



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO DE UN MODELO PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GRAFENO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

CRISTHIAN JOSUÉ MENDEZ BARAHONA

ASESOR: ING. JOSÉ LUIS ORDOÑEZ ÁVILA

CAMPUS: SAN PEDRO SULA

FEBRERO, 2021

DEDICATORIA.

Esta tesis está dedicada a:

Dedico primeramente este proyecto a Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento de mi vida tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, Oswaldo Mendez y Silsa Barahona, quienes han sido el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo sin importar las circunstancias. Gracias por brindarme una oportunidad para mi futuro.

Al Ing. José Ordoñez, por impulsarme a dar lo mejor para ser buen profesional.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, quien me ha guiado a lo largo de mi vida, llenándome de bendiciones, amor y demostrándome que su bondad no tiene fin, poniéndome en mi camino a las personas correctas, dándome fortaleza y sabiduría para poder sobrellevar todos los momentos difíciles presentados en mi camino.

Gracias a mis padres por el amor y apoyo incondicional recibido en cada momento de mi vida, gracias por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar cada día y creer en mi potencial, por educarme con el objetivo de hacer mío, actitudes para enfrentar la vida como el trabajo, el esfuerzo, la disciplina, la responsabilidad, la tolerancia, la paciencia, el respeto, el agradecimiento, el amor, la reciprocidad, y el buen humor que los caracteriza. Gracias a mi madre Silsa Barahona por estar en cada paso de mi vida, por sus palabras de aliento en los peores momentos y anhelar lo mejor para mi vida; gracias a mi padre Oswaldo Mendez por siempre ser mi consejero y por cada una de sus palabras que me han guiado con rectitud para ser un hombre de bien. Por esto y por haber logrado darme las herramientas necesarias para que haya sido una persona muy feliz en cada una de las etapas que he vivido, estaré agradecido toda la vida.

Quiero expresar mi gratitud a dos personas incondicionales en mi vida, mi hermano mayor Samir Mendez que me ha brindado su apoyo incondicional y que ha soportado muchos de mis momentos de estrés, siendo el un modelo de vida que admiro mucho, a mi hermana menor Cesia Mendez por su amor incondicional, buen humor y motivándome a creer en mí. Agradezco a los docentes de UNITEC que me compartieron sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, haciendo una mención especial al ingeniero José Luis Ordoñez, quien me demostró que siempre se es capaz de más, motivándome a expresar mi potencial a un nivel más alto. Gracias a mis amigos, Emily Cantarero, Estefany Almendares, Karen Peña, Diana Santamaria, Héctor Jiménez, Omar Alvarado, Juan Rivera, Jonathan Rodríguez, Ian Canales, Israel Sarmiento, Hegel López, Wolfgang Rodas, Nelson Amaya, Zabdiel Oyuela, Carlos Mezen por haber hecho de momentos vacíos las mejores experiencias, anécdotas, aprendizajes y grandes afectos que recordaré por siempre.

Gracias a la vida por este nuevo Éxito.

EPÍGRAFE

“Cuando algo es lo suficientemente importante, lo haces incluso si las probabilidades no están a tu favor.”

-Elon Musk

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de este trabajo es exponer el diseño de un modelo para el proceso de fabricación de grafeno, el grafeno es un material que está compuesto por carbono sintetizado y que a partir de su sinterización es uno de los materiales en los cuales los investigadores de ciencias de la materia están estudiando, obteniendo conocimientos nuevos de sus propiedades y métodos de obtención para sus futuras aplicaciones en la industria. Para el desarrollo de este modelo se utiliza una metodología en espiral, que permite el desarrollo y análisis de tres fases. Este estudio comienza con el diseño de un regulador de voltaje que su función es alimentar los electrodos de nuestro método electroquímico, de acuerdo a los resultados obtenidos el voltaje adecuado para alimentar nuestros electrodos es de 9V, en el método electroquímico es donde se realiza la exfoliación este proceso se realiza teniendo cobre en el cátodo y grafito en el ánodo con una concentración molar de 2 en el electrolito que se realizó con 39.7 gr de sulfato de cobre en 0.125 L de agua desionizada y posteriormente realizamos un proceso de filtrado para separar el electrolito del precipitado obtenido y terminamos con el método de secado en un horno para obtener 0.09 gr de grafeno en polvo. Finalmente se concluye que la metodología espiral facilito la planificación y ejecución del diseño de un modelo para el proceso de fabricación de grafeno y 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 buena calidad a un bajo costo, en el medio local realizar 0.1 gr de grafeno se necesita un presupuesto de 4,296.00 L.

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

ABSTRACT

The purpose of this work is to expose the design of a model for the graphene manufacturing process, graphene is a material that is composed of synthesized carbon and that from its sintering is one of the materials in which science researchers They are studying the matter, obtaining new knowledge of its properties and methods of obtaining it for future applications in industry. For the development of this model, a spiral methodology is used, which allows the development and analysis of three phases. This study begins with the design of a voltage regulator whose function is to feed the electrodes of our electrochemical method, according to the results obtained, the appropriate voltage for our electrodes is 9V, in the electrochemical method it is where the exfoliation is carried out. The process is carried out having copper in the cathode and graphite in the anode with a molar concentration of 2 in the electrolyte that was carried out with 39.7 g of copper sulfate in 0.125 L of deionized water and then we carried out a filtering process to separate the electrolyte from the precipitate obtained and we finished with the drying method in an oven to obtain 0.09 g of graphene powder. Finally, it is concluded that the spiral methodology facilitated the planning and execution of the design of a model for the graphene manufacturing process and in general terms, graphene will have a great positive impact on the industry since it is a material that can be used for various applications. and this opens us to endless technological advances, but it must be said that this impact can be given until graphene can be made on a large scale and of good quality at a low cost, in the local environment making 0.1 gr of graphene is needed budget of 4,296.00 L.

Keywords— Graphene manufacturing, voltage regulator, electrochemical method, filtering, drying.

Índice de Contenido.

I.	Introducción.....	17
II.	Planteamiento del Problema.....	18
2.1	Precedentes del Problema.	18
2.2	Definición del problema.....	19
2.3	Justificaciones.	19
2.4	Preguntas de Investigación.....	20
2.5	Objetivos.....	20
2.5.1	Objetivo General.....	20
2.5.2	Objetivos específicos.....	21
III	Marco Teórico.....	22
3.1	Carbono.....	22
3.1.1	Estructura del átomo de carbono.	22
3.1.2	Algunos alótropos del Carbono	23
3.2	Grafeno.....	24
3.2.1	Términos para el grafeno y materiales relacionados a base de grafeno.	25
3.2.2	Estructura del Grafeno.	26
3.3	Procesos de obtención de grafeno.....	27
3.3.1	Métodos Bottom-up para la obtención de grafeno.....	28
3.3.2	Métodos Top-Down para la obtención de grafeno.....	31
3.4	Propiedades del Grafeno	40
3.4.1	Propiedades eléctricas y electrónicas.....	41
3.4.2	Propiedades mecánicas.....	43

3.4.3	Propiedades ópticas.....	44
3.4.4	Propiedades térmicas.....	45
3.4.5	Propiedades químicas.....	47
3.5	Impacto que Tendrá el Grafeno en la Industria.....	48
3.6	Aplicaciones del grafeno.....	50
IV	Metodología.....	53
4.1	Enfoque.....	53
4.2	Variable de investigación.....	53
4.3	Técnicas e instrumentos aplicados.....	55
4.4	Materiales.....	56
4.5	Metodología de estudio.....	56
4.5.1	Ciclo I. Diseño del regulador de voltaje.....	57
4.5.2	Ciclo II. Implementación del método electroquímico.....	58
4.5.3	Ciclo III. Proceso de secado del grafeno mediante un horno.....	59
4.6	Metodología de validación.....	60
4.7	Cronograma de actividades.....	60
V	ANÁLISIS Y RESULTADO.....	62
5.1	Análisis de teoría de sustento.....	62
5.2	Resultados.....	62
5.2.1	Ciclo I. Diseño del regulador de voltaje.....	63
5.2.2	Ciclo II. Implementación del método electroquímico.....	68
5.2.3	Ciclo III. Proceso de secado del grafeno mediante un horno.....	89
VI	Conclusiones.....	95

VII	Recomendaciones.....	96
VIII	Referencias.....	97

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1. Presentación esquemática de la estructura de la capa de grafeno.	25
Ilustración 2. Grafeno: el bloque de construcción madre de otros alótopos de carbono, grafito (3D), fullereno (0D) y CNT(1D).	27
Ilustración 3. La estructura geométrica de una sola capa de grafeno desde la parte superior y la vista lateral.....	27
Ilustración 4 Diagrama esquemático del mecanismo de exfoliación electroquímica del grafito..	37
Ilustración 5 La síntesis de RGO pasa de la oxidación a la reducción.....	40
Ilustración 6 Aplicación del grafeno en la investigación y la industria.....	51
Ilustración 7. Diagrama de las variables de investigación.	55
Ilustración 8 Primera espiral con el diseño del circuito del regulador de voltaje.....	57
Ilustración 9. Segunda espiral implementación del método electroquímico.....	58
Ilustración 10. Tercera espiral para el proceso de secado del grafeno mediante un horno.	59
Ilustración 11 Cronograma de actividades para el desarrollo de la investigación.....	61
Ilustración 12. Diseño del Circuito eléctrico del regulador de voltaje	65
Ilustración 13 Simulación del regulador de voltaje con una fuente de 24 v.	66
Ilustración 14. Diseño de la placa PCB.	67
Ilustración 15 Vista de la placa PCB en 3D del Regulador de Voltaje.....	67
Ilustración 16. Placa Electrónica del regulador de voltaje DC.....	68
Ilustración 17 Simulación de Sulfato de sodio con 6 V.	72
Ilustración 18 Simulación de Sulfato de sodio con 9 V.	74
Ilustración 19. Simulación de Ácido Sulfúrico con 6 V.....	77
Ilustración 20 Simulación de Ácido Sulfúrico con 9 V.....	78

Ilustración 21. Simulación de Sulfato de Cobre con 6 V.....	81
Ilustración 22 Simulación de Sulfato de Cobre con 9 V.....	83
Ilustración 23 Disolución del sulfato de cobre con agua desionizada.	86
Ilustración 24 Proceso electroquímico con 6V.....	86
Ilustración 25 Proceso electroquímico con 9V.....	87
Ilustración 26 Proceso electroquímico de 9V muestra madre.....	87
Ilustración 27 Peso del grafito luego de las muestras y peso del crisol antes de colocar las muestras.....	88
Ilustración 28 Segunda muestra madre.....	89
Ilustración 29 Muestra cristalizada después del proceso de secado.....	91
Ilustración 30 Muestra madre antes de introducir al horno.....	91
Ilustración 31 Vista de la primera muestra madre por microscopio.....	92
Ilustración 32 Vista de la segunda muestra madre por el microscopio.....	92
Ilustración 33 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de grafeno	94

Índice de Tablas.

Tabla 1.comparación entre algunos alótopos de carbono, utilizando su control electrónico y propiedades estructurales.	24
Tabla 2. Las propiedades más excepcionales del grafeno.....	41
Tabla 3 Variables de Investigación.....	54
Tabla 4 Selección de proceso.....	64
Tabla 5 Resultados de la simulación de Sulfato de sodio con 6 V.....	74
Tabla 6 Resultados de la simulación de Sulfato de sodio con 9 V.....	75
Tabla 7 Resultados de la simulación de Ácido Sulfúrico con 6 V.	78
Tabla 8. Resultados de la simulación de Ácido Sulfúrico con 9 V.	80
Tabla 9 Resultados de la simulación de Sulfato de cobre con 6 V.....	82
Tabla 10 Resultados de la simulación de Sulfato de cobre con 9 V.....	84
Tabla 11 Escenarios de Simulación.....	84
Tabla 12 Cantidad de grafeno obtenido.....	93
Tabla 13 Presupuesto para la fabricación del Proyecto	93

Índice de Ecuaciones.

Ecuación 1 Ecuación de Dirac.....	42
Ecuación 2 Voltaje de salida de la fuente regulable.....	66
Ecuación 3 Molaridad (M).....	70
Ecuación 4 Números de moles de soluto.....	70
Ecuación 5 Sustitución de la ecuación 4 en la ecuación 3.....	71
Ecuación 6 Potencial estándar de una celda galvánica	73

I. Introducción.

La presente investigación se divide en los diferentes capítulos que ayudaran en el proceso de finalizar el proyecto, por lo cual a continuación se brindara una breve introducción de lo que comprenderá cada capítulo:

Capitulo II. En este capítulo se muestra una perspectiva amplia de las complicaciones de fabricación de grafeno en grandes cantidades para el uso industrial, debido a esto, se establecen los precedentes del problema, definición del problema y justificación. Se demostrarán los requerimientos solicitados a partir de las preguntas de investigación y objetivos del proyecto.

Capitulo III es el marco teórico aquí es donde se recaba información para lograr los conocimientos necesarios para lograr el desarrollo del diseño y así lograr una resolución del problema, se observan los conocimientos necesarios, así como entrar un poco más a fondo sobre que es el grafeno y su estructura, los procesos para la fabricación también las propiedades más destacadas y el impacto que tendrá el grafeno en la industria.

Capítulo IV En este capítulo se abordará la metodología de investigación, exponiendo cada una de las etapas y fases para llevar a cabo el desarrollo y el análisis de esta investigación, de igual forma se presentará el enfoque a seguir, estableceremos las variables dependientes e independientes, los materiales, técnicas e instrumentos aplicados y el cronograma de actividades a realizar para la elaboración del diseño de un modelo del proceso para fabricación de grafeno.

Capítulo V es de análisis y resultados en este capítulo se va a considerar los aportes generados por las teorías de sustento expuestas en el marco teórico de la presente investigación y se mostrara las diferentes etapas realizadas durante las diferentes espirales de la metodología que se implementó, para luego comparar la teoría propuesta con los resultados obtenidos.

Capítulo VI de conclusiones en este capítulo se tiene presente los resultados que se obtienen en las pruebas, y se dan las conclusiones, teniendo en cuenta los objetivos que se marcaron al principio del proyecto.

II. Planteamiento del Problema

La finalidad de este capítulo es demostrar una perspectiva amplia de las complicaciones de fabricación de grafeno en grandes cantidades para el uso industrial, debido a esto, se establecen los precedentes del problema, definición del problema y justificación. Se demostrarán los requerimientos solicitados a partir de las preguntas de investigación y objetivos del proyecto.

2.1 Precedentes del Problema.

Entre los años 1840 – 1958 Shafhaeuti, Brodie, Staudenmaier, Hummers, Wallace entre otros prepararon Oxido de grafito un par de años más adelante Boehm y sus asistentes en 1962 prepararon oxido de grafeno reducido (r-GO) mediante reducción química y térmica del oxido de grafito y fue hasta en 1986 que Boehm y sus colaboradores recomiendan el término “grafeno” para describir capas individuales de carbono similar al grafito y fue once años más tarde que la IUPAC en 1997 formalice la definición de grafeno: “el termino grafeno debe utilizarse solo cuando se habla de las reacciones, relaciones estructurales u otras propiedades de capa individuales” y en 2004 Andre Geim y Konstantin Novoselov preparan el grafeno mediante exfoliación micromecánica (Madurani et al., 2020a).

Según Felli et al.,(2016) “Existen actualmente métodos para producir grafeno y sus derivados a nivel industrial de alta calidad, pero los costes y el tiempo de producción son muy elevados todavía. ”(p.72)

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 por Andre Geim y Konstantin Novoselov recibiendo un premio nobel de física en el año 2010 (Villalón & Barba, 2016). A pesar de que fue hasta el 2004 que se sintetizo por primera vez se han hecho varias investigaciones, pero no se han obtenido un proceso adecuado para producir en grandes cantidades.

Geim y Novoselov han sido inspiración de muchos investigadores y no se descarta que se vuelva a otorgar otro premio nobel por estudiar el grafeno tomando en cuenta que a partir del 2010, la cantidad de investigaciones realizadas sobre grafeno ha aumentado significativamente, el grafeno muestra una serie de propiedades electrónicas, mecánicas, ópticas y térmicas distintivas

por lo que es un material bastante encantador para un sinfín de aplicaciones sin embargo, todavía no se ha encontrado respuesta a una de las preguntas más importantes ¿El grafeno se convertirá en un sustituto a gran escala de la electrónica moderna basada en silicio o se complementará mutuamente la electrónica basada en silicio y carbono? (Ratnikov & Silin, 2018a).

La exfoliación química se utiliza actualmente en la industria debido a que puede producirse en gran cantidad, pero con el inconveniente de que la calidad obtenida por este método no es óptima, ya que se produce un grafeno con muchas imperfecciones y contaminantes (Felli et al., 2016).

El grafeno es un elemento bastante caro de fabricar en vastas cantidades ya que se necesita bastantes recursos económicos para realizar las investigaciones y proyectos que tienen en mente muchos investigadores en el mundo. (Rivera & Alexis, 2018).

2.2 Definición del problema.

En lo que se refiere a la fabricación de grafeno se puede obtener por varios procesos, sin embargo, existen complicaciones de fabricación de grafeno en grandes cantidades para el uso industrial, falta de organizaciones que inviertan en investigaciones y por ende inconvenientes en la selección del proceso para su fabricación ya que el grafeno es un material caro de fabricar en grandes cantidades.

Existe una larga lista de fortalezas del grafeno y los científicos esperan verlo en todas partes. No obstante, el grafeno aún no ha sido considerablemente adoptado ya que 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 investigadores (Rivera & Alexis, 2018).

Una de las razones por las cuales el fabricar grafeno a escala industrial sigue siendo un desafío está relacionado con el crecimiento y la transferencia de películas delgadas de gran tamaño uniforme y continuas compuestas de grafeno (Brajpuriya, 2016).

2.3 Justificaciones.

El presente proyecto merece ser estudiado debido a la importancia del grafeno en la ingeniería, el grafeno es un elemento con características únicas, como la sobresaliente

conductividad eléctrica, su amplia superficie, dureza y una excelente conductividad térmica. Además, al proceder de una sustancia natural como el grafito, tiene menor riesgo ambiental que los materiales inorgánicos (Villalón & Barba, 2016).

Este material está teniendo gran utilidad en diferentes sectores de la industria muy distintos, y puede suplir materiales de uso habitual como el silicio. Por las grandes propiedades que tiene, abre un gran abanico de posibilidades y aplicaciones, dando inicio a una nueva revolución tecnológica (Jordá Reolid, 2018).

La ingeniería está en un constante desarrollo e innovación, siempre está generando un gran impacto en la ciencia y la industrial a través de descubrimientos de procesos, materiales, diseños y fabricaciones de productos finales novedosos y actualmente es notable el descubrimiento en el área de la nanotecnología y por tanto la nano mecánica de los materiales, este hecho predispuso el grafeno como uno de los materiales más prometedores en el campo de la nanotecnología percibiendo un interés relevante en la materia de la ingeniería y la industrial (Rivera & Alexis, 2018).

2.4 Preguntas de Investigación.

1. ¿Cuáles son los procesos de obtención de grafeno?
2. ¿Cuáles son los cálculos matemáticos para realizar simulaciones de grafeno?
3. ¿Qué proceso es más viable para realizar grafeno con equipo accesible en el medio local?
4. ¿Qué impacto tendrá el grafeno en la industria?

2.5 Objetivos

Se fijarán los objetivos a realizar, dividiendo estos en objetivo general, el cual describe lo que se pretende desarrollar como investigación y objetivos específicos, en lo que se refiere a detallar las acciones del objetivo general acordando una orientación concreta para el adecuado desarrollo de un diseño de modelo de proceso para fabricar grafeno.

2.5.1 Objetivo General.

Diseñar un modelo para el proceso de fabricación de grafeno para el medio local.

2.5.2 Objetivos específicos.

1. Definir los procesos de obtención de grafeno y sus características.
2. Simular el proceso para realizar grafeno utilizando cálculos matemáticos.
3. Identificar qué proceso es más viable para realizar grafeno con equipo accesible en el medio local.
4. Realizar un análisis sobre el impacto que tendrá el grafeno en la industria.

III Marco Teórico.

La humanidad a lo largo del tiempo siempre está en constantes investigaciones, la ingeniería y la industria es una muestra de ello que continuamente está generando un gran impacto en la ciencia a través del estudio de materiales y uno de ellos es el grafeno que en las últimas décadas ha abierto un abanico de investigación sobre su fabricación dando como resultados prometedoras propiedades y aplicaciones para abrir paso a una nueva generación tecnológica. Dentro de este capítulo se expondrá de forma detallada los conceptos necesarios, explicando los procesos de obtención de grafeno, sus propiedades más destacadas y el impacto que tendrá el grafeno en la industria y sus aplicaciones.

3.1 Carbono.

A lo largo de la historia los científicos han sintetizado elementos químicos siendo un tipo de material que esta constituidos por átomos que los hacen que tengan características únicas y hasta la fecha de hoy se tiene 118 elementos, el carbono es uno de los elementos más comunes que hay en el mundo y es un elemento bastante importante que conforma la química orgánica.

En la antigüedad se sabía que el carbono se extraía como producto derivado de la combustión incompleta de materiales inorgánicos, en el presente las propiedades únicas de este átomo establecen una fuente potencial de nuevos materiales, convirtiéndose en un gran constituyente de toda la materia orgánica y un elemento importante de los compuestos que forma la compleja disciplina de la química orgánica (Alvarez et al., 2019).

El carbono es sin escrúpulos uno de los elementos más comunes que se encuentra en el mundo: después del helio, hidrogeno y oxígeno, es el cuarto elemento más abundante en masa. El carbono está en todas las maneras de vidas manifestadas, el átomo de carbono forma una gran cantidad de componentes, hasta el momento hay un millón de compuestos orgánicos que contienen solo carbono e hidrogeno (Razeghi, 2019).

3.1.1 Estructura del átomo de carbono.

Los átomos están formados por protones, neutrones y electrones. Los protones tienen cargas positivas y se encuentran con los neutrones sin carga en el núcleo, los electrones tienen

cargas negativas de igual magnitud del protón, están en el espacio que rodea al núcleo, los protones y neutrones tienen masas semejantes. Casi toda la masa del átomo está en el núcleo, pero son los electrones que contribuyen en los enlaces y las reacciones químicas. Los átomos con el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones se conocen como isótopos. La clase más común de átomos de carbono tiene seis protones y seis neutrones en su núcleo su número de masa es 12 y escribimos su símbolo como ^{12}C el 1% por ciento de los átomos tiene siete neutrones y el número de masa es 13 y se escribe ^{13}C y una fracción muy pequeña de los átomos de carbono tiene 8 neutrones y un número de masa de 14 y el isótopo se escribe ^{14}C , la configuración electrónica del C es $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1$, también tiene 4 electrones de valencia y se encuentra en el grupo IVA de la tabla periódica (Wade, 2012).

3.1.2 Algunos alótopos del Carbono

El carbono tiene varios alótopos los más destacados son el diamante, nanotubo, el fullereno y el grafeno que han revolucionado la ciencia de la materia, sus estructuras tienen simetría traslacionales y rotacionales únicas, expuestas por una teoría de grupos cristalográficos, los átomos están dispuestos en específicas posiciones rígidas en 3 dimensiones (Saito & Tomita, 2020).

Algunos alótopos de Carbono:

1. Diamante unión tetraédrica sp_3 estructura cristal cúbica.
2. Grafito, Unión sp bidimensional estructura cristal, apilado hexagonal 2D Cristal.
3. Lonsdaleita, un alótopo con una red hexagonal, también conocida hexagonal diamante, se puede encontrar en la naturaleza y se sabe que se forma cuando los meteoritos que contienen grafito golpean la tierra.
4. Carbono Amorfo donde el hidrógeno puede saturar enlaces colgantes como nanotubos de carbono, tubos a base de carbono (Razeghi, 2019).
5. Fullereno puede definirse como un poliedro de carbono de 12 caras pentagonales y 10 caras hexagonales.
6. Nanotubos su estructura es como su nombre lo indica es un tubo compuesto por una lámina de carbono (Ortega & McGuigan, 2018).

Alótropo	Hibridación	Estructura	Existencia
Grafito	sp ²	Cristal, apilado hexagonal 2D	Natural
Grafeno	sp ²	Cristal, apilado hexagonal	Natural o sintético (monocapa)
Diamante	sp ³	Cristal, cúbico	Natural
Lonsdaleita	sp ³	Cristal, hexagonal 3D	Natural
Fullereno	sp ²	Racimo	Sintético
Nanotubo	sp ²	Con paredes simples, dobles o múltiples	Sintético
Carbono amorfo	sp ² - sp ³	Sin estructura cristalina	Natural

Tabla 1. comparación entre algunos alótropos de carbono, utilizando su control electrónico y propiedades estructurales.

Fuente: (Razeghi, 2019).

3.2 Grafeno.

El grafeno es un material que está compuesto por carbono puro sintetizado recientemente y que a partir de su sinterización es uno de los materiales en los cuales los investigadores de ciencias de la materia están estudiando, obteniendo conocimientos nuevos de sus propiedades y métodos de obtención para sus futuras aplicaciones en la industria.

En las últimas décadas con el estudio del elemento carbono se sintetizó un alótropo que lleva el nombre de grafeno que es muy popular en el sector de la investigación y la industria de la actualidad, el término grafeno consiste en el prefijo "grafico" para grafito y el sufijo "-ene" del doble enlace C- C, el grafeno es el componente esencial del grafito al agrupar el grafeno en diferentes formas se descubre varias e importantes propiedades (Ghany et al., 2017).

El término de grafeno fue recomendado por Boehm y sus colaboradores en 1986 y solo se aplica el término al carbono monocapa, este término fue posteriormente formalizado por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, más tarde la definición de grafeno pertenece a una sola capa de carbono de estructura de grafito describiendo su naturaleza por análogos a los hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburo de tamaño cuas-infinito (Madurani et al., 2020b).

En el 2004 Geim, Novoselov y sus colegas produjeron una hoja de grafeno en estado independiente por medio del método de exfoliación micromecánica de grafeno a partir de grafito y en 2010 fueron galardonados con el Premio Nobel de Física por experimentos innovadores con

respecto al material bidimensional de grafeno, a partir de este año la cantidad de estudios en los que se investiga ha aumentado (Ratnikov & Silin, 2018b).

Partiendo del método de exfoliación micromecánica de grafeno se han desarrollado varios métodos y procesos para obtener grafeno de los cuales cada proceso da un tipo de grafeno y este lleva propiedades específicas.

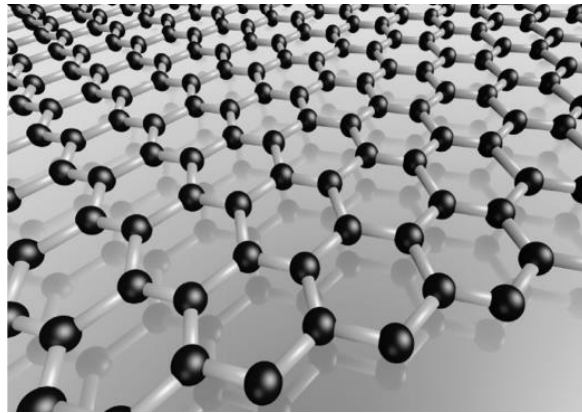


Ilustración 1. Presentación esquemática de la estructura de la capa de grafeno.

Fuente: (Ghany et al., 2017).

3.2.1 Términos para el grafeno y materiales relacionados a base de grafeno.

En cuanto a grafeno se refiere se tiene que tener en cuenta varios términos para tener un mayor entendimiento a la hora de realizar investigaciones con este material, se debe manejar a que nos referimos con monocapa de grafeno, grafito exfoliado, nano hojas de grafeno, oxido de grafeno entre otros.

Grafeno se refiere a una hoja compuesta de átomos de carbono con una disposición regular, es un alótropo bidimensional con un espesor de un átomo de carbono SP^2 que ha conectado en una celosía hexagonal. (Alnssar et al., 2020).

Las monocapa de grafeno proporciona una plataforma de material atractiva para explorar la física fundamental de semiconductores atómicamente delgados, la monocapa permite la ingeniería de arquitecturas novedosas que ofrece una rica combinación de óptica y electrónica (Giusca et al., 2016).

Grafito exfoliado una de las formas de sintetizar es mediante la intercalación química asistida por microondas de escama de grafito natural (Chakradhary et al., 2018)

Nano-hoja de grafeno se han preparado mediante un enfoque de descompresión de nanotubos de carbono de paredes múltiples, el método incluye dos pasos químicos, en el que se realiza un paso de oxidación de múltiples parámetros para lograr descomprimir los nanotubos de carbono luego se lleva un paso de reducción para lograr las nano-hojas de grafeno finales (Al-Tamimi et al., 2018).

Oxido de Grafeno, consiste en una capa de grafeno que tiene grupos que contiene O unidos por ejemplo grupo hidroxilo, grupo carboxilo... etc. unidos covalentemente. (Couri et al., 2019).

Oxido de Grafito, una de las formas de sintetizar el grafeno, a esta forma de sintetiza se le conoce como método mejorado de Hummer, es un material dieléctrico que se puede fabricar fácilmente con un alto rendimiento a bajo costo (Silva et al., 2017).

Oxido de grafeno reducido Es una deposición química en fase de vapor hasta exfoliación mecánica de grafito altamente percolado o el óxido de grafito químicamente reducido preparados por métodos Hummer, el óxido de grafeno se utiliza como precursor de óxido de grafeno reducido (Al-Hamry et al., 2016).

3.2.2 Estructura del Grafeno.

La expresión "Graphene" consiste en un prefijo de "grafico" de grafito y sufijo "ene" de los enlaces dobles C- C con una longitud de 0.142 nm, el grafeno es el elemento esencial y básico del grafito. El grafeno es la capa plana de átomos de carbono fuertemente compactados en celosía de panal 2D y es el bloque madre de todos los materiales grafiticos, se puede envolver en Fullereenes 0D Laminados en Nanotubos 1D o apilados en grafito 3D (Ghany et al., 2017).

Grafeno es una hoja hexagonal en forma de átomo, sp^2 átomos de carbono enlazados que no son parte integral de un material de carbono, pero esta libremente suspendido o adherido a un sustrato extraño. Las dimensiones laterales del grafeno pueden variar desde varios nanómetros hasta la macro escala con esto otros miembros de la familia del grafeno 2D Los materiales no se pueden llamar simplemente grafeno, sino que debe nombrarse usando un término único de varias

palabras que lo distingua de las monocapa aisladas por ejemplo grafeno de dos capas, grafeno de tres capas (Bianco et al., 2013).

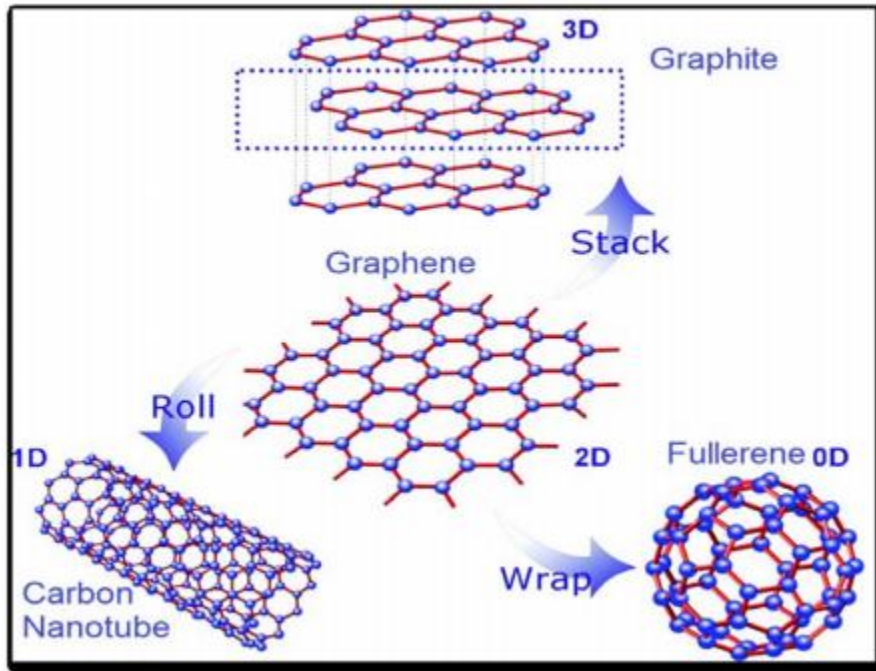


Ilustración 2. Grafeno: el bloque de construcción madre de otros alótopos de carbono, grafito (3D), fullereno (0D) y CNT(1D).

Fuente: (Ghany et al., 2017).

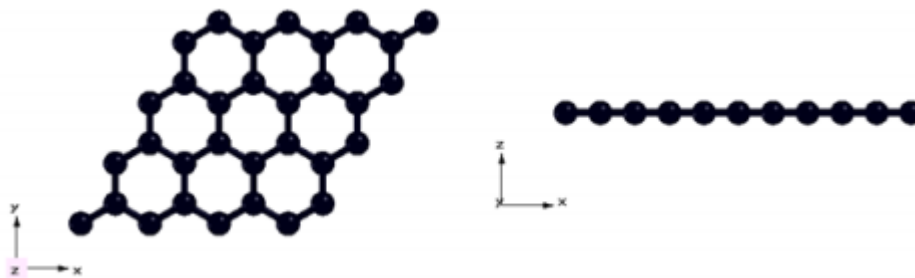


Ilustración 3. La estructura geométrica de una sola capa de grafeno desde la parte superior y la vista lateral.

Fuente. (Alnssar et al., 2020).

3.3 Procesos de obtención de grafeno.

En las últimas décadas la obtención de grafeno ha sido tema de investigaciones, hasta la fecha se manejan varios procesos de obtención del grafeno que pueden ser proceso mecánicos y

químicos simples, de forma general el grafeno se puede realizar mediante dos tipos de métodos que son Top-Down y Bottom-up, a continuación, veremos cada tipo de método y los procesos para la fabricación del grafeno.

3.3.1 Métodos Bottom-up para la obtención de grafeno.

La metodología de abajo hacia arriba es la construcción de entidades más pequeñas para coincidir con las especificaciones de un material, una de las mayores ventajas de este método ascendente es el control preciso de la resolución dado que el grafeno se puede construir a partir de precursores de carbono, puede permitir un control automáticamente preciso de las cintas de grafeno sintetizadas con zigzag o sillón configuraciones que afectaran el comportamiento de su electrón, la fabricación precisa de grafeno permite investigaciones experimentales detalladas de esta emocionante clase de materiales de carbono, pero el diseño de la longitud deseada de la nano cinta de grafeno (>200 nm) sigue siendo un desafío debido a la gran cantidad de reacciones necesarias (Zhang et al., 2019).

3.3.1.1 Producción de deposición química de vapor (CVD) de Grafeno superficie.

Síntesis controlable de grafeno con bajo costo, procedimiento simple y excelente confiabilidad, es la base para investigación básica y aplicaciones prácticas, Vapor químico deposición (CVD) es una forma controlable, escalable y prometedora para la industria del grafeno, pero sufre de un alto consumo de recursos y una productividad limitada. El sistema CVD típico incluye un horno tubular de alta temperatura, medidores de flujo y una bomba de vacío, también está la CVD mejorada con plasma (PECVD) con un generador de plasma este es generado por microondas, radiofrecuencia o corriente directa (Yang et al., 2019).

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, con la ayuda de catalizadores metálicos y de calor, se ha demostrado que varios metales, como Cu, Ni, Pt, Ru e Ir, catalizan el crecimiento del grafeno. El número de capas de grafeno se puede controlar por el tipo, el grosor y la orientación del cristal del catalizador utilizado. (Azam et al., 2017).

Descripción de procesos experimentales de CVD.

Para sintetizar películas continuas de grafeno en láminas de Cu por CVD mediante el uso de reactor de pared fría como metano como precursor de carbono, la Lámina de Cu se carga en un reactor CVD que luego se calienta a altas temperaturas en Ar atmosfera para templar la lámina durante un tiempo fluyendo CH₄, H₂ y Ar. El reactor de CVD se enfría antes de retirar la muestra para evitar la oxidación del sustrato, luego se transfiere a sustrato de vidrio o SiO₂ usando técnica de transferencia con poli (metacrilato de metilo) como medio de soporte y se depositada sobre Cu en grafeno para un recubrimiento por centrifugación y se seca durante un tiempo en condiciones ambientales (Capasso et al., 2019).

Para realizar el proceso sin transferencia a escala de oblea de grafeno multicapa cultivado por CVD, se utiliza como sustrato base Silicio cubierta por una capa de SiO₂ crecido térmicamente, en la parte superior de la oblea de Si oxidada, se pulveriza una capa de Mo a una temperatura usando un recubridor de pulverización catódica en un horno con Ar y mezcla H₂ durante un tiempo utilizando CH₄ como carbono precursor, para grabar el Mo y liberar la película de Si/SiO₂ cubriendo luego la oblea con una solución de H₂O₂ después de un corto tiempo se des ioniza para diluir el H₂O₂ finalmente se seca y se calienta la Oblea durante un corto tiempo (Ricciardella et al., 2020).

El proceso de deposición química de vapor es un excelente método ya que da grafeno de alta calidad para realizar prácticas de investigación e incluso para la industria, pero no permite una producción a gran escala por el motivo que su producción es muy costosa por su alto consumo de recursos.

3.3.1.2 Crecimiento epitaxial de grafeno de gran superficie.

La técnica de epitaxia de van der Waals se ha utilizado recientemente para sintetizar hetero estructuras estratificadas, esta tecnología es una versión del método que Koma y sus colegas aplicó por primera vez en 1984, utilizando la técnica de hetero epitaxia, en la superficie de disulfuro de molibdeno la característica de la técnica de epitaxia de van der Waals es que las interfaces atómicamente suaves no contienen enlaces colgantes ni defectos debido a las fuerzas débiles de van der Waals. Se produce una relajación de la red para tal desajuste de las constantes

de la red, la ingeniería de tal estructura sólo es posible después de que se implementa la técnica de deposición en fase de vapor (VPD) y se obtiene el grafeno CVD (Ratnikov & Silin, 2018b).

El éxito del grafeno como base para nuevas aplicaciones depende fundamentalmente de la fiabilidad de las tecnologías disponibles para fabricar grandes áreas de capas de grafeno homogéneas de alta calidad, el crecimiento epitaxial en metales así como sustrato de SiC se emplea con beneficios e inconvenientes específicos, las capas individuales de grafeno cultivadas epitaxialmente en SiC ofrece un alto potencial para aplicaciones de dispositivos electrónicos, combinan excelentes propiedades como la alta movilidad electrónica, con la oportunidad de fabricación a escala de obleas y procesamiento directo sobre sustratos semi-aislantes sin la necesidad de transferir el grafeno a un sustrato adecuado (Kruskopf et al., 2016).

El crecimiento de materiales nanoestructurados cristalinos en grafeno se puede lograr mediante epitaxia de Van der Waals (vdWE) recientemente, vdWE ha despertado un gran interés en el material la comunidad de investigación, tradicionalmente la hetero epitaxia implica enlaces iónicos o covalentes para lograr la superposición epitaxial sobre el sustrato, si los parámetros de celosía del sustratos y la capa son significativamente diferentes, el gran desajuste de celosía y la unión que cuelga del sustrato evita una buena epitaxia debido a la fuerte formación de enlaces químicos direccionales que causan tensión en la interfaz y defectos, por otro lado vdWE utiliza fuerzas intermoleculares mucho más débiles para lograr suficiente orientación de unión, con una tensión significativamente menor, se puede formar una película epitaxial ultrafina con subes pesor nanométrico e interfaz abrupta de muy baja densidad de defectos (Lu et al., 2018).

Descripción del proceso experimental de crecimiento epitaxial.

El grafeno se sintetiza en 6H nominalmente en el eje SiC, antes de la epitaxia del grafeno, los sustratos se graban en hidrogeno produciendo superficie automáticamente planas y escalonadas con un ancho de escalón típico de $1\mu\text{m}$ y una altura de paso dependiendo de la oblea específica, el crecimiento de grafeno se lleva a cabo bajo un flujo de argón este procedimiento produce 1-3 capas de grafeno, se necesita horno de tubo para las condiciones de crecimiento, los tubos tienen suministro de gas separados Ar y H₂S, se cargan en el interior de los tubos y el sustrato se coloca directamente al lado de la salida, tanto el sustrato como el precursor de óxido

de tungsteno se ubican en la región de la temperatura constante de la zona caliente, antes de la carga los sustratos se sónica en etanol y se secan con nitrógeno (Kastl et al., 2018).

3.3.1.3 síntesis orgánica de grafeno nanométrico

Generalmente, el término grafeno se refiere a la unidad constitutiva simple, mientras que aquellas formaciones de espesor nanométrico basadas en grafeno se denominan nano grafenos. Aunque los grafenos de pocas capas y multicapas son más fáciles de sintetizar, tienen menos flexibilidad y transparencia que el grafeno monocapa, lo que limita algunas de sus aplicaciones. Sin embargo, sus extraordinarias características de conductividad y capacitancia han sido reportadas de gran relevancia en dispositivos electrónicos, desalación de agua y supercondensadores, e incluso pueden mejorarse con dopaje metálico. Los materiales carbonosos formados por agregados de espesores superiores a los nanómetros también tienen buenas propiedades desde el punto de vista de su aplicación a la electrónica, dada su similitud estructural con el grafito (Amaro-Gahete et al., 2020).

La síntesis orgánica total de grafeno a partir de hidrocarburos policíclicos (PAH) similares al grafeno es otra ruta importante para producir grafeno nanométrico las nano cintas son el producto principal de este método, aunque se puede producir una gran cantidad de GNR a través de CVD, los anchos de estos GNR son demasiados grandes para diseñar su banda prohibida, la síntesis orgánica es otro método escalable para producir GNR con anchos mucho más pequeños aunque los HAP se han investigado intensamente en química orgánica, su uso para sintetizar grafeno es un uso bastante reciente, la síntesis de grafeno usando PAH es un desafío para formar muchos C- C enlazados en un solo paso, activar de forma eficaz los enlaces PAH no reactivos para participar en la reacción, disminuir la cantidad de defectos debido a las reacciones incompletas en el grafeno producido, además la falta de grupos funcionales en el grafeno hace que se muy poco reactivo y por la tanto difícil de manipular en comparación con otros productos naturales y es difícil sintetizar grafeno debido a su limitada solubilidad decreciente (Zhang et al., 2019).

3.3.2 Métodos Top-Down para la obtención de grafeno.

El principio del método arriba hacia abajo es exfoliar el grafito que se utiliza como material de partida, la exfoliación mecánica, la exfoliación química / electroquímica y estas se clasifican en

el método Top-Down. La técnica top-Down es muy fácil de aplicar para la producción de grafeno a gran escala, sin embargo los métodos de arriba hacia abajo convencionales, como la oxidación de grafito de Hummer, requiere una reacción controlada y siempre proporciona abundantes defectos estructurales que provoca una baja conductividad eléctrica (Madurani et al., 2020a)

3.3.2.1 Método de exfoliación micromecánica.

Es método de cinta Scotch, es un método antiguo que ha existido durante décadas y se ha utilizado ampliamente en campos como la cristalografía, entre la comunidad de investigación del grafeno, la exfoliación micromecánica es uno de los métodos más populares para la producción de grafeno, lo que no sorprende dado que llevó al "nacimiento del 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. Este desprendimiento continuo de grafito hace que los copos delgados cortados se adhieran a la superficie con una superficie plana casi atómicamente limpia, para obtener láminas de grafeno de pocas capas e incluso de una sola capa, se usa una cinta limpia para despegar las primeras escamas que se apilan en la superficie y este proceso de repetición continuo, es decir, pelar y reemplazar con una nueva cinta y rompe las escamas en cada vez más delgadas hasta que se obtienen capas uniformes, pudieron exfoliar el grafito en láminas de grafeno de pocas capas e incluso de una sola capa con tamaños laterales de hasta 10 μm (Phiri et al., 2017).

3.3.2.2 Método de exfoliación Química.

Dentro del método de exfoliación química hay tres procesos importantes, está el proceso de exfoliación por sonicación, proceso molienda de bolas y exfoliación por cizallamiento.

Proceso de exfoliación por sonicación

La exfoliación por sonicación se produce debido a la implosión de las burbujas de cavitación y las fuerzas de corte creadas durante el proceso de sonicación, durante la sonicación, las capas de grafeno se dividen por las fuerzas de corte, hay muchos parámetros implicados en el proceso, como el tiempo de sonicación, la temperatura, los disolventes y los tensioactivos, afectan tanto a la eficacia como al rendimiento de la exfoliación. Un tiempo de sonicación más prolongado y los disolventes adecuados con tensioactivos tendrán un impacto positivo en el rendimiento de

la exfoliación del grafeno, mientras que pueden introducirse más defectos, la concentración de solución de grafeno producida por sonicación es generalmente inferior a $0,01 \text{ mg ml}^{-1}$ (Zhang et al., 2019)

La sonicación se puede realizar en sonificadores de punta o de baño. En la sonicación de punta, la energía se imparte directamente al medio de dispersión, mientras que en el baño sónico, la energía debe viajar a través del tanque y el vial de dispersión antes de llegar a las escamas, aunque no se ha demostrado la escalabilidad de la sonicación para producir pocas escamas de capa (en comparación con la exfoliación por cizallamiento y el molido de bolas), la sonicación de la punta sigue siendo útil como técnica a escala de laboratorio, ya que la cantidad de material (cientos de mg) es generalmente suficiente para probar las propiedades dependientes del tamaño en una variedad de áreas de aplicación (Backes et al., 2020).

Ejemplo de exfoliación por sonicación: Se realiza la exfoliación de MoS₂ (Disulfuro de molibdeno) en etanol en presencia de pireno el tratamiento de la dispersión durante 45 h dio un 8% de nano hojas de una sola capa, mientras que el máximo en el grosor de nano hojas en la distribución es de cinco monocapa de espesor que son el producto principal. El aditivo pireno jugó una doble función, es decir, facilitó la exfoliación y estabilizó la dispersión de nano hojas de MoS₂, por supuesto, la exfoliación asistida por ultrasonidos en fase líquida tiene ciertas desventajas. En primer lugar, las partículas de la fase dispersa se caracterizan por distribuciones de gran espesor y tamaño lateral (Aslanov & Dunaev, 2018).

Proceso molienda de bolas

El molino de bolas sigue siendo un método en evolución para producir grafeno escalable de alta calidad triturando grafito apilado a granel, El proceso es fácil y altamente eficiente, lo que lo convierte en un método prometedor para la producción industrial de grafeno. Durante el molido de bolas, las fuerzas de corte exfolian grandes láminas de grafeno, mientras que las fuerzas normales descomponen las escamas de grafito en trozos más pequeños e introducen defectos en el plano basal del grafeno, el proceso de molienda se puede realizar tanto en condiciones húmedas como secas, y la elección del medio de molienda influirá en la calidad y cantidad del grafeno, en el caso de la molienda húmeda, el solvente juega un papel subsidiario, como el

acoplamiento entre capas de grafito y la estabilización del grafeno exfoliado, además de eso, los tensioactivos adecuados y el tiempo de molienda relativamente largo también favorecen el proceso de pelado (Zhang et al., 2019).

El primer estudio conocido de producción de grafeno mediante molienda logró producir láminas de grafeno de pocas capas con una alta relación de aspecto moliendo grafito disperso en agua destilada durante 60 h, también fue demostrado que el grafeno también se puede producir a partir de grafito mediante una técnica de molienda de bolas utilizando diferentes medios líquidos. Utilizaron un molino planetario a baja velocidad para triturar escamas de grafito dispersas en disolvente N, N-dimetilformamida (DMF) anhidro durante 30 h. Las bajas velocidades de fresado se implementaron para evitar la destrucción de las escamas de grafito y mejorar la fuerza de corte que se ejerce sobre el grafito. Usando microscopia de transmisión (TEM) y microscopio de fuerza atómica (AFM), pudieron estimar que las láminas de grafeno se exfoliaban en DMF vía molienda de bolas eran alrededor de tres capas. La cantidad y calidad de los copos de grafeno producidos dependió de parámetros como la velocidad de rotación, el diámetro de la bola de molienda, el tiempo de molienda, el tipo de grafito utilizado, la concentración de grafito en el solvente y la centrifugación (Phiri et al., 2017).

Descripción del proceso de molienda de bolas.

Para producir nano plaquetas de grafeno funcionalizados en los bordes, en un experimento típico, los polvos de grafito se mezclan con productos químicos que contienen heteroátomos como hielo seco, trióxido de azufre, melamina, poliestireno, en un frasco sellado, seguido de un molido de bolas a alta velocidad. Las fuertes fuerzas de cizallamiento generadas entre las bolas giratorias de alta velocidad causaron el agrietamiento mecano químico de los enlaces C–C grafiticos, lo que llevó a la incorporación espontánea de grupos funcionales y / o heteroátomos en los bordes rotos de los marcos grafiticos, así como a la posterior exfoliación de nano plaquetas de grafeno. Al triturar en seco polvo de grafito en presencia de sustancias químicas apropiadas como fases gaseosas, líquida o sólidas, se pueden introducir varios heteroátomos, como nitrógeno o halógeno, en el borde de las nano plaquetas de grafeno, además, la molienda de bolas húmedas también se ha utilizado para sintetizar grafeno funcionalizado, en este caso, las bolas se mezclaron con una solución / dispersión de grafito y

productos químicos que contienen heteroátomos. Normalmente, los materiales de grafeno producidos por molienda de bolas poseen un tamaño de grano más pequeño ($<1\mu\text{m}$) que los sintetizados por otros métodos como la exfoliación química del grafito (Fan et al., 2016).

Proceso de exfoliación por cizallamiento.

Alternativamente a la sonicación, se puede utilizar la exfoliación por cizallamiento en mezcladores de rotor estator o en batidoras con cuchillas giratorias, incluso se puede usar una licuadora de cocina, que ofrece una alternativa de muy bajo costo a la sonicación, sin embargo, las batidoras de cocina domésticas no están diseñadas para operar en solventes orgánicos y pueden destruirse al hacerlo. Además, el funcionamiento continuo calienta tanto la muestra como el mezclador, por lo que la ejecución debe detenerse con frecuencia (después de 15 minutos) y el mezclador y la muestra se enfrían en un baño de hielo. La concentración dispersa de copos de FL no depende en gran medida del volumen procesado, por lo que la exfoliación por cizallamiento es un proceso escalable (Backes et al., 2020).

La exfoliación por cizallamiento del grafeno se demostró recientemente como un método de producción fácil y escalable para adaptarse a la producción a escala industrial de grafeno estabilizado en la fase líquida, tras la demostración original de la exfoliación por cizalla en mezcladores de cuchillas giratorias, varios investigadores ampliaron este método, sin embargo, en muchos casos, los métodos de exfoliación por cizalla se han guiado, al menos en parte, por modelos simples (Biccai et al., 2018).

Descripción del proceso de exfoliación por cizallamiento.

El proceso de exfoliación en fase líquida se lleva a cabo en un laboratorio, la principal diferencia con el aparato de rotor, que se utiliza en este proceso es que se puede usar palas móviles bajo la acción de fuerzas centrífugas, estas palas se presionaron contra la superficie interna del estator y se deslizaron a lo largo de esta superficie sin dejar un espacio, por lo tanto, las fuerzas de cizallamiento se transmiten a las partículas directamente mediante cuchillas. Se prepara en 5 L de una suspensión de combustibles y lubricantes de grafito cristalino-1 con una concentración de 3% a 10%, se traspasa a un recipiente cilíndrico, se instala el aparato y se comienza a procesar la suspensión, cada 10 minutos se detiene el proceso y se toman muestras

de 100 ml. La suspensión se centrifuga, se elimina el precipitado y se determina la concentración de nanoestructuras de grafeno en la suspensión restante. Después del análisis, la muestra se mezcla con el residuo, se traspasa en un recipiente y se continúa con el proceso de exfoliación. Después de que la concentración de la siguiente muestra aumentó en menos del 5% de la concentración de la muestra anterior, se detiene el proceso de exfoliación. Durante los experimentos, se cambia la velocidad del rotor: 5000; 10.000; 12.000; 15.000 rpm (Pershin et al., 2019).

3.3.2.3 Método de exfoliación electroquímico.

El método electroquímico se lleva a cabo utilizando un mínimo de cuatro componentes principales, y estos son ánodo, cátodo, electrolito y fuente de alimentación, el ánodo, que es una fuente de carbono, se oxidará y exfoliará para producir grafeno. El cátodo se puede variar utilizando un grafito o un platino, el ánodo y el cátodo se sumergen en el electrolito a cierta distancia. Se aplica voltaje positivo o negativo al ánodo dependiendo del mecanismo de pelado deseado, la elección de la solución de ánodo, cátodo y electrolito utilizada es un factor crucial para el proceso electroquímico, ya que puede afectar el producto de grafeno obtenido (Madurani et al., 2020a).

La exfoliación electroquímica está demostrando ser un método de rápido crecimiento para la producción de láminas de grafeno, y es fácil ver por qué el método electroquímico aprovecha la conductividad eléctrica del grafito para intercalar los iones cargados, y la posterior reacción iniciada electroquímicamente con el electrolito para proporcionar el mecanismo de exfoliación. Otra ventaja de este método sobre los métodos químicos y mecánicos es la posibilidad de producción masiva de grafeno a un costo mucho menor. Una desventaja es la necesidad de una polarización de voltaje ininterrumpida en el electrodo, Dado que la exfoliación no solo ocurre en la superficie del electrodo de grafito, sino en todo su espesor, la exfoliación de capas gruesas de grafito es un resultado común (Phiri et al., 2017).

Descripción del método de exfoliación electroquímico.

Se prepara 125 mL de electrolito Na_2SO_4 0.2 M mezclando 64.438 g de $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ polvo mezclado con agua desionizada (DI) y agitando durante un tiempo, la celda electroquímica

es preparada mediante el uso de dos electrodos donde se usa la hoja de cobre como cátodo y se usa carbón como el ánodo, ambos electrodos se sumergen en 125 mL de electrolito de Na₂SO₄ entonces el proceso electroquímico se lleva a cabo aplicando voltajes de CC optimizados en un tiempo determinado después de la exfoliación de carbón, las láminas de grafeno exfoliadas se recogen y se filtran para eliminar los electrolitos a partir de hojas de grafeno utilizando papel de filtro con un diámetro de 9 cm. Después de la filtración, el papel de filtro con las muestras negras se seca a temperatura ambiente. Luego de secarse, el polvo de grafeno se extrae utilizando una espátula. El producto final, los polvos de grafeno se ponen en un crisol para secar en un horno (Memmert) a 80 ° C. Se repetirán los mismos procedimientos utilizando una varilla de grafito como ánodo y diferentes electrolitos como solución de Na₂SO₄, H₂SO₄ y CuSO₄. El voltaje que se puede aplicar son 3.0 V, 6.0 V, 9.0 V, 12,0 V y 15,0 V, solo se sintetiza una muestra utilizando una solución de CuSO₄ a 15,0 V (Yap & Liu, 2020).

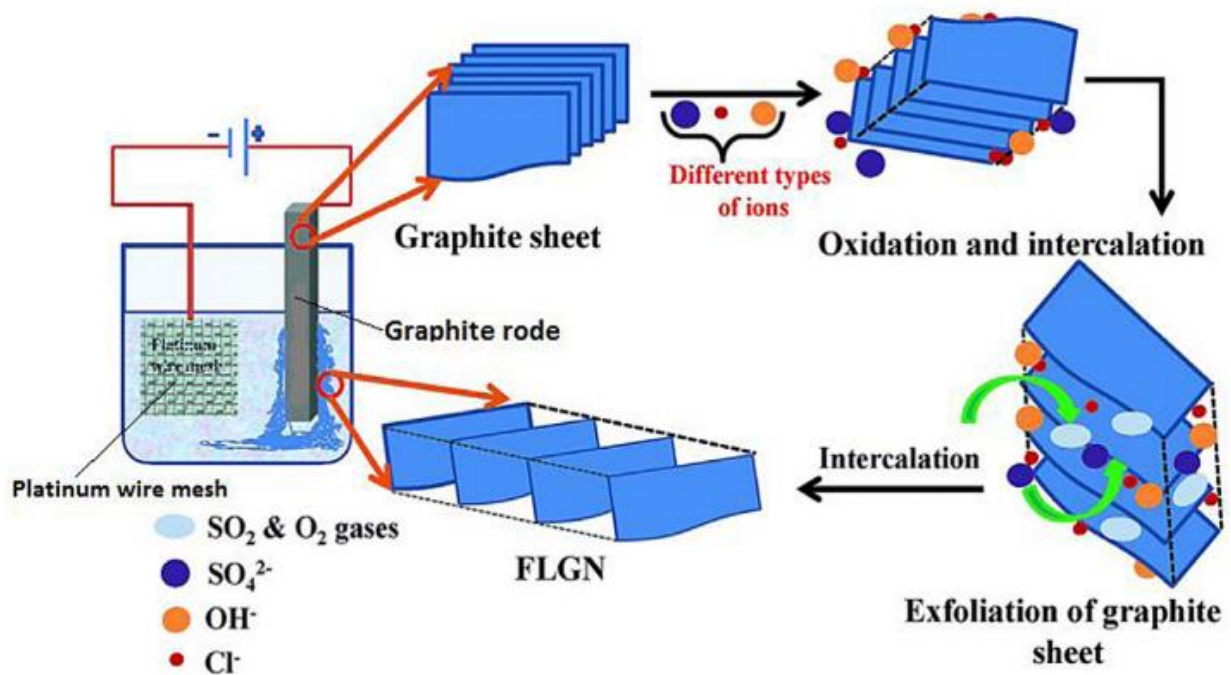


Ilustración 4 Diagrama esquemático del mecanismo de exfoliación electroquímica del grafito.

Fuente: (Phiri et al., 2017).

3.3.2.4 Método de Ablación laser.

La ablación con láser es un nuevo método para sintetizar nanomateriales, especialmente grafeno. Este método tiene ventajas prometedoras, como ser respetuoso con el medio ambiente, entornos experimentales sencillos, estabilidad duradera de las nanopartículas, un contaminante no deseado libre en los productos de nanopartículas y evitar el uso de reactivos de síntesis dañinos, la investigación se puede realizar en sustratos de silicio (Si) con variaciones de temperatura utilizando láser Nd: YAG láser que opera en el IR cercano ($\lambda = 523 \text{ nm}$, tasa de repetición (ν) = 10 Hz, pulso ancho (τ) = 7 ns, fluencia (ϕ) $\sim 7 \text{ J cm}^{-2}$, tiempo de deposición = 15 min) Después de eso, el método de revelado se lleva a cabo con una variedad de condiciones para obtener un grafeno de alta calidad (Madurani et al., 2020a).

En los años actuales, ha habido un interés creciente en el método de ablación por láser pulsado en líquido (PLAL) para fabricar diferentes nanomateriales uno de ellos el grafeno. PLAL se ha utilizado para sintetizar nanopartículas (NP) de diferentes elementos, en esta técnica, un láser interactúa con la muestra en estudio, que se sumerge en un líquido, y se produce una ruptura inducida por láser. Luego se generan ondas de choque y el plasma creado se expande y enfría. Después de eso, se produce una burbuja de cavitación, se expande y finalmente colapsa por el líquido. En consecuencia, los NP se liberan en el líquido, la principal ventaja de usar PLAL es que no requiere equipo de vacío para la fabricación de NP, por lo tanto, es una técnica simple y de bajo costo, la ablación láser de sólidos en líquidos depende de dos factores: El primero, los parámetros del láser como la longitud de onda, la energía del pulso, la duración de la exposición y la tasa de repetición del láser y el segundo, los parámetros del material son el objetivo a generar, el solvente, los solutos y la temperatura y presión del sistema (Ganash et al., 2019).

3.3.2.5 Método de óxido de grafeno (GO) y Reducción de óxido de grafeno (rGO).

El método popular para la producción de grafeno es vía la reducción de óxido de grafeno u óxido de grafeno (GO) a óxido de grafeno reducido (RGO), la popularidad de este método se debe, excelente rendimiento y capacidad para dispersar grafeno funcionalizado en varios solventes, este método implica la intercalación de grafito con un oxidante, que introduce grupos funcionales de oxígeno en la superficie de las láminas de grafeno. Estos grupos funcionales

ayudan a dispersar y estabilizar el óxido de grafeno en el agua. Se han identificado tres pasos principales involucrados en la conversión de grafito a GO el grafito se intercala primero con ácido sulfúrico, luego se oxida para formar óxido de grafito y finalmente se dispersa en agua permanganato de potasio (Phiri et al., 2017).

El grafeno o el óxido de grafeno reducido (RGO) se pueden preparar mediante reducción de óxido de grafito. 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, y luego el óxido de grafito se puede convertir fácilmente en óxido de grafeno mediante sonicación. Por otro lado, la reducción del óxido de grafeno por métodos químicos utilizando agentes reductores como la hidracina, dimetilhidrazina, hidroquinona, Etileno Glicol y NaBH₄ (Ghany et al., 2017).

El óxido de grafeno se agrega al agua desionizada y puede obtener un grafeno oxidado estable. dispersión por ultrasonidos y agitación, lo que proporciona una gran comodidad para la preparación de la membrana de óxido de grafeno. Los principales métodos de preparación son la filtración por succión al vacío, el recubrimiento por pulverización, el recubrimiento por rotación, el recubrimiento por inmersión y el método capa por capa, estos métodos son de bajo consumo de energía, operación simple, lo que, es más, el espesor de la membrana de óxido de grafeno es uniforme, su flexibilidad es buena, es fácil de transferir a otros sustratos (Liu, 2017).

Descripción del proceso de óxido de grafeno y reducción de óxido de grafeno.

Los productos químicos en esta síntesis que se pueden utilizar son el permanganato de potasio, Ácido sulfúrico, Nitrato de sodio, Peróxido de hidrógeno y electrodo de grafito usado, para sintetizar el óxido de grafito, se mezcla Nitrato de Sodio, permanganato de potasio, electrodo usado y por último H₂O₂ como oxidante, se disuelve y mezcla todos esos químicos menores de 20 °C y revuelve durante un tiempo después de agitar, la temperatura de la mezcla debe elevarse a 35 °C o 40°C controlado por baño de agua, este proceso de oxidación se controlará variando el tiempo de agitación, luego ponga agua destilada en el lugar para detener la reacción y se vierten de agua destilada en el vaso de precipitados y luego de peróxido de hidrógeno para indicar el nivel de oxidación. Cuando se produce una oxidación completa la

adición da como resultado un color amarillo y la mezcla se agita para acelerar la reacción. Se añade agua destilada a la mezcla y se añade HCl a la mezcla, se lava la muestra con agua hasta que el pH sea neutro y se calienta la muestra hasta que se obtenga una muestra seca, se añaden óxido de grafito en agua destilada y se sónica, luego se toma la muestra por centrifugación y se seca las muestras usando un horno a 60 °C. El óxido de grafeno reducido se prepara del óxido de grafeno disueltos en agua destilada, HCl y zinc en polvo se añaden a la solución y se sónica hasta que la mezcla se vuelve transparente. Se añade HCl la solución y se lava con etanol y solución acuosa para eliminar los iones metálicos de la mezcla luego, el resultado se seca (Handayani et al., 2019).

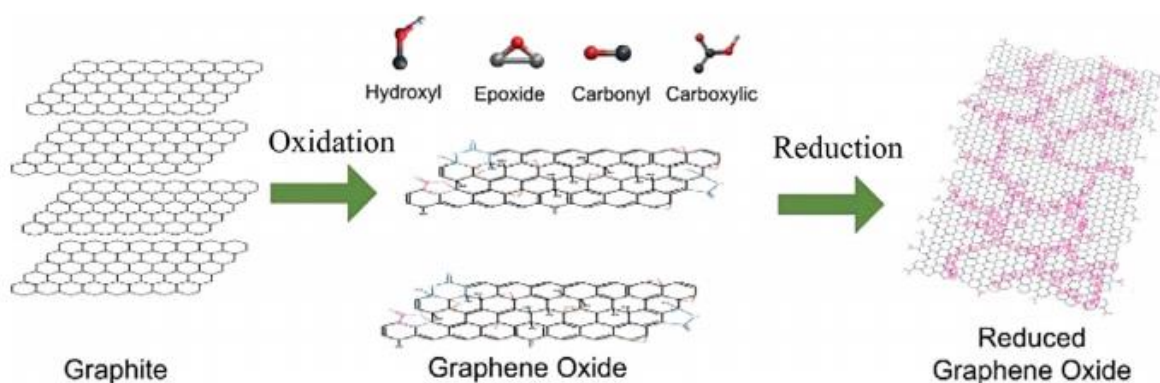


Ilustración 5 La síntesis de RGO pasa de la oxidación a la reducción.

Fuente: (Phiri et al., 2017).

Este método implica ornamentar el grafito con grupos funcionales que contienen oxígeno, como grupos carboxilo, hidroxilo y epoxi y luego reducirlos a grafeno a través de diferentes métodos de reducción, el GO se ha descrito como un grafeno en capas que contiene oxígeno, que es hidrófilo y fácilmente dispersable en agua, lo que facilita su procesamiento se han creado varias modificaciones para oxidar el grafito a GO y luego exfoliarlo del grafito oxidado como una o varias capas de GO para después realizar rGO (Zhang et al., 2019).

3.4 Propiedades del Grafeno

El grafeno gracias a sus grandes investigaciones se ha descubierto en él, muchas propiedades que abren un abanico de utilidad para muchas aplicaciones y a una nueva generación

de tecnología no solo en la industria si no también en otras áreas, dado que alguna de sus propiedades más destacada es en el área de la electrónica, mecánica, química, óptica y térmica.

Hoy el grafeno se considera como un material alentador que podría ser la base de generaciones futuras de bajo consumo, más rápido, más pequeño y económico dispositivos electrónicos debido a sus propiedades notables tales como baja resistencia de la hoja, alta transmitancia, alta mecánica resistencia, alta movilidad del portador, buena térmica y química estabilidad. Estas propiedades se obtienen del grafeno único estructura de banda electrónica, disposición y simetría de Átomos de carbón. La ruta hacia la explotación comercial de las propiedades únicas del grafeno depende completamente del desarrollo de un crecimiento e integración adecuados del grafeno tecnologías, que sigue siendo un gran desafío (Brajpuriya, 2016).

El rápido interés en la investigación del grafeno surgió de las propiedades inusuales que exhibe el grafeno. Estas propiedades lo han convertido en un material fascinante con un enorme potencial de aplicación en diferentes industrias y dispositivos. Es importante señalar que la mayoría de las excelentes propiedades que se han informado se refieren al grafeno sin defectos de una sola capa (Phiri et al., 2017).

Propiedad	Detalles
Transparencia óptica	97,7%
Movilidad de electrones	200.000 $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{S}^{-1}$
Conductividad térmica	5000 $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
Específica superficie	2630 $\text{metros}^2 \text{gramo}^{-1}$
Fuerza de ruptura	42 $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
Modulos elasticos	0,25 TPa

Tabla 2. Las propiedades más excepcionales del grafeno.

Fuente: (Ghany et al., 2017).

3.4.1 Propiedades eléctricas y electrónicas.

La revolución del grafeno comenzó con el estudio de las propiedades eléctricas y electrónicas del grafeno, estas propiedades dependen mucho del número de capas de grafeno 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. Esta dependencia de los huecos de electrones solo es aplicable a las láminas de grafeno de una sola capa, pero, si el número de capas comienza a aumentar, la dependencia se debilita debido al apantallamiento del campo eléctrico de otras capas (Phiri et al., 2017).

El grafeno es un cristal 2D en el que los electrones pueden tener impulso en los ejes X, Y. Dos conos de Dirac se cruzan donde se encuentran dos bandas lineales. La intersección de los dos llamados conos de Dirac es un punto, la estructura de banda electrónica del grafeno presenta 6 conos de Dirac y puntos de Dirac, esta característica influye enormemente en el comportamiento del grafeno, por ejemplo, debido a que las dos bandas se tocan, los electrones pueden moverse más rápido y más fácilmente entre las dos bandas electrónicas. Los investigadores encontraron que la velocidad de los electrones, es decir, la velocidad de Fermi, era de $\sim 1 \times 10^6$ m / s cerca del punto de Dirac, la masa de electrones varía con el material en el que se encuentran los electrones. La masa cambia con la curvatura de la electrónica (Zhang et al., 2019).

Debido a la brecha de banda cero en el grafeno prístino, es importante inducir la apertura de la brecha de banda, que se espera que sea útil para el dispositivo electrónico, hay muchos métodos para proporcionar una banda prohibida de apertura en el grafeno monocapa, uno de ellos es el uso de funcionalización covalente atómica como hidrógeno, flúor y oxígeno o una molécula ya sea por encima o por debajo del grafeno superficie (Hanna et al., 2018).

La dispersión de energía del grafeno se encuentra a partir de la ecuación

$$E(\mathbf{k}) = \pm t_0 \left| \sum_{n=1}^3 e^{-i\mathbf{k} \cdot \delta_n} \right|.$$

Ecuación 1 Ecuación de Dirac.

Fuente: (Naumis et al., 2017).

La ecuación 1 conduce a una ecuación de Dirac efectiva y muestra dispersiones cónicas cerca de $E = 0$ llamadas conos de Dirac. La condición $E = 0$ conduce a un par de puntos \mathbf{k} especiales etiquetados por K^D para los cuales $E(K^D) = 0$, K^D coincide con $K \pm$ para el grafeno prístino. La

existencia de dos puntos de Dirac desiguales con la misma energía conduce al concepto de valle, clave para las propiedades electrónicas (Naumis et al., 2017).

3.4.2 Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas son unas de las que más destaca en el grafeno por su dureza, resistencia y elasticidad, es un material que destaca por sus propiedades mecánicas ya que es el material más duro y uno de los más resistentes solo detrás de los nanotubos de carbono.

Los materiales a base de carbono han exhibido naturalmente excelentes propiedades mecánicas. El diamante, por ejemplo, es el material natural más duro conocido, mientras que se sabe que los nanotubos de carbono tienen la mayor resistencia a la tracción. El grafeno no es diferente es el material más fuerte conocido por nanoindentación usando un microscopio de fuerza atómica (AFM), con una resistencia a la tracción de 130 GPa. También se ha mostrado 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, sin embargo, se cree que estos valores dependen de la pureza de las láminas de grafeno (Phiri et al., 2017).

El grafeno en comparación con los materiales existentes, combinan alta rigidez, resistencia, tensión hasta la falla y alta flexibilidad en grafeno de solo una capa en comparación con las membranas existentes tiene una alta ductilidad, sin embargo, puede estirarse hasta un 30%, más allá de ese punto, se fractura de una manera frágil como el vidrio. Una comparación de las propiedades mecánicas medidas con materiales en general es todavía una cuestión pendiente. Las técnicas de medición se pueden clasificar en directas e indirectas. En métodos directos la fuerza o tensión se aplica directamente a la membrana de grafeno. En métodos indirectos, La espectroscopia Raman se puede utilizar para evaluar (Backes et al., 2020).

La clase de materiales categorizados como nanomateriales bidimensionales (2D) como el molibdeno disulfuro (MoS_2), nitruro de boro (BN), disulfuro de tungsteno (WS_2), y más notablemente, el grafeno exhibe una amplia gama de propiedades fascinantes como resistencia mecánica extrema y rigidez superior conductividad eléctrica y térmica y capacidades de detección. Estos materiales son adecuados para aplicaciones donde películas flexibles, ultrafinas con características únicas y comparables se necesitan propiedades mecánicas (Munther et al., 2019).

Existen varios métodos de medición para las propiedades mecánicas del grafeno entre los más utilizados está el método Blister que se caracteriza el módulo de Young en el plano del grafeno monocapa junto con su energía de adhesión, la estimación teórica dio un dato de $\sim 347 \text{ nm}^{-1}$, está la espectroscopia Raman que ha sido utilizada como método experimental no destructivo para investigar el modo de fonón colectivo involucrado en efectos mecánicos, pruebas de abultamiento que también se ha utilizado para medir las propiedades mecánicas de las membranas del grafeno adheridas interfacial contra el SiO_2 también tenemos los ensayos mecánicos basados en Menms y el más usado el de nanoindentación y fue el primero método de investigación en la nanociencia (Kim et al., 2018).

3.4.3 Propiedades ópticas.

Las propiedades ópticas en el grafeno parten desde que por un método de sinterización se puede obtener un grafeno transparente, traslucido que permite obtener propiedades ópticas excelentes que ofrece una propuesta brillante para las aplicaciones de bio-imagen, optoelectrónicas y de emisión de luz.

El grafeno es una estructura de átomos de carbono dispuestos en una red cristalina de panal bidimensional. Desde su descubrimiento en 2004, el grafeno ha demostrado muchas propiedades únicas y ha sido investigado para amplias aplicaciones potenciales, dado que el grafeno es un material semiconductor con cero bandas prohibidas, la posibilidad de observar su fotoluminiscencia es casi imposible, lo que limita fuertemente sus aplicaciones en optoelectrónica y fotónica. Sin embargo, el problema de la brecha de banda cero se puede resolver reduciendo las dimensiones laterales del grafeno en nano cintas o puntos cuánticos debido al confinamiento cuántico y los efectos de borde, los puntos cuánticos de grafeno de dimensión cero muestran excelentes propiedades ópticas, electrónicas únicas y fotoluminiscentes estables, lo que muestra una promesa brillante para optoelectrónica, aplicaciones de bio-imagen y emisión de luz pero debido a los diferentes métodos de síntesis, el uso generalizado se ve obstaculizado por la escasa comprensión de sus propiedades intrínsecas, incluida la amplia propiedad de absorción de luz (Feng et al., 2018).

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, cada capa de absorción $A = 1 - T = \pi\alpha = 2,3\%$, donde $\alpha \approx 1/37$ es la constante de estructura fina, el grafeno también se puede identificar mediante microscopía óptica en un sustrato de Si / SiO₂ debido a la interferencia y las capas de grafeno individuales pueden identificarse mediante diferentes contrastes (Phiri et al., 2017).

Para investigar las propiedades ópticas del grafeno bicapa semi fluorado, se puede realizar los siguientes cálculos, el cálculo de la relajación geométrica y las propiedades ópticas, los cálculos de la teoría funcional de la densidad estas se realizan con el código CASTEP utilizando la aproximación de gradiente general y para eliminar las interacciones entre las hojas de grafeno, el espacio de vacío se establece en 25 Å a lo largo de la dirección perpendicular al plano del carbono, el $8 \times 8 \times 1$ k- Se utilizan puntos en el espacio recíproco siguiendo el esquema Monkhorst-Pack. Las propiedades ópticas del grafeno bicapa semi fluorado se han calculado y comparado con las del AA-BLG. En los cálculos, no se considera la contribución intrabanda a las propiedades ópticas, que afecta principalmente a la parte infrarroja de baja energía de los espectros, las direcciones y están en el plano basal del grafeno y representan las radiaciones incidentes con polarizaciones lineales perpendiculares y paralelas a los dobles enlaces C = C, respectivamente (San et al., 2016).

3.4.4 Propiedades térmicas.

Hasta la fecha, se han realizado muchas mediciones experimentales y se han encontrado conductividad en grafeno usando espectroscopía Raman haciendo también análisis del transporte térmico en grafeno se ha realizado en muchos investigadores utilizando simulaciones de dinámica molecular, y sugiere que el grafeno posee una cantidad significativa de anisotrópicos conducción térmica debida a efectos de borde. Además, el grafeno generalmente se sintetiza o utiliza bajo diversas condiciones, que pueden influir significativamente en las propiedades térmicas del grafeno (Zhan et al., 2018).

La conductividad térmica del grafeno está dominada por el transporte de fonones, es decir, la conducción difusiva y balística a altas y bajas temperaturas, respectivamente, sin embargo,

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 $2000\text{--}6000 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ para láminas de grafeno suspendidas a temperatura ambiente y $600\text{Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ para grafeno suspendido sobre SiO_2 sustrato, estos valores dependen mucho de los defectos del grafeno, como la dispersión de los bordes, dopaje isotópico y residuos de fabricación de muestras que causa la dispersión y localización de fonones. Por tanto, los valores más altos de conductividad térmica se consiguen con el grafeno producido por el método exfoliación mecánica debido a la alta calidad de las láminas, la conductividad térmica medida estaba en el rango de 4800 a $5300 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$, que es más alto que el del diamante natural, $2200\text{Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$, la conductividad térmica del grafeno es más de diez veces mayor que la del cobre (Phiri et al., 2017).

Hay un papel importante que el grafeno, las nanoestructuras derivadas que pueden desempeñar es el denominado modulador de conductancia térmica (TCM) en la gestión térmica a nano escala, que puede realizar operaciones similares a las del reóstato en circuitos electrónicos, después de realizar numerosos pero insatisfactorios esfuerzos mediante el tratamiento de los defectos, impurezas y quiralidad del borde, la estrategia del grafeno plegado proporciona una forma esperanzadora de realizar la aplicación de TCM a nano escala, variando el ángulo de plegado y la distancia entre capas del grafeno, tratar el grafeno plegado como un módulo de conducción de calor al diseñar los dispositivos TCM a nano escala, y se estudian las propiedades térmicas (Gao et al., 2020).

Desde un punto de vista tecnológico, la eliminación de calor de los dispositivos juega un papel clave en la producción de energía ultra pequeña y eficiente en dispositivos y sistemas electrónicos, optoelectrónicos y fotovoltaicos, en los últimos años, una de las cuestiones clave para seguir avanzando ha sido la mejora del rendimiento en las tecnologías de conversión de energía y gestión térmica, que se pueden implementar en aplicaciones de ingeniería. La elección de los materiales de interfaz térmica (TIM) entre el emisor y el receptor es fundamental para determinar la eficacia de cualquier dispositivo potencial. En estructuras de baja dimensión, la conducción térmica ha revelado muchas características fascinantes. Cuando la dimensión de un material se reduce a la nano dimensión en los dispositivos electrónicos, hay un significativo

resultado de la dispersión límite mejorada, la amplia gama de propiedades térmicas del grafeno ha puesto de relieve la posibilidad de su uso en gestión térmica, disipación de calor y conversión termoeléctrica (Mann et al., 2020).

3.4.5 Propiedades químicas.

Las láminas de grafeno puro son en su mayoría no reactivas, se requiere la funcionalización de la superficie para hacerlos reactivos con otros materiales la química de la hoja de grafeno está dominada por su superficie, mientras que en forma de nano cintas de grafeno por sus bordes. El grosor también juega un papel crucial en la reactividad del grafeno, al usar el pico de desorden relativo (D) en la espectroscopía Raman, ese grafeno de capa única es casi 10 veces más reactivo que el grafeno de dos capas o multicapa, usando la prueba espectroscópica, comparan la reactividad de los bordes de grafeno con materiales a granel se encontró que la reactividad de los bordes es al menos dos veces mayor que la reactividad de la hoja de grafeno individual a granel. Una forma de funcionalizar las láminas de grafeno es vía química del nitreno, es decir, introducir especies reactivas unidas covalentemente a la superficie del grafeno, como hidroxilo, bromo, carboxilo, amino etc. Las nano hojas de grafeno funcionalizadas resultantes se pueden controlar para que sean eléctricamente conductoras y fácilmente dispersables en diferentes disolventes (Phiri et al., 2017).

Los defectos estructurales afectan en gran medida las propiedades químicas y electrónicas del grafeno producido. Para las propiedades químicas del grafeno, los defectos asociados con los enlaces colgantes pueden aumentar la reactividad del grafeno. Los estudios de simulación muestran que todo grupo funcional que esté perfectamente ligado a la pequeña energía de enlace del grafeno provoca un aumento de su reactividad, por lo que hay que controlar su formación (Madurani et al., 2020a).

No hay duda de que el grafeno corrugado regularmente se utilizará con frecuencia en el futuro como un reactor de plantilla, lo que pondrá en práctica la deformación del grafeno y proporcionará una base para una investigación en profundidad de sus propiedades químicas específicas. Las características prometedoras de este material se manifiestan no solo en las

reacciones de hidrogenación y oxidación, sino también en los procesos complicados (Sheka et al., 2018).

3.5 Impacto que Tendrá el Grafeno en la Industria.

Se han descrito los avances en las estrategias de producción, mientras que la literatura se ha analizado extensamente para evaluar el refuerzo y la eficiencia de cada tipo de grafeno en una variedad de matrices al involucrar diferentes rutas de síntesis. Cabe señalar 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 que siempre se volverá a plantear el efecto sobre las propiedades últimas de los materiales. Basado en los hallazgos presentados hasta la fecha, 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 (Madurani et al., 2020a).

En los diferentes enfoques para la producción en masa de grafeno, se hace evidente que esto sigue siendo un desafío, la mejor técnica para la fabricación de unas pocas capas de grafeno sin defectos es la exfoliación y esta técnica se adapta a la investigación académica pero esta ruta no es práctica para la producción de grafeno a gran escala, por lo tanto, se están realizando muchas investigaciones para innovar y modificar los métodos de preparación actuales. Dada la notable tasa de progreso en los métodos de síntesis de grafeno e impulsado por el rápido intercambio de conocimientos entre empresas y académicos, además de la enorme demanda de electrónica, esperamos que el trabajo de investigación futuro se enfrente a estos desafíos y los resuelva para lograr poder comercializar de grafeno próximamente (Ghany et al., 2017).

El grafeno tiene una excelente impermeabilidad, altas propiedades mecánicas y estabilidad química y térmica, si bien se ha propuesto el grafeno como revestimiento de barrera para una variedad de escenarios, las capas de barrera a base de grafeno enfrentan una serie de limitaciones y desafíos que deben considerarse, algunos de estos son:

- Desafíos relacionados con la deposición de tales recubrimientos sobre sustratos realistas, ya sea directamente por síntesis o por transferencia desde un sustrato catalítico remoto,

estos desafíos involucran específicamente el crecimiento directo de las aleaciones y crecimiento / transferencia en superficies grandes, curvas o rugosas.

- Fenómenos que inducen la falla de tales recubrimientos ultrafinos, por ejemplo, mala adherencia y delaminación, corrosión galvánica, daño inducido por desgaste y fricción.
- Desafíos relacionados con la ampliación de escala que enfrentan los recubrimientos basados en materiales 2D en el camino del laboratorio a la industria. (Camilli et al., 2019).

Los problemas intrínsecos existentes con el grafeno, están relacionados con la sensibilidad cruzada, la detección falsa, el tiempo de respuesta / recuperación prolongado, la no reproducibilidad de los datos, las variaciones de dispositivo a dispositivo y la falta de comprensión precisa de los mecanismos de detección, además, se superponen con problemas externos relevantes para todos los sensores de estado sólido, como la producción por lotes y la ampliación, la reproducibilidad de las condiciones del laboratorio, las pruebas de laboratorio frente a las de campo, la traducción de la investigación académica a la industrial, así como otros desafíos de la detección del mundo real (integración, comunicación, suministro de energía, etc.) (Buckley et al., 2020).

El grafeno en el desarrollo biomédico era inherente de sus modos de producción y regulación, no existían estándares y métodos de prueba de calidad uniformes, lo que aumentó la dificultad de la comercialización y la reproducción en el laboratorio. Incluso en el paso inicial, eligiendo los materiales de grafeno en bruto, había varias opciones, como el grafeno prístino y el grafeno restaurado de la ida, la reducción de GO con el contenido de oxígeno residual en la superficie de diferentes niveles puede causar efectos impredecibles en los siguientes pasos. Por lo tanto, la producción y los estándares de control de calidad del grafeno eran necesarios para un mayor desarrollo, en la capacidad de transporte de fármacos y en la comercialización de los materiales que podría liberar los fármacos mediante el grafeno, debido a la tecnología inmadura, es difícil decir que los materiales de nano grafeno producidos por diferentes métodos tuvieran diferentes fenómenos de fotoluminiscencia entonces esto serán los grandes desafíos en la biomédica (W. Wang et al., 2019).

La investigaciones computacionales y empíricas de las propiedades mecánicas del grafeno y sus derivados brindan evidencia convincente de que su deformación a nivel atómico es un

fenómeno emergente complicado que depende de una variedad de factores, entre los que se encuentran la composición química y la orientación de la carga en relación con los enlaces químicos. se manifiestan de forma más sorprendente en las condiciones experimentales. Naturalmente, el tamaño y la forma de la muestra también ejercen una fuerte influencia. No obstante, la mecánica emergente coherente y conceptualmente sustentada es una cuestión del futuro. En la actualidad, todavía está en pañales y apenas está cobrando impulso (Sheka et al., 2018).

3.6 Aplicaciones del grafeno.

El grafeno se convierte en el alótropo de carbono 2D más famoso de esta era debido a sus propiedades excepcionales, como su peso ligero, su rápida movilidad del portador a temperatura ambiente, el límite elástico de 1 TPa y el módulo de Young de 0,5 TPa que lo hace 100 veces más resistente. que el acero, debido a las fascinantes propiedades del grafeno, que se espera que mejore la funcionalidad de varias aplicaciones, el grafeno se ha convertido en el tema de una gran investigación y un gran interés en los últimos años. El grafeno tiene aplicaciones potenciales en varios campos, como células solares, pilas de combustible, baterías de iones de litio y otras fuentes de energía. Además, herramientas electrónicas, aplicaciones de membranas catiónicas, biociencias y sensores (Ghany et al., 2017).

Desde el aspecto de las propiedades del grafeno, está claro que tiene un alto potencial para diversas aplicaciones, incluido el nano cargador para compuestos funcionales, dispositivos de almacenamiento de energía, electrónica flexible, sensores, etc. debido a sus propiedades superlativas (Phiri et al., 2017).

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, que permite que los portadores de carga pasen de electrones a huecos o viceversa, tras la aplicación de voltaje sin pérdida de energía. Como aplicación de alta velocidad, el grafeno bicapa o el grafeno dopado (B, N, P, etc.) también se han utilizado para crear una brecha de energía, la eficiencia de la brecha abierta se evalúa mediante la relación del encendido apagado en transistor de efecto de campo (Zhang et al., 2019).

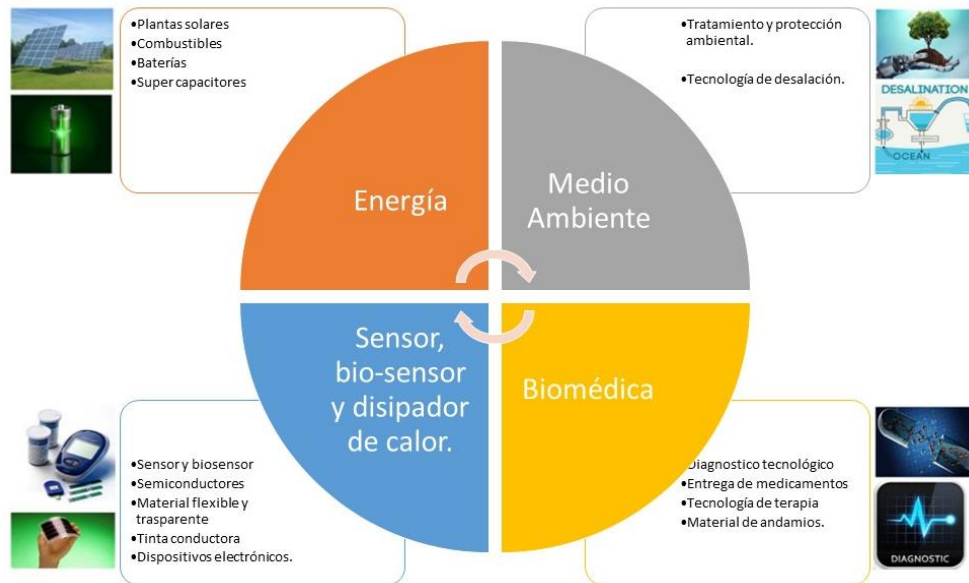


Ilustración 6 Aplicación del grafeno en la investigación y la industria.

Fuente: (Madurani et al., 2020a).

Las aplicaciones biomédicas factibles 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. Sin embargo, también existen desafíos: limitaciones citotóxicas desconocidas, dimensiones controlables, determinación de en vivo biodegradabilidad cinética (Nguyen & Nguyen, 2016).

Las fascinantes propiedades del grafeno y sus derivados les permiten ser utilizados en muchas aplicaciones potenciales como material de almacenamiento de hidrógeno, dispositivos de almacenamiento de energía, dispositivos de memoria y fotovoltaicos y películas conductoras transparentes, se han utilizado películas conductoras transparentes a base de grafeno como electrodos para células solares sensibilizadas con colorante, dispositivos de cristal líquido y diodos emisores de luz orgánicos (Z. Wang, 2017).

La mayoría de los estudios ponen en discusión la obtención de defectos libres de grafeno, aspecto útil y bien definido en aplicaciones electrónicas, pero precisamente estos defectos confieren las notables propiedades del grafeno, bien ilustradas en aplicaciones químicas, estos defectos son el resultado del paso de pos procesamiento debido a reordenamientos de la

estructura del grafeno y la posibilidad de que se forme en el borde en zigzag y arreglo de sillón, los defectos son muy útiles para aplicaciones químicas. El paso de introducir defectos en la estructura del grafeno es muy importante cuando en las aplicaciones se necesita la estructura como tal (Tincu et al., 2019).

El grafeno tiene varias aplicaciones de biosensores de base grafeno para la detención de aminoácidos, bacterias, bioquímicos, biomoléculas, productos químicos, drogas, enzimas, glucosa y sustancias diversas, el uso de grafeno y sus derivados aplicaciones de diagnóstico biomédico ha avanzado mucho en los últimos años, en la simulación por computadora de ruta similar, los enfoques son más ventajosos y útiles para diseñar un sustrato perfecto para las necesidades industriales, la simulación por computadora o simulación molecular podría predecir la interacción y los cambios estructurales durante el contacto con biomoléculas, fármacos, nucleótidos, etc. Los cambios pequeños o minúsculos en la estructura del grafeno no se pueden configurar en condiciones experimentales húmedas, mientras que la misma interacción se puede observar en la simulación enfoques (More & Deshmukh, 2020).

El grafeno está todavía en una etapa bastante temprana de su descubrimiento, los investigadores seguirán haciendo estudios sobre él, para seguir descubriendo sus propiedades y en que aplicaciones se puede usar teniendo claro que por el momento las más destacadas son en el área energética, biomédica, medio ambiente y electrónica.

IV Metodología.

En este capítulo se abordará la metodología de investigación, exponiendo cada una de las etapas y fases para llevar a cabo el desarrollo y el análisis de esta investigación, de igual forma se presentará el enfoque a seguir, estableceremos las variables dependientes e independientes, los materiales, técnicas e instrumentos aplicados y el cronograma de actividades a realizar para la elaboración del diseño de un modelo del proceso para fabricación de grafeno.

4.1 Enfoque.

En la presente investigación se ha optado por un enfoque tipo experimental y cuantitativo, ya que obtendremos datos que posteriormente serán 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 obtendrá datos de forma cuantitativa como la masa del grafeno y se analizará la cantidad de voltajes, temperatura y reactivos adecuados para realizar el grafeno.

4.2 Variable de investigación.

En este apartado ya con el enfoque fijado procedemos a establecer las variables que envuelven la presente investigación, dichas variables se pueden dividir en variables independiente y dependientes, la variable dependiente es aquella que puede ser influida por variables independientes que son las que afectan directamente el diseño de nuestro modelo.

A continuación, véase la tabla 3, donde se presenta el problema a resolver en la investigación con el objetivo general planteado abriendo paso a las preguntas de investigación y dando a conocer los objetivos específicos para establecer las variables independientes y la variable dependiente.

Título					
Diseñar un modelo de proceso para fabricación de grafeno.					
Problema	Objetivo General	Preguntas de Investigación	Objetivos Específicos	Variables Independientes	Variables Dependientes
¿Cuál es el proceso adecuado para fabricación de grafeno en el medio local?	Diseñar un modelo de proceso para fabricación de grafeno.	<p>1) ¿Cuáles son los procesos de obtención de grafeno?</p> <p>2) ¿Cuáles son los cálculos matemáticos para realizar simulaciones de grafeno?</p> <p>3) ¿Qué proceso es más viable para realizar grafeno con equipo accesible en el medio local?</p> <p>4) ¿Qué impacto tendrá el grafeno en la industria?</p>	<p>1. Definir los procesos de obtención de grafeno y sus características.</p> <p>2. Simular el proceso para realizar grafeno utilizando cálculos matemáticos</p> <p>3. Identificar qué proceso es más viable para realizar grafeno con equipo accesible en el medio local.</p> <p>4. Realizar un análisis sobre el impacto que tendrá el grafeno en la industria.</p>	<p>Voltaje adecuado para alimentar la celda electroquímica</p> <p>Reactivo necesario para realizar el electrolito.</p> <p>Grafito al que se transmite el voltaje.</p>	Diseño de un modelo de proceso para la fabricación de grafeno.

Tabla 3 Variables de Investigación.

Fuente: Propia (2020).

En esta investigación el diseño de un modelo de proceso para la fabricación de grafeno será la variable dependiente y las variables independientes las cuales de no ser precisas afectarían directamente en el diseño de nuestro modelo, véase la ilustración 7.

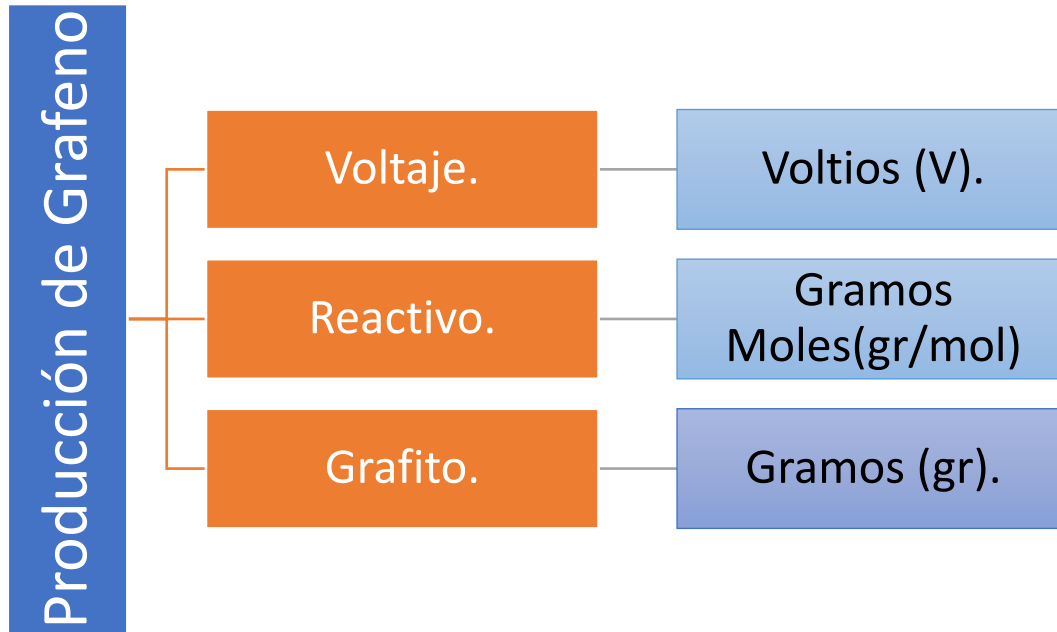


Ilustración 7. Diagrama de las variables de investigación.

Fuente: propia (2020).

Se establecieron tres variables independientes, con sus respectivas unidades que al variar las unidades se podrá determinar la calidad del diseño de modelo.

4.3 Técnicas e instrumentos aplicados.

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron fuentes didácticas de información confiables para facilitar el desarrollo de un diseño de modelo para el proceso de fabricación de grafeno, el estudio de esta información fueron la base para el desarrollo del presente proyecto, se utilizaron recursos tales como ser, libros profesionales, artículos científicos, tesis universitarias, documentos de revistas, entre otras.

Por otra parte, para el desarrollo del regulador de voltaje se utilizó el programa Proteus Professional para la simulación del circuito, este fue esencial para el desarrollo de las celdas electroquímicas.

4.4 Materiales.

A continuación, se presentará un listado de materiales esenciales, fueron seleccionados con el objetivo de desarrollar un diseño de modelo de proceso para la fabricación de grafeno de una manera eficiente, vemos a continuación 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.

4.5 Metodología de estudio.

En este apartado se abordara el método de estudio para el desarrollo de la problemática expuesta anteriormente, con la finalidad de la validación de nuestra hipótesis se implementó la metodología espiral especificando las actividades que se realizaron, el método espiral que constara de tres etapas tan pronto finalice inicia la siguiente, el primer ciclo es el del diseño del circuito de regulador de voltaje, en este lo que se busca es poder variar el voltaje de la fuente de alimentación, el segundo ciclo es la implementación del método electroquímico, donde se realizara una reacción redox con un ánodo, cátodo y un electrolito para realizar la exfoliación, en el tercer ciclo se realiza el proceso de secado para el grafeno, en este se usara un horno en el cual se aplicara una temperatura durante un determinado tiempo, luego se pasara a analizar las muestras obtenidas por medio de un microscopio electrónico. Para cada espiral se definió las etapas de cada ciclo siendo el objetivo, el análisis de riesgos, desarrollar validar y planificar la siguiente etapa.

4.5.1 Ciclo I. Diseño del regulador de voltaje.

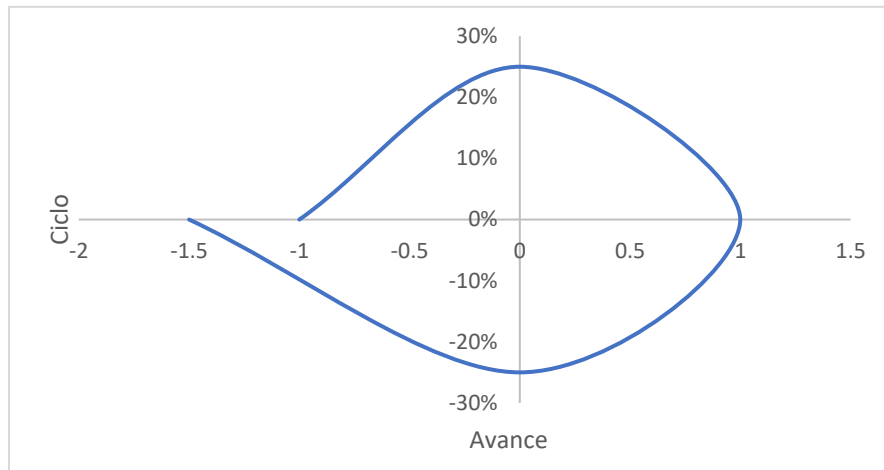


Ilustración 8 Primera espiral con el diseño del circuito del regulador de voltaje.

Fuente: Propia (2020).

Etapa I. Objetivo.

Utilizar un software para la elaboración y simulación del diseño de un circuito regulador de voltaje DC, tomando en cuenta los voltajes a regular para alimentar las celdas electroquímicas. Para realizar esta etapa se utilizará el programa Proteus 8.10 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 y que el circuito falle y si el diseño es el incorrecto podría llegar a no soportar el voltaje o los amperios de la fuente de alimentación utilizada.

Etapa III. Desarrollar, Verificar y validar.

En esta tercera etapa, después de haber analizado los riegos se procede al desarrollo de nuestro diseño y para eso se utilizará Proteus haciendo en el la simulación del circuito y posteriormente crear 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.

4.5.2 Ciclo II. Implementación del método electroquímico.

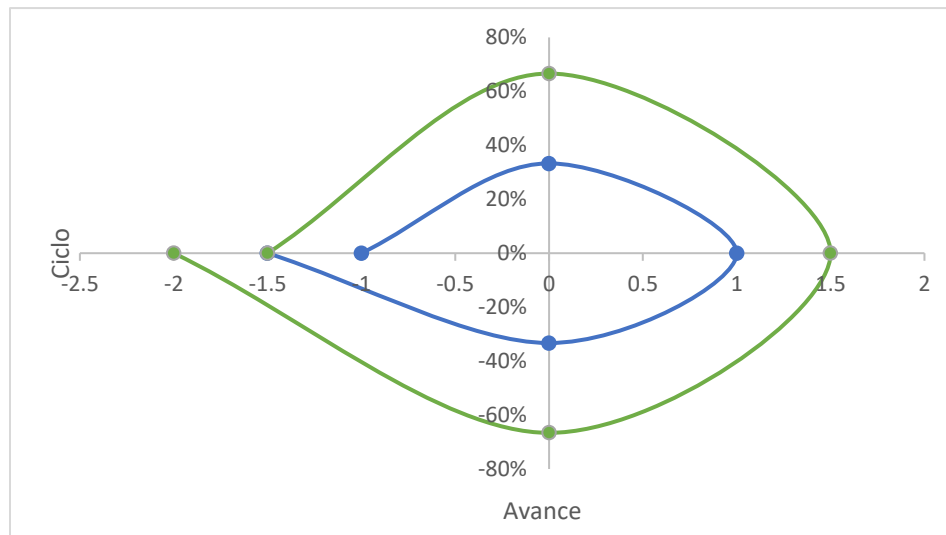


Ilustración 9. Segunda espiral implementación del método electroquímico.

Fuente: Propia (2020).

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 también de seleccionar la cantidad de grafito para llevar a cabo la exfoliación.

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:

- 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 grafeno para eliminar los electrolitos.

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 grafeno mediante un horno.

4.5.3 Ciclo III. Proceso de secado del grafeno mediante un horno.

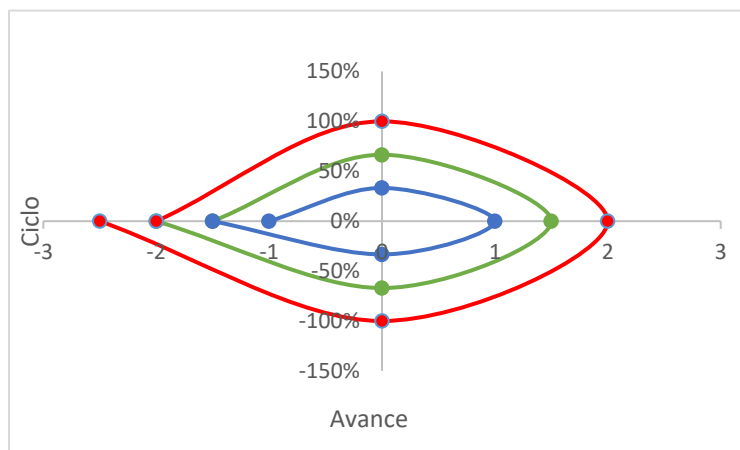


Ilustración 10. Tercera espiral para el proceso de secado del grafeno mediante un horno.

Fuente: Propia (2020).

Etapa I. Objetivo.

Una vez realizado la implementación del método electroquímico y realizar un filtrado para la eliminación de electrolito, se procede al proceso de secado del grafeno 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 grafeno al ambiente antes de iniciar el proceso de secado del

grafeno 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 desarrollar de los objetivos de esta espiral, se realizará un proceso de secado de las muestras de grafeno obtenido por medio de un horno a una temperatura y tiempo seleccionado, luego se procede a analizar las muestras por medio de un microscopio electrónico.

Etapa IV. Planificar.

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

4.6 Metodología de validación.

La validación de la presente investigación dependerá de los resultados obtenidos de las muestras. Para eso se analizarán las muestras obtenidas de grafeno mediante un microscopio electrónico y de esa forma comprobar que los materiales seleccionados, los métodos y los procesos para cada ciclo culminan con el desarrollo del diseño de un modelo de proceso para la fabricación de grafeno.

4.7 Cronograma de actividades.

Se realizó un cronograma de actividades tomando en cuenta un periodo académico que tiene 10 semanas, este cronograma se diseñó teniendo en consideración los avances y demás entregables a lo largo del periodo, iniciando con la propuesta de investigación, seguido del planteamiento del problema, luego se realizó el marco teórico donde se sustentó la investigación para proseguir con la metodología de investigación, con el fin de diseñar un modelo de proceso para la fabricación de grafeno obteniendo muestras de grafeno, analizando los resultados y desarrollando el paper científico terminado con las conclusiones con el propósito de terminar el entregable final y preparar la presentación de investigación para realizar la presentación final de la investigación.

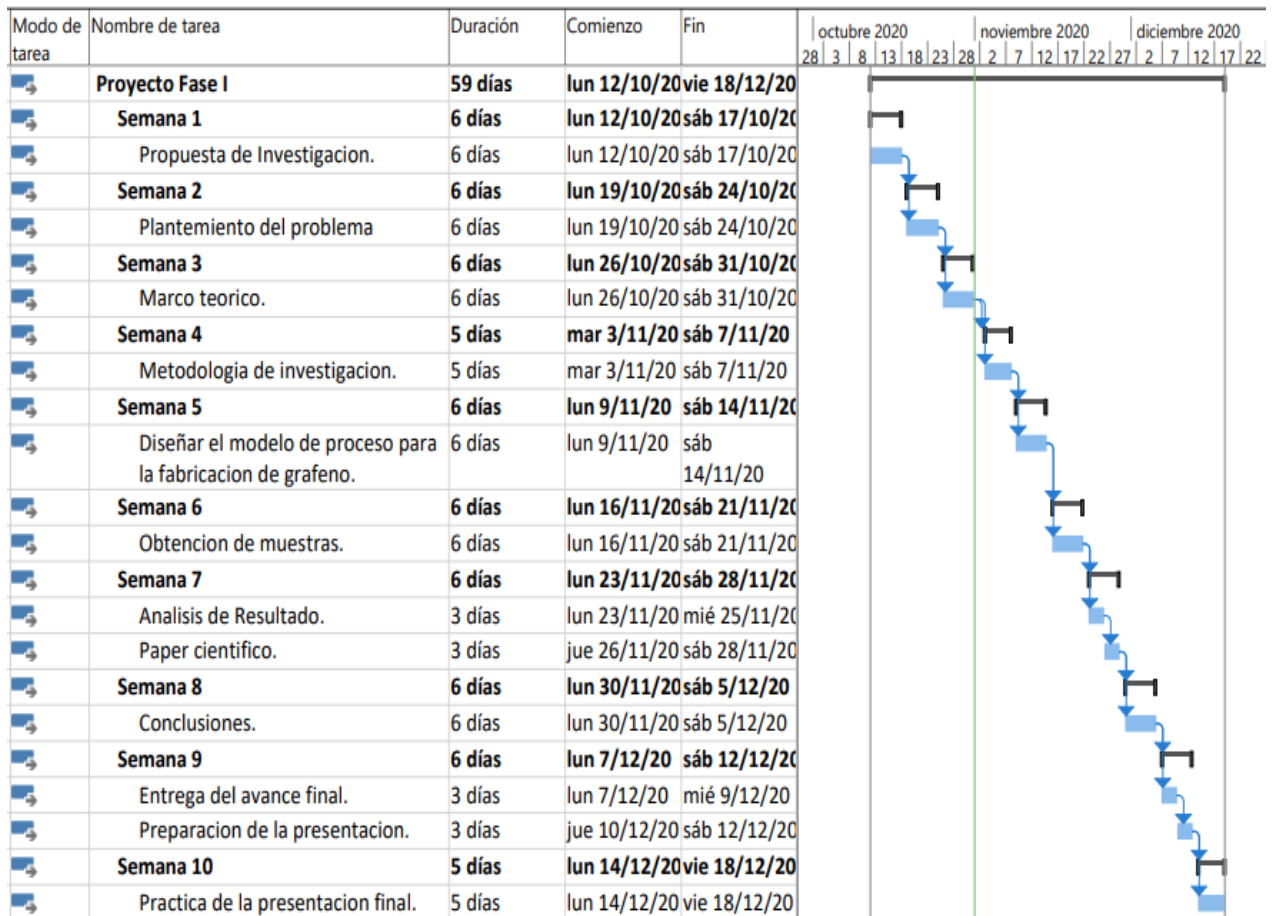


Ilustración 11 Cronograma de actividades para el desarrollo de la investigación.

Fuente: Propia (2020).

V ANÁLISIS Y RESULTADO.

En el presente capítulo se va a considerar los aportes generados por las teorías de sustento expuestas en el marco teórico de la presente investigación y se mostrara las diferentes etapas realizadas durante las diferentes espirales de la metodología que se implementó, para luego comparar la teoría propuesta con los resultados obtenidos. Para iniciar nuestro proyecto de investigación se empezó por comprender el grafeno y su estructura molecular.

5.1 Análisis de teoría de sustento.

Con el propósito de lograr los mejores resultados en el desarrollo del diseño de un modelo de proceso para la fabricación de grafeno, se desarrolló una ardua investigación relacionada a la temática de estudio. En la presente investigación toda la información recaudada esta detallada en el capítulo del marco teórico.

El grafeno es un alótropo del carbón tiene una estructura geométrica bidimensional y en las últimas décadas ha sido el centro de muchas investigaciones, dicho esto la manera de obtener grafeno puede ser de distintas formas y se indago en los distintos procesos y de esa manera tomar de referencia, con el fin de poder diseñar un modelo de proceso para fabricación de grafeno a bajo costo, para poder llegar al diseño, se centró en diversas áreas, iniciando por la descripción de la estructura molecular del grafeno, explorando en los procesos de obtención y describiendo las propiedades más destacadas que tiene.

Se decidió utilizar el software Proteus Professional para realizar la simulación de nuestro circuito electrónico y poder hacer el circuito de manera física. También se utilizó el software Yenka para realizar la simulación de la parte electroquímica donde podemos observar la reacción redox y después realizar de manera física, con el propósito de posteriormente con la muestra obtenida realizar un proceso de filtrado y por último llevar el proceso de secado en un horno.

5.2 Resultados

Para el cumplimiento de la metodología, siguiendo el análisis secuencial de un resultado hacia otro se analizaron los resultados con respecto a cada ciclo para así obtener un desarrollo de diseño final. Se documentaron las pruebas realizadas en cada espiral que están formadas por

cuatro etapas que son los objetivos, el análisis de riesgos, desarrollar, verificar, validar y la planificación del siguiente paso.

5.2.1 Ciclo I. Diseño del regulador de voltaje.

Objetivo.

Utilizamos el software de Proteus Professional para la elaboración y simulación del diseño de un circuito regulador de voltaje DC, y el diseño de la placa en PCB y la visualizamos en una vista 3D luego proseguimos a realizarlo en físico tomando en cuenta los voltajes a regular para alimentar las celdas electroquímicas

Análisis de riesgos.

Los riesgos que estuvieron presente en esta etapa fue que al realizar el circuito en físico no encontramos los componentes utilizados en Proteus, para solucionar este problema usamos los componentes genéricos más adecuado.

Desarrollar, Verificar y validar.

- Desarrollamos el diseño del regulador de voltaje en el software Proteus.
- Realizamos la simulación del diseño del circuito electrónico.
- Desarrollamos el diseño de la placa PCB y lo visualizamos en 3D.
- Elaboramos la placa electrónica para poder realizar la regulación de voltaje de la fuente de alimentación en el uso de las celdas electroquímicas.

Resultado.

Se realizo el diseño del circuito para regular el voltaje en el software Proteus luego se simulo el circuito y se obtuvo un correcto funcionamiento, posteriormente realizamos 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.

Planificar.

Se cumplieron los objetivos de esta primera espiral como un éxito, solucionando los inconvenientes hallados en el proceso se da paso a nuestra segunda espiral en la cual se implementará el método electroquímico en el proceso de la fabricación de grafeno.

Método	Proceso	Equipo	Precio \$
Bottom-up	Descomposición Química de Vapor (CVD)	Horno tabular	2,430.00 + envió
Bottom-up		Generador de Plasma de revestimiento	2,000.00 + envió
Bottom-up	Crecimiento epitaxial de grafeno de gran superficie.	Horno de tabular	2,430.00 + envió
Top-Down	Síntesis orgánica de grafeno nanométrico.	Horno tabular	2,430.00 + envió
Top-Down	Exfoliación micromecánica	Cinta adhesiva	4.00
Top-Down	Exfoliación química (Sonicación)	Equipo de sonicación de punta.	1,800.00 + envió
Top-Down		Equipo de sonicación de baño.	1,350.00 + envió
Top-Down	Exfoliación química (molienda de gomas)	Molino planetario de goma.	1,250.00 + envió
Top-Down	Exfoliación química (Cizallamiento)	Batidora con cuchillas giratorias	700.00 + envió
Top-Down		Centrifugadoras.	300.00 + envió
Top-Down	Exfoliación electroquímica	Fuente de alimentación y Celda galvánica	100.00 + envió
Top-Down	Método de ablación laser	Ablación laser	2,290.00 + envió
Top-Down	Método de GO y rGO	Horno	650.00 + envió
Top-Down		Equipo agitador	330.00 + envió
Top-Down		Centrifugadora.	300.00 + envió.

Tabla 4 Selección de proceso.

Fuente: Propia (2020).

Para realizar este proyecto nos decidimos hacerlo por la disponibilidad del equipo en el medio local, debido a esto los procesos del método Bottom-Up fueron descartados ya que el equipo indispensable de ellos es el horno tabular el cual adquirir este equipo tiene un valor bastante elevados como se muestra en la tabla 4.

Luego observamos que los métodos Top Down y se escogió el método exfoliación electroquímica ya que este equipo se puede adquirir en el medio local.

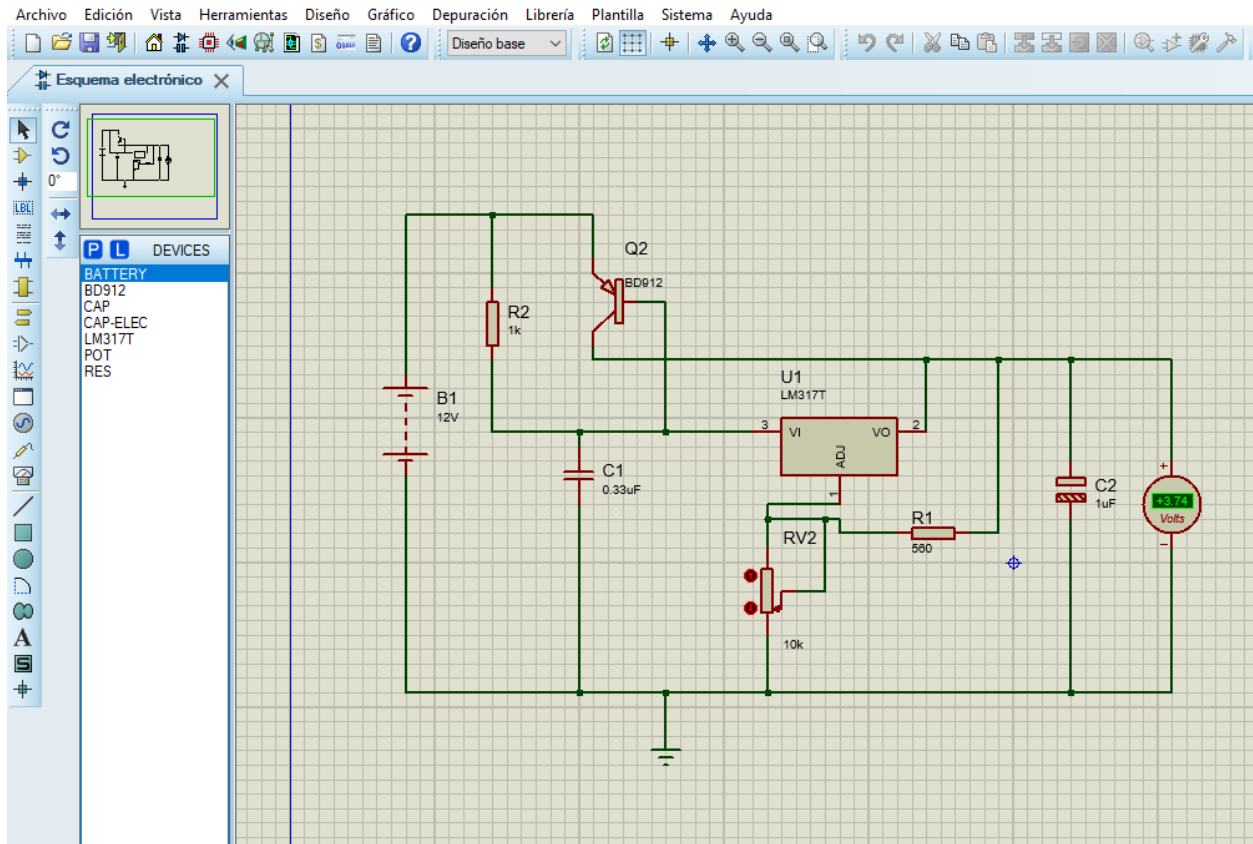


Ilustración 12. Diseño del Circuito eléctrico del regulador de voltaje

Fuente: Propia (2020).

Para realizar el diseño del regulador de voltaje se utilizó un transistor BD912, un regulador de tensión LM317, una resistencia de $1k \Omega$ y otra de 560Ω un capacitor de $0.33\mu\text{f}$ y un capacitor electrolítico de $1\mu\text{f}$ un potenciómetro de $10k$, en la simulación se usó una fuente de alimentación de 24 y otra de 12 voltios, en la Ilustración 12. Se muestra el diseño del circuito eléctrico del regulador de voltaje para una fuente de voltaje de 12V.

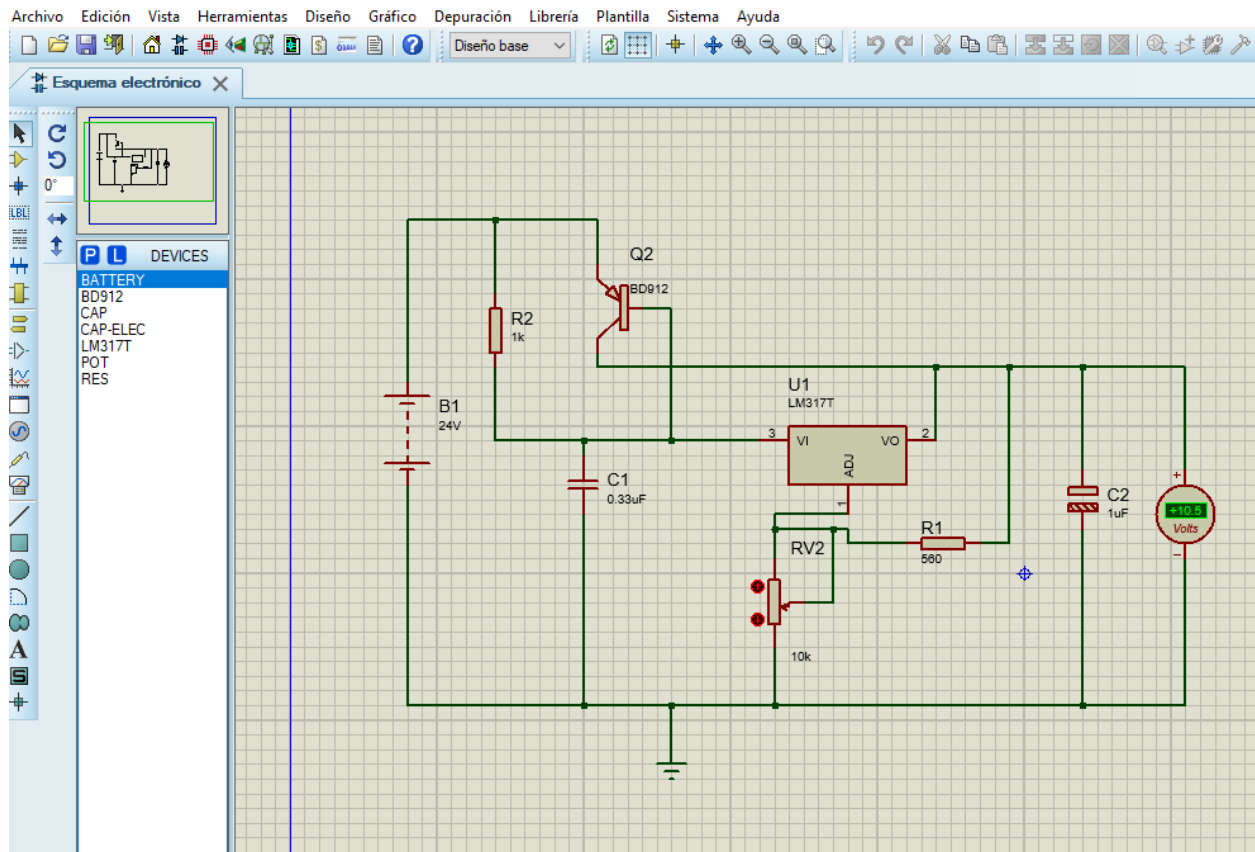


Ilustración 13 Simulación del regulador de voltaje con una fuente de 24 v.

Fuente: Propia (2020).

En la Ilustración 13. Se muestra el circuito simulado de un regulador de voltaje con una fuente de 24V en el software de Proteus Professional.

Ecuación 2 Voltaje de salida de la fuente regulable.

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

Fuente: Propia (2020).

Para obtener el voltaje de salida que necesitamos tener, se usa la Ecuación 2. Donde la Rv2 es una resistencia variable en este proyecto es una de 10 kΩ y R1 es una resistencia fija que es de 560 Ω para este proyecto, la corriente I_{Adj} es una corriente despreciable.

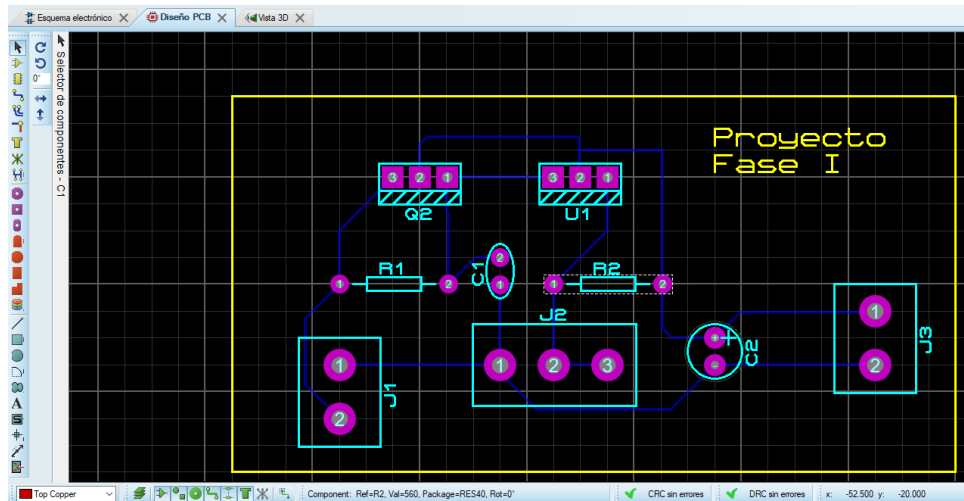


Ilustración 14. Diseño de la placa PCB.

Fuente: Propia (2020).

Se elaboro el diseño de la placa PCB del regulador de voltaje como se muestra en la ilustración 14, al terminar la elaboración de las simulaciones en Proteus Professional se continuo con el desarrollo de la placa en físico.

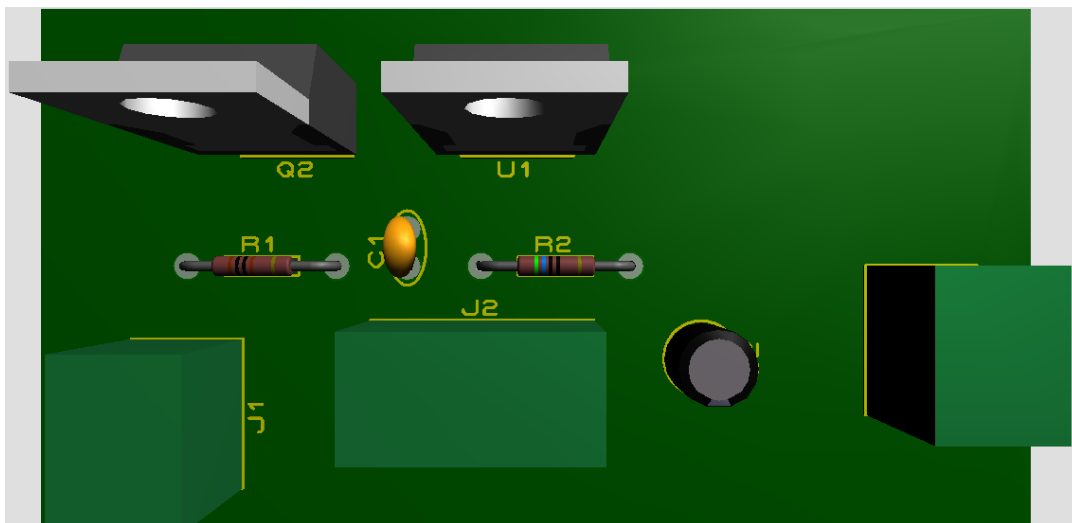


Ilustración 15 Vista de la placa PCB en 3D del Regulador de Voltaje.

Fuente: Propia (2020).

En la ilustración 15 se muestra cómo se visualiza la placa PCB en 3D por medio de software Proteus Professional.

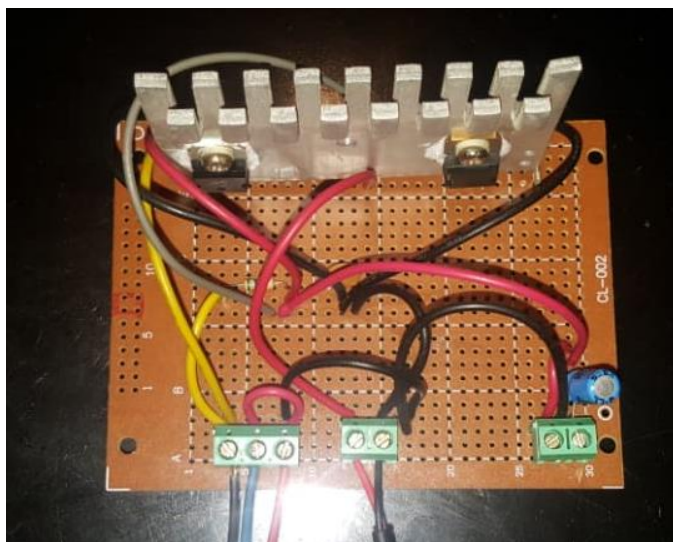


Ilustración 16. Placa Electrónica del regulador de voltaje DC.

Fuente Propia (2020).

Cuando se realizó en físico la placa electrónica usamos los mismos componentes de la simulación en Proteus excepto el transistor BD912 que usamos un transistor genérico TIP42C, en la ilustración 16 se muestra el diseño final de la placa de forma física.

5.2.2 Ciclo II. Implementación del método electroquímico.

Objetivo.

Utilizamos el software Yenka para la simulación del método electroquímico para realizar la reacción redox obteniendo una exfoliación, luego realizar las muestras y pasar a realizar el filtrado.

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 también de seleccionar la cantidad de grafito para llevar a cabo la exfoliación y el obtener la muestra del papel filtro.

Desarrollar, Verificar y Validar.

Se realizó las simulaciones de la parte electroquímica en el software Yenka tomando en cuenta diferentes voltajes para alimentar y realizar la reacción redox, se implementa el método

electroquímico de manera física para realizar varias muestras y luego realizar un filtrado donde se separa las partículas sólidas del electrolito utilizado, se realizarán los siguientes pasos:

- Realizamos las simulaciones en el software Yenka.
- Implementamos el método electroquímico iniciando por regular un voltaje DC para alimentar las celdas electroquímicas.
- Colocamos una pequeña lámina de cobre en el cátodo y una cantidad de grafito en el ánodo de las celdas electroquímicas.
- Realizamos la mezcla de agua desionizada con la cantidad de reactivo seleccionado para obtener la concentración necesaria en 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 grafeno para reducir los electrolitos en la muestra.
- Lavar la muestra filtrada para disminuir los electrolitos de la muestra.

Resultados.

- 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, 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, en el electrolito se utilizó sulfato de sodio Na_2SO_4 con una concentración molar de 1.98, ácido sulfúrico H_2SO_4 con una concentración molar de 2 y sulfato de cobre CuSO_4 con una concentración molar de 1.38 obtenidos datos de la muestra de reacción celular de cada elemento utilizado reacciones físicas y sólidos, también se obtuvieron los detalles de la reacción electroquímica, los datos obtenidos fueron las reacciones obtenidas en cada etapa de la reacción electroquímica, información sobre el reactivo utilizado, y otras propiedades como la temperatura, volumen y masa.
- 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, también se pudo recabar 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 nueve muestras individuales con una cantidad de 2 gr de grafito con un voltaje de 9 V cada una, formando al final dos muestra madre, la primera muestra madre se realizó con 5 muestras individuales y la segunda muestra madre se realizó con 4 muestras individuales, las muestras se realizaron con sulfato de cobre.

- 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 proseguimos 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 con una espátula, es 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 hasta que el agua saliera clara.

Planificar.

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

Modelo matemático.

Muestras simuladas en Yenka con Na_2SO_4

Ecuación 3 Molaridad (M)

$$M = \frac{\eta}{V}$$

Fuente: Propia (2020).

Ecuación 4 Números de moles de soluto.

$$\eta = \frac{\text{masa compuesta}}{\text{masa molecular}}$$

Fuente: Propia (2020).

M = Molaridad.

η = Números de moles de soluto

V = Litros de solvente de agua desionizada

En la disolución de la muestra simulada tenemos los datos de concentración molar que es 1.98 y los litros de solvente que son 0.125 L de agua desionizada entonces con las fórmulas mencionadas anteriormente se busca la cantidad de gramos necesarios para tener una concentración molar de 1.98 en la disolución.

$$M = 1.98 \text{ mol} * L^{-1}$$

$$V = 0.125 \text{ L}$$

Para encontrar los moles de soluto necesarios primero obtuvimos la masa molecular de nuestro reactivo en este primer caso es Na_2SO_4 para adquirir ese dato nos vamos a la tabla periódica y buscamos la masa atómica de cada elemento y se multiplica con el número de veces que este elemento está presente en el compuesto y sumamos cada multiplicación.

$$Na_2 = 2 \times 23 = 46$$

$$S = 1 \times 32 = 32$$

$$O_4 = 4 \times 16 = 64$$

Total, de masa molecular de Na_2SO_4 es 142 gr/mol.

Se desconoce la masa compuesta entonces se hace una igualación de las ecuaciones y se sustituye la Ecuación 4 en la Ecuación 3 y nos quedaría la Ecuación 5 que a continuación se muestra.

Ecuación 5 Sustitución de la ecuación 4 en la ecuación 3

$$M = \frac{\frac{\text{masa compuesta}}{\text{masa molecular}}}{V}$$

Despejamos para la masa compuesta y sustituimos valores para obtener el total de la masa compuesta necesaria a fin de poder determinar el número de soluto necesario en nuestra disolución.

$$M \times V = \frac{\text{masa compuesta}}{142 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}}$$

$$142 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 0.125\text{L} \times 1.98 \text{ mol} * L^{-1} = \text{masa compuesta}$$

$$\text{Masa compuesta} = 35.145 \text{ gr}$$

Se ocupo 35.145 gr de Na₂SO₄ para realizar las muestras siguientes y poder tener una concentración de 1.98 moles en la disolución de nuestro reactivo con 125 mL de agua desionizada.

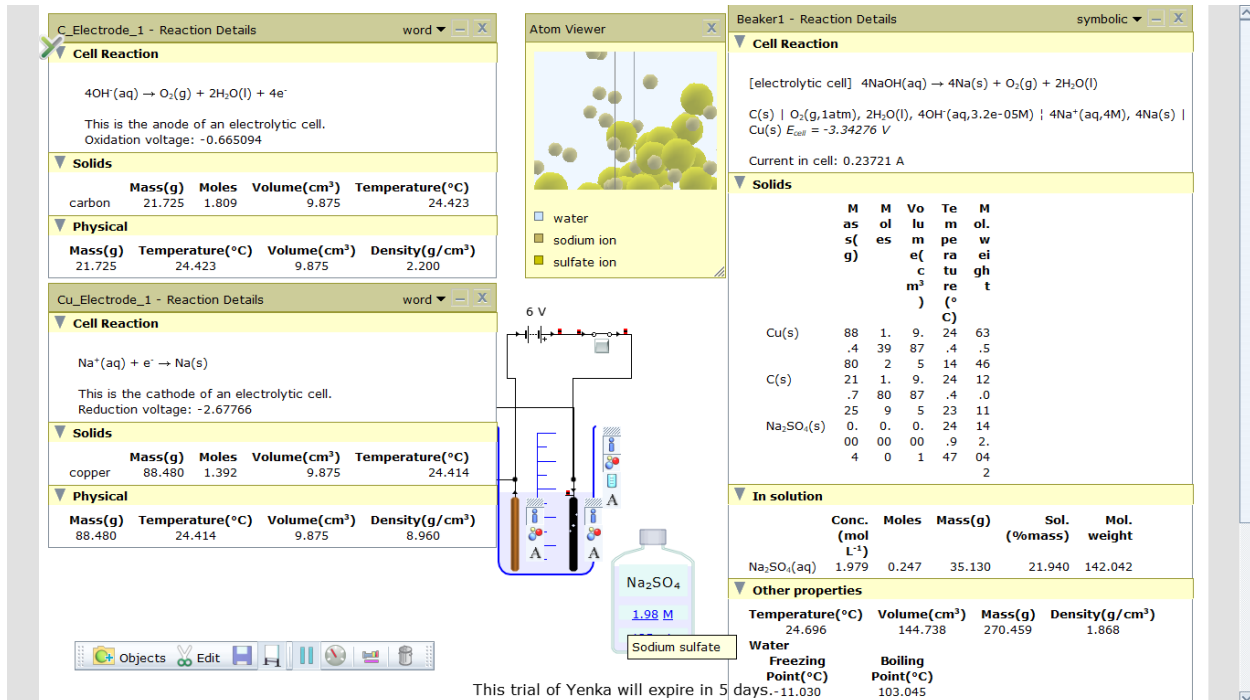


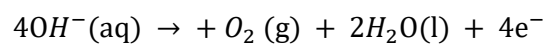
Ilustración 17 Simulación de Sulfato de sodio con 6 V.

Fuente: Propia (2020).

En la ilustración 17 se muestran los datos obtenidos de la simulación con Na₂SO₄ y observamos los voltajes en cada electrodo y vemos que en el ánodo donde se encuentra el carbón obtuvimos 0.665094 V y en el cátodo donde se encuentra el cobre -2.67766 V para obtener al final un potencial estándar en la celda galvánica de -3.344276 V.

En esta simulación el Carbono es el ánodo.

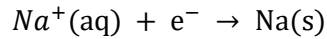
Reacción celular.



$$\text{Voltaje de Oxidación} = 0.665094 \text{ V}$$

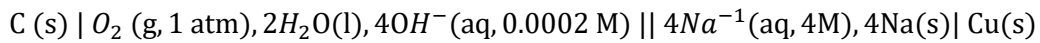
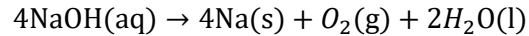
En esta simulación el Cobre es el cátodo.

Reacción celular



$$\text{Voltaje de reducción} = -2.67766$$

Reacción global



Ecuación 6 Potencial estándar de una celda galvánica

$$E_{cell} = E_r - E_o$$

Fuente:

$$E_{cell} = \text{Potencial estandar de una celda galvanica.}$$

$$E_r = \text{Voltaje de Reduccion.}$$

$$E_o = \text{Voltaje de Oxidacion.}$$

Para encontrar el voltaje de una celda galvánica utilizamos la ecuación 6, sustituimos los valores del voltaje de reducción y el voltaje de oxidación de las reacciones químicas.

$$E_{cell} = -2.67766 \text{ V} - 0.665094 \text{ V}$$

$$E_{cell} = -3.34276 \text{ V}$$

Cuando tenemos un voltaje negativo esto quiere decir que la reacción no es espontánea y se ocupa una alimentación de voltaje mayor a E_{cell} , para que la reacción de electrolisis se lleve a cabo.

Muestras con Na ₂ SO ₄ , 6 V	Voltaje de oxidación	Voltaje de reducción	Voltaje de celdas Galvánicas	Corriente en la celda Galvánica
C	0.665 V			
Cu		-2.677 V		
Celda Electrolítica			-3.342 V	0.2372 A

Tabla 5 Resultados de la simulación de Sulfato de sodio con 6 V.

Fuente: Propia (2020).

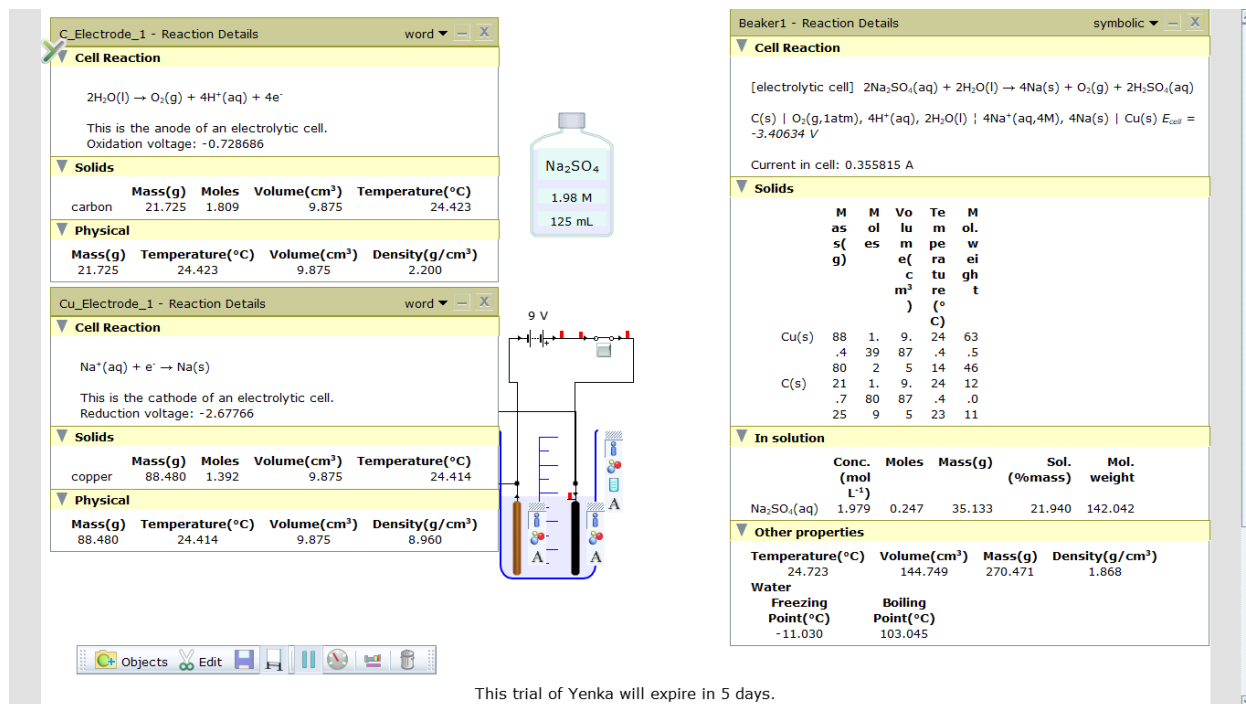


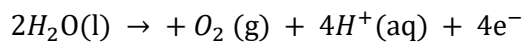
Ilustración 18 Simulación de Sulfato de sodio con 9 V.

Fuente: Propia (2020).

En la ilustración 18 se muestran los datos obtenidos de la simulación con Na₂SO₄ y observamos los voltajes en cada electrodo y vemos que en el ánodo donde se encuentra el carbón obtuvimos 0.728686 V y en el cátodo donde se encuentra el cobre -2.67766 V para obtener al final un potencial estándar en la celda galvánica de -3.40634 V.

En esta simulación el Carbono es el ánodo.

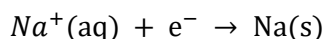
Reacción celular.



$$\text{Voltaje de Oxidación} = 0.728686\text{V}$$

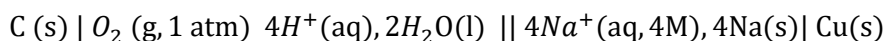
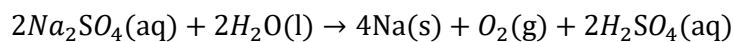
En esta simulación el Cobre es el cátodo.

Reacción celular



$$\text{Voltaje de reducción} = -2.67766$$

Reacción global



$$E_{\text{cell}} = -2.67766 \text{ V} - 0.728686 \text{ V}$$

$$E_{\text{cell}} = -3.40634 \text{ V}$$

Cuando tenemos un voltaje negativo esto quiere decir que la reacción no es espontánea y se ocupa una alimentación de voltaje mayor a E_{cell} , para que la reacción de electrolisis se lleve a cabo.

Muestras con Na_2SO_4 , 9 V	Voltaje de oxidación	Voltaje de reducción	Voltaje de celdas Galvánicas	Corriente en la celda Galvánica
C	0.7286 V			
Cu		-2.677 V		
Celda Electrolítica			-3.406 V	0.3558 A

Tabla 6 Resultados de la simulación de Sulfato de sodio con 9 V.

Fuente: Propia (2020).

Muestras con H_2SO_4 al 97%.

En la disolución de la muestra simulada de H_2SO_4 al 97% tenemos una concentración molar de 2M en un solvente de 0.150 L de agua desionizada, sabemos que por ficha técnica el H_2SO_4 al 97% tiene una densidad de 1.84 gr/mL, se aplicara la fórmula de molaridad para obtener los mL de H_2SO_4 al 97% necesarios para la disolución.

$$M = 2 \text{ mol} * L^{-1}$$

$$V = 0.150 \text{ L}$$

$$\text{Densidad} = 1.84 \frac{\text{gr}}{\text{mL}}$$

Para encontrar los moles de soluto necesarios primero obtuvimos la masa molecular de nuestro reactivo en este primer caso es H_2SO_4 para adquirir ese dato nos vamos a la tabla periódica y buscamos la masa atómica de cada elemento y se multiplica con el número de veces que este elemento está presente en el compuesto y sumamos cada multiplicación.

$$H_2 = 2 \times 1 = 2$$

$$S = 1 \times 32 = 32$$

$$O_4 = 4 \times 16 = 64$$

La masa molecular de H_2SO_4 es de 98 gr/mol

$$M \times V = \frac{\text{masa compuesta}}{98 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}}$$

$$98 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times M \times V = \text{masa compuesta}$$

$$98 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 2 \text{ mol} * L^{-1} \times 0.150 \text{ L} = \text{masa compuesta}$$

Recordando que el ácido sulfúrico es un líquido tenemos que obtener ml de soluto para entonces tenemos que realizar una igualdad partiendo de la densidad del ácido sulfúrico.

$$1.84 \frac{\text{gr}}{\text{mL}} \times X \text{ mL} \times 97\% = \text{masa compuesta}$$

Ahora realizamos la igualdad de la ecuación.

$$1.84 \frac{\text{gr}}{\text{mL}} \times X \text{ mL} \times 97\% = 98 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 2 \text{ mol} * L^{-1} \times 0.150 \text{ L}$$

$$1.7848 \frac{\text{gr}}{\text{mL}} X \text{ mL} = 29.4 \text{ gr}$$

$$X \text{ mL} = 16.51 \text{ mL}$$

Los mL necesarios de soluto de H_2SO_4 al 97% son 16.51 mL para realizar las muestras siguientes y poder tener una concentración de 2 moles en la disolución de nuestro reactivo con 150 mL de agua desionizada.

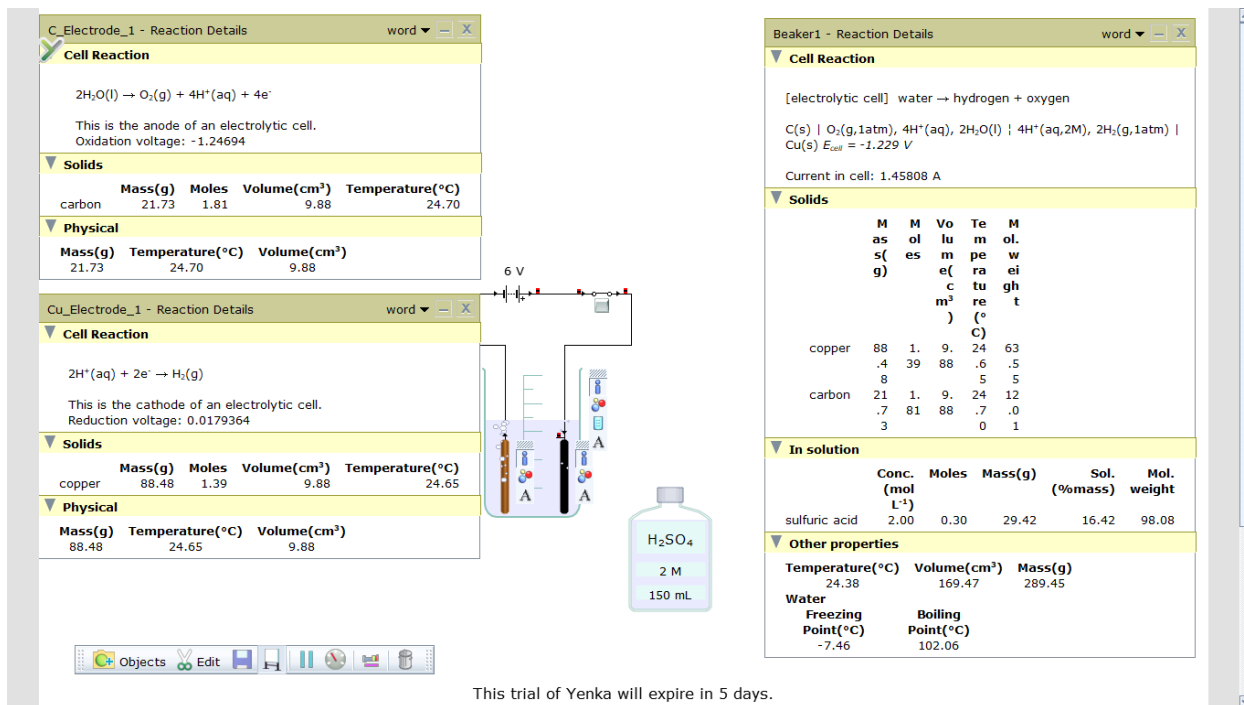


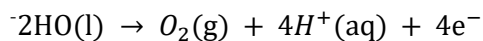
Ilustración 19. Simulación de Ácido Sulfúrico con 6 V.

Fuente: Propia (2020).

En la ilustración 19 se muestran los datos obtenidos de la simulación con H₂SO₄ al 97% y observamos los voltajes en cada electrodo y vemos que en el ánodo donde se encuentra el carbón obtuvimos 1.24694 V y en el cátodo donde se encuentra el cobre 0.0179364 V para obtener al final un potencial estándar en la celda galvánica de -1.229 V.

En esta simulación el Carbono es el ánodo.

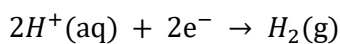
Reacción celular.



$$\text{Voltaje de Oxidación} = 1.24698 \text{ V}$$

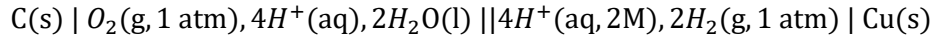
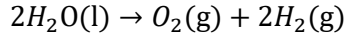
En esta simulación el Cobre es el cátodo.

Reacción celular.



$$\text{Voltaje de reducción} = 0.017894 \text{ V}$$

Reacción global.



Para encontrar el voltaje de una celda galvánica utilizamos la ecuación 6, sustituimos los valores del voltaje de reducción y el voltaje de oxidación de las reacciones químicas.

$$E_{cell} = 0.017984 \text{ V} - 1.24698 \text{ V}$$

$$E_{cell} = -1.229 \text{ V}$$

Cuando tenemos un voltaje negativo esto quiere decir que la reacción no es espontánea y se ocupa una alimentación de voltaje mayor a E_{cell} , para que la reacción de electrolisis se lleve a cabo.

Muestras con H ₂ SO ₄ , 6 V	Voltaje de oxidación	Voltaje de reducción	Voltaje de celdas Galvánicas	Corriente en la celda Galvánica
C	1.246 V			
Cu		0.0179 V		
Celda Electrolítica			-1.229 V	1.4580 A

Tabla 7 Resultados de la simulación de Ácido Sulfúrico con 6 V.

Fuente: Propia (2020).

The screenshot displays a simulation of an electrolytic cell. On the left, two panels provide details for the electrodes:

- C_Electrode_1 - Reaction Details:** Cell Reaction: $2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$. This is the anode of an electrolytic cell. Oxidation voltage: -1.24694 V. Solids: carbon (Mass: 21.73 g, Moles: 1.81, Volume: 9.88 cm³, Temperature: 24.70 °C). Physical: Mass: 21.73 g, Temperature: 24.70 °C, Volume: 9.88 cm³.
- Cu_Electrode_1 - Reaction Details:** Cell Reaction: $2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$. This is the cathode of an electrolytic cell. Reduction voltage: 0.0179366 V. Solids: copper (Mass: 88.48 g, Moles: 1.39, Volume: 9.88 cm³, Temperature: 24.65 °C). Physical: Mass: 88.48 g, Temperature: 24.65 °C, Volume: 9.88 cm³.

The central diagram shows a 9V battery connected to two electrodes in a beaker of 2M H₂SO₄ (150 mL). On the right, the **Beaker1 - Reaction Details** panel shows the overall reaction: [electrolytic cell] water → hydrogen + oxygen. Cell Reaction: $C(s) | O_2(g, 1atm), 4H^+(aq), 2H_2O(l) ; 4H^+(aq, 2M), 2H_2(g, 1atm) | Cu(s) E_{cell} = -1.229 \text{ V}$. Current in cell: 2.18712 A. Solids table lists copper and carbon with their respective mass, molar mass, volume, and temperature. The 'In solution' table lists sulfuric acid with concentration, moles, mass, and volume. Other properties include water temperature (24.40 °C) and boiling point (102.06 °C).

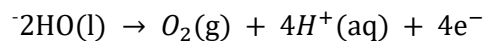
Ilustración 20 Simulación de Ácido Sulfúrico con 9 V.

Fuente: Propia (2020).

En la ilustración 20 se muestran los datos obtenidos de la simulación con H_2SO_4 al 97% y observamos los voltajes en cada electrodo y vemos que en el ánodo donde se encuentra el carbón obtuvimos 1.24694 V y en el cátodo donde se encuentra el cobre 0.0179364 V para obtener al final un potencial estándar en la celda galvánica de -1.229 V.

En esta simulación el Carbono es el ánodo.

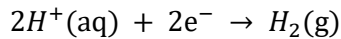
Reacción celular.



$$\text{Voltaje de Oxidación} = 1.24698 \text{ V}$$

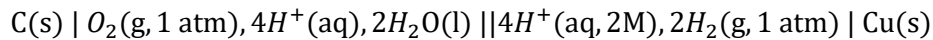
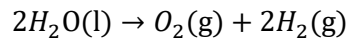
En esta simulación el Cobre es el cátodo.

Reacción celular.



$$\text{Voltaje de reducción} = 0.017894 \text{ V}$$

Reacción global.



Para encontrar el voltaje de una celda galvánica utilizamos la ecuación 6, sustituimos los valores del voltaje de reducción y el voltaje de oxidación de las reacciones químicas.

$$E_{cell} = 0.017984 \text{ V} - 1.24698 \text{ V}$$

$$E_{cell} = -1.229 \text{ V}$$

Cuando tenemos un voltaje negativo esto quiere decir que la reacción no es espontánea y se ocupa una alimentación de voltaje mayor a E_{cell} , para que la reacción de electrolisis se lleve a cabo.

Muestras con H ₂ SO ₄ , 9 V	Voltaje de oxidación	Voltaje de reducción	Voltaje de celdas Galvánicas	Corriente en la celda Galvánica
C	1.246 V			
Cu		0.0179 V		
Celda Electrolítica			-1.229 V	2.1871 A

Tabla 8. Resultados de la simulación de Ácido Sulfúrico con 9 V.

Fuente: Propia (2020).

Muestra con CuSO₄.

En la disolución de la muestra simulada tenemos los datos de concentración molar que es 1.38 y los litros de solvente que son 0.150 L de agua desionizada entonces con las fórmulas mencionadas anteriormente se busca la cantidad de gramos necesarios para tener una concentración molar de 1.38 en la disolución.

$$M = 1.38 \text{ mol} * L^{-1}$$

$$V = 0.150 \text{ L}$$

Para encontrar los moles de soluto necesarios primero obtuvimos la masa molecular de nuestro reactivo en este primer caso es CuSO₄ para adquirir ese dato nos vamos a la tabla periódica y buscamos la masa atómica de cada elemento y se multiplica con el número de veces que este elemento está presente en el compuesto y sumamos cada multiplicación.

$$\text{Cu} = 1 \times 63 = 63$$

$$\text{S} = 1 \times 32 = 32$$

$$\text{O}_4 = 4 \times 16 = 64$$

Total, de masa molecular de CuSO₄ es 159 gr/mol.

Se desconoce la masa compuesta entonces se hace una igualación de las ecuaciones y se sustituye la Ecuación 4 en la Ecuación 3 y nos quedaría la Ecuación 5.

Despejamos para la masa compuesta y sustituimos valores para obtener el total de la masa compuesta necesaria a fin de poder determinar el número de soluto necesario en nuestra disolución.

$$M \times V = \frac{\text{masa compuesta}}{159 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}}$$

$$159 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 0.150\text{L} \times 1.38 \text{ mol} * L^{-1} = \text{masa compuesta}$$

$$\text{Masa compuesta} = 32.913 \text{ gr}$$

Se ocupo 32.913 gr de CuSO_4 para realizar las muestras siguientes y poder tener una concentración de 1.38 moles en la disolución de nuestro reactivo con 150 mL de agua desionizada.

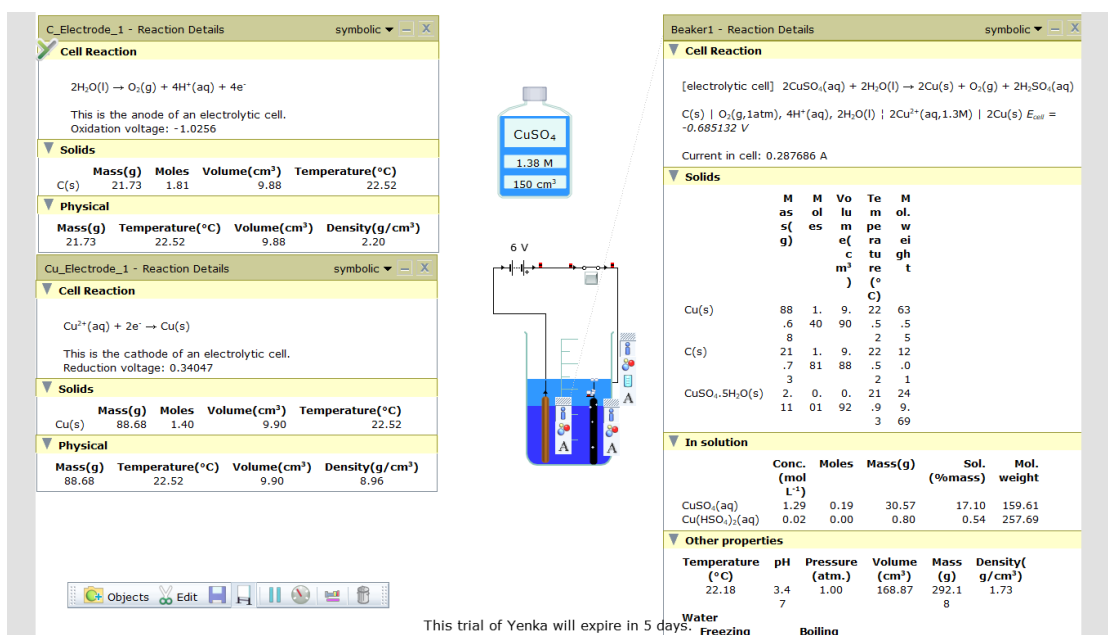


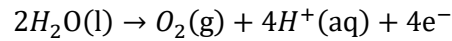
Ilustración 21. Simulación de Sulfato de Cobre con 6 V.

Fuente: Propia (2020).

En la ilustración 21 se muestran los datos obtenidos de la simulación con CuSO_4 y observamos los voltajes en cada electrodo y vemos que en el ánodo donde se encuentra el carbón obtuvimos 1.0256 V y en el cátodo donde se encuentra el cobre 0.34047 V para obtener al final un potencial estándar en la celda galvánica de -0.685132 V.

En esta simulación el Carbono es el ánodo.

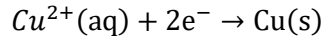
Reacción celular.



$$\text{Voltaje de Oxidación} = 1.0256 \text{ V}$$

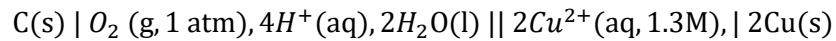
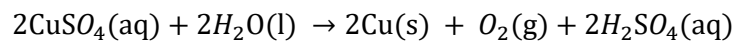
En esta simulación el Cobre es el cátodo.

Reacción celular.



$$\text{Voltaje de reducción} = 0.34047 \text{ V}$$

Reacción global.



Para encontrar el voltaje de una celda galvánica utilizamos la ecuación 6, sustituimos los valores del voltaje de reducción y el voltaje de oxidación de las reacciones químicas.

$$E_{cell} = 0.34047 \text{ V} - 1.0256 \text{ V}$$

$$E_{cell} = -0.685132 \text{ V}$$

Cuando tenemos un voltaje negativo esto quiere decir que la reacción no es espontánea y se ocupa una alimentación de voltaje mayor a E_{cell} , para que la reacción de electrolisis se lleve a cabo.

Muestras con $CuSO_4, 6 \text{ V}$	Voltaje de oxidación	Voltaje de reducción	Voltaje de celdas Galvánicas	Corriente en la celda Galvánica
C	1.0256 V			
Cu		0.3404 V		
Celda Electrolítica			-0.6851 V	0.2876 A

Tabla 9 Resultados de la simulación de Sulfato de cobre con 6 V

Fuente: Propia (2020).

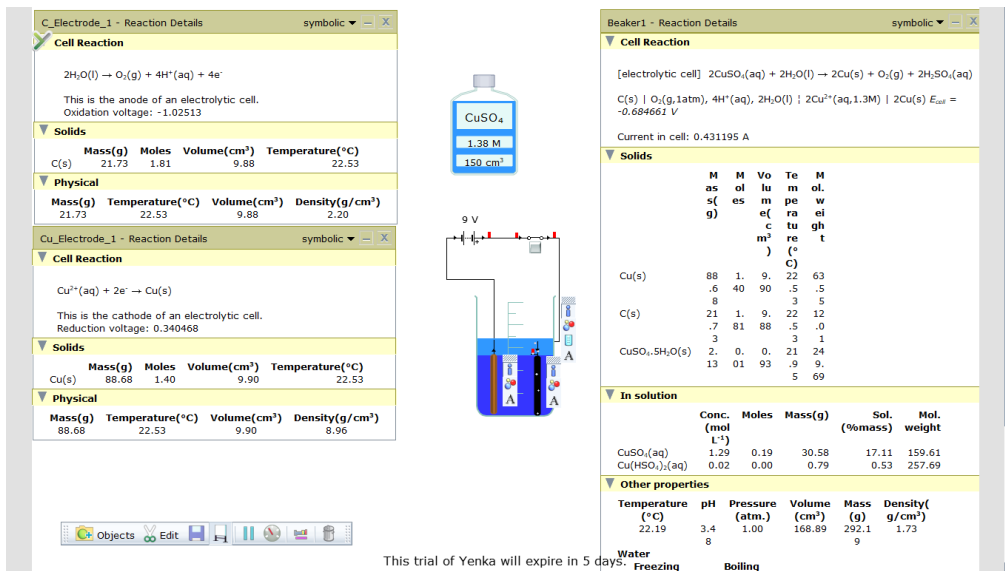


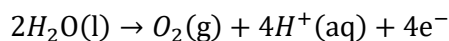
Ilustración 22 Simulación de Sulfato de Cobre con 9 V.

Fuente: Propia (2020).

En la ilustración 22 se muestran los datos obtenidos de la simulación con CuSO₄ y observamos los voltajes en cada electrodo y vemos que en el ánodo donde se encuentra el carbón obtuvimos 1.02513 V y en el cátodo donde se encuentra el cobre 0.340468 V para obtener al final un potencial estándar en la celda galvánica de -0.684661 V.

En esta simulación el Carbono es el ánodo.

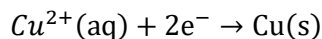
Reacción celular.



$$\text{Voltaje de Oxidación} = 1.02513 \text{ V}$$

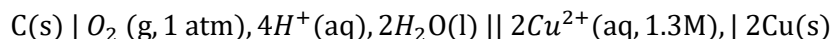
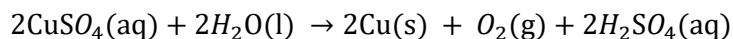
En esta simulación el Cobre es el cátodo.

Reacción celular.



$$\text{Voltaje de reducción} = 0.340468 \text{ V}$$

Reacción global.



Para encontrar el voltaje de una celda galvánica utilizamos la ecuación 6, sustituimos los valores del voltaje de reducción y el voltaje de oxidación de las reacciones químicas.

$$E_{cell} = 0.340468 \text{ V} - 1.02513 \text{ V}$$

$$E_{cell} = -0.684661 \text{ V}$$

Cuando tenemos un voltaje negativo esto quiere decir que la reacción no es espontánea y se ocupa una alimentación de voltaje mayor a E_{cell} , para que la reacción de electrolisis se lleve a cabo.

Muestras con CuSO_4 , 9 V	Voltaje de oxidación	Voltaje de reducción	Voltaje de celdas Galvánicas	Corriente en la celda Galvánica
C	1.0251 V			
Cu		0.3404 V		
Celda Electrolítica			-0.6846 V	0.4311 A

Tabla 10 Resultados de la simulación de Sulfato de cobre con 9 V.

Fuente: Propia (2020).

Muestras	Voltaje de celdas Galvánicas	Corriente en la celda Galvánica
CuSO_4 , 6 V	-0.6851 V	0.2876 A
CuSO_4 , 9 V	-0.6846 V	0.4311 A
H_2SO_4 , 6 V	-1.229 V	1.4580 A
H_2SO_4 , 9 V	-1.229 V	2.1871 A
Na_2SO_4 6 V	-3.342 V	0.2372 A
Na_2SO_4 9 V	-3.406 V	0.3558 A

Tabla 11 Escenarios de Simulación.

Fuente: Propia (2020).

En la tabla 10 se muestran los escenarios de las simulaciones, los voltajes de las celdas galvánicas mostrados nos dan un indicio de cuál es el voltaje mínimo para que la reacción suceda en nuestro proceso electroquímico.

Muestra física de Sulfato de Cobre.

En la disolución de la muestra tenemos que tener una concentración molar de 2 y los litros de solvente que debemos utilizar es de 0.125 L de agua desionizada entonces con las fórmulas mencionadas anteriormente se busca la cantidad de gramos necesarios para tener una concentración molar de 2 en la disolución.

$$M = 2 \text{ mol} * L^{-1}$$

$$V = 0.125 \text{ L}$$

Para encontrar los moles de soluto necesarios primero obtuvimos la masa molecular de nuestro reactivo en este primer caso es CuSO_4 para adquirir ese dato nos vamos a la tabla periódica y buscamos la masa atómica de cada elemento y se multiplica con el número de veces que este elemento está presente en el compuesto y sumamos cada multiplicación.

$$\text{Cu} = 1 \times 63 = 63$$

$$\text{S} = 1 \times 32 = 32$$

$$\text{O}_4 = 4 \times 16 = 64$$

Total, de masa molecular de CuSO_4 es 159 gr/mol.

Se desconoce la masa compuesta entonces se hace una igualación de las ecuaciones y se sustituye la Ecuación 4 en la Ecuación 3 y nos quedaría la Ecuación 5.

Despejamos para la masa compuesta y sustituimos valores para obtener el total de la masa compuesta necesaria a fin de poder determinar el número de soluto necesario en nuestra disolución.

$$M \times V = \frac{\text{masa compuesta}}{159 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}}$$

$$159 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 0.125 \text{ L} \times 2 \text{ mol} * L^{-1} = \text{masa compuesta}$$

$$\text{Masa compuesta} = 39.75 \text{ gr}$$



Ilustración 23 Disolución del sulfato de cobre con agua desionizada.

Fuente: Propia (2020).

Como se muestra en la Ilustración 23 se ocupó 39.75 gr de CuSO_4 para realizar las muestras siguientes y poder tener una concentración de 2 moles en la disolución de nuestro reactivo con 125 mL de agua desionizada.

Se desarrollaron muestras con 0.5 y 1 gr de grafito en el ánodo y en el cátodo una lámina de cobre el proceso electroquímico duro 30 minutos, luego se pasó al filtrado por gravedad, se observó que, a mayor cantidad de grafito mayor precipitado, estas muestras se descartaron ya que se secó en el papel de filtrado y se tuvieron complicaciones para extraer el polvo del papel de filtrado.



Ilustración 24 Proceso electroquímico con 6V.

Fuente: Propia (2020).

En la ilustración 24 se observa el proceso electroquímico y de filtrado que se realizó, primero se pesó el grafito a utilizar, posteriormente se colocó el grafito en el ánodo y la lámina

de cobre en el cátodo y para sumergirlo en la disolución de sulfato de cobre durante 30 minutos a 6V, luego se preparó el proceso de filtrado donde se colocó papel filtro en un embudo y se realizó el proceso esperando que se seicara a temperatura ambiente, estas pruebas se descartaron debido que al extraer la muestra del papel filtrado no se logró extraer ya que al momento de secarse quedo adherido al papel.



Ilustración 25 Proceso electroquímico con 9V

Fuente: Propia (2020).

Se desarrollaron tres pruebas de igual manera con un voltaje de 9V dos con un 0.5 y 1gr de grafito, en una prueba de 1 gr de grafito se reutilizo una lámina de cobre y se observó que se desprendió bastante partículas de cobre, de modo que se descarta reutilizar la lámina de cobre para realizar las muestras, las otras dos muestras igual se descartaron por el motivo que cuando se realizó el proceso de filtrado se dejó secando a temperatura ambiente en el papel y se tuvieron problemas para recolectar el polvo, solo se pudo obtener 0.01 gr de una muestra.

En la Ilustración 25 se observa el proceso electroquímico y de filtrado que se realizó, Primero se pesó el grafito para realizar la muestra y se colocó en el ánodo posteriormente se colocó el cobre en el cátodo y se sumergido en la disolución de sulfato de cobre durante 30 minutos a 9V, luego se realizó el proceso de filtrado por gravedad donde se colocó papel filtro en un embudo.



Ilustración 26 Proceso electroquímico de 9V muestra madre.

Fuente: Propia (2020).

En la Ilustración 26 se muestra el proceso que se realizó para obtener la muestra madre, ya con la información recolectada con las muestras descartadas se hizo la muestra madre que está formada por 5 muestras individuales donde cada una en el cátodo tenía una lámina de cobre nueva, 2 gr de grafito en el ánodo alimentados por 9V el proceso se realizó durante 30 minutos, al terminar este proceso electroquímico se realizó el proceso de filtrado donde se lavó cada muestra con agua desionizada para disminuir en su mayoría la disolución de sulfato de cobre en la muestra luego del lavado lo pasamos al crisol con ayuda de una espátula y agua desionizada.

Antes de recolectar las muestras individuales en el crisol se pesó para luego determinar la cantidad de grafeno realizado, en este proyecto el crisolo tiene un peso de 42.9 gr como se muestra a continuación en la ilustración 27 Se peso el grafito luego de realizar las pruebas y se encontró que el grafito adquiría mayor peso, el peso adquirido es alrededor de 1 y 1.5 gr.

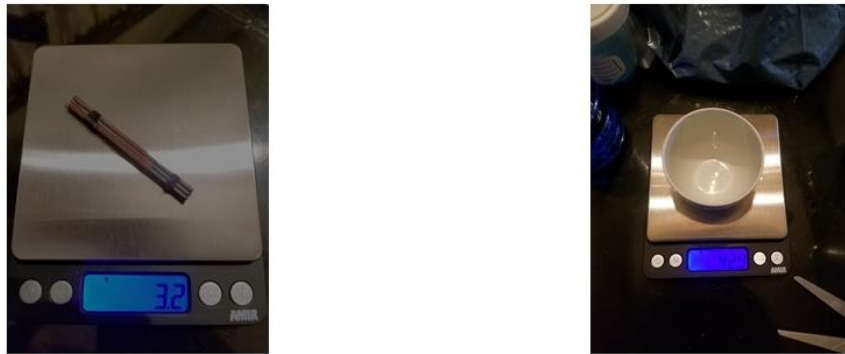


Ilustración 27 Peso del grafito luego de las muestras y peso del crisol antes de colocar las muestras.

Fuente: Propia (2020).

Se realizó la segunda muestra madre la cual está formada por cuatro muestras individuales se implementó nuevamente el proceso que se muestra en la ilustración 26 con la diferencia que las muestras individuales se lavaban con 10 ml de agua desionizada y se realizaban tres lavadas por muestra individual, con el fin de disminuir el sulfato de cobre

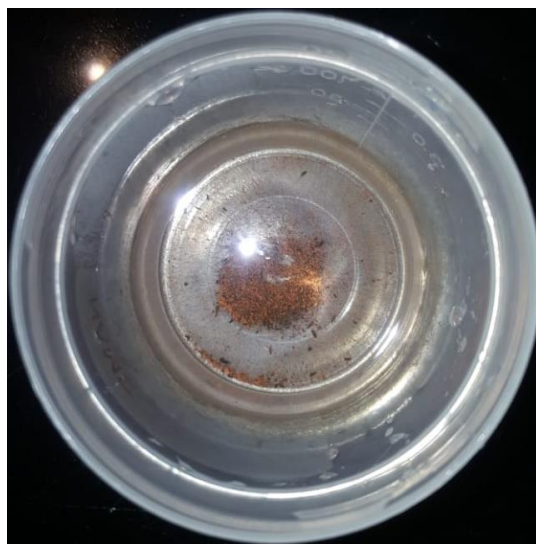


Ilustración 28 Segunda muestra madre.

Fuente: Propia (2020).

5.2.3 Ciclo III. Proceso de secado del grafeno mediante un horno.

Objetivo.

Realizamos el proceso de secado del grafeno mediante un horno y verificar que el polvo obtenido sea grafeno mediante un microscopio, habiendo concluido con éxito el método electroquímico y el proceso de filtrado.

Análisis de riesgos.

Los riesgos que se puede presentar en esta espiral están relacionados con el tiempo que se puede exponer la muestra de grafeno al ambiente antes de iniciar el proceso de secado del grafeno mediante un horno y que la muestra obtenida no lleve disolución de sulfato de cobre ya que se cristalizaría con el polvo de grafeno.

Desarrollar, Verificar y validar.

Una vez ya realizado el método electroquímico y el proceso de filtrado por gravedad procedimos a realizar el proceso de secado de la muestra por medio de un horno a una temperatura de 80 grados Celsius en un tiempo de 24 horas y posteriormente se analizó la muestra para confirmar que el polvo obtenido es grafeno.

Resultados.

- 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 a una temperatura de 80 grados Celsius en un tiempo de 24 horas, esta muestra se descartó ya que la muestra contenida sulfato de cobre y lo que sucedió fue que se cristalizó el sulfato de cobre con el grafeno.
- 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, esta muestra se introdujo al horno hasta que el agua desionizada se consumió y posteriormente se analizó la muestra por medio de un microscopio para comprobar que se obtuvo grafeno, en esta muestra se observó por medio del microscopio que todavía se tiene un exceso de sulfato de cobre en la muestra.
- 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.

Planificar.

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

El proceso de secado de la muestra se desarrolló varias veces, la primera vez que se realizó observamos que la muestra al tener todavía disolución del sulfato de cobre lo que pasaba es que se cristalizaba el grafeno con el sulfato de cobre y se perdía la muestra cómo se observa en la ilustración 29.



Ilustración 29 Muestra cristalizada después del proceso de secado.

Fuente: Propia (2020).

En consecuencia, al hecho de la cristalización de la muestra con sulfato de cobre se decidió que al momento del filtrado se iba a lavar la muestra con agua desionizada y luego mover con una espátula la muestra al crisol para posteriormente realizar el proceso de secado.



Ilustración 30 Muestra madre antes de introducir al horno.

Fuente: Propia (2020).

En la primera muestra madre que se introdujo en el horno para el proceso de secado se lavó con agua desionizada como se muestra en la ilustración 30, se introdujo al horno todavía con un poco de agua desionizada, la cual se evaporo en su totalidad en el horno.

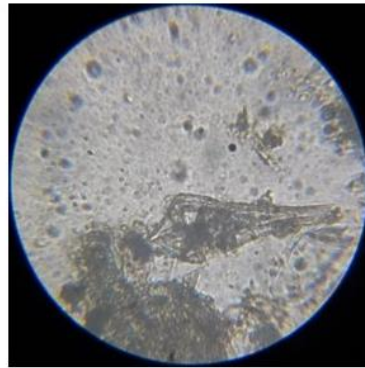
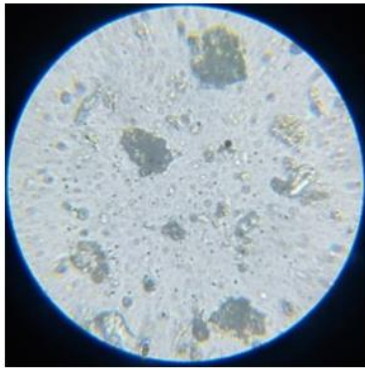


Ilustración 31 Vista de la primera muestra madre por microscopio.

Fuente: Propia (2020).

En la muestra madre que analizamos por medio de microscopio observamos varios puntos azules como se muestra en la ilustración 31 esto quiere decir que se ven bastante partículas de sulfato de cobre entonces se decidió realizar una segunda muestra madre y se lavó con mayor cantidad de agua desionizada, esta muestra se observó con 1 μm .

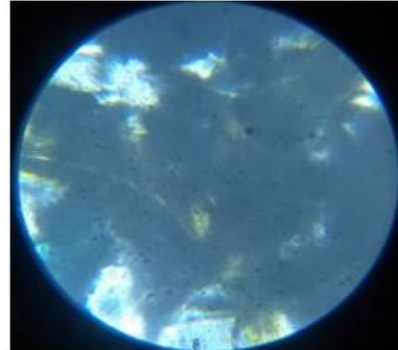
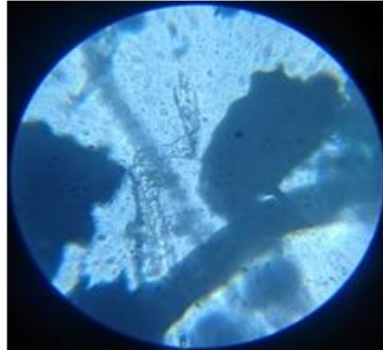


Ilustración 32 Vista de la segunda muestra madre por el microscopio

Fuente: Propia (2020).

En la segunda muestra madre que se analizó por medio de microscopio se observa menos puntos azules que en la primera muestra madre, como se muestra en la ilustración 32 esto quiere decir que se ven bastante menos partículas de sulfato de cobre entonces, esta muestra se observó con 1 μm .

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

Tabla 12 Cantidad de grafeno obtenido.

Fuente: Propia (2020).

En la tabla 11 se muestra la cantidad de grafeno obtenido en las muestras madres realizadas, en la primera muestra madre se obtuvo 0.05 gr y en la segunda muestra madre 0.04 gr de grafeno.

En la tabla 12 se muestra el presupuesto para realizar la fabricación de grafeno, donde el reactivo utilizado es el sulfato de cobre y su precio es de 1,250.00 Lps. 500 gr, dicho esto se debe mencionar que la universidad hizo la donación de dicho reactivo para que el proyecto se realizara.

Precio de Fabricación.	
Dispositivo	Precio
Componentes Electrónicos	L 1,000.00
Agua Desionizada	L 92.00
Crisoles	L 500.00
Embudo	L 110.00
Probeta Vidrio	L 170.00
Tiras de Cobre	L 679.00
Grafito	L 495.00
Reactivo	L 1,250.00
Total	L 4,296.00

Tabla 13 Presupuesto para la fabricación del Proyecto

Fuente: Propia (2020).

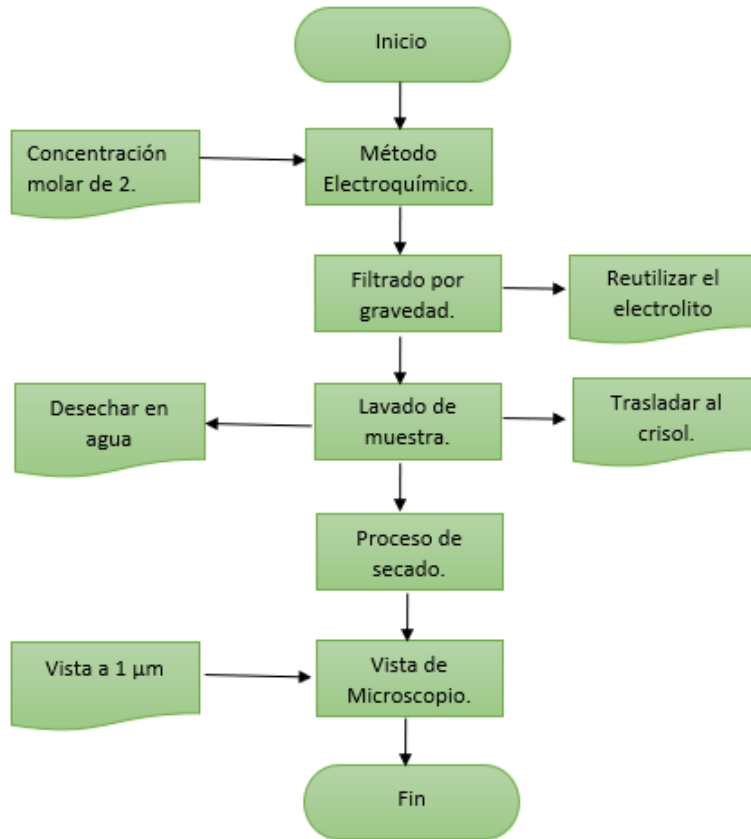


Ilustración 33 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de grafeno

Fuente: Propia (2020)

En la ilustración 33 se 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 $1\mu\text{m}$, logrando realizar 0.1 gr de grafeno.

VI Conclusiones.

En el presente capítulo se exponen las conclusiones del proyecto actual a partir de los resultados obtenidos.

- 1) Se logró diseñar un modelo para la fabricación de grafeno con equipo asequible en el medio local conformado por cinco etapas las cuales primera etapa se realizó 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 $1\mu\text{m}$, logrando realizar 0.1 gr de grafeno.
- 2) Se desarrollaron 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 el desarrollo correcto de 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.
- 3) Se logró identificar el proceso más viable para realizar grafeno con equipo asequible en el medio local el cual fue el método electroquímico, el método electroquímico viene de los métodos 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.
- 4) 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 sinnúmero de avances tecnológicos, pero cabe decir que este impacto se podrá dar hasta que se pueda realizar grafeno a gran escala y de buena calidad a un bajo costo, en el medio local realizar 0.1 gr de grafeno se necesita un presupuesto de 4,296.00 L.

VII Recomendaciones.

1. Para el método electroquímico se puede emplear otros reactivos para realizar las muestras por ejemplo ácido sulfúrico y sulfato de sodio.
2. Se le puede agregar un sistema donde se realice las láminas de grafeno a partir del polvo obtenido.
3. Realizar un diseño con el proceso de cizallamiento, para realizar un análisis comparativo sobre la cantidad de grafeno que se puede llegar a realizar.

VIII Referencias.

- Al-Hamry, A., Mehta, N., Müller, C., & Kanoun, O. (2016). Characterization and Investigation of Infrared Sensitivity of Reduced Graphene Oxide Films. *2016 Nanotechnology for Instrumentation and Measurement (NANOIM)*, 5–16. <https://doi.org/10.1109/NANOIM.2016.8521423>
- Alnsar, K. N., Roknabadi, M. R., Behdani, M., & Shohany, B. G. (2020). Theoretical Study of Electronic Properties of Nanostructures Composed of Blue Phosphorene and Graphene Sheet. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 871, 012084. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/871/1/012084>
- Al-Tamimi, B. H., Farid, S. B. H., & Chyad, F. A. (2018). Modified Unzipping Technique to Prepare Graphene Nano-Sheets. *Journal of Physics: Conference Series*, 1003, 012020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1003/1/012020>
- Alvarez, B., Sarmiento-Santos, A., & Hernández, Y. (2019). Carbon structures obtained from acetylene in a continuous current abnormal glow. *Journal of Physics: Conference Series*, 1386, 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1386/1/012041>
- Amaro-Gahete, J., Mora, M., Gutiérrez, P., Cosano, D., Esquivel, D., Ruiz, J. R., Jiménez-Sanchidrián, C., García, M. C., & Romero-Salguero, F. J. (2020). Preparation of graphene-based nanomaterials by pulsed RF discharges on liquid organic compounds. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(43), 435202. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aba069>
- Aslanov, L. A., & Dunaev, S. F. (2018). Exfoliation of crystals. *Russian Chemical Reviews*, 87(9), 882. <https://doi.org/10.1070/RCR4806>
- Azam, M. A., Zulkapli, N. N., Dorah, N., Seman, R. N. A. R., Ani, M. H., Sirat, M. S., Ismail, E., Fauzi, F. B., Mohamed, M. A., & Majlis, B. Y. (2017). Review—Critical Considerations of High Quality Graphene Synthesized by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition for Electronic and Energy Storage Devices. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 6(6), M3035. <https://doi.org/10.1149/2.0031706jss>

- Backes, C., Abdelkader, A. M., Alonso, C., Andrieux-Ledier, A., Arenal, R., Azpeitia, J., Balakrishnan, N., Banszerus, L., Barjon, J., Bartali, R., Bellani, S., Berger, C., Berger, R., Ortega, M. M. B., Bernard, C., Beton, P. H., Beyer, A., Bianco, A., Bøggild, P., ... Garcia-Hernandez, M. (2020). Production and processing of graphene and related materials. *2D Materials*, *7*(2), 022001. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/ab1e0a>
- Bianco, A., Cheng, H.-M., Enoki, T., Gogotsi, Y., Hurt, R. H., Koratkar, N., Kyotani, T., Monthieux, M., Park, C. R., Tascon, J. M. D., & Zhang, J. (2013). All in the graphene family – A recommended nomenclature for two-dimensional carbon materials. *Carbon*, *65*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.08.038>
- Biccai, S., Barwich, S., Boland, D., Harvey, A., Hanlon, D., McEvoy, N., & Coleman, J. N. (2018). Exfoliation of 2D materials by high shear mixing. *2D Materials*, *6*(1), 015008. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/aae7e3>
- Brajpuriya, R. (2016). Green, clean, economical and scalable method to obtain high quality graphene for solar and other applications. *2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES)*, 348–351. <https://doi.org/10.1109/ICAEES.2016.7888067>
- Buckley, D. J., Black, N. C. G., Castanon, E. G., Melios, C., Hardman, M., & Kazakova, O. (2020). Frontiers of graphene and 2D material-based gas sensors for environmental monitoring. *2D Materials*, *7*(3), 032002. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/ab7bc5>
- Camilli, L., Yu, F., Cassidy, A., Hornekær, L., & Bøggild, P. (2019). Challenges for continuous graphene as a corrosion barrier. *2D Materials*, *6*(2), 022002. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/ab04d4>
- Capasso, A., Bellani, S., Palma, A. L., Najafi, L., Castillo, A. E. D. R., Curreli, N., Cinà, L., Miseikis, V., Coletti, C., Calogero, G., Pellegrini, V., Carlo, A. D., & Bonaccorso, F. (2019). CVD-graphene/graphene flakes dual-films as advanced DSSC counter electrodes. *2D Materials*, *6*(3), 035007. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/ab117e>

- Chakradhary, V. K., Tahalyani, J., & Akhtar, M. J. (2018). Design of Lightweight Exfoliated Graphite Based Thin Composites for EMI Shielding. *2018 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IMaRC.2018.8877128>
- Couri, S., Papadakis, I., Bouza, Z., Stathis, A., Karampitsos, N., Kyrginas, D., Stavrou, M., & Ziaka, D. D. (2019). Graphene(s): Tuning their Nonlinear Optical Response. *2019 21st International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICTON.2019.8840358>
- Fan, X., Chang, D. W., Chen, X., Baek, J.-B., & Dai, L. (2016). Functionalized graphene nanoplatelets from ball milling for energy applications. *Current Opinion in Chemical Engineering*, *11*, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2016.01.003>
- Felli, E., Victoria Martínez, E., Campillo Fernández, A. J., & Serrano Aroca, Á. (2016). El grafeno y sus derivados en la ingeniería tisular. *Nereis*, *8*, 71–81.
- Feng, J., Dong, H., Pang, B., Yu, L., & Dong, L. (2018). Investigation on Tunable Optical Properties and Structures of Graphene Quantum Dots Doped with Sulfur Heteroatoms. *ECS Transactions*, *86*(2), 43. <https://doi.org/10.1149/08602.0043ecst>
- Ganash, E. A., Al-Jabarti, G. A., & Altuwirqi, R. M. (2019). The synthesis of carbon-based nanomaterials by pulsed laser ablation in water. *Materials Research Express*, *7*(1), 015002. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab572b>
- Gao, J., Si, C., Yang, Y.-R., Cao, B.-Y., & Wang, X.-D. (2020). Molecular Dynamics Investigation on Thermal Conductivity and Phonon Transmission of Folded Graphene. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, *9*(9), 093005. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/aba7fb>
- Ghany, N. A. A., Elsherif, S. A., & Handal, H. T. (2017). Revolution of Graphene for different applications: State-of-the-art. *Surfaces and Interfaces*, *9*, 93–106. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.08.004>
- Giusca, C. E., Rungger, I., Panchal, V., Melios, C., Lin, Z., Lin, Y.-C., Kahn, E., Elías, A. L., Robinson, J. A., Terrones, M., & Kazakova, O. (2016). Excitonic Effects in Tungsten Disulfide Monolayers

on Two-Layer Graphene. *ACS Nano*, 10(8), 7840–7846.
<https://doi.org/10.1021/acsnano.6b03518>

Handayani, M., Ganta, M., Susilo, D. N. A., Yahya, M. S., Sunnardianto, G. K., Darsono, N., Sulistiyono, E., Setiawan, I., Lestari, F. P., & Erryani, A. (2019). Synthesis of graphene oxide from used electrode graphite with controlled oxidation process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 541, 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/541/1/012032>

Hanna, M. Y., Santoso, I., & Absor, M. A. U. (2018). The Role of the Oxygen Impurity on the Electronic Properties of Monolayer Graphene: A Density-Functional Study. *Journal of Physics: Conference Series*, 1011, 012071. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1011/1/012071>

Jordá Reolid, M. (2018). *Desarrollo de un proceso industrial de recubrimiento de tejidos con óxido de grafeno reducido a partir de la adaptación de un proceso industrial basado en la tintura con colorantes tina*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/95462>

Kastl, C., Chen, C. T., Koch, R. J., Schuler, B., Kuykendall, T. R., Bostwick, A., Jozwiak, C., Seyller, T., Rotenberg, E., Weber-Bargioni, A., Aloni, S., & Schwartzberg, A. M. (2018). Multimodal spectromicroscopy of monolayer WS₂ enabled by ultra-clean van der Waals epitaxy. *2D Materials*, 5(4), 045010. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/aad21c>

Kim, J. H., Jeong, J. H., Kim, N., Joshi, R., & Lee, G.-H. (2018). Mechanical properties of two-dimensional materials and their applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 52(8), 083001. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aaf465>

Kruskopf, M., Pakdehi, D. M., Pierz, K., Wundrack, S., Stosch, R., Dziomba, T., Götz, M., Baringhaus, J., Aproz, J., Tegenkamp, C., Lidzba, J., Seyller, T., Hohls, F., Ahlers, F. J., & Schumacher, H. W. (2016). Comeback of epitaxial graphene for electronics: Large-area growth of bilayer-free graphene on SiC. *2D Materials*, 3(4), 041002. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/3/4/041002>

- Liu, Y. (2017). Application of graphene oxide in water treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 94, 012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/94/1/012060>
- Lu, Z., Sun, X., Washington, M. A., & Lu, T.-M. (2018). Quasi van der Waals epitaxy of copper thin film on single-crystal graphene monolayer buffer. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 51(9), 095301. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aaa875>
- Madurani, K. A., Suprpto, S., Machrita, N. I., Bahar, S. L., Illiya, W., & Kurniawan, F. (2020a). Progress in Graphene Synthesis and its Application: History, Challenge and the Future Outlook for Research and Industry. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 9(9), 093013. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/abbb6f>
- Madurani, K. A., Suprpto, S., Machrita, N. I., Bahar, S. L., Illiya, W., & Kurniawan, F. (2020b). Progress in Graphene Synthesis and its Application: History, Challenge and the Future Outlook for Research and Industry. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 9(9), 093013. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/abbb6f>
- Mann, S., Mudahar, I., Sharma, H., Jindal, V. K., Dubey, G. S., Gumbs, G., & Fessatidis, V. (2020). Lattice thermal conductivity of pure and doped (B, N) Graphene. *Materials Research Express*, 7(9), 095003. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/abb2cd>
- More, M. P., & Deshmukh, P. K. (2020). Computational studies and biosensory applications of graphene-based nanomaterials: A state-of-the-art review. *Nanotechnology*, 31(43), 432001. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ab996e>
- Munther, M., Shaygan, M., Centeno, A., Neumaier, D., Zurutuza, A., Momeni, K., & Davami, K. (2019). Probing the mechanical properties of vertically-stacked ultrathin graphene/Al₂O₃ heterostructures. *Nanotechnology*, 30(18), 185703. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/aafd53>
- Naumis, G. G., Barraza-Lopez, S., Oliva-Leyva, M., & Terrones, H. (2017). Electronic and optical properties of strained graphene and other strained 2D materials: A review. *Reports on Progress in Physics*, 80(9), 096501. <https://doi.org/10.1088/1361-6633/aa74ef>

- Nguyen, B. H., & Nguyen, V. H. (2016). Promising applications of graphene and graphene-based nanostructures. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 7(2), 023002. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/7/2/023002>
- Ortega, B. T., & McGuigan, M. (2018). Visualization and Simulation of Carbon Structures with Higher Genus. *2018 New York Scientific Data Summit (NYSDS)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/NYSDS.2018.8538945>
- Pershin, V. F., Krasnyanskiy, M. N., Alhilo, Z. A. A., Al-Mashhadani, A. M. R., Baranov, A. A., & Osipov, A. A. (2019). Production of few-layer and multilayer graphene by shearing exfoliation of graphite in liquids. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 693, 012023. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/693/1/012023>
- Petrucci, R. H., Jeffrey D. Madura, Carey Bissonnette, & F. Geoffrey Herring. (2011). *Química General* (Decima). © 2011, PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Phiri, J., Gane, P., & Maloney, T. C. (2017). General overview of graphene: Production, properties and application in polymer composites. *Materials Science and Engineering: B*, 215, 9–28. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2016.10.004>
- Ratnikov, P. V., & Silin, A. P. (2018a). Two-dimensional graphene electronics: Current status and prospects. *Physics-Uspekhi*, 61(12), 1139. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2017.11.038231>
- Ratnikov, P. V., & Silin, A. P. (2018b). Two-dimensional graphene electronics: Current status and prospects. *Physics-Uspekhi*, 61(12), 1139–1174. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2017.11.038231>
- Razeghi, M. (2019). *The Mystery of Carbon*. IOP Publishing Ltd 202. <https://doi.org/10.1088/2053-2563/ab35d1>
- Ricciardella, F., Vollebregt, S., Boshuizen, B., Danzl, F. J. K., Cesar, I., Spinelli, P., & Sarro, P. M. (2020). Wafer-scale transfer-free process of multi-layered graphene grown by chemical vapor deposition. *Materials Research Express*, 7(3), 035001. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab771e>

- Rivera, O., & Alexis, D. (2018). Usos y aplicaciones del Grafeno y otros materiales innovadores en la Ingeniería Industrial. *Repositorio de la Universidad Estatal de Milagro*. <http://repositorio.unemi.edu.ec//handle/123456789/4376>
- Saito, S., & Tomita, I. (2020). Topological carbon allotropes: Knotted molecules, carbon-nano-chain, chainmails, and Hopfene. *Materials Research Express*, 7(5), 056301. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab8df3>
- San, X.-J., Han, B., & Zhao, J.-G. (2016). Theoretical investigation of structural and optical properties of semi-fluorinated bilayer graphene. *Chinese Physics B*, 25(3), 037305. <https://doi.org/10.1088/1674-1056/25/3/037305>
- Sheka, E. F., Popova, N. A., & Popova, V. A. (2018). Physics and chemistry of graphene. Emergentness, magnetism, mechanophysics and mechanochemistry. *Physics-Uspeski*, 61(7), 645. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2017.11.038233>
- Silva, S. M., Kulathilake, P. H. D., Attygalle, D., & Amarasinghe, D. A. S. (2017). Study of the dielectric behavior of graphite oxide upon exposure to chlorine. *2017 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCOn)*, 83–87. <https://doi.org/10.1109/MERCOn.2017.7980461>
- Tincu, B., Avram, A., Tucureanu, V., Matei, A., Marculescu, C., Burinaru, T., Comanescu, F., Popescu, M., & Avram, M. (2019). Graphene Post-Processing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 485, 012027. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/485/1/012027>
- Villalón, A. R., & Barba, I. I. (2016). *GRAFENO: SÍNTESIS, PROPIEDADES Y APLICACIONES BIOMÉDICAS*. 19.
- Wade, L. (2012). *Química Organica Volumen 1* (Septima Ediccion). Pearson Educacion.
- Wang, W., Su, H., Wu, Y., Zhou, T., & Li, T. (2019). Review—Biosensing and Biomedical Applications of Graphene: A Review of Current Progress and Future Prospect. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(6), B505. <https://doi.org/10.1149/2.1231906jes>
- Wang, Z. (2017). Progress on preparation of graphene and its application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 242, 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/242/1/012032>

- Yang, J., Hu, P., & Yu, G. (2019). Design of carbon sources: Starting point for chemical vapor deposition of graphene. *2D Materials*, 6(4), 042003. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/ab31bd>
- Yap, K. L., & Liu, W. W. (2020). Exfoliation of charcoal by electrochemical method to synthesize few layers graphene sheets. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 920, 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/920/1/012019>
- Zhan, N., Chen, B., Li, C., & Shen, P. K. (2018). Molecular dynamics simulations of the thermal conductivity of graphene for application in wearable devices. *Nanotechnology*, 30(2), 025705. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/aae98b>
- Zhang, Z., Fraser, A., Ye, S., Merle, G., & Barralet, J. (2019). Top-down bottom-up graphene synthesis. *Nano Futures*, 3(4), 042003. <https://doi.org/10.1088/2399-1984/ab4eff>