

Innovación sustentable: integración del sistema pozo canadiense con las normas solares mexicanas para la comodidad térmica



***Dr. Marco Antonio Polo Labarrios**

Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa

mpolo@izt.uam.mx

Dr. Sergio Quezada García

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

Dra. Cecilia Martín del Campo Márquez

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

Dr. Heriberto Sánchez Mora

Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa

Resumen

El pozo canadiense, también conocido como pozo provenzal, es una técnica de climatización pasiva que utiliza la temperatura constante del subsuelo para enfriar o calentar el aire que entra a los edificios, reduciendo así la necesidad de sistemas de aire acondicionado que consumen electricidad. Esta alternativa resulta especialmente prometedora para México, donde los climas extremos y los altos costos energéticos dificultan mantener espacios interiores cómodos de manera sostenible. Al conducir el aire exterior por tuberías enterradas, el pozo canadiense permite mantener temperaturas más estables en viviendas y edificios, disminuyendo el consumo de energía y las emisiones contaminantes. El artículo también destaca la integración de esta técnica con la permacultura, un enfoque de diseño que busca construir en armonía con los ciclos naturales, fomentando viviendas más resilientes y respetuosas con el ambiente. Combinado con materiales ecológicos y con las normas mexicanas de eficiencia energética, este sistema representa una alternativa innovadora y accesible para avanzar hacia una arquitectura más consciente, capaz de mejorar la calidad de vida de las personas y responder a los retos del cambio climático.

Introducción

Las viviendas y edificios nos brindan refugio y protección contra las condiciones climáticas. Dado que pasamos la mayor parte del día en su interior, deseamos tener una sensación de comodidad térmica.

Los sistemas de climatización activa se utilizan para lograr esta comodidad en espacios interiores. La capacidad de mantener condiciones térmicas adecuadas se considera uno de los mayores avances tecnológicos y se ha vuelto esencial en edificaciones y viviendas. Sin embargo, estos equipos requieren electricidad para funcionar, lo que durante ciertas temporadas del año puede representar un elevado gasto energético y, por consiguiente, un alto costo económico, volviéndose poco accesibles para familias de bajos recursos.

Se calcula que, en regiones con climas tropicales, la energía utilizada en los edificios para climatización puede superar el 50% del consumo energético total [1]. Además, se prevé que este consumo aumente en los próximos años debido al crecimiento poblacional, la demanda de mayores niveles de comodidad, el cambio climático y la tendencia de pasar más tiempo en interiores. Por lo tanto, los equipos activos de climatización no son idóneos desde el punto de vista de la sostenibilidad.

En un mundo cada vez más centrado en la eficiencia energética y la sostenibilidad, una opción para reducir o eliminar el uso de sistemas activos es la implementación de técnicas pasivas de enfriamiento en viviendas y edificios. Estas técnicas no requieren electricidad para funcionar. Algunas son fáciles de implementar sin necesidad de modificaciones en la construcción, mientras que otras exigen cambios importantes o deben incorporarse desde la fase de edificación.

Un ejemplo es la ventilación natural, que facilita el ingreso de aire fresco del exterior al interior de la edificación (Figura 1). De esta forma, circula y se renueva el aire sin la necesidad de dispositivos mecánicos [2]. Las técnicas pasivas de refrigeración evitan el consumo de energía eléctrica, lo que a gran escala reduce significativamente las emisiones de bióxido de carbono [3].

Es fundamental replantear el enfoque y las técnicas de construcción para adoptar un concepto sostenible de diseño, edificación y mantenimiento, integrando el entorno y los recursos naturales disponibles. En este contexto, la permacultura, entendida como una filosofía de diseño integral que busca crear sistemas sostenibles y armoniosos a partir de los patrones de la naturaleza, puede ser un elemento fundamental [4].

En este marco, el pozo canadiense (también conocido como provenzal) se presenta como una técnica pasiva de gran potencial para el clima de México, ya que aprovecha la energía térmica del subsuelo para regular la temperatura interior de los edificios.

¿Qué es la comodidad térmica?

La comodidad térmica hace referencia al bienestar que siente una persona cuando la temperatura, la humedad y la ventilación de un espacio son adecuadas para el cuerpo humano. El factor más influyente es la temperatura. Este concepto engloba el rango de condiciones en que el cuerpo se siente cómodo, el cual varía según factores como la ropa, el nivel de actividad física, la edad y la adaptación al clima local.

La Figura 1 presenta el diagrama bioclimático de Givoni, que ilustra la zona de comodidad térmica entre los 23 °C y 27 °C, con una humedad relativa de entre 30 % y 70 %. Aunque el diagrama no lo incluye, la velocidad del viento también es relevante y se estima adecuada en 0.2 m/s [5].

En climas cálidos, el cuerpo humano transfiere el exceso de calor al entorno por diferentes mecanismos:

- **Conducción:** el calor se transfiere a superficies en contacto con el cuerpo, como el piso, una silla o la cama.
- **Convección:** el calor se transfiere al aire en movimiento. Cuando hace calor, el cuerpo suda y, al evaporarse el sudor, se transfiere calor al aire circundante.
- **Radiación:** el calor se emite hacia objetos o personas cercanas sin necesidad de contacto directo.

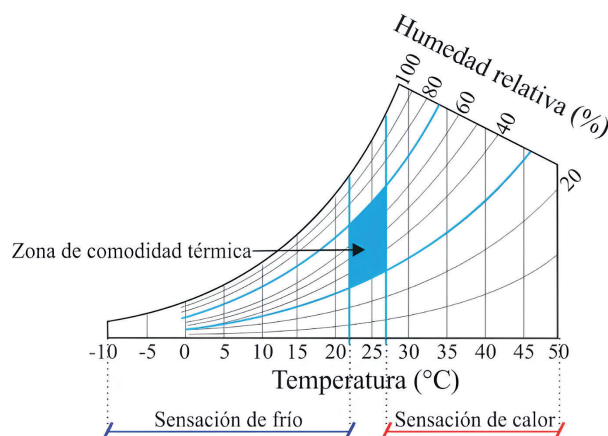


Figura 1. Diagrama bioclimático de Givoni que muestra la zona de comodidad térmica.

La temperatura superficial de la piel varía según la zona del cuerpo, con un promedio de 34 °C, mientras que la temperatura interna es de 37 °C. Para que el cuerpo pueda disipar calor, la temperatura del aire y de los objetos circundantes debe ser menor a 34 °C.

En zonas extremas, como el Bajío o el norte de México, lograr la comodidad térmica es un reto, por lo cual los pozos canadienses representan una alternativa.

Tabla 1. Efecto de variables ambientales en la comodidad térmica [2].

Variable	Efecto en la comodidad térmica
Viento (m/s)	Pérdida de calor por convección. Efecto de refrescamiento cuando la temperatura del aire es baja.
Radiación solar (W/m²)	Sensación de calor excesivo.
Humedad	La pérdida de calor por evaporación aumenta cuando la humedad relativa es baja.
Temperatura radiante (°C)	Pérdida de calor por radiación cuando es baja.
Temperatura de bulbo seco (°C)	Pérdida de calor por convección cuando es baja.

¿Qué son los pozos canadienses o provenzales?

Los equipos de climatización se utilizan para alcanzar la comodidad térmica modificando factores como la calefacción, la refrigeración, la humidificación, la limpieza o la desodorización del aire. Estos equipos se clasifican en dos tipos: activos y pasivos. Los sistemas activos, como los equipos minisplit utilizados en espacios peque-

ños, requieren electricidad y funcionan bajo el mismo principio que los refrigeradores domésticos. En contraste, las técnicas pasivas no necesitan energía eléctrica.

El pozo canadiense o pozo provenzal es una técnica pasiva de climatización que aprovecha la temperatura constante del subsuelo para enfriar o calentar el aire que entra en una vivienda o edificio. Consiste en una serie de tuberías enterradas a una profundidad de entre 1.5 m y 3 m, con una longitud aproximada de 30 m. A partir de los 10 m a 15 m de profundidad, la temperatura del subsuelo se mantiene prácticamente constante durante todo el año. A los 2 m, por ejemplo, se registran temperaturas de entre 18 °C y 24 °C, adecuadas para generar comodidad térmica. Esta energía se conoce como energía geotérmica, es decir, la energía proveniente del calor interno de la Tierra.

El sistema recibe el nombre de pozo canadiense porque fue utilizado en Canadá principalmente durante el invierno, y provenzal porque se aplicó en la región francesa de Provenza durante el verano. Funciona tanto para calefacción como para refrigeración.

Su principio es sencillo: en verano, el aire caliente del exterior entra en las tuberías, se enfría al pasar por el subsuelo y accede al interior a menor temperatura. En invierno ocurre lo contrario: el aire frío se calienta al circular por la tierra antes de ingresar a la vivienda. Este proceso reduce la necesidad de equipos activos, lo que se traduce en un ahorro energético y económico.

El subsuelo tiene una alta capacidad calorífica, es decir, almacena calor de manera eficiente. Además, su baja conductividad térmica provoca que los cambios de temperatura se transmitan lentamente. Esto lo convierte en un entorno térmicamente estable: se mantiene fresco cuando afuera hace calor y templado cuando afuera hace frío.

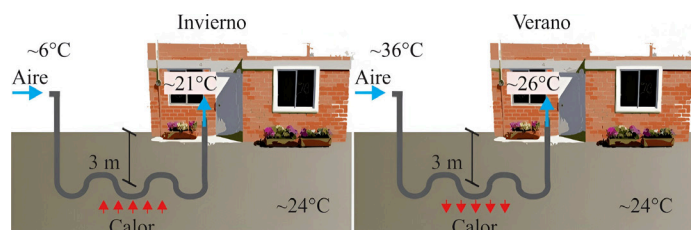


Figura 2. Esquema del funcionamiento del pozo canadiense en invierno y verano.

Aspectos importantes para considerar en el diseño del sistema

Para construir un pozo canadiense es necesario atender ciertas consideraciones. El punto de captación del aire debe colocarse elevado sobre el suelo para evitar la entrada de gas radón, un gas radioactivo que se produce de manera natural en la corteza terrestre, especialmente en zonas volcánicas. En concentraciones altas puede ser dañino para la salud, ya que tiende a acumularse en áreas bajas con poca ventilación.

También es necesario impedir la entrada de insectos, roedores u otros animales que podrían afectar el sistema. Para ello se instalan rejillas o filtros.

Los tubos empleados deben ser impermeables, resistentes a la corrosión y a la presión del terreno. Es importante que tengan buena conductividad térmica para que el calor se transfiera con eficiencia entre el subsuelo y el aire que circula por ellos [6], [7]. Además, deben contar con recubrimientos antiestáticos y aditivos que prevengan la aparición de hongos, moho y bacterias, lo que reduce riesgos para la salud.

El tipo de suelo también influye en la viabilidad del sistema. Un terreno rocoso encarece y dificulta la instalación. La conductividad térmica del suelo depende de factores como su composición y contenido de agua. Por ejemplo, los suelos arenosos secos tienen baja conductividad, pero al estar húmedos esta aumenta considerablemente.

La presencia de agua subterránea (nivel freático) también modifica el comportamiento térmico. Por ello, antes de construir un pozo

canadiense es indispensable realizar un estudio de suelo.

¿Existen otras técnicas pasivas de refrigeración que puedan usarse?

El diseño de viviendas sostenibles puede complementarse con materiales de construcción adecuados. Un ejemplo es el COBE o adobe, elaborado con tierra, arcilla y paja. Este material, además de ser económico y ecológico, tiene buenas propiedades térmicas: ayuda a mantener la temperatura interior cercana a la de comodidad térmica, refleja la radiación infrarroja en verano y conserva el calor en invierno [8]. También es duradero y actúa como filtro de algunas sustancias tóxicas.

Al aplicarse en muros, techos y ventanas, el COBE mejora la eficiencia del pozo canadiense al proporcionar un mejor aislamiento térmico. Su combinación con principios de permacultura refuerza la armonía con el entorno, la resiliencia y la sostenibilidad a largo plazo.

Normas mexicanas de energía solar

Una estrategia clave para reducir el consumo eléctrico en climatización es la integración de energías renovables como la solar y la geotérmica, en conjunto con técnicas pasivas. Asimismo, mejorar el aislamiento térmico de muros y techos con materiales como el COBE incrementa la eficiencia.

La adopción de estas medidas requiere un respaldo normativo. En Europa, por ejemplo, la Directiva de eficiencia energética de los edificios ha impulsado el ahorro y la eficiencia mediante regulaciones estrictas.

En México, se cuenta con normas que promueven el uso de energías limpias y el diseño eficiente:

- NOM-001-ENER-2021: regula la eficiencia energética de equipos activos de climatización en edificios. Aunque se centra en sistemas mecánicos, su cumplimiento puede apoyarse en la reducción de demanda mediante técnicas pasivas como el pozo canadiense o el COBE.

• NOM-020-ENER-2011: establece los requisitos mínimos de eficiencia energética en la envolvente de edificios no residenciales. Fomenta el uso de materiales aislantes y diseños que reduzcan la transferencia de calor, lo cual se logra con estrategias pasivas y con materiales como el COBE.

Estas normas fortalecen la transición hacia un modelo de construcción más sostenible, que equilibra desarrollo urbano y protección ambiental.

Reflexión

Es fundamental adoptar un enfoque integral en la construcción de viviendas en México, combinando técnicas pasivas como el pozo canadiense y materiales ecológicos como el COBE con el cumplimiento de las normativas energéticas. Esto permite reducir el consumo eléctrico, ahorrar costos y disminuir el impacto ambiental.

El pozo canadiense aprovecha la estabilidad térmica del subsuelo para mantener una temperatura confortable durante todo el año. Cuando se combina con materiales aislantes y estrategias de permacultura, se logra un modelo de vivienda resiliente y sostenible.

El marco normativo mexicano, con normas como la NOM-001-ENER-2021 y la NOM-020-ENER-2011, brinda soporte para implementar soluciones energéticamente eficientes. Su integración con técnicas pasivas representa un paso importante hacia edificaciones más responsables y alineadas con los objetivos globales de sostenibilidad.

Referencias.

- [1] K. J. Chua, S. K. Chou, W. M. Yang, and J. Yan, "Achieving better energy-efficient air conditioning: A review of technologies and strategies," *Applied Energy*, vol. 104, pp. 87–104, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.037>.
- [2] E. Yarke, *Ventilación natural en edificios. Fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos*. Buenos Aires, Argentina: Nubuko, 2005. [Online]. Available: <https://www.nubuko.com/libros/ventilacion-natural-en-edificios/>
- [3] ASHRAE, "Thermal and moisture control in insulated assemblies - fundamentals," in *Fundamentals*, SI Edition, M. S. Owen, Ed. Atlanta, GA: ASHRAE, 2017. [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook>
- [4] B. Mollison, *Permaculture: A Designers' Manual*, 1st ed. Tasmania, Australia: Tagari Publications and Permaculture Institute, 1997. [Online]. Available: <https://www.permacultureprinciples.com/product/permaculture-designers-manual/>
- [5] Y. A. Çengel, *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*, 3rd ed. México: McGraw Hill, 2007. [Online]. Available: <https://www.mheducation.com.mx/transferencia-de-calor-y-masa-un-enfoque-practico-3a-ed.html>
- [6] Y. Li and S. Ren, "Basic properties of building decorative materials," in *Building Decorative Materials*, Elsevier, 2011, pp. 10–24, doi: <https://doi.org/10.1533/9780857092588.10>.
- [7] P. J. Hernández, "Características térmicas de los materiales," *Arquitectura Eficiente: Estudios de Arquitectura e Interiorismo en Murcia*, 2014. [Online]. Available: <https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/> [Accessed: Dec. 13, 2024].
- [8] M. G. Cuitiño-Rosales, R. Rotondaro, and A. Esteves, "Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra," *Revista de Arquitectura*, vol. 22, pp. 138–151, 2020, doi: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2348>.

