

# 21

**DISEÑO DE UN  
SISTEMA ELECTRÓNICO  
PARA AMPLIFICACIÓN  
Y ENFRIAMIENTO DEL  
DETECTOR DE UN  
RADIÓMETRO ÓPTICO**

# Diseño de un sistema electrónico para amplificación y enfriamiento del detector de un radiómetro óptico

*J. O. Aguilar<sup>1</sup>, R. Castrejón-García<sup>2</sup> y O. A. Jaramillo<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort Col. Del Bosque. C.P. 77019 Chetumal, Quintana Roo, México Tel:(983) 8350300 ext. 224.*

*<sup>2</sup>Dirección de Desarrollo Tecnológico, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Luis Enrique Erro # 1, Tonantzintla, Puebla, 72840, México.*

*<sup>3</sup>Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, Temixco, Morelos 62580, Mexico.*

## 1. Introducción

En el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México, se ha estado utilizando un radiómetro unidireccional de amplio espectro de radiación y de lectura directa [1] para determinar el flujo radiativo de diferentes cuerpos y superficies a alta temperatura, así como el valor de variables radiativas como la emisividad y la transmitividad. El instrumento ha funcionado razonablemente bien, sin embargo, se ha encontrado que la temperatura a la que se encuentra el detector influye en la ex-

actitud de las mediciones que se realizan con el radiómetro. Por otra parte, se van a incorporar nuevos circuitos para amplificar con una mejor resolución y fidelidad la señal proporcionada por el detector.

Por las razones expuestas anteriormente, en el marco de un proyecto [2] se ha planteado como objetivo el desarrollo de un nuevo radiómetro óptico con mejores prestaciones, con el fin de apoyar las investigaciones relacionadas con la colección, uso y aprovechamiento de la energía solar. El radiómetro de nueva generación, tendrá entre sus innovaciones un sistema de enfriamiento para mantener el

detector termopila a una temperatura constante ligeramente inferior a la temperatura ambiente. De esta forma, el error en las lecturas de flujo radiativo del nuevo radiómetro, causadas por variaciones en la temperatura del detector podrá ser eliminado; como consecuencia de ello, el nuevo radiómetro tendrá una mejor estabilidad y una mayor precisión.

El enfriamiento del detector, se llevará a cabo con un dispositivo termoeléctrico conocido como celda Peltier, la cual consiste en la unión de dos metales distintos, de tal forma que si se hace pasar una corriente eléctrica a través de dicha unión, se establece una diferencia de temperatura  $\Delta T$  entre los dos metales. Si uno de los metales, por mencionar, el que esté más caliente, se serena artificialmente, entonces el metal que está frío se temple aún más para seguir manteniendo esa  $\Delta T$ . Para lograr el enfriamiento del detector del radiómetro, el lado frío de la celda Peltier estará en contacto con el detector, mientras que el lado caliente estará en contacto con un disipador, que disipará el calor al aire ambiente.

El control de la temperatura del detector lo realizará un sistema electrónico que suministrará la corriente necesaria a la celda Peltier para mantener al detector a una temperatura constante.

## 2. Desarrollo

En la **Figura 1.** se muestra el circuito electrónico del radiómetro antiguo. El circuito se puede dividir en dos partes principales. Estas son: la de la rectificación de señal de 120 VCA y la de amplificación de la señal. La parte de rectificación de señal tiene dos salidas de  $\pm 4.5$  Vdc para alimentar el convertidor analógico digital (CAD) y la pantalla; y otra para alimentar los amplificadores operacionales (OpAmps), que se utilizan en el acondicionamiento de la señal del detector, que es el componente encargado de sensar la energía radiada por el objeto a medir. El acondicionamiento de señal se realiza

a través de un arreglo de amplificadores operacionales colocados en cascada, empezando por un amplificador diferencial. El offset debe ser capaz de producir una f.e.m artificial equivalente a la radiación

ambiental producida por los cuerpos a temperatura ambiente (incluyendo el cuerpo del radiómetro y termopila misma). Puede ser offset interno, o externo mediante una derivación de las fuentes de 4.5V.

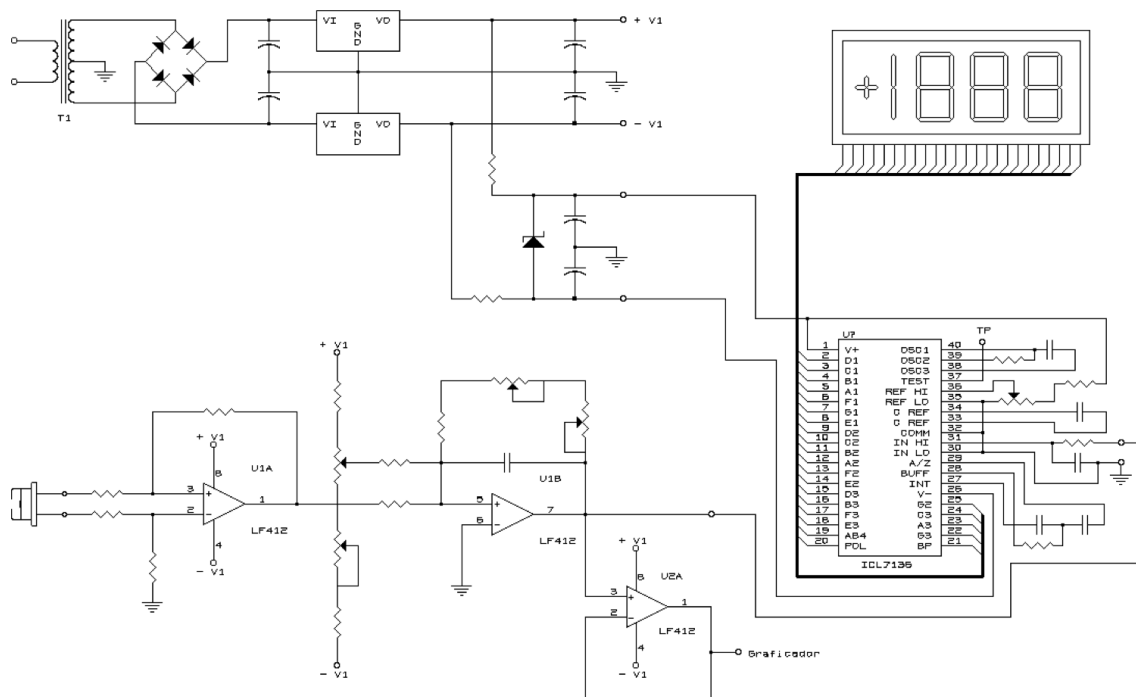


Figura 1. Sistema electrónico del radiómetro antiguo.

### 3. Circuito de rectificación

El circuito de rectificación de señal fue reproducido en Multisim-13, pero se encontraron dificultades al simular la

regulación utilizando los diodos Zener. Al simular el circuito propuesto, no había regulación por parte de los diodos, por lo que fue corregido utilizando reguladores variables de voltaje (LM317 para +V y LM337 para -V). Para

obtener una salida de  $\pm 15$  Vdc y mantener los 4.5 VCD habrá que cambiar los reguladores LM7812 y LM7912 por LM7815 y LM7915 respectivamente, modificando también las resistencias de salida de los reguladores variables por  $290 \Omega$  en positivo y  $210 \Omega$  en negativo (se mantienen las de  $750 \Omega$  y  $550 \Omega$ ).

Se propone no utilizar la salida de 12 VCD, pues al utilizar los amplificadores LM324, éstos pueden ser alimentados por los mismos 4.5 VCD que utiliza el CAD. Al hacer esto se podría reducir costos de diseño, pues se reduce

la cantidad de componentes a utilizar. Estos amplificadores tienen un rango variable de alimentación proporcionando estabilidad en sus características de amplificación a pesar de los cambios. Los valores de los capacitores fueron elegidos a través de las hojas de datos de los reguladores de voltaje. Se añadieron dos capacitores para reducir el voltaje de rizo a la salida del puente de diodos que funciona como rectificador. Las resistencias en los reguladores variables son las encargadas de definir el voltaje regulado de salida. El cual está dado por la siguiente fórmula:

$$V_{out} = 1.25 V_{ref} \left( 1 + \frac{R_3}{R_4} \right) + i_{load} R_3$$

A continuación, se muestra en la **Figura 2** el nuevo circuito de rectificación que incluye únicamente las salidas de 4.5 VCD, tanto la positiva como la negativa.

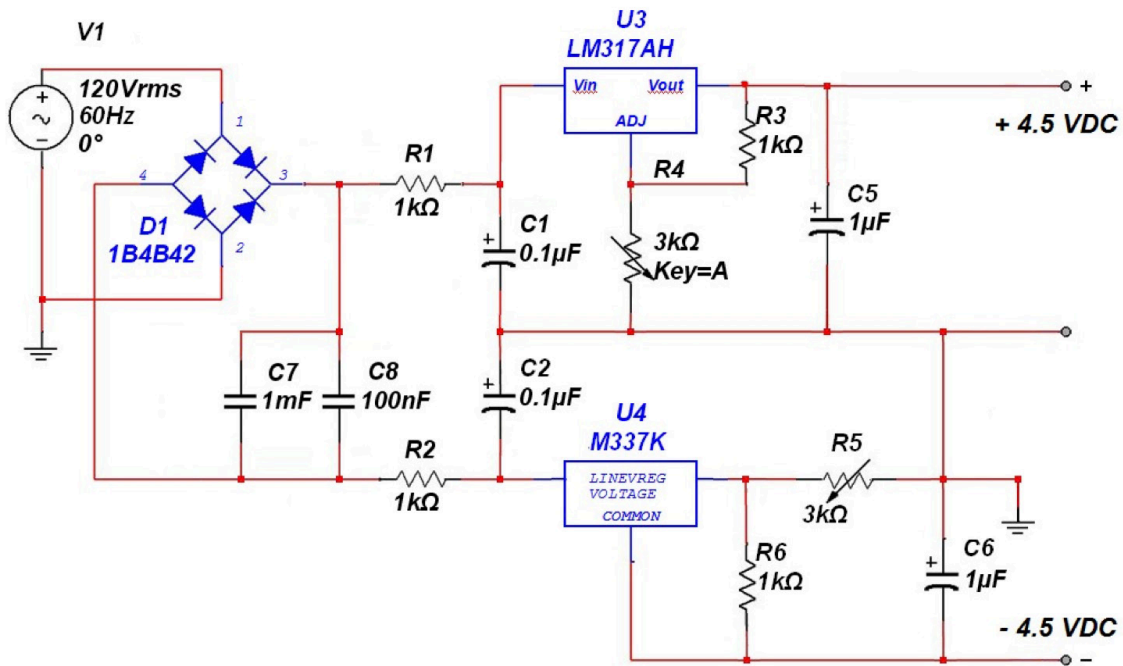


Figura 2. Circuito de rectificación y regulación propuesto, incluyendo únicamente las salidas de  $\pm 4.5$  Vdc.

#### 4. Circuito de Acondicionamiento de la señal del detector

Al realizar la simulación del circuito de acondicionamiento de señal, se encontró que funciona mejor para señales en el rango de los mili-volts. Al utilizar micro-volts como señal de entrada, el cir-

cuito presentaba un comportamiento inadecuado, entregando voltajes negativos a la salida del circuito y mostrando un mayor error en la medición. Los mejores resultados fueron obtenidos utilizando resistencias de 20k en la entrada del amplificador diferencial. Uno de los cambios propuestos en este diseño es la utilización de amplificadores

operacionales que permitan ser alimentados con diferentes fuentes de voltaje, sin perder su estabilidad. El amplificador propuesto es el LM324, pues puede ser alimentado de  $\pm 1.5$  a  $\pm 16$  Vdc y funciona sin problemas, además de presentar las mismas características de amplificación que el LM741. Esto nos permite utilizar los  $\pm 4.5$  VCD que requiere el CAD. A su vez, el circuito de rectificación de señal tendrá solamente dos salidas en lugar de 4, simplificando el circuito y reduciendo su costo

como se ha dicho anteriormente. La **Figura 3**. presenta la simulación del circuito de acondicionamiento de señal. Se añadieron algunas resistencias a tierra en las retroalimentaciones del segundo y tercer OpAmps para su mejor funcionamiento. Además, se definieron las entradas, siendo que se desea que la retroalimentación sea negativa, se utilizó la entrada positiva como unión con la etapa anterior de amplificación en todos los casos.

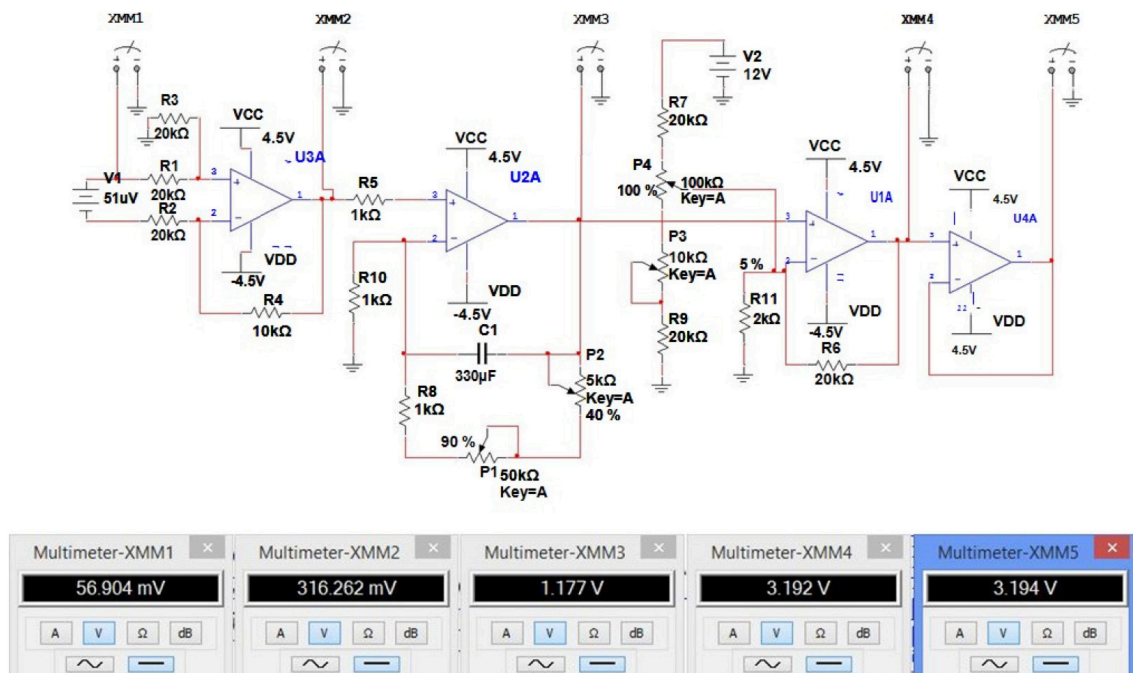
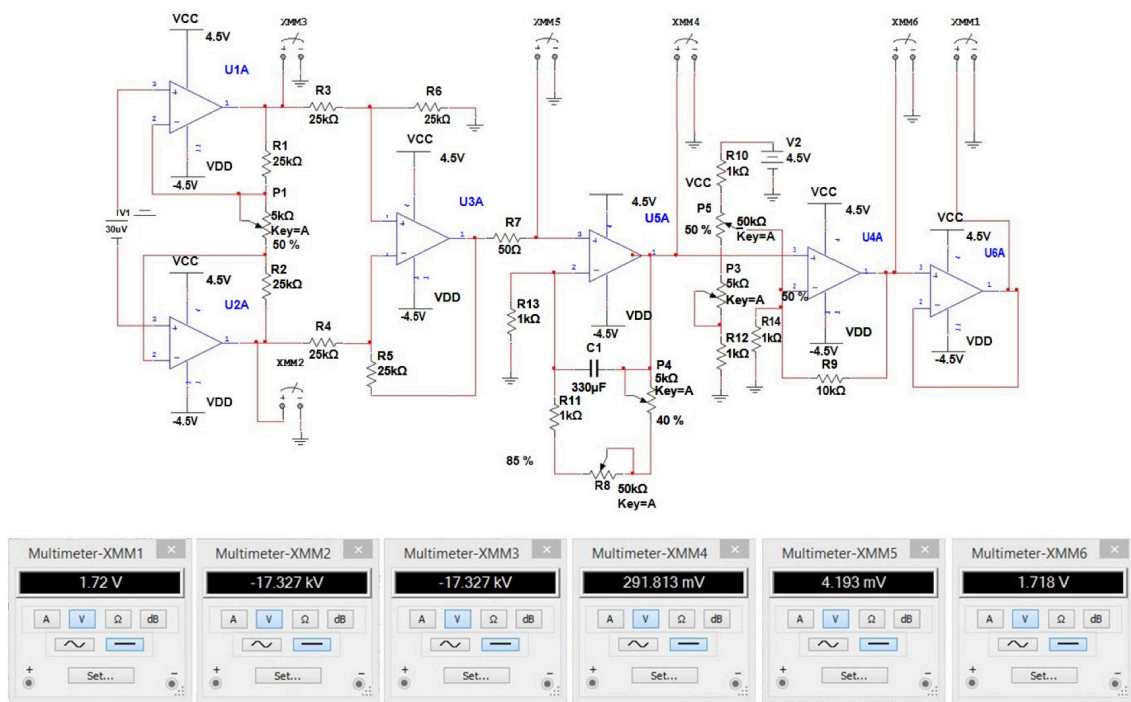


Figura 3. Simulación del acondicionamiento de señal del radiómetro.

En la **Figura 3**. se demuestra cómo puede tener un funcionamiento apropiado este circuito de acondicionamiento de señal. A través de pruebas se observó cómo, mientras más baja la señal de entrada, mayor es el error que presenta el circuito. Por esta razón, se propone utilizar un amplificador de instrumentación en lugar del amplificador diferencial. Con ello, se le da mayor sensibilidad al am-

plificador diferencial, un generador de instrumentación compuesto por dos amplificadores y un arreglo de resistencias a la entrada de un amplificador diferencial, como el que se muestra a continuación. En la **Figura 4**. se presenta la adición del amplificador de instrumentación al circuito de acondicionamiento de señal, alimentado por las salidas de  $\pm 4.5$  VCD del circuito de rectificación.



**Figura 4.** Amplificador de instrumentación a la entrada del circuito de acondicionamiento de señal.

Este amplificador de instrumentación puede encontrarse como circuito integrado en las pastillas AD8426 e INA114, así como en muchas otras. Estas presentan diferentes voltajes de offset, así como diferentes características de amplificación. Generalmente, como único componente externo a la pastilla, uno puede controlar la ganancia agregando el potenciómetro que se encuentra entre R1 y R2 en la **Figura 5**. Las resistencias de 25 k $\Omega$  fueron seleccionadas con base en los circuitos internos de los amplificadores antes mencionados.

## 5. Circuito de Enfriamiento del detector

Para el circuito de enfriamiento se requiere la utilización de una celda Peltier, la cual estará en contacto con la termopila para poder mantenerla a una temperatura estable y asegurar su funcionamiento adecuado. La utilización de un micro-controlador no es deseable debido a la gran cantidad de componentes que utiliza (memoria, reloj, etc.).

La alternativa es entonces, utilizar un circuito para controlar la dirección de la corriente que se suministra a la celda Peltier. La dirección de la corriente es la que determina si el lado de la celda que se utiliza se va a calentar o a enfriar. Una de las soluciones encontradas es un circuito integrado que tiene como propósito específico el control de la temperatura de dichas celdas, conocido como Controlador de enfriador termoeléctrico, por sus siglas en inglés TEC. Uno de ellos es el LTC1923, el cual, con la utilización de un termistor, permite mantener una temperatura estable de la celda. Una de sus aplicaciones típicas, ejemplificadas en su hoja de datos, es en el control de temperatura de diodos láser. El problema con este circuito es que también presenta una gran cantidad de componentes externos. Una solución alternativa es el circuito integrado MAX1978, el cual permite establecer la temperatura de la celda a través de un potenciómetro o un CDA (lo que no está especificado en el caso del LTC1923), y requiere además una menor cantidad de componentes. Este circuito es mostrado en la **Figura 5**.

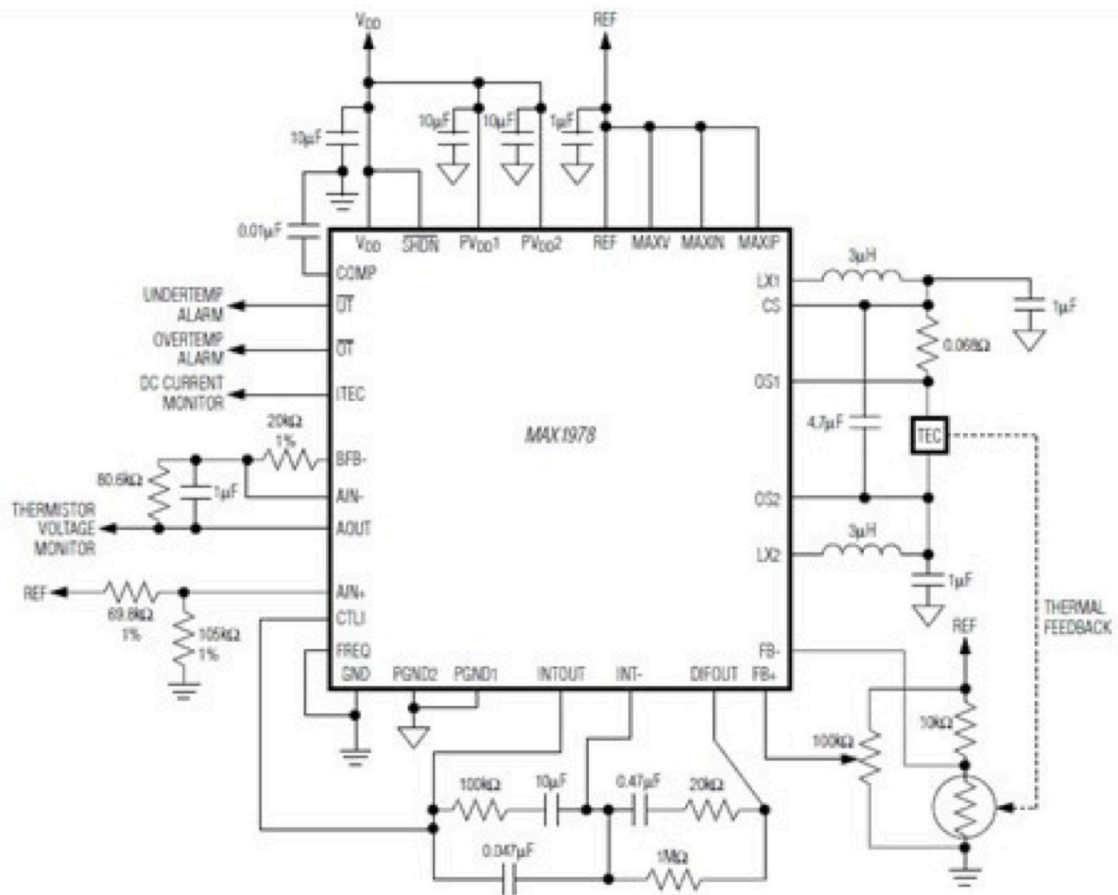


Figura 5. Controlador TEC MAX1978, configurado para enfriamiento y calentamiento mediante celda Peltier.

Para la utilización de este controlador se propone, además, el uso de una termopila en la cual, en su mismo encapsulado, se contenga un termistor. Como es el caso de la familia de componentes MLX90247, de Melexis, que cuentan con un termistor tipo PTC. Esto permitirá un acceso directo a los componentes sensibles al calor de la termopila, dón-

onos una lectura más precisa de la temperatura en la termopila. Además, en la hoja de datos es posible encontrar un circuito de aplicación. El sensor y la termopila se pueden utilizar de manera independiente si esto es deseado. Aportando versatilidad al probar el funcionamiento de cada uno de los componentes. El encapsulado cuenta con 4 pines, dos para

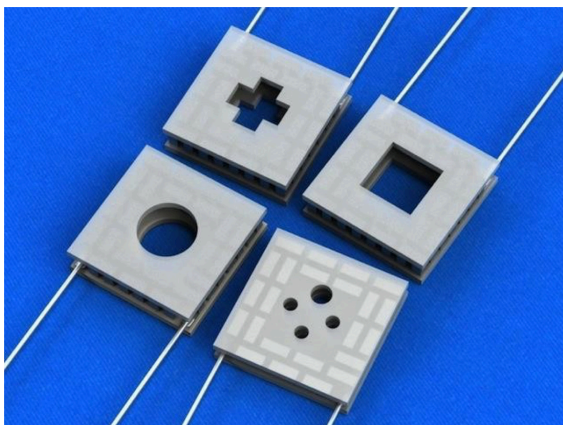
la termopila y dos para el termistor. La termopila tiene un voltaje de salida que circunda los  $50 \mu\text{V}$  ( $\pm 25\%$ ). Se deberá tomar en cuenta que el voltaje de salida será positivo siempre y cuando el objeto a medir esté a una temperatura más alta que el sensor. De lo contrario el voltaje será negativo. Esto puede requerir la utilización de un amplificador diferencial que acepte voltajes tanto positivos como negativos. Una solución propuesta se encuentra en la hoja de datos de este componente. Aquí también se propone la utilización de ciertos amplificadores para acondicionar la señal de salida. Debido a que el nuevo radiómetro va a utilizar una termopila con un tipo específico de encapsulado, se propone la utilización de celdas Peltier con perforaciones, para permitir la salida de sus conexiones y a su vez lograr un mayor contacto con la termopila y, por lo tanto, mayor efectividad en el control de su temperatura. Dichas celdas se pueden encontrar a través del distribuidor TEC

Microsystems, el cual cuenta con una gran variedad de componentes con diferentes perforaciones para ser utilizados en una gran gama de productos. En la sección *Thermoelectric coolers with holes*, se puede apreciar la flexibilidad de sus componentes, con opciones para encapsulados específicos o para encapsulados con un rango variable de tamaños, como se muestra en la **Figura 6**.

Un aspecto a considerar en estas celdas es la disipación de calor. Mientras un lado de la celda enfría, el otro lado genera una magnitud considerablemente mayor de calor. Por esta razón la utilización de disipadores de calor (en conjunto con un ventilador y otros materiales con propiedades de conducción térmica) puede ser necesaria. Otro podría ser la condensación generada en la celda, ya que estas pueden llegar a enfriar a temperaturas inferiores a la temperatura ambiente. La presencia de agua en los componentes puede ser un gran problema.

## 6. Conclusiones

Se lograron simular los circuitos propuestos en un simulador basado en SPICE llamado Multisim, de Texas Instruments. Además, se propusieron cambios que podrán brindar mayor precisión y una menor cantidad de componentes en los diferentes circuitos. Para el circuito de enfriamiento se encontró una pastilla de Maxim Integrated, que proporciona una forma de controlar la celda Peltier. Utilizando una termopila con un termistor integrado se puede lograr una mayor precisión en la temperatura y un diseño más sencillo del circuito. A través de esta investigación, se ha logrado una comprensión del proyecto y una modernización del circuito, que servirá de base para el desarrollo de un producto de vanguardia.



*Figura 6. Celdas Peltier con perforaciones de TEC Microsystems*

## REFERENCIAS

- [1] Castrejón-García, R., Radiómetro Unidireccional de Amplio Espectro de Radiación y de Lectura Directa, Título de Patente de Invención Número 196176, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, 2000.
- [2] Jaramillo Salgado, O. A., Proyecto PAPIIT, Instituto de Energías Renovables, UNAM, 2014.

