

## Estudio experimental de un cosechador de energía con sistemas de enfriamiento para la selección del módulo termoelectrico con máxima generación de potencia

Ing. Mario Edgardo Vazquez Quintero<sup>1</sup>, M. en I. Andrés Alfonso Andrade Vallejo<sup>2</sup>, Dr. Miguel Ángel Olivares Robles<sup>3</sup>, Dr. Edgar Méndez Lango<sup>4</sup>

**Resumen:** En este trabajo se emplea un cosechador de energía para evaluar experimentalmente el comportamiento de tres sistemas de enfriamiento colocados en el disipador de calor. Con el sistema de enfriamiento óptimo se selecciona el módulo termoelectrico (TEM) que maximice su generación de diferencia de potencial. En la primera etapa de este trabajo se obtienen las temperaturas de operación óptimas para los TEM. Con este propósito se utiliza un arreglo de TEM con tres sistemas de enfriamiento diferentes de su disipador térmico: (A) flujo de aire forzado, (B) flujo de aire natural y (C) flujo natural con la base del disipador sumergida en agua. Con el sistema de enfriamiento (C) en el cosechador, se determina experimentalmente la diferencia de temperatura que con los datos del fabricante, se caracteriza la generación de potencia para 6 TEM diferentes. Se presenta el diseño del cosechador, la evaluación de la eficiencia de enfriamiento en el disipador térmico de los TEM y la evaluación del potencial generado de varios modelos de TEM instalados en el cosechador.

**Palabras clave:** Módulo Termoelectrico, cosechador de energía, enfriamiento de disipador, calor residual.

### Introducción

Los módulos termoelectricos o TEM consisten en un arreglo de semiconductores tipo P y tipo N con diseños dispuestos para favorecer los efectos termoelectricos. Una de las maneras de emplear los TEM es convirtiendo la energía calorifica en energía eléctrica basados en el efecto Seebeck: para lograr este efecto se requiere de una diferencia de temperaturas entre ambas caras.

Entre las ventajas de utilizar los módulos TEM, Bollati (Bollati, 2007) menciona la alta confiabilidad con funcionamiento continuo en todo clima al no tener partes móviles, su mantenimiento es mínimo, larga vida útil de hasta 20 años, mínimo impacto visual y sonoro, costo inicial y operativo comparativamente bajo dentro de cierto rango de temperaturas. Dadas las ventajas y las condiciones de funcionamiento de los TEM, comparados con los sistemas de generación eléctrica convencionales, el desarrollo de estos puede abarcar líneas de investigación variadas (Champier, 2017). Estos enfoques pueden ir relacionados con diseños cada vez más eficientes que favorezcan los efectos termoelectricos (Aguñaga, 2019).

Las líneas de investigación que son de interés en este trabajo son las relacionadas con la obtención de la diferencia temperatura en las caras de los TEM's conseguidas con aprovechamiento del calor residual.

Al revisar el estado del arte dentro de estas líneas de investigación, se encuentran artículos como el de Ziolkowski et al (Ziolkowski, et al., 2018), en el cual propone la aplicación de módulos TEM en la tobera de un avión con motor de reacción. De manera similar Aguiñaga (Aguñaga, 2019), propone un diseño de un sistema de generación termoelectrica acoplado en el sistema de escape de un motor diésel, para aprovechar la energía térmica contenida en los gases de escape. En las aplicaciones antes mencionadas los TEM's son colocados directamente en contacto con los gases calientes producto de la combustión.

Al utilizar los módulos de esta manera, la diferencia de temperatura en los TEM's se ve afectada por la variación en las temperaturas de los gases calientes con respecto al tiempo, con ello se presenta inestabilidad en la generación de potencia eléctrica a través de los TEM's, dificultando su aprovechamiento y/o almacenamiento. Para disminuir estas variaciones existen propuestas como las de Hasan Nia et al (Hasan, et al., 2014) y Ashwin Date et al (Date, et

<sup>1</sup> El Ing. Mario Edgardo Vazquez Quintero es alumno de la Maestría en Ciencias de Ingeniería en Sistemas Energéticos en el Instituto Politécnico Nacional. [mvazquezq1900@alumno.ipn.mx](mailto:mvazquezq1900@alumno.ipn.mx); [maedvaqu@gmail.com](mailto:maedvaqu@gmail.com)

<sup>2</sup> El M. en I. Andrés Alfonso Andrade Vallejo es profesor investigador en el programa de Maestría en Ciencias de Ingeniería en Sistemas Energéticos en el Instituto Politécnico Nacional. [aandradev@ipn.mx](mailto:aandradev@ipn.mx); [ing.andres.andrade@gmail.com](mailto:ing.andres.andrade@gmail.com)

<sup>3</sup> El Dr. Miguel Ángel Olivares Robles recibió el grado de Maestro en Ciencias en Física y el Grado de Doctor en Ciencias en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Iztapalapa); actualmente es Profesor Investigador Titular, definitivo y de tiempo completo en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Culhuacán del IPN. [olivares@ipn.mx](mailto:olivares@ipn.mx) (**autor corresponsal**)

<sup>4</sup> El Dr. Edgar Méndez Lango es profesor en Facultad de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Querétaro y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. [emendez56@gmail.com](mailto:emendez56@gmail.com)

al., 2014), donde la energía cosechada es transportada por un fluido para después ser aprovechada para generar potencia eléctrica por medio de los TEM's. Nia, et al. (Nia, et al., 2014), plantea un sistema en el cual aprovecha la radiación solar concentrada para calentar aceite y transportarlo a un reservorio, en el cuál, está en contacto con el lado caliente de los TEM's, y en el lado frío se hace circular agua que funciona como refrigerante. Lo que produce una diferencia de temperatura en los módulos, generando electricidad y agua caliente. Igualmente, Ashwin Date et al (Date, et al., 2014) utiliza un fluido en un tubo de calor para transferir la energía (obtenida por radiación solar) de la cara fría de los TEM's hacia un reservorio térmico que almacena el calor y a su vez genera agua caliente sanitaria. Estas aplicaciones muestran una manera alternativa de generar la diferencia de temperaturas entre el lado caliente y el lado frío de los TEM, disminuyendo las variaciones propias de las fuentes de calor.

Considerando lo anterior, el cosechador de energía presentado en este trabajo consiste en un intercambiador de calor aleteado que transfiere la energía a un fluido, para ser transportada hacia una batería térmica. Posteriormente, el fluido circula por un intercambiador de calor en el cual están colocados los TEM, obteniendo una diferencia de temperatura con respecto al ambiente con la que producen potencia. En el lado frío de estos se analiza el comportamiento de tres sistemas de enfriamiento: (A) sistema con flujo de aire forzado, (B) flujo de aire natural y (C) el sistema de enfriamiento combinando aire y agua. De los datos experimentales se selecciona el sistema de enfriamiento que genere las máximas diferencias de temperatura en las caras de los TEM. Estas temperaturas se sustituyen en las ecuaciones para caracterizar la diferencia de potencial generada por cada módulo. Las ecuaciones se basan en los modelos comerciales disponibles y a las diferencias de potencial dadas por las curvas características ofrecidas por los fabricantes. A continuación, se describe el método utilizado para analizar los sistemas de enfriamiento y seleccionar el TEM que maximice la generación de potencia del cosechador de energía.

## Desarrollo

### Modelo experimental

En la parte experimental de este trabajo se operó el cosechador de energía de la figura 1, con 3 TEM's modelo TEC1-12706 de la marca Tecneu para la obtención experimental del comportamiento de las diferencias de temperaturas y la generación de diferencia de potencial. Este cosechador se compone de los siguientes elementos:

- A) Un calentador de aire de la marca (Lasko®) con potencia de 1500W. Este calentador es usado para generar los gases calientes.
- B) Un intercambiador de calor de tubo aleteado. El cual transfiere el calor al líquido que circula por el sistema.
- C) Sistema de chimenea en el que circulan los gases calientes.
- D) Batería térmica. Consiste en un depósito hecho de material diatérmico en el que se almacena el líquido caliente (agua) para almacenar la energía.
- E) Una bomba sumergible de 4.5W que hace circular el líquido en el cosechador.
- F) Intercambiador de calor que consiste en dos placas de aluminio maquinadas y selladas de manera que entre ellas circule el fluido caliente del reservorio térmico, cubierta con un material diatérmico.
- G) Arreglo de TEM que consiste en 3 TEC1-12706 conectados en serie cuyo lado caliente se coloca sobre el intercambiador de calor. Para reducir la resistencia térmica por contacto se colocó grasa disipadora con una conductividad térmica de 1.22 W/mK en ambas caras de los TEM.
- H) Sistema de enfriamiento de los TEM's; el cual consta de un disipador de calor de aletas colocado en un depósito de aluminio de 0.1 mm de espesor y de dimensiones de largo, ancho y profundidad de 13.5, 10 y 1.5 cm respectivamente.

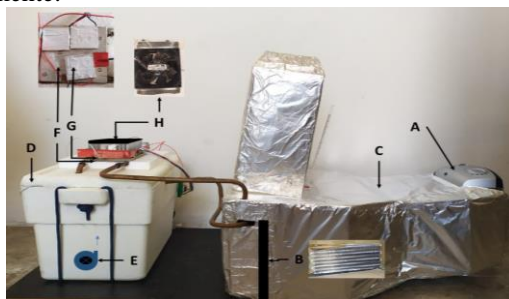


Figura 1. Cosechador de energía residual para la generación de potencia eléctrica vía TEM.

- A. Calentador de aire; B. Intercambiador aleteado; C. Sistema de chimenea D. Batería térmica; E. Bomba sumergible;  
F. Intercambiador de calor; G. Arreglo de TEM; H. Sistema de enfriamiento.

### Sistemas de Enfriamiento del Disipador

El estudio experimental consistió en analizar tres sistemas de enfriamiento sobre el arreglo de los TEM's en un cosechador de energía. Dichos sistemas se mencionan a continuación y se muestra en la figura 2.

- (A) Flujo de aire forzado: un ventilador de 12V proporciona un flujo forzado perpendicular a la superficie del disipador.
- (B) Flujo de aire natural: el enfriamiento es por convección natural con el ambiente.
- (C) Combinado aire-líquido. Flujo de aire natural con la base del disipador sumergida en líquido: el enfriamiento del disipador se realizó colocando 80 mL de agua en el depósito cubriendo la base del disipador, dejando que el intercambio de calor se realice de manera conjunta con las aletas y el agua formando un sistema combinado de enfriamiento.

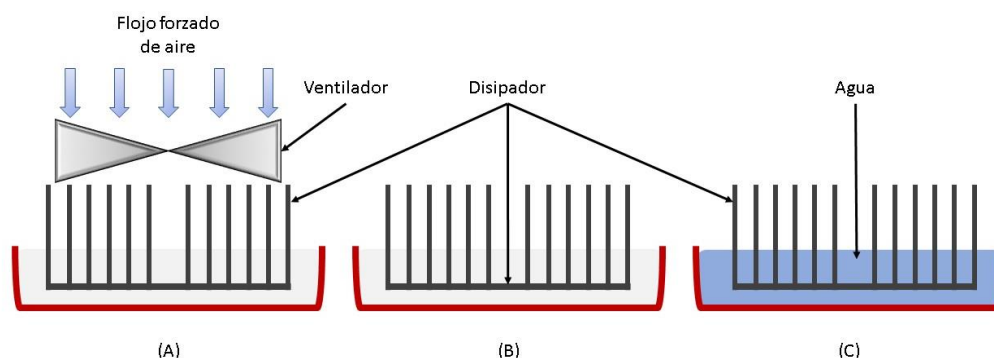


Figura 2. Sistemas de enfriamiento analizados.  
 (A)Flujo de aire forzado; (B)Flujo de aire natural;(C) Combinado aire-líquido.

### Desarrollo experimental

Las corridas experimentales se repitieron en 5 días diferentes con una duración de 6 horas con 30 minutos cada una, manteniendo una velocidad de los gases calientes de 3.5 m/s y un caudal en la bomba de 0.053L/s. Las condiciones experimentales se muestran en diagrama de la figura 3.

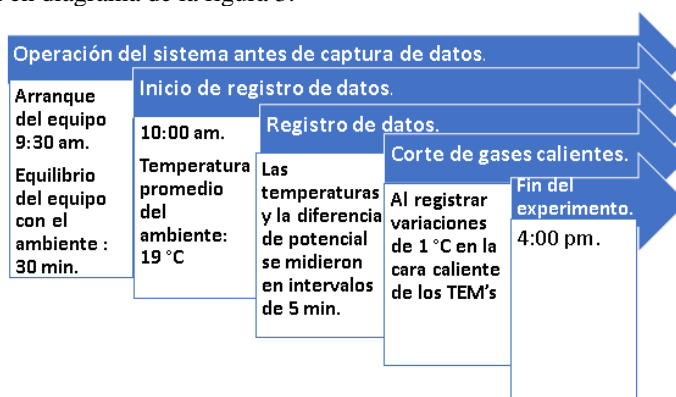


Figura 3. Esquema de condiciones experimentales y operación del modelo.

Las mediciones de temperatura se realizaron con termómetros digitales Steren® (TER-150) y AVALI®, un termómetro ASTROAI® (DT210D) y un SAMA de mercurio. En el caso del lado frío de los TEM, por condiciones propias del diseño del modelo, se midió la temperatura en la base del disipador de calor. Para la medición de la diferencia de potencial generada se utilizó un multímetro digital Steren® (MUL-100) conectado en los extremos positivo y negativo correspondiente del arreglo en serie de los TEM. Asimismo, se midió la velocidad del aire caliente con un anemómetro de la marca BENETECH (GM816). El caudal entregado por la bomba sumergible se calculó con el cociente del volumen desplazado (1L) y el tiempo que tarda el sistema en desplazarlo.

Las diferencias de temperaturas obtenidas en el cosechador están relacionadas con la temperatura del ambiente ( $T_{amb}$ ), como se muestra a continuación:

La diferencia de temperatura del lado caliente de los TEM,  $\Delta T_{tecH}$ , está definida por la ecuación 1:

$$\Delta T_{tecH} = T_{tecH} - T_{amb} \quad (1)$$

donde  $T_{tecH}$  es la temperatura del lado caliente de los TEM

La diferencia de temperatura del lado frío de los TEM,  $\Delta T_{tecC}$ , está definida por la ecuación 2:

$$\Delta T_{tecC} = T_{tecC} - T_{amb} \quad (2)$$

donde  $T_{tecC}$  es la temperatura del lado frío de los TEM

La diferencia de temperatura de los gases calientes de escape,  $\Delta T_{ge}$ , está dada por la ecuación 3:

$$\Delta T_{ge} = T_{ge} - T_{amb} \quad (3)$$

donde  $T_{ge}$  es la temperatura de los gases calientes de escape.

La diferencia de temperatura del fluido en el reservorio térmico,  $\Delta T_f$ , está dada por la ecuación 4:

$$\Delta T_f = T_f - T_{amb} \quad (4)$$

donde  $T_f$  es la temperatura del agua que circula por todo el sistema, medida en la batería térmica.

Para la diferencia de temperatura ( $\Delta T_{tem}$ ) que se sustituye en la ecuación característica de cada TEM, se define en la ecuación 5:

$$\Delta T_{tem} = T_{tecH} - T_{tecC} \quad (5)$$

A continuación, se muestra el método para obtener las ecuaciones que caracterizan la generación de potencia y la selección del TEM.

#### Descripción del método de selección de TEM

Como se mencionó anteriormente, la selección de los TEM's se realiza basada en los modelos comerciales disponibles y a los voltajes dados por las curvas características. Las especificaciones de los modelos TEM's que se analizan en este trabajo se obtuvieron de las hojas de datos proporcionadas por los fabricantes; estas se muestran en la tabla 1.

MODELO DE TEM	MARCA Y FUENTE	TEM. DE LADO CALIENTE [°C]	TEM. DE LADO FRÍO [°C]	DIFERENCIA DE POTENCIAL A CIRCUITO ABIERTO [V]	RESISTENCIA DE CARGA COMBINADA [OHM]	DIFERENCIA DE POTENCIAL DE SALIDA EN CARGA COMBINADA [V]	CORRIENTE DE SALIDA EN CARGA COMBINADA [A]
<b>TEG1-4199-5.3</b>	(TECTEG MFR) [https://shorturl.at/jwIJY]	300	30	13.4	5.7	6.7	1.12
<b>TE MOD 5W5V 40S</b>	(TEGproTM) [https://shorturl.at/fwxA V]	300	30	10.8	5.4	5.4	1.0
<b>TEG SP1848-27145</b>	Generic (Nagaraj & Kumar, 2019)	150	15	4.8	-	-	0.6
<b>TEG1-PB-12611-6.0</b>	(TECTEG MFR) [https://shorturl.at/jwIJY]	350	30	9.2	0.97	4.6	4.7
<b>TE MOD 1W2V 40S</b>	(TEGproTM) [https://shorturl.at/fwxA V]	100	20	4.0	3.25	2.6	0.8
<b>HZ-14</b>	Hi-Z [https://cutt.ly/DhOd53u]	230	30	3.5	0.15	1.65	0.15

Tabla 1. Especificaciones de TEM's.

Con las curvas características y los datos ofrecidos por el fabricante de cada TEM, en este trabajo se realiza una regresión polinómica utilizando curvas con un coeficiente de determinación superior a 0.99, para obtener la ecuación característica de la diferencia de potencial generada con cada TEM en función de la  $\Delta T_{tem}$ . Las ecuaciones se muestran en la tabla 2 con su respectivo coeficiente de determinación.

MODELO DE TEM	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R <sup>2</sup> )	ECUACIÓN CARACTERÍSTICA
TEG1-4199-5.3	0.999	$V = -4x10^{-5}(\Delta T_{tem})^2 + 0.0622(\Delta T_{tem}) - 0.0572$
TE MOD 5W5V 40S	0.999	$V = -4x10^{-5}(\Delta T_{tem})^2 + 0.0499(\Delta T_{tem}) + 0.0813$
TEG SP1848-27145	0.998	$V = 4x10^{-6}(\Delta T_{tem})^3 - 0.0004(\Delta T_{tem})^2 + 0.0549(\Delta T_{tem}) + 0.0089$
TEG1-PB-12611-6.0	0.999	$V = 1x10^{-5}(\Delta T_{tem})^2 + 0.0239(\Delta T_{tem}) + 0.1588$
TE MOD 1W2V 40S	1	$V = 0.025(\Delta T_{tem})$
HZ-14	0.999	$V = -4x10^{-6}(\Delta T_{tem})^2 + 0.01(\Delta T_{tem}) + 0.0005$

Tabla 2. Ecuaciones características de cada TEM.

Donde V es la diferencia de potencial generada.

### Pruebas y resultados

#### Análisis de sistemas de enfriamiento

En la figura 4 se puede observar el comportamiento de la diferencia de temperatura de la cara caliente ( $\Delta T_{teCH}$ ) de los TEM, de los gases de desecho ( $\Delta T_{ge}$ ) y del fluido de transporte de calor ( $\Delta T_f$ ) con respecto al ambiente.

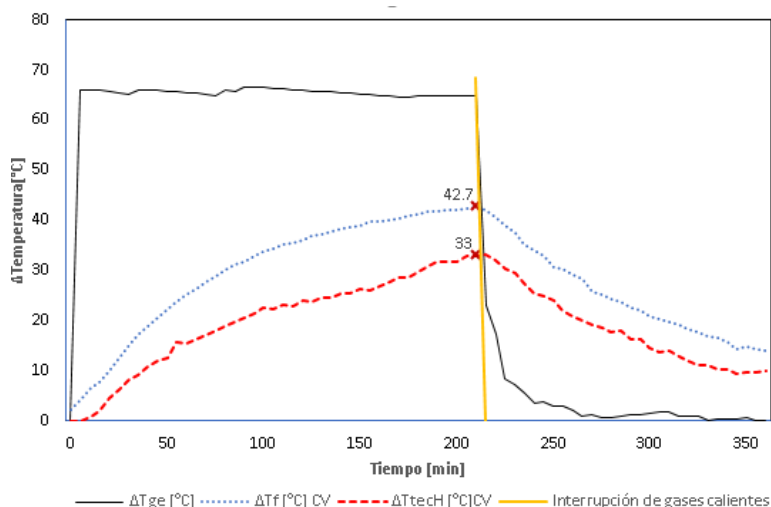


Figura 4. Diferencia de temperaturas en el cosechador.

En la figura 4 se observa que después de cortar los gases calientes, la  $\Delta T_{teCH}$  se mantiene alrededor de los 32 °C a una razón de cambio con respecto al tiempo constante durante 20 min. Asimismo, la  $\Delta T_{teCH}$  se mantiene constante durante 10 minutos después de que la temperatura del fluido en la batería térmica descienda. De manera que, aun después de suspender el flujo de los gases calientes existe una diferencia de temperatura en los TEM que continúan generando diferencia de potencial. Este comportamiento es debido a que el agua en el reservorio mantiene una diferencia de temperaturas uniforme y funciona como respaldo térmico. Con esto se genera una diferencia de potencial más estable en ciclos determinados de trabajo, en comparación, cuando se colocan los módulos en contacto directo con los gases calientes.

Asimismo, se observa que la diferencia de temperaturas en el lado caliente de los TEM no es exactamente igual a la del fluido, teniendo una diferencia máxima de 5.2°C, esto es resultado de las pérdidas de calor del sistema. Sin embargo, conforme el tiempo avanza después de suspender los gases de escape, la temperatura del lado caliente de los TEM se acerca hasta llegar a una diferencia de 2.2°C.

En la figura 5 se puede observar las temperaturas del lado frío de los TEM para cada uno de los casos de estudio.

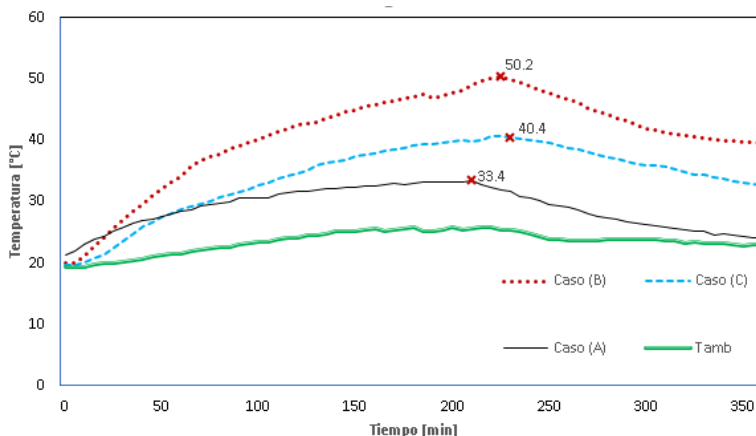


Figura 5. Temperaturas en el lado frío de los TEM's para los tres casos de estudio de enfriamiento: (A)Flujo de aire forzado; (B)Flujo de aire natural;(C) Combinado aire-líquido.

Para el caso (C) la temperatura máxima es de 40.4 °C, mientras que, para el (A) y (B), las temperaturas fueron de 33.4 °C y 50.2 ° respectivamente. Con el caso (C) se consigue una máxima  $\Delta T_{tecC}=14.5^{\circ}\text{C}$ , lo que representa el 59.6% la  $\Delta T_{tecC}=24.3^{\circ}\text{C}$  del caso (B). Este resultado implica que el sistema (C) mejora el enfriamiento del lado frío de los TEM en comparación al de un flujo natural. Como era de esperarse, el caso (A) se acerca más a la temperatura ambiente, llegando a una  $\Delta T_{tecC}=7.5^{\circ}\text{C}$  esta representa una disminución del 51.7% comparada con la máxima  $\Delta T_{tecC}$  alcanzada en el caso (C). Cabe mencionar que este sistema consigue mantener una temperatura máxima uniforme. Sin embargo, se debe de considerar que para lograr estas condiciones es necesario utilizar un ventilador de 12 V, el cual consume una potencia eléctrica de 6.48 Watts.

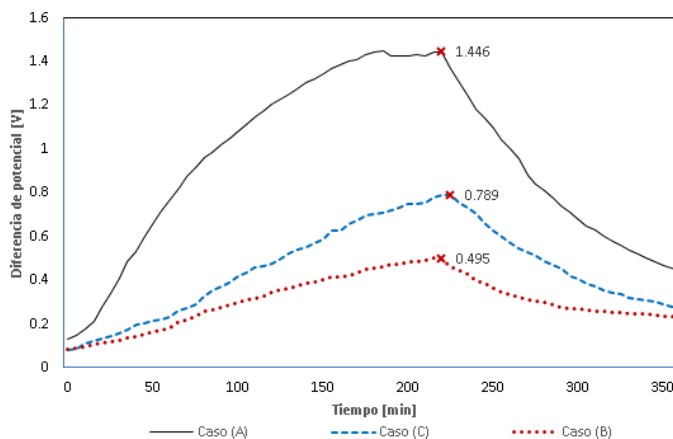


Figura 6. Diferencia de potencial generada con el arreglo de TEM's en cada caso de sistema de enfriamiento: (A)Flujo de aire forzado; (B)Flujo de aire natural;(C) Combinado aire-líquido.

En la figura 6 se presenta el comportamiento experimental de la diferencia de potencial generada con respecto al tiempo para el arreglo de los TEM en los tres casos de estudio. El sistema (C) presenta un aumento en el voltaje máximo generado de 59.4% comparado con el caso (B), pero disminuye 45.4% comparado con el caso (A). Sin embargo, el voltaje en el caso (C), a diferencia de los casos (A) y (B), presenta menos variaciones con respecto al tiempo después de cortar los gases calientes.

Selección de módulo termoelectrico

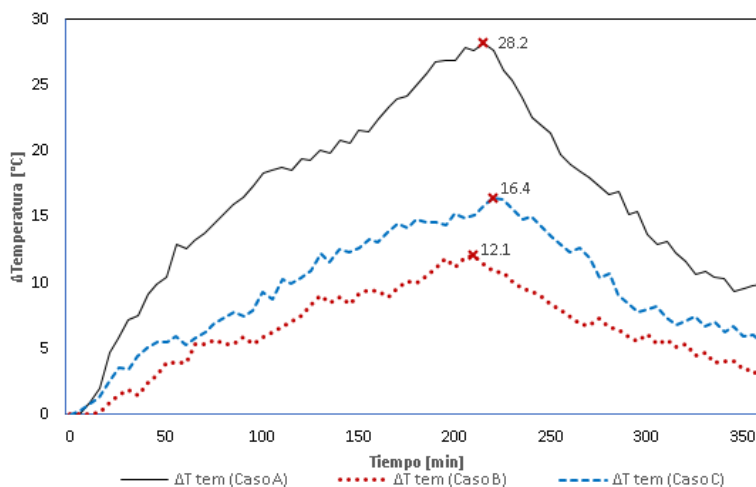


Figura 7. Diferencia de temperatura en las caras de los TEM's.  
 (A)Flujo de aire forzado; (B)Flujo de aire natural;(C) Combinado aire-líquido.

En la figura 7 se puede observar que la  $\Delta T_{tem}$  en las caras de los TEM, se va incrementando gradualmente incluso 15 minutos después de haber cortado los gases calientes (minuto 210), después de este instante comienza a descender de manera gradual. El sistema de enfriamiento que genera la máxima  $\Delta T_{tem}$  es con flujo forzado (caso (A)), llegando a un máximo de 28.2°C. Dado que el TEM que maximice la generación de voltaje en el cosechador, depende de la  $\Delta T_{tem}$ , los datos experimentales que se utilizaran son los del caso (A).

Para caracterizar el comportamiento de los TEM's se utiliza las ecuaciones mostradas en la tabla 2, sustituyendo las diferencias de temperaturas obtenidas experimentalmente (figura 7). De esta manera se obtiene una aproximación del comportamiento de la diferencia de potencial generada por cada TEM. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 8.

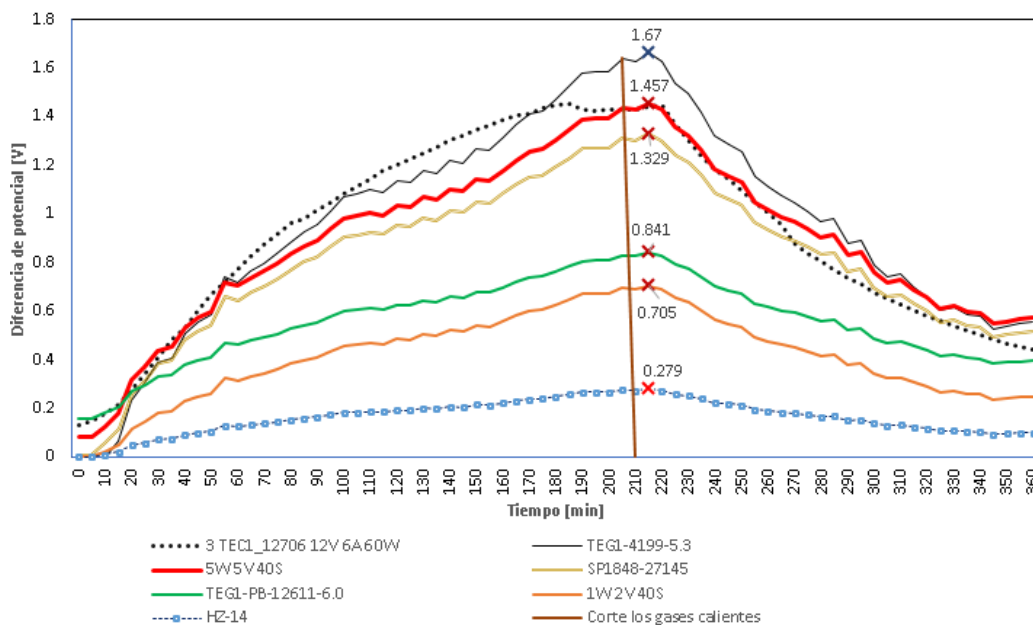


Figura 8. Diferencia de potencial evaluado con la diferencia de temperaturas experimentales en las caras de los TEM ( $\Delta T_{tem}$ ).

El comportamiento cualitativo de las curvas en la figura 8 es similar. Al inicio se tiene un incremento gradual en la generación de voltaje hasta el minuto 225 (15 min después de suspender el flujo de los gases calientes), después la producción de voltaje comienza a descender gradualmente.



Es preciso considerar que en el cosechador de energía concerniente en este trabajo se tienen colocados 3 TEM's modelo TEC1-12706 que generan la diferencia de potencial que se muestra en la línea punteada de la figura 8, este voltaje se compara con el generado por cada TEM presentado en la tabla 1.

Con respecto a los TEM's, se puede observar que los modelos que producen mayor diferencia de potencial son: TEG1-4199-5.3 y TE MOD 5W5V 40S con aumento en la diferencia de potencial máxima de 15.5 % y 0.76 % respectivamente, comparado con el arreglo de 3 TEM's modelo TEC1-12706. En cambio, los modelos, TEG SP1848-27145, TEG1-PB-12611-6.0, TE MOD 1W2V 40S y HZ-14 están por debajo de este voltaje máximo, disminuyendo un 8 %, 41.8 %, 51 % y 80.7 % respectivamente.

### Conclusiones

Los resultados indican que el método utilizado en este trabajo puede servir como guía para realizar la selección de un TEM que maximice la diferencia de potencial generada en un cosechador de energía, en función de las temperaturas obtenidas en condiciones reales de operación con el sistema de enfriamiento óptimo.

La  $\Delta T_{tec}$  máxima alcanzada por el lado frío de los TEM en el caso (A) es 51.7% y 30.8% las  $\Delta T_{tec}$  de los casos (B) y (C) respectivamente. El sistema de enfriamiento que genera las máximas diferencias de temperaturas en las caras de los TEM es el de flujo forzado, pero requiere consumo de energía. Con el sistema combinado del caso (C) se mejora el enfriamiento del lado frío de los TEM en comparación al de un flujo natural (caso (B)) en un 48.9%, sin necesidad de consumir energía, aumentando la potencia útil de los TEM en el cosechador de energía.

En el caso (C), al agregar agua se distribuye el calor en un área mayor con respecto a la disponible en los TEM, incrementando la transferencia de calor por convección.

Con los módulos TEG1-4199-5.3 y TE MOD 5W5V 40S, la diferencia de potencial máxima generada comparadas con el arreglo de TEC1-12706, aumenta un 15.5% y 0.76%, respectivamente; con lo que, se maximiza la producción de potencia con las temperaturas obtenidas del cosechador de energía.

Al comparar la diferencia de potencial máxima generada del arreglo de TEC1-12706, con respecto al de los módulos TEG1-4199-5.3 y TE MOD 5W5V 40S, estos aumentan en un 15.5% y 0.76%, respectivamente. Con lo que, se maximiza la producción de potencia en el cosechador de energía.

Finalmente, al comparar la diferencia de potencial generada del arreglo de TEC1-12706 con los modelos TE MOD 1W2V 40S y HZ-14, este disminuye, 51 % y 80.7 %, respectivamente. Por lo que, la selección del módulo termoelectrico no solo depende del rango de las temperaturas en las que puede operar, si no también, se debe considerar las diferencias de temperaturas reales de operación. Mejorando el aprovechamiento del calor residual para la producción de potencial con TEM's.

Así también, los resultados de este estudio muestran que se puede trabajar en mejorar los sistemas de enfriamiento, al combinar superficies extendidas con fluidos. A futuro, se podrían aplicar combinaciones de superficies extendidas con materiales con cambio de fase.

En este estudio se empleó agua como fluido de transporte de calor en la batería térmica, lo cual limito la temperatura máxima que se podía alcanzar. Se podría replicar el estudio empleando un fluido cuya temperatura de ebullición sea mayor que la del agua; y así, mejorar la cosecha de energía para la producción de potencial con los TEM's.

### Referencias

- Aguñaga, R. E. A., 2019. Diseño y evaluación de la eficiencia de un sistema de generación termoelectrica acoplado en el sistema de escape de un motor diésel. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Bollati, E., 2007. Generadores termoelectricos Generación de energía sin partes móviles.. Petrotecnia., pp. 84-90..
- Champier, D., 2017. Thermoelectric generators: A review of applications. Energy Conversion and Management, Volumen 140, pp. 167-181.
- Date, A., Date, A., Dixon, C. & Akbarzadeh, A., 2014. Theoretical and experimental study on heat pipe cooled. Solar Energy, Volumen 105, pp. 656-668.
- Hasan, N. M. y otros, 2014. Cogeneration solar system using thermoelectric module and fresnel lens. Energy Conversion and Management, Volumen 84, p. 305-310.
- Hi-Z Technology, s.f. HZ-14 Thermoelectric Module. [En línea]  
Available at: <https://hi-z.com/product/hz-14-thermoelectric-module/>  
[Último acceso: 22 Junio 2020].
- Nagaraj, N. N. & Kumar, S. L., 2019. Electrical Energy Harvesting Using Thermo Electric Generator for Rural Communities in India. International Journal of Energy and Power Engineering, 13(10).
- Nia, M. H. y otros, 2014. Cogeneration solar system using thermoelectric module and fresnel lens. Energy Conversion and Management, Volumen 84, p. 305-310.



- TECTEG MFR, s.f. TEG Power Modules. [En línea]  
Available at: <https://tecteg.com/product/teg1-4199-5-3/>  
[Último acceso: 06 Junio 2020].
- TEGproTM, s.f. TEGMART. [En línea]  
Available at: <https://www.tegmart.com/thermoelectric-modules/>  
[Último acceso: 22 Junio 2020].
- Ziolkowski, P., Zabrocki, K. & Müller, E., 2018. TEG Design for Waste Heat Recovery at an Aviation Jet Engine Nozzle..  
Applied Sciences, 8(12).

### Notas Biográficas

Ing. Mario Edgardo Vazquez Quintero es alumno de último año en la Maestría en Ciencias de Ingeniería en Sistemas Energéticos en el Instituto Politécnico Nacional. Egresado de la carrera de ingeniería mecánica en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) con especialización en proyecto mecánico. Su tesis de maestría es sobre módulos termoeléctricos aplicados en el área de cosechamiento de energía a partir de gases residuales.

M. en I. Andrés Alfonso Andrade Vallejo recibió el grado de Ingeniero Mecánico Eléctrico y Maestro en Ingeniería en Energía egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesor del programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería en Sistemas Energéticos en el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME Culhuacán).

El Dr. Miguel Ángel Olivares Robles recibió el grado de Maestro en Ciencias en Física y el Grado de Doctor en Ciencias en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Iztapalapa), actualmente es Profesor Investigador Titular, definitivo y de tiempo completo en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Culhuacán del IPN y pertenece al sistema nacional de investigadores..

El Dr. Edgar Méndez Lango, es profesor en Facultad de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Querétaro y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.