

APLICACIÓN: NANOCOMPUESTO DE GRAFENO PARA MEJORA DE LA CADENA DE FRÍO EN EL TRANSPORTE DE VACUNAS

 JORGE MARIO PATIÑO ACEVEDO¹
HERNÁN FRANCISCO VILLAR VEGA²
RAMIRO ANTONIO ISAZA ESCOBAR³
SERGIO ALFREDO MATTA LÓPEZ⁴

RESUMEN

Las vacunas son productos biológicos que se deben conservar entre 2° y 8 °C, de lo contrario van perdiendo acción hasta llegar a inactividad total. Buscando mejorar la vida útil de las vacunas cuando requieran transportarse a lugares apartados, se ha propuesto utilizar un sistema móvil de refrigeración monitoreada (SMRM) que usa un nanocompuesto de matriz polimérica reforzado con grafeno. Esto mejora la velocidad de enfriamiento o calentamiento en dispositivos eléctricos, electrónicos y térmicos. Dicha mejora pretende asegurar que las vacunas transportadas en el SMRM tengan menor exposición a temperaturas por fuera de las especificadas, permitiendo que el producto tenga mayor eficacia que el transportado con sistemas comerciales. Finalmente, al lograr una velocidad de enfriamiento de 1,54 (°C/min) y un consumo energético de 6,67 W/h, se evidencia una mejora importante, que comparándolos con el sistema comercial genera el equivalente a 200 % mayor velocidad de enfriamiento y 41 % menor consumo energético.

PALABRAS CLAVE: transporte de vacunas, grafeno, eficiencia energética, nanocompuesto, cadena de frío, refrigeración termoelectrónica.

APPLICATION: GRAPHENE NANOCOMPOSITE FOR IMPROVEMENT OF VACCINE TRANSPORT COLD CHAIN

ABSTRACT

Vaccines are biological products that must be kept between 2° and 8° C, if not, they are losing effectiveness to the point of total inactivity. Searching for enhance useful life of vaccine when required to be transported to remote locations, it has been proposed to use a mobile monitored cooling system (SMRM, for its Spanish acronym) using a graphene reinforced polymer nanocomposite. Latter, improve cooling or heating speed of thermal, electric and electronic devices. Such improvement aims to ensure SMRM's transported vaccine has a lesser exposure to outer specified temperatures, allowing a higher efficiency than transported with commercial systems. Finally, when achieved a cooling rate of 1.54

¹ Ingeniero de Materiales. Materiales Asertivos, Medellín, Colombia

² Ingeniero Electrónico, Especialización en Telecomunicaciones, Especialización en Gerencia de Proyectos. Red Tecnoparque SENA, Medellín, Colombia

³ Ingeniero Mecánico, Diseño Industrial, Especialización en Diseño Mecánico. Red Tecnoparque SENA, Medellín, Colombia

⁴ Ingeniero Informático, Especialización en Gerencia MBA. Red Tecnoparque SENA, Medellín, Colombia

 *Autor de correspondencia: Patiño Acevedo, J.M. (Jorge Mario):*
Materiales Asertivos, Calle 48 A # 30 - 16, Medellín - Colombia, Código Postal 050016. Tel.: (574) 269 15 89 / Correo electrónico: jmpatino@masertivos.co

Historia del artículo:
Artículo recibido: 22-X-2015 / Aprobado: 17-III-2016
Disponibile online: mayo 30 de 2016
Discusión abierta hasta mayo de 2017

(°C/min) and energy consumption of 6.67 W/h, a significant improvement was remarkable, that compared to commercial system yields 200% higher cooling rate and 41% less energy consumption.

KEYWORDS: Vaccine Transport, Graphene, Energy Efficiency, Nanocomposite, Cold Chain, Thermoelectric Cooling.

APLICAÇÃO: NANO COMPÓSITOS DE GRAFENO PARA A MELHORA DA CADEIA DE FRIO NO TRANSPORTE VACINAS

RESUMO

As vacinas são produtos biológicos que devem ser conservados entre 2° e 8° C, se não, elas vão perdendo a eficácia ao ponto de inatividade total. Procurando realçar a vida útil da vacina quando precisem ser transportadas para locais remotos, se tem feito uma proposta de utilização de um sistema móvel de refrigeração monitorizado (SMRM), (por sua sigla em castelhano) que utiliza um nano-compósito de matriz polimérica reforçado com grafeno. Isto melhora a velocidade da refrigeração ou aquecimento dos dispositivos elétricos, eletrônicos e térmicos. Tal melhoria visa assegurar que as vacinas transportadas no SMRM tenham menor exposição a temperaturas aparte das especificadas, permitindo que o produto tenha uma maior eficiência que o transportado com sistemas comerciais. Finalmente, quando alcançou uma velocidade de refrigeração de 1,54 (°C/min) e um consumo de energia de 6,67 W/h, se observa uma melhora significativa, que em comparação com o sistema comercial produz a equivalência a 200% maior velocidade refrigeração e 41% menos consumo de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte De Vacinas, Grafeno, Eficiência Energética, Nanocompósito, Cadeia Do Frio, Resfriamento Termoelétrico.

1. INTRODUCCIÓN

El grafeno de pocas capas (FLG, por su sigla en inglés) un nanomaterial bidimensional (2-D) en forma de lámina, que tiene un espesor que va desde la monocapa de 1,8 nm hasta el FLG entre 3,7 a ~20 nm el cual, tras su aislamiento mecánico en 2004 por los físicos rusos Andre Geim y Konstantine Novoselov (Geim *et al.*, 2004; Geim & Novoselov, 2007), se ha convertido en objeto de numerosas investigaciones, patentes y aplicaciones en áreas como la medicina, la bioingeniería, la electrónica y hasta los deportes. Adicionalmente, se comienza a aplicar en almacenamiento de energía, en automóviles, en la industria aeroespacial y en aparatos eléctricos y electrónicos. Las aplicaciones más prometedoras usando grafeno son las ya desarrolladas y por desarrollar en electrónica de radio frecuencia, pantallas planas, celdas fotovoltaicas, electrodos conductores transparentes, conductores de alta densidad de corriente, fotodetectores, moduladores de luz, termoeléctricos, sensores térmicos y materiales de interface térmica (Geim & Novoselov, 2007; Choi & Lee, 2012; Avouris & Dimitrakopoulos, 2012; y Shahil & Balandin, 2012). Esta gran acogida no es más que el producto de las características únicas que ofrece este

nanomaterial como el hecho de tener un solape nulo entre capas conducción eléctrica para el caso grafeno monocapa (Choi & Lee, 2012; Avouris & Dimitrakopoulos, 2012; y Valencia, 2011), el cual permite un movimiento de los electrones y fonones de una manera diferente a los materiales tridimensionales (Geim, *et al.*, 2004; Fisher, 2013; y Balandin & Nika, 2012). Lo anterior lo hace mucho mejor conductor eléctrico y del calor que la plata, el oro y el cobre. Además, registra una resistencia 200 veces mayor que la del acero (Valencia, 2011), es resistente a la corrosión, estable física y químicamente a condiciones ambientales normales, soporta temperaturas de más de 1000 grados Celsius y muy por debajo de cero Celsius sin alterar sus propiedades.

Es tal la acogida que este nanomaterial 2-D ha tenido, que en la Unión Europea, Norteamérica y el oriente han invertido, en tan solo 5 años, más de 1000 millones de euros para la investigación y desarrollo relacionado con este material. Solo en Europa, la Comisión de ese continente designó en 2013 y a 10 años la suma equivalente a 100 millones de euros anuales en un programa llamado la Iniciativa del Grafeno o, como se conoce en inglés «Graphene Flagship», con el fin de

llevar el grafeno del laboratorio al mercado (Johnson, 2013). Los países con mayor número de patentes relacionadas con el grafeno en el período de 2010 a 2014 son China y Corea, con un crecimiento en el mismo período del 802 % con respecto al registro mundial de patentes relacionadas con el grafeno (UK Intellectual Property Office Informatics Team, 2015).

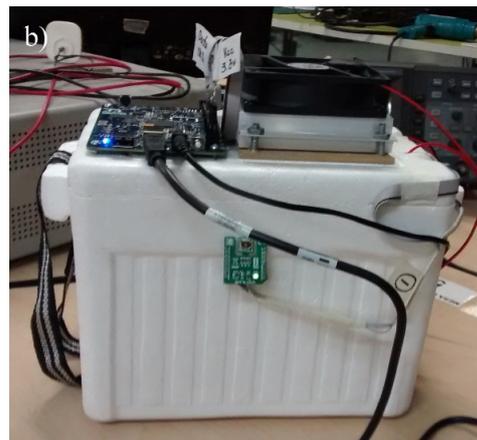
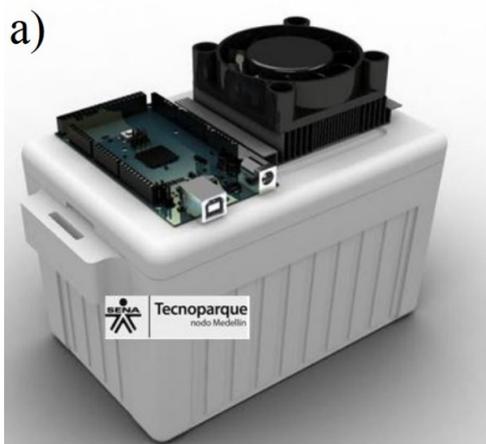
La gran mayoría de las investigaciones realizadas corresponden a métodos de fabricación del grafeno y a aplicaciones en electrónica y fotónica. Varias requieren del uso de grafeno por sí solo o como refuerzo en un material compuesto, el cual se conoce como nanocompuesto. Este último se denomina así por contener dentro de una matriz de material soporte, ya sea metal, cerámico o polímero, uno o más materiales diferentes a la matriz con la característica de estar en tamaño nanométrico. Estos nanocompuestos, son fabricados con técnicas que permiten una dispersión homogénea o arreglada de las láminas, filamentos o partículas en tamaño nanométrico, dentro de la matriz de soporte seleccionada (Salavagione & Martinez, 2011). Para el caso de este artículo, se estudia la aplicación de un nanocompuesto de matriz polimérica reforzado con nanopartículas de FLG, en la mejora de la cadena de frío durante el transporte de vacunas, medicamentos u otros productos termolábiles.

El transporte y el manejo adecuado de las vacunas y/o medicamentos es de total importancia para proteger la sanidad agropecuaria en Colombia, que es administrada el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Dicho

organismo busca, por medio de leyes y normas, coordinar, supervisar y evaluar las acciones que mejoran la competitividad, evitan pérdidas económicas y perjuicios a la salud humana, restringen la comercialización de animales o sus productos y promueven la prevención y control de enfermedades animales mediante la selección y control de vacunas y medicamentos óptimos (ICA, s.f.).

Seguidamente, se conoce que las vacunas son productos que se deben mantener en un rango de temperatura entre 2° y 8 °C, de no ser así, van perdiendo efectividad hasta llegar al punto de una total inactividad (Ministerio de Salud. Dirección General de Promoción y Prevención, 1999). El ICA y otras entidades señalan que este es un punto crítico para el cuidado de las vacunas y que las condiciones de transporte y conservación deben ser mantenidas (Ministerio de Salud, *op. cit.*; ICA, 2003; y Muñoz & Lorenzana, 1990). Con el fin de aumentar la competitividad del sector agropecuario es necesario llevar estos medicamentos hasta lugares remotos y de difícil acceso como es la mayor parte del territorio colombiano. Para esto se diseñó y se fabricó el prototipo de un SMRM para el sector agropecuario fácil de llevar, con un peso que no supera los 3 kg y un volumen de carga de 5 litros. Luego, para disminuir al máximo el tamaño y el peso del sistema se requería que el consumo de energía fuese el mínimo posible, para prescindir del número de baterías requeridas para que el sistema funcione con una autonomía de mínima 12 horas.

Figura 1. Sistema Móvil de Refrigeración Monitoreada en diseño (a) y en prototipo acondicionado para pruebas de consumo energético (b).



Dadas las circunstancias, y al utilizar un nanocompuesto como material de interface térmica (MIT) base grafeno (Patino, 2013), en los puntos críticos de transferencia de calor se pretende mejorar la velocidad de enfriamiento y directamente el consumo energético del sistema para mantener la temperatura en el rango deseado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La concepción del diseño y fabricación del prototipo del SMRM se gestó por parte del equipo de líderes de las líneas de electrónica y telecomunicaciones, tecnologías virtuales e ingeniería y diseño de la Red Tecnoparque - SENA nodo Medellín, en las instalaciones de la misma. Tecnoparque, como se conoce, es una entidad pública adscrita al SENA que se encarga de acelerar proyectos de investigación, acompañar el desarrollo y apoyar la innovación. El diseño y fabricación del MIT con base en grafeno fue producido en el laboratorio de MAsertivos (Patino, 2013), empresa del sector privado que se dedica a la investigación, desarrollo e innovación en el área de los materiales para la conducción de calor y energía. El prototipo de SMRM (**Figura 1**) cumple la tarea como banco de pruebas para la simulación de las condiciones de transporte lo más cercanas posible a la realidad. Los equipos de cómputo y de laboratorio en Tecnoparque, fueron los utilizados para determinar los valores de energía, temperatura y tiempo. El MIT se aplicó en los puntos críticos de transferencia de calor del SMRM. A continuación se presentan las características y componentes del sistema, los equipos y el compuesto.

2.1. Sistema Móvil de Refrigeración Monitoreada

Este sistema consta de una serie de componentes seleccionados para cumplir con la función de tener en un equipo compacto y fácil de transportar: espacio de almacenamiento, refrigeración, suministro de energía, control de energía, toma de datos e interpretación y almacenamiento de datos para consulta. Para fines de precisión en las mediciones de consumo energético, se cambió el componente de suministro de energía por una fuente de poder de laboratorio. Además, se retira el control de energía y el componente de interpretación y almacenamiento de datos para consulta, todo esto con el fin de minimizar el número de variables a tener en

cuenta al momento de la toma de datos temperatura y cálculo de consumos. A continuación se detallan los componentes utilizados.

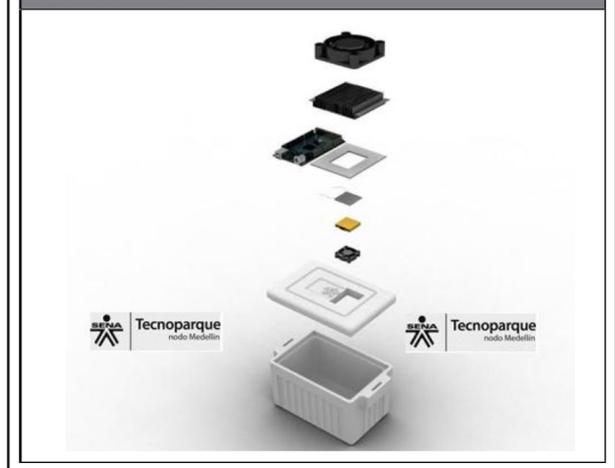
Gabinete. Es la estructura tipo nevera portátil con capacidad de contenido de 5 litros, fabricada en poliestireno expandido. Sirvió como soporte y acoplamiento de las diferentes unidades que componen el sistema completo, también como compartimento para el almacenamiento de los productos a refrigerar y como zona de medición de las temperaturas de almacenamiento.

Sistema de Refrigeración. Es un kit de refrigeración termoeléctrica con una celda Peltier de 6 A, con medidas 40 mm x 40 mm x 3,5 mm referencia TEC1-12706, la cual requiere 12 V de suministro eléctrico y con un poder de refrigeración Q_c máx. de 50 a 60 W. El kit contiene, además, el radiador de refrigeración con ventilador de 40 mm x 40 mm y radiador de calefacción con ventilador de 90 mm x 90 mm, ver **Figura 2**.

Sistema de Adquisición de Datos. Tarjeta microcontroladora Arduino Due AT91SAM3X8E programable, equipada con dos sensores de temperatura y humedad relativa. Salida USB para interpretación de datos. Entrada de poder que requiere 12 V.

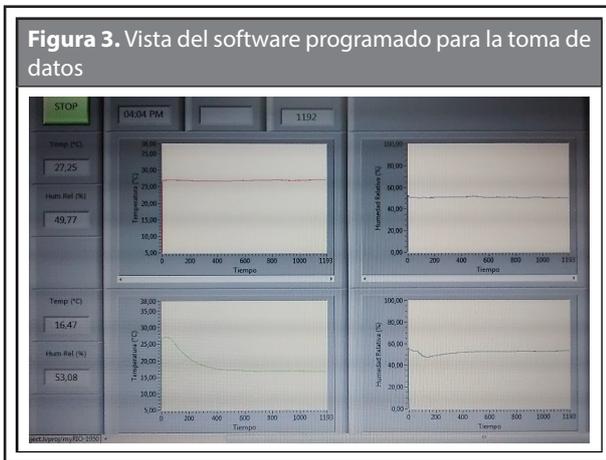
Un sistema móvil de refrigeración comercial TKC Cooler-box TK0340T77GJELCO, se usó también para pruebas netamente de referenciación, ya que este sistema carece de la portabilidad y el monitoreo a la cadena de frío necesarios para los fines últimos de la investigación.

Figura 2. Explosionado del SMRM que muestra el detalle de las piezas del gabinete, kit de refrigeración y la tarjeta microcontroladora.



2.2. Equipo de interpretación de datos

Se trata de un computador personal con entrada USB donde se conecta el sistema de adquisición de datos. Este equipo tiene instalado el *software* LabVIEW MyRIO 2014, el cual permite programar la microcontroladora Arduino Due, capturar las señales que emiten los sensores acoplados y graficar en el tiempo los datos obtenidos. El *software* reconoce e instala el Arduino de manera automática y abre una *interface* de programación de los campos disponibles que tiene, se seleccionan los que están ocupados por los sensores y se definen las variables, que en este caso son temperatura y humedad relativa. Se programó para que tomara datos en ciclos de 1,6 segundos y durante 34 minutos o 1270 ciclos. En la **Figura 3** se muestra un pantallazo del *software* a medida que registra los datos del Arduino.



2.3. Fuente de poder

La fuente de laboratorio para suministro de corriente directa Gw Instek GPC-30300 se utilizó para suministrar al sistema de refrigeración una corriente que fuera medible y controlada en todo momento, esto gracias a que esta tiene unas pantallas donde se registra el consumo de corriente de los artefactos que tenga conectados. Se programa para que entregue 3 amperios al sistema de refrigeración y 0,25 A a los ventiladores. En la **Figura 4** podemos ver esta fuente configurada.



2.4. Material de interface térmica

Se seleccionan dos geles disipadores diferentes, el primero es el gel comercial de mayor utilización de marca HC-151 Heatsink Compound en presentación de 30 g. El nanocompuesto de grafeno para disipación de calor, es un gel con matriz de polímero PDS, reforzado con nano plaquetas de FLG y otros materiales cerámicos (Patino, 2013), que permite un eficiente flujo de calor entre las superficies de contacto generadoras y disipadoras de calor o frío. Este último está especialmente formulado para que no conduzca la electricidad y evitar corto circuitos indeseados en los componentes electrónicos, su marca es Fres-1 y viene en presentación de 9 gramos. En la **Figura 5** se observa el gel térmico.



2.5. Procedimiento

Se tomó el SMRM con los componentes que se eligieron para el presente estudio (numerales 2.1.1 al 2.1.3.), los cuales fueron previamente verificados en su funcionamiento e instalados. Como el sistema de adquisición de datos tiene dos sensores acoplados, se puso uno de éstos dentro del gabinete en un lugar definido y apartado de la salida de frío del sistema de refrigeración, el otro sensor se puso por fuera para medir la temperatura y humedad exterior durante la prueba, pero solo como dato de referencia. El sistema de refrigeración termoeléctrico es el que se modificó en los puntos críticos de transferencia de calor y frío, con el fin de medir su afectación en el consumo energético al cambiar de MIT por la capacidad que tuviesen para transferir el calor y el frío. Por esto, se debe facilitar su montaje y desmontaje para cada prueba sin comprometer el entorno al interior del gabinete con fugas de frío.

Para la primera prueba se ensambla el sistema de refrigeración al gabinete sin ningún compuesto aplicado, en este caso el MIT es el aire, la prueba se realiza con una repetitividad de 3. Se inicia el software de interpretación de datos, luego se conecta el sistema de adquisición de datos y el sistema de refrigeración a la fuente de poder con las corrientes establecidas (numeral 2.3). Seguidamente se arranca la toma de datos en el equipo de interpretación, una vez se completan los ciclos establecidos (1270 ciclos) se detiene la prueba y se exportan los datos obtenidos a una hoja de cálculo y se grafican. En la segunda prueba, se desmonta el sistema de refrigeración y se aplica una capa de 0,5 mm de espesor del MIT comercial en las dos caras de acción de la celda Peltier, es decir en el lado de enfriamiento y en el lado de calentamiento. Se ensambla de nuevo el sistema de refrigeración al gabinete, se cierra el gabinete y se comienza la segunda prueba con los mismos pasos que la primera prueba. Para la tercera prueba se procede de igual manera que en la segunda solo que aplicando el nanocompuesto de grafeno. Es importante anotar que se debe esperar entre prueba y prueba a que la temperatura en el interior del gabinete sea la misma que en el exterior.

Una cuarta prueba es realizada con un sistema móvil de refrigeración diferente al desarrollado por el equipo investigador, y sin alterarlo en su parte física. Para poder realizar la prueba de referencia con el equipo

comercial, se pusieron los sensores del sistema de adquisición de datos dentro del gabinete de éste sistema, se puso a funcionar y se inició a la vez la interpretación y extracción de datos.

Las limitaciones que tiene el método desarrollado particularmente para esta investigación, está en los siguientes puntos: El apriete de los tornillos de ensamble del sistema de refrigeración al gabinete, puede alterar el área de contacto de transferencia térmica entre la celda Peltier y el disipador de calor y/o frío. Dando como resultado variaciones en las velocidades de enfriamiento entre cada prueba. Para contrarrestar en lo mayor posible este efecto, el apriete se hizo por la misma persona en las 9 pruebas realizadas, además si alguna prueba mostró valores con una desviación considerable de las otras dos repeticiones, se descartó esta y se repitió una vez más. Otra limitación del método está en que se debe iniciar cada prueba a una misma temperatura o muy parecida. Ya que ciertos materiales, en especial los del nanocompuesto, tienen un punto de percolación (Sadasiyuni, et al., 2015) (Lin, et al., 2014) en el cual se altera su conductividad térmica a medida que cambia la temperatura.

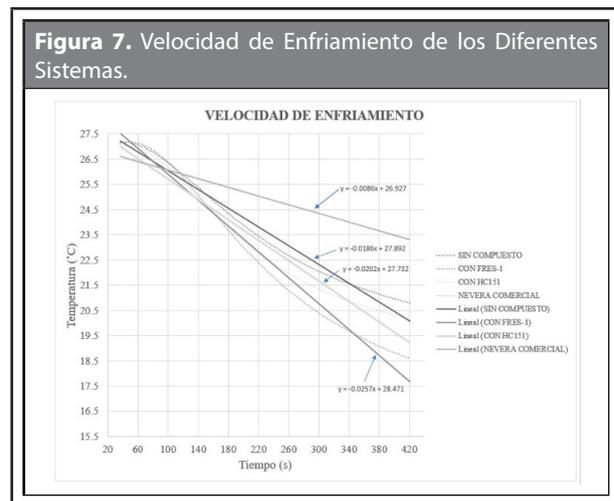
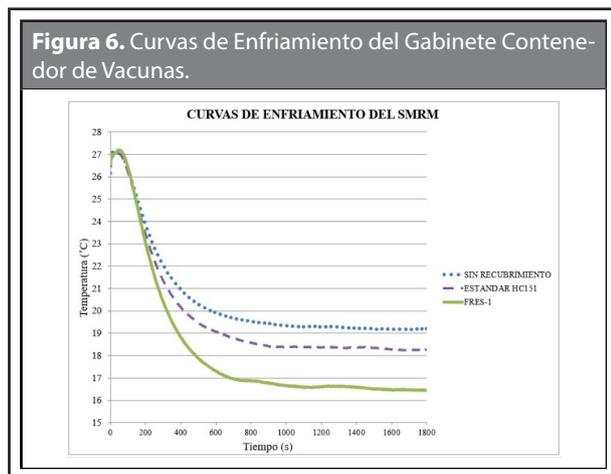
3. RESULTADOS

Montaje del SMRM. Dimitir de los componentes de suministro, almacenamiento y control de energía cumplió con el cometido de simplificar el control de las variables y se pudo obtener una reproducibilidad de las pruebas, cuando más adelante se quiso ensayar con un MIT diferente a los reportados en este artículo. Las fuentes de poder de laboratorio tienen igualmente una buena reproducibilidad de las condiciones de ensayo al poder tener un registro visual de la corriente que consume el sistema conectado, así como la precisión en el ajuste del voltaje entregado. Caso que no sería confiable si se hubiese conectado a las baterías, al tomacorriente, o a un generador autónomo de energía.

Enfriamiento del Gabinete Contenedor de las Vacunas. Una vez se han descargado las series de datos de cada prueba y sus repeticiones, éstas son organizadas en una hoja de cálculo, y tomando como variable de la abscisa el tiempo en segundos y la ordenada la temperatura en °C, se grafican los valores promedio de cada prueba de enfriamiento. Dichas graficas se muestran en la **Figura 6**. En esta se muestran los resultados de las tres primeras pruebas, los que son completamente com-

parables. Se observa que el nanocompuesto de grafeno, permite un mayor enfriamiento que el gel comercial y aún más que el aire. La menor temperatura alcanzada fue la del nanocompuesto de grafeno con 16,3 °C; el compuesto estándar comercial llegó a los 18,2 °C y sin compuesto a 19,1 °C. Es de anotar que la celda Peltier a toda su capacidad de enfriamiento (6 Amperios) llegaría fácilmente a los 2 °C, se puede observar en la **Figura 4** que se configuró a menos de la mitad de la capacidad.

Velocidad de Enfriamiento. Se seleccionó el rango de datos desde la muestra número 25 hasta la 288 para cada una de las cuatro pruebas realizadas. Este rango corresponde al tiempo en común que hay una mayor cinética de enfriamiento. Con la ayuda del software de hoja de cálculo se saca la línea de tendencia de cada prueba y de ésta su pendiente. Como la curvatura es mínima en el rango seleccionado, la pendiente de la línea de tendencia nos da una idea muy cercana de la velocidad de enfriamiento del sistema para cada prueba. En la **Figura 7** se observa la gráfica de este rango y se sacan las pendientes respectivas. Al multiplicar cada pendiente por 60 s, que equivale a un minuto, convertimos la velocidad de °C/s a °C/min. Para el sistema sin compuesto se alcanza una velocidad de enfriamiento de -1,11 °C/min; para el sistema con el compuesto comercial una velocidad de -1,21 °C/min; para el sistema con el nanocompuesto de grafeno una velocidad de -1,54 °C/min. Por aparte, en la nevera comercial o sistema móvil de refrigeración comercial, se midió una velocidad de -0,52 °C/min. Para ésta se utilizó la misma metodología de toma de datos, pero no son comparables porque son sistemas diferentes, solo se toma como dato de referencia.



4. CONCLUSIONES

La aplicación del nanocompuesto de grafeno durante el montaje de un SMRM fue ayudada porque éste fue fabricado con partes de fácil acceso comercial e incluso el nanocompuesto de grafeno al momento de usarlo aplicarlo se consigue comercialmente. Además del acceso comercial, la aplicación del nanocompuesto para evaluar la disminución en consumo energético fue ayudada por un buen diseño del SMRM. Éste permitió también que se realizaran fácilmente las pruebas en acuerdo al diseño de experimento que se planteó, con una buena repetitividad y reproducibilidad. El hecho de poseer partes de fácil acceso comercial permite que personas con un conocimiento técnico mínimo puedan fabricar un SMRM. Con respecto a los elementos usados para fabricar el SMRM, se detectó que la celda Peltier requiere de un suministro de corriente de 6 A, el cual es alto para un sistema portable y poder alcanzar la temperatura óptima de almacenaje de las vacunas. Se puede optar entonces por poner dos celdas Peltier en paralelo para poder alcanzar la temperatura deseada. Sin embargo, para el objeto de demostrar que el consumo energético puede ser disminuido con el uso de un nanocompuesto de grafeno, se muestran a continuación las conclusiones al respecto.

Durante las pruebas de enfriamiento (**Figura 6**) el nanocompuesto de grafeno tuvo la capacidad de bajar más la temperatura interna del SMRM y el aire y los otros compuestos, esto debido a que el calor se transmite de una manera mucho más rápida cuando

Tabla 1. Comparación de desempeño con diferentes compuestos y sistema comercial.

PRUEBA	VELOCIDAD (°C/ min)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (W)	CONSUMO* (W.h)
NEVERA ESTÁNDAR COMERCIAL	-0.516	12	4.12	49.44	11.29
SMRM SIN COMPUESTO	-1.110	12	3.13	37.56	3.99
SMRM CON COMPUESTO HC151	-1.210	12	3.13	37.56	3.66
SMRM CON NANOCOMPUESTO FRES-1	-1.540	12	3.13	37.56	2.87

*Este consumo corresponde al tiempo que le toma a cada prueba en bajar de 26.5° a 19.5 °C.

entra en contacto con cada una de las laminillas del FLG (Shahil & Balandin, 2012) dispersas en el compuesto. Es decir, la excitación de las partículas viaja a mayor velocidad por el confinamiento que sufren los fonones acústicos, que son los que priman para la transferencia de calor en el grafeno y los materiales bidimensionales (Fisher, 2013) (Balandin & Nika, 2012). Estos fonones acústicos, tienen una densidad de estados fonónicos menor a la que tienen los materiales tridimensionales (Fisher, 2013), lo que reduce la oportunidad para que un vector de onda acústico pueda desviarse dentro de la red atómica por la que transita. Es por esto que cuando aumentamos la calidad del FLG a grafeno monocapa aumenta la conductividad térmica, y la eléctrica también (Balandin & Nika, 2012). Refiriéndonos al movimiento de electrones, que para algunos materiales masivos también aportan importantemente en la conducción de calor (Callister & Rethwisch, 2010), para los materiales bidimensionales siempre será secundario su aporte por el doble spin que duplica la densidad de estados (Fisher, 2013) y por lo tanto este no es el principal modo. La matriz polimérica en la que se encuentran dispersas las laminillas de FLG en el nanocompuesto usado, trabaja entonces como un material no conductor eléctrico o aislante eléctrico porque no tiene bandas libres de conducción de electrones. Pero sí tiene una estructura molecular de cadenas largas y separadas entre ellas que asemejan un material unidimensional, siempre y cuando no esté reticulado. Por ende, prima

en este material la conducción de calor por fonones acústicos, los cuales continúan su viaje al contacto con las laminillas de FLG. En el aire la conducción de calor es muy poca por la distancia tan grande entre moléculas y átomos, solo se da cuando chocan unas y otras aleatoriamente. En compuestos donde las partículas son todas tridimensionales, la densidad de estados ya sea fonónicos o electrónicos es la más alta.

De la misma forma que el nanocompuesto pudo bajar más la temperatura del recinto interno del SMRM, la velocidad de enfriamiento fue más pronunciada cuando se aplicó en las partes críticas de conducción de calor, el MIT a base de grafeno. La velocidad de enfriamiento es importante en este caso, para hacer que el consumo de energía del SMRM y cualquier otro sistema que tenga el MIT a base de grafeno, sea considerablemente menor en el tiempo. Esto ocurre porque se alcanza la temperatura a la que se busca llegar en un tiempo más corto, haciendo que el sistema de control de energía apague más pronto. El sistema de control de energía no se incluyó en los estudios de este artículo, pero se conoció por pruebas de realización propia, que cuando el sistema empieza su función de prendido y apagado durante largos períodos de tiempo, consume menos energía por el hecho de enfriar más rápido. De esta manera, al utilizar el SMRM completo, asegura que la cadena de frío que es tan importante para el almacenamiento y transporte de vacunas y medicamentos sea más eficiente y pueden así llegar a las zonas remotas

del país un medicamento en muy buenas condiciones. En posteriores publicaciones se mostrará a fondo el fenómeno del efecto de la velocidad de enfriamiento en el tiempo. En la **Tabla 1** a continuación, se muestra la comparación de los valores encontrados y valores de consumo energético hallados.

REFERENCIAS

- Avouris, P. & Dimitrakopoulos, C., 2012. Graphene: Synthesis and Applications. *Materials Today*, marzo, 15(3), pp. 86-97.
- Balandin, A. & Nika, D. L., 2012. Phononics in Low Dimensional Materials. *Materials Today*, junio, 15(6), pp. 266-275.
- Callister, W. & Rethwisch, D., 2010. *Materials Science and Engineering - An Introduction*. 8 ed. Hoboken(New Jersey): John Wiley & Sons, Inc..
- Choi, W. & Lee, J.-w., 2012. *Graphene Synthesis and Applications*. Boca Raton(FL): CRC Press.
- Fisher, T., 2013. *Thermal Energy at the Nanoscale *Partial Copy*. West Lafayette(Indiana): World Scientific Publishing.
- Geim, A. & Novoselov, K., 2007. The Rise of Graphene. *Nature Materials*, marzo, Volume 6, pp. 183-191.
- Geim, A. et al., 2004. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. *Science*, 22 octubre, Volume 306, pp. 666-669.
- ICA, n.d. *Instituto Colombiano Agropecuario*. [Online] Available at: <http://www.ica.gov.co/home.aspx> [Accessed 28 Octubre 2015].
- Instituto Colombiano Agropecuario, 2003. *Buenas Prácticas en el Uso de los Medicamentos Veterinarios y la Inocuidad de los Alimentos*. Grupo de Transferencia de Tecnología, ICA ed. Bogotá: Produmedios.
- Johnson, D., 2013. *IEEE Spectrum*. [Online] Available at: <http://bit.ly/1SPbtg5> [Accessed 9 noviembre 2013].
- Lin, Y.-J., Aruna, Z. & Jang, B., 2014. *Nano graphene platelet-reinforced composite heat sinks and process for producing same*. United States of America, Patent No. US20140224466.
- Ministerio de Salud. Dirección General de Promoción y Prevención, 1999. *Normas Técnicas para la Vacunación Según el Programa Ampliado de Inmunizaciones*. s.l.:s.n.
- Muñoz, V. H. & Lorenzana, L. C., 1990. Manejo de Biológicos: Cadena Fría. *Virbac al día*, Issue 18.
- Patino, J., 2013. Fabricación de Nanocompuesto de Matriz Polimérica Usado como Material de Interfase Térmica. *Revista Colombiana de Materiales*, pp. 10-16.
- Sadasivuni, K. K., Ponnamma, D., Kim, J. & Thomas, S., 2015. *Graphene-Based Polymer Nanocomposites in Electronics*. Incheon: Springer International Publisher Switzerland.
- Salavagione, H. & Martinez, G., 2011. Nanocompuestos Poliméricos de Grafeno: Preparación y Propiedades. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Enero, 12(1), pp. 53-63.
- Shahil, K. & Balandin, A., 2012. Thermal Properties of Graphene and Multilayer Graphene: Applications in Thermal Interface Materials. *Solid State Communications*, 25 Abril, Volume 152, pp. 1331 - 1340.
- UK Intellectual Property Office Informatics Team, 2015. *Graphene - The Worldwide Patent Landscape in 2015*, Newport: Intellectual Property Office.
- Valencia, A., 2011. El Grafeno. *Revista Colombiana de Materiales*, Issue 1, pp. 1-24.

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /

Patiño Acevedo, J.M.; Villar Vega, H.F.; Isaza Escobar, R.A.;
Matta López, S.A. (2016). Aplicación: Nanocompuesto de grafeno
para mejora de la cadena de frío en el transporte de vacunas.
Revista EIA, 12(E3), mayo, pp. 59-67. [Online]. Available on:
<http://dx.doi.org/10.14508/reia.2014.11.59-67>