

Diseño de un generador de agua atmosférica basado en un sistema de células de Peltier.

Marco Vinicio Félix Lerma ^[1], Alonso Rafael Peña Lara ^[2], José Manuel Sosa Becerra ^[3], Luis Antonio Pereda ^[4].

[1,2,3] Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Mascota.

[4]Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de la Sierra Negra de Ajalpan

[1] Autor de correspondencia: marco.felix@mascota.tecmm.edu.mx

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global y la escasez de agua

El calentamiento global se ha evidenciado como una verdadera preocupación para la sociedad mundial [1], ya que sus efectos a mediano y largo plazo pueden ser devastadores. Entre los principales efectos negativos se observan el calentamiento de suelos y mares y la pérdida de ecosistemas naturales [2]. Tanto la sociedad civil como las industrias demandan grandes cantidades de energía y agua potable. Con el fin de mitigar los efectos negativos, muchos proyectos se han encaminado a identificar orígenes de desperdicio y de mayor consumo. Las investigaciones apuntan a que el gasto energético de un refrigerador representa el 32 % del consumo energético en las viviendas [3], además estos electrodomésticos utilizan gases refrigerantes que contribuyen al deterioro de la capa de ozono [4]. En el caso de la demanda industrial se ha observado... y diversos proyectos apuntan al concepto de cogeneración.

En las últimas décadas, la comunidad científica ha seguido la tendencia de estudiar e implementar tecnologías que tengan un impacto mínimo sobre el medio ambiente [5].

El agua líquida es un recurso precioso para la vida humana y actualmente se encuentra en grave riesgo de escasez, o ya escaso en diversas zonas geográficas. En particular, la sociedad industrial demanda cada vez mayores cantidades de agua para el desarrollo de sus actividades productivas. Se evidencia una crisis de

RESUMEN - Se plantea el diseño de un dispositivo generador de agua atmosférica basado en un sistema de enfriamiento por células de Peltier. Dicho prototipo toma aire del medioambiente y lo hace circular por una cavidad dispuesta con láminas metálicas que es enfriada por debajo de la temperatura de condensación del vapor de agua, lo cual genera agua líquida a coleccionar mediante un simple sistema mecánico. El efecto global es la conversión del vapor de agua contenido en el aire atmosférico en agua líquida.

Dicha conversión es efectuada por un descenso inducido de temperatura a través del efecto Peltier. Para que este efecto tome lugar debe efectuarse un montaje/ensamble de células de Peltier conectadas en paralelo dentro de una cavidad diseñada para este propósito. El dispositivo completo entrega agua líquida en cantidades a ser determinadas por el diseño eléctrico-térmico y las condiciones climáticas del lugar donde se opere. Las aplicaciones pueden ser vastas como la irrigación de plantas de alto consumo hídrico, por lo que este dispositivo es susceptible de ingresar a un proceso de invención ante el Instituto Mexicano de Propiedad Intelectual (IMPI).

Palabras clave: Generador de agua atmosférica, Agua atmosférica, Células de Peltier, Efecto Peltier.

consecuencias globales. La búsqueda de nuevas fuentes generadoras de este recurso vital es un imperativo tanto para las tecnologías consolidadas como para las tecnologías emergentes. Desde hace décadas se han venido desarrollando prototipos generadores de agua atmosférica los cuales están basados en la condensación del vapor de agua contenido en el aire de la atmósfera. Los mecanismos termoeléctricos para lograr la condensación del vapor de agua son diversos, pero todos tienen en común el de enfriar porciones de aire hasta llegar a la temperatura de rocío o por debajo de ésta. Uno de los sistemas de enfriamiento más utilizados es el de *compresión mecánica de vapor*, el cual aún siguen usando dispositivos como refrigeradores y aires acondicionados.

Estos sistemas suelen ser costosos en doble sentido: la adquisición de los componentes y el alto consumo de energía eléctrica. Además de su alto costo debe considerarse el uso de refrigerantes que son altamente contaminantes del medio ambiente. Estas dos características deberían bastar para buscar nuevas alternativas de enfriamiento de porciones de aire para la producción de agua líquida. Sin embargo, existen también problemas de diseño tanto en cuanto a la disposición de espacios para la circulación del aire cuando se usa el sistema clásico de enfriamiento por compresión mecánica de vapor de refrigerante. Ante la falta de soluciones en el mercado de sistemas de refrigeración, únicamente servidos a través de compresores que ocupan grandes volúmenes, consumos de potencia muy altos y emiten mucho ruido y vibran, se idea la posibilidad de usar la tecnología de las células Peltier.

Una opción innovadora es la de un sistema de células de Peltier que enfría el aire atmosférico en un recinto destinado a condensar el vapor de agua para la producción de agua líquida. El efecto Peltier se produce cuando por un semiconductor se hace circular una corriente eléctrica. Este sistema de enfriamiento es más simple, menos costoso, más amigable con el medio ambiente y altamente versátil. Por estos motivos el presente proyecto se enfoca en la utilización del efecto Peltier para la producción de agua líquida esperando un diseño más simple del prototipo, menos costoso tanto en su construcción como en su operación y amigable con el medio ambiente.

Las características buscadas en el diseño del prototipo son las siguientes:

- Equipo de pequeñas dimensiones
- Capacidad de generar un amplio rango de temperaturas
- Fuente de enfriamiento fácilmente controlable para su posible automatización
- Fuente de corriente eléctrica de bajo consumo a través de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MMPT).
- Fuente de enfriamiento precisa y sensible.
- Sistema calorífico con buena inercia térmica.
- Bajo costo
- Evitar ruidos y vibraciones

Efectos termoeléctricos

El Efecto Termoeléctrico en un material (semiconductor) relaciona el flujo de calor que lo recorre con la corriente eléctrica que lo atraviesa, es decir, tal y como se muestra en la Figura, en un material termoeléctrico (conductor metálico) al aplicarle una fuente de calor en un extremo del conductor (T2) origina que los electrones se muevan hacia la parte fría del conductor (T1), generando una corriente eléctrica.

En cambio, si a ese conductor se le aplica una corriente eléctrica, puede producir el efecto contrario, dando lugar a una diferencia de temperatura entre los extremos del semiconductor.

A escala atómica (en especial, portadores de carga), un gradiente de temperatura aplicado provoca el movimiento de portadores cargados en el material, si hay electrones o huecos, para difundir desde el lado caliente al lado frío, similar a un gas clásico que se expande cuando se calienta; por consiguiente, la corriente es inducida térmicamente.

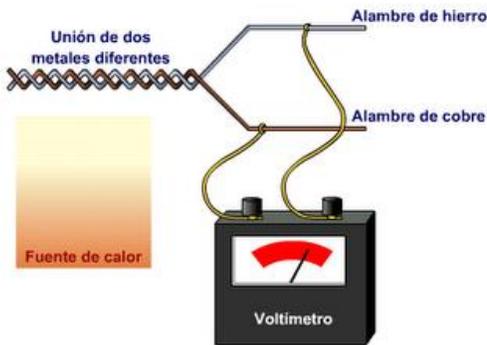


Figura 1 Ilustración de un efecto termoeléctrico. El movimiento de portadores de carga n , p , induce un efecto térmico y viceversa, es decir, la aplicación de calor genera una corriente eléctrica.

Fuente de la imagen:

<https://100ciaencasa.blogspot.com/2012/11/efecto-seebeck-peltier.html>

Tradicionalmente, el término Efecto Termoeléctrico abarca tres efectos identificados separadamente, el Efecto Seebeck, el Efecto Peltier, y el Efecto Thomson. Dichos efectos, en principio pueden ser termodinámicamente reversibles.

Este efecto se puede usar para generar electricidad, medir temperatura, enfriar objetos, calentarlos o cocinarlos. Porque la dirección de calentamiento o enfriamiento es determinada por el signo del voltaje aplicado, ya que los dispositivos termoeléctricos producen los controladores de temperatura adecuados. Este efecto es la base de las aplicaciones de refrigeración y de generación de electricidad.

MARCO TEÓRICO

Efecto Peltier

Jean-Charles A. Peltier fue un físico francés. Se dedicó a la investigación científica en el campo de la electricidad e investigó sobre los contactos metálicos y sus fenómenos termoeléctricos. En 1834 descubrió el efecto de bombeo de calor termoeléctrico en estado sólido, conocido como *efecto Peltier*. El cual en la actualidad es muy utilizado en mecanismos de refrigeración no contaminantes. El efecto Peltier hace referencia al cambio en la temperatura producido por una unión entre dos metales o semiconductores distintos cuando una corriente eléctrica atraviesa a la unión. Sucede cuando una corriente pasa por dos metales o semiconductores conectados (tipo-n y tipo-p), por lo que depende de la composición y temperatura de la unión. La unión de los

metales debe ser en un contacto íntimo, pero no necesariamente soldada.

Este efecto se puede manifestar también como la absorción o liberación de energía térmica cuando en una junta de metales diferentes circula una corriente. La corriente propicia una transferencia de calor de una unión a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta. La dirección de transferencia de calor es controlada por la polaridad de la corriente; invertir la polaridad cambiará la dirección de transferencia y así el signo del calor absorbido/producido.

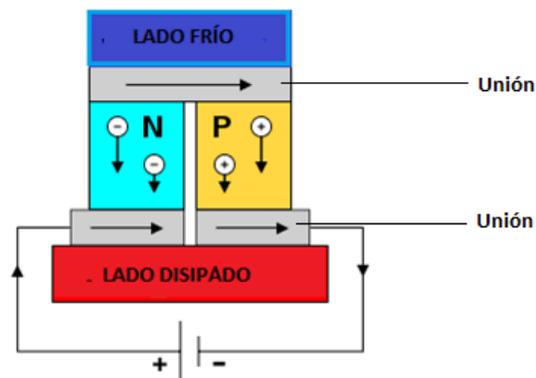


Figura 2. Ilustración del efecto Peltier. Fuente de la imagen:

https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_termoel%C3%A9ctrico#/media/Archivo:Thermoelectric_Cooler_Diagram.svg

Este efecto se puede manifestar también como la absorción o liberación de energía térmica cuando en una junta de metales diferentes circula una corriente. La corriente propicia una transferencia de calor de una unión a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta. La dirección de transferencia de calor es controlada por la polaridad de la corriente; invertir la polaridad cambiará la dirección de transferencia y así el signo del calor absorbido/producido.

Células Peltier

Una Célula Peltier se caracteriza por estar conformada principalmente por dos materiales semiconductores, uno de tipo P y otro de tipo N, ambos dopados de forma que se pueda lograr un efecto uniforme de calentamiento y enfriamiento para las superficies de la Célula, a través del control de energía eléctrica proporcionada por una fuente de alimentación.



Figura 3. Ilustración de una célula Peltier (TEC1-12706).

Fuente:

<https://www.profesionalreview.com/2018/10/16/que-celula-peltier/>

La corriente suministrada a la célula provoca que, en su interior, el semiconductor sufra un desplazamiento de sus portadores de carga en el interior del material semiconductor, esto genera un exceso de portadores de carga en un extremo del material (lado caliente), y en el otro extremo se genera una ausencia de portadores de carga, lo que provoca que este extremo baje su temperatura (lado frío). Dada esta condición de los portadores de carga, las Células Peltier se producen en parejas de materiales semiconductores tipo N y tipo P, acopladas de forma paralela térmicamente y en serie eléctricamente. Con varias parejas es posible lograr un área térmica considerable para realizar la función deseada, ya sea calentar o enfriar. Una placa Peltier, como la TEC1 12706 que se usa en el presente diseño, puede tener un precio de unos cien pesos mexicanos, así que es muy barata. Esta placa tiene unas dimensiones de 40x40x3mm y contiene 127 pares semiconductores en su interior. La potencia eléctrica es de 60w y su tensión nominal de alimentación de 12v y corriente nominal de 5A.

Con ella pueden generarse diferencias máximas de temperatura entre sus caras de 65°C. Puede funcionar entre los -55°C y los 83°C sin dañarse, así que si uno se mueve fuera de esos valores se corre el riesgo de que quede inutilizable. Si se mantienen los valores dentro de este rango, la celda puede durar incluso 200.000 horas de trabajo perfectamente. La eficiencia de este modelo es de unos 12-15w de calor extraído, eso es una eficiencia en torno al 20 o 25% teniendo en cuenta que consume unos 60w. De todas formas, hay que tener en cuenta que ese valor también se verá muy influenciado por la temperatura ambiente.

Principio de funcionamiento de una célula Peltier

Los portadores mayoritarios (nube de electrones) migran hacia el lado positivo de cada uno de sus extremos en los elementos semiconductores tipo N, debido a la atracción de cargas de diferente signo. Mientras que los portadores mayoritarios (nube de huecos) de los elementos semiconductores P, migran hacia la terminal negativa que se encuentra en cada uno de sus extremos. Esta ausencia de cargas en cada elemento semiconductor cerca de la unión metal-semiconductor provoca una disminución de cargas y el consecuente descenso de temperatura en el área circundante. Por otro lado, la compresión o acumulación de portadores cerca de la unión metal-semiconductor en la parte baja de los elementos semiconductores, provoca un ascenso de la temperatura.

Este comportamiento nos permite afirmar que, si invertimos la polaridad de la fuente de alimentación, la cara fría ahora calentará y la cara caliente sufrirá un descenso de temperatura. Concretamente, el efecto Peltier es una propiedad que está asociada al efecto termoeléctrico, que consiste en hacer circular una diferencia de potencial en un conductor dando lugar a una diferencia de temperatura [6] en el material. Esta propiedad se ha utilizado como parte de los sistemas de refrigeración para disminuir la temperatura en zonas localizadas [7].

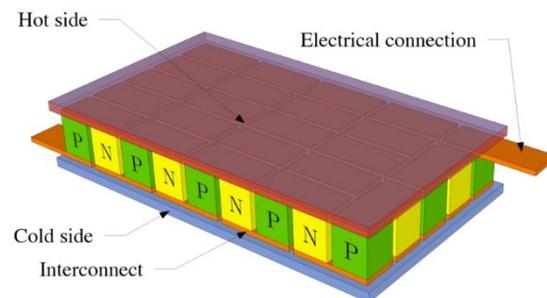


Figura 4. Esquema básico del funcionamiento de una célula de Peltier. Fuente de la imagen:

<https://www.hwlibre.com/celula-peltier/?msclkid=b5e1169cb41711ecb087ba6e8f937998>

Las células que se comercializan en el mercado esencialmente están compuestas por dos tipos de elementos semiconductores: telurio de bismuto, Bi_2Te_3 , y selenio de antimonio, SbSe , ya que estos materiales semiconductores son buenos para el paso de corriente eléctrica, mientras que no lo son para la transferencia del

calor a través de ellos, permitiendo que se genere un mejor aislamiento térmico. De esa forma se logra la alta temperatura de una de las caras no afecte la baja temperatura de la otra placa.

Metodología a desarrollar

Se propone y se sigue un conjunto de procesos sistemáticos para la realización del proyecto, esto implica tareas de diseño, construcción y pruebas del prototipo propuesto, esto con el propósito de cumplir con los objetivos descritos en este documento, dichas actividades son:

Recolección de información en temas de sistemas de energía alternativa, refrigeración ecológica, aplicaciones con celdas de Peltier y sistemas generadores de agua a partir de la humedad, identificando que se ha realizado, como se ha realizado y que diferencias se encuentran entre los proyectos o trabajos encontrados hasta el momento, a partir de esto se logrará comprender, comparar y evaluar las tecnologías existentes y que contribuyan al proyecto.

Selección de materiales a partir de las diferentes variables a medir, así como los rangos de corriente y voltaje con los cuales se va a trabajar, elección de componentes electrónicos, fuente de alimentación (sistema fotovoltaico) y diseño de prototipos preliminares, su adquisición se realizará a la medida del presupuesto disponible por los estudiantes.

Implementación de sensores y pruebas de prototipos experimentales, se usan sensores de temperatura y un sensor de humedad relativa, el primero para medir dicha variable en la cara fría y la cara caliente de la celda Peltier, el sensor restante se utiliza para medir la humedad ambiente.

Realización de pruebas de selección de prototipo donde por medio de experimentación se revisará cual es la cantidad de celdas de Peltier a usar, la mejor forma de utilizarlas, así como el mejor arreglo posible con el fin de obtener mejor condensación.

Planteamiento del prototipo final a partir de las pruebas de selección anteriores.

Verificación del prototipo propuesto donde se cumpla con los requerimientos propuestos mediante pruebas experimentales.

Construir una estructura Mecánica para albergar el prototipo teniendo en cuenta la adecuación de los

circuitos electrónicos y de alimentación. Diseñar un método de control para mantener las celdas a una temperatura donde se pueda condensar la humedad del aire. Experimentación final del prototipo.

El diseño del prototipo se hará según las consideraciones representadas en el siguiente diagrama.

Principios de diseño del prototipo



Figura 5 Descripción de bloques de funcionamiento

Fuente de Energía: Se considera el primer elemento generador de energía, este es de tipo energía alternativa utilizando paneles solares.

Regulador de Voltaje: Permite regular la carga de voltaje hacia las baterías, así mismo proteger el panel y la batería, amplía la vida útil del sistema de alimentación. También se usa para mantener un suministro adecuado de corriente y voltaje hacia el sistema de control y el arreglo de celdas de Peltier.

Baterías de Almacenamiento: Estas son encargadas del almacenamiento y energización de los sistemas eléctricos y electrónicos, para realizar una buena práctica de implementación de sistemas alternativos de energía es necesario que estas baterías sean de ciclado profundo donde se pueda mantener varios períodos de cargar y descarga, adicionalmente proporcionar una óptima salida de voltaje y una buena corriente para brindar la correcta alimentación a los sistemas.

Acondicionamiento de Señales: Se realiza el ajuste de los sensores para obtener las señales provenientes medio, que son temperatura y humedad por medio de sensores adecuados para cada magnitud.

Sistema de Control: Este bloque se encargará de alimentar adecuadamente durante periodos de tiempo el arreglo de celdas teniendo en cuenta los distintos factores climáticos mediante el uso de un método de control, esto con el fin de utilizar eficazmente la energía generada por el sistema alternativo de energía y poder producir una

cantidad de agua. El control se realizará mediante la tecnología de Microcontrolador programable.

Etapas de Potencia: Esta etapa se encargará de acoplar el controlador con el arreglo de celdas, mediante señales de baja potencia emitidas por el sistema de control se maneja la alimentación del arreglo de celdas utilizando relés.

Arreglo de Celdas: En esta parte se ejecuta la recolección del agua a partir de la condensación de las moléculas presentes en la humedad, el principio de Peltier permite que se tengan varias celdas de este tipo, conectadas conjuntamente para realizar un sistema ecológico. Se debe tener en cuenta la cantidad de celdas, la buena disipación de la parte de calor, como la buena disposición de la cara fría en conjunto con factores ambientales propicios para obtener una cantidad considerable de agua.

Sistema Recolector de agua: Este será el diseño mecánico acoplado a la sección de arreglo de celdas para reunir el agua.

CONCLUSIONES

Se determinan y se pesan los factores de diseño de un dispositivo cuya función sea convertir el vapor de agua contenido en el aire de la atmósfera en agua líquida. Dichos factores se identifican a través de una serie de lecturas, discusiones y experimentos realizados de manera escolar. La selección de las células o celdas de Peltier es ya un factor a considerar debido a la enorme cantidad de opciones que pueden apreciarse en el mercado. Identificar la celda de mayor eficiencia (en nuestro caso la celda TEC12706) es un paso crucial en el diseño de cualquier prototipo con este tipo de propósito.

Las condiciones climáticas del lugar donde se realizan los experimentos afectan ciertamente la cantidad de agua recolectada por unidad de tiempo. Los climas cálidos y húmedos favorecen la condensación del vapor de agua en el interior de la cavidad diseñada con ese objetivo. Sin embargo, en climas secos es posible condensar agua si se cuenta con un alto poder de enfriamiento el cual será posible si se cuenta con un ensamble de celdas de Peltier de amplias dimensiones. Las exigencias técnicas a menudo se ven obstaculizadas por los costes económicos de los componentes electrónicos, lo cual añade una dificultad adicional. En el presente proyecto se utiliza aluminio reciclado para el montaje de una serie de láminas donde la condensación del agua ha lugar.

Asimismo, se utiliza madera reciclada para la estructura mecánica donde se monta el sistema. Dicha estructura es de madera por fuera y de aluminio por dentro, lo cual favorece el aislamiento térmico y preserva a las paredes internas de la corrosión por agua.

Por otra parte, el diseño y construcción de un dispositivo termoeléctrico como el presente resulta ser una fructífera experiencia escolar. La búsqueda de nuevas fuentes de agua es una actividad que se exige desde amplios sectores sociales. El efecto Peltier abre nuevas posibilidades en la construcción de dispositivos generadores de agua líquida a partir del aire de la atmósfera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. M. Konisky, L. Hughes, and C. H. Kaylor, "Extreme weather events and climate change concern," *Climatic Change*, vol. 134, no. 4, pp. 533–547, Feb. 2016. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-015-1555-3>
- [2] J. Li, D. W. Hilbert, T. Parker, and S. Williams, "How do species respond to climate change along an elevation gradient? A case study of the grey-headed robin (*Heteromyias albispectularis*)," *Global Change Biology*, vol. 15, no. 1, pp. 255–267, Jan. 2009. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2008.01737.x>
- [3] P. A. Martínez Cancino, "Análisis del Recambio de Refrigeradores Energéticamente Eficientes como Medida de Eficiencia Energética y Propuestas de Implementación," PhD Thesis, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2010. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103987>
- [4] F. Zink, J. S. Vipperman, and L. A. Schaefer, "Environmental motivation to switch to thermoacoustic refrigeration," *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, no. 2-3, pp. 119–126, Feb. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.07.008>
- [5] J. Mardini-Bovea, G. Torres-Díaz, M. Sabau, E. De-la Hoz-Franco, J. Niño-Moreno, and P. J. Pacheco-Torres, "A review to refrigeration with thermoelectric energy based on the Peltier effect," *DYNA*, vol. 86, no. 208, pp. 9–18, 2019. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72589>
- [6] J. Flipse, F. Bakker, A. Slachter, F. Dejene, and B. Van Wees, "Direct observation of the spin-dependent

Peltier effect,” Nature nanotechnology, vol. 7, no. 3, p. 166, 2012. <https://doi.org/10.1038/nnano.2012.2>

[7] G. Casano and S. Piva, “Experimental investigation of a Peltier cells cooling system for a Switch-Mode Power Supply,” Microelectronics Reliability, vol. 79, pp. 426–432, Dec. 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.microrel.2017.05.042>

[8] Comisión Nacional del Agua. (2019). Situación de los Recursos Hídricos. Recuperado desde <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/situacion-de-los-recursos-hidricos>

[9] Reina, W. & Acosta, J. (2019) Sistema de supervisión y control del prototipo generador de agua a partir de celdas de Peltier (Tesis de Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15593/AcostaRodr%EDguezJairoAntonio2019.pdf;jsessionid=06671AA23DC9CFEC7E76A909875F6011?sequence=1>

[10] Patterson, G., & Sobral, M. (2007). Efecto Peltier. FCEyN, UBA. Recuperado desde <https://materias.df.uba.ar/labo4aa2014c1/files/2012/07/Efecto-Peltier.pdf>