

Modelo del Proceso de Fabricación de Grafeno a través del Método de Exfoliación Electroquímica.

Cristhian Josué Méndez Barahona, Alberto Max Carrasco, José Luis Ordoñez Ávila, Ian Roberto Canales Duran, Eduardo José Regalado Valenzuela
Facultad de ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, Unitec, San Pedro Sula, Honduras,
cmendez@unitec.edu, jlordonez@unitec.edu

Resumen— El grafeno es uno de los materiales más novedosos de los últimos años, diariamente podemos encontrar noticias de nuevas aplicaciones que se le dan a este versátil material. El propósito de este trabajo es diseñar un modelo para el proceso de fabricación de grafeno utilizando el método de exfoliación electroquímica. Para el desarrollo de este modelo se utiliza la metodología en espiral, que permite el desarrollo y análisis de tres fases. Este estudio comienza con el diseño del regulador de voltaje que su función es alimentar los electrodos del método electroquímico donde se realiza la exfoliación que posteriormente efectúa el proceso de filtrado para separar el electrolito del precipitado obtenido, y finaliza con el método de secado en un horno para obtener grafeno en polvo. Se concluye que la metodología espiral apoyo en la planificación, diseño e implementación del modelo.

Palabras claves— Fabricación de grafeno, regulador de voltaje, electroquímico, filtrado, secado.

I. INTRODUCCIÓN.

Se conocen varios procesos de fabricación de grafeno, pero hay complicaciones en la producción de grandes cantidades para el uso industrial. Existe una larga lista fortalezas del grafeno y los científicos esperan verlo en todas partes. El grafeno se encuentra en un panorama en el cual se necesita vastos medios económicos para llevar a cabo las iniciativas que están en mente de varios científicos[1].

El grafeno es un material con una estructura nanométrica, bidimensional de átomos de carbono sintetizado por primera vez en el año 2004 por medio de exfoliación micromecánica. Andre Geim y Konstantin Novoselov recibiendo un premio nobel de física en el año 2010 [2]. Desde hace una década se ha incrementado notablemente las investigaciones sobre grafeno. El grafeno muestra una serie de propiedades que lo colocan como un material atractivo para muchas aplicaciones.

II. ANTECEDENTES.

No se descarta que se otorgue otro premio nobel por estudiar el grafeno dado que a partir del 2010 la cantidad de investigaciones realizadas han aumentado [3]. Existen complicaciones de fabricación de grafeno en grandes cantidades para el uso industrial debido a los inconvenientes en la selección del proceso para su producción.

El grafeno es un elemento con características únicas, como ser su conductividad eléctrica, su dureza y su conductividad térmica. El grafeno al proceder de una sustancia

natural como el grafito, tiene menor riesgo ambiental que los materiales inorgánicos[2].

III. MARCO TEÓRICO

A. Grafeno.

El grafeno es un material que está compuesto por carbono puro sintetizado. La sinterización del grafeno es un tema en los cuales los investigadores están estudiando. Se han obtenido conocimientos nuevos de sus propiedades y métodos de obtención para sus aplicaciones en la industria.

En las últimas décadas se sintetizo un alótropo de carbono que lleva el nombre de grafeno. El termino grafeno consiste en el prefijo “grafico” para grafito y el sufijo “-ene” del doble enlace C – C [4]. El grafeno es el componente esencial del grafito al agrupar el grafeno en diferentes formas se descubre varias e importantes propiedades. El grafeno se refiere a una hoja compuesta de átomos de carbono con una disposición regular. El grafeno es un alótropo bidimensional con un espesor de un átomo de carbono Sp^2 que ha conectado en una celosía hexagonal.

Según experimentos del grafeno la movilidad de los electrones en estado puro es más alto que otros materiales conductores a temperatura ambiente, como el oro, el silicio y el carbono[5].

B. Procesos de obtención de grafeno.

Hasta la fecha se manejan varios procesos de obtención del grafeno que pueden ser proceso mecánicos y químicos simples. La forma general el grafeno se puede realizar mediante dos tipos de métodos que son Top-Down y Bottom-Up.

Método Bottom-up la metodología de abajo hacia arriba es la construcción de entidades más pequeñas para coincidir con las especificaciones de un material. método ascendente se debe tener un control preciso dado que el grafeno se puede construir a partir de precursores de carbono [6].

Los procesos más destacados del método Bottom-Up son los siguientes:

- Producción de deposición química de vapor de Grafeno superficie (CVD): A pesar de la inadecuación de la CVD para la producción en masa, es un enfoque bastante fácil de obtener grafeno con las características deseadas en comparación con otras técnicas. Es ampliamente conocido que la CVD implica la descomposición de una materia prima de carbono. La descomposición de la materia se da con la ayuda de catalizadores metálicos y de calor. El

número de capas de grafeno se puede controlar por el tipo, el grosor y la orientación del cristal del catalizador utilizado [7].

- Crecimiento epitaxial de grafeno de gran superficie: El crecimiento de materiales nanoestructurados cristalinos en grafeno se puede lograr mediante epitaxia de Van der Waals recientemente. Van der Waals ha despertado un gran interés en el material y la comunidad de investigación. Tradicionalmente la hetero epitaxia implica enlaces iónicos o covalentes para lograr la superposición epitaxial sobre el sustrato[8].
- Síntesis orgánica de grafeno nanométrico: La síntesis orgánica total de grafeno a partir de hidrocarburos policíclicos similares al grafeno es otra manera para producir grafeno nanométrico [9]. La síntesis orgánica es otro método escalable para producir grafeno con anchos mucho más pequeños.

Método Top-Down, es muy fácil de aplicar para la producción de grafeno a gran escala. Los métodos de arriba hacia abajo convencionales, como la oxidación de grafito de Hummer, requiere una reacción controlada y siempre proporciona abundantes defectos estructurales[10]. Los procesos más destacados del método Top-Down son los siguientes:

- Método de exfoliación micromecánica: Es método de cinta Scotch, es un método antiguo que ha existido y se ha utilizado ampliamente en campos como la cristalografía. La exfoliación micromecánica es uno de los métodos más populares para la producción de grafeno. Es un método simple que se requiere básicamente solo de una cinta adhesiva. Se colocan escamas de grafito entre la cinta adhesiva y la superficie se despega continuamente[11].
- Método de exfoliación Química: Dentro del método de exfoliación química hay tres procesos importantes. Los procesos de este método son el proceso de exfoliación por sonicación, proceso molienda de bolas y exfoliación por cizallamiento. Proceso de exfoliación por cizallamiento es el caso contrario a la sonicación. Se puede utilizar la exfoliación por cizallamiento en mezcladores de rotor estator o en batidoras con cuchillas giratorias. El proceso de cizallamiento incluso se puede usar una licuadora de cocina. A pesar que se puede usar batidoras de cocina, no están diseñadas para operan en solventes orgánicos y pueden dañarse [12].
- Método de exfoliación electroquímico: se lleva a cabo utilizando un mínimo de cuatro componentes principales, y estos son ánodo, cátodo, electrolito y fuente de alimentación. El ánodo es una fuente de carbono, se oxidará y exfoliará para producir grafeno. El cátodo se puede variar utilizando un metal como

aluminio y cobre. El ánodo y el cátodo se sumergen en el electrolito a cierta distancia [10].

- Método de Ablación laser: se ha utilizado para sintetizar nanopartículas de diferentes elementos. La técnica es un láser que interactúa con la muestra en estudio, que se sumerge en un líquido, y se produce una ruptura inducida por láser. Esta técnica se generan ondas de choque y el plasma creado se expande y enfría[13].
- Método de óxido de grafeno (GO) y Reducción de óxido de grafeno (rGO): El óxido de grafeno se agrega al agua desionizada y puede obtener un grafeno oxidado estable. En este método la dispersión por ultrasonidos y agitación hace que proporcione una gran comodidad para la preparación de la membrana de óxido de grafeno[14]. La reducción de óxido de grafeno se puede preparar mediante reducción de óxido de grafeno. El óxido de grafito ha sido preparado principalmente por Brodie, Staudenmaier y Hummers. El proceso de oxidación del grafito tiene lugar en presencia de fuertes ácidos y oxidantes. El óxido de grafito se puede convertir fácilmente en óxido de grafeno mediante sonicación[4].

C. *Propiedades del grafeno.*

El grafeno en sus investigaciones se ha descubierto muchas propiedades que abren una infinidad de utilidad para muchas aplicaciones. Las propiedades del grafeno también nos abren a una nueva generación de tecnología en la industria y también en otras áreas. Algunas de las propiedades más destacada están en el área de la electrónica, mecánica, química, óptica y térmica.

- a. Propiedades eléctricas y electrónicas: la revolución del grafeno comenzó con el estudio de estas propiedades. Las propiedades eléctricas dependen mucho del número de capas en las hojas de grafeno. Las propiedades que muestran los monocapa, bicapa o tricapa son materiales muy diferentes. Se ha mostrado la aplicación potencial en transistores debido a la posibilidad de variar los portadores de carga desde huecos hasta electrones.
- b. Propiedades mecánicas: son unas de las que más destaca en el grafeno por su dureza, resistencia y elasticidad. Se ha mostraron que el grafeno de una sola capa tiene una resistencia a la rotura de más de 200 veces la del acero y un módulo de Young de 1 TPa.
- c. Propiedades ópticas: a pesar de tener solo un átomo de espesor, el grafeno es capaz de absorber el 2,3% de la luz blanca. El grafeno bicapa absorbe la luz blanca hasta un 4,6%, se descubrió que la absorción de luz blanca aumenta casi linealmente con el aumento de las capas de grafeno.
- d. Propiedades térmicas: la conductividad térmica del grafeno está dominada por el transporte de fonones,

es decir, la conducción difusiva y balística a altas y bajas temperaturas. Debido a la baja densidad de portadores del grafeno no dopado, el transporte térmico electrónico en el grafeno es insignificante. La conductividad térmica intrínseca del grafeno es de aproximadamente $2000\text{--}6000 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ [11].

D. Impacto en la Industria

Se han descrito los avances en la producción, mientras que la literatura se ha analizado extensamente para evaluar el refuerzo y la eficiencia de cada tipo de grafeno. Los investigadores enfatizan que aún quedan varios retos por superar antes de que la industrias pueden proceder con la producción masiva de grafeno. Un ejemplo de los desafíos enfrentados es la ampliación de la producción de grafeno de alta calidad, ya que este sigue siendo un problema importante. El grafeno de mejor calidad para ser utilizado en la investigación y la industria es el material con la relación de aspecto más grande con un grosor de pocas capas [10]. Se puede decir que el grafeno al poder realizarse a gran escala y con un grosor de pocas capas será uno de los materiales más utilizados. El grafeno será utilizado en infinidad de aplicaciones llegando a sustituir a muchos de los que hoy en día usamos.

E. Aplicaciones de grafeno.

Desde el aspecto de las propiedades del grafeno está claro que tiene un alto potencial para diversas aplicaciones. Algunas de las aplicaciones que se han incluido es el nano cargador para compuestos funcionales, dispositivos de almacenamiento de energía, electrónica flexible, sensores, etc. Debido a sus propiedades superlativas[11].

Teniendo en cuenta el increíble impacto que tendrá el grafeno podemos decir que tendrá infinidad de aplicaciones desde lo más básico como son las baterías, pasando por componentes electrónicos.

Una de las áreas de investigación más destacadas del grafeno son los transistores de efecto de campo (FET) basados en su alta movilidad y efecto eléctrico ambipolar. El grafeno permite que los portadores de carga pasen de electrones a huecos o viceversa, tras la aplicación de voltaje sin pérdida de energía [15].

También estas las aplicaciones biomédicas factibles que incluyen biosensores altamente sensibles, transportadores moleculares, recubrimientos, sustratos para ingeniería de tejidos e implantes. Las oportunidades son respuesta a una amplia gama de parámetros, alta sensibilidad, múltiples rutas de lectura, facilidad y velocidad de degradación. También existen desafíos limitaciones citotóxicas desconocidas, dimensiones controlables, determinación de en vivo biodegradabilidad cinética entre otros[16].

IV. METODOLOGÍA.

En la presente investigación se ha optado por un enfoque tipo experimental y cuantitativo, ya que obtuvimos datos que posteriormente fueron analizados a través de una secuencia de etapas. Este estudio tiene como finalidad diseñar un modelo para el proceso de fabricación de grafeno por lo cual en esta investigación se obtuvo datos de forma cuantitativa como la masa del grafeno y se analizará la cantidad de voltajes y reactivos adecuados para realizar el grafeno.

En esta investigación la producción de grafeno será la variable dependiente y las variables independientes las cuales de no ser precisas afectarían directamente en el diseño de nuestro modelo vea la Fig.1. Se establecieron tres variables independientes, con sus respectivas unidades que al variar las unidades se podrá determinar la calidad del diseño de modelo.

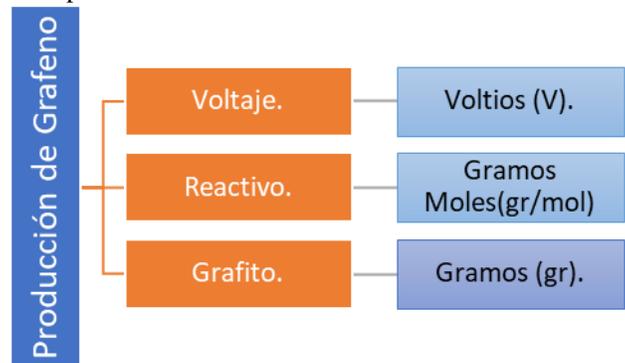


Fig. 1. Diagrama de variables de investigación
Fuente: Propia (2020).

A continuación, se presentará un listado de materiales esenciales, se seleccionaron con el objetivo de desarrollar el diseño de un modelo de proceso para la fabricación de grafeno de una manera eficiente. A continuación, se enlista los más importantes:

- Fuente de alimentación: Este es el encargado de alimentar las celdas electroquímicas.
- Regulador LM317: Es el encargado de regular el voltaje de la fuente de alimentación para las celdas electroquímicas.
- Cobre: Es el metal que funcionara como cátodo para realizar la reacción redox.
- Grafito: Es el mineral alotrópico del carbón que funcionara como ánodo para realizar la reacción redox.
- Reactivo: Es el reactivo que servirá para realizar el electrolito para hacer la exfoliación entre el cobre y el grafito.
- Horno: Es en donde se realizará el secado del grafeno luego del filtrado.

- Microscopio: Es donde se analizarán y observarán las muestras.

A. Método espiral.

Este método está desarrollado por tres ciclos el cual cada uno tiene cuatro etapas siendo el objetivo la primera etapa, la segunda etapa es el análisis de riesgo que conlleva este ciclo, como tercera etapa está desarrollar, verificar y validar el ciclo y como cuarta y última etapa está la planificación del siguiente ciclo.

a. Ciclo 1 método espiral: Diseño del regulador de voltaje.

- Etapa I. Objetivo.

Utilizar software para la elaboración y simulación del diseño de un circuito regulador de voltaje DC. En esta etapa se toma en cuenta los voltajes a regular para alimentar las celdas electroquímicas. Para realizar esta etapa se utilizó el programa Proteus Professional para determinar por medio de simulaciones el circuito a utilizar para la regulación de voltaje.

- Etapa II. Análisis de riesgos.

Los riesgos que pueden estar presente en esta etapa es al realizar el circuito no encontrar los componentes utilizados en Proteus sino unos genéricos. Que el circuito falle debido a un diseño incorrecto, la placa podría llegar a no soportar el voltaje o los amperios de la fuente de alimentación utilizada.

- Etapa III. Desarrollar, Verificar y validar.

En esta etapa, después realizar el análisis de riesgos se procede al desarrollo de nuestro regulador de voltaje en dos pasos: Primer paso se utilizó el software Proteus haciendo en el la simulación y el diseño del circuito. Segundo paso se realizó la placa electrónica para poder realizar la regulación de voltaje de la fuente de alimentación en el uso de las celdas electroquímicas.

- Etapa IV. Planificar.

Considerando el objetivo de esta espiral como un éxito, se inicia a planificar la siguiente espiral en la cual se implementará el método electroquímico.

b. Ciclo 2 método espiral: Implementación de método electroquímico

- Etapa I. Objetivo.

Finalizando de hacer el regulador de voltaje se procede a ejecutar el método electroquímico para realizar la reacción redox obteniendo una exfoliación para luego pasar a realizar el filtrado.

- Etapa II. Análisis de riesgo.

Los riesgos presentes en este ciclo pasan por mezclar la cantidad adecuada de reactivo para realizar el electrolito y que se realice la reacción redox. Seleccionar la cantidad de grafito para llevar a cabo la exfoliación y realizar de manera adecuada el proceso de filtrado sin perder o dañar la muestra.

- Etapa III. Desarrollar, Verificar y Validar.

Luego de haber analizado los riesgos se procede al desarrollo de los objetivos de este ciclo, se implementa el método electroquímico para luego realizar un filtrado, se realizarán los siguientes pasos:

- Realizar simulaciones del método electroquímico con tres reactivos distintos.
- Se procede a realizar las muestras.
- Regular un voltaje DC para alimentar las celdas electroquímicas.
- Colocar una pequeña lámina de cobre en el cátodo y una cantidad de grafito en el ánodo de las celdas electroquímicas.
- Realizar la mezcla de agua desionizada con la cantidad de reactivo seleccionado para obtener el electrolito.
- Sumergir las celdas electroquímicas con el cobre y grafito en el electrolito para realizar la reacción redox y obtener la exfoliación.
- Filtrar el grafito para eliminar los electrolitos.
- Realizar un lavado de la muestra.
- Etapa IV. Planificar.

Una vez se ha finalizado la implementación del método electroquímico y el filtrado, se inicia a planificar el proceso de secado del grafito mediante un horno.

c. Ciclo 3 método espiral: Proceso de secado mediante un horno.

- Etapa I. Objetivo.

Una vez se ha realizado la implementación del método electroquímico y realizar un filtrado para la eliminación de electrolito, se procede al proceso de secado del grafito mediante un horno.

- Etapa II. Análisis de riesgos.

Los riesgos que se puede presentar en esta espiral están relacionados con el tiempo que se puede exponer la muestra de grafito al ambiente antes de iniciar el proceso de secado del grafito mediante un horno, esto podría llegar a alterar la muestra obtenida también está el seleccionar la temperatura adecuada para el secado en el horno.

- Etapa III. Desarrollar, Verificar y validar.

Una vez analizado los riesgos de este ciclo se procede a desarrollo de los objetivos de esta espiral, se realizará un proceso de secado de las muestras de grafito obtenido por medio de un horno, se procede a analizar las muestras por medio de un microscopio.

- Etapa IV. Planificar.

En este punto se puede afirmar que se ha diseñado un modelo de proceso para la fabricación de grafito.

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

El diseño del modelo para la fabricación de grafito consta de tres pasos fundamentales. Primero regular el voltaje adecuado para alimentar los electros del método electroquímico. El método electroquímico se realiza para obtener una exfoliación y posteriormente pasar por un proceso de filtrado el precipitado obtenido de la exfoliación

electroquímica. Luego la muestra obtenida pasa por un proceso de secado en donde la muestra se introduce para finalmente verificar por medio de un microscopio que el resultado obtenido es grafeno.

A. Ciclo 1 método espiral: Diseño del regulador de voltaje

Se realizó el diseño del circuito para regular el voltaje en el software Proteus luego se simuló el circuito y se obtuvo un correcto funcionamiento. Se realizó el diseño de la placa PCB y la visualizamos en 3D para luego elaborar la placa en físico. Se usó un transistor genérico ya que no se encontró el que se utilizó en la simulación y se logró elaborar un regulador de voltaje que se puede utilizar para fuentes de alimentación de 24 y 12 voltios DC.

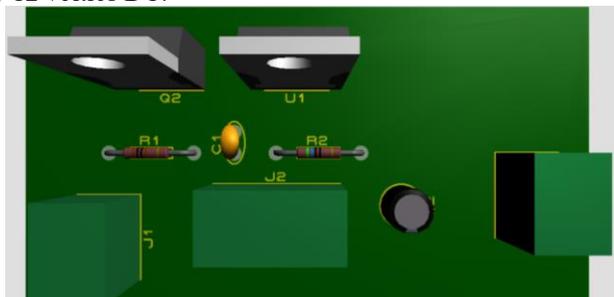


Fig. 2 Diseño del circuito eléctrico del regulador de voltaje. Fuente: Propia (2020).

Para calcular el voltaje de salida del regulador de voltaje utilizamos la siguiente ecuación.

$$V_{out} = 1.25 \left(1 + \frac{Rv2}{R1} \right) + I_{Adj}R2 \quad (1)$$

En la ecuación 1 la variable Rv2 es una resistencia variable que en este proyecto es una de 10 kΩ y R1 es una resistencia fija que es de 560 Ω para este proyecto, la corriente IAdj es una corriente despreciable y Vout es el voltaje de salida que obtenemos.

B. Ciclo 2 método espiral: Implementación de método electroquímico

Se realizó la simulación en el software Yenka en donde se hizo el método electroquímico donde utilizamos fuentes de alimentación de 6 y 9 voltios DC. Las simulaciones en el cátodo se usó un metal de transición que fue el Cobre, Cu con número atómico 29, en el ánodo se usó el Carbono, C con número atómico 6 como principal elemento para obtener grafeno. El electrolito se utilizó sulfato de sodio Na₂SO₄ con una concentración molar de 1.98, ácido sulfúrico H₂SO₄ con una concentración molar de 2 y sulfato de cobre CuSO₄ con una concentración molar de 1.38. Se obtuvieron datos de la muestra de reacción celular de cada elemento, también se obtuvieron los detalles de la reacción electroquímica. Alguno de los datos obtenidos fue la reacción electroquímica, información sobre el reactivo utilizado, y otras propiedades como la temperatura, volumen y masa.

Para realizar una parte del modelo matemático de esta espiral se utilizaron tres ecuaciones, en la ecuación 2 se utilizó para calcular la concentración molar la ecuación 3 se utilizó

para encontrar los números de moles de soluto a utilizar para la concentración molar necesaria

$$M = \frac{\eta}{V} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\text{masa compuesta}}{\text{masa molecular}} \quad (3)$$

En la Ecuación 2. M es la molaridad, η es número de moles de soluto y V es el volumen.

Hay una última ecuación que se utilizó para encontrar cual era el voltaje mínimo necesario para que se realizara el método electroquímico con éxito.

$$E_{cell} = E_r - E_o \quad (4)$$

En la ecuación 4 tenemos que Ecell es el voltaje mínimo que se debe tener en las celdas galvánicas para que la reacción redox suceda, Er es el voltaje de reducción y Eo es el voltaje de oxidación.

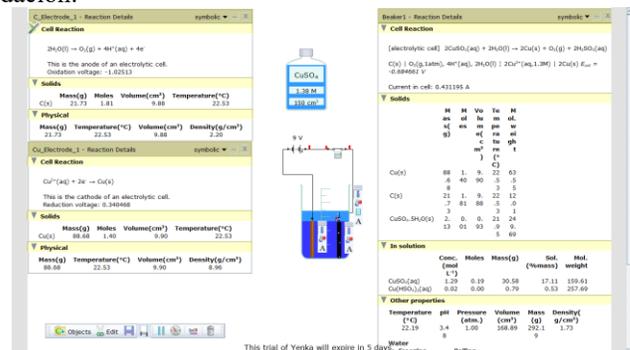


Fig. 3 Simulación con sulfato de cobre a 9V Fuente: Propia (2020).

Se desarrolló el proceso electroquímico donde se realizaron muestras con 0.5 y 1 gr de grafito con 6 y 9 V. Estas muestras se descartaron debido a que al momento de filtrarse el precipitado obtenido se secó en su totalidad en el papel y no se logró obtener una buena muestra. Se pudo analizar que a mayor cantidad de grafito mayor precipitado y se descarta el rehusó de la lámina de cobre. Obteniendo toda esta información proseguimos a realizar nuevas pruebas. Se realizaron diez muestras individuales con una cantidad de 2 gr de grafito con un voltaje de 9 V cada una, formando al final dos muestra madre. Ambas muestras madres se realizaron con el contenido de cinco muestras individuales, estas muestras se realizaron con sulfato de cobre.



Fig. 4 Proceso Electroquímico con un voltaje de 6V Fuente: Propia (2020)

Cuando se ejecutó el proceso de filtrado en las primeras muestras realizadas de 0.5 y 1 gr de grafito en 6 y 9V se observó que al dejar secar la muestra en su totalidad no se logra obtener una muestra adecuada. Cuando se prosiguió a realizar las siguientes muestras madre se lavó el precipitado en el papel filtro de cada muestra individual con agua desionizada

y se colocó la muestra filtrada lavada en el crisol con tapadera. La muestra se trasladó del papel al crisol con una espátula, se recomendable que la espátula sea de plástico. La segunda muestra madre se realizó de la misma manera que la primera muestra madre con la diferencia que se lavó con más cantidad de agua desionizada varias veces.



Fig. 5 Proceso electroquímico de 9V muestra madre.
Fuente: Propia (2020).

C. *Ciclo 3 método espiral: Proceso de secado mediante un horno*

Se desarrollo el proceso de secado de una muestra de 1 gr de grafito con un voltaje de 9 voltios por medio de un horno. La primera muestra introducida al horno se descartó ya que la muestra contenida sulfato de cobre y lo que sucedió fue que se cristalizó el sulfato de cobre con el grafito.

Se realizo nuevamente el proceso de secado de la primera muestra madre, esta muestra para evitar lo sucedido con la muestra individual anterior se determinó que se lavaría con agua desionizada. La muestra lavada se introdujo al horno hasta que el agua desionizada se consumió. Posteriormente se analizó la muestra por medio de un microscopio para comprobar que se obtuvo grafeno. En la muestra se observó por medio del microscopio que todavía se tiene un exceso de sulfato de cobre en la muestra.

En la muestra madre que se analizó por medio de microscopio observamos varios puntos azules como se muestra en la Fig. 6. Debido que esto quiere decir que se observa bastante partículas de sulfato de cobre entonces se decidió realizar una segunda muestra madre. La segunda muestra madre se lavó con mayor cantidad de agua desionizada, estas muestras se observaron con 1 μm .

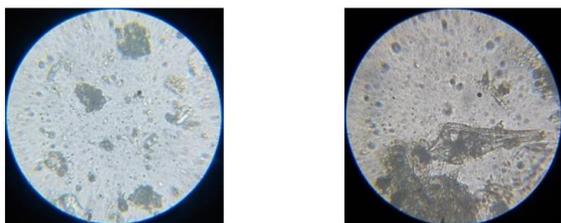


Fig. 6. Vista de la primera muestra madre por el microscopio
Fuente: propia (2020)

Se desarrollo una última muestra madre en la cual se lavó con mayor agua desionizada y varias veces para disminuir la cantidad de sulfato de cobre. En la muestra y se insertó en el horno hasta que se consumió el agua desionizada de la muestra y posteriormente se analizó la muestra por medio de un microscopio confirmar que realizamos grafeno. La Fig. 7 muestra la imagen en el microscopio.

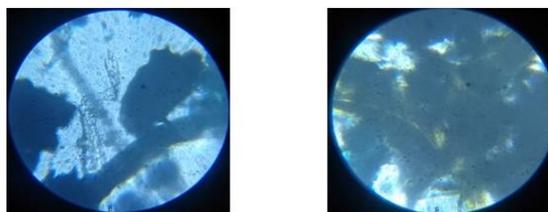


Fig. 7. Vista de la segunda muestra madre por el microscopio
Fuente: propia (2020)

La Fig. 8 muestra el diagrama de flujo del proceso de fabricación de grafeno conformado por cinco etapas las cuales primera etapa se realizar el proceso electroquímico con una concentración molar de 2, luego un proceso de filtrado por gravedad, seguido de un proceso de lavado para posteriormente un proceso de secado terminando con la verificación de un microscopio a 1 μm , logrando realizar 0.1 gr de grafeno. El costo para desarrollar 0.1 gr de grafeno se necesita un presupuesto de US \$ 175.00.

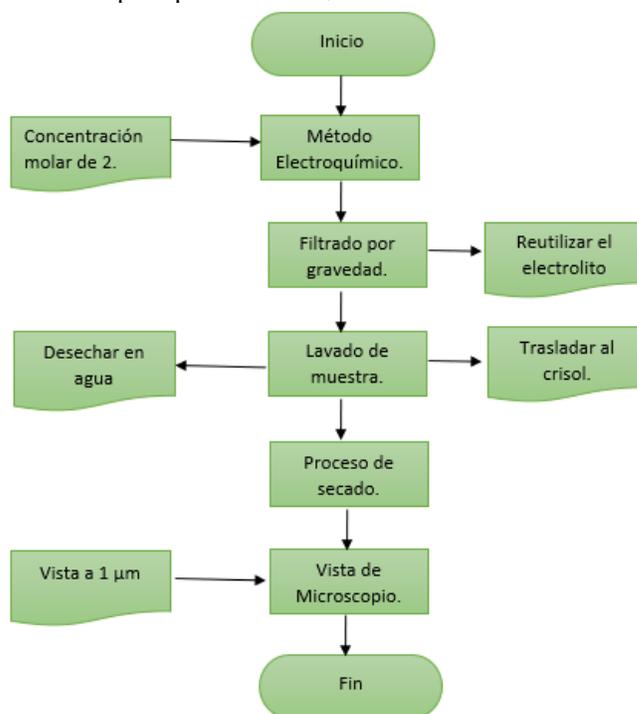


Fig. 8. Modelo utilizado para la fabricación de grafeno.
Fuente Propia (2020)

Tabla 1. Cantidad de grafeno obtenido

Muestra	Peso.
Primera Muestra Madre	0.05 gr
Segunda Muestra Madre	0.05 gr

Fuente: Propia (2020).

En la tabla 1 se muestra la cantidad de grafeno obtenido en las muestras madres realizadas, en ambas muestras madres se observa una cantidad de 0.05 gr.

VI. DISCUSIÓN.

Se realizó un análisis para determinar si el grafeno se puede utilizar en cadena de tablillas. Para realizar este estudio se hicieron pruebas en el software CAD SolidWorks, el cual se realizaron diversas pruebas con la finalidad de lograr experimentar y obtener lecturas de las variables independientes.

Antes de realizar las respectivas pruebas de tensión y esfuerzo sobre las cadenas de tablillas, fueron diseñadas estas cadenas, en la figura 9, se muestra el diseño final, utilizado para las respectivas pruebas. El grosor de la cadena de tablilla es de 3.1 milímetros, para la primera prueba. La segunda prueba es un 30% más delgada, con un grosor de 2.17 milímetros ambas para grafeno como material.

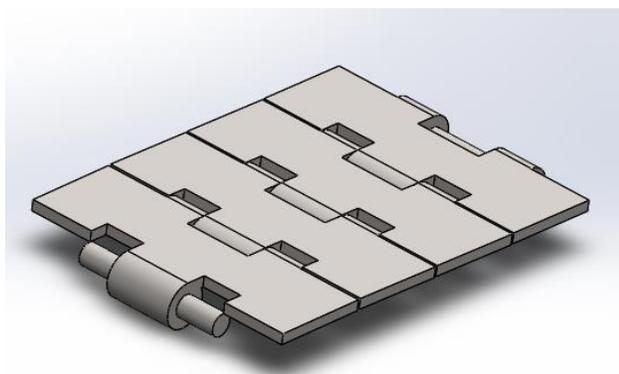


Fig. 6 Diseño de las cadenas de tablillas
Fuente: propia (2020)

Con la finalidad de obtener los resultados más asertivos, las pruebas fueron realizadas bajo las mismas condiciones. Para la prueba de tensión y esfuerzo, cada pieza fue sometida a una fuerza de 2,500 N, siendo esta la carga común en una embotelladora. Fueron evaluados tres parámetros diferentes al aplicar esta fuerza, se determinó la tensión de von Mises, el desplazamiento y las deformaciones unitarias. Las pruebas fueron acordes a la norma ASTM A370.

Se realizaron las respectivas pruebas sobre las cadenas de tablillas con materiales de grafeno. Inicialmente, fueron configuradas las propiedades de este material, en la tabla 2, se resume las propiedades asignadas para la ejecución de las respectivas pruebas. La cadena cuenta con un grosor de 3.10 mm.

Seguidamente, se realizaron las pruebas de tensión y esfuerzo sobre la cadena, para esto se aplicó una fuerza de 2,500 N. Primeramente, se obtuvo el comportamiento de la tensión de von Mises de toda la cadena.

La tensión de von Mises máxima obtenida sobre la cadena se encuentra entre la zona fija de la cadena y el resto de la cadena. Específicamente, esta tensión máxima obtenida fue de 1.025 GPa, y en lo restante de la pieza esta tensión disminuye considerablemente. Posteriormente, se obtuvo un

comportamiento del desplazamiento presentado por la cadena de grafeno.

Tabla 2. Propiedades del grafeno

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	1e+12	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.165	N/D
Módulo cortante		N/m ²
Densidad de masa	2260	kg/m ³
Límite de tracción	1.3e+11	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	2e+12	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	-3.75e-06	/K
Conductividad térmica		W/(m·K)

Fuente: Propia (2020).

El desplazamiento máximo obtenido fue menos de medio milímetro, exactamente fue de 0.3059 milímetros, ubicado a lo largo de la zona central, lo más alejado de las zonas fijas. Finalmente, se determinó la deformación unitaria a causa de la carga. Se obtuvo la deformación unitaria de la cadena de grafeno, se determinó que la deformación unitaria fue muy pequeña, exactamente de 0.0003361.

Se procedió a realizar las pruebas de tensión y esfuerzo sobre la cadena de tablilla de grafeno con un 30% más delgada a la primera prueba, es decir, con un espesor total de 2.17 mm.

Sin embargo, para la prueba, fue aplicada la misma magnitud de fuerza hacia la misma dirección, de manera perpendicular a la pieza. Inicialmente, se obtuvo el comportamiento de la tensión de von Mises a causa de la fuerza aplicada. Las propiedades utilizadas fueron las mismas mostradas en la tabla 2.

Los resultados obtenidos, demostraron que la tensión máxima obtenida fue de 1.433 GPa, siendo estas encontradas entre la parte fija y lo restante de la cadena, en lo restante de la cadena, esta tensión disminuye.

Seguidamente, se logró obtener los resultados del desplazamiento existente en la cadena de tablilla debido a la fuerza aplicada. Se obtuvo un desplazamiento máximo de 0.6267 mm, en la parte central de la cadena, lo más lejano de ambas zonas fijas.

Finalmente, se determinó las deformaciones unitarias presentadas por la cadena de tablillas, causada por la fuerza de 2,500 N. Con los resultados obtenidos, se determinó que la deformación unitaria máxima obtenida fue un factor de 0.0005091, siendo un valor mínimo.

Los resultados obtenidos de estos parámetros observados son resumidos en la tabla 3, estos valores son los valores máximos obtenidos, sin embargo, en ciertos puntos de viga, este valor puede llegar a ser menor.

Tabla 3. Resumen del comportamiento mecánicas de las cadenas

Material	Desplazamiento	Tensión de Von Mises	Deformación Unitaria
Grafeno	0.3059 mm	1.025 GPa	0.000336
Grafeno (-30%)	0.6267 mm	1.433 GPa	0.000509

Fuente: Propia (2020).

La cadena de grafeno presentó un desplazamiento convirtiéndolo en un material óptimo para soportar la carga aplicada en la prueba. Y la cadena de tablilla con un 30% más delgada de grafeno, a pesar de su menor grosor, la cantidad de desplazamiento fue más del doble de la cadena de grafeno con el grosor de 3.10mm.

La tensión de von Mises de cada cadena fue observado, se logró determinar la mayor tensión de von mises es la del grafeno, sin embargo, es muy cercana a la de Grafeno con (-30%). Siendo esta tensión, la presión ejercida por la carga aplicada en cada punto.

La tensión de von Mises es de mucha utilidad para determinar el factor de seguridad de la pieza, este se obtiene dependiendo del límite elástico, específicamente con la ecuación 4.

$$\text{Factor de Seguridad (FS)} = \frac{\text{Límite Elástico}}{\text{Tensión de von Mises}} \quad (4)$$

El límite elástico y la tensión de von Mises, poseen unidades de presión, lo que convierte al factor de seguridad en un valor adimensional. Se obtuvo el factor de seguridad de cada cadena de tablilla, en la tabla 4, se presentan los resultados.

Tabla 4. Factor de seguridad de las cadenas según el material

Material	Límite Elástico	Tensión de von Mises	Factor de Seguridad
Grafeno	2 TPa	1.025 GPa	1951.22
Grafeno (-30%)	2 TPa	1.433 GPa	1395.67

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 4 la cadena de grafeno con grosor de 3.10mm, obtuvo un factor de seguridad mucho mayor que 1, esto convierte a la cadena de grafeno en una pieza muy segura para soportar la carga aplicada. De igual manera, a pesar de disminuir el grosor por un 30%, la cadena de tablilla de grafeno posee alto factor de seguridad. Por último, se obtuvo la deformación unitaria, siendo el cambio de longitud por unidad de longitud, esto convierte a la deformación unitaria una medida adimensional. Como se observa en la tabla 3, la menor cantidad de deformación unitaria fue obtenida por el grafeno, incluyendo la cadena de tablilla de grafeno 30% más delgadas.

También se realizó un análisis sobre el grafeno para diseño de exoesqueleto pasivo para trabajadores en el área automotriz. Los exoesqueletos de tipo activo están sujetos a utilizar alimentaciones externas ya que estos poseen elementos actuadores como ser motores, pistones, sensores o una unidad de control electrónica por la cual se realizan análisis de movimientos. Estos son normalmente utilizados para rehabilitación o potenciación de las extremidades.

Los exoesqueletos de tipo pasivo no necesitan alimentación externa ya que estos funcionan a base de conexiones mecánicas. Para la elaboración del diseño CAD

del exoesqueleto pasivo se tomó en cuenta la longitud promedio de las extremidades de una persona adulta.

La pieza donde descansa el muslo se diseñó tomando en cuenta el promedio de longitud de las articulaciones, por lo que en la posición base la longitud de la pieza es de treinta y ocho centímetros, y la longitud extendida es de cuarenta y un centímetros, tomando en cuenta en que debe haber al menos dos fijaciones en todo momento entre la pieza del asiento y la pieza del muslo. El asiento tiene un espesor de cinco milímetros, mientras que el muslo tiene un espesor de dos centímetros.

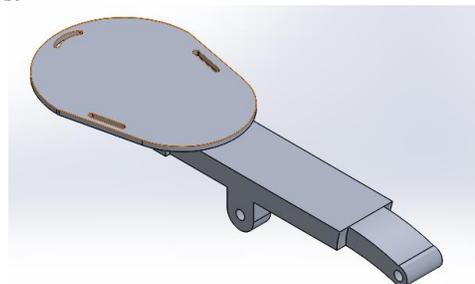


Fig. 7 Pieza del muslo.
Fuente: propia (2020)

El apoyo de la pierna al suelo es el segundo componente del exoesqueleto pasivo, tiene una longitud base de cuarenta y seis centímetros y una longitud extendida de cincuenta y ocho centímetros.

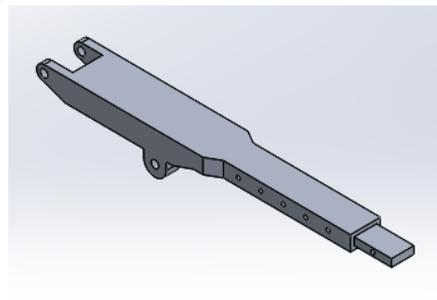


Fig. 8 Pieza de la pierna
Fuente: propia (2020)

El mecanismo de bloqueo para sentarse está compuesto por dos elementos cilíndricos que actúan por el movimiento de las extremidades inferiores, es decir, no son amortiguadores. Ambos elementos, el que se acopla en el muslo y el que se acopla en la pierna tienen una longitud de veinte centímetros. El componente de la pierna tiene un diámetro de dos centímetros con una cavidad interna de un centímetro, mientras que el que va unido al muslo tiene un diámetro de un centímetro.

Finalizando las piezas se procedió a medir los ángulos resultantes para el movimiento de sentarse tomando los puntos de centro de masa de los elementos y las extremidades. El ángulo entre la pieza del muslo y la pierna es de noventa y siete grados, entre el elemento de soporte al suelo (pieza de la pierna) y la pierna humana tiene una separación en el punto de

contacto con el suelo de quince centímetros, dando como resultado un ángulo de veinte grados.

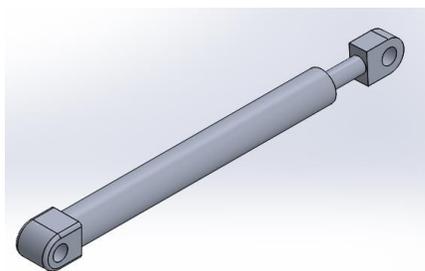


Fig. 9 Mecanismo de bloqueo.
Fuente: propia (2020)

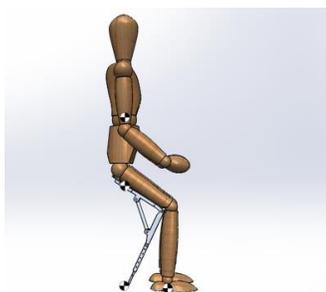


Fig. 10 Modelo del exoesqueleto pasivo.
Fuente: propia (2020)

Para realizar las pruebas de esfuerzo se tomaron en cuantos tres materiales: Aluminio 6061, Hierro dúctil y Grafeno. A los materiales se le aplicaron y simularon fuerzas aplicadas sobre ellos para comprobar las deformaciones y tensiones resultantes.

Las pruebas se realizaron en componentes individuales y en el ensamblaje para determinar cuál es el material óptimo. Se tomaron en cuenta los factores de deformación, tensión, seguridad y las propiedades físicas al momento de realizar las pruebas al conjunto ensamblado de componentes.

Se aplicó una fuerza individual de 150lbf a los componentes tanto individuales como en el conjunto ensamblado. La primera prueba realizada fue al muslo, tanto en hierro dúctil como en aluminio 6061 y grafeno. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados del análisis estático en el muslo.

Pruebas	Material		
	Hierro dúctil	Aluminio 6061	Grafeno
Masa(gr)	3832.99 gr	1457.62 gr	1220.08 gr.
Desplazamiento mínimo	1.000e-30 mm	1.000e-30 mm	1.000e-30 mm
Desplazamiento máximo	1.750 mm	3.039 mm	2.116e-01 mm

Fuente: propia (2020)

Concluido el análisis del muslo se procede a realizar en análisis de la pierna por medio de la simulación del software CAD. La herramienta también determina que tan segura es cuando se aplican diferentes cargas. En la Tabla 6 se muestran los resultados del análisis.

Tabla 6. Resultados del análisis estático en la pierna.

Pruebas	Material		
	Hierro dúctil	Aluminio 6061	Grafeno
Masa(gr)	3374.14 gr	1283.13 gr	1074.02 gr
Desplazamiento mínimo	1.000e-30 mm	1.000e-30mm	1.000e-30mm
Desplazamiento máximo	5.642e-02mm	9.797e-02mm	6.806e-03 mm

Fuente: propia (2020)

Para determinar los resultados se realizaron pruebas de análisis estático con 150lbf en el mecanismo de soporte. Los resultados de estos análisis se pueden ver en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados del análisis estático en el mecanismo de bloqueo.

Pruebas	Material		
	Hierro dúctil	Aluminio 6061	Grafeno
Masa(gr)	481.37 gr	183.06 gr	153.22 gr
Desplazamiento mínimo	1.000e-30mm	1.000e-30mm	1.000e-30mm
Desplazamiento máximo	2.755e-03mm	4.786e-03mm	3.332e-04 mm

Fuente: propia (2020)

Como resultado de las pruebas obtenidas en el análisis individual de las piezas se obtuvo que el material que mejor soporta las cargas es el hierro dúctil, pero este posee mayor masa por lo que podría dificultar el movimiento de las extremidades. El grafeno tiene muy buena resistencia y poco peso, pero es un material que aún está en desarrollo por lo que no es de fácil obtención. El aluminio posee un poco más de deformación cuando se le aplican las cargas, pero está dentro del factor de seguridad permisible, el aluminio tiene menos masa, dando como resultado un peso menor y mejor movimiento al andar. El punto del exoesqueleto es que pueda soportar el peso de un adulto y que no limite sus movimientos para no hacer incomodo el trabajo.

VII. CONCLUSIONES.

Se logró diseñar un modelo para la fabricación de grafeno conformado por cinco etapas, en la primera se realiza el proceso electroquímico con una concentración molar de 2, luego un proceso de filtrado por gravedad, seguido de un proceso de lavado para posteriormente un proceso de secado

terminando con la verificación de un microscopio a 1µm, logrando realizar 0.1 gr de grafeno.

Se desarrolló simulaciones en el software Yenka con varios electrolitos para el desarrollo del método electroquímico y facilitar la forma de realizar posteriormente las muestras esto se realizó a partir de la implementación de cálculos matemáticos para la exfoliación obteniendo como voltajes mínimos para la reacción en el sulfato de cobre de 0.7 V, en el Ácido Sulfúrico 1.3 V y en el sulfato de sodio 3.5V.

Se identificó el procedimiento más viable para fabricación del grafeno con equipo asequible en el medio local el cual fue el método electroquímico. El método electroquímico viene del método Top Down, en este método se utilizó cobre como cátodo, 2 gr de grafito como ánodo y 39.75 gr de sulfato de cobre como reactivo para realizar el electrolito en 0.125 L de agua desionizada.

En términos generales el grafeno tendrá un gran impacto positivo en la industria ya que es un material que se puede utilizar para diversas aplicaciones y esto nos abre a un sinfín de avances tecnológicos, pero cabe decir que este impacto se podrá dar hasta que se pueda realizar grafeno a gran escala y de alta calidad a un bajo costo, en el medio local realizar 0.1 gr de grafeno se necesita un presupuesto de US \$ 175.00.

Se determinó que el grafeno es un material mucho más apropiado para soportar altas cargas, ya que se genera un menor desplazamiento 0.3059 mm, con una menor deformación unitaria de 0.000336. Además, gracias a su alto límite elástico, le permite soportar la carga aplicada en las pruebas y mucho más que esta magnitud. Aun reduciendo el grosor de la cadena de tablilla en un 30% se obtuvo un buen comportamiento mecánico.

Por medio de los análisis del software CAD que incluían pruebas de esfuerzo y deformaciones, se pudo determinar que el aluminio 6061 es mejor que el hierro dúctil y grafeno, ya que a pesar de que el hierro posee una mayor resistencia es más pesado, y el grafeno tiene buena resistencia y poco peso, pero sus características lo hacen difícil de conseguir y maquinar.

REFERENCIAS

[1] O. Rivera y D. Alexis, «Usos y aplicaciones del Grafeno y otros materiales innovadores en la Ingeniería Industrial», *Repos. Univ. Estatal Milagro*, dic. 2018, Accedido: oct. 16, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/4376>.

[2] A. R. Villalón y I. I. Barba, «GRAFENO: SÍNTESIS, PROPIEDADES Y APLICACIONES BIOMÉDICAS», p. 19, jun. 2016.

[3] P. V. Ratnikov y A. P. Silin, «Two-dimensional graphene electronics: current status and prospects», *Phys.-Uspekhi*, vol. 61, n.º 12, pp. 1139-1174, dic. 2018, doi: 10.3367/UFNe.2017.11.038231.

[4] N. A. A. Ghany, S. A. Elsharif, y H. T. Handal, «Revolution of Graphene for different applications: State-of-the-art», *Surf. Interfaces*, vol. 9, pp. 93-106, dic. 2017, doi: 10.1016/j.surfin.2017.08.004.

[5] K. N. Alnassar, M. R. Roknabadi, M. Behdani, y B. G. Shohany, «Theoretical Study of Electronic Properties of Nanostructures Composed of Blue Phosphorene and Graphene Sheet», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 871, p. 012084, jun. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/871/1/012084.

[6] J. Yang, P. Hu, y G. Yu, «Design of carbon sources: starting point for chemical vapor deposition of graphene», *2D Mater.*, vol. 6, n.º 4, p. 042003, jul. 2019, doi: 10.1088/2053-1583/ab31bd.

[7] M. A. Azam *et al.*, «Review—Critical Considerations of High Quality Graphene Synthesized by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition for Electronic and Energy Storage Devices», *ECS J. Solid State Sci. Technol.*, vol. 6, n.º 6, p. M3035, ene. 2017, doi: 10.1149/2.0031706jss.

[8] Z. Lu, X. Sun, M. A. Washington, y T.-M. Lu, «Quasi van der Waals epitaxy of copper thin film on single-crystal graphene monolayer buffer», *J. Phys. Appl. Phys.*, vol. 51, n.º 9, p. 095301, feb. 2018, doi: 10.1088/1361-6463/aaa875.

[9] Z. Zhang, A. Fraser, S. Ye, G. Merle, y J. Barralet, «Top-down bottom-up graphene synthesis», *Nano Futur.*, vol. 3, n.º 4, p. 042003, dic. 2019, doi: 10.1088/2399-1984/ab4eff.

[10] K. A. Madurani, S. Suprpto, N. I. Machrita, S. L. Bahar, W. Illiya, y F. Kurniawan, «Progress in Graphene Synthesis and its Application: History, Challenge and the Future Outlook for Research and Industry», *ECS J. Solid State Sci. Technol.*, vol. 9, n.º 9, p. 093013, oct. 2020, doi: 10.1149/2162-8777/abbb6f.

[11] J. Phiri, P. Gane, y T. C. Maloney, «General overview of graphene: Production, properties and application in polymer composites», *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 215, pp. 9-28, ene. 2017, doi: 10.1016/j.mseb.2016.10.004.

[12] C. Backes *et al.*, «Production and processing of graphene and related materials», *2D Mater.*, vol. 7, n.º 2, p. 022001, ene. 2020, doi: 10.1088/2053-1583/ab1e0a.

[13] E. A. Ganash, G. A. Al-Jabarti, y R. M. Altuwirqi, «The synthesis of carbon-based nanomaterials by pulsed laser ablation in water», *Mater. Res. Express*, vol. 7, n.º 1, p. 015002, nov. 2019, doi: 10.1088/2053-1591/ab572b.

[14] Y. Liu, «Application of graphene oxide in water treatment», *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 94, p. 012060, nov. 2017, doi: 10.1088/1755-1315/94/1/012060.

[15] N. Zhan, B. Chen, C. Li, y P. K. Shen, «Molecular dynamics simulations of the thermal conductivity of graphene for application in wearable devices», *Nanotechnology*, vol. 30, n.º 2, p. 025705, nov. 2018, doi: 10.1088/1361-6528/aae98b.

[16] B. H. Nguyen y V. H. Nguyen, «Promising applications of graphene and graphene-based nanostructures», *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 7, n.º 2, p. 023002, abr. 2016, doi: 10.1088/2043-6262/7/2/023002.