costo anual de la energía por instalación total con bcaerotérmica

	APORTE ANUAL ENERGÍA (KWH)	CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA (KWH)	COSTO ANUAL ENERGÍA (S/)
AEROTERMIA	26221,58	10488,63	7866,4725
ENERGIA SOLAR	1465,6	-	-
TOTAL	27687,184	10488,63	7866,4725

Tabla 6. Costo instalación con bc aerotérmica.

COSTOS	PRECIO (\$/)
INSTALACIÓN ENFRIADORA	88350
INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	16275
TOTAL	104625

BC GEOTÉRMICA

El aporte anual de energía, en

kWh, suministrado por la bomba de calor geotérmica coincide con el EREStotal:

APORTE, CONSUMO Y COSTO ANUAL DELA ENERGÍA POR INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

en kWh, proporcionado por la bomba decalor aerotérmica se calcula a partir de:

$$AAE = ERES_{total} - AAE_{enfriadora} + energía solar$$

Donde:

AAE: Aporte Anual de Energía

El consumo anual de energía, en kWh, por parte de la caldera de Gas Natural se halla a partir de:

$$CAE = \frac{ERES_{calefacción}}{+} \frac{ERES_{refrigeración}}$$

Tabla 7. Costo instalación con bc aerotérmica.

	Aporte Anual Energía (KWh)	Consumo anual de energía (KWh)	Costo anual Energía (\$/)
Geotermia	27687,18	5529,83	4147,37

BC Geotérmica vs. Gas Natural

La inversión que implica la bomba de calor geotérmica frente a una caldera de gas natural se presenta con la siguiente expresión:

$$\text{inversión} = 86722,5 - 130749,2 = -44026,7$$

Para poder realizar la comparación entre ambos sistemas, escogimos una tasa anual de 6% en un periodo de 10 años para así poder calcular VAN y saber si nuestro sistema recupera lo invertido y si nos conviene instalarlo.

Primero debemos saber cómo varía nuestro flujo de caja cada año, para este primer caso al empezar se tiene una inversión de s/-44 026.7 pero al pasar el primer año este se convierte en s/4227.05 y así hasta el décimo año que termina con s/11 329,14.

Luego se calcula el VAN, el cual para el primer año nos arroja un valor negativo de s/- 40 038.91 y así calculamos hasta el año 10, el cual termina con un saldo positivo de s/7532.95 y nos da un TIR de 8,9 %.

Tabla 8. Geotérmica vs. Gas Natural.

tasa 6%											
	Año0	Año1	Año2	Año3	Año4	Año5	Año6	Año7	Año8	Año9	Año10
Flujo de caja	-42631,7	4227,05	4772,58	5367,98	6017,42	6725,41	7496,84	8336,98	9251,55	10246,71	11329,13
VAN											
	Año1	Año2	Año3	Año4	Año5	Año6	Año7	Año8	Año9	Año10	
VAN	-38.643,91	-34.396,32	-29.889,26	-25.122,90	-20.097,28	-14.812,30	-9.267,73	-3.463,19	2.601,82	8.927,95	
TIR 8,9%											

BC Geotérmica vs. BC Aerotérmica

La diferencia entre los costes iniciales de ambos sistemas está dada por:

$$\text{inversión} = 104\ 625 - 130\ 749,2 = -26\ 124,2$$

Para este segundo caso entre estos dos sistemas se toma los mismos datos, una tasa anual de

6% en un periodo de 10 años y poder calcular nuevamente el VAN y saber si nuestro sistema escogidoes el idóneo.

En este caso nuestro flujo de caja empieza con una inversión negativa de s/-26 124,2 el cual para el primer año transcurrido ya se tiene s/3719,1 y así hasta llegar al año 10 el cual nos

da un valor de s/4852,58. Ahora al momento de calcular el VAN nos resulta que para el primer año tenemos un valor negativo de s/-22 615,62 pero que al finalizar los 10 años obtenemos un

valor de s/4814,26 lo que nos quiere decir que se pudo recuperar más de lo invertido en un inicio con un TIR de 9,6 %

Tabla 9. BC Geotérmica vs. BC Aerotérmica.

tasa 6%

	Año0	Año1	Año2	Año3	Año4	Año5	Año6	Año7	Año8	Año9	Año10
flujo de caja	-26124,2	3719,1	3830,67	3945,59	4063,96	4185,87	4311,45	4440,79	4574,02	4711,24	4852,58

	Año1	Año2	Año3	Año4	Año5	Año6	Año7	Año8	Año9	Año10
VAN	-22.615,62	-19.206,33	-15.893,53	-12.674,50	-9.546,56	-6.507,16	-3.553,77	-683,97	2.104,61	4.814,26

Estudio ambiental

Se analiza las emisiones de CO2 en función del sistema de climatización que se utilice.

Tabla 10. Estudio ambiental.

Combustible	Emisiones CO2 (tCO2/tep)	Emisiones CO2 (tCO2/kWh)
Gas natural	2,7	0,000232158
Electricidad	4,25	0,000365434

Ahora se presentan las emisiones anuales para cada uno de los sistemas. Estas se obtienen a partir del producto del consumo de anual de energía y las emisiones de CO2 por kWh.

Para ambas bombas de calor únicamente se tendrá presente las emisiones producidas por la energía eléctrica consumida y para el gas natural de la emisión de la combustión del combustible.

Tabla 11. Emisiones anuales para cada uno de los sistemas

	Consumo anual de energía (kWh)	Emisión anual de CO2 (tCO2/kWh)
Gas natural	23864,76	5,5404
BC Aerotérmica	10400,00	3,832904342
BC Geotérmica	5529,83	2,020789123

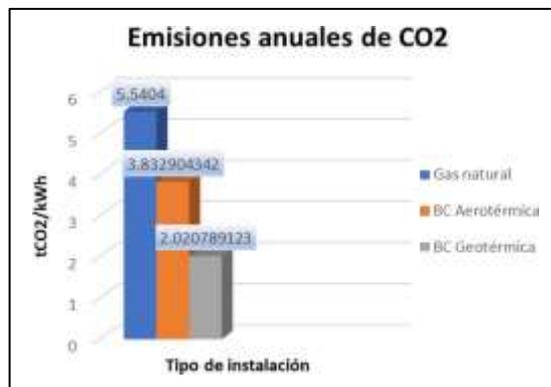


Figura 8. Emisiones anuales de CO2.

Como se aprecia en el gráfico las emisiones de CO₂ que produce la instalación con bomba de calor geotérmica son muy inferiores a las ocasionadas por los demás sistemas de climatización.

Por lo tanto, se comprueba que la instalación de geotermia no sólo supone un ahorro económico a medio-largo plazo, sino que también es beneficioso para el medio ambiente debido a las tan bajas emisiones

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resumen de especificaciones básicas del

proyecto.

Se hizo una comparativa entre una instalación geotérmica con otros sistemas convencionales para saber si nuestro trabajo realizado resulta beneficioso comparado con estos.

Se puede observar en los cálculos realizados que el precio de instalación de la BC geotérmica es de s/1307492, el cual es mucho mayor comparado a los otros sistemas de instalación como la BC aerotérmica (s/104625) y el Gas natural (s/86722,5), con lo cual podríamos pensar que no conviene este tipo de instalación.

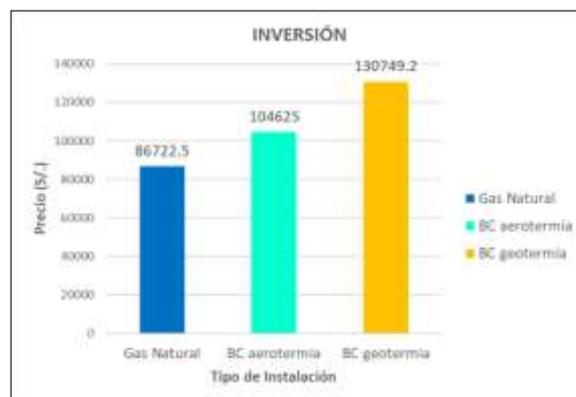


Figura 9. Instalación de la BC geotérmica.

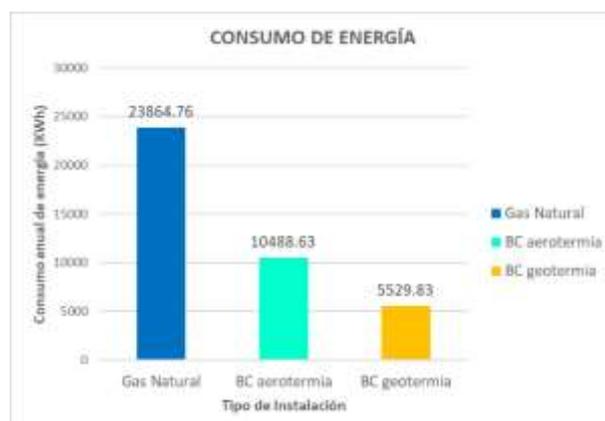


Figura 10. Consumo de energía.

Para el caso del consumo anual de energía entre los sistemas resulta todo lo contrario respecto al precio de instalación, en este caso el sistema que consume más energía es el Gas natural con 23864,76 kWh por año y es más del doble a comparación de la BC aerotérmica (10488,63 kWh) y el BC geotérmica (5529,83

kWh).

Ahora en el caso del costo anual de energía, tenemos al Gas natural y a la BC aerotérmica que son mucho mayor que la BC geotérmica (s/4147.3725) con s/8374,428 y s/7866,4725 respectivamente.

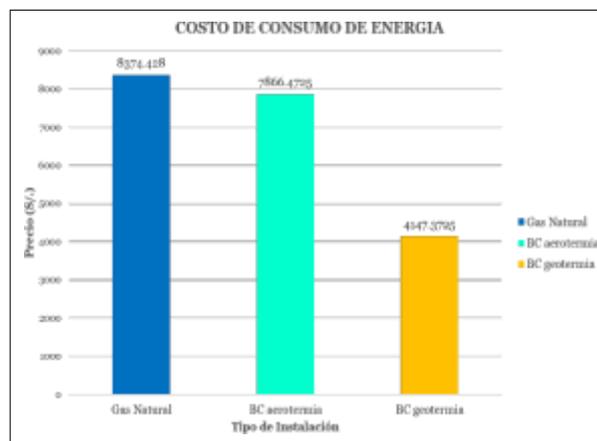


Figura 11. Costo de consumo de energía.

Una vez obtenido nuestros cálculos de los sistemas convencionales pasamos a la comparación mediante el TIR y el VAN para saber si nuestro sistema escogido resulta mejor que los otros, para eso hemos usado un periodo de 10 años y unatasa de descuento de 6 %.

La inversión inicial para el caso de la BC geotérmica vs Gas natural es s/-44026.7, lo que significa que en la BC geotérmica se invirtió más respecto al Gas natural, igualmente para el caso entre la BC geotérmica vs BC aerotérmica con unprecio de s/ -26124,2.

Se puede observar que los flujos de caja para ambos casos aumentan cada año esto es debido a que el precio del combustible y la electricidad

sufre un pequeño incremento de sus precios año tras año.

Para la comparativa de BC Geotérmica vs. Gas Natural se pudo observar que al finalizar el período de 10 años se obtiene un VAN superior a 0, el cual se obtiene un Período de Recuperación Actualizado de 8 años y 9 meses y medio, aparte tiene un valor de 8,9 % que es superior a la tasa de descuento el cual es 6 %, lo cual se puede decir que el proyecto es rentable.

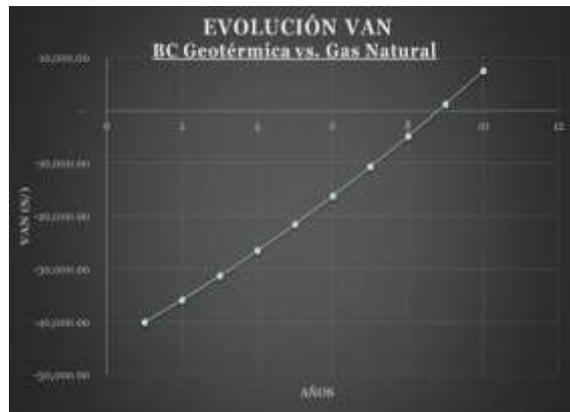


Figura 12. Evolución VAN.

Para la siguiente comparativa de BC Geotérmica vs. BC Aerotérmica, tomando el mismo período de 10 años se obtiene un VAN superior a 0 y un Período de Recuperación

Actualizado de 8 años y 3 meses, con un valor de 9,6 % el cual también es mayor al 6 % por lo que se puede decir que el proyecto también es rentable.

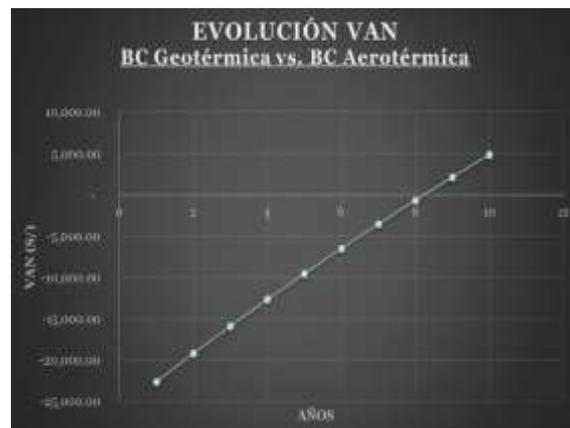


Figura 13. Evolución VAN.

CONCLUSIONES

El cálculo de la demanda energética de la vivienda unifamiliar, tanto para calefacción como para refrigeración, se ha obtenido como resultado una demanda total de calefacción de 4,663 W y una demanda total de refrigeración de 5,078 W. Se ha optado por un sistema de climatización basado en un suelo radiante/refrescante, el cual funciona eficientemente cuando se combina con la energía geotérmica. Se requiere un total de 1.181 metros de tuberías de polibutileno. Las temperaturas de impulsión en invierno y en verano son de 38,1 y 10,3 °C respectivamente, y el caudal que circula, tanto en invierno como en verano, es de 25,61 l/min. Para seleccionar la bomba de calor geotérmica se ha tenido en cuenta la demanda energética que se debe cubrir en la vivienda. El modelo de la bomba de calor seleccionada es ECOGEO C3 del fabricante Ecoforest. La potencia calorífica

nominal es de 15 kW y la potencia frigorífica nominal es de 16,3 kW. Dispone de un acumulador de ACS de 170 litros, lo que permite cubrir los 120 litros de ACS al día requeridos en la vivienda. Además, la inversión inicial de la instalación geotérmica es superior a los otros sistemas convencionales. Respecto a las instalaciones de gas natural, gasóleo y propano, supone un incremento en el gasto inicial del 30-35 %, mientras que comparado a la instalación aerotérmica implica un aumento de la inversión inicial del 20 %. Finalmente, el consumo energético anual de la geotermia respecto a las instalaciones de gas natural, gasóleo y propano, es un 75- 80 % inferior, mientras que comparado a la instalación aerotérmica implica un ahorro energético del 47 %.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor no tiene conflicto de interés de ninguna índole.

REFERENCIAS

- CARE Perú (2010). Confort Térmico en Viviendas Altoandinas - un enfoque integral.
- Centro de Energía Renovables (2018). Centro de Energía Renovables - Universidad Nacional de Ingeniería(CER-UNI) [En línea]. <http://cer.uni.edu.pe/>
- Corbeau, S, (2007). Utilización de la energía geotérmica para la vivienda, una aproximación al caso mexicano. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568145/DocsTec_5772.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Escobar, P. Gambio, A. Moreno (2016). Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible Propuestas para alcanzar el acceso universal a la

- energía en el Perú, Coop. Alem. al Desarro. - Agencia la GIZ en el Perú, vol. primera ed.
- Espada, V. (2012). Estudio de instalaciones de climatización geotérmica en viviendas. [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Gamio P. y Eisman J. (2016). Acceso Universal a la energía y tecnologías renovables, Lima, Perú Consorc. Investig. Económica y Soc.
- Grupo Centro (2018) Grupo Centro Tierra-PUCP. [En línea]. Caracterización y evaluación del potencial geotérmico de la región de Moquegua de 2014. INGEMMET. <http://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/ctierra/>
- Gutiérrez, A. & Quispe, O. (2018). Evaluación del potencial geotérmico de baja temperatura para aplicaciones de calefacción con bombas de calor. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7866>
- Mori, D (2017). Proyecto de viabilidad de climatización y electrificación en viviendas de comunidades rurales en zonas altoandinas (Puno-Perú). Universidad de Barcelona. http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/125005/1/TFM_MERSE_Diego_Mori_Acu%C3%B1a.pdf
- OSINERGMIN (2018). Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y minería <http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/regulacion-tarifaria/pliegostarifarios/electricidad/pliegos-tarifarios-cliente-final>
- Senamhi & FAO (2014). Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en Perú, Peru. Minist. delAmbient., vol. 1a Edición.
- Vargas, A. (2018). Análisis técnico- económico de un sistema de calefacción geotérmico-solar para una vivienda en Chile. [Tesis de titulación]. Universidad de Chile