

## Diseño y estudio del comportamiento de un prototipo de intercambiador de calor tierra-aire

Mario R. Chury<sup>1,2</sup>; Adrián Á. Silva Busso<sup>2</sup>; Alcides L. Burna<sup>1</sup>; Germán E. Hachmann<sup>1</sup>; Sebastián Van Cauwenberghe<sup>1</sup>

**Autoras/es:** <sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Alimentación, Universidad Nacional de Entre Ríos. Monseñor Tavella 1450 - Concordia, Entre Ríos, Argentina. <sup>2</sup>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Concordia, Salta 277 - Concordia - Entre Ríos - Argentina

**Contacto:** [mario.chury@uner.edu.ar](mailto:mario.chury@uner.edu.ar)

**ARK:** <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/kosu8tvh7>

### Resumen

Este proyecto tiene como objetivo principal el desarrollo de un sistema de monitoreo de temperatura, aplicado a un intercambiador de calor tierra-aire para evaluar su potencial en la climatización eficiente de espacios, aprovechando la temperatura relativamente estable del subsuelo. Este tipo de sistemas permite reducir significativamente el consumo energético, lo cual representa un aporte clave frente al cambio climático. A futuro, se espera aplicar el sistema en ambientes reales para cuantificar el ahorro energético obtenido. Los resultados permitirán validar el funcionamiento del sistema y sentar las bases para su implementación a escala real, así como generar conocimientos técnicos valiosos para el ámbito académico y profesional, potenciando la investigación en el área de la Ingeniería en Mecatrónica.

**Palabras clave:** Intercambiador tierra-aire, eficiencia energética, climatización pasiva, monitoreo térmico, sensores de temperatura.

## Objetivos

El objetivo principal de esta investigación, fue el desarrollo de un equipamiento electrónico para la realización de un estudio térmico, sobre un prototipo de un sistema de intercambiador de calor tierra-aire, durante el lapso de un año. Para ello fue necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Diseño y desarrollo de un prototipo de intercambiador de calor tierra-aire.
- Diseño y desarrollo el sistema electrónico de monitoreo y almacenamiento en tiempo real de la temperatura de entrada y salida del aire en el intercambiador de calor.
- Diseño y desarrollo del software necesario para la visualización de los datos en forma remota.

Como objetivo futuro se prevé en un próximo proyecto emplear este sistema de intercambiador de calor en pequeños ambientes, para evaluar la reducción en el consumo energético que se logra.

## Estado actual del conocimiento sobre el tema

Los intercambiadores tierra-aire utilizan el subsuelo para enfriamiento y calentamiento de una corriente de aire que circula a través de tubos que se entierran para tal propósito, contribuyendo a reducir la temperatura del aire que ingresa en los edificios durante el verano y aumentándola durante el invierno (Brunat y Escuer, 2010).

El uso del potencial natural del suelo para acondicionar el aire que ingresa a los edificios ha ganado creciente aceptación en los últimos años debido al ahorro económico que se logra en los requerimientos energéticos necesarios para acondicionarlos térmicamente, por lo que el uso de intercambiadores tierra-aire para calentamiento y enfriamiento de edificios e invernaderos ha ido ganando cada vez más peso (Larsen y Lesino, 2010).

Su uso en acondicionamiento térmico se ha extendido en los últimos años y en muchos casos permite un ahorro de más del 45% de los requerimientos energéticos (Brunat y Escuer, 2010).

Para estudiar el uso potencial de este sistema, se recomiendan la utilización de diferentes sistemas electrónicos para medir y registrar las temperaturas en el subsuelo y en diferentes puntos del mismo (Wang et. al., 2007) (Leung et. al., 2022).

En (Larwa, 2017) se realizó el estudio de transferencia de calor en condiciones de laboratorio por medio de la utilización de una caja con suelo granular seleccionado y un sistema de caños enterrados con circulación de agua, adquiriendo las temperaturas en 24 puntos alrededor de los caños mediante sensores digitales DS18B20.

En condiciones de campo, (Florides y Kalogirou, 2005) estudiaron la variación de la temperatura por medio de 20 termistores colocados a diferentes profundidades dentro de un caño de goma hasta alcanzar los 50 metros.

Otro estudio llevado a cabo por (Shah et.al., 2019), realizaron las mediciones de temperaturas a tres profundidades, por medio de la utilización de termistores, los cuales se encontraban conectados a un datalogger comercial.

## Metodología desarrollada

Para alcanzar los objetivos propuestos, se realizaron las siguientes actividades:

- Recopilación bibliográfica del tema: se buscó artículos en los que se haga énfasis en el desarrollo y medición de temperaturas del subsuelo para aplicaciones de intercambio de calor.
- Desarrollo de la electrónica necesaria para tomar temperaturas, transmitir los datos y visualizarlos en tiempo real:
- Realización del equipo de intercambiador de calor tierra-aire con el cuál se probó el sistema electrónico desarrollado: compuesto de caños pluviales de 110 mm de diámetro.
- Instalación dentro del predio de la Facultad de Ciencias de la Alimentación del sistema de intercambiador de calor.
- Puesta en funcionamiento del dispositivo electrónico y validación de su funcionamiento

## Resultados alcanzados y discusión

Se puede organizar los resultados de esta investigación considerando dos sistemas fundamentales:

### 1. Sistema pozo canadiense

Como fue expuesto en la presentación del PID, un pozo canadiense, también conocido como intercambiador geotérmico de aire o pozo provenzal, es un sistema de climatización pasiva que aprovecha la temperatura relativamente estable del subsuelo para calentar o enfriar el aire que entra en un edificio. Funciona mediante un conjunto de tubos enterrados a cierta profundidad, generalmente entre 1,5 y 2 metros bajo tierra (Figura1).

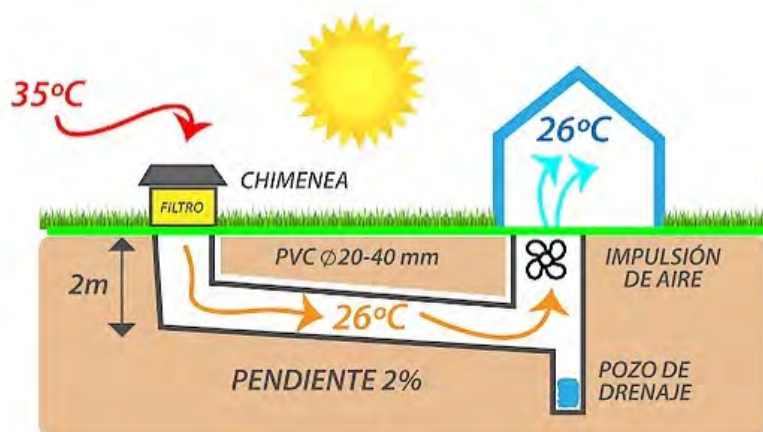


Figura 1. Sistema de pozo canadiense.

El sistema lo realizamos con tubos de PVC de 110 mm de diámetro, dispuestos de la siguiente manera:

- Un tubo de 3 metros de longitud, el cual se encuentra enterrado aproximadamente 2 metros, colocado en forma vertical que es la entrada del aire al sistema de intercambio de calor (Figura 2).



**Figura 2.** Vista de la entrada de aire al sistema.

- Tres tubos de 4 metros de largo conectados entre sí formando una especie de zigzag, enterrados a 2 metros de profundidad y con una pendiente del 2% que es el sistema principal de intercambio de calor con el subsuelo (Figura 3).



**Figura 3.** Vista de los tubos de intercambio de calor con el subsuelo.

- Al final del tubo anterior, se encuentra una T que extiende hacia abajo un caño de medio metro que cumple con la función de ser el reservorio del agua que se condensa los tubos. Este depósito tiene incorporado dos sensores de nivel (Figura 4), uno en la parte inferior y otro en la superior, los cuales le in-

dican al sistema electrónico el estado del nivel de dicho reservorio. En caso que el sensor superior detecte el nivel de agua, el sistema electrónico genera una alarma para dar aviso que es necesario bombear manualmente el agua de su interior.



**Figura 4.** Instalación de sensores de nivel.

En la figura 5 se puede observar el tubo vertical que es usado para la salida del aire aclimatado y el reservorio de agua.



**Figura 5.** Vista del tubo vertical de depósito de agua y salida de aire climatizado.

Tanto el tubo vertical de entrada como el de salida se encuentran cubiertos con una lámina de espuma de poliuretano, para que no experimenten intercambio de calor con las partes más someras del subsuelo en donde las temperaturas son condicionadas por el ambiente.

## 2. Sistema de adquisición y registro de temperatura.

El diagrama de contexto (Figura 6) muestra una representación de los diferentes módulos que interactúan dentro del sistema. Este se compone principalmente de dos partes: la primera es la interfaz con el usuario, que está representada en el diagrama como el servidor; la segunda es la interfaz con los sensores, representada como el MCU - Módulo ESP32.

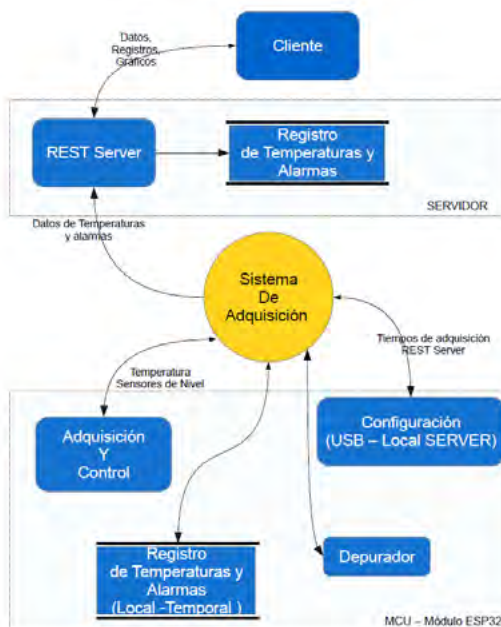


Figura 6. Diagrama de Contexto

### Servidor

El servidor fue implementado utilizando los lenguajes de programación C/C++. Su función principal es recibir las mediciones y alarmas enviadas por el microcontrolador, mantener el sistema de adquisición sincronizado con la hora y atender las solicitudes de los clientes. Además, cuenta con una base de datos compuesta por archivos binarios que almacenan los registros diarios y un archivo binario que contiene el total de todos los registros. En las Figuras 7 y 8 se presentan capturas de pantalla que muestran la interfaz a la que acceden los clientes al conectarse al servidor.



Figura 7. Imagen de la pantalla del servidor - Gráfica de las Temperaturas.

Los clientes tienen la posibilidad de solicitar los registros diarios y mensuales de los datos recopilados, los cuales son proporcionados por el servidor en formato de archivo separado por comas (CSV), permitiendo su análisis en cualquier software compatible con este formato.

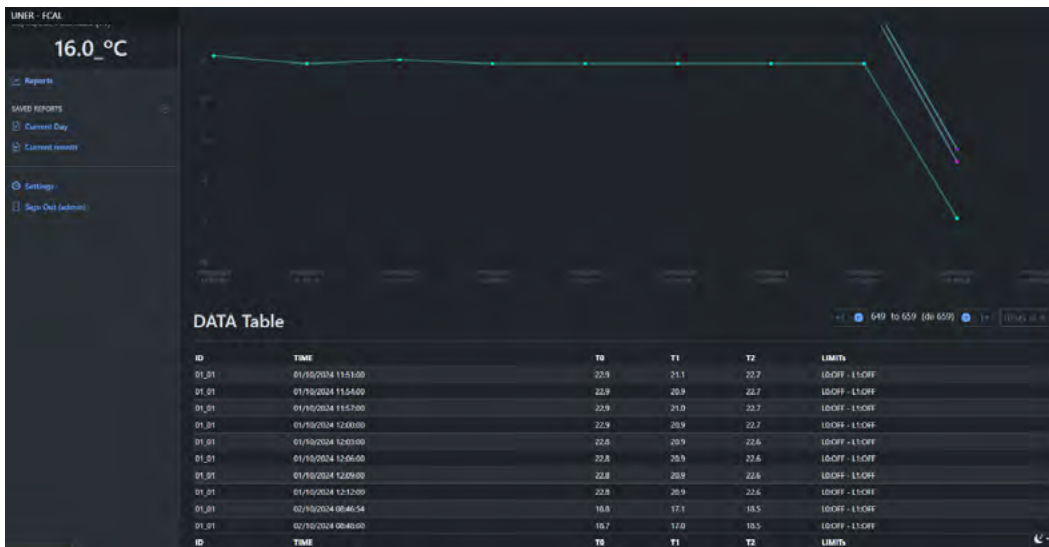


Figura 8. Imagen de la pantalla del servidor - Tabla de Datos.

### MCU - Módulo ESP32

Este dispositivo es responsable de la comunicación con los sensores de temperatura y los sensores de alarma que detectan el nivel de agua acumulado, así como de empaquetar la información que se enviará al servidor. El sistema está compuesto por un firmware desarrollado en lenguaje C, utilizando como marco de trabajo un sistema operativo de tiempo real (Free RTOS). Además de su tarea principal de lectura de sensores, incluye un servidor local que permite configurar diversos parámetros necesarios para

su funcionamiento, como la información del servidor al que se enviarán los datos y el intervalo de adquisición de las muestras de temperatura, entre otras configuraciones.

Las lecturas se realizan en sincronía con el reloj, con un intervalo mínimo de 1 minuto y un máximo de 60 minutos. El sistema también cuenta con la capacidad de almacenar en forma temporal las últimas 32 muestras en un buffer, lo que permite controlar situaciones en las que el servidor no esté disponible para recibir la información o se haya perdido la conexión Wi-Fi (Figura 9).

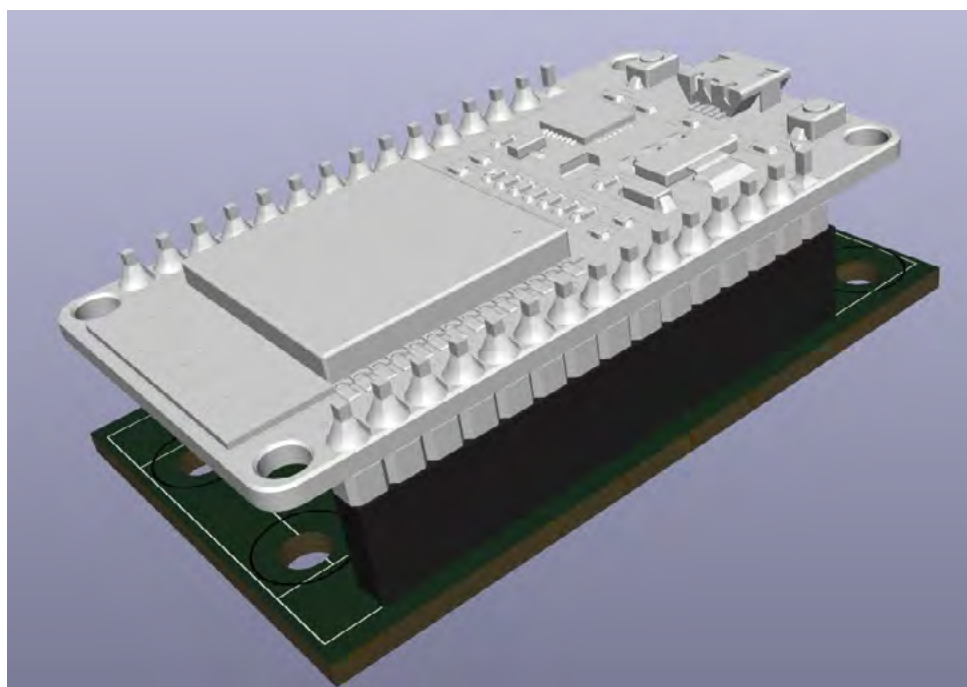


Figura 9. Vista del módulo ESP32.

### Indicadores de producción

La transferencia al medio educativo se realizó involucrando al proyecto a becarios alumnos avanzados, France Guillermo, Negro Gonzalo y docentes de la carrera en Ingeniería Mecatrónica. Este proyecto permitió generar un valioso **know-how** local en el diseño de dispositivos de monitoreo ambiental, útil para futuras aplicaciones en eficiencia energética y domótica, fortaleciendo la investigación aplicada en la universidad.

Además, este proyecto es de partida para la tesis de maestría del Ing. Van Cauwenberghe, Sebastián a llevarse a cabo en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario.

Se prevé exteriorizar los resultados a través de publicaciones científicas en congresos o revistas.

## Bibliografía

- Brunet L., Escuer Solé J. 2010. Intercambiadores tierra-aire y términos emparentados. Ejemplos y experiencias. II Congreso de energía geotérmica en la edificación y la industria. Madrid.
- Florides G., Kalogirou S. 2005. Annual ground temperature measurements at various depths. CLIMA 2005. Suiza.
- Larsen S., Lesino G. 2000. Intercambiadores tierra-aire: uso del suelo para enfriamiento pasivo. Avances en energías renovables y medio ambiente (4), 59-64.
- Larwa B. 2017. Investigation of temperatura distribution in the ground induced by heat source and under natural conditions. Technical transactions (114),69-77.
- Leung A., Gough W., Moshin T. 2022. Analysing historical and modelling future soil temperature at Kuujjuaq, Quebec (Canada): Implications on aviation infrastructure. Time Series Analysis of Global Climate Change (4), 95-125.
- Shah S., Aye L., Rismanchi B. 2019. Undisturbed ground temperature in Melbourne. AIP Conference proceeding.
- Wang C., Zhao C., Qiao X., Xu Z. 2007. A measuring instrument for multipoint soil temperature underground. International Conference on Computer and Computing

**PID8135**

**Denominación del Proyecto**

Diseño y estudio del comportamiento de un prototipo de intercambiador de calor tierra-aire

**Unidad de Ejecución**

Universidad Nacional de Entre Ríos

**Dependencia**

Facultad de Ciencias de la Alimentación

**Cátedra, área o disciplina científica**

Ingeniería del medio ambiente. Sistema mecatrónicos I

**Contacto**

[mario.chury@uner.edu.ar](mailto:mario.chury@uner.edu.ar)

**Integrantes del proyecto**

**Director:**

Mario Rafael Hernán Chury

**Codirector:**

Adrián Ángel Silva Busso

**Integrantes**

**internos/Docentes UNER:** Burna, Alcides Leonel; Hachmann, Germán Eduardo; Van Cauwenberghe, Sebastián.

**Integrantes externos:** Neuss, Felipe Benjamín. Colaborador externo: Adente, Guido  
Becarios vinculados al PID: Negro, Gonzalo; Sebastián Ré

**Fechas de iniciación y de finalización efectivas**

01/06/2023 y 31/05/2025

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 358/25 (07-11-2025)