

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Análisis sobre la Optimización del Transporte Térmico y
Consumo de Potencia de Diferentes Materiales**

Alex Efraín Torres Reyes

Ingeniería Electrónica

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Quito, 18 de mayo de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Análisis sobre la Optimización del Transporte Térmico y Consumo de
Potencia de Diferentes Materiales**

Alex Efraín Torres Reyes

Nombre del profesor, Título académico

Omar Aguirre Serrano, MSc

Quito, 18 de mayo de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Alex Efraín Torres Reyes

Código: 00211376

Cédula de identidad: 1716910276

Lugar y fecha: Quito, 18 de mayo de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En este trabajo de titulación se propone un material como reemplazo de la Niquelita usado como elemento de calor en los calefactores de infrarrojo. Estos productos que se usan para calentar ambientes tales como terrazas, pérgolas, balcones, entre otros, transforman la corriente eléctrica en calor sin un consumo eficiente de energía. El material propuesto es el grafito, siendo un material ampliamente estudiado por sus características de transferencia eléctrica y de calor. De esta forma se hace la caracterización de los materiales estudiados en base a un análisis XRD, para saber su composición y establecer las constantes físicas de cada uno. Dentro de la experimentación se establece una resistencia y voltaje constantes para mantener una corriente y por tanto una potencia eléctrica invariables para medir la temperatura que emana cada material. Para esto se usa una cámara de infrarrojos marca FLIR ONE y un termómetro de infrarrojos marca FLUKE 62 MAX. Finalmente, se propone un nuevo material compuesto de grafito, basándose en un artículo de investigación.

Palabras clave: grafito, níquel, cromo, niquelita, transferencia de calor, coeficiente de expansión térmica, potencia eléctrica, voltaje, corriente, resistencia.

ABSTRACT

In this thesis work, a material is proposed as a replacement for Nickelite used as a heating element in infrared heaters. These products, which are used to heat environments such as terraces, pergolas, balconies, among others, transform electrical current into heat without an efficient energy consumption. The proposed material is graphite, being a widely studied material for its electrical and heat transfer characteristics. In this way, the characterization of the materials studied is made based on an XRD analysis, to know their composition and establish the physical constants of each one. Within the experimentation, a constant resistance and voltage are established to maintain a current and therefore an invariant electrical power to measure the temperature emanating from each material. For this, a FLIR ONE brand infrared camera and a FLUKE 62 MAX brand infrared thermometer are used. Finally, a new graphite composite material is proposed, based on a research article.

Key words: graphite, nickel, chromium, nickelite, heat transfer, coefficient of thermal expansion, electrical power, voltage, current, resistance.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
Desarrollo del Tema.....	13
Conclusiones	23
Referencias bibliográficas.....	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Configuración del Análisis XRD para el grafito

Tabla 2. Configuración del Análisis XRD para la Niquelita.

Tabla 3. Constantes del experimento para la niquelita y grafito

Tabla 4. Resultados de mediciones de con cámara FLIR ONE

Tabla 5. Resultados de mediciones de temperatura con termómetro infrarrojo FLUKE 62 Max

Tabla 6. Resultados de mediciones de con cámara FLIR ONE

Tabla 7. Resultados de mediciones de temperatura con termómetro infrarrojo FLUKE 62 Max

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cámara de infrarrojos marca FLIR USB - C

Figura 2. Termómetro de infrarrojos marca FLUKE modelo 62 MAX

Figura 3. Máquina X-RAY DIFFRACTION (XRD) D8 ADVANCE

Figura 4. Grafito pulverizado y compactado en mostrador

Figura 5. Niquelita enrollada y compactada en mostrador con lámina TF-475

Figura 6. Análisis XRD para el grafito

Figura 7. Análisis XRD de grafito puro (Ain et al., 2019)

Figura 8. Análisis XRD para la Niquelita

Figura 9. Análisis XRD de níquel-cromo 8020 (AFKHAMI & HALVAEE, 2016)

Figura 10. Niquelita

Figura 11. Láminas de grafito

Figura 12. Fotografía en infrarrojos de la niquelita conectada a la fuente DC.

Figura 13. Fotografía en infrarrojos del grafito conectada a la fuente DC.

Figura 14. Imágenes de microscopía óptica de compuestos laminados de aluminio y grafito

INTRODUCCIÓN

Cuando uno habla de materiales que componen a nuestra sociedad y forman una economía, no se otorga la suficiente importancia sobre las repercusiones que ocasiona su consumo, y cómo puede influir de manera negativa incurriendo en diferentes formas de desperdicio. Es por esta razón, que la contaminación en el planeta Tierra ha ido en aumento y se ha llegado a un punto, en el cual, el calentamiento global es uno de los problemas más importantes y delicados a resolver. Si se continúa con el uso desmesurado de estos productos en un consumo masivo, sin conciencia en la sustentabilidad ambiental, todos los ecosistemas se verán seriamente afectados por olas de frío y calor, entre otros fenómenos, que ya han estado sucediendo en la actualidad.

Mencionando un par de ejemplos sobre la ineficiencia de estos materiales: el consumo de combustibles fósiles como fuente de energía potencial para vehículos, o de igual manera, los focos con filamentos de tungsteno para la iluminación. El primer caso, es un protagonista en la producción de gases de invernadero después de la combustión, aumentando la temperatura del planeta y el segundo usando energía eléctrica para convertirla en luz de manera muy ineficiente por todo el desperdicio en calor.

De acuerdo con Vass, históricamente, el desarrollo económico ha coincidido con una demanda creciente de materiales, lo que ha resultado en un consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono (CO₂) crecientes a partir de la producción de materiales (2019). Es por esto que varios países a nivel mundial han invertido en el desarrollo y creación de nuevos materiales con formas más eficientes de consumo de energía, para fomentar una economía más sustentable promoviendo la preservación del medio ambiente.

Las investigaciones sobre la eficiencia de los materiales pueden contribuir a la reducción de las emisiones de CO₂, inclusive a lo largo de las cadenas de producción, sin afectar el crecimiento económico de cualquier país. Como resultado, la mejora de estos puntos en cuanto

al consumo de energía más eficaz, concurre en una menor producción o producción nula de gases de invernadero, y a largo plazo puede disminuir algunas de las necesidades de implementación de los materiales ya existentes que promueven las emisiones de CO₂, contribuyendo así a las transiciones de uso de energía limpia.

Es de esta forma que, en este trabajo de titulación, se propone el estudio del grafito como candidato principal para la implementación de los conocidos calentadores infrarrojos, en el mercado ecuatoriano. Estos productos se usan para calentar ambientes tales como terrazas, balcones, jardines, entre otros; usando energía eléctrica como fuente de potencia y transformarla en calor.

Hoy en día se usa la Niquelita para estas aplicaciones. Su composición está dada bajo una aleación de Níquel-Cromo 8020 (NiCr) y se puede utilizar para un funcionamiento continuo a una temperatura de hasta 1200 °C (Materials Used for Heating Elements, 2020). De acuerdo con una investigación, la resistencia a la conducción eléctrica de este compuesto metálico es alta en relación con otros materiales, lo que lo hace adecuado para convertir la energía eléctrica en calor. También, cuando esta aleación se calienta por primera vez, el elemento cromo de la aleación, reacciona con el oxígeno de la atmósfera y forma una capa de óxido de cromo que funciona como una capa protectora para el compuesto calefactor, evitando que el alambre del metal se rompa o se queme.

En este trabajo, proponemos estudiar un nuevo material, el grafito, que, entre muchas de las aplicaciones que se han ido descubriendo e implementando por sus propiedades físicas, una de sus grandes ventajas es su capacidad de buen conductor de corriente eléctrica y a la vez de transferencia de calor. Este material es un alótropo del carbón que se encuentra como elemento natural o se lo puede fabricar. El grafito es una forma natural de carbono cristalino, es extremadamente suave, se rompe con una presión muy ligera y tiene una gravedad específica

muy baja. Al contrario, es extremadamente resistente al calor y casi inerte en contacto con casi cualquier otro material.

Dentro del ámbito del estado del arte, sabemos que el grafito está compuesto a su vez por láminas de grafeno que son láminas de átomos de carbono de un átomo de espesor. Este material, también tiene cualidades de conducción y de dureza ideales para aplicaciones en microprocesadores siendo su resistencia a la corriente casi nula. (Chen et al., 2008). El grafeno es considerado el material más delgado, fuerte y conductor del mundo, tanto de electricidad, por su conducción balística de electrones, como de calor por su composición hexagonal y enlaces covalentes. Todas estas propiedades son interesantes y prometedoras para los investigadores y las empresas de todo el mundo, ya que el grafeno tiene el potencial de revolucionar industrias enteras en varios ámbitos de la sociedad como la eléctrica, la conductividad, la generación de energía, las baterías, los sensores, entre otras.

Por ejemplo, los avances recientes en los métodos de síntesis y aislamiento de grafeno, siendo que aún es muy difícil su extracción, han permitido aplicaciones potenciales de este material en la nanoelectrónica y gestión térmica, y han ofrecido una oportunidad única para la investigación del transporte de fonones en materiales bidimensionales. Estos estudios fundamentales de transporte térmico son muy relevantes para el rendimiento y la confiabilidad de los dispositivos electrónicos de grafeno y las aplicaciones del grafeno para la gestión térmica (Sadeghi et al., 2012).

Es por estas razones, sabiendo las propiedades del grafito incluso dentro del estado del arte con el grafeno, que se lo considera como candidato viable para usarlo como elemento de calor para estos productos calentadores de ambiente en el mercado ecuatoriano, con un consumo de potencia más eficiente.

DESARROLLO DEL TEMA

Materiales y Métodos

Para comprobar el tema de investigación se usarán estos dos materiales mencionados y los someteremos a diferentes pruebas de conducción eléctrica y transferencia de calor. Para esto se usarán fuentes de corriente continua, de marca Agilent, proporcionadas por la universidad para que suministren un voltaje constante y conectarlas a una misma resistencia dada por los tramos de ambos materiales. Después de conectarlos y observar su comportamiento, se usó una cámara de infrarrojos de marca FLIR de la Figura 1 y un termómetro de grado industrial FLUKE 62 MAX de la Figura 2, para medir la transferencia de calor bajo los diferentes espectros de luz, midiendo su temperatura.



Figura 1. Cámara de infrarrojos marca FLIR USB - C



Figura 2. Termómetro de infrarrojos marca FLUKE modelo 62 MAX

La cámara de la Figura 1, se usa para observar el comportamiento de irradiación de calor de ambos materiales, usando un dispositivo Android con conexión USB tipo C, dentro del espectro de luz debajo de los 480 nm. El termómetro de la Figura 2, siendo una herramienta de grado industrial, se lo usa como control de medición, por su mayor exactitud, en comparación con la cámara siendo que mide hasta temperaturas de 500 °C.

Para hacer la caracterización de ambos materiales con el objetivo de saber la composición exacta de cada uno, se hizo un análisis XRD usando la máquina X-RAY DIFFRACTION (XRD) D8 ADVANCE del departamento de Física que se muestra en la Figura 3. Esta herramienta, por medio de un haz de rayos X, puede identificar la composición del material y probar si el grafito con el que se trabaja es puro y saber si la Niquelita tiene una composición de Níquel/Cromo al 8020.



Figura 3. Máquina X-RAY DIFFRACTION (XRD) D8 ADVANCE

Ahora, para hacer el análisis XRD, es necesario pulverizar a los materiales para que las mediciones sean lo más reales posibles y sin probabilidad de generar ruido. Para el caso del grafito se usaron láminas para lapicero de marca Faber-Castell, la cuales sí se pudieron pulverizar con un mortero (Figura 4). Sin embargo, para el caso de la Niquelita, no se logró hacer al material polvo, ya que no se tuvieron las herramientas necesarias para el cometido.

Fue por esta razón que se tuvo que enrollar al material en forma de espiral y colocar en el mostrador con una lámina marca KAPTON modelo TF-475 para poder compactar al metal como se presenta en la Figura 5. Cabe resaltar que esta lámina es transparente a los rayos X y no altera la caracterización del material en cuestión.

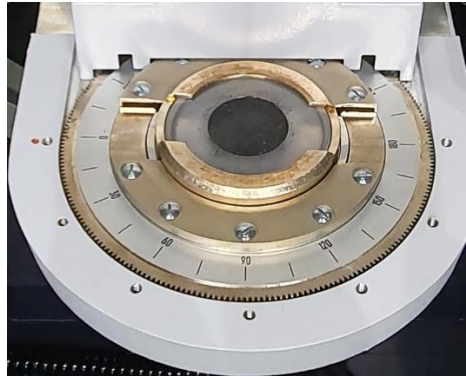


Figura 4. Grafito pulverizado y compactado en mostrador

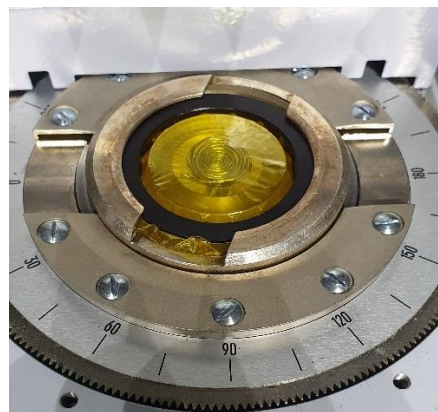


Figura 5. Níquelita enrollada y compactada en mostrador con lámina TF-475

Análisis y Resultados

Los análisis XRD de ambos materiales fueron los siguientes:

Para el caso del grafito, se comenzó a tomar los valores desde de 15.0001° hasta 80.0291° con un tamaño de paso de 0.0248155° . El tipo de análisis usado, debido a que sí se pudo pulverizar

al grafito fue Coupled TwoTheta/Theta en modo Continuous PSD fast. Estos valores están descritos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Configuración del Análisis XRD para el grafito

Label	Color	Visible	Measurement	Scan Type	Scan Mode	Unit	Values	
Grafito-HB-Faber-Castell0,7	Black	Checked	1444	Coupled TwoTheta/Theta	Continuous PSD fast	2Theta(°)	ScanCounter	
Stop	Start	Stepsize	Time per step	Tube keV	Detector	Timestamp	Filter	Phi
80.0291	15.0001	0.02048155	2880	Cu 40 mA 25 kV	LYNXEYE_XE (1D mode)	3/25/2022 5:41 PM		359.953125

Table of results

Measurement method comment	Measurement Operator	Sample ID
	Lab Manager	Grafito-HB-Faber-Castell0,7

File Name	Experiment name	Start Time
USFQ Universidad San Francisco de Quito_1444_220325_174103	COMMANDER_MEASUREMENT_OPERADOR	3/25/2022 5:41 PM

Measurement Application
PowderDiffraction

El resultado de este análisis está representado en la Figura 6:

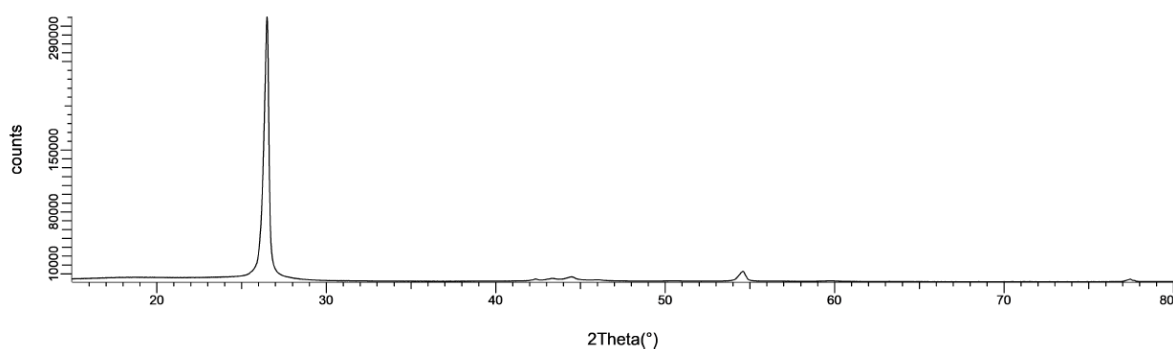


Figura 6. Análisis XRD para el grafito

Como se puede observar en la Figura 6, hay dos picos de difracción obvios presentes en la gráfica. El primer pico y más grande con el 2Theta alrededor de 26.4° y que puede ser atribuido al plano cristalino (002) del plano hexagonal. Finalmente, un pico con amplitud pequeña en un valor de 2Theta de alrededor de 54.5° que representa al plano (004). Ahora para comparar con otro estudio y saber que este análisis es concurrente, se compara la figura 6 con otro análisis XRD de otra investigación. De esta forma en el artículo de Ain et al., se obtiene la Figura 7:

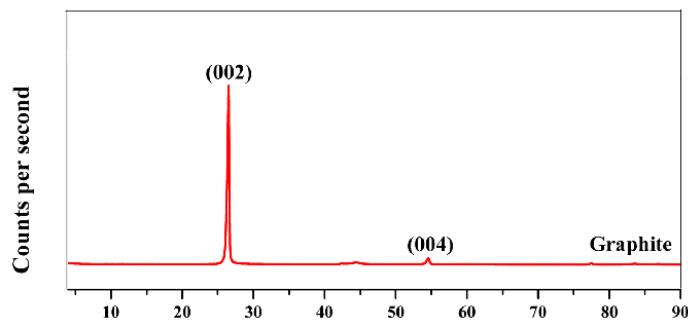


Figura 7. Análisis XRD de grafito puro (Ain et al., 2019)

Es de esta forma que, en las figuras 6 y 7, los picos se encuentran en los mismos valores de 2Theta respectivamente, concluyendo que nuestro análisis es correcto y se está trabajando efectivamente con grafito puro.

Ahora para el análisis con la Niquelita, partiendo del hecho que no se pudo pulverizar al material, el tipo de análisis fue Haz Paralelo tipo Goebel Mirrow. Para este caso se comenzó en valores de 2Theta de 10.0001° hasta 90.0001° con pasos de 0.02° . Estos valores están descritos en la Tabla 2:

Tabla 2. Configuración del Análisis XRD para la Niquelita.

Measurement Properties

Label	Color	Visible	Measurement	Scan Type	Scan Mode	Unit	Values	Stop	Start	Stepsize	Time per step	Tube keV	Detector	Timestamp	Filter	Phi
Niquelita	Black	Checked	1447	Coupled TwoTheta/Theta	Continuous	2Theta (°)	Counter 0D	90.0001	10.0001	0.02	2	Cu 40 mA 25 kV	LYNXE YE_XE (0D mode)	3/29/2022 6:09 PM		52.5234 375

Table of results

Measurement method comment	Measurement Operator	Sample ID	File Name	Experiment name	Start Time	Measurement Application
	Lab Manager	Niqueli	USFQ Universidad San Francisco de Quito_1447_	COMMANDER_MEASUREMENT_	3/29/2022 6:0	PowderDiffraction

El resultado de este análisis está representado en la Figura 8:

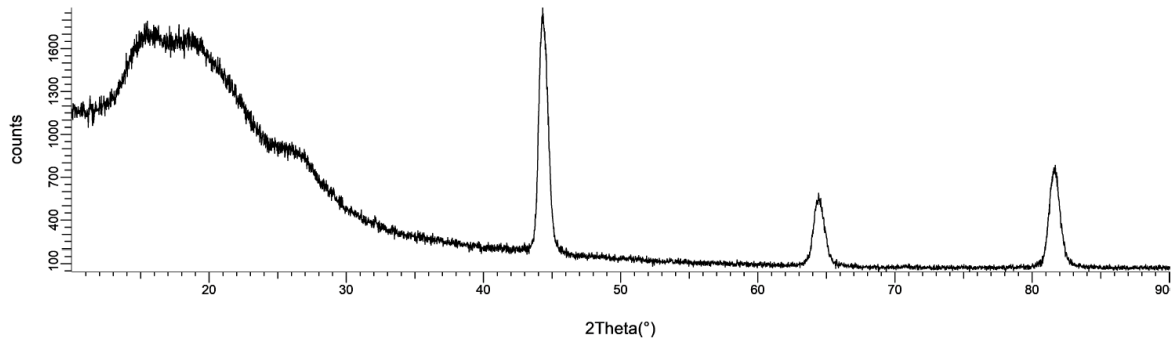


Figura 8. Análisis XRD para la Niquelita

Para este análisis se puede apreciar que en el rango de 10° a 40° se tiene bastante ruido y no se lo puede considerar como pico. Esto se puede deber a que el material no fue pulverizado y que, por más que se trató de hacerlo más compacto con la lámina TF-475, existe un ruido bastante significativo. Sin embargo, se pueden observar 3 picos con una amplitud significativa de 2θ en 45.4° , 64.4° y 82.8° . Ahora, comparándola con un análisis XRD para el mismo metal con composición níquel/cromo 8020 en otro artículo de investigación, AFKHAMI y HALVAEE obtienen los resultados de la Figura 9.

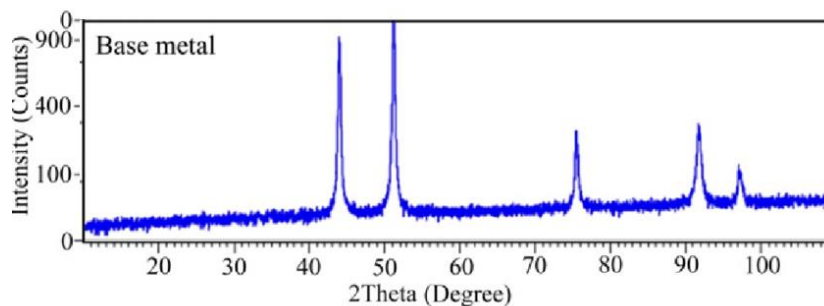


Figura 9. Análisis XRD de níquel-cromo 8020 (AFKHAMI & HALVAEE, 2016)

Se puede apreciar que, definitivamente, no se obtienen los mismos picos en el análisis de la figura 8 con lo que obtuvieron en la Figura 9. En base a esto se puede concluir que el material con el que se está trabajando no es Niquelita con una composición de níquel al 80% y cromo al 20%. Debido a esto, para futuras investigaciones se propone hacer un análisis de Rietveld

de mínimos cuadrados, para poder extrapolar los picos obtenidos en la figura 8 y poder identificar el metal y su composición.

Ahora, para pasar al análisis de temperaturas de los materiales, al conectarlos con una fuente, los materiales se muestran a continuación:

Para el caso de la Niquelita, el material se compró en una electrónica de elementos de calefacción. En la Figura 10 se detalla el material en cuestión:



Figura 10. Niquelita

Cabe resaltar que no es todo el material usado sino únicamente una sección del metal para que tenga una resistencia de 4.0Ω .

Ahora para el caso del grafito, se ocupa las láminas de grafito por el fabricante Faber-Castell de 0.7mm (Figura 11). De igual forma, la sección tiene que mantener una resistencia de 4.0Ω .

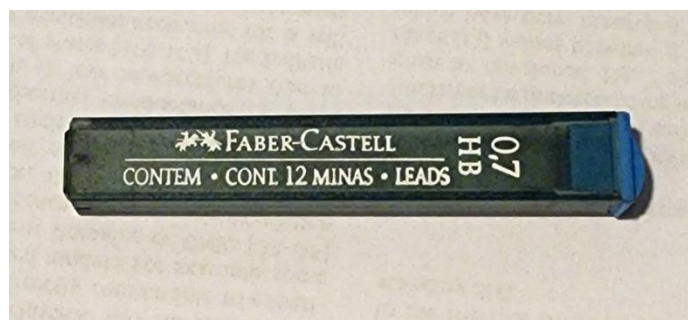


Figura 11. Láminas de grafito

Los parámetros establecidos están la Tabla 3:

Tabla 3. Constantes del experimento para la niquelita y grafito

Voltaje [V]	Resistencia [Ω]
9.54 ± 0.005	4.0 ± 0.05

Llevando a cabo el experimento se obtienen las siguientes imágenes con la cámara de infrarrojos FLIR ONE y con el termómetro industrial para controlar las medidas (Figura 12):

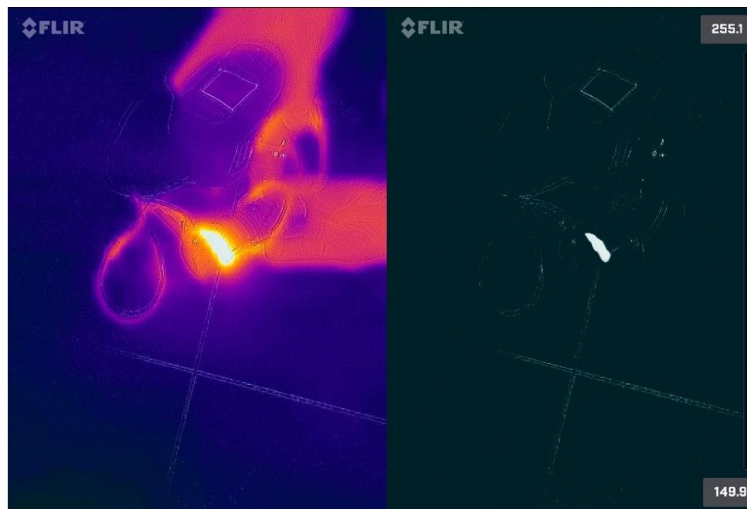


Figura 12. Fotografía en infrarrojos de la niquelita conectada a la fuente DC.

Tabla 4. Resultados de mediciones de con cámara FLIR ONE

Corriente [A]	Potencia [W]	Temperatura _{max} [°C]
2.385 ± 0.125	22.753 ± 0.052	255.1 ± 0.05

En este caso se puede observar que la temperatura máxima que llega a tener el elemento es de 255.1 ± 0.05 °C. Para corroborar las mediciones se usa el termómetro de infrarrojos y en este caso, las mediciones están descritas en la Tabla 5:

Tabla 5. Resultados de mediciones de temperatura con termómetro infrarrojo FLUKE 62

Max

Corriente [A]	Potencia [W]	Temperatura _{max} [°C]
2.385 ± 0.125	22.753 ± 0.052	135.0 ± 0.05

Podemos ver que, con la pistola de infrarrojo, el valor es unos 100°C menor. Tomando en cuenta que a esta potencia la Niquelita no se encendía en el espectro visible con este voltaje establecido, puede ser que este valor tenga mayor validez que el que está medido con la cámara FLIR ONE.

Ahora para el caso del grafito se tiene que (Figura 13):

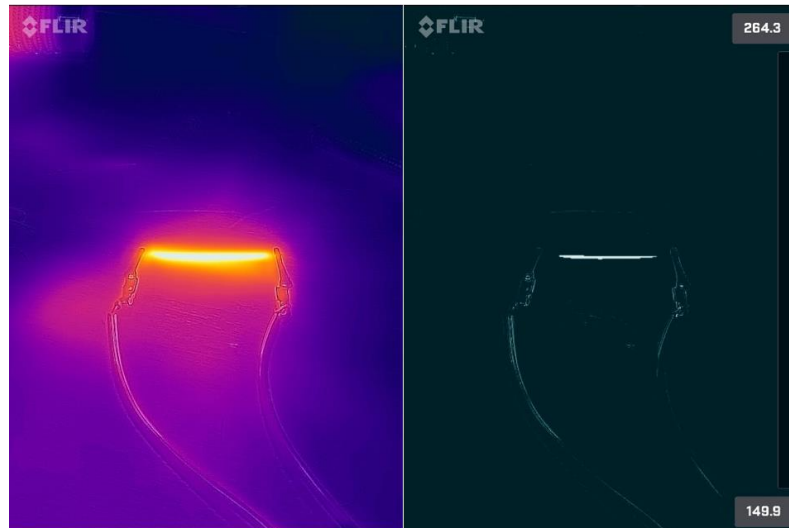


Figura 13. Fotografía en infrarrojos del grafito conectada a la fuente DC.

Tabla 6. Resultados de mediciones de con cámara FLIR ONE

Corriente [A]	Potencia [W]	Temperatura _{max} [°C]
2.385 ± 0.125	22.753 ± 0.052	264.3 ± 0.05

En este caso se puede observar que la temperatura máxima que llega a tener el elemento es de $264.3 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$. Se puede observar que la temperatura que tiene el grafito es mayor que la alcanzada con la niquelita en casi 10°C con la misma potencia consumida. Ahora para corroborar de igual manera con el termómetro de infrarrojos como en el caso anterior, se tiene (Tabla 7):

Tabla 7. Resultados de mediciones de temperatura con termómetro infrarrojo FLUKE 62 Max

Corriente [A]	Potencia [W]	Temperatura _{max} [°C]
2.385 ± 0.125	22.753 ± 0.052	352.3 ± 0.05

En este caso podemos ver una variación de temperatura bastante grande entre ambos casos de las tablas 5 y 7. Para la Niquelita vemos que el valor de temperatura es menor en un 61%, probando la hipótesis inicial, en ambos casos, con ambos aparatos de medición. Aunque en el caso con la cámara de infrarrojos la diferencia no es tanta como con el termómetro de infrarrojos.

Añadiendo a estos resultados, en una investigación realizada por Abrahamson, el grafito puede operar a altas temperaturas, tanto que no se lo puede fundir, sino que pasa del estado sólido al gaseoso en el proceso de sublimación a una temperatura de entre 3895 y 4020 K (1974). Comparando con la Niquelita, que su valor de fundición de acuerdo con Pelican Wire es de 1673.15 K (2021).

Otro parámetro de importancia para que un material sea usado en aplicaciones de calor, es el coeficiente de expansión térmica CTE con sus siglas en inglés. Según un estudio realizado por Chang et al., las láminas de grafito tienen un CTE de $2 \times 10^{-6}/K$ (2018) siendo un valor bastante pequeño en comparación a toda la gama de materiales.

Es por todos estos argumentos que se plantea considerar al grafito puro como candidato importante para reemplazar a la Niquelita y a otros materiales para estos tipos de aplicaciones. De esta forma, y basándose nuevamente en la investigación realizada por Chang et al., se propone al grafito laminado con aluminio para evitar la fragilidad del material y hacerlo más resistente a impactos y a ser pandeado por la manipulación de cualquier usuario. El producto tentativo estaría descrito por la siguiente imagen (Figura 14), obtenida de dicho artículo de investigación.

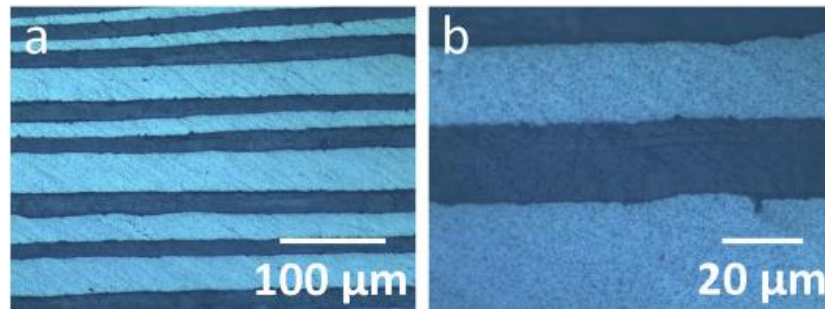


Figura 14. Imágenes de microscopía óptica de compuestos laminados de aluminio y grafito

(Chang et al., 2018)

CONCLUSIONES

En conclusión, como se pudo observar a lo largo de la experimentación, se da como resultado que el grafito, para estas y otras aplicaciones de calor, es un candidato importante para ser tomado en cuenta.

Se pudo observar que, con las dos herramientas de medición de temperatura, el grafito, bajo un mismo consumo de potencia, emana una energía calórica bastante alta en comparación con la Niquelita adquirida en el mercado ecuatoriano. Sin embargo, la desventaja del grafito es que no es dúctil como los metales y a cualquier manejo inadecuado podría romperse y cortar su conducción. Es por esta razón, y para mitigar este problema, que se propone un compuesto con aluminio para mejorar la ductilidad del material.

Para próximos avances de este proyecto, se recomienda poder identificar de qué está compuesto en realidad la Niquelita que se vende en el Ecuador para tener una idea más precisa y poder comparar su composición con datos más reales.

De igual forma, como añadidura al experimento, se debería simular en el software COMSOL Multiphysics para tener valores teóricos y poder probarlos en experimentaciones físicas con los materiales correctos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahamson, J. (1974). Graphite sublimation temperatures, carbon arcs and crystallite erosion. *Carbon*, *12*(2), 111–141. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(74\)90019-0](https://doi.org/10.1016/0008-6223(74)90019-0)
- AFKHAMI, S., & HALVAEE, A. (2016). Effects of TIG welding process on microstructure, electrical resistance and mechanical properties of Nichrome 8020. *Metallic Materials*, *54*(04), 289–296. https://doi.org/10.4149/km_2016_3_289
- Ain, Q. T., Haq, S. H., Alshammari, A., Al-Mutlaq, M. A., & Anjum, M. N. (2019). The systemic effect of PEG-nGO-induced oxidative stress in vivo in a rodent model. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, *10*, 901–911. <https://doi.org/10.3762/bjnano.10.91>
- Chang, J., Zhang, Q., Lin, Y., & Wu, G. (2018). Layer by layer graphite film reinforced aluminum composites with an enhanced performance of thermal conduction in the thermal management applications. *Journal of Alloys and Compounds*, *742*, 601–609. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.332>
- Chen, H., Müller, M. B., Gilmore, K. J., Wallace, G. G., & Li, D. (2008). Mechanically Strong, Electrically Conductive, and Biocompatible Graphene Paper. *Advanced Materials*, *20*(18), 3557–3561. <https://doi.org/10.1002/adma.200800757>
- King, H. M. (n.d.). *Graphite: A mineral with extreme properties and many uses*. Geology.Com. Retrieved May 11, 2022, from <https://geology.com/minerals/graphite.shtml>
- Materials Used for Heating Elements*. (2020, October 26). Electrical4U. Retrieved May 9, 2022, from <https://www.electrical4u.com/materials-used-for-heating-elements/>
- Pelican Wire. (2021, September 16). *Alloy 650 (Nichrome 80)*. Retrieved May 11, 2022, from <https://pelicanwire.com/alloy/alloy-650-2/>

- Sadeghi, M. M., Pettes, M. T., & Shi, L. (2012). Thermal transport in graphene. *Solid State Communications*, 152(15), 1321–1330. <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2012.04.022>
- Sarkar, T., Kundu, M. K., Azmain, M. A. A., & Khan, M. A. G. (2017). Thermal conduction in graphene thin films considering different materials of various shapes. 2017 *International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*. <https://doi.org/10.1109/ecace.2017.7912932>
- Vass, T. (2019, October 10). *Material efficiency in clean energy transitions – Analysis*. IEA. Retrieved May 9, 2022, from <https://www.iea.org/reports/material-efficiency-in-clean-energy-transitions>