Proyecto P13 del CeMIE-Geo: Estudio y diseño térmico para la instalación de dos sistemas demostrativos de Bomba de Calor Geotérmico para acondicionamiento de espacios en México

Vicente Torres Luna[1], Fernando Rivas Cruz[1], Abel Hernández Ochoa[1], Remedios Fuentes Torres[1], Ismael González Reyes[1], Pablo García Manuel[1], Ignacio Martínez Estrella[1], Francisco Onofre Hilario[1], Alfonso García Gutiérrez[1], Guillermo Kuri Ramírez[1], Abelardo Mercado Herrera[2], Fernando Lara Chávez[2] y Carlos Ling López[2]

[1]Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, Cuernavaca, Mor., México. Correo: vicente.torres@iie.org.mx. [2]Universidad Politécnica de Baja California, Mexicali, B.C., México. Correo: amercadoh@upbc.edu.mx

RESUMEN

Presentamos el estudio y diseño térmico requerido para el diseño, instalación y monitoreo de la operación de dos sistemas demostrativos de Bombas de Calor Geotérmico (BCG) a instalarse en territorio mexicano. El primer sistema se ubicará en el centro del país y operará esencialmente en el modo de calefacción, mientras que el segundo se localizará en la región noroeste, aportando refrigeración principalmente. El estudio requerido para la caracterización termofísica de los sitios se realiza en el subsuelo a diferentes profundidades, además se dimensionan y caracterizan los edificios a acondicionar para poder calcular las cargas térmicas. Se muestran los diseños esquemáticos de los sistemas de BCG, los sistemas de instrumentación, monitoreo y adquisición de datos. Hasta donde tenemos conocimiento, estos sistemas representarán la primera aplicación pública de la tecnología de BCG en nuestro país, los cuales están en desarrollo y se completarán en los próximos meses.

Palabras Clave: Bombas de Calor, Energía Geotérmica, CemieGeo, Calefacción, Aire Acondicionado, Diseño.

1. Antecedentes y Objetivo

Nuestro trabajo muestra los resultados más importantes obtenidos durante la tercera etapa y parte de la cuarta etapa del Proyecto 13 del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CeMIE-Geo). El principal objetivo de nuestro proyecto consiste en evaluar y demostrar el potencial de aplicación y de ahorro de energía de las Bombas de Calor Geotérmico (BCG) como una tecnología limpia, sustentable, altamente eficiente y que contribuye a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero. Los proyectos demostrativos se utilizan para acondicionamiento de espacios habitacionales y comerciales en las regiones centro y norte de México.

Las actividades iniciales del proyecto contemplaron principalmente la realización de un estudio de análisis técnico-económico de las BCG, evaluándose de esta manera la factibilidad de la tecnología de las BCG para operar tanto en modo de refrigeración como en el de calefacción, comparados con tecnologías convencionales. También se inició un estudio de mercado potencial para esta tecnología en nuestro país, tomando en cuenta las condiciones climáticas, demográficas, socioeconómicas, de vivienda, industria, comercio y de educación. Finalmente se considera realizar actividades que confirmen el diseño y las especificaciones de la selección de los sistemas de BCG.

La metodología para determinar la conductividad térmica y difusividad térmica del terreno, se basa en el análisis de los valores de temperaturas en el subsuelo. Además permite caracterizar el subsuelo y usar esta información para la determinación del diseño del Intercambiador de Calor (IC). Con la medición de las temperaturas a lo largo del año para diferentes profundidades se puede realizar el

diseño técnico de los sistemas de las BCG. Para realizar estas mediciones se desarrolló un sistema de instrumentación, monitoreo y adquisición de datos que permite caracterizar el subsuelo de ambas zonas.

El objetivo del P13 es indicar el estudio necesario para realizar el diseño técnico de un sistema de BCG; el diseño se aplicará en clima cálido y frío. Los sistemas de BCG serán instrumentados y monitoreados, y contarán con un sistema de adquisición de datos. En este trabajo se presentan, además, los diseños esquemáticos para los sistemas de BCG en los sitios seleccionados.

2. Metodología

La metodología para la selección de una BCG requiere la información del espacio a acondicionar para poder seleccionar el tipo y características de la bomba de calor y el IC (fuente/sumidero de calor).

Los pasos para seleccionar una bomba de calor se enlistan a continuación:

- Determinar las cargas térmicas de diseño para calefacción y refrigeración del espacio.
- Seleccionar un sistema de bomba de calor de tamaño adecuado.
- Estimar la conductividad térmica y la temperatura en el subsuelo para el diseño del sistema del IC.
- Seleccionar el tipo y la ubicación del sistema de distribución de energía en el espacio a acondicionar.

3. Estudio Técnico y Diseño Térmico

3.1 Propiedades termofísicas del subsuelo

La metodología para determinar la conductividad y difusividad térmica del terreno, se basa en el análisis de los valores de temperaturas en el subsuelo. El conjunto de datos medidos que presenta el mejor comportamiento registrado por el termopar se selecciona para el cálculo de la conductividad térmica y, derivada de esta, la difusividad térmica.

Se realizaron mediciones de temperatura, conductividad térmica y difusividad térmica en trincheras exploratorias practicadas en los sitios donde se instalarán las BCG. La primera medición se realizó en el jardín de niños del poblado de Los Humeros, Puebla, mientras que la segunda medición se realizó en las instalaciones de la Universidad Politécnica de Baja California (UPBC), en Mexicali, Baja California.

En ambas zonas se hicieron mediciones a diferentes profundidades para corroborar la homogeneidad del sitio. La metodología se encuentra descrita en Torres Luna et al. (2016).

En la Figura 1 (todas las figuras al final del texto), se muestran las mediciones de temperatura realizadas en la trinchera exploratoria de Los Humeros, Puebla. Como es de esperar, se observa que la temperatura se incrementa conforme aumenta la profundidad de la medición. No se observaron variaciones de temperatura durante los 30 minutos de adquisición de datos en ninguna de las cuatro profundidades medidas.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de medición de las propiedades termofísicas en campo, realizada en el jardín de niños del poblado de Los Humeros, Puebla. Se puede apreciar que el comportamiento de la temperatura medida con el termopar de medición a una distancia de un calentador, tiene un comportamiento no lineal, mientras que la temperatura de observación permanece constante durante la prueba.

3.2 Instrumentación para medir las temperaturas en el subsuelo

La instrumentación puede consistir de estructuras desde muy simples a muy complejas para medir, controlar y monitorear todos los elementos de un sistema industrial con cierta profundidad y gran exactitud. Se trata además de automatizar los procesos de monitoreo y control y, a la vez, de garantizar la repetitividad de las medidas y resultados.

Para el caso del monitoreo de las temperaturas del subsuelo se realizó un pozo a 10 m de profundidad y 4” de diámetro. Se diseñó una sonda de inspección con sensores de temperatura capaz de soportar las fuerzas necesarias para introducirlo dentro del pozo. En la Figura 3 se muestra el diagrama esquemático de cómo se instrumentó dicha sonda de inspección. Los sensores de temperatura estarán en contacto directo con el subsuelo.

3.3 Sensor de Temperatura Tipo Termopar

La medición de la temperatura se realiza mediante la sonda de inspección a través de sensores tipo termopar, que se componen de dos piezas de alambre termopar unidas por una soldadura.

Para las mediciones de temperatura se requiere únicamente un sensor y su correspondiente cable de extensión para posteriormente conectarlo a cualquier equipo o instrumento de adquisición de datos. En este caso y con base en el diseño de la sonda de inspección, se requiere contar con las siguientes especificaciones/características:

- Se requiere que los sensores de temperatura tipo termopar tengan conexión de rosca posterior NPT.
- Cada sensor de temperatura debe contar con su cable de extensión con un forro aislante de protección.
- Los sensores de temperatura serán previamente armados y con diferentes longitudes, de acuerdo con la profundidad y la localización del pozo al cuarto de máquinas.
- El rango de mediciones de temperatura es de entre -10°C y 50°C.

En la Figura 4 se muestra el diseño del termopar de acero de 1.5” de diámetro que se introducirá en el pozo. El diámetro del termopar será de 3/8”, conexión NPT de 1/2” y el diámetro de la longitud total del sensor es de 2”, a partir de la punta del sensor hasta el extremo de la conexión NPT.

4. Sistema de Adquisición de Datos (SAD)

En los ambientes industriales o en aplicaciones de proceso existe la necesidad de analizar el comportamiento de un proceso a través de sus variables. Por esto los Sistemas de Adquisición de Datos (SAD), basados en computadoras personales (PC), han tomado gran importancia dentro del monitoreo y automatización de procesos.

El SAD es un equipo electrónico cuya función es el control y/o registro de una o varias variables en un proceso. Todo SAD comparte un objetivo común: adquirir, almacenar, analizar y presentar la información.

El SAD cuenta con cuatro partes principales, las cuales son (ver Figura 5):

- Etapa 1: La adquisición de datos. Es el proceso de medir un fenómeno eléctrico o físico, tal como voltaje, corriente, temperatura, presión, flujo, frecuencia, humedad, etc. En esta etapa se incorporan sensores que generan señales de salida de corriente o voltaje, típicamente en milivolts o miliamperios.

- Etapa 2: Acondicionamiento de señal. En esta etapa se utiliza uno o varios dispositivos electrónicos para convertir la señal analógica adquirida en la Etapa 1, a una señal del tipo digital (Convertidor Analógico-Digital, CAD) o simplemente, amplificar la señal en milivolts o miliamperios a un voltaje o corriente que pueda leer el dispositivo de la Etapa 3.

- Etapa 3: Hardware de adquisición de datos. Es un dispositivo que concentra todas las señales acondicionadas para su almacenamiento o tratamiento de datos mediante el uso de una computadora. En algunos casos se utilizan también registros de corrimiento, memorias para datos e interconexión de componentes periféricos (PCI por sus siglas en inglés), como por ejemplo el puerto serial o USB.

- Etapa 4: Software de la aplicación. En esta etapa se desarrolla la interfaz gráfica para la visualización en computadora de los datos adquiridos. Básicamente es un programa que integra la información de los datos de las variables adquiridas en el proceso industrial para su procesamiento en línea o fuera de línea.

En este caso, el propósito de desarrollar y poner en operación un SAD es permitir la medición de las temperaturas del subsuelo y de las diversas variables de proceso de las BCG. Para lograr este objetivo se selección el equipo SAD CR800 de la marca Campbell Scientific. La primera etapa del SAD es monitorear once variables de temperatura del pozo-prueba.

En resumen, la integración del sistema de monitoreo de las temperaturas de un pozo de 10 m de profundidad se puede ver en la Figura 6, donde se muestra el diagrama esquemático de la integración de los diversos equipos para formar el SAD de la BCG1.

5. Diseño esquemático de la BCG

Una vez que se han calculado las cargas térmicas máximas (calefacción/enfriamiento), se puede iniciar el proceso de selección del equipo. Las restricciones impuestas al proceso de selección del equipo dependen de la ubicación y el clima del sitio.

En sitios donde se requiere calefacción en la mayor parte del año, la capacidad total de calefacción debe ser lo suficientemente grande como para mantener una temperatura de confort dentro del espacio a acondicionar. En algunos casos se dimensiona una BCG para abastecer el 75% de su carga de calefacción donde el clima es extremadamente frío, y su carga de enfriamiento deber ser tan pequeña como la cuarta parte de su carga máxima de calefacción.

Los sistemas de bombas de calor que se emplean son:

- Sistema de BCG agua – aire.
- Sistema de BCG agua – agua.
- Sistema de BCG aire – aire.

Considerando que el sistema de BCG a instalar en el poblado de Los Humeros deberá trabajar la mayor parte del tiempo en modo de calefacción, se determinó el diseño óptimo de BCG a instalar. El sistema contara con:

- IC tipo *slinky* en zanja.
- Bomba de Calor tipo combo.
- Sistema de distribución de energía en ductos de aire y piso radiante.

6. Conclusiones y Actividades Futuras

Es importante realizar el estudio térmico y técnico para poder diseñar y elegir los diferentes elementos que integran el sistema de BCG. Conocer el comportamiento de las temperaturas del subsuelo a diferentes profundidades y la conductividad térmica, permite realizar el diseño óptimo del intercambiador de calor (IC). Contar con el cálculo de las cargas térmicas del espacio a acondicionar define el tamaño de la BCG que satisfaga está demanda.

Después de realizar una revisión bibliográfica a nivel nacional e internacional de las investigaciones más recientes en los casos donde se mencionan estudios experimentales y de adquisición de datos para el monitoreo de las temperaturas del subsuelo, se determinó que esta información es inexistente.

Como actividades futuras en el P13 están las siguientes:

- Instalación de los sistemas de adquisición de datos (SAD) en los dos sitios seleccionados.
- Realizar los estudios pertinentes con los datos obtenidos de los SAD instalados en las zonas seleccionadas.
- Instalación de los intercambiadores de calor, las BCG y el sistema de distribución de energía en los lugares a acondicionar.
- Análisis de eficiencia energética a los sistemas de BCG.

Bibliografía

Arif Hepbasli, Ozay Akdemir, & Ebru Hancioglu, 2003. Experimental study of a closed loop vertical ground source heat pump system. *Journal Energy Conversion and Management*, 44, pp. 527-548.

ATECYR, 2010. Guía técnica de diseño de sistemas de bombas de calor geotérmico. Reporte de la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), Madrid, España, 52 p.

Aydin, M., Sisman, A., Gultekin, A., and Dehghan, B., 2015. An experimental performance comparison

between different shallow ground heat exchangers. *Proceedings World Geothermal Congress,* April 2015, Melbourne, Australia.

Junfeng, L. and Meixiang, Z., 2015. The ground temperature monitoring method of borehole pipe heat exchangers. *Proceedings World Geothermal Congress,* April 2015, Melbourne, Australia.

Torres Luna, V. et al., 2016. Proyecto 13, Informe de la Etapa 2. Análisis de factibilidad, comparación de tecnologías, estudio de mercado y desarrollo de un proyecto demostrativo de Bombas de Calor Geotérmico para acondicionamiento de espacios habitacionales y comerciales en las regiones Centro y Norte de México. Informe interno del CeMIE Geo, Inédito.

Yasakawa, K., Tasashima, I., Uchida, Y., and Tenma, N., 2008. System performance of a geothermal heat pump for space cooling at Kamphaengphet, Thailand. *Proceedings of the 8th Asian Geothermal Symposium*, pp. 123-130.

FIGURAS

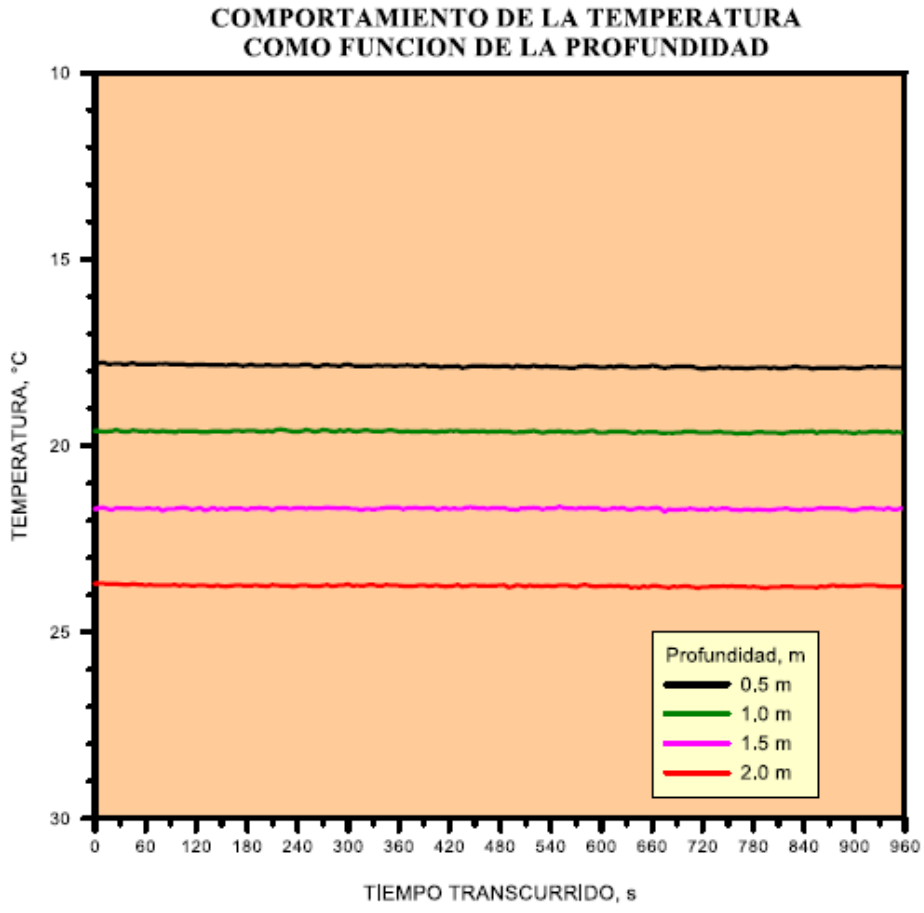

Figura 1. Medición de la temperatura del subsuelo como función de la profundidad en la trinchera exploratoria de Los Humeros, Pue.

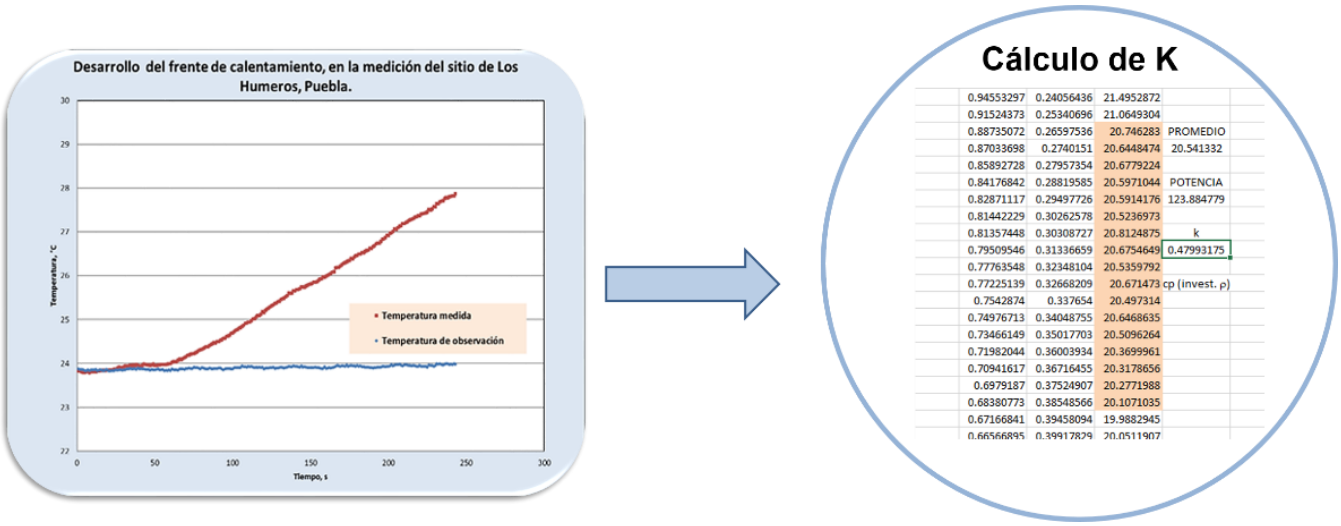

Figura 2. Medición la conductividad térmica y difusividad térmica del subsuelo en la trinchera exploratoria de Los Humeros.

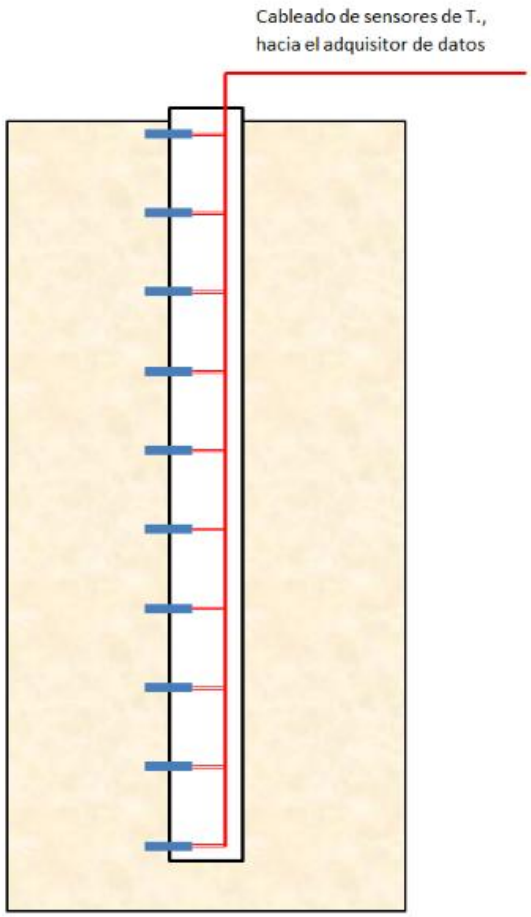

Figura 3. Diagrama esquemático de un pozo de 10 m de profundidad con la sonda de inspección.

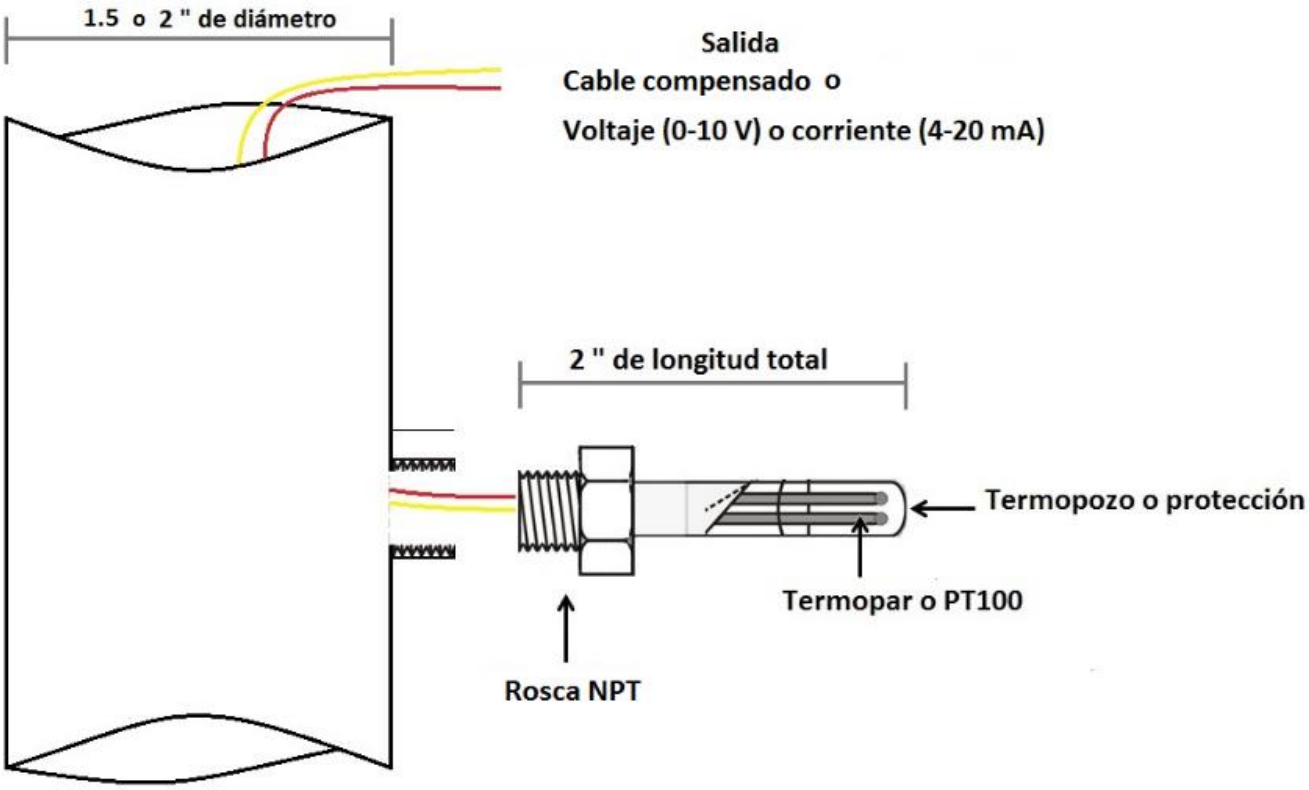

Figura 4. Esquema del sensor de temperatura tipo termopar conectado a la sonda de inspección.

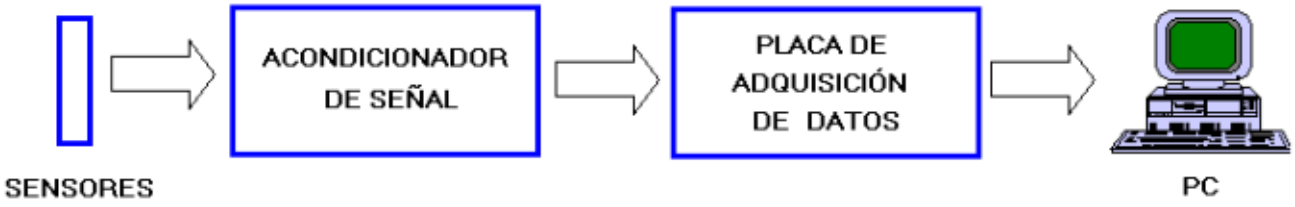

Figura 5. Diagrama esquemático de un Sistema de Adquisición de Datos (SAD).

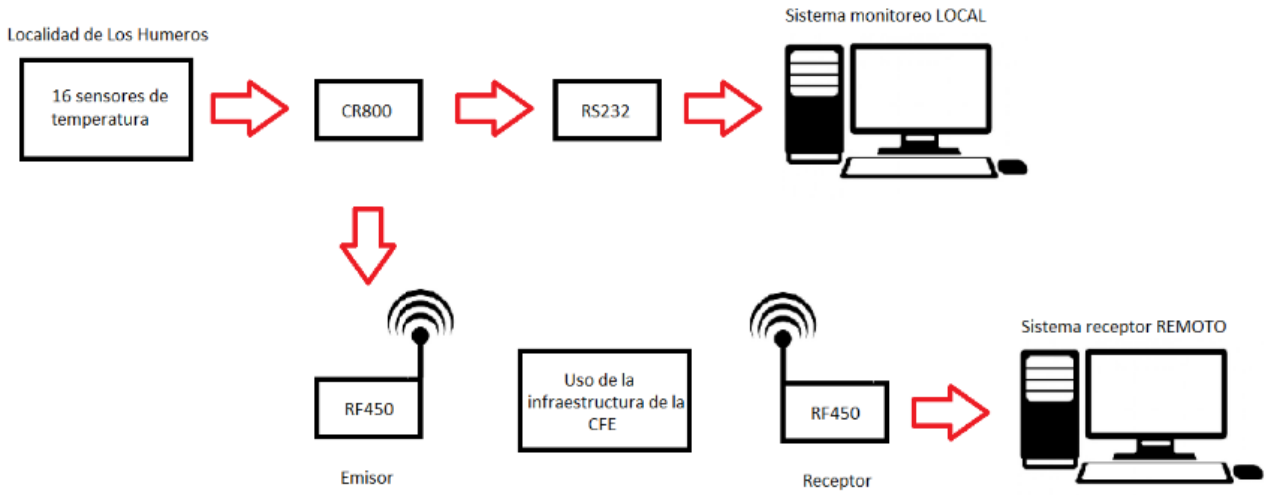

Figura 6. Diagrama esquemático de comunicación entre equipos del SAD en Los Humeros, Puebla.

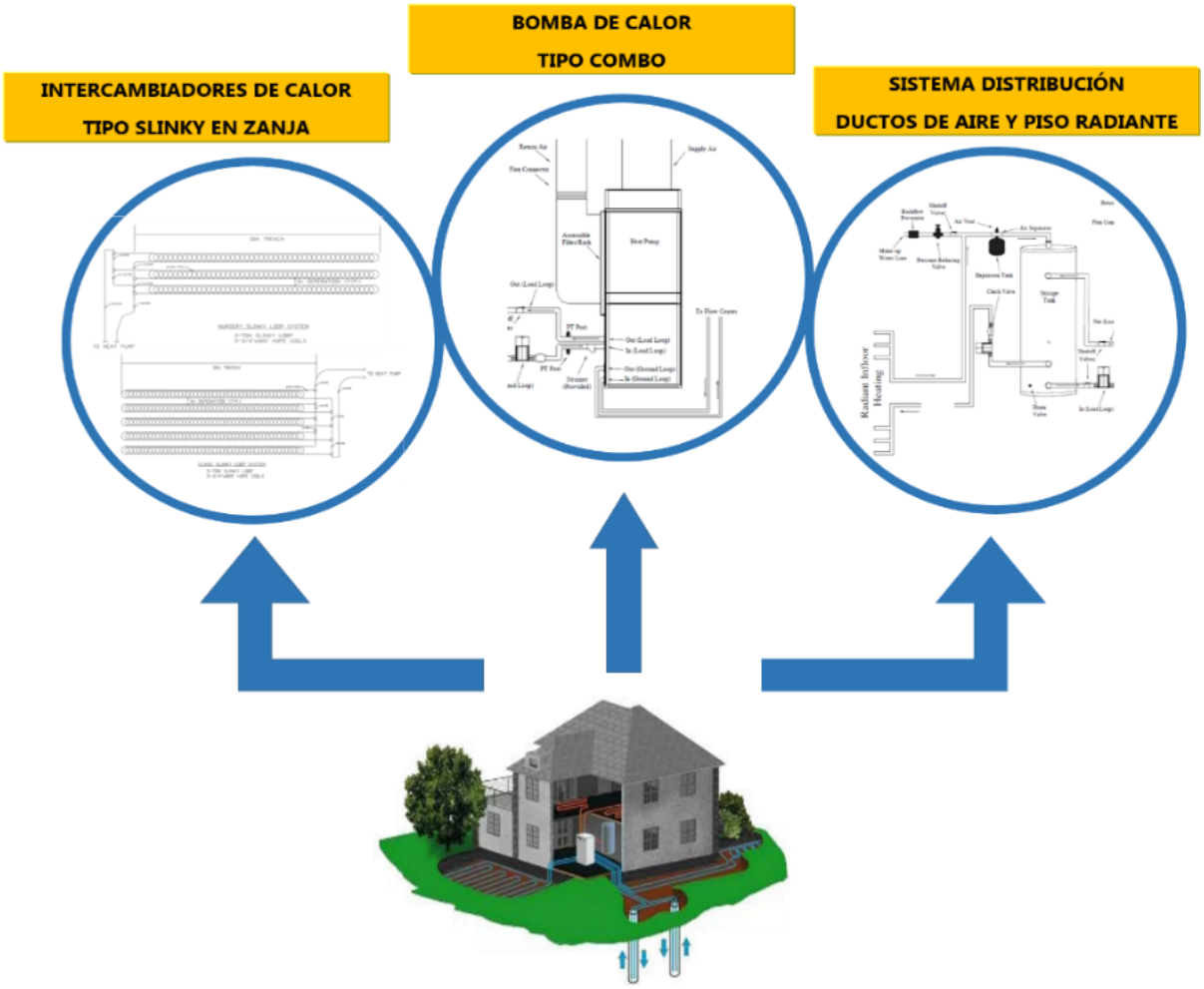

Figura 7. Diseño esquemático de un sistema de BCG en Los Humeros, Puebla.